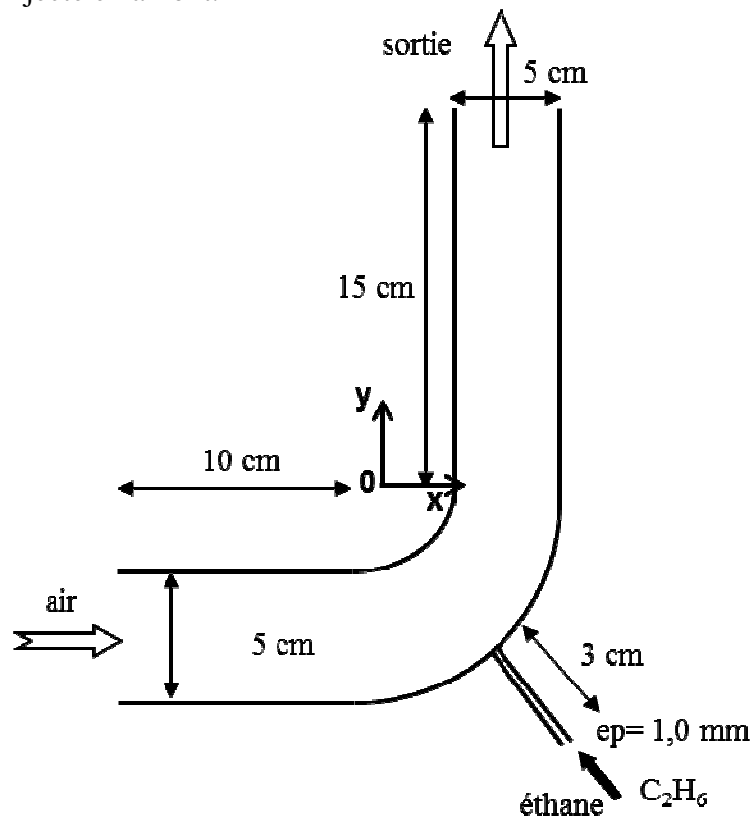


INJECTEUR **Mélange puis combustion**

On considère un injecteur en forme de coude représentée sur la figure ci-dessous. L'injection de carburant (éthane C_2H_6) s'effectue à l'extrados du coude à un angle de 45° , tandis que l'air est injecté en amont.



Dans un premier temps, on s'intéresse uniquement au phénomène de mélange par diffusion, en l'absence de turbulence et de réaction chimique de combustion. L'écoulement de l'air s'effectue à la vitesse moyenne de 0,5 m/s. L'éthane est injecté à la vitesse uniforme de 1 m/s.

Dans le cadre d'une première phase de développement, bien que la géométrie de l'injecteur soit résolument tridimensionnelle (sans symétrie apparente), une simulation en géométrie 2D

cartésienne est mise en œuvre. Dans ces conditions, l'injecteur a une section de 5 cm pour l'entrée d'air et de 0,1 cm pour l'injection de carburant.

Dans un premier temps, on considèrera les propriétés thermophysiques du mélange air-éthane constantes et égales à :

$$C_p = 1000 \text{ J/kg/K}$$

$$D_{\text{Air-Et}} = 2,88 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\mu = 1,72 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m/s}$$

$$\lambda = 0,0454 \text{ W/m/K}$$

Première partie - Maillage

-Séance 3-

Le maillage en géométrie 2D cartésienne est développé au sein de la plateforme *Workbench*, à partir successivement des logiciels *design modeller* et *meshing*.

Voir document (ARCHE) pour la mise en place du maillage de l'injecteur.

Deuxième partie - Etude du mélange

Dans cette partie, nous étudions l'influence du régime d'écoulement en régime permanent sur l'efficacité du mélange air-éthane, **en dehors** de toute combustion (en isotherme).

1) Régime laminaire -Séance 4-

Mise en données

Développer avec le logiciel fluent la simulation du mélange Ethane-Air en régime laminaire. Après la lecture du fichier de maillage (xxx.msh), la mise en données sera effectuée en complétant successivement :

- modifier éventuellement les unités pour passer en cm Domain/Scale/view length in **cm**
- les modèles physiques (Species Transport, et importer le mélange *Ethane-Air*, prédéfini). On choisira un régime laminaire.
- les propriétés thermo-physiques du mélange (*Mixture*) : on prendra pour toute la deuxième partie une masse volumique (density) exprimée à partir d'une loi de mélange.
- les conditions aux limites : on n'oubliera pas de préciser le bon « type » à chaque surface (par exemple « pressure outlet » pour la surface de sortie et non « wall »).
- choisir la méthode *simple* pour résoudre les équations de NS en schéma *upwind* pour les termes convectifs. On pourra se limiter à un schéma du premier ordre pour faciliter la stabilité de la convergence.
- Initialiser (standard est le plus facile)

Ne pas oublier de **sauvegarder** cette mise en données : *File/write/ Case* en donnant un nom que l'on fera évoluer au fur et à mesure du développement et des séances.

On effectue une première simulation du mélangeage des deux gaz sans réaction chimique, pour les vitesses des gaz en entrée suivantes :

$$v_{\text{C}_2\text{H}_6} = 1,0 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{air}} = 0,5 \text{ m/s}$$

On vérifie, en calculant le nombre de Reynolds, que l'écoulement est effectivement laminaire.

Après calcul, et après s'être assuré de la bonne convergence (dans Monitors/Residuals, retirer convergence criterion), on exploitera les résultats obtenus à l'aide de fluent.

Ne pas oublier de **sauvegarder** ces résultats : *File/Write/ Case and Data*

On pourra observer le champ de vitesse ainsi que le titre massique en éthane dans le mélange gazeux

Réalisez aussi les bilans matières globaux pour les espèces (en particulier l'éthane, et vérifier la conservation des grandeurs. (Menu *Report*)

Tracez les profils de composition en éthane pour différentes sections sur le tronçon de sortie du coude. On devra au préalable définir des sections utilisateurs, avec :

Domain/Surface/Create/Line-Rake

Comment évolue l'épaisseur de diffusion avec y lorsque la section se rapproche de la sortie de l'injecteur ?

Enfin, étudiez l'effet du coefficient de diffusion sur les résultats, c'est-à-dire sur le mélange des deux gaz (prendre par exemple $D \times 10^2$ et $D \times 10^4$)

Optionnel :

On pourra effectuer la même simulation mais en régime transitoire (General/transient) jusqu'à atteindre la solution du régime permanent. Pour cette simulation, on pourra créer une ou plusieurs scènes (Results/Scenes) à partir de Contours (*Range* fixé) et/ou Vectors préalablement définis, puis définir les animations souhaitées (Solution/Calculation Activities/Solution Animations) en s'appuyant sur ces scènes. La séquence enregistrée peut être relue (Results/Animations/Playback).

2) Régime turbulent. -Séance 5-

L'ensemble des données .cas et .dat du régime laminaire est bien sûr utilisé comme base de données.

On se place maintenant en régime pleinement turbulent. Le modèle de turbulence (k,ε) standard est sélectionné. Ce premier calcul est effectué avec, par défaut, des fonctions de paroi – *wall function*.

Les conditions aux limites pour les vitesses des gaz en entrée sont les suivantes :

$$v_{C2H6} = 60 \text{ m/s} \quad v_{air} = 3 \text{ m/s}$$

Pour la turbulence, on considère 10% d'intensité de turbulence sur le diamètre hydraulique pour chacune des entrées.

On calcule analytiquement à nouveau le nombre de Reynolds dans les deux conduites.

Nouveau calcul jusqu'à convergence.

Etudier la turbulence développée. En mettant à profit des fonctions utilisateurs (voir Annexe 1), définissez l'échelle spatiale de Kolmogorov (voir annexe de ce fichier), et tracez **en μm** cette grandeur dans tout le domaine.

$$\eta = \left(\frac{\nu}{\epsilon} \right) \cdot 10^6 = \left(\frac{\mu^3}{\rho^3 \epsilon} \right)^{1/4} \cdot 10^6 \quad \text{en } \mu\text{m}$$

Tracez les nouveaux profils de composition sur la section de sortie. Comparez qualitativement les courbes (laminaire – turbulent). Concluez.

Vérifier à nouveaux les bilans matières globaux.

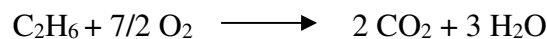
Optionnel :

Dans un deuxième temps, le maillage est adapté à proximité des parois pour réduire la valeur de Y^+ à la première maille à la paroi (menu *Adapt* dans fluent, voir Annexe2). Le calcul est à nouveau exécuté avec la fonction *Enhanced wall treatment*. Relevez alors l'épaisseur de la première maille et comparez avec les valeurs théoriques. Comparez enfin les valeurs obtenues par l'application des fonctions de parois avec cette approche affinée.

Troisième partie - Flamme de combustion – 2D-

-Séance 6-

La combustion de l'éthane (non-pré-mélangée puisque le comburant et le carburant sont bien séparés avant la flamme) est modélisée en considérant une réaction globale en une seule étape :



Cette réaction est définie en termes de coefficients stoechiométriques, d'enthalpies de formation et de cinétique de réaction. Pour ce dernier point, on considèrera que la réaction est extrêmement rapide, et que la vitesse est limitée par le mélangeage turbulent du carburant et du comburant. On utilisera le modèle de “*eddy-dissipation model*” (modèle de dissipation par tourbillons) proposé sous fluent, soit :

Species Transport/Reactions : Volumetric and Eddy-Dissipation

Les vitesses des deux fluides seront conservées égales à :

$$v_{\text{C}_2\text{H}_6} = 60 \text{ m/s} \qquad v_{\text{air}} = 3 \text{ m/s}$$

Pour le calcul de la masse volumique du mélange (*density*), on appliquera l'équation d'état des **gaz parfaits** mais en incompressible.

On prendra une température d'entrée des gaz de 20°C, et les parois adiabatiques.

1) Chaleur spécifique constante

La chaleur spécifique est conservée égale à 1000 J/kg/°C

Etudier les résultats de la simulation. En particulier, la combustion est-elle complète ? Est-ce justifiable ? Quelle est la température maximale atteinte ?

Analytiquement, calculez l'appauvrissement d'air de cette combustion et la température de flamme à partir du bilan enthalpique.

On donne : PCI (Ethane)=47 794 kJ/kg.

Obtenez d'autre part **par la simulation** la température moyenne des gaz brûlés en sortie. Comparez cette valeur obtenue numériquement avec la valeur théorique de la température de flamme.

Calculez aussi la vitesse moyenne des gaz brûlés en sortie. Commentez cette valeur par rapport aux valeurs en entrée.

2) Chaleur spécifique variable

On demande de faire le calcul en considérant maintenant les chaleurs spécifiques dépendantes de la composition et de la température. Dans ce but, on sélectionnera la méthode de loi de mélange "mixing law" que l'on appliquera aux 5 espèces en présence. On appliquera pour chaque espèce une chaleur spécifique dépendante de la température suivant une loi polynomiale.

Calculez à nouveau la vitesse et la température moyenne du gaz brûlé en sortie, et comparez les valeurs avec les résultats précédents.

3) Formation des NOx

Calculez la formation des NOx en prenant uniquement des NOx thermique.
Ce calcul est-il couplé ou non aux autres équations de transport?
Titre moyen des NOx en sortie et flux massique ?

Annexe 1 – Définition de fonctions explicites utilisateur

Ce menu permet, à partir des variables primaires et propriétés physiques, de calculer des variables secondaires locales

A partir du menu principal, sélectionner :

User-Defined / Field Functions/ Custom ...

Définissez votre fonction dans la fenêtre *Custom Field Function Calculator*

Définir la fonction explicite à partir des variables disponibles à sélectionner dans *Field Functions* et avec les opérateurs disponibles sur le clavier :

Par exemple, pour la viscosité dynamique μ :
Properties/molecular viscosity

Donner un nom facile identifiable dans l'affichage : *New function name*

Par exemple : *turb_kolm_microns*

Celle-ci devient disponible ensuite dans le post-processeur graphique comme variable secondaire *Custom Field Function*.

Annexe 2 - Turbulence à proximité des parois – Adaptation du maillage

- Vérifier/ou pas que le calcul utilisant les SWF 'Standard Wall Function' est bien adapté au cas étudié

$$30 < y^+ < 300$$

- Etudier l'utilisation d'un maillage raffiné près de la paroi

Domain/Adapt/Manual

Dans le panneau *Adaptation Controls* ouvrir *Cell Registers/New/Y+*

1) **Fenêtre Yplus/Ystar** – Donnez un nom de registre à vos cellules marquées. Donner la gamme souhaitée en sélectionnant le Y^+ de *min et max Allowed*. Appuyer sur Compute, puis Display/Save (Les cellules marquées sont identifiées).

2) **Fenêtre Adaptation Controls**. Rappeler le registre défini en 1 et qui identifie les cellules marquées. Définir le niveau de raffinement (cellule coupée en 2, 3, 4 etc.).

Puis, sélectionner *Adapt*

Attention le maillage antérieur est définitivement perdu! Il peut être utile de sauvegarder l'ensemble du .cas et .dat avant cette opération.

Vous pouvez visualiser le nouveau maillage.

Puis relancer la simulation de l'écoulement en sélectionnant EWT '*Enhanced Wall Treatment*' dans *Models/viscous/* Faites converger le calcul.

Réitérer la démarche 1-2 jusqu'à atteindre pour la plupart du domaine $y^+ < 5$ (retourner en 1)) Changer le *Refinement level* en fonction du nb d'itérations