

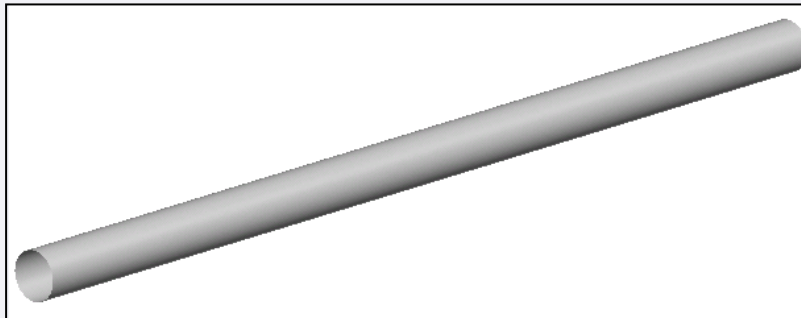
INTRODUCTION DU CFD

Introduction

A l'inverse des calculs de force de construction, au moyen du software de Ansys ou Pro/E par exemple, les calculs de courant ne sont pas très connus. Ceci est une introduction de la méthode de simulation connue sous le nom de Computational Fluid Dynamics, plus simplement 'CFD'. Nous traiterons rapidement les trois phases de la méthode de simulation, à l'aide d'un exemple simple et facile.

Exemple: Ecoulement dans un tube

L'exemple choisi traite de la circulation d'eau dans un tuyau rectiligne. Le tuyau possède un diamètre de 26 mm et une longueur de 52 cm. A travers du tuyau circule de l'eau avec une vitesse moyenne de 10 m/s, nous nous fixons pour but de calculer la perte de pression, qui est créée par la friction avec la paroi du tuyau.



Cette circulation est bien évidemment presque trop simple pour justifier l'utilisation de CFD. Il est possible de trouver dans la littérature une relation empirique avec laquelle il est possible de déterminer la perte unité-longueur de longs tuyaux, en fonction de ce tuyau, de la vitesse de l'écoulement et du liquide. Cela se passe de la façon suivante : tout d'abord, on détermine le nombre de Reynolds. L'eau possède une densité (ρ) de 998 kg/m^3 et une viscosité de 0.001 Pa.s . Le nombre de Reynolds de l'écoulement en question s'élève à $2.6 \cdot 10^5$. On peut dès lors utiliser la relation empirique Nikuradse afin de déterminer le facteur de résistance (λ) du tuyau :

$$\lambda = 0.0032 + 0.221 \cdot \text{Re}^{-0.237} = 0.0147$$

La perte de pression (dP) par unité-longueur (dL) est déterminée par la formule :

$$dP/dL = \lambda/d * 0.5 * \rho * V^2 = 28 \text{ 241 Pa par mètre de tuyau.}$$

Le résultat de la simulation d'écoulement sera comparé à ce résultat. Avant de commencer cette comparaison, il faut d'abord déterminer le modèle.

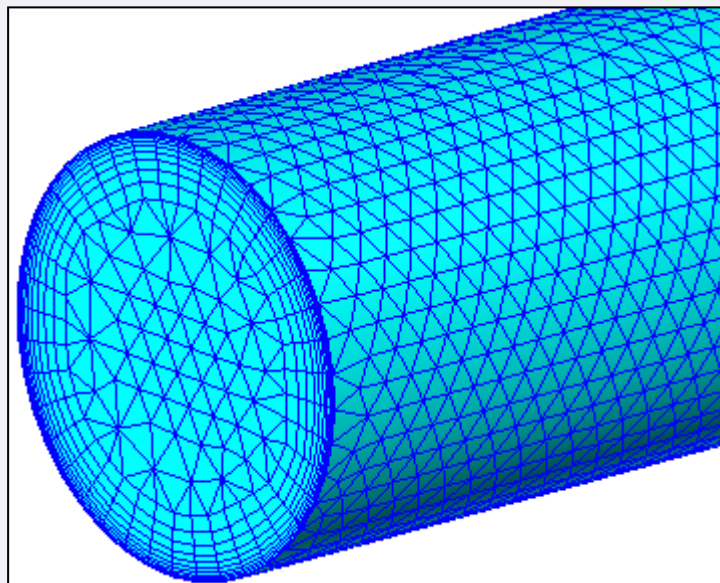
Etape1: Formulation d'un modèle

La formulation d'un modèle (pre-processing) constitue la première phase d'une simulation CFD. La géométrie du tuyau est dessinée en CAD ou, lorsqu'un dessin digital ou un modèle solide est déjà disponible, importé.

Après cela, on donne à chaque partie géométrique sa signification : où le liquide entre-t-il dans le tuyau et où sort-elle ? Où se trouve la paroi du tuyau ? Est-ce que cette paroi est lisse ou rugueuse ? Y a-t-il question d'alimentation de chaleur ? Et ainsi de suite.

Ensuite, il faut encore indiquer quelle substance circule dans le tuyau. Il ne peut pas uniquement s'agir de gaz ou de liquides, mais aussi de mélanges des deux. Les substances peuvent également subir des réactions chimiques et se transformer en une substance tierce. Néanmoins, nous nous contenterons dans cet exemple de se limiter à l'eau d'une densité constante et à une température également constante.

La dernière étape de la formulation du modèle est le parcelllement de la géométrie en éléments finis. Ainsi se crée le 'Grid'. La figure ci-dessous en donne une impression.



Dans chaque élément de volume, on calcule la vitesse du liquide et la pression sous les conditions données. Plus la solution possède d'éléments de volume, plus elle est exacte, en tout cas jusqu'à une certaine limite. Néanmoins, une partie tout aussi importante de l'exactitude de la solution se trouve dans le choix des conditions secondaires et du modèle physique. On peut surtout se tromper dans la description des écoulements turbulents.

Etape 2: Calcul d'écoulement

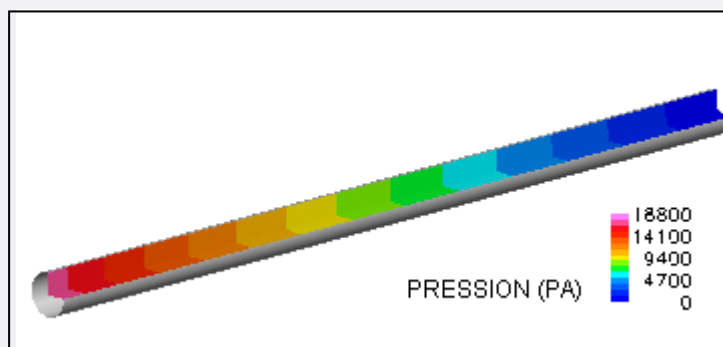
L'étape suivante est de résoudre les équilibres des écoulements de tous les éléments de volume. Afin de calculer la vitesse et la pression, il faut réaliser l'équilibre de la masse et des pressions (équation de Navier-Stokes). Lorsqu'il est question de turbulences, on rajoutera deux à sept équilibres supplémentaires. Leur nombre exact dépend du modèle de calcul, qui est déterminé par les conditions d'écoulement. Lors de transferts de chaleur et les réactions de chaleur, on rajoute encore des équilibres supplémentaires.

Il est évident qu'une grande capacité informatique (ordinateur) est nécessaire pour résoudre les problèmes posés. Le « grid » peut, dans certains modèles, contenir plusieurs millions d'éléments de volume, et les problèmes sont résolus dans chacun de ces éléments.

A la fin de chaque étape se trouve une solution pour le champ de circulation, et on peut commencer l'étape la plus importante dans la simulation CFD : l'analyse des résultats.

Etape 3: L'analyse

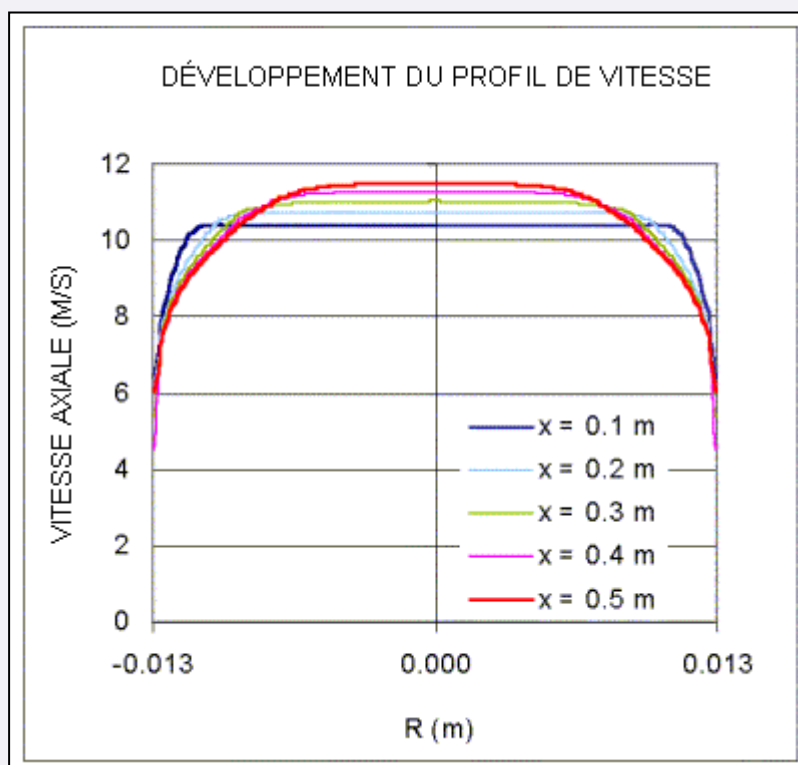
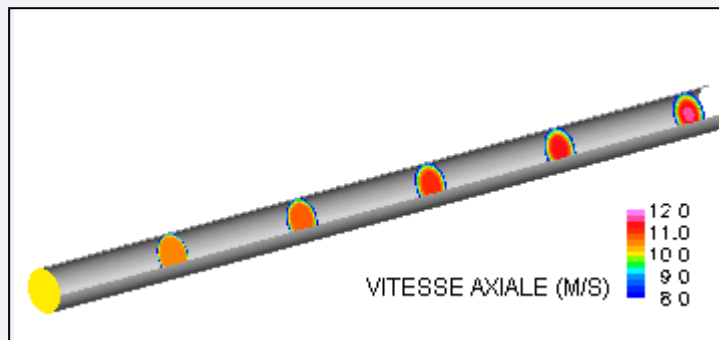
La question qui nous préoccupait dans cet exemple était de connaître la quantité de pression perdue dans le tuyau. La simulation prévoyait le champ de pression suivant :



Les couleurs démontrent qu'une différence de pression d'environ $18.8 \cdot 10^3$ Pa est nécessaire pour faire circuler l'eau avec une vitesse de 10 m/s à travers ce tuyau. Le tuyau possède une longueur de 0.52 m et donc la perte de pression est de $36 \cdot 10^3$ Pa. La relation empirique de Nikuradse, donnée plus tôt, prévoyait pourtant une perte de 28 241 Pa par mètre.

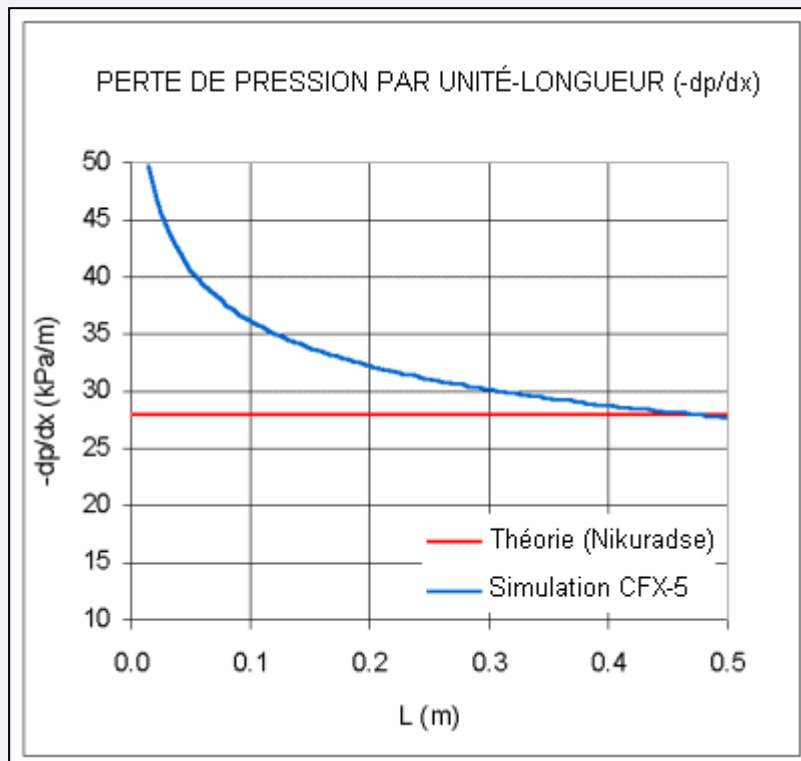
Comment est-ce possible ? Le calcul du CFD serait-il imprécis ? Non. L'origine de cette différence est que la relation empirique n'est valable que pour un écoulement *développée*, c'est-à-dire l'écoulement qui, après avoir parcouru quelques mètres dans le tuyau, survient dans un tuyau plus long, tandis que, dans la simulation CFD, l'on calcule également l'effet de l'entrée dans le tube. On part du principe que l'eau entre dans le tuyau avec une vitesse uniforme de 10 m/s. Ceci n'est évidemment pas possible aux abords de la paroi : l'eau est freinée par le tuyau qui, lui, est immobile. Il s'agit de la formation d'une couche limite. Le résultat est une perte de pression supplémentaire au début du tuyau. L'influence de la paroi croît lentement dans l'écoulement, jusqu'à ce qu'une situation d'équilibre est créée : l'écoulement est dès lors appelée *développée*.

Le résultat de la simulation CFD démontre la manière dont l'écoulement se développe dans le tuyau. Dans la figure ci-dessous, on montre une moyenne de chaque 0,1 m du champ de vitesse, à partir de l'endroit où l'eau entre (à gauche). Afin de clarifier la situation, le graphique en dessous montre le profil de vitesse à ces endroits.



La courbe bleue démontre que la répartition de la vitesse est encore assez 'plate' au début du tuyau. L'influence de la répartition de la vitesse est encore bien visible. La couche limite, la partie vers la paroi où la vitesse se réduit à une vitesse nulle, est encore assez mince, mais s'épaissit au fur et à mesure que l'eau accomplit une distance plus grande dans le tuyau. La courbe rouge représente le profil de l'écoulement après 0.5 m. La couche limite est devenu bien plus grande. Le résultat de la masse exige que la vitesse de l'écoulement soit plus élevée que 10 m/s, parce que la vitesse aux abords de la paroi est plus basse que la vitesse moyenne à l'entrée.

Que signifie ce développement du profil de la vitesse pour la perte de pression ? Le graphique suivant clarifie la situation.



On indique le long de l'axe horizontal la position longitudinale dans le tuyau. Verticalement, on indique la perte de pression par mètre ($-dp/dx$). La ligne rouge démontre la perte de pression prévue par la relation empirique de Nikuradse. La ligne bleue nous montre le développement de la perte de pression comme le prévoit le résultat de la simulation CFD. La perte de pression par mètre est initialement assez élevée, puis s'approche asymptotiquement la valeur de la littérature. La raison de ce comportement est due l'effet d'entrée, la formation de la couche limite, comme expliqué ci-dessus.

Conclusion

On l'a dit plus haut : la circulation est si simple dans cet exemple que la relation empirique donnée est normalement négligeable pour évaluer la perte de pression. Néanmoins, l'exemple démontre en son essence qu'il est important dans la réalisation d'une simulation d'un écoulement ainsi que la valeur des résultats. La simulation démontre *pourquoi* la perte de pression au début d'un tuyau est plus élevée que en aval. La courbe de pression démontre également la précision d'une simulation CFD : la perte de pression est égale aux résultats d'autres expériences (par exemples des expressions empiriques)

Un point fort est également la possibilité de visualiser l'écoulement. Ceci crée la possibilité de juger le comportement de l'écoulement. Cela fait du CFD un outil puissant, tant pour l'inventeur des produits et des processus, que pour l'opérateur qui se demande pourquoi son système ne fonctionne pas comme il le souhaiterait.