

ANALYSE THEORIQUE

1 - LES EQUATIONS DU PROBLEME

Les équations de Navier-Stokes dans l'espace décrivant l'écoulement d'un fluide incompressible avec prise en compte de la flottabilité, de la turbulence (par un modèle k - ε) et d'un terme source volumique modélisant un ventilateur s'écrivent :

$$\underline{V} = (u, v, w)$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial \underline{V}}{\partial t} + (\underline{V} \cdot \underline{\text{grad}}) \underline{V} \right\} = - \text{grad } p + \text{div} [\mu_e \underline{\text{grad}} \underline{V}] + \underline{f}^{\text{vent}} - \rho \beta (T - T_0)$$

$$\text{div } \underline{V} = 0$$

$$\rho C_p \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} + (\underline{V} \cdot \underline{\text{grad}}) T \right\} = \text{div} [\lambda_e \underline{\text{grad}} T] + \phi$$

$$\mu_e = \mu + \mu_t$$

$$\lambda_e = \lambda + \lambda_t$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial k}{\partial t} + (\underline{V} \cdot \underline{\text{grad}}) k \right\} = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \underline{\text{grad}} k \right] + P + G - \rho \varepsilon$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + (\underline{V} \cdot \underline{\text{grad}}) \varepsilon \right\} = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \underline{\text{grad}} \varepsilon \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} [P + (1 - C_{\varepsilon 3}) G] - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

$$P = 2 \mu_t t(\underline{d}, \underline{d})$$

$$G = \beta \frac{\lambda_t}{C_p} \underline{g} \cdot \underline{\text{grad}} T$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Où \underline{V} représente la vitesse, p la pression, ρ la densité, T la température, μ_e la viscosité effective de l'écoulement turbulent, λ_e la conductivité thermique effective, k l'énergie cinétique turbulente et ε son taux de dissipation. Les constantes du modèle k - ε ont les valeurs classiques. Enfin $\underline{f}^{\text{vent}}$ représente la force volumique motrice due à la présence de ventilateur.

Ces équations sont résolues dans le logiciel N3S à l'aide d'une méthode à pas fractionnaires. La partie convective pure du problème est actuellement traitée par la méthode des caractéristiques fortes, suivie du problème de Stokes (étape de diffusion - pression - continuité) résolu par une méthode d'Uzawa ou de Chorin. Le terme source dû à la présence du ventilateur sera traité quant à lui, dans l'étape de diffusion de manière explicite.

2 - MODELISATION MATHEMATIQUE D'UN VENTILATEUR

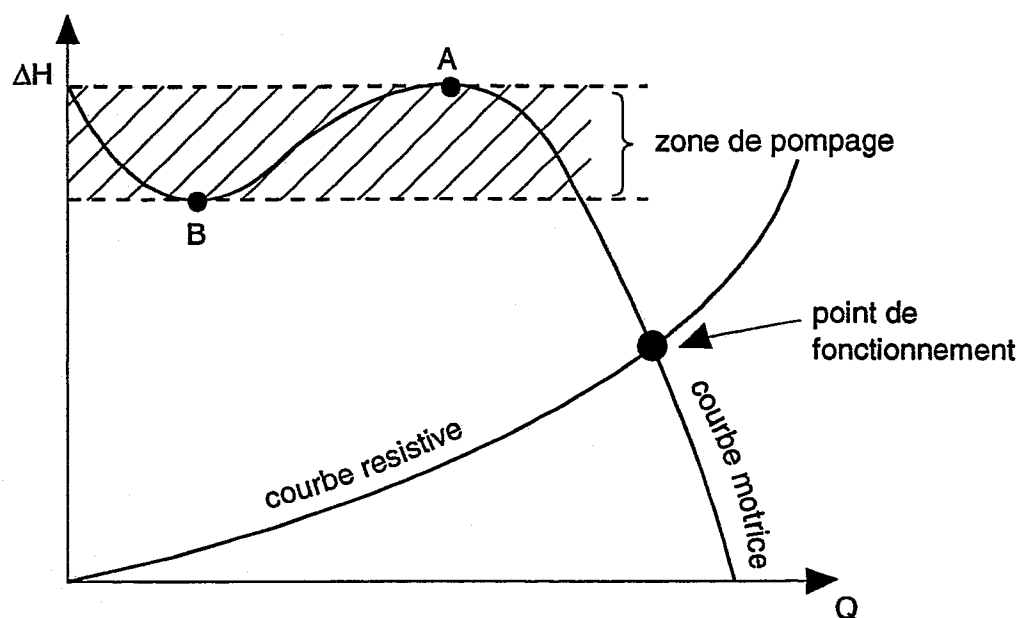
Pour simplifier le problème, et en première approximation, l'hélice n'intervient pas physiquement mais est représentée par un champ de force qui doit simuler les principales caractéristiques d'un propulseur : des accélérations axiales et circonférentielles (dus à la rotation dans un sens donné du ventilateur). Ces caractéristiques sont données via une courbe de fonctionnement $\Delta H = f(Q)$ où ΔH représente le différentiel de pression entre l'amont et l'aval du ventilateur et Q le débit traversant le ventilateur.

Il existe trois types de ventilateur :

- les ventilateurs axiaux (ou hélicoïdes) caractérisés par le fait que les lignes de courant restent à une distance quasi constante de l'axe de rotation pendant que l'on traverse la machine,
- les ventilateurs centrifuges, caractérisés en ce que les lignes de courant entrent parallèlement à l'axe, s'en écartent en s'incurvant progressivement dans la machine et en sortent perpendiculairement à l'axe,
- les ventilateurs hélico-centrifuges, caractérisés en ce que les lignes de courant sortent obliquement à l'axe.

Dans la suite, on ne considérera que les ventilateurs de la première catégorie puisque ce sont de très loin les plus utilisés dans les réfrigérants atmosphériques secs ou humides.

En général, la courbe caractéristique d'un de ces ventilateurs (à vitesse de rotation ω fixée) n'est pas monotone. Elle peut présenter un maximum A et un minimum B délimitant une zone de chute de débit pour une baisse de pression. Le fonctionnement dans cette zone peut entraîner un pompage et des instabilités préjudiciables à la tenue des pales, du moyeu, voire du moteur lui-même.

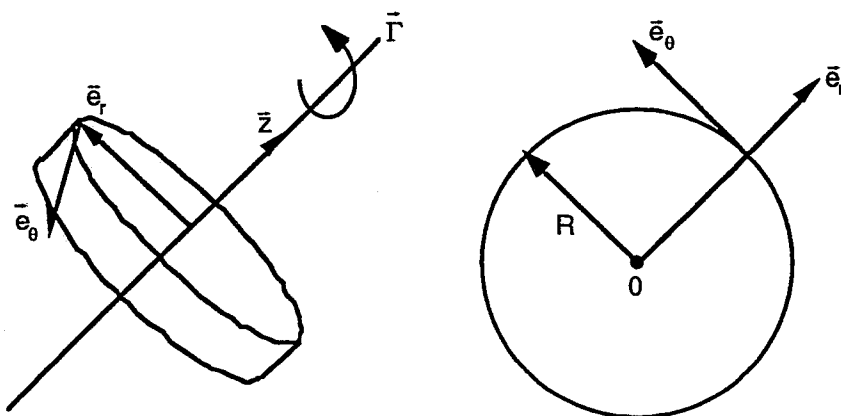


A priori, le point de fonctionnement se trouve dans une zone régulière et monotone de la courbe caractéristique. Par des arguments numériques, on pourra être amené à modifier cette courbe de fonctionnement en dehors de la zone de fonctionnement présumée du ventilateur afin d'améliorer la stabilité et les propriétés de convergence du code (... on se borne à calculer un état stationnaire).

De manière générale, le ventilateur sera modélisé par un champ de force localisé dans un disque de rayon R et d'épaisseur e approximativement égal à l'épaisseur physique du dispositif.

On supposera aussi que le champ de force possède des densités volumiques rationnellement symétriques (dans l'hypothèse d'un ventilateur axial...). Autrement dit, si $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$ est un repère cylindrique lié au ventilateur de rayon R , le champ de force global sera de la forme :

$$\vec{F} = (F_r = 0; F_\theta = 0; F_z)$$



Les densités de force volumiques associées seront telles que :

$$\begin{cases} F_z = \iiint_V f_z(r) dv \\ F_\theta = \iiint_V f_\theta(r) dv = 0 \\ F_r = \iiint_V f_r(r) dv = 0 \end{cases}$$

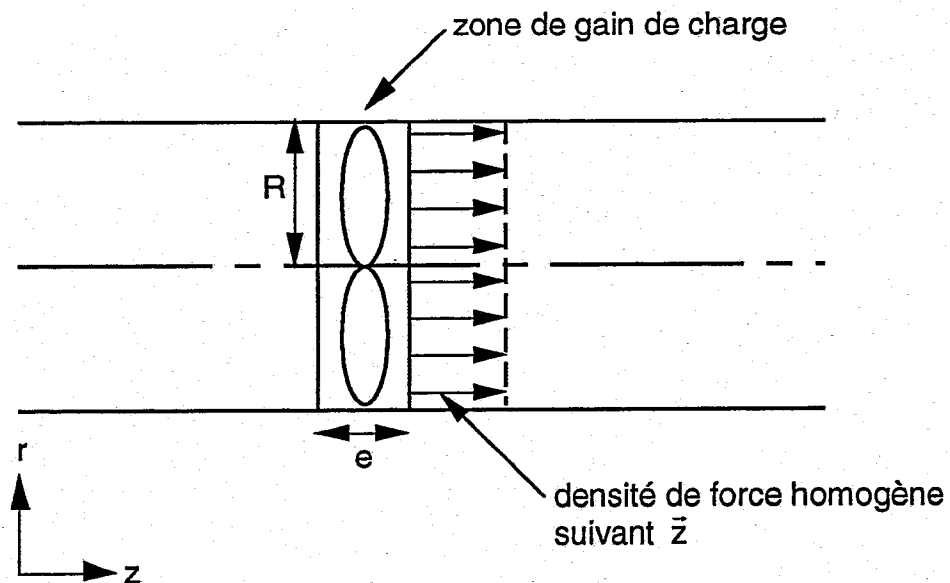
avec v le volume du ventilateur et r la distance d'un point du ventilateur à son axe.

(NB : $F_\theta = 0$ pour des raisons évidentes de symétrie et $F_r = 0$ puisque $f_r(r) = 0$.)

2.1 - Modélisation unidimensionnelle

Dans le cas d'une modélisation monodimensionnelle, on suppose que :

$$F_z = \iiint_V f_z(r) dv \text{ avec } f_z(r) = \text{constante}$$



On aura donc la densité de force constante :

$$f_z = \frac{F_z}{v} \text{ avec } v \text{ le volume du ventilateur}$$

• Dans le cas d'un calcul 2D :

$$v = 2 R e \text{ (ici } v \text{ est une surface)}$$

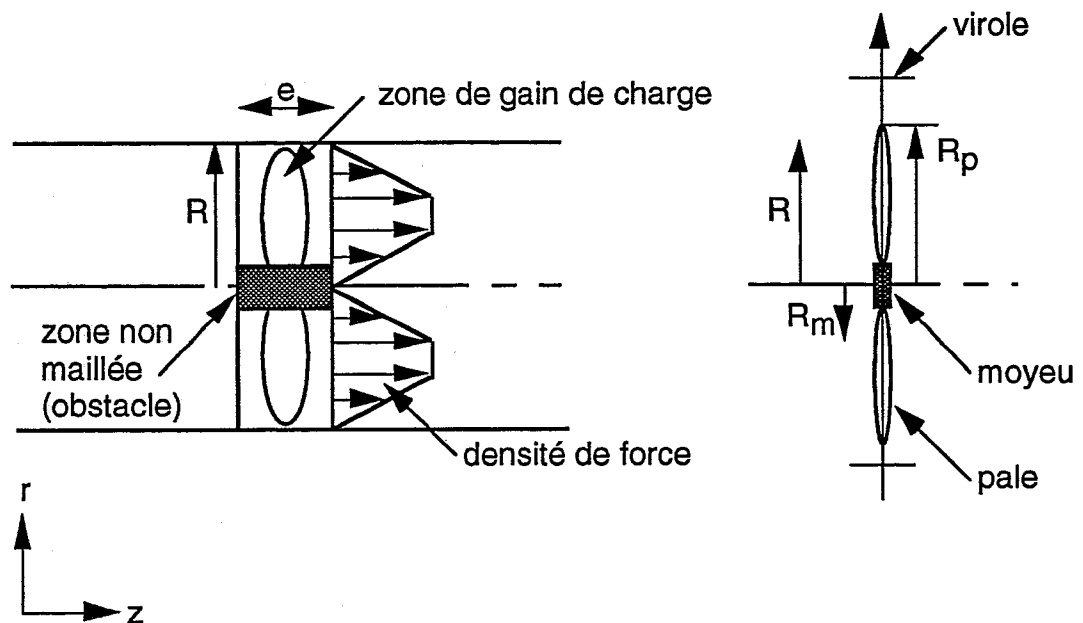
- Dans le cas d'un calcul 3 D :

$$v = \pi R^2 e$$

2.2 - Modélisation bidimensionnelle

Dans le cas d'une modélisation 2 D, on suppose que :

$$F_z = \iiint_V f_z(r) dv \text{ avec } f_z(r) = \text{fonction de } r$$

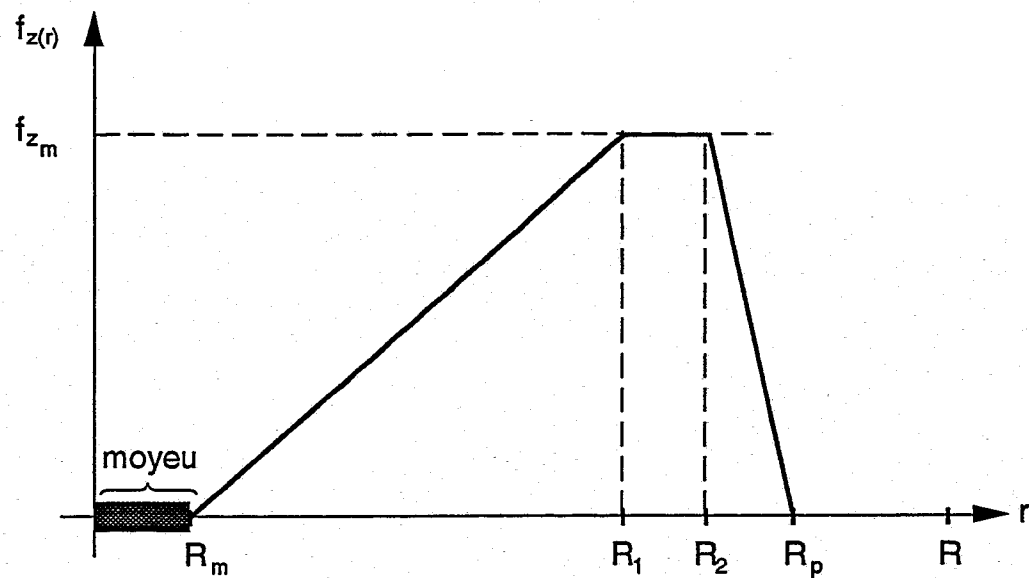


On suppose maintenant que le ventilateur est pourvu d'un moyeu de rayon R_m . Les pales de l'hélice seront telles que $R_m < r < R_p$ (on rappelle que r est la distance d'un point du ventilateur à son axe).

La distribution de la densité de force axiale dans la direction radiale dépend des caractéristiques du ventilateur (forme des pales, vrillage, nombre de pales, etc.). Plusieurs types de distribution sont proposés dans la littérature (cf. par exemple [4] - [5]). De forme plus ou moins régulière, ils ont pour point commun de présenter un maximum au trois quart du rayon des pales. Cette caractéristique découle d'observations expérimentales sur les ventilateurs axiaux [4].

Nous avons choisi, pour notre part, une fonction de distribution linéaire par morceaux (distribution la plus simple et cohérente avec la discrétisation éléments finis adoptée).

Elle a l'allure suivante :



avec :

$$\begin{cases} f_z(r) = 0 & \text{si } r \in [0, R_m] \\ f_z(r) = f_{zm} \frac{(r - R_m)}{(R_1 - R_m)} & \text{si } r \in [R_m, R_1] \\ f_z(r) = f_{zm} & \text{si } r \in [R_1, R_2] \\ f_z(r) = f_{zm} \frac{(R_p - r)}{(R_p - R_2)} & \text{si } r \in [R_2, R_p] \\ f_z(r) = 0 & \text{si } r > R_p \end{cases}$$

$$\text{et } \begin{cases} R_1 = 0,7 R_p \\ R_2 = 0,85 R_p \end{cases}$$

Il reste maintenant à exprimer f_{zm} en fonction de la force globale F_z supposée connue (via la courbe caractéristique du ventilateur).

• **Dans le cas d'un calcul 2 D :**

On intègre la densité de force sur l'épaisseur du ventilateur et sur la largeur de celui-ci (i.e. $-R \leq r \leq R$).

On aura :

$$F_z = \int_0^e \int_{-R}^R f_z(r) dr dz = 2 \left\{ \int_{R_m}^{R_1} f_z(r) e dr + \int_{R_1}^{R_2} f_z(r) e dr + \int_{R_2}^{R_p} f_z(r) e dr \right\}$$

Soit tous calculs faits :

$$f_{zm} = \frac{F_z}{e(1,15 R_p - R_m)}$$

• Dans le cas d'un calcul 3D :

On intègre la densité de force sur l'épaisseur du ventilateur et sur la surface de celui-ci (i.e. $0 \leq r \leq R$ et $0 \leq \theta \leq 2\pi$).

On aura :

$$F_z = \int_0^e \int_0^{2\pi} \int_0^R f_z(r) r dr d\theta dz = 2\pi e \left\{ \int_{R_m}^{R_1} f_z(r) r dr + \int_{R_1}^{R_2} f_z(r) r dr + \int_{R_2}^{R_p} f_z(r) r dr \right\}$$

Ce qui donne finalement :

$$f_{zm} = \frac{(0,7 R_p - R_m) F_z}{1,047 e (R_m^3 + 1,456 R_p^3 - 2,57 R_p^2 R_m)}$$

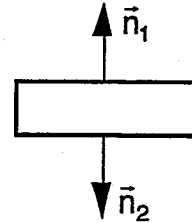
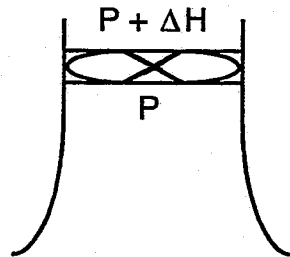
Remarque :

On a vu que pour connaître la valeur de f_{zm} , on doit connaître la force axiale globale $\vec{F} = F_z \vec{z}$. Or on ne connaît pas F_z directement ; seul est fournit une courbe de fonctionnement :

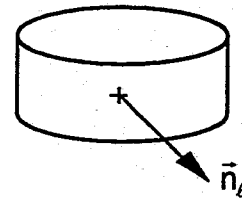
$$\Delta H = f(Q_{\text{moyen}})$$

On déterminera alors F_z par relation

$$\vec{F} = \int_{\text{contour ventilateur}} \vec{P} \cdot \vec{n} dS = \int_{S_1} \vec{P} \cdot \vec{n}_1 dS_1 + \int_{S_2} \vec{P} \cdot \vec{n}_2 dS_2 + \int_{S_\ell} \vec{P} \cdot \vec{n}_\ell dS_\ell$$



où $\begin{cases} S_1 : \text{surface supérieure du ventilateur} \\ S_2 : \text{surface inférieure du ventilateur} \\ S_\ell : \text{surface du bord du ventilateur} \end{cases}$



On suppose la pression constante sur les faces S_1 et S_2 , on néglige les effets de gravité et les variations de pression dans l'épaisseur du ventilateur.

L'expression précédente devient alors $F_z = \Delta H \cdot S = f(Q_{\text{moyen}}) \cdot S$ où Q_{moyen} est le débit moyen traversant le ventilateur.

Le débit moyen traversant le ventilateur sera défini tel que :

- dans le cas d'un calcul 2D :

$$Q_{\text{moyen}} = \frac{1}{e} \int_0^e \int_{-R}^R \vec{U} \cdot \vec{z} dr dz$$

- dans le cas d'un calcul 3D :

$$Q_{\text{moyen}} = \frac{1}{e} \int_0^e \int_0^{2\pi} \int_0^R \vec{U} \cdot \vec{z} r dr d\theta dz$$

2.3 - Modélisation tridimensionnelle

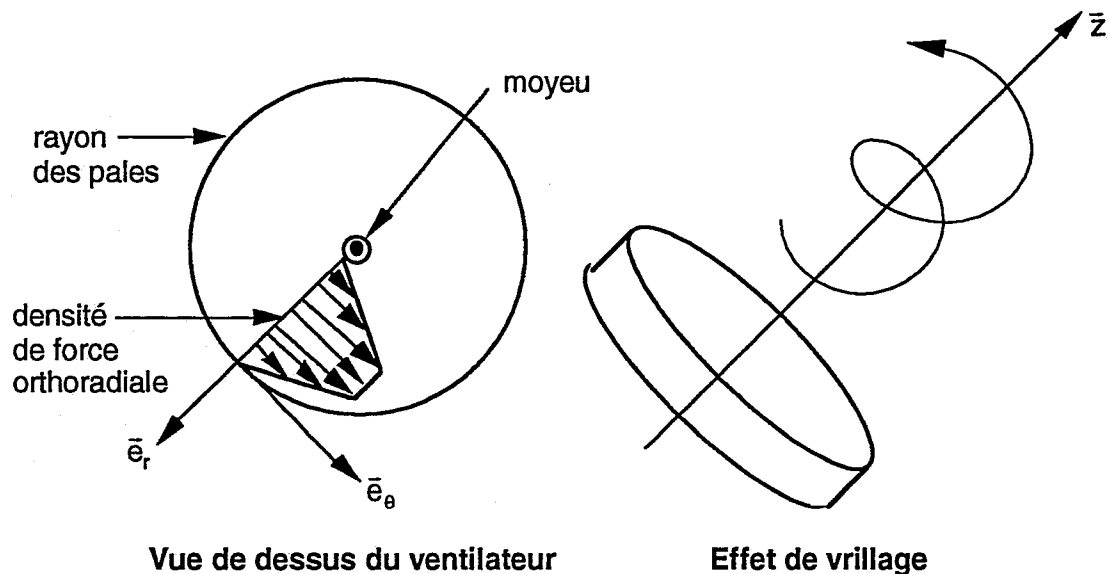
Le cas d'une modélisation tridimensionnelle du ventilateur ne peut être envisagé que dans le cas d'un calcul tridimensionnel.

En ce qui concerne la densité de force axiale, on utilise le même type de modélisation que dans le cas bidimensionnel.

On introduit en plus un couple $\vec{\Gamma} = \Gamma_z \vec{z}$ tel que :

$$\Gamma_z = \iiint_V r f_\theta(r) dv$$

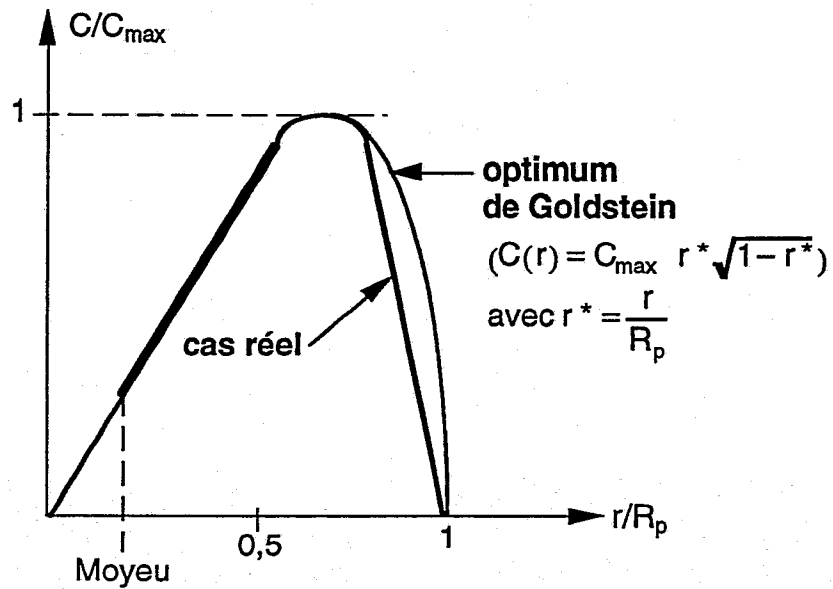
On doit donc prendre en compte une densité de force orthoradiale introduisant un effet de vrillage sur l'écoulement.



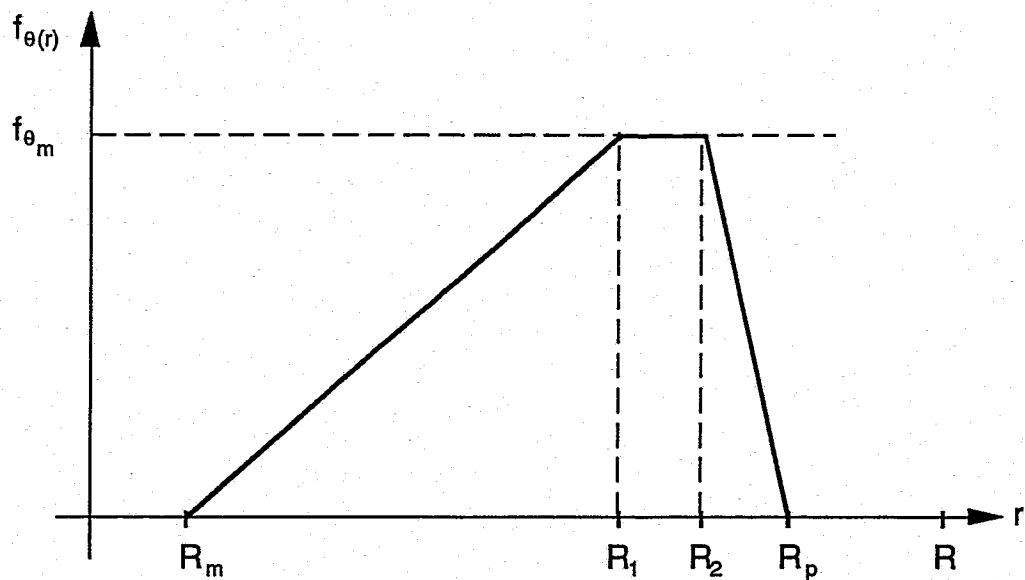
Si $\Gamma_z > 0$, on aura un vrillage dans le sens direct (rotation dans le sens direct).

Si $\Gamma_z < 0$, on aura un vrillage dans le sens des aiguilles d'une montre (rotation dans le sens inverse).

La circulation $C(r)$ sur les pales d'un ventilateur est classiquement maximale aux environs de $r = 0,7 R_p$ et est nulle aux extrémités (cf. [3] - [4]).



En accord avec les hypothèses simplificatrices de D. Pelletier (cf. [5]) nous allons considérer une répartition de la force orthoradiale équivalente à celle de la force axiale comme suit :



Il serait très aisé de remplacer cette courbe par une autre comme nous le verrons dans le guide informatique.

$$\text{avec } \begin{cases} f_{\theta}(r) = 0 & \text{si } r \in [0, R_p] \\ f_{\theta}(r) = f_{\theta m} \frac{(r - R_m)}{(R_1 - R_m)} & \text{si } r \in [R_p, R_1] \\ f_{\theta}(r) = f_{\theta m} & \text{si } r \in [R_1, R_2] \\ f_{\theta}(r) = f_{\theta m} \frac{(R_p - r)}{(R_p - R_2)} & \text{si } r \in [R_2, R_p] \\ f_{\theta}(r) = 0 & \text{si } r > R_p \end{cases}$$

$$\text{et toujours } \begin{cases} R_1 = 0,7 R_p \\ R_2 = 0,85 R_p \end{cases}$$

Il reste maintenant à exprimer $f_{\theta m}$ en fonction de Γ_z supposé connu (et constant).

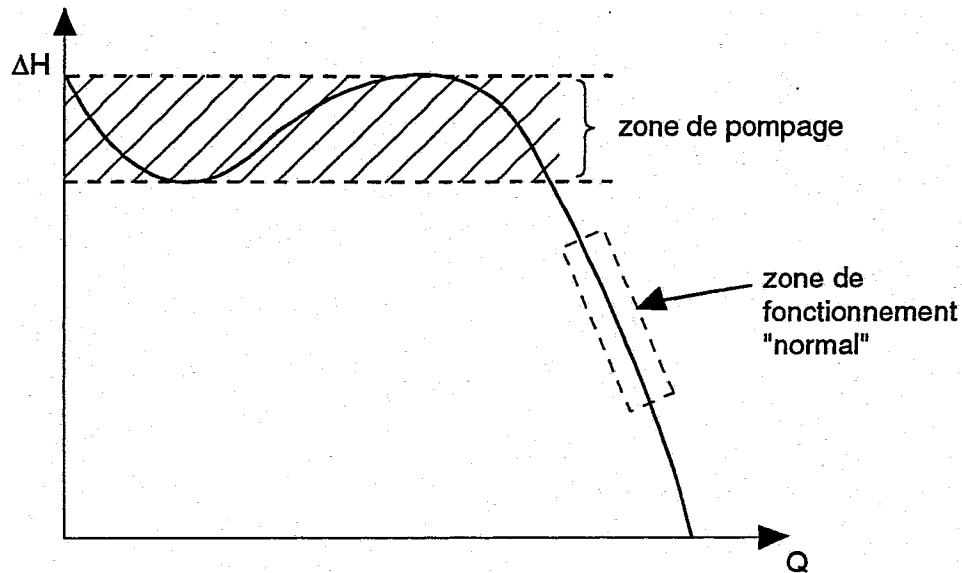
$$\Gamma_z = \int_0^{\theta} \int_0^R \int_0^{2\pi} f_{\theta}(r) r^2 d\theta . dr . dz = 2\pi e \left\{ \int_{R_p}^{R_1} f_{\theta}(r) r^2 dr + \int_{R_1}^{R_2} f_{\theta}(r) r^2 dr + \int_{R_2}^{R_p} f_{\theta}(r) r^2 dr \right\}$$

ce qui donne *in fine* :

$$f_{\theta m} = \frac{(0,7 R_p - R_m) \Gamma_z}{e (1,042 R_p^4 + 0.523 R_m^4 - 1.667 R_p^3 R_m)}$$

3 - COURBES CARACTERISTIQUES

On a déjà vu que les courbes de fonctionnement types d'un ventilateur axial avait l'allure suivante :



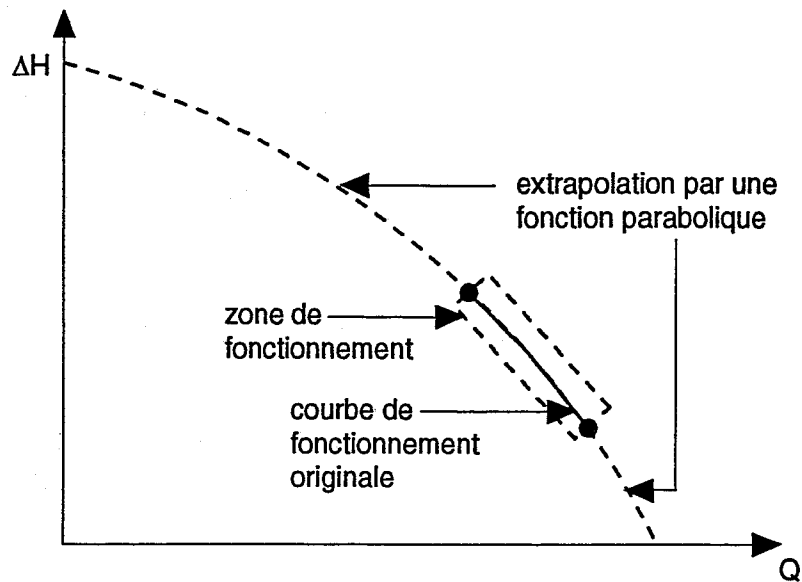
Courbe caractéristique type

La donnée d'une telle courbe de fonctionnement n'est intéressante que dans la zone de fonctionnement "normal" qui est supposée régulière.

En effet, on ne s'intéresse ici qu'au cas stationnaire (s'il en existe un !).

On peut donc se permettre de modifier cette courbe à volonté en dehors de cette zone de fonctionnement.

En pratique, on part presque toujours d'un état au repos. On parcourra donc la courbe de fonctionnement dans le sens des débits Q croissant à partir de zéro. Le passage par une éventuelle zone de pompage peut être néfaste pour la convergence globale des équations de Navier-Stokes. On aura alors intérêt à remplacer la courbe originale par la courbe extrapolée suivante (par exemple).



4 - TRAITEMENT NUMERIQUE

On connaît l'expression de la densité de force volumique dans le repère local du ventilateur.

$$\begin{cases} \vec{f} = (f_r = 0; f_z) \text{ en 2 D} \\ \vec{f} = (f_r = 0; f_\theta; f_z) \text{ en 3 D} \end{cases}$$

Afin de pouvoir intégrer ce champ de force volumique en terme source de l'étape de diffusion des équations de quantité de mouvement, on doit exprimer \vec{f} dans le repère de référence de N3S (cf. Annexe 3).

En 2 D on aura :

$$\vec{f} = \begin{cases} P_{11} f_z(r) \\ P_{12} f_z(r) \end{cases}$$

et en 3 D :

$$\vec{f} = \begin{cases} P_{21} f_\theta(r) + P_{31} f_z(r) \\ P_{22} f_\theta(r) + P_{32} f_z(r) \\ P_{23} f_\theta(r) + P_{33} f_z(r) \end{cases}$$

Ce terme source étant un terme de gain de quantité de mouvement (i.e. positif), on choisit de l'explicitier.

• **Formulation variationnelle :**

On aura pour chaque nœud i (nœud P2) la contribution suivante :

$$\vec{b}_i^n = \sum_{j=1}^{NBVTL} \int_{\Omega_j} \bar{f} \left(\left\| \vec{C}_j \cdot \vec{M} \right\|, t^n \right) \varphi_i d\Omega$$

ou φ_i sont les fonctions de base ISOP2, Ω_j le volume du ventilateur j , $\left\| \vec{C}_j \cdot \vec{M} \right\|$ la distance à l'axe d'un point du ventilateur j , ce qui s'écrit aussi :

$$\vec{b}_i^n = \sum_{j=1}^{NBVTL} \left[\sum_{k=1}^{NELEM} \int_{\Omega_j^k} \bar{f} \left(\left\| \vec{C}_j \cdot \vec{M} \right\|, t^n \right) \varphi_i d\Omega \right]$$

avec Ω_j^k le volume d'un élément k appartenant au ventilateur j .

\bar{f} est maintenant supposée **constante par élément** :

Pour chaque ventilateur j et pour chaque élément k , on aura

$$\forall M \in \Omega_j^k : f \left(\left\| \vec{C}_j \cdot \vec{M} \right\|, t^n \right) = f \left(\left\| \vec{C}_j \cdot \vec{M}_k \right\|, t^n \right)$$

où $M_k \equiv$ barycentre de l'élément k .

Finalement, on aura

$$\vec{b}_i^n = \sum_{j=1}^{NBVTL} \left[\sum_{k=1}^{NELEM} \bar{f} \left(\left\| \vec{C}_j \cdot \vec{M}_k \right\|, t^n \right) \int_{\Omega_j^k} \varphi_i d\Omega \right]$$

5 - REFERENCE

- [1] RAZAFINDRAKOTO. E*
Projet N3S de mécanique des fluides
Spécifications informatiques et algorithmiques d'un modèle de pertes de charge et de porosité dans la version 3.1.
Rapport (NE-41/92.42)
- [2] RAZAFINDRAKOTO. E*
Projet simulation tridimensionnelle des aéroréfrigérants
Spécifications théoriques du code 3 D aéroréfrigérants.
- [3] GOLDSTEIN S.
"On the vortex theory of screw propellers" Proc. Roy. Soc. London, A - Vol. 123
p. 440 [1929].
- [4] QUEUTEY P.
"Résolution des équations de Navier-Stokes tridimensionnelles. Application au calcul sur des corps en incidence". Thèse ENSM, 1989.
- [5] PELLETIER, SCHETZ
"Finite Element Navier Stokes Calculation of three-dimensional Turbulent Flow Near a propeller".
AIAA journal - Vol. 24-N° 9 [1986].
- [6] SCHETZ, FAVIN
"Numerical solution of a body-Propeller Combination Flow Including Swirl and Comparisons with Data".
J. HYDRONAUTICS - Vol. 13- N° 2 [1978].
- [7] PELLETIER, GARON, CAMARERO
"Finite Element method for computing Turbulent Propeller Flow".
AIAA Journal - Vol. 29.1 p. 68-75 [1991].
- [8] SCHETZ, THOMAS
"Three-dimensional Finite Element Method Analysis of Turbulent Flow over Self Propelled Slender Bodier".
J. PROPULSION - Vol. 7-N° 2 [1991]
- [9] LIONEL CAUDRON
"Les réfrigérants atmosphériques industriels"
Collection DER - EDF - Edition Eyrolles.

GUIDE UTILISATEUR

SOMMAIRE

1 - GENERALITES.....	3
2 - LES MOTS CLES.....	4
3 - DEFINITION D'UN VENTILATEUR.....	5
3.1 - Maillage.....	5
3.2 - Caractéristiques géométriques.....	8
3.3 - Courbes caractéristiques.....	9
4 - LES CONDITIONS LIMITES.....	9
5 - CONSEILS D'UTILISATION.....	10

1 - GENERALITES

- Le module "ventilateur" permet de simuler l'effet d'un ou plusieurs ventilateurs sur l'écoulement. L'effet du ventilateur est modélisé par un terme source dans l'équation de quantité de mouvement puisqu'une prise en compte plus fine (avec maillage des pales et déplacement de celles-ci) ne paraît pas nécessaire et alourdirait, par contre, très sensiblement la mise en oeuvre et le calcul.
- Les ventilateurs considérés ici sont supposés axiaux et de forme cylindrique, de rayon R et d'épaisseur e .
- Le module "ventilateur" ne fonctionne qu'en 2 D et 3 D cartésien. Un calcul 2 D axisymétrique n'est donc pas permis. On devra de plus utiliser une discrétisation P1-iso P2.
- La prise en compte d'un ventilateur pour un calcul avec N3S demande une intervention de l'utilisateur à deux niveaux :
 - **au niveau du maillage** : on maille l'enveloppe géométrique du ventilateur, à savoir :
 - . dans le cas d'un calcul 2 D : un rectangle d'épaisseur e et de longueur $2 R$,
 - . dans le cas d'un calcul 3 D : un cylindre de rayon R et d'épaisseur e .

On affecte à la zone maillée ainsi définie, une couleur d'élément spécifique au numéro du ventilateur considéré.

→ **au niveau de N3S :**

- . on ajoute deux mots clés spécifiques, soit directement dans le fichier des mots clés, soit par l'intermédiaire de PREN3S. Ces deux mots clés spécifient pour l'un, le déclenchement de la prise en compte du ou des ventilateurs et pour l'autre, le nombre de ventilateurs considérés.
- . on donne, via deux sous-programmes utilisateur :
 - les caractéristiques géométriques de chaque ventilateur (dimensions, orientation, etc.),
 - la courbe de fonctionnement de chaque ventilateur.

2 - LES MOTS CLES

Si on veut simuler la présence d'un ou de plusieurs ventilateurs, deux mots clés doivent être ajoutés dans le fichier des mots clés DATAMC :

- PRISE EN COMPTE D'UN VENTILATEUR,
- NOMBRE DE VENTILATEURS.

PRISE EN COMPTE D'UN VENTILATEUR = (une valeur entière)

0 → pas de prise en compte du ou des ventilateurs (valeur par défaut).

1 → prise en compte des ventilateurs : modélisation 1 D.

2 → prise en compte des ventilateurs : modélisation 2 D.

3 → prise en compte des ventilateurs : modélisation 3 D.

 La valeur 3 n'est permise que dans le cas d'un calcul tridimensionnel.

NOMBRE DE VENTILATEURS = (une valeur entière)

Valeur par défaut = 0.

Indique le nombre de ventilateurs à prendre en compte.

 Le nombre maximum de ventilateurs que l'on peut prendre en compte simultanément est fixé à 100.

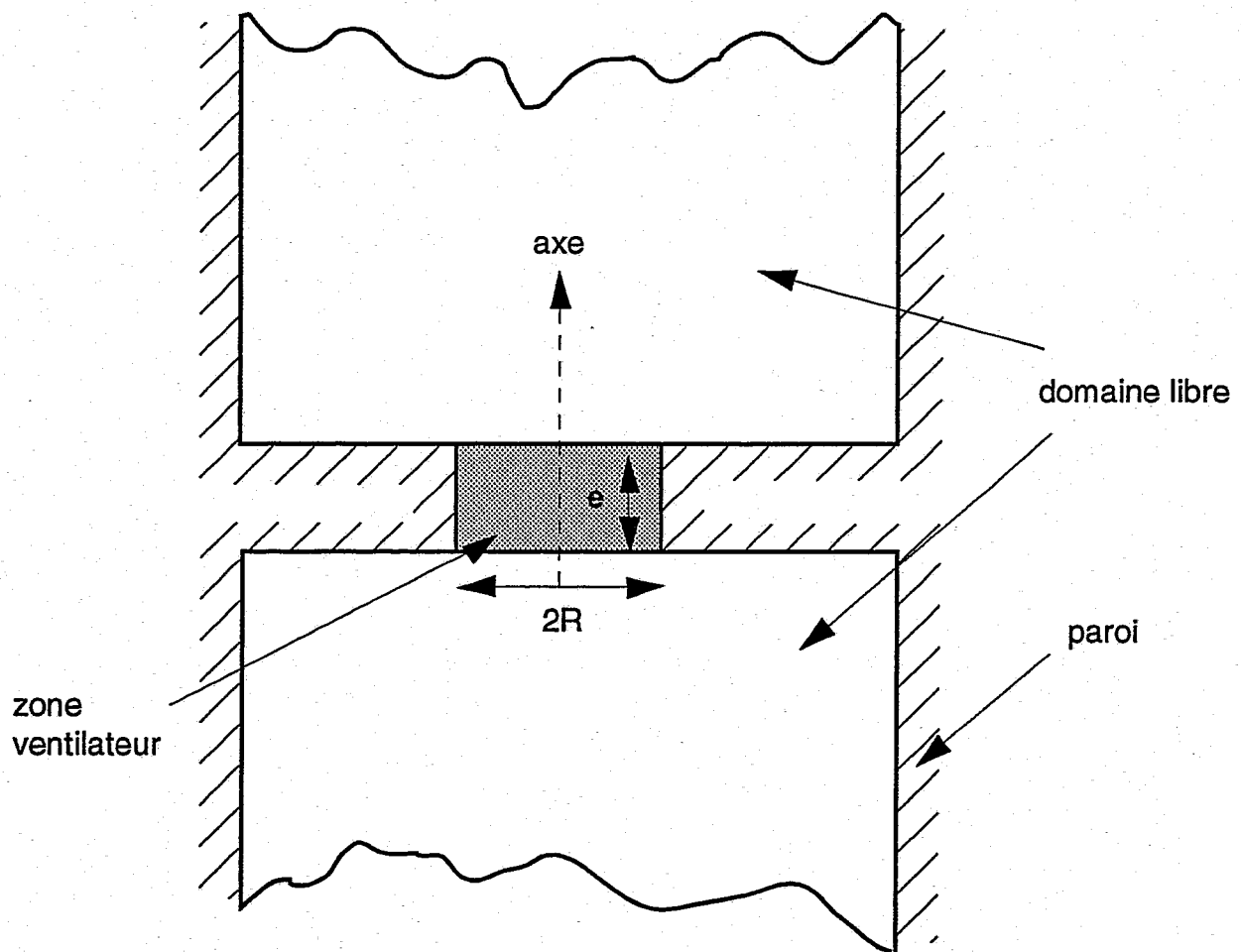
3 - DEFINITION D'UN VENTILATEUR

Outre les deux mots clés précédents à adjoindre au fichier DATAMC, l'utilisateur doit intervenir au niveau de la description du maillage et des sous-routines utilisateur spécifiques mises à sa disposition.

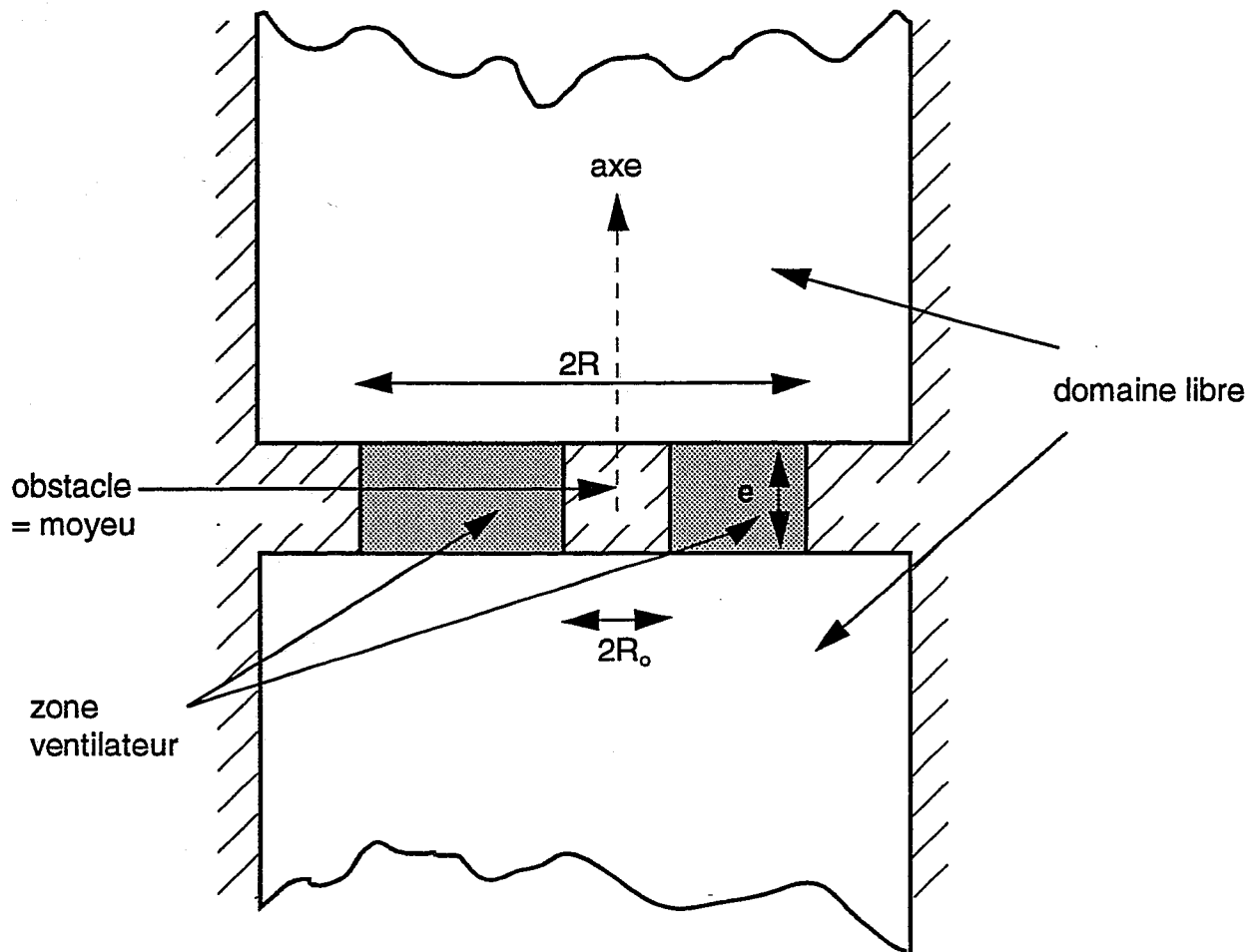
3.1 - Maillage

Lorsqu'on définit le maillage, on doit penser à définir la ou les "zones" ventilateur. Concrètement, dans le cas d'un maillage bidimensionnel, on définira pour un ventilateur donné, un sous-domaine rectangulaire de longueur $2R$ et d'épaisseur e .

→ Pour une modélisation 1 D du ventilateur...



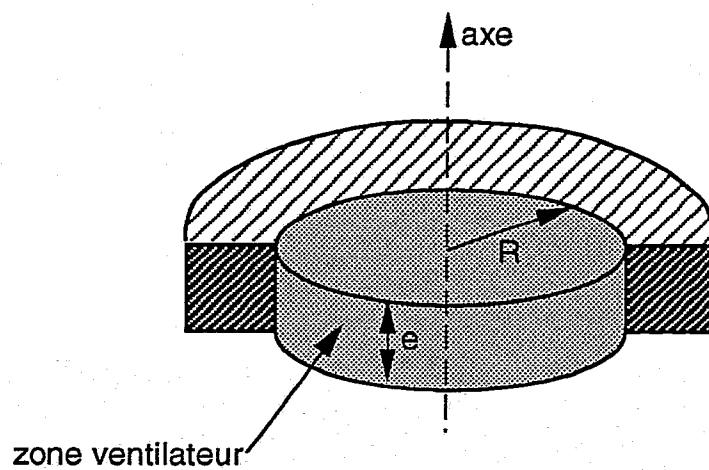
→ Pour une modélisation 2 D du ventilateur



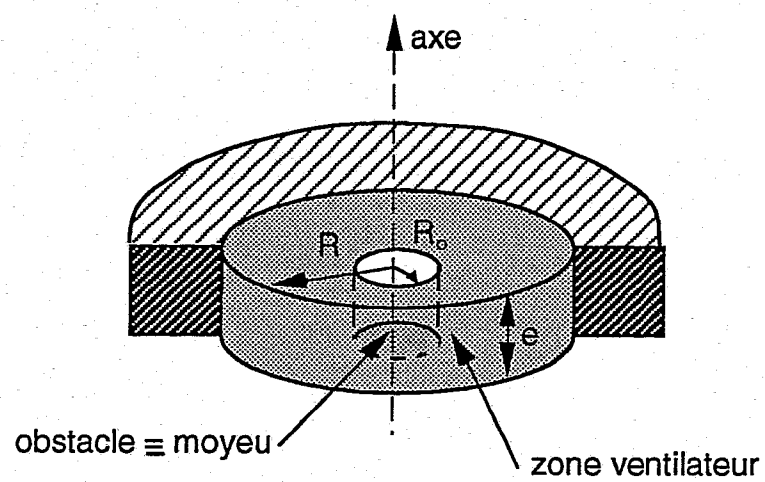
Dans ce cas, le moyeu du ventilateur est représenté par un obstacle rectangulaire placé sur l'axe du ventilateur.

Dans le cas d'un maillage bidimensionnel, on définira pour un ventilateur donné, un sous-domaine cylindrique de rayon R et d'épaisseur e .

→ Pour une modélisation 1 D



→ Pour une modélisation 2 D ou 3 D



3.2 - Caractéristiques géométriques

Les caractéristiques relatives à la géométrie du ou des ventilateurs doivent être renseignées via la subroutine utilisateur USINIV.

Pour chaque ventilateur i, on donne :

- la couleur d'élément associée au ventilateur i :

on donne ICOLVT(i) = (numéro de couleur)

- les coordonnées d'un point de l'axe du ventilateur. Ces coordonnées ne sont utiles que pour une modélisation bi ou tridimensionnelle du ventilateur :

En 2 D, on donnera : $\begin{cases} XYZVT(i, 1) = (\text{abscisse d'un point de l'axe}), \\ XYZVT(i, 2) = (\text{ordonnée d'un point de l'axe}), \end{cases}$

En 3 D, on donnera : $\begin{cases} XYZVT(i, 1) = (\text{abscisse d'un point de l'axe}), \\ XYZVT(i, 2) = (\text{ordonnée d'un point de l'axe}), \\ XYZVT(i, 3) = (\text{cote d'un point de l'axe}), \end{cases}$

- les angles donnant l'orientation du ventilateur dans le repère cartésien de N3S. En 2 D, seul l'angle θ sera utilisé alors qu'en 3 D, deux angles θ et φ seront nécessaires (cf. annexe 1 pour la définition des angles).

Concrètement, on donnera :

. en 2 D : TETAVT(i) = (angle θ),

. en 3 D : TETAVT(i) = (angle θ),
PHIVT(i) = (angle φ),

- le rayon du ventilateur RVVT(i). Ce rayon doit correspondre avec le rayon du ventilateur i sur le maillage.
- l'épaisseur du ventilateur EPAIVT(i). Cette épaisseur doit correspondre avec l'épaisseur e du ventilateur i sur le maillage.
- le rayon des pales RPVT(i). Cette information permet de modéliser un ventilateur dont le rayon de la virole vaut RVVT(i) et le rayon des pales RPVT(i) (on peut avoir éventuellement $RPVT(i) < RVVT(i)$ lorsqu'il y a un jeu).
- le rayon du moyeu RMVT(i). Cette information n'est utilisée que pour les modélisations 2 D et 3 D. La valeur donnée doit en outre correspondre avec les dimensions du moyeu dans le maillage.
- le couple axial TAUVT(i). Cette information, utilisée seulement dans le cas 3 D permet de définir le couple axial pour une vitesse de rotation donnée.

3.3 - Courbes caractéristiques

Les courbes caractéristiques du ou des ventilateurs doivent être renseignées via la fonction utilisateur USDHVT. On donne la fonction f telle que $\Delta H = f(Q)$ où ΔH représente le "gain en pression" au passage du ventilateur (exprimé en Pascal) et Q , le débit moyen le traversant (m^2/s en 2 D, m^3/s en 3 D).

Les courbes caractéristiques doivent être données sous forme analytique éventuellement par morceaux.

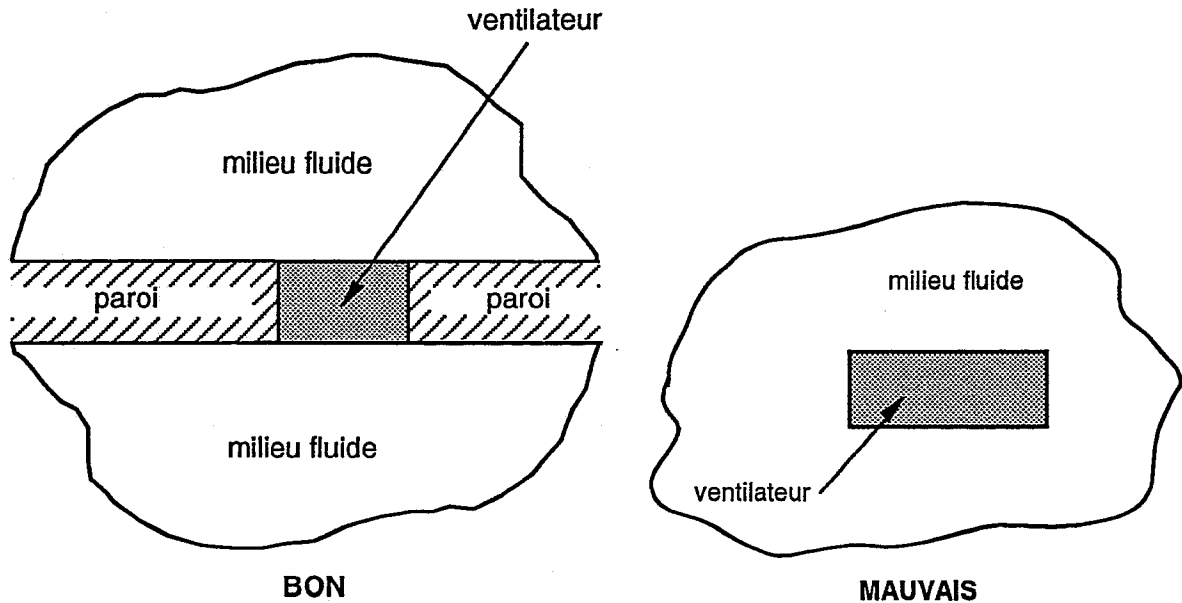
Si on ne dispose que de données par points, on devra prévoir un utilitaire d'interpolation (interne ou externe) afin de restituer la courbe sous forme analytique.

4 - LES CONDITIONS LIMITES

Lorsqu'il ne s'agira pas d'entrée d'air à débit imposé, on placera des conditions limites "Neumann sur la vitesse" (les frontières fluides entrantes et sortantes sont traitées sans distinction).

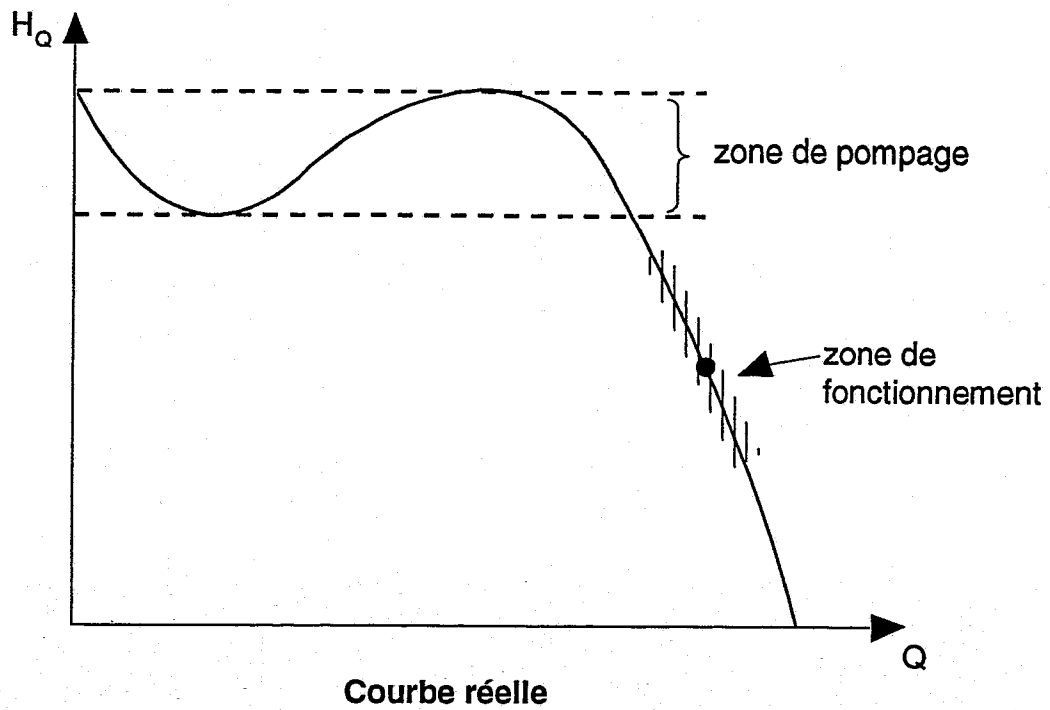
5 - CONSEILS D'UTILISATION

- Bien que la possibilité de placer un ventilateur de manière quelconque dans le domaine de calcul soit offerte, on prendra garde d'entourer celui-ci d'une paroi. En effet, dans les aéroréfrigérants, les ventilateurs sont toujours munis d'une virole assurant un rendement optimal.



- En ce qui concerne le maillage, il est possible de subdiviser l'épaisseur de la zone définissant le ventilateur, en autant d'élément que l'on veut. Par souci d'économie, et parce qu'il s'agit d'une zone modélisée, on se contentera de ne placer qu'un seul élément dans cette épaisseur, les tests numériques n'ayant pas montré de gain notable avec une discrétisation plus fine. On devra, par contre, veiller à placer un nombre d'éléments suffisant dans la direction radiale du ventilateur. Dans le cas d'une modélisation 2 D ou 3 D, il faut avoir assez d'éléments pour décrire correctement la fonction de densité de force.
- Enfin, au niveau des courbes de fonctionnement, on cherchera autant que possible, à avoir une fonction monotone. En pratique, la courbe de fonctionnement est toujours monotone au voisinage du point de fonctionnement mais elle peut ne pas l'être, loin de celui-ci (zone de pompage...). Etant donné que l'on s'intéresse exclusivement à l'état stationnaire, on pourra avantageusement extrapoler la courbe de fonctionnement réelle par une autre courbe dans les zones externes à la zone de fonctionnement. Le saut de pression étant défini de part et d'autre des pales du ventilateur, on devra prendre garde à utiliser des courbes de fonctionnement cohérentes avec cette convention (certaines courbes caractéristiques englobent les effets des viroles et des diffuseurs éventuellement associés).

Exemple :



remplacé par :

