

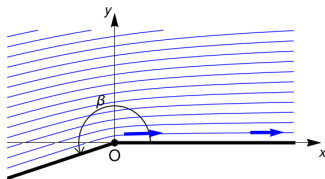
Debriefing TD4 de MF2 : Pb 4.2 : couches limites de Falkner-Skan

au-dessus de la **seconde partie d'un dièdre** d'angle d'ouverture β défini à partir de $m \in]-1/2, +\infty[$ par $\beta(m) = \pi/(m+1)$: au V(plaque) :

$$\vec{v}_{\text{extérieur}} = Ax^m \vec{e}_x$$

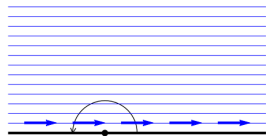
$$m = -0,09$$

$$\mapsto \beta = 3,45 \text{ rad} = 198^\circ$$



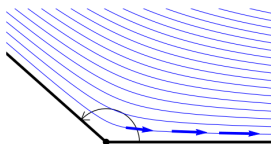
$$m = 0$$

$$\mapsto \beta = \pi \text{ rad} = 180^\circ$$



$$m = 0,3$$

$$\mapsto \beta = 2,42 \text{ rad} = 138^\circ$$



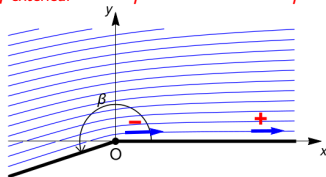
Débriefing TD4 de MF2 : Pb 4.2 : couches limites de Falkner-Skan

au-dessus de la **seconde partie d'un dièdre** d'angle d'ouverture β défini à partir de $m \in]-1/2, +\infty[$ par $\beta(m) = \pi/(m+1)$: au V (plaque) :

$$\vec{v}_{\text{extérieur}} = Ax^m \vec{e}_x \implies \hat{p}_{\text{extérieur}} \propto -\rho A^2 x^{2m} \iff \rho^{-1} \overline{\nabla} \hat{p}_{\text{extérieur}} = -mA^2 x^{2m-1} \vec{e}_x$$

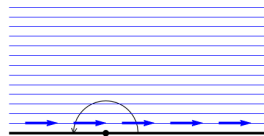
$$m = -0,09$$

$$\mapsto \beta = 3,45 \text{ rad} = 198^\circ$$



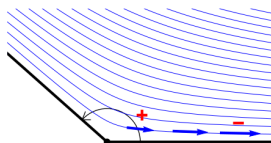
$$m = 0$$

$$\mapsto \beta = \pi \text{ rad} = 180^\circ$$



$$m = 0,3$$

$$\mapsto \beta = 2,42 \text{ rad} = 138^\circ$$



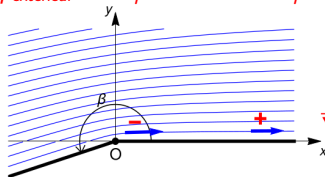
Débriefing TD4 de MF2 : Pb 4.2 : couches limites de Falkner-Skan

au-dessus de la **seconde partie d'un dièdre** d'angle d'ouverture β défini à partir de $m \in]-1/2, +\infty[$ par $\beta(m) = \pi/(m+1)$: au V(plaque) :

$$\vec{v}_{\text{extérieur}} = Ax^m \vec{e}_x \implies \hat{p}_{\text{extérieur}} \propto -\rho A^2 x^{2m} \iff \rho^{-1} \nabla \hat{p}_{\text{extérieur}} = -mA^2 x^{2m-1} \vec{e}_x$$

$$m = -0,09$$

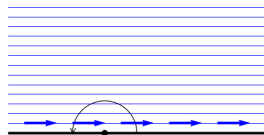
$$\mapsto \beta = 3,45 \text{ rad} = 198^\circ$$



adverse
défavorable
 $\nabla \hat{p}$ **décélérateur**

$$m = 0$$

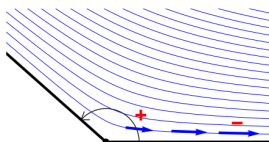
$$\mapsto \beta = \pi \text{ rad} = 180^\circ$$



$\nabla \hat{p}$ **nul**

$$m = 0,3$$

$$\mapsto \beta = 2,42 \text{ rad} = 138^\circ$$

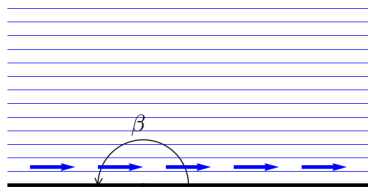


moteur
favorable
 $\nabla \hat{p}$ **accélérateur**

Les leçons de Falkner-Skan

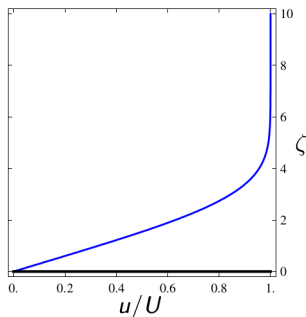
se déduisent d'une étude de l'écoulement extérieur considéré en **fluide parfait**.

Le cas de référence est le cas $m = 0$ i.e. $\beta = \pi/(m + 1) = \pi$ correspondant à l'écoulement au dessus d'une plaque plane :



écoulement uniforme

∇p nul

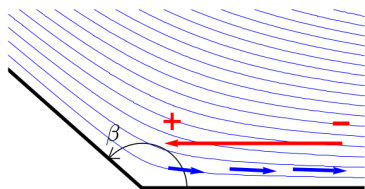


→ couche limite de Blasius

Les leçons de Falkner-Skan

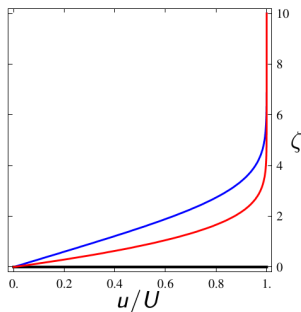
se déduisent d'une étude de l'écoulement extérieur considéré en **fluide parfait**.

Si $m > 0$ on a $\beta = \pi / (m + 1) < \pi$ correspondant à l'écoulement au dessus d'un dièdre rentrant :



écoulement accéléré

∇p accélérateur favorable

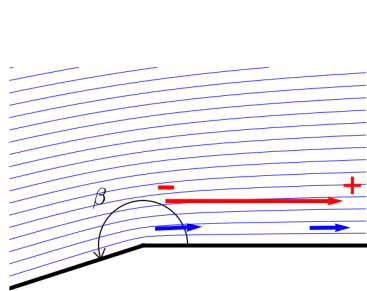


→ couche limite + collée

Les leçons de Falkner-Skan

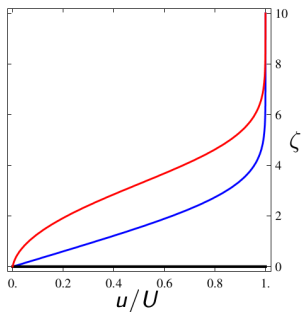
se déduisent d'une étude de l'écoulement extérieur considéré en **fluide parfait**.

Si $m < 0$ on a $\beta = \pi / (m + 1) > \pi$ correspondant à l'écoulement au dessus d'un dièdre saillant :



écoulement ralenti

$\nabla \bar{p}$ décélérateur défavorable



→ couche limite + épaisse

Les leçons de Falkner-Skan

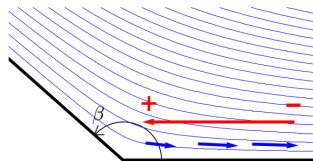
se déduisent d'une étude de l'écoulement extérieur considéré en **fluide parfait**.

$$m > 0$$

$$\beta = \pi / (m + 1) < \pi$$

$$m < 0$$

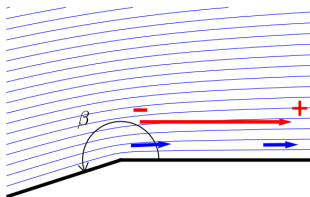
$$\beta = \pi / (m + 1) > \pi$$



écoulement accéléré

∇p accélérateur favorable

couche limite collée mince



écoulement ralenti

∇p décélérateur défavorable

si $m_c < m < 0$ couche limite épaisse

si $m < m_c$ pas de couche limite !

« décollement » !

angle critique de décollement

$$m_c = -0,091$$

$$\Rightarrow \beta_c = 198^\circ = 180^\circ +$$

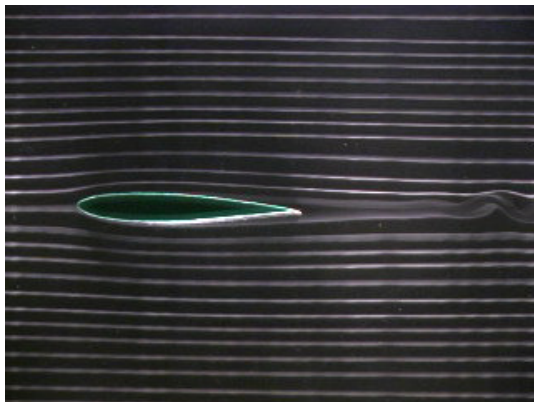
$$18^\circ$$

angle d'attaque $\frac{1}{2}$ plan P

Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford,
l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque $\gamma = 0^\circ$:

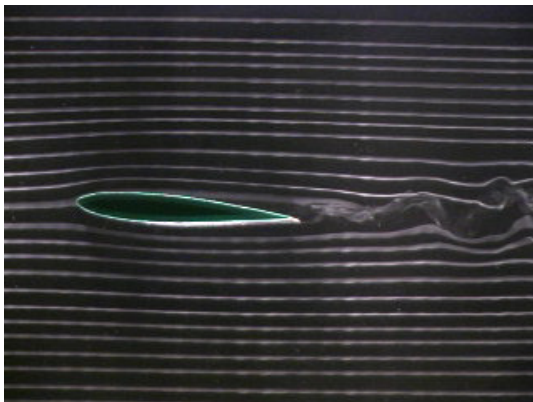


[Homsy et al. 2019 *Multimedia Fluid Mechanics Online*. Cambridge University Press]

Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford, l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque $\gamma = 5^\circ$:

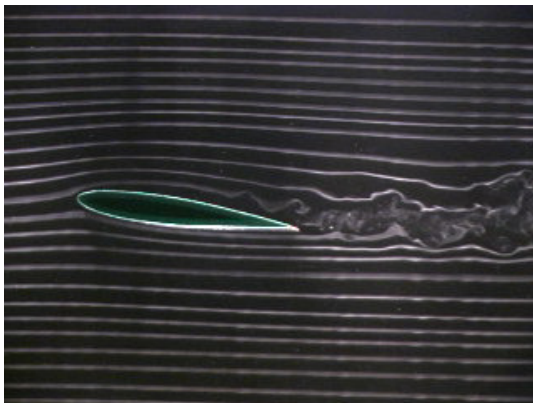


[[Homsy et al. 2019 Multimedia Fluid Mechanics Online. Cambridge University Press](#)]

Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford,
l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque $\gamma = 10^\circ$:

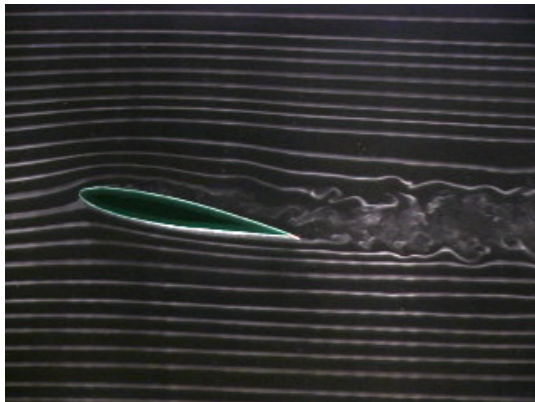


[[Homsy et al. 2019 Multimedia Fluid Mechanics Online. Cambridge University Press](#)]

Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford,
l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque $\gamma = 15^\circ$:



[Homsy et al. 2019 *Multimedia Fluid Mechanics Online*. Cambridge University Press]

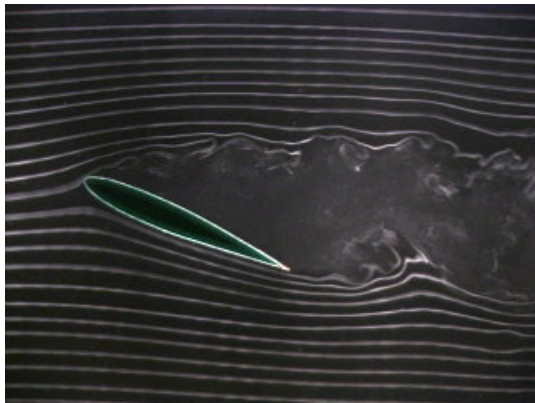
Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford,
l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque

$$\gamma = 25^\circ$$

: **décollement**

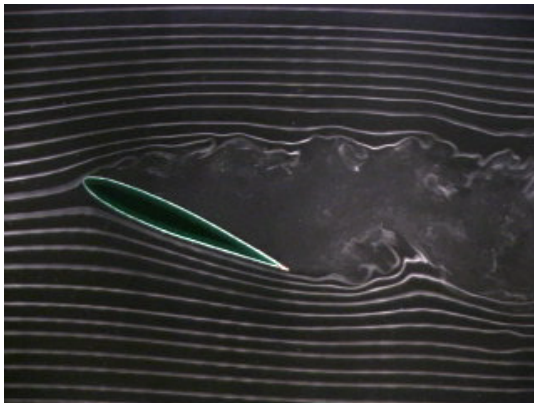


[[Homsy et al. 2019 Multimedia Fluid Mechanics Online. Cambridge University Press](#)]

Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford,
l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque $\gamma = 25^\circ$: **décollement** \implies **décrochement !**

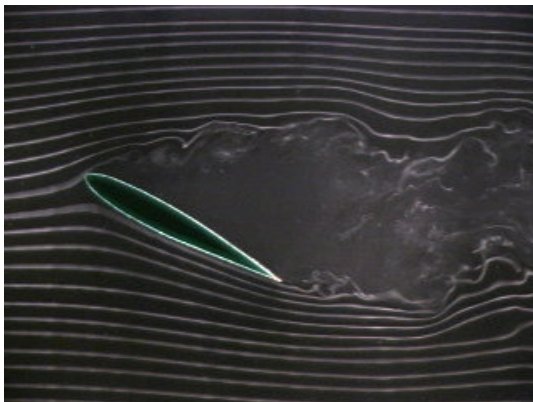


[[Homsy et al. 2019 Multimedia Fluid Mechanics Online. Cambridge University Press](#)]

Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford,
l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque $\gamma = 30^\circ$:

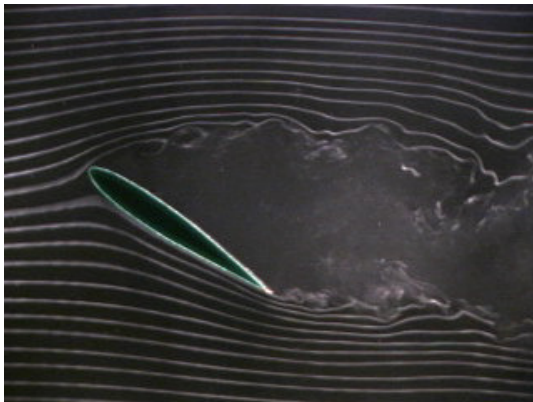


[[Homsy et al. 2019 Multimedia Fluid Mechanics Online. Cambridge University Press](#)]

Décollement sur un profil d'aile

Expériences en soufflerie menées à l'université de Stanford,
l'écoulement est visualisé grâce à des fumées :

angle d'attaque $\gamma = 35^\circ$:



[Homsy et al. 2019 *Multimedia Fluid Mechanics Online*. Cambridge University Press]

Décollement sur un profil d'aile

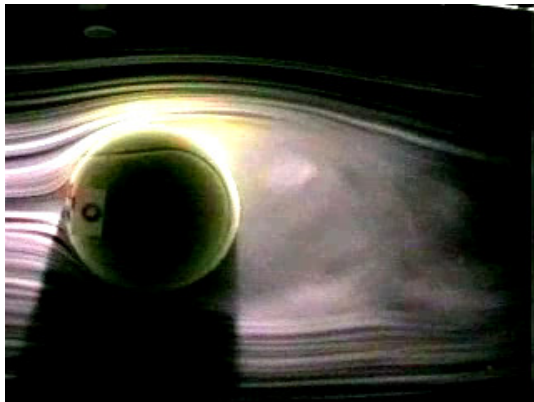
Expérience en canal hydraulique menée à l'ONERA, visualisation par bulles d'air et injection de colorant, l'angle d'attaque γ varie au cours du temps :



[[Homsy et al. 2019 Multimedia Fluid Mechanics Online. Cambridge University Press](#)]

Décollement sur un obstacle non profilé

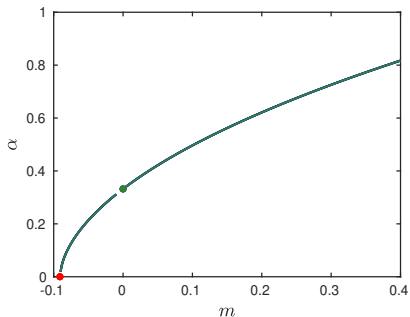
Expérience par Cislunar Aerospace, $Re = 2,3 \cdot 10^5$:



[[Homsy et al. 2019 *Multimedia Fluid Mechanics Online*. Cambridge University Press](#)]

Retour sur le **décollement** dans les couches limites de Falkner-Skan

On peut calculer numériquement $\alpha = f_m''(0)$ en fonction de m :



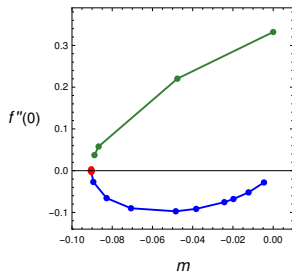
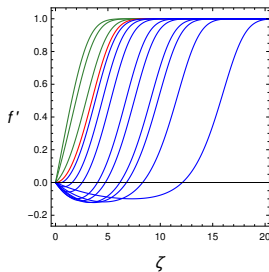
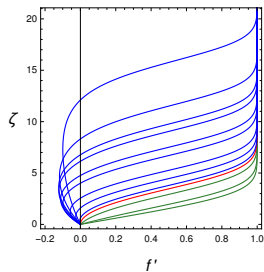
Au **décollement**, $m = m_c = -0,091$, la contrainte pariétale

$$\tau_p = T_x = 2\eta D_{xy} = \eta \frac{\partial u}{\partial y} = \eta \frac{\partial}{\partial y} (Ax^m f_m'(\zeta)) = \frac{\eta Ax^m}{\delta} \alpha = 0$$

i.e. le **frottement** et le **coefficient de frottement** C_f s'annulent !

Retour sur le **décollement** dans les couches limites de Falkner-Skan

Une **branche de solutions** avec « **recirculation** » ou « **écoulements inversés** » existe pour $m_c < m < 0$:



Les branches **verte sans recirculation** et **bleue avec recirculation** rentrent en « **collision** » en $m = m_c$ et « **disparaissent** » par « **bifurcation** » !..

Retour sur le **décollement** dans les couches limites de Falkner-Skan

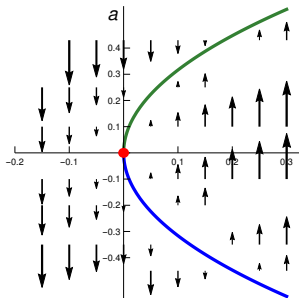
Rappel de l'équation de Falkner-Skan :

$$0 = m - mf'^2 + \frac{m+1}{2}ff'' + f''' .$$

Équation modèle sur une « amplitude » a qui « représenterait » α ou C_f :

$$\frac{da}{dt} = m - a^2 .$$

Diagramme de bifurcation :



Les branches **verte** et **bleue** rentrent en « **collision** » en $m = m_c = 0$

et « disparaissent » par **bifurcation nœud-col**!.. [Plaut 2021 *Transition to turbulence*. Cours 3A]