

N/Réf : 2004/661/NC/GPIN/RPEC

Etude d'un nouveau bac de tremp par simulation numérique d'écoulement

N° : 765250/6G1/a

Date : 24 septembre 2004 Note de Calcul

Destinataire (s) : Monsieur LEFLAO Vincent
 SERTHEL SA
 24 avenue Louis Pasteur
 BP 35
 77412 CLAYE SOUILLY CEDEX

Réf. de la demande :

Commande n°04-21090-20153

Eléments remis par le demandeur :

Plans 2D au format informatique .dwg
Plateau 650x650 Plan MANCELLE n°22740.dwg
04-20280 ME 420-001B.dwg
04-20280 040601 Calcul CETIM.dwg

Toute reproduction partielle susceptible de dénaturer le contenu du présent document, qu'il s'agisse d'une omission, d'une modification ou d'une adaptation engage la responsabilité du client vis à vis du CETIM ainsi que des tiers concernés.

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION.....	5
2.	DEFINITION DU PROJET DE BAC DE TREMPER.....	5
3.	HYPOTHESES GLOBALES	6
3.1	ELEMENTS PRIS EN COMPTE	6
3.2	L'ECOULEMENT	7
3.3	CONDITIONS AUX LIMITES.....	7
4.	SIMULATIONS SUR L'EXISTANT.....	8
4.1	GEOMETRIE.....	8
4.2	DOMAINE DE CALCUL ET MAILLAGE.....	9
4.3	RESULTATS	10
5.	DEFINITION D'UNE CHAUSSETTE.....	11
5.1	DOMAINE DE CALCUL, CONDITIONS LIMITES ET MAILLAGE	12
5.2	CONFIGURATION A	13
5.3	CONFIGURATION B.....	15
5.4	CONFIGURATION C.....	17
5.5	CONFIGURATION D	19
5.6	CONFIGURATION E.....	21
6.	DEFINITION DE GRILLES ET D'AUBE INTERCALAIRE	23
6.1	SIMULATION 0.....	26
6.2	SIMULATION 1	28
6.3	SIMULATION 2.....	29
6.4	SIMULATION 4.....	32
6.5	SIMULATION 8.....	34
6.6	SIMULATION 7.....	36
6.7	SIMULATION 6.....	38
7.	SIMULATION INTEGRALE	41
7.1	DOMAINES DE CALCUL, CONDITIONS LIMITES ET MAILLAGE	41
7.2	RESULTATS.....	43
7.2.1	Sans rotation.....	43
7.2.2	Prise en compte de la rotation.....	46
7.2.3	Effet de la charge.....	48
8.	CONCLUSIONS	49

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2-1 : INSTALLATION DE BAC DE TREMPE INDUSTRIEL (PROJET <i>SERTHEL</i>)	5
FIGURE 2-2 : ZONE DE TREMPE	6
FIGURE 4-1 : GEOMETRIE (PROJET INITIAL)	8
FIGURE 4-2 : ENCOMBREMENT	8
FIGURE 4-3 : DOMAINE DE CALCUL ET CONDITIONS LIMITES	9
FIGURE 4-4 : MAILLAGE	9
FIGURE 4-5 : LIGNES DE COURANT	10
FIGURE 4-6 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE	10
FIGURE 5-1 : PRINCIPE DE LA CHAUSSETTE	11
FIGURE 5-2 : DOMAINE DE CALCUL ET CONDITIONS LIMITES	12
FIGURE 5-3 : MAILLAGE : CONFIGURATION A	13
FIGURE 5-4 : GEOMETRIE DE L'ENVELOPPE : CONFIGURATION A	14
FIGURE 5-5 : LIGNES DE COURANT ET CHAMPS DE VITESSE (CONFIGURATION A)	15
FIGURE 5-6 : GEOMETRIE DE L'ENVELOPPE : CONFIGURATION B	16
FIGURE 5-7 : LIGNE DE COURANT ET CHAMPS DE VITESSE (CONFIGURATION B)	16
FIGURE 5-8 : GEOMETRIE DE L'ENVELOPPE : CONFIGURATION C	18
FIGURE 5-9 : LIGNE DE COURANT ET CHAMPS DE VITESSE (CONFIGURATION C)	18
FIGURE 5-10 : LIGNES DE COURANT (DIFFUSEUR ISOLE)	19
FIGURE 5-11 : GEOMETRIE DE L'ENVELOPPE : CONFIGURATION D	20
FIGURE 5-12 : LIGNE DE COURANT ET CHAMPS DE VITESSE (CONFIGURATION D)	20
FIGURE 5-13 : GEOMETRIE DE L'ENVELOPPE : CONFIGURATION E	21
FIGURE 5-14 : LIGNE DE COURANT ET CHAMPS DE VITESSE (CONFIGURATION E)	22
FIGURE 6-1 : POSITIONS DES AUBES INTERCALAIRES	23
FIGURE 6-2 : POSITIONS DES GRILLES	24
FIGURE 6-3 : PLANS DE VISUALISATION	25
FIGURE 6-4 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 0)	27
FIGURE 6-5 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 1)	29
FIGURE 6-6 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 2)	31
FIGURE 6-7 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 4)	33
FIGURE 6-8 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 8)	35
FIGURE 6-9 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 7)	37
FIGURE 6-10 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 6)	39
FIGURE 7-1 : DOMAINE DE CALCUL ET CONDITIONS LIMITES DE LA GEOMETRIE COMPLETE	42
FIGURE 7-2 : MAILLAGE DU BAC DE TREMPE DANS SA CONFIGURATION COMPLETE	42
FIGURE 7-3 : DEFINITION DES PLANS DE VISUALISATION	43
FIGURE 7-4 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (GEOMETRIE COMPLETE SANS GRILLE)	44
FIGURE 7-5 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (GEOMETRIE COMPLETE AVEC GRILLE)	45
FIGURE 7-6 : CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR DE TREMPE (GEOMETRIE COMPLETE, E4, GRILLE 0.42-0.25-0.65)	46
FIGURE 7-7 : CONFIGURATIONS SIMULEES (AVEC ROTATION)	47
FIGURE 7-8 : LIGNES DE COURANT (GEOMETRIE COMPLETE AVEC ROTATION)	47
FIGURE 7-9 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (AVEC ROTATION)	48
FIGURE 7-10 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (AVEC ROTATION ET CHARGE)	49

LISTE DES TABLEUX

FIGURE 8-1 : DEFINITION DU BAC DE TREMPE MODIFIE ET CHAMPS DE VITESSE DANS LE COULOIR	50
FIGURE 8-2 : GEOMETRIE DU PLATEAU ET LIGNES DE COURANT EN AVAL DE SES COINS	50
TABIEAU 5-1 : REPARTITION DE DEBIT (CONFIGURATION A)	15
TABIEAU 5-2 : REPARTITION DE DEBIT (CONFIGURATION B)	17
TABIEAU 5-3 : REPARTITION DE DEBIT (CONFIGURATION D)	21
TABIEAU 5-4 : REPARTITION DE DEBIT (CONFIGURATION E)	22
TABIEAU 6-1 : TYPE DE GRILLE : TREILLIS	24
TABIEAU 6-2 : DEFINITION DES GRILLES (SIMULATION 0)	26
TABIEAU 6-3 : REPARTITION DES DEBITS (SIMULATION 0)	26
TABIEAU 6-4 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 0) ..	27
TABIEAU 6-5 : DEFINITION DES GRILLES (SIMULATION 1)	28
TABIEAU 6-6 : REPARTITION DES DEBITS (SIMULATION 1)	28
TABIEAU 6-7 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 1) ..	29
TABIEAU 6-8 : DEFINITION DES GRILLES (SIMULATION 2)	30
TABIEAU 6-9 : REPARTITION DES DEBITS (SIMULATION 2)	30
TABIEAU 6-10 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 2) ..	31
TABIEAU 6-11 : DEFINITION DES GRILLES (SIMULATION 4)	32
TABIEAU 6-12 : REPARTITION DES DEBITS (SIMULATION 4)	32
TABIEAU 6-13 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 4) ..	33
TABIEAU 6-14 : DEFINITION DES GRILLES (SIMULATION 8)	34
TABIEAU 6-15 : REPARTITION DES DEBITS (SIMULATION 8)	34
TABIEAU 6-16 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 8) ..	35
TABIEAU 6-17 : DEFINITION DES GRILLES (SIMULATION 7)	36
TABIEAU 6-18 : REPARTITION DES DEBITS (SIMULATION 7)	36
TABIEAU 6-19 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 7) ..	37
TABIEAU 6-20 : DEFINITION DES GRILLES (SIMULATION 6)	38
TABIEAU 6-21 : REPARTITION DES DEBITS (SIMULATION 6)	38
TABIEAU 6-22 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SIMULATION 6) ..	39
TABIEAU 6-23 : PERTES DE CHARGE DES DIFFERENTES CONFIGURATIONS SIMULEES	40
TABIEAU 7-1 : CONFIGURATIONS SIMULEES SANS ROTATION	43
TABIEAU 7-2 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (SANS GRILLE)	44
TABIEAU 7-3 : VITESSE DEBITANTE ET ECART-TYPE DANS LE COULOIR DE TREMPE (AVEC GRILLE)	45
TABIEAU 7-4 : DEFINITION DES GRILLES (CONFIGURATION E4 AVEC GRILLE)	45
TABIEAU 7-5 : REPARTITION DE DEBIT (CONFIGURATION E4-B, AVEC ROTATION)	48
TABIEAU 7-6 : PERTES DE PRESSION DANS LE BAC EN FONCTION DE LA CHARGE	49

1. INTRODUCTION

La société **SERTHEL** a défini une nouvelle installation de bac de trempe qu'elle souhaite proposer à ses clients potentiels (sociétés spécialisées dans le traitement thermique des pièces mécaniques). Au stade actuel de son projet, le client veut poursuivre le développement de son installation afin d'augmenter le flux d'huile généré et l'homogénéité de l'écoulement au niveau des pièces à traiter (engrenages, roulements, cardan,...). Pour cela, elle souhaite faire réaliser une étude de son bac de trempe pour en adapter la géométrie tout en conservant les spécificités de son projet.

Le **Cetim** a mis en œuvre une simulation numérique des écoulements fluides pour faire l'état de l'art de la géométrie actuelle et proposer des modifications afin d'améliorer le fonctionnement du bac (réduction de la perte de charge et homogénéité du flux).

2. DEFINITION DU PROJET DE BAC DE TREMPER

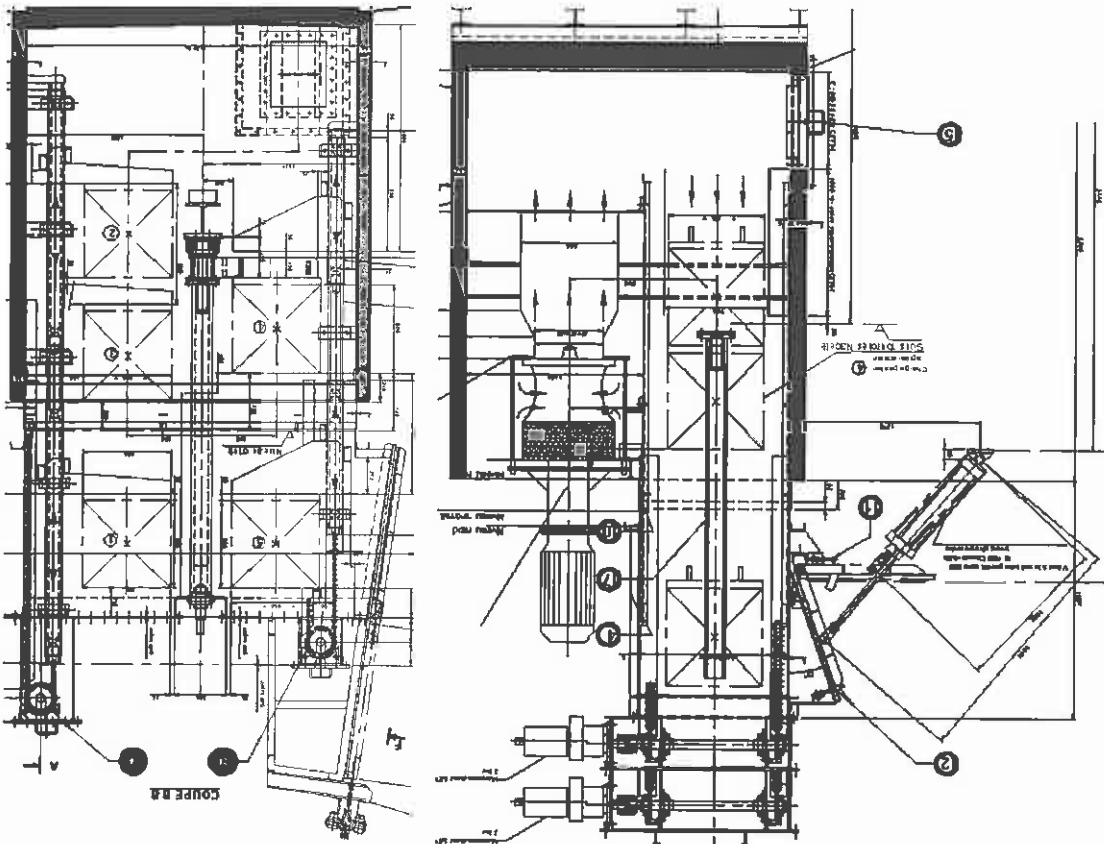
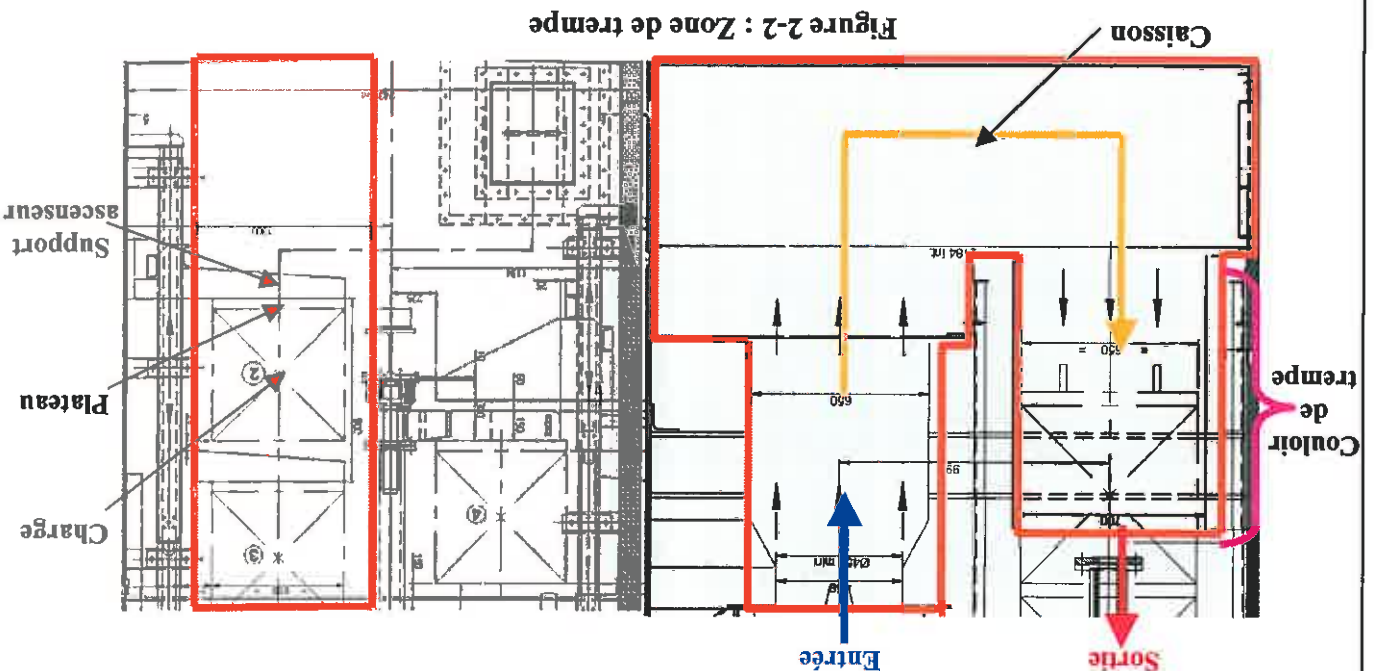


Figure 2-1 : Installation de bac de trempe industriel (projet **SERTHEL**)

La géométrie de l'installation (cf. figure 2-1) a été fournie par le client sous forme de plan 2D au format informatique .dxf. L'installation développée est un système complet de traitement thermique qui prend en charge les pièces à traiter du début à la fin assurant, par un procédé d'ascenseur le convoyage de la charge tout le long du traitement.

La zone de trempe (cf. figure 2-2) est composée d'une pompe génératrice d'un flux d'huile chauffée (base du traitement), d'une conduite d'aménée, d'un caisson, d'un couloir de trempe, d'un ascenseur, d'un plateau supportant la charge et la charge (pièces à traiter).



La présente étude a pour but de définir un système de guidage entre la sortie de la pompe et le couloir de trempe afin de réduire, au niveau du couloir de trempe, l'hétérogénéité de l'écoulement incident en terme de vitesse.

3. HYPOTHESES GLOBALES

3.1 Eléments pris en compte

Les différents éléments géométriques pris en compte lors des modélisations sont :

- La conduite d'aménée
- Le caisson
- Le couloir de trempe
- Le support d'ascenseur
- Le plateau
- La pompe

Toutefois, tous ces éléments ne seront pas nécessairement pris en compte dans toutes les étapes de l'étude, seul le calcul final les regroupera tous.

De plus, la pompe ne sera prise en compte uniquement sous la forme d'un débit ou des composantes de vitesses débitante et tangentielle qu'elle induit.

La charge ne sera introduite dans les simulations que sous la forme d'un sous domaine et d'un coefficient de perte de charge homogène et isotrope. Jamais les pièces à traiter ne seront représentées sous leur forme physique.

3.2 L'écoulement

L'intégralité des calculs réalisés utilise les hypothèses suivantes :

- L'écoulement est modélisé en régime stationnaire
- Le fluide est supposé incompressible, visqueux et newtonien
- Les phénomènes turbulents ont été modélisés par un modèle à deux équations basé sur le concept de viscosité turbulente : modèle k-ε scalable
- Les phénomènes thermiques ne sont pas pris en compte : hypothèse isotherme

Les propriétés physiques du fluide utilisé sont celles d'une huile de trempe de type générique :

- Masse volumique $\rho = 826.3 \text{ kg/m}^3$
- Viscosité cinématique $\nu = 5.63 \text{ mm}^2/\text{s}$

3.3 Conditions aux limites

Entrée

Condition de débit : 566.84 kg/s (Vitesse débitante de 1.4 m/s en sortie)

ou de vitesse : composantes débitante et tangentielle

Les échelles de la turbulence sont considérées comme standard :

- Intensité turbulente I_u : 3%
- Echelle de longueur des tourbillons L_D : $0.1 \sqrt{\text{aire de condition d'entrée}}$

Sortie

Condition de pression : Pression statique nulle en moyenne

Parois

Les parois sont considérées imperméables, adhérentes et hydrauliquement lisses.

Les effets de paroi sont intégrés dans une formulation de type loi de paroi standard, dont la consistance est assurée par la détection de la sous couche ($Y^+ = 1.5$).

Tous les calculs sont effectués avec le logiciel 3D Navier-Stokes CFX5.

4. SIMULATIONS SUR L'EXISTANT

4.1 Géométrie

A partir des plans de l'installation fournis par le client, la géométrie représentant la zone de trempe a été reconstruite en 3D avec le logiciel de CAO solidworks. La figure 4-1 représente l'enveloppe du projet initial.

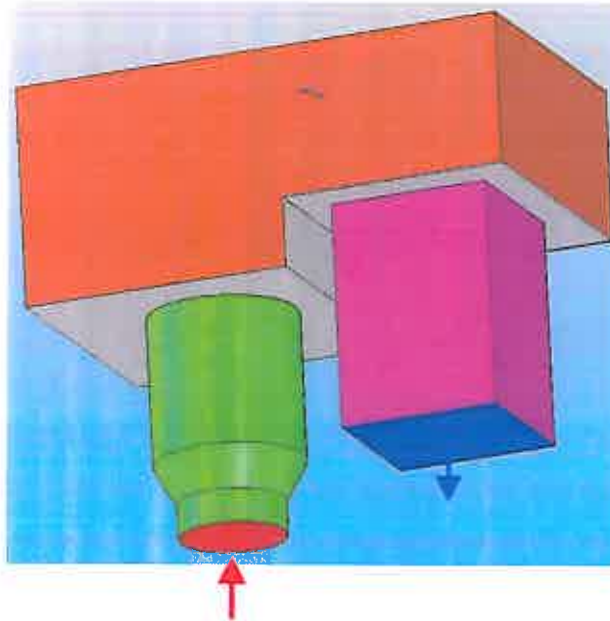


Figure 4-1 : Géométrie (projet initial)

Les dimensions (cf. figure 4-2) de la zone de trempe définissent l'encombrement dans lequel devra venir se loger tout système de guidage utilisé pour réduire l'hétérogénéité du flux d'huile le long du couloir de trempe.

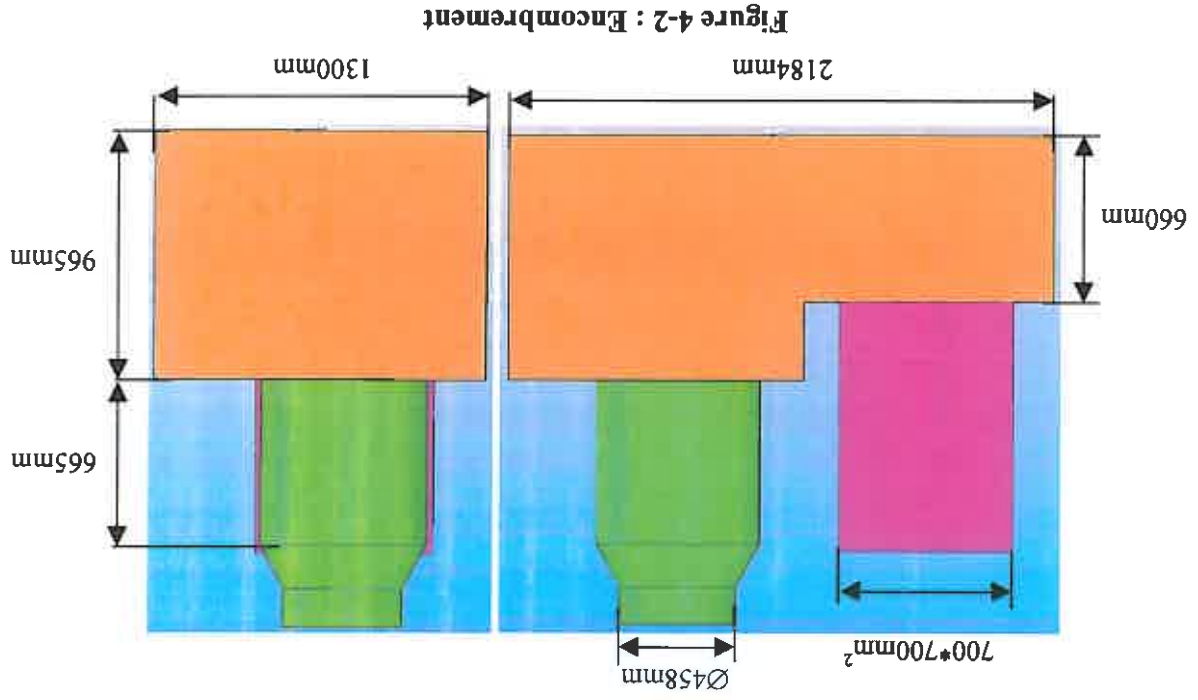


Figure 4-2 : Encombrement

4.2 Domaine de calcul et maillage

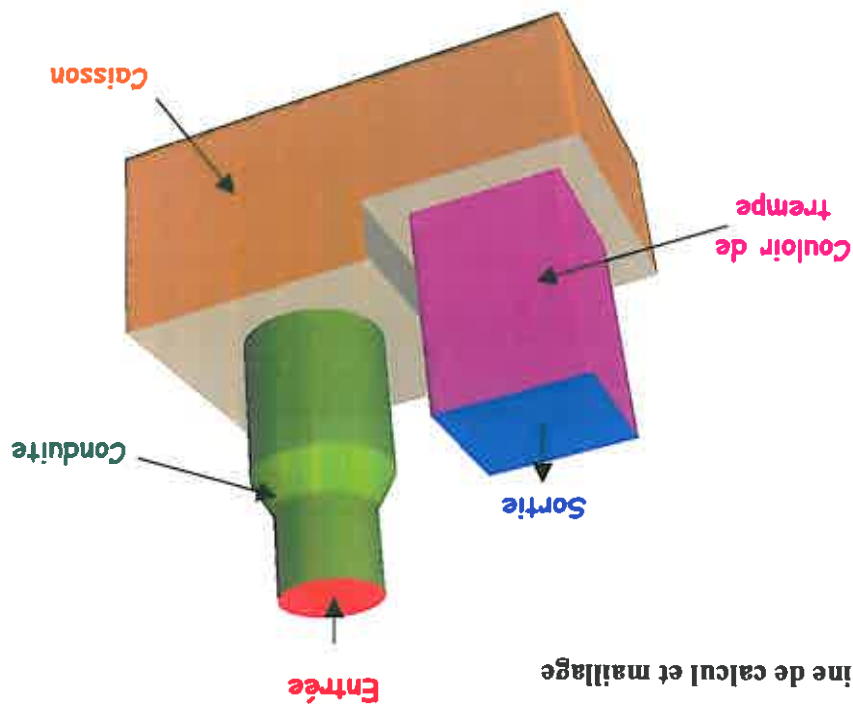


Figure 4-3 : Domaine de calcul et conditions limites

Les éléments pris en compte dans les calculs sur la géométrie initiale sont (cf. figure 4-3) : la conduite d'amenée, le caisson et le couloir de trempe. Par contre, ne sont pas pris en compte dans cette phase la fourche de levage, la pompe (sauf sous la forme du débit induit), le plateau et la grille. *Grille* qui était prévue par le client pour améliorer la distribution de vitesse à l'intérieur du couloir de trempe.

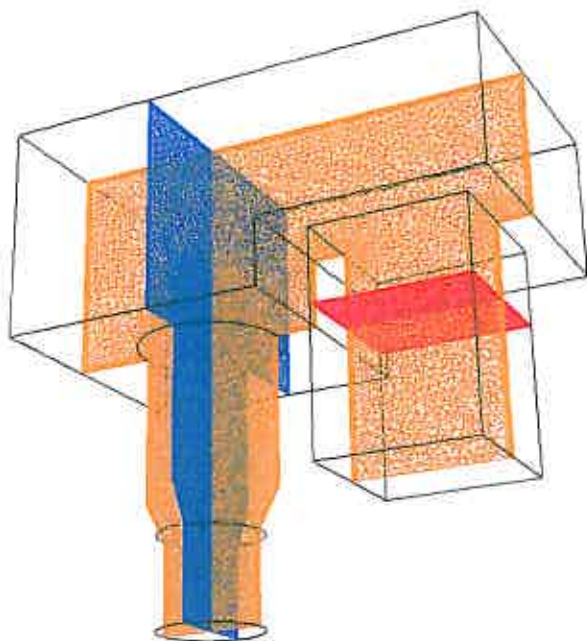


Figure 4-4 : Maillage

Le maillage utilisé (cf. figure 4-4) est de type non structuré généré avec le logiciel CFX-Build et comporte 1,5 millions d'éléments tétraédriques avec en paroi une couche d'éléments prismatiques mieux a même de décrire la couche limite s'y développant.

4.3 Résultats

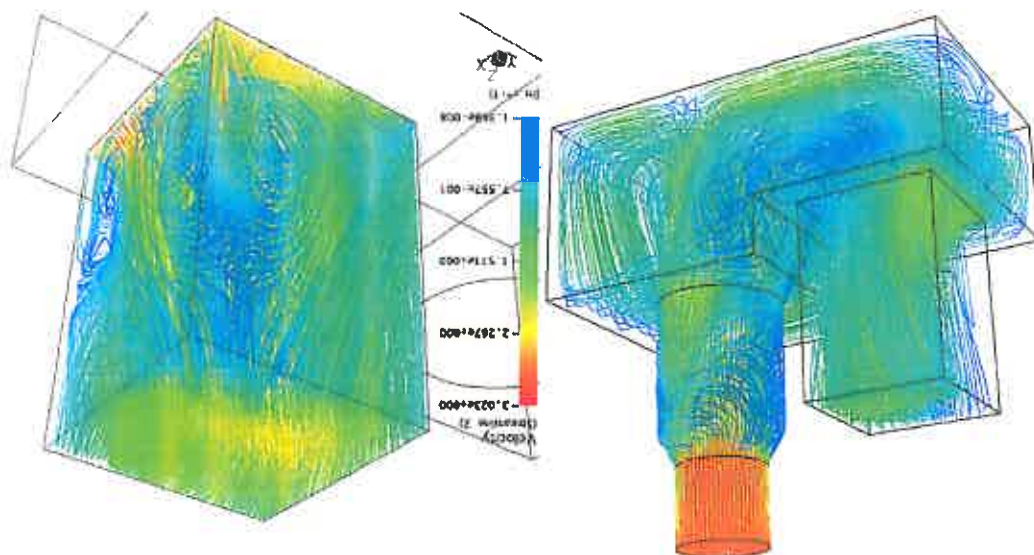


Figure 4-5 : Lignes de courant

La figure 4-5 visualise, par les lignes de courant, la structure globale de l'écoulement dans le bac de tremp. En absence de grille, la dynamique dans le couloir de tremp est fortement tributaire de celle s'établissant dans le caisson. Il apparaît ainsi (cf. figure 4-6) dans le couloir de tremp des zones de recirculation avec de fortes vitesses et une zone de haute vitesse atteignant 3m/s.

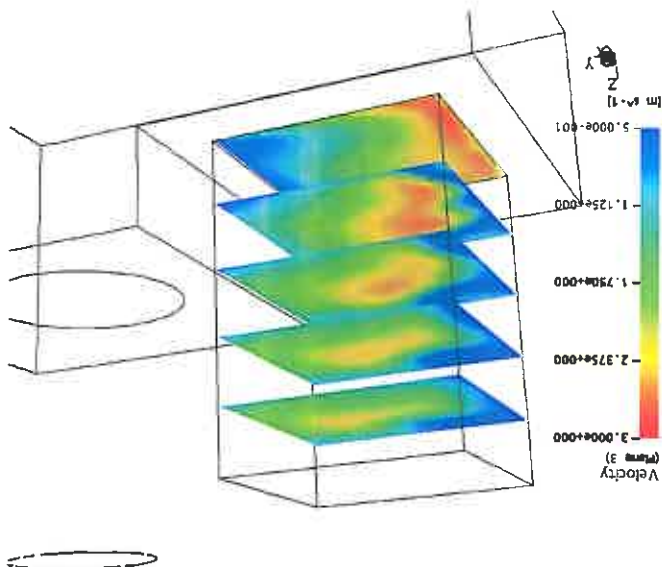


Figure 4-6 : Champs de vitesse dans le couloir de tremp

La perte de charge du système, à vide et en absence de grille, est de $\Delta P_{tot}=4373\text{Pa}$ ce qui correspond à un coefficient adimensionnel ζ^a de 0.61 basé sur la vitesse d'entrée.

5. DEFINITION D'UNE CHAUSSETTE

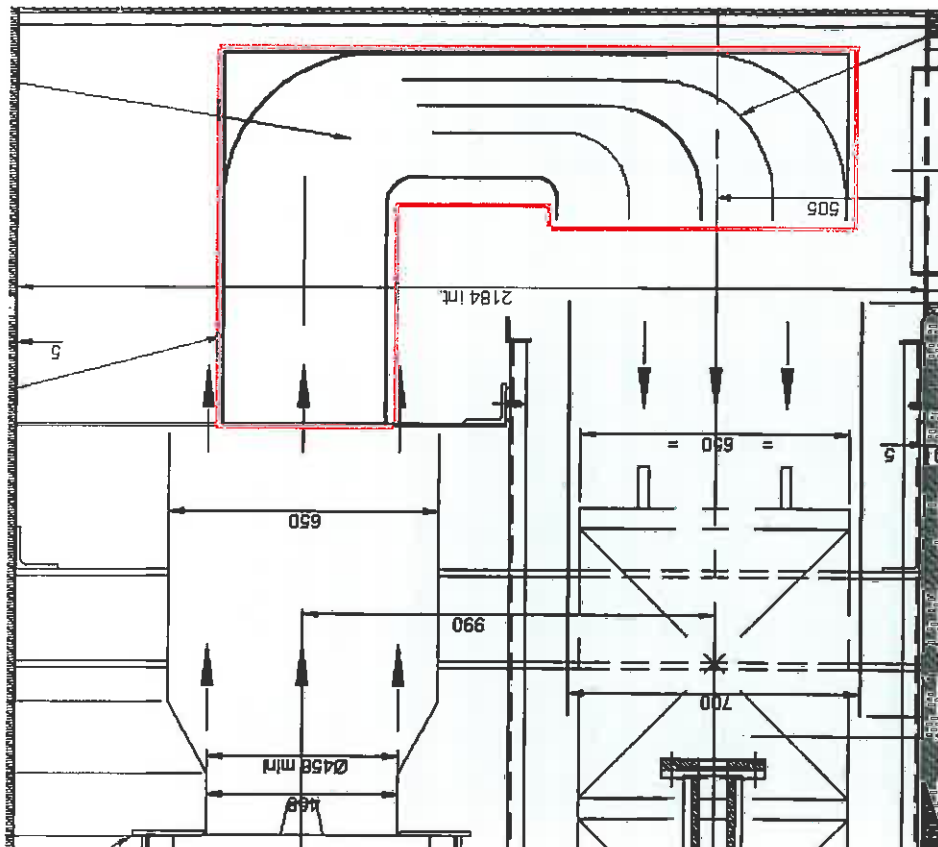


Figure 5-1 : Principe de la chaussette

Afin d'améliorer la répartition de vitesse au travers du couloir de trempe et de réduire la perte de charge du système final, il a été envisagé par le client en remplacement d'un système déprimogène unique, d'introduire dans l'encombrement une chaussette (cf. figure 5-1) permettant de guider le flux entre la conduite d'amenée et le couloir de trempe. Cette chaussette pourra être équipée d'aubes de guidage ainsi que de grilles déprimogènes.

^a $\zeta = \frac{\Delta P_{tot}}{\frac{1}{2} \rho V^2}$ rapport de la pression perdue à la pression dynamique dans la section considérée (dans notre cas la section d'entrée)

Dans un premier temps, on s'intéresse à la forme de l'enveloppe extérieure et de l'aubage directeur. Plusieurs géométries ont été envisagées pour la forme de la chaussette afin de réduire l'hétérogénéité de l'écoulement en entrée et dans le couloir de tremp. Les différentes configurations testées sont basées sur :

- Le raccord entre la sortie de la pompe ($\varnothing 45\text{mm}$) et la conduite d'amenée
- Le passage d'une section circulaire à une section carrée
- Le changement de direction du fluide à 180°
- La mise en place d'aubes de guidage

Les cas les plus significatifs sont présentés ci-après.

5.1 Domaine de calcul, conditions limites et maillage

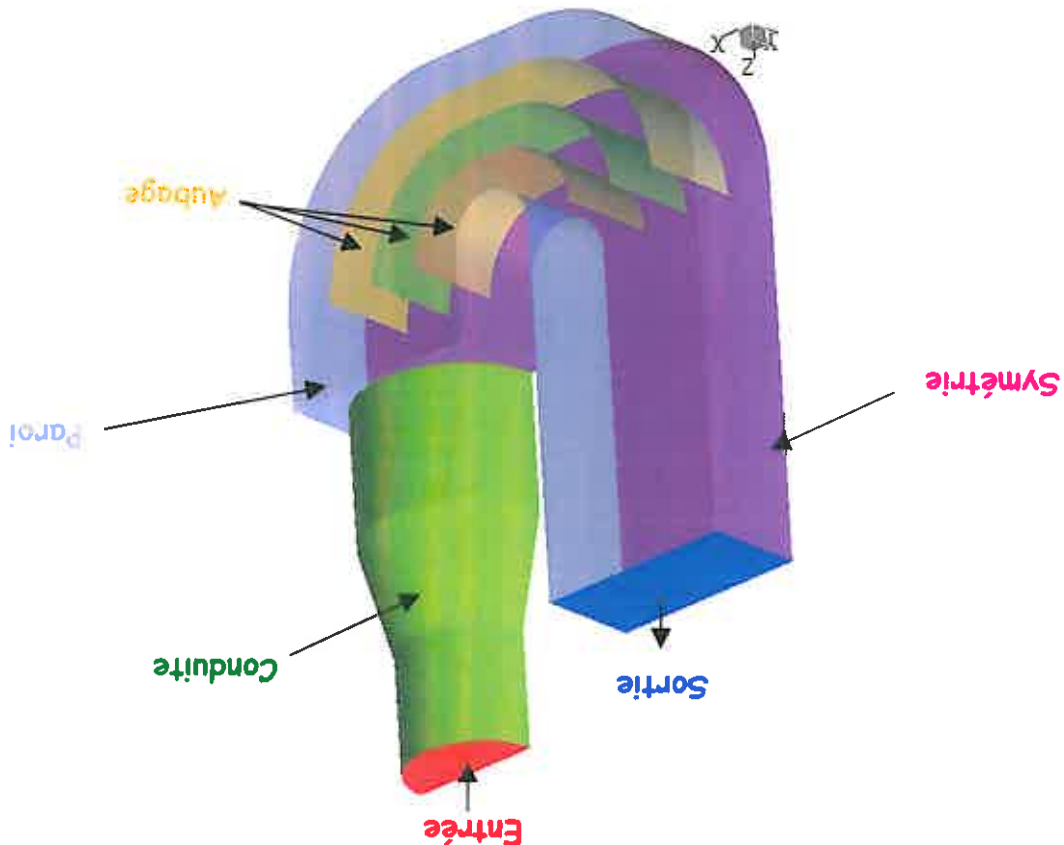


Figure 5-2 : Domaine de calcul et conditions limites

Dans cette étape de modification du design, afin de minimiser les temps de calcul, le domaine disposant d'une symétrie géométrique a été réduit de moitié (cf. figure 5-2). De ce fait, la condition d'entrée imposée dans les simulations suivantes est une condition de débit, la composante tangentielle ne pouvant être introduite avec une telle hypothèse.

L'aubage ayant un rapport d'aspect géométrique très important, il est modélisé sous la forme d'une paroi sans épaisseur (« Thin surface ») est représentée la fibre neutre de l'élément. Lors de la réalisation industrielle du bac de trempe, l'épaisseur des tôles devra être minimisée.

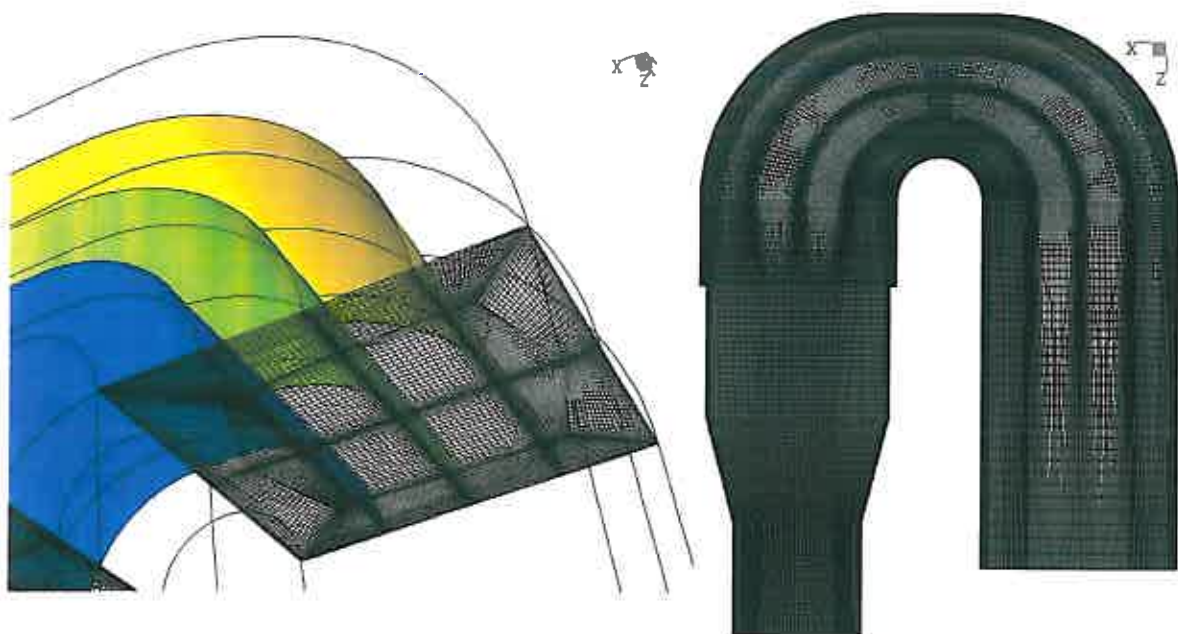


Figure 5-3 : Maillage : configuration A

Le maillage utilisé (cf. figure 5-3) est de type structure généré avec le logiciel ICEM-Hexa et comporte environ 1,3 millions d'éléments hexaédriques sur un demi-domaine. Le maillage est particulièrement resserré en paroi pour obtenir une bonne description de la couche limite s'y développant. La topologie de maillage est la même pour toutes les configurations simulées dans cette partie de l'étude.

5.2 Configuration A

La configuration A (cf. figure 5-4) est caractérisée par :

- Un diffuseur symétrique à section circulaire avec un grand angle d'ouverture ($\alpha^b/2=14,5^\circ$)



^b définition de l'angle d'ouverture d'un diffuseur

- Un élargissement brusque entre la section circulaire ($\varnothing 650\text{mm}$) et la section carrée ($700*700\text{mm}^2$)
- Un coude rectangulaire de 180° à parois parallèles
- Un couloir de trempe de section carrée ($700*700\text{mm}^2$)
- Trois aubes de guidage

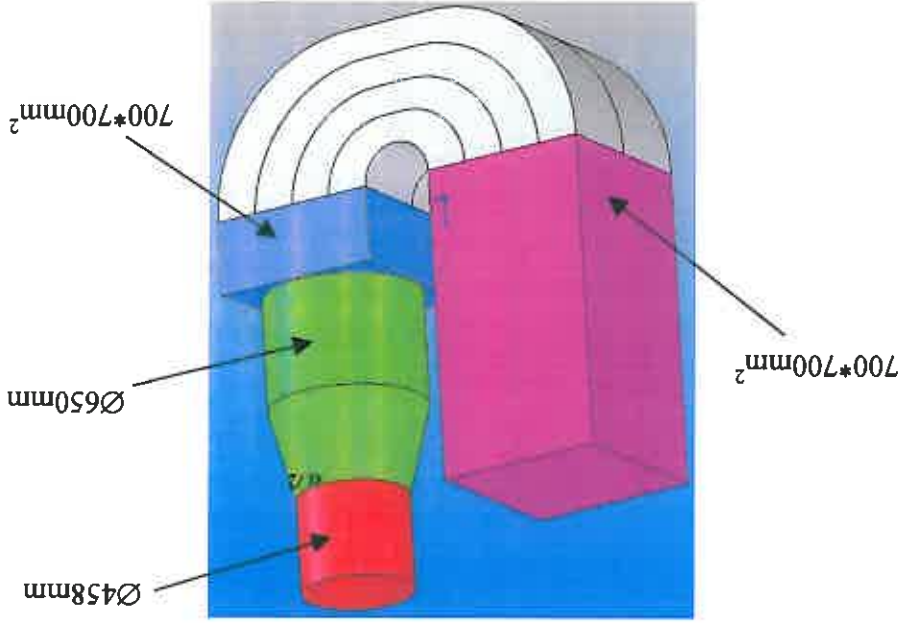


Figure 5-4 : Géométrie de l'enveloppe: configuration A

La figure 5-5 visualise la structure de l'écoulement et la distribution de vitesse obtenue dans le couloir de trempe. Le diffuseur, d'angle d'ouverture trop grand, est le siège d'un décollement qui, associé à l'élargissement brusque engendre une importante sous alimentation du canal intérieur (canal D). Il s'en suit un champ de vitesse très hétérogène avec des sur-vitesses au droit des 2 canaux centraux et des sous-vitesses au droit des canaux extrêmes (face intérieure D et extérieure A). Le tableau 5-1 présente la répartition du débit^a à travers les 4 canaux. Ce critère sera retenu dans cette phase pour quantifier la pertinence des configurations simulées.

^a Les débits tabulés correspondent à un demi-domaine

- Un diffuseur symétrique à section circulaire avec un faible angle d'ouverture ($\alpha/2=7.1^\circ$)
- Un élargissement brusque entre la section circulaire ($\varnothing 650\text{mm}$) et la section carrée ($700*700\text{mm}^2$)
- Un coude rectangulaire de 180° à parois parallèles
- Un couloir de tremp de section carrée ($700*700\text{mm}^2$)
- Trois aubes de guidage

La configuration B (cf. figure 5-6) est caractérisée par :

5.3 Configuration B

Tableau 5-1: Répartition de débit (configuration A)

Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)
A	60.6	21.4
B	102.9	36.3
C	96.6	34.1
D	23.3	8.2

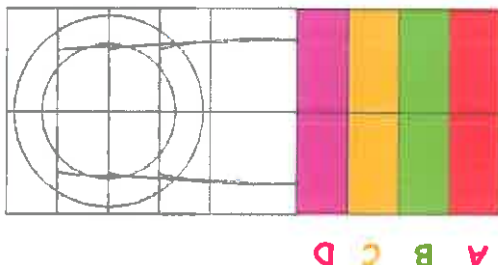
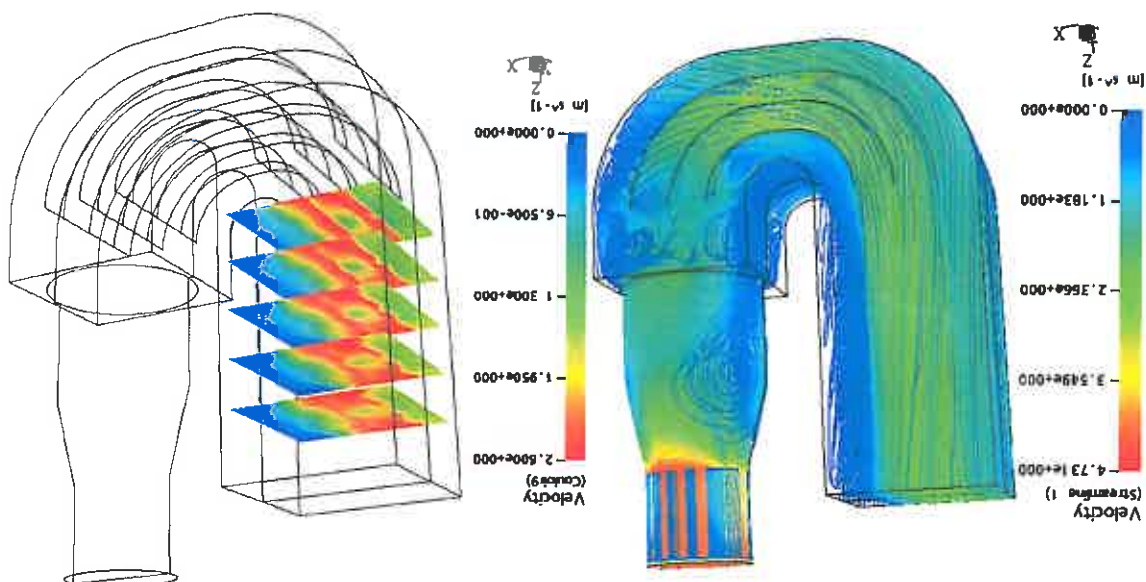


Figure 5-5 : Lignes de courant et champs de vitesse (configuration A)



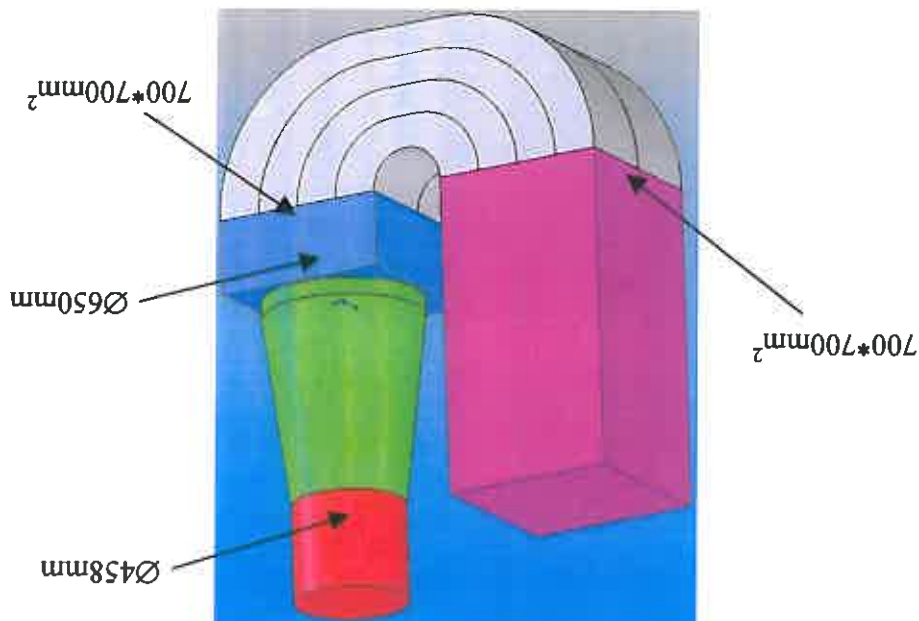


Figure 5-6 : Géométrie de l'enveloppe: configuration B

La figure 5-7 visualise la structure de l'écoulement et la distribution de vitesse obtenue dans le couloir de trempe. La réduction de l'angle d'ouverture du diffuseur permet d'éviter le décollement partiel dans cet élément et de pénétrer dans le caisson rectangulaire avec un écoulement incident assez bien réparti dans la section circulaire. Cependant, le niveau de vitesse reste, au regard de l'élargissement brusque et de la position des bords d'attaques des aubes directrices, trop important. Il s'en suit une répartition du débit dans les différents canaux, bien que meilleur qu'en configuration A, qui reste déséquilibrée (cf. tableau 5-2).

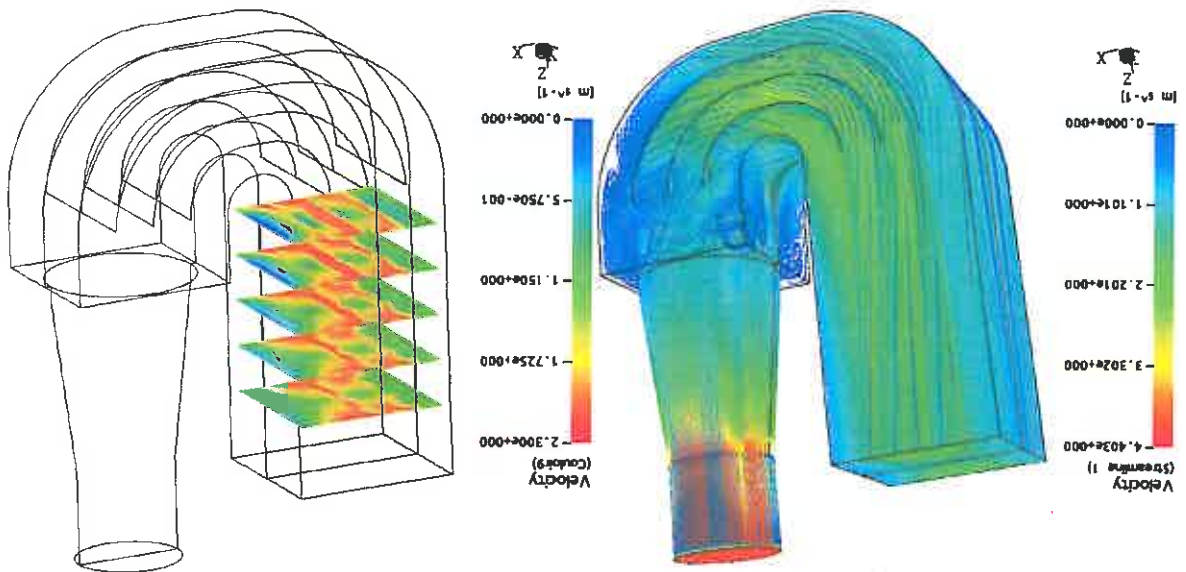
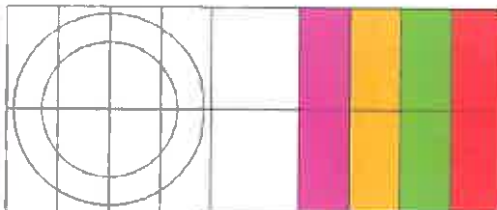


Figure 5-7 : Ligne de courant et champs de vitesse (configuration B)

Tableau 5-2: Répartition de débit (configuration B)

Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)
A	45.9	16.2
B	82.9	29.2
C	91.2	32.2
D	63.4	22.3



A B C D

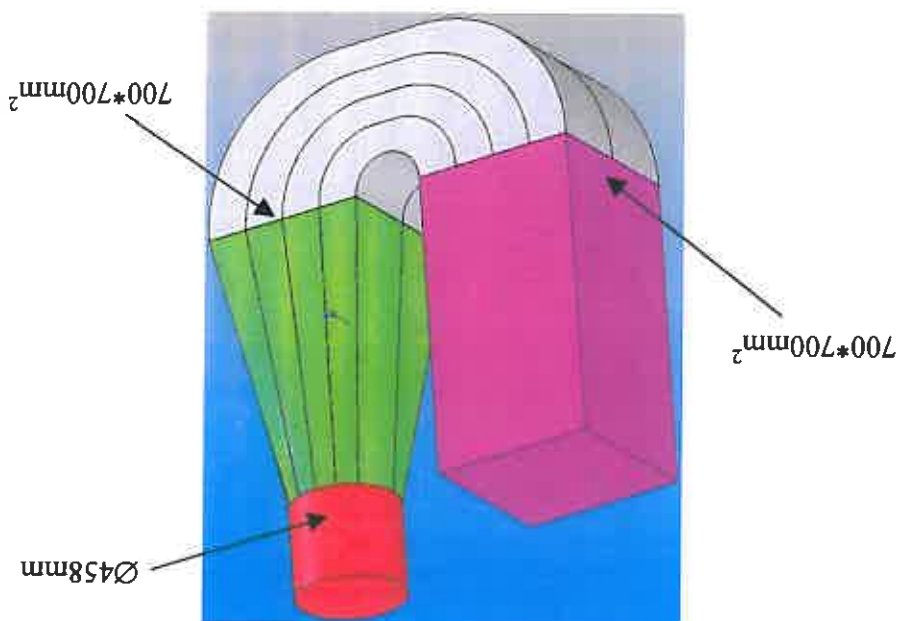
5.4 Configuration C

La configuration C (cf. figure 5-8) est caractérisée par :

- Un diffuseur symétrique intermédiaire (passage d'une section circulaire à une section rectangulaire) avec un faible angle d'ouverture ($\alpha/2=9.8^\circ$)^d

- Un coude rectangulaire de 180° à parois parallèles

- Un couloir de trempe de section carrée ($700*700\text{mm}^2$)



^d Pour les diffuseurs intermédiaires l'angle est un angle équivalent défini par : $\alpha \frac{2}{\pi} = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{\pi} - D_0^2} 2l_d$

Figure 5-8 : Géométrie de l'enveloppe: configuration C

La figure 5-9 visualise la structure de l'écoulement et la distribution de vitesse obtenue dans le couloir de trempe. Le cas présenté ne dispose pas d'aubage directeur ce qui amplifie le décollement sur la paroi extérieure du diffuseur. Cependant, au regard de ces résultats, une simulation du diffuseur (cf. figure 5-10), isolé de toutes interactions avec des éléments amont ou aval, montre la présence de recirculations de coin qui, si elles s'avèrent moindres qu'en configuration élargissement brusque, ne permettraient pas d'obtenir une répartition équilibrée des débits dans les différents canaux.

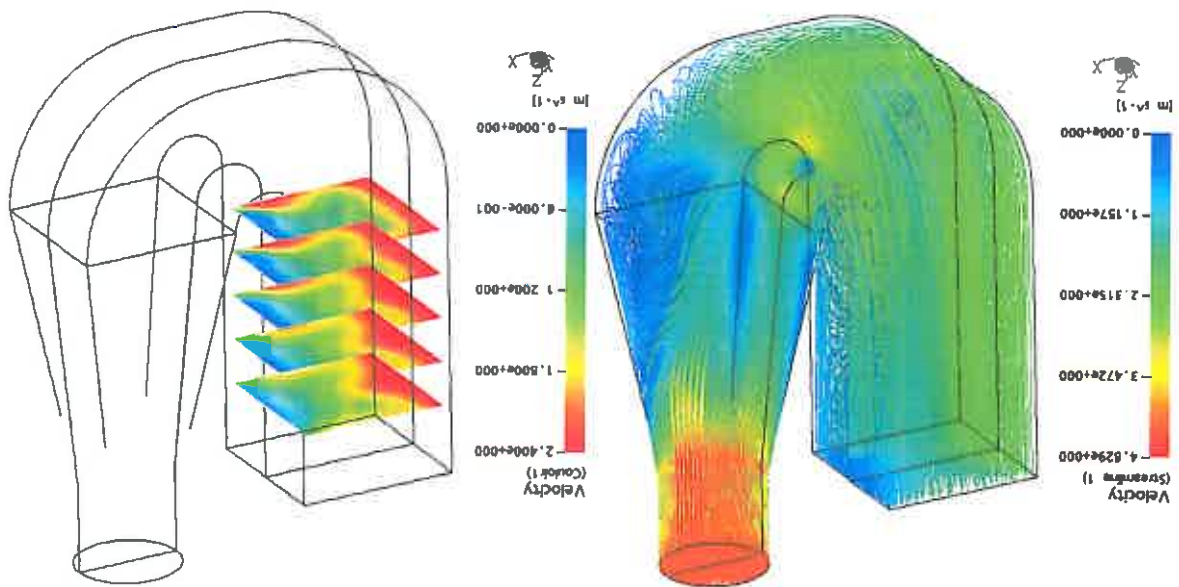


Figure 5-9 : Ligne de courant et champs de vitesse (configuration C)

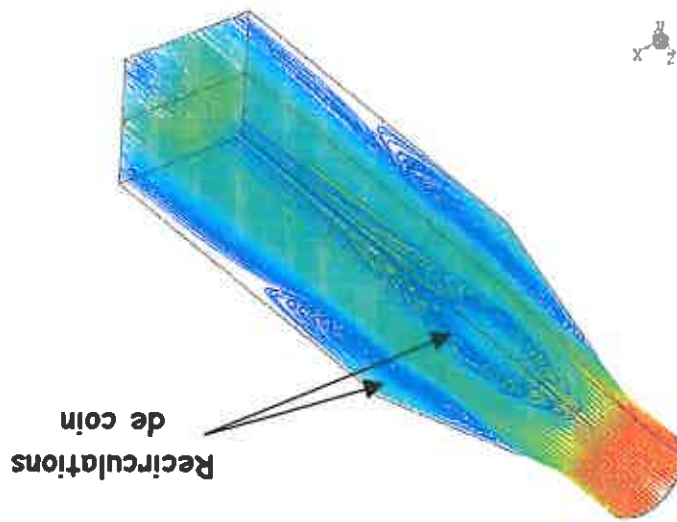


Figure 5-10 : Lignes de courant (diffuseur isolé)

5.5 Configuration D

La configuration D (cf. figure 5-11) est caractérisée par :

- Un diffuseur symétrique à section circulaire avec un faible angle d'ouverture ($\alpha/2=7.1^\circ$)
- Un diffuseur symétrique intermédiaire (passage d'une section circulaire à une section rectangulaire) avec un grand angle d'ouverture ($\alpha/2=32.9^\circ$)
- Un coude rectangulaire de 180° à parois parallèles
- Un couloir de trempe de section carrée ($700*700\text{mm}^2$)
- Trois aubes de guidage

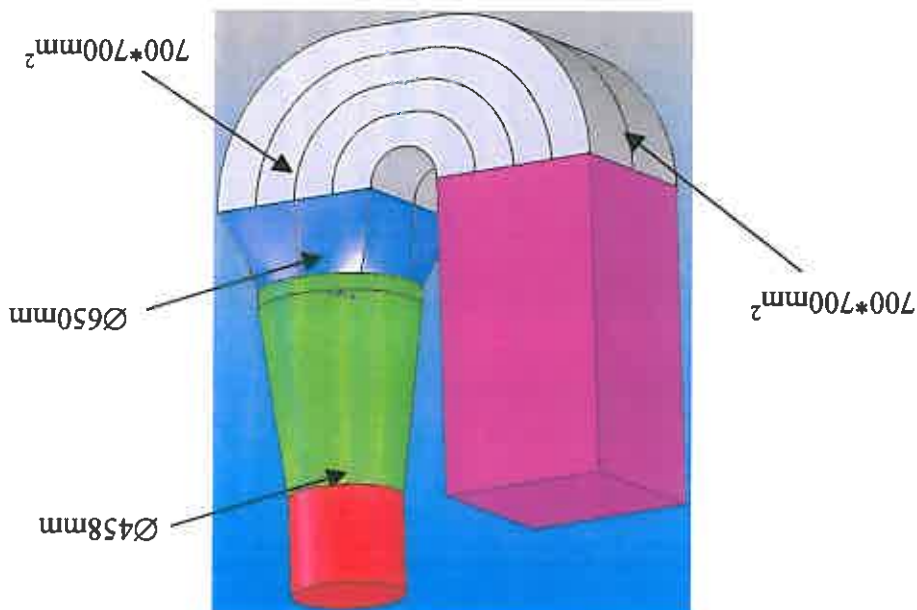


Figure 5-11 : Géométrie de l'enveloppe: configuration D

La figure 5-12 visualise la structure de l'écoulement et la distribution de vitesse obtenue dans le couloir de trempe. Le choix d'un diffuseur intermédiaire permet d'améliorer l'alimentation des canaux (cf. tableau 5-3) ainsi que la répartition de vitesse dans le couloir de trempe. L'angle d'ouverture du diffuseur est toutefois un peu grand et induit des décollements de coin dont l'alimentation des canaux intérieur (D) et extérieur (A) est fortement tributaire.

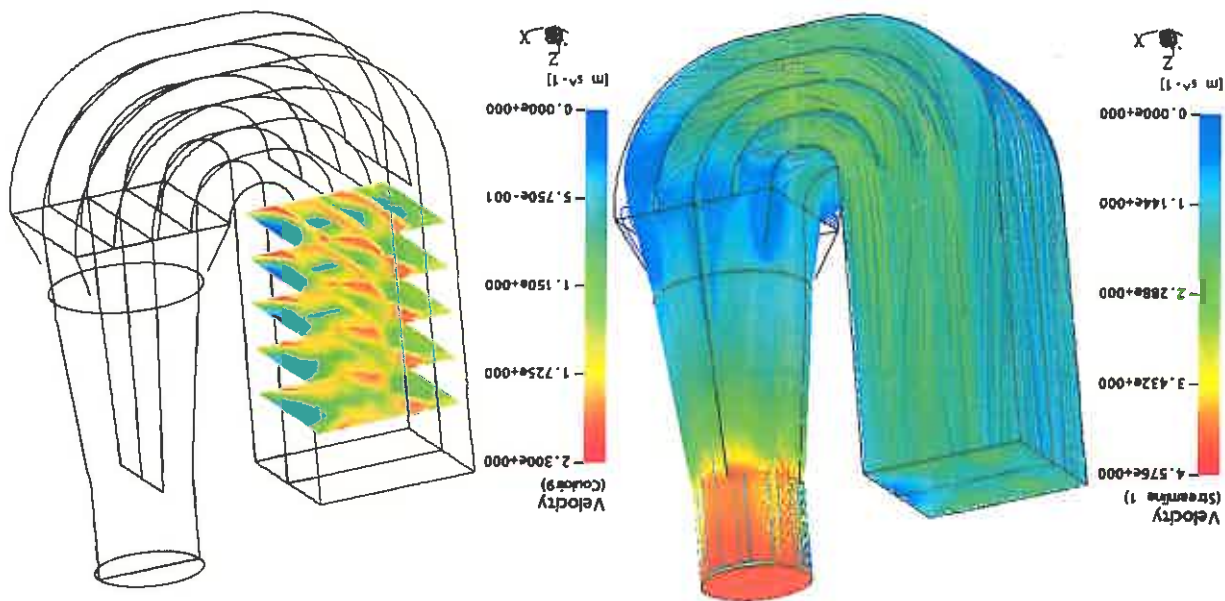


Figure 5-12 : Ligne de courant et champs de vitesse (configuration D)

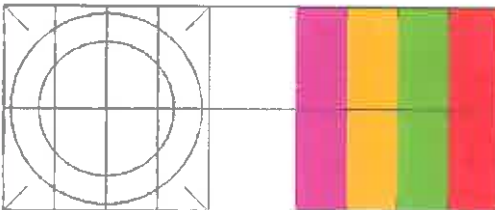
	A	58.7	
	B	78.9	
	C	79.8	
	D	66	
	Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)
			20.7
			27.8
			28.1
			23.2

Tableau 5-3: Répartition de débit (configuration D)

5.6 Configuration E

La configuration E (cf. figure 5-13) est caractérisée par :

- Un diffuseur symétrique à section circulaire avec un faible angle d'ouverture ($\alpha/2=7.1^\circ$)
- Un diffuseur symétrique intermédiaire (passage d'une section circulaire à une section rectangulaire) avec un angle modéré d'ouverture ($\alpha/2=27.9^\circ$)
- Un coude rectangulaire de 180° à parois divergentes
- Un couloir de tremp de section carrée ($700*700\text{mm}^2$)
- Trois aubes de guidage

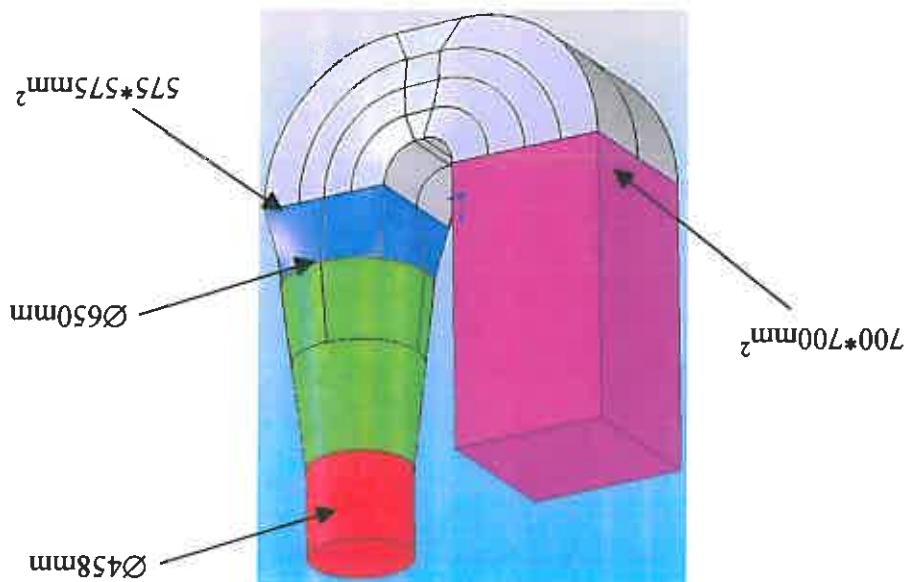


Figure 5-13 : Géométrie de l'enveloppe: configuration E

La figure 5-14 visualise la structure de l'écoulement et la distribution de vitesse obtenue dans le couloir de trempe. L'usage d'un « diffuseur » convergent-divergent permet de réduire considérablement les décollements de coin. Il s'en suit une répartition assez équilibrée du débit d'huile entre les différents canaux. Une zone de sous-vitesse persiste sur la paroi interne du couloir de trempe due au faible rayon de courbure du canal intérieur (canal D).

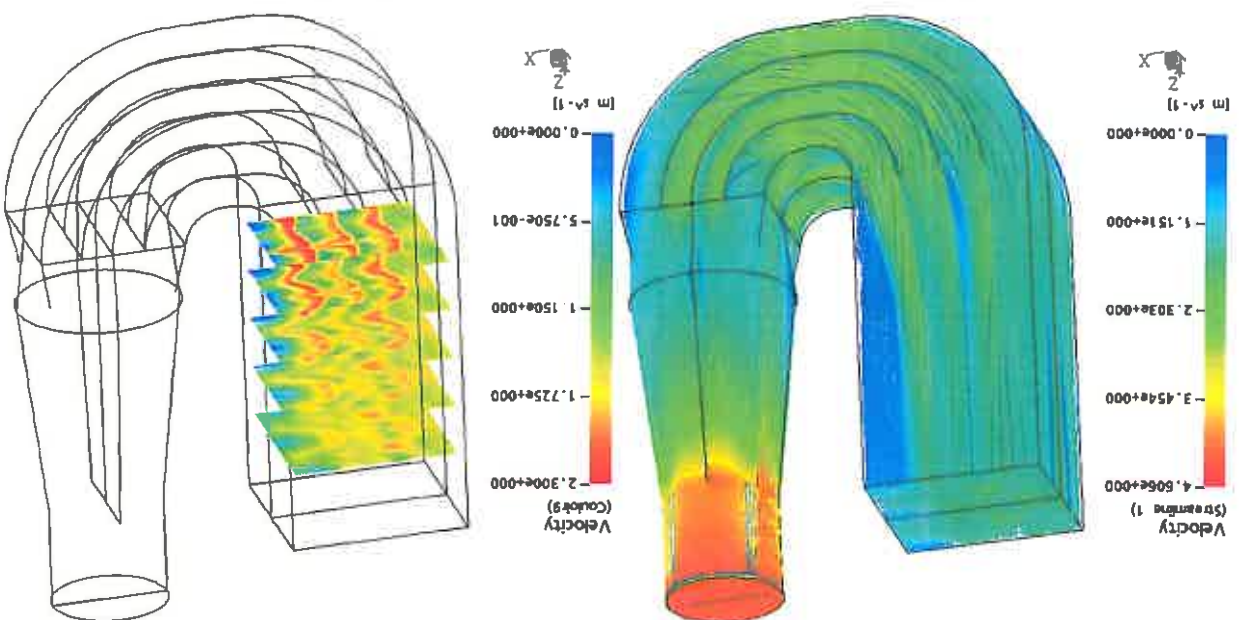


Figure 5-14 : Ligne de courant et champs de vitesse (configuration E)

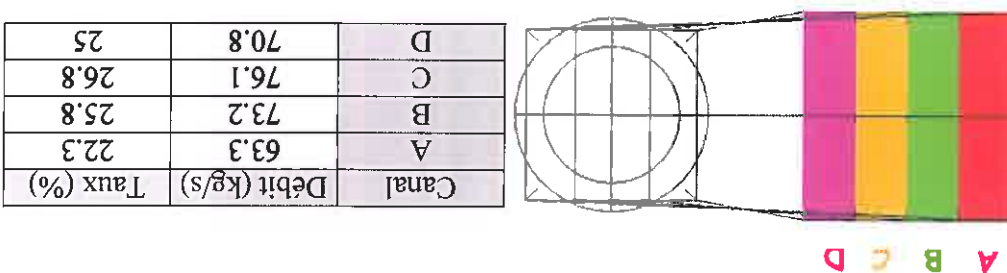


Tableau 5-4: Répartition de débit (configuration E)

Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)
A	63.3	22.3
B	73.2	25.8
C	76.1	26.8
D	70.8	25

Cette dernière configuration apparaît la plus favorable de par la bonne répartition de débit. C'est celle qui est retenue pour la phase suivante de modification en vue de réduire davantage l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de trempe.

6. DEFINITION DE GRILLES ET D'AUBE INTERCALAIRE

Les modifications de la géométrie sur la base de la configuration E ne vont pas intervenir sur l'enveloppe extérieure et la position et forme des 3 aubes de guidage qui sont fixées. Dans cette phase, on introduit des aubes intercalaires et/ou des grilles. La figure 6-1 montre les 3 configurations étudiées du point de vue des aubes intercalaires:

- Configuration E0 : absence d'aube intercalaire
- Configuration E1 : une seule aube intercalaire placée dans le canal intérieur (D)
- Configuration E4 : une aube intercalaire placée dans chaque canal

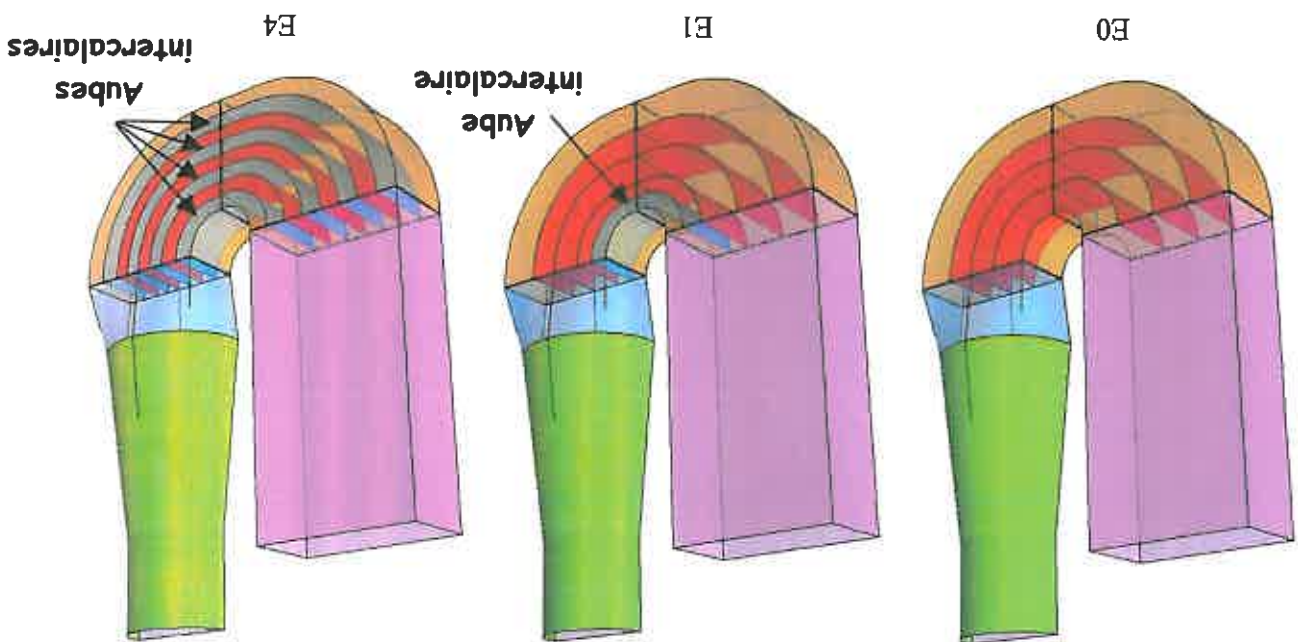


Figure 6-1 : Positions des aubes intercalaires

La figure 6-2 met en évidence la position des grilles. Trois emplacements sont envisagés : en entrée du coude, en milieu de coude et en sortie du coude. Pour des raisons de simplicité de conception, les grilles sont choisies uniformes sur toute leur section. Le type de grille retenu est un *treillis*. Elles sont modélisées sous la forme d'un sous-domaine et d'un coefficient de perte de charge équivalent.

Tableau 6-1: Type de grille : treillis

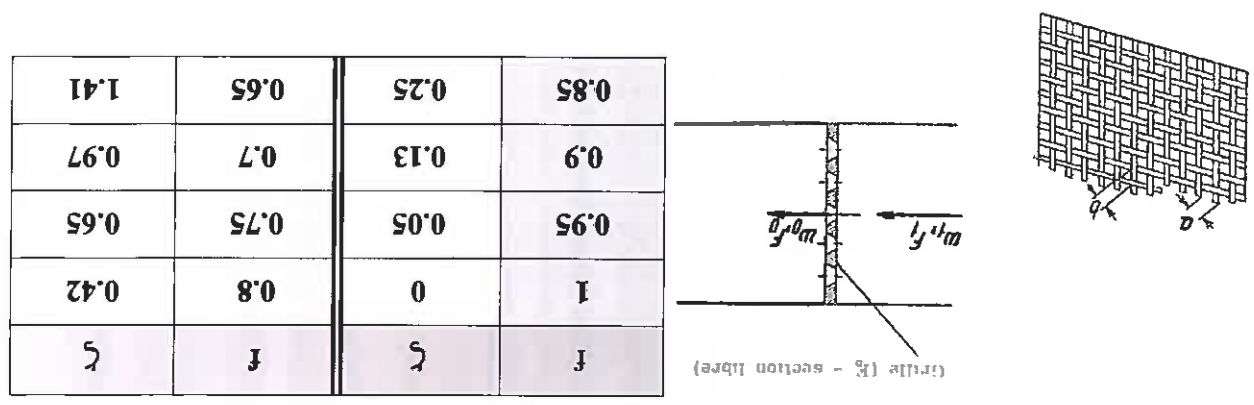
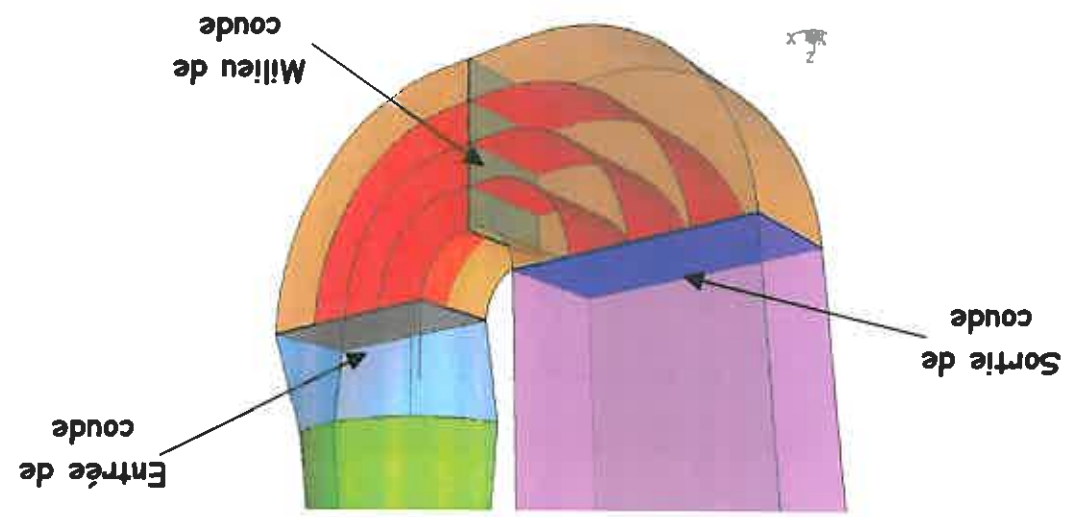


Figure 6-2 : Positions des grilles



Ce coefficient $\zeta = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho V^2}$ est défini en fonction du taux de passage $f = \frac{F_1}{F_0}$ de la section d'après le mémento des pertes de charge « I.E Idel'cik ». Le tableau 6-1 donne quelques valeurs de coefficient en fonction de f .

En plus du critère de débit précédemment utilisé, on définit sur une section un écart-type $\sigma = \sqrt{\frac{\int (v - V_a)^2 ds}{\int ds}}$ qui retranscrit l'hétérogénéité du champ de vitesse et permet de comparer

entre elles les différentes solutions envisagées.

La figure 6-4 montre les différents plans de sondage définis dans le couloir de trempe. Ces plans de 1 à 9 sont espacés tous les 100mm. Le premier étant placé à 200mm du bord de fuite de l'aubage directeur. Les plans sont des sections de 650*650mm², dimensions correspondant à celle du plateau.

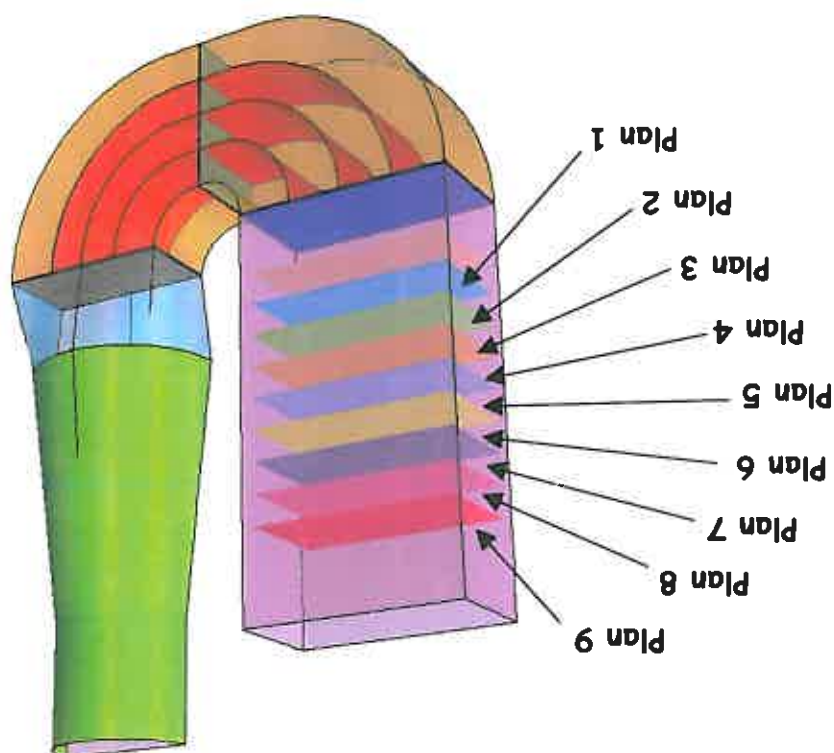


Figure 6-3 : Plans de visualisation

Plusieurs configurations ont été simulées, les résultats des cas plus significatifs sont présentés ci-après.

Remarque : la numérotation des simulations disparates dans ce document est due à une restitution directe des résultats de calculs et a été conservée pour ne pas introduire un risque d'erreur dans leur retranscription.

6.1 Simulation 0

Tableau 6-2 : Définition des grilles (simulation 0)

Grille	5
Entrée	0
Milieu	0
Sortie	0

Cette simulation ne fait pas intervenir de grille, elle permet de montrer l'effet de l'ajout d'une ou plusieurs aubes intercalaires. Le tableau 6-3 présente la répartition du débit dans les différents canaux pour la configuration E0 (configuration E initiale), E1 et E4. L'ajout d'abaque supplémentaire modifie légèrement la distribution du débit sans pour autant la bouleverser.

Tableau 6-3 : Répartition des débits (Simulation 0)						
Canal	E0		E1		E4	
	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)
A	63.3	22.3	60.6	21.4	60.4	21.3
B	73.2	25.8	70.8	25	70.6	24.9
C	76.1	26.8	75.3	26.6	75.3	26.6
D	70.8	25	76.8	27.1	77.1	27.2

Tableau 6-3 : Répartition des débits (Simulation 0)

La figure 6-4 de façon qualitative et le tableau 6-4 du point de vue quantitatif montrent clairement l'influence bénéfique de l'ajout d'aubes intercalaires sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp. En effet, leurs présences minimisent les décollements de l'écoulement sur les faces internes de leurs canaux respectifs.

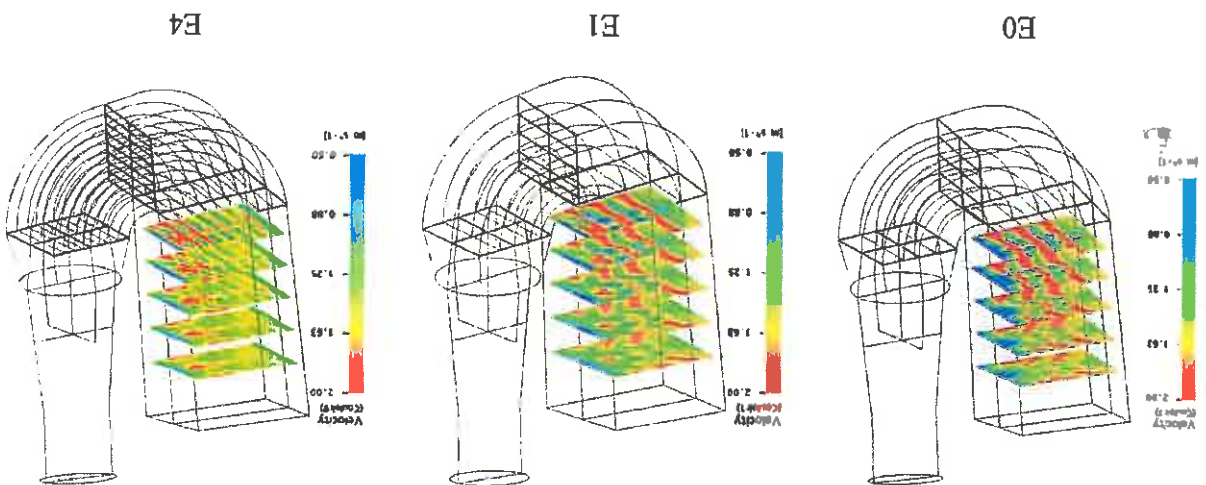


Figure 6-4 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (simulation 0)

Bien que l'effet d'aubes intercalaires soit manifeste, la configuration E0 a été conservée dans la suite de cette étude paramétrique pour vérifier si l'ajout de grille ne pourrait pas permettre de se dispenser de l'introduction d'aubes supplémentaires.

Plan	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)
9	1.44	0.31	1.42	0.24	1.43	0.17
8	1.44	0.33	1.42	0.25	1.43	0.18
7	1.44	0.36	1.42	0.26	1.43	0.19
6	1.44	0.39	1.42	0.28	1.43	0.2
5	1.44	0.42	1.42	0.3	1.43	0.22
4	1.44	0.45	1.42	0.32	1.43	0.24
3	1.44	0.48	1.42	0.35	1.43	0.26
2	1.44	0.48	1.43	0.37	1.44	0.28
1	1.44	0.5	1.43	0.4	1.44	0.32
E0			E1		E4	

Tableau 6-4 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (simulation 0)

6.2 Simulation 1

La simulation 1 ne fait intervenir qu'une seule grille en sortie soit juste en amont du couloir de tremp. Cette grille correspond à un taux de section libre de 85%.

Grille	5
Entrée	0
Milieu	0
Sortie	0.25

Tableau 6-5 : Définition des grilles (simulation 1)

Le tableau 6-6 présente la distribution de l'alimentation des 4 canaux pour les trois configurations de cette simulation 1.

E0		E1		E4	
Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)
A	63.5	22.4	61.9	21.8	61.9
B	71.9	25.4	70.9	25	70.4
C	75.2	26.5	75	26.5	74.8
D	72.7	25.6	75.6	26.7	76.3
					26.9

Tableau 6-6 : Répartition des débits (Simulation 1)

La figure 6-5 de façon qualitative et le tableau 6-7 du point de vue quantitatif montrent l'influence bénéfique de l'introduction d'une grille en sortie de coude sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp et ce quelle que soit la configuration E0, E1 ou E4.

Plan	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)
E0	1	1.44	0.4	1.43	0.32	1.44	0.25	0.22	1.43	0.3	1.43	0.21
	2	1.44	0.39	1.43	0.3	1.43	0.22	0.19	1.43	0.27	1.43	0.25
	3	1.43	0.39	1.42	0.28	1.43	0.21	0.17	1.43	0.24	1.43	0.18
	4	1.43	0.37	1.42	0.27	1.43	0.19	0.16	1.43	0.22	1.43	0.15
	5	1.43	0.35	1.42	0.25	1.43	0.18	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	6	1.43	0.32	1.42	0.24	1.43	0.17	0.15	1.43	0.22	1.43	0.15
	7	1.43	0.3	1.42	0.22	1.43	0.16	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	8	1.43	0.28	1.42	0.21	1.43	0.15	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	9	1.43	0.27	1.42	0.2	1.43	0.15	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
E1	1	1.43	0.4	1.43	0.32	1.44	0.25	0.22	1.43	0.3	1.43	0.21
	2	1.44	0.39	1.43	0.3	1.43	0.22	0.19	1.43	0.27	1.43	0.25
	3	1.43	0.39	1.42	0.28	1.43	0.21	0.17	1.43	0.24	1.43	0.18
	4	1.43	0.37	1.42	0.27	1.43	0.19	0.16	1.43	0.22	1.43	0.15
	5	1.43	0.35	1.42	0.25	1.43	0.18	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	6	1.43	0.32	1.42	0.24	1.43	0.17	0.15	1.43	0.22	1.43	0.15
	7	1.43	0.3	1.42	0.22	1.43	0.16	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	8	1.43	0.28	1.42	0.21	1.43	0.15	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	9	1.43	0.27	1.42	0.2	1.43	0.15	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
E4	1	1.44	0.4	1.43	0.32	1.44	0.25	0.22	1.43	0.3	1.43	0.21
	2	1.44	0.39	1.43	0.3	1.43	0.22	0.19	1.43	0.27	1.43	0.25
	3	1.43	0.39	1.42	0.28	1.43	0.21	0.17	1.43	0.24	1.43	0.18
	4	1.43	0.37	1.42	0.27	1.43	0.19	0.16	1.43	0.22	1.43	0.15
	5	1.43	0.35	1.42	0.25	1.43	0.18	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	6	1.43	0.32	1.42	0.24	1.43	0.17	0.15	1.43	0.22	1.43	0.15
	7	1.43	0.3	1.42	0.22	1.43	0.16	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	8	1.43	0.28	1.42	0.21	1.43	0.15	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15
	9	1.43	0.27	1.42	0.2	1.43	0.15	0.15	1.43	0.21	1.43	0.15

Tableau 6-7 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (simulation 1)

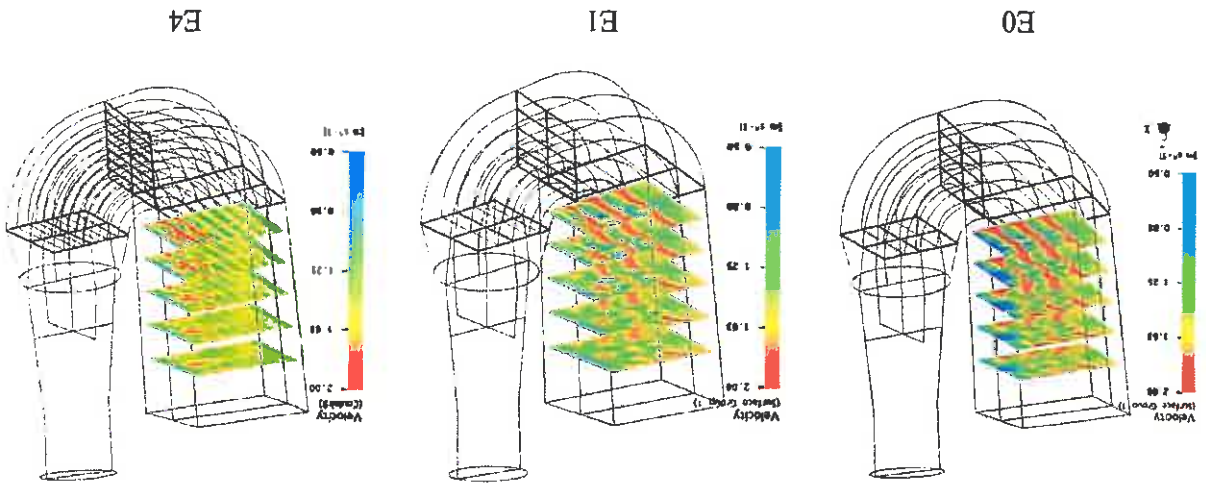


Figure 6-5 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (simulation 1)

6.3 Simulation 2

La simulation 2 fait intervenir à la fois une grille en sortie soit juste en amont du couloir de trempe et une en entrée de coude. Ces grilles identiques correspondent à un taux de section libre de 85%.

Grille	5
Entrée	0.25
Milieu	0
Sortie	0.25

Tableau 6-8 : Définition des grilles (simulation 2)

Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)
	E0	E1	E4			
A	67.2	23.7	65.7	23.2	65.1	23
B	69.6	24.6	68.7	24.2	68.4	24.2
C	73.3	25.9	72.7	25.6	72.6	25.6
D	73.3	25.9	76.4	26.9	77.2	27.2

Tableau 6-9 : Répartition des débits (Simulation 2)

Le tableau 6-9 présente la distribution de l'alimentation des 4 canaux pour les trois configurations de cette simulation 2.

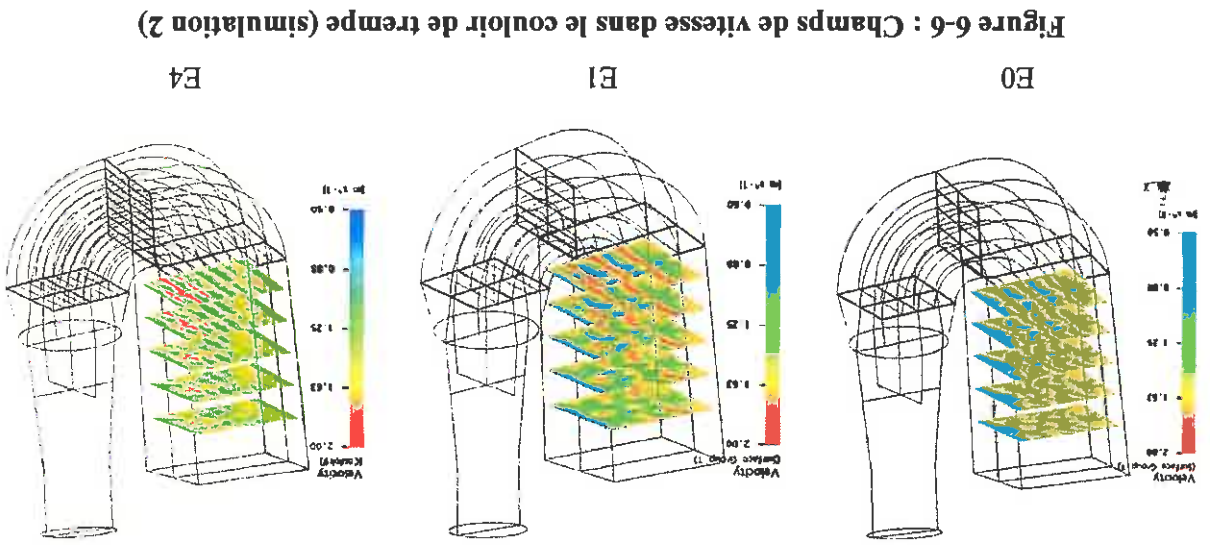


Figure 6-6 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (simulation 2)

La figure 6-6 de façon qualitative et le tableau 6-10 du point de vue quantitatif montrent l'influence bénéfique de l'introduction d'une grille en sortie de coude et une autre en entrée sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de trempe et ce quelle que soit la configuration de E0, E1 ou E4. Toutefois, l'efficacité de la grille d'entrée, dans le cadre des hypothèses émises, est nettement moindre qu'en sortie.

Tableau 6-10 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (simulation 2)

9	1.43	0.25	1.42	0.19	1.43	0.14
8	1.43	0.27	1.42	0.2	1.43	0.14
7	1.43	0.29	1.42	0.21	1.43	0.15
6	1.43	0.31	1.42	0.22	1.43	0.16
5	1.43	0.33	1.42	0.24	1.43	0.17
4	1.43	0.36	1.42	0.25	1.43	0.18
3	1.43	0.37	1.42	0.27	1.43	0.2
2	1.44	0.38	1.42	0.28	1.43	0.21
1	1.44	0.39	1.42	0.31	1.43	0.24
Plan	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)
E0			E1			E4

6.4 Simulation 4

La simulation 4 fait intervenir à la fois une grille en sortie soit juste en amont du couloir de trempe, une en entrée de coude et une grille à mi-parcours du changement de direction. Ces grilles sont toutes identiques et correspondent à un taux de section libre de 85%.

Grille	5
Entrée	0.25
Milieu	0.25
Sortie	0.25

Tableau 6-11 : Définition des grilles (simulation 4)

Le tableau 6-12 présente la distribution de l'alimentation des 4 canaux pour les trois configurations de cette simulation 4.

E0		E1		E4	
Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)
A	67.4	23.8	66.4	23.4	66.3
B	69.6	24.6	69	24.3	68.4
C	72.9	25.7	72.6	25.6	72.3
D	73.4	25.9	75.5	26.6	76.4
					27

Tableau 6-12 : Répartition des débits (Simulation 4)

La figure 6-7 de façon qualitative et le tableau 6-13 du point de vue quantitatif montrent l'influence bénéfique de l'introduction d'une grille en entrée, au milieu et en sortie sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de trempe et ce quelque soit la configuration E0, E1 ou E4.

La combinaison des trois grilles apparaît nécessaire pour un meilleur résultat. De plus, les 2 grilles amont permettent de réduire l'importance de la grille juste en amont du couloir de trempe.

Tableau 6-13 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (simulation 4)

	Plan	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)
E0	1	1.44	0.35	1.42	0.27	1.43	0.22	0.2	0.22
	2	1.44	0.34	1.42	0.26	1.43	0.2	0.19	0.19
	3	1.43	0.34	1.42	0.25	1.42	0.19	0.17	0.17
	4	1.43	0.33	1.42	0.24	1.42	0.16	0.15	0.15
	5	1.43	0.32	1.42	0.23	1.42	0.14	0.14	0.14
	6	1.43	0.3	1.42	0.22	1.42	0.13	0.13	0.13
	7	1.43	0.29	1.42	0.21	1.42	0.13	0.13	0.13
	8	1.43	0.27	1.42	0.2	1.42	0.13	0.13	0.13
	9	1.43	0.26	1.42	0.19	1.42	0.13	0.13	0.13
E1	Plan	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)
	1	1.44	0.35	1.42	0.27	1.43	0.22	0.2	0.22
	2	1.44	0.34	1.42	0.26	1.43	0.2	0.19	0.19
	3	1.43	0.34	1.42	0.25	1.42	0.19	0.17	0.17
	4	1.43	0.33	1.42	0.24	1.42	0.16	0.15	0.15
	5	1.43	0.32	1.42	0.23	1.42	0.14	0.14	0.14
	6	1.43	0.3	1.42	0.22	1.42	0.13	0.13	0.13
	7	1.43	0.29	1.42	0.21	1.42	0.13	0.13	0.13
	8	1.43	0.27	1.42	0.2	1.42	0.13	0.13	0.13
	9	1.43	0.26	1.42	0.19	1.42	0.13	0.13	0.13
E4	Plan	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)
	1	1.44	0.35	1.42	0.27	1.43	0.22	0.2	0.22
	2	1.44	0.34	1.42	0.26	1.43	0.2	0.19	0.19
	3	1.43	0.34	1.42	0.25	1.42	0.19	0.17	0.17
	4	1.43	0.33	1.42	0.24	1.42	0.16	0.15	0.15
	5	1.43	0.32	1.42	0.23	1.42	0.14	0.14	0.14
	6	1.43	0.3	1.42	0.22	1.42	0.13	0.13	0.13
	7	1.43	0.29	1.42	0.21	1.42	0.13	0.13	0.13
	8	1.43	0.27	1.42	0.2	1.42	0.13	0.13	0.13
	9	1.43	0.26	1.42	0.19	1.42	0.13	0.13	0.13

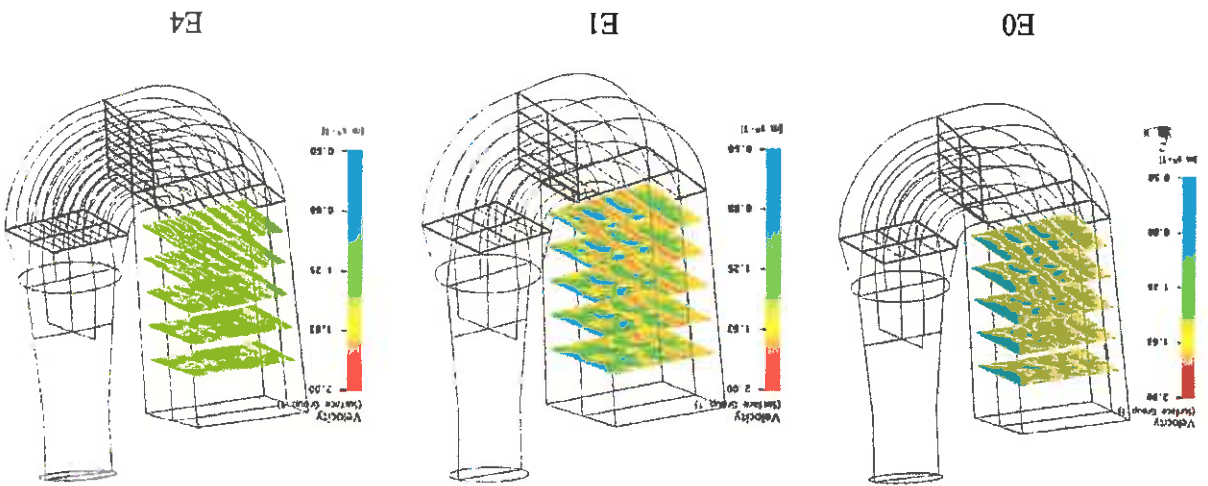


Figure 6-7 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (simulation 4)

6.5 Simulation 8

La simulation 8 fait intervenir à la fois une grille en sortie soit juste en amont du couloir de tremp, une en entrée de coude et une grille à mi-parcours du changement de direction. Les deux grilles avals sont identiques et ont un taux de section libre de 85%. La grille d'entrée quant à elle correspond à un taux de passage de 80%.

Grille	5
Entrée	0.42
Milieu	0.25
Sortie	0.25

Tableau 6-14 : Définition des grilles (simulation 8)

Le tableau 6-15 présente la distribution de l'alimentation des 4 canaux pour les trois configurations de cette simulation 8.

E0		E1		E4	
Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)
A	69	24.3	68.1	24	68
B	68.7	24.2	68.1	24	67.5
C	72.2	25.5	71.7	25.3	71.4
D	73.6	26	75.6	26.7	76.4
					27

Tableau 6-15 : Répartition des débits (Simulation 8)

La figure 6-8 de façon qualitative et le tableau 6-16 du point de vue quantitatif montrent l'influence bénéfique de l'augmentation de la perte de charge de la grille amont sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp. Son efficacité reste toutefois modérée et d'ailleurs d'autres simulations ont montré que la réduction du taux de passage de la grille d'entrée pour des valeurs plus élevées crée davantage de perte de charge qu'elle n'améliore l'homogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp.

Plan	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	E0	E1	E4	
1	1.44	0.34	1.42	0.27	1.43	0.21	1.42	0.2	1.42	0.13	1.42	0.15	1.43	0.25	1.42	0.14
2	1.44	0.34	1.42	0.25	1.43	0.19	1.42	0.25	1.42	0.19	1.42	0.15	1.43	0.3	1.42	0.15
3	1.43	0.35	1.42	0.25	1.42	0.19	1.42	0.25	1.42	0.17	1.42	0.16	1.43	0.32	1.42	0.16
4	1.43	0.33	1.42	0.24	1.42	0.17	1.42	0.24	1.42	0.17	1.42	0.16	1.43	0.32	1.42	0.16
5	1.43	0.32	1.42	0.23	1.42	0.16	1.42	0.23	1.42	0.16	1.42	0.15	1.43	0.3	1.42	0.15
6	1.43	0.3	1.42	0.22	1.42	0.15	1.42	0.22	1.42	0.15	1.42	0.15	1.43	0.28	1.42	0.15
7	1.43	0.28	1.42	0.21	1.42	0.15	1.42	0.21	1.42	0.15	1.42	0.14	1.43	0.27	1.42	0.14
8	1.43	0.27	1.42	0.2	1.42	0.14	1.42	0.2	1.42	0.14	1.42	0.13	1.43	0.25	1.42	0.13
9	1.43	0.25	1.42	0.2	1.42	0.13	1.42	0.2	1.42	0.13	1.42	0.13	1.43	0.25	1.42	0.13

Tableau 6-16 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempage (simulation 8)

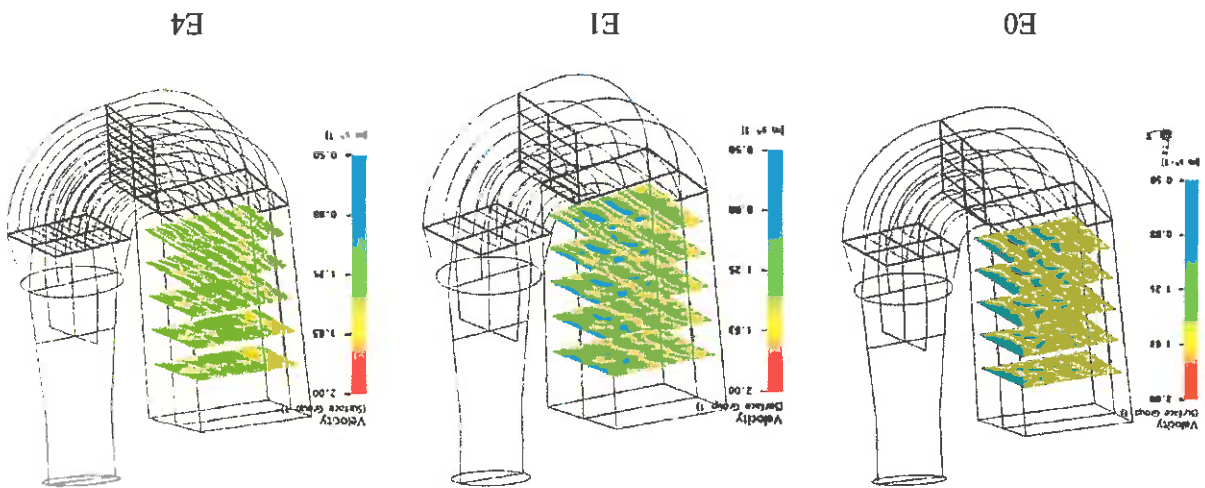


Figure 6-8 : Champs de vitesse dans le couloir de trempage (simulation 8)

6.6 Simulation 7

La simulation 7 fait intervenir à la fois une grille en sortie soit juste en amont du couloir de tremp, une en entrée de coude et une grille à mi-parcours du changement de direction. Les deux grilles amonts sont identiques et ont un taux de section libre de 80%. La grille de sortie quant à elle correspond à un taux de passage de 85%.

Grille	5
Entrée	0.42
Milieu	0.42
Sortie	0.25

Tableau 6-17 : Définition des grilles (simulation 7)

Le tableau 6-18 présente la distribution de l'alimentation des 4 canaux pour les trois configurations de cette simulation 7.

E0		E1		E4	
Canal	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)
A	68.9	24.3	68.3	24.1	68.3
B	68.8	24.3	68.3	24.1	67.7
C	72.1	25.4	71.7	25.3	71.4
D	73.6	26	75.1	26.5	76
					26.8

Tableau 6-18 : Répartition des débits (Simulation 7)

La figure 6-9 de façon qualitative et le tableau 6-19 du point de vue quantitatif montrent l'influence bénéfique de l'augmentation de la perte de charge de la grille centrale sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp. De même que pour la grille amont, son efficacité reste toutefois modérée et d'ailleurs d'autres simulations ont montré que la réduction du taux de passage de la grille médiane pour des valeurs plus élevées crée davantage de perte de charge qu'elle n'améliore l'homogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp.

Plan	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)
E0	1	1.44	0.33	1.42	0.25	1.43	0.2	E1	2	1.44	0.32	1.42
	2	1.44	0.32	1.42	0.24	1.43	0.18		3	1.42	0.33	1.42
	3	1.42	0.33	1.42	0.23	1.42	0.18		4	1.42	0.32	1.42
	4	1.42	0.32	1.42	0.23	1.42	0.17		5	1.42	0.3	1.42
	5	1.42	0.3	1.42	0.22	1.42	0.16		6	1.42	0.29	1.42
	6	1.42	0.29	1.42	0.21	1.42	0.15		7	1.42	0.27	1.42
	7	1.42	0.27	1.42	0.2	1.42	0.14		8	1.42	0.26	1.42
	8	1.42	0.26	1.42	0.2	1.42	0.13		9	1.42	0.24	1.42
	9	1.42	0.24	1.42	0.19	1.42	0.13	E4	10	1.42	0.13	1.42

Tableau 6-19 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (simulation 7)

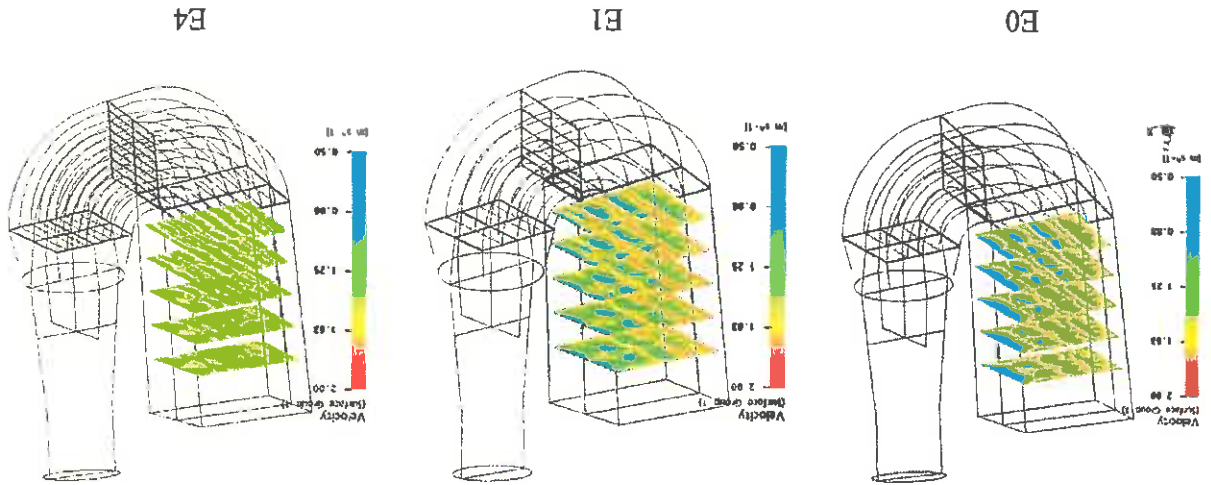


Figure 6-9 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (simulation 7)

6.7 Simulation 6

La simulation 6 fait intervenir à la fois une grille en sortie soit juste en amont du couloir de tremp, une en entrée de coude et une grille à mi-parcours du changement de direction. Les trois grilles sont identiques et ont un taux de section libre de 80%.

Grille	5
Entrée	0.42
Milieu	0.42
Sortie	0.42

Tableau 6-20 : Définition des grilles (simulation 6)

Le tableau 6-21 présente la distribution de l'alimentation des 4 canaux pour les trois configurations de cette simulation 6.

Canal	E0		E1		E4	
	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)	Débit (kg/s)	Taux (%)
A	68.9	24.3	68.5	24.2	68.5	24.2
B	68.7	24.2	68.5	24.2	67.9	24
C	71.7	25.3	71.7	25.3	71.4	25.2
D	74.2	26.2	74.7	26.4	75.7	26.7

Tableau 6-21 : Répartition des débits (Simulation 6)

La figure 6-10 de façon qualitative et le tableau 6-22 du point de vue quantitatif montrent l'influence bénéfique de la mise en place des trois grilles de taux de passage 80% sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp.

Cette répartition des grilles semble un bon compromis entre réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp et maîtrise de la perte de charge engendrée par le système. On conserve à ce stade (selon les résultats des simulations sur la configuration complète) la possibilité d'opter pour une grille en sortie de section libre de 75% qui devrait encore améliorer un peu l'homogénéité du champ de vitesse. On se limitera toutefois à cette valeur minimale. Une obstruction de section plus importante, conduirait à la réalisation d'une grille qui engendrerait une forte structure de jet-sillage difficilement résorbable et qui aurait un effet contraire à celui recherché.

Plan	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)
E0	1	1.43	0.26	1.42	0.2	1.42	0.17	1.42	0.12	0.12
	2	1.43	0.26	1.42	0.2	1.42	0.18	1.42	0.12	0.12
	3	1.42	0.26	1.42	0.2	1.42	0.18	1.42	0.13	0.13
	4	1.42	0.26	1.42	0.2	1.42	0.19	1.42	0.15	0.15
	5	1.42	0.26	1.42	0.19	1.42	0.19	1.42	0.14	0.14
	6	1.42	0.25	1.42	0.19	1.42	0.18	1.42	0.13	0.13
	7	1.42	0.24	1.42	0.18	1.42	0.18	1.42	0.12	0.12
	8	1.42	0.23	1.42	0.18	1.42	0.17	1.42	0.12	0.12
	9	1.42	0.22	1.42	0.17	1.42	0.12	1.42	0.12	0.12
E1										
E4										

Tableau 6-22 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (simulation 6)

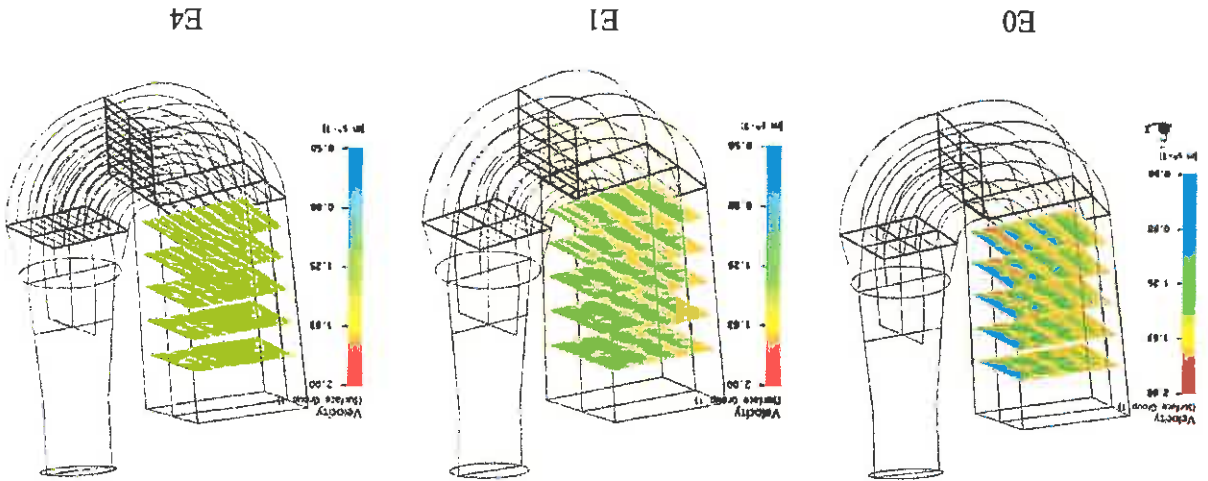


Figure 6-10 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (simulation 6)

Le tableau suivant (6-23) regroupe les pertes de charge des configurations simulées dans cette phase.

Simul.	Config.	ζ_{centre}	ζ_{milieu}	ζ_{sortie}	$\Delta P_{tot} (Pa)$	Simul.	Config.	ζ_{centre}	ζ_{milieu}	ζ_{sortie}	$\Delta P_{tot} (Pa)$
0	E0	0	0	0	992	8	E0	0.42	0.25	0.25	2360
	E1				960		E1				2337
	E4				1043		E4				2440
1	E0	0	0	0.25	1184	7	E0	0.42	0.42	0.25	2666
	E1				1158		E1				2647
	E4				1242		E4				2793
2	E0	0.25	0	0.25	1619	6	E0	0.42	0.42	0.42	2792
	E1				1592		E1				2783
	E4				1687		E4				2893
4	E0	0.25	0.25	0.25	2059	Initiale			0		4373
	E1				2039						
	E4				2140						

Tableau 6-23 : Pertes de charge des différentes configurations simulées

7. SIMULATION INTEGRALE

7.1 Domaines de calcul, conditions limites et maillage

La simulation integrale prend en compte l'ensemble des éléments constitutifs du bac de trempe à savoir :

- La conduite d'amenée
- L'enveloppe extérieure de la chaussette précédemment définie
- Les grilles précédemment définies
- Le couloir de trempe
- Le support d'ascenseur
- Le plateau
- La pompe
- La charge

La pompe jusqu'à présent considérée uniquement par le débit engendrée est dans cette partie introduite sous la forme d'une composante débitante et d'une composante tangentielle.

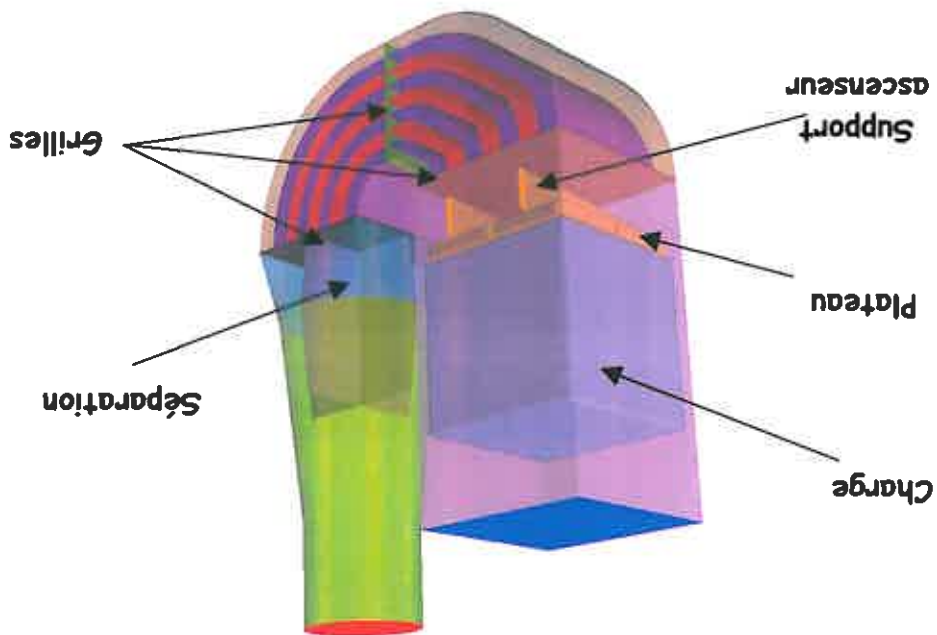
La charge (pièces à traiter) est introduite sous la forme d'un volume cubique de 650mm de côté et d'un coefficient de perte de charge homogène et isotrope.

Le support d'ascenseur est placé tel que la base du plateau est à 150mm du bord de fuite de l'aubage guide.

Dans cette partie, aucune hypothèse de symétrie n'est émise, le domaine est simulé dans son intégralité.

La figure 7-1 présente le domaine de calcul.

Figure 7-1 : Domaine de calcul et conditions limites de la géométrie complète



Compte tenu de la complexité de la forme géométrique du plateau, le domaine a été scindé en deux parties. L'une englobant la conduite d'amenée, le coude avec l'aufrage guide et les grilles dont le maillage (cf. figure 7-2) est de type structure réalisé en éléments hexaédriques et comporte 3.2 millions d'éléments, l'autre englobant le couloir de trempe, le support d'ascenseur ainsi que le plateau dont le maillage est de type non structuré composé de 5.9 millions d'éléments tétraédriques.

Le transfert d'information est assuré par une interface « GGI » assurant la conservation des flux.



Figure 7-2 : Maillage du bac de trempe dans sa configuration complète

7.2 Résultats

La figure 7-3 montre les différents plans de visualisation utilisés dans ce chapitre.

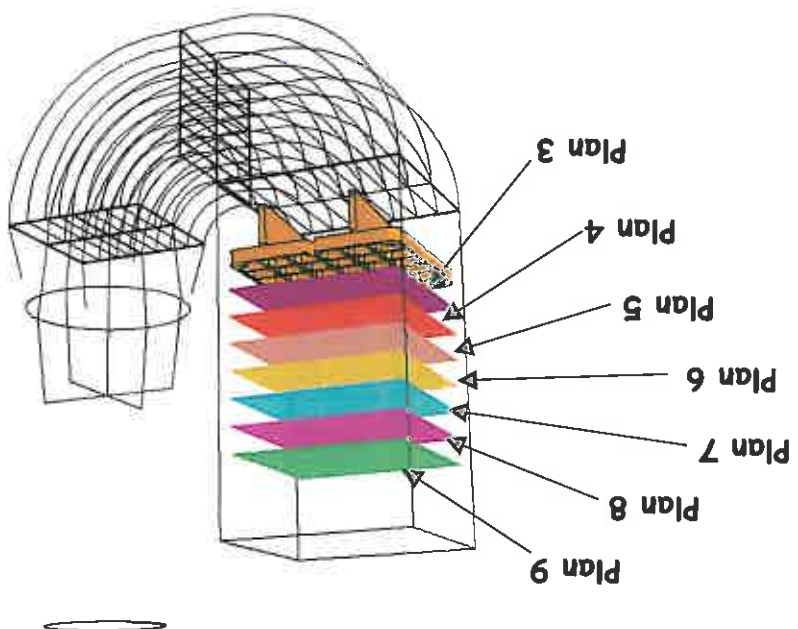


Figure 7-3: Définition des plans de visualisation

Le plan 3 est placé à 100mm du plateau et les plans sont espacés de 100mm.

7.2.1 Sans rotation

Dans un premier temps, les calculs ont été réalisés sur la géométrie complète pour les 3 configurations définies dans la phase précédente (E0, E1 et E4). Deux cas de grille sont pris en compte. La composante tangentielle n'est pas encore intégrée dans les calculs ni la charge. La définition des cas est répertoriée dans le tableau (7-1).

Tableau 7-1 : Configurations simulées sans rotation

	grille	charge	Entrée	Milieu	Sortie		Rotation
E0	0	0	0.42	0.42	0	0	Non
E1	0	0	0.42	0.42	0	0	Non
E4	0	0	0.42	0.42	0	0	Non

La figure 7-4 de façon qualitative et le tableau 7-2 du point de vue quantitatif met en évidence l'intérêt de l'ajutage intercalaire sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de trempe. Ce caractère déjà observé dans la phase précédente est conservé lors de l'introduction du support d'ascenseur et du plateau.

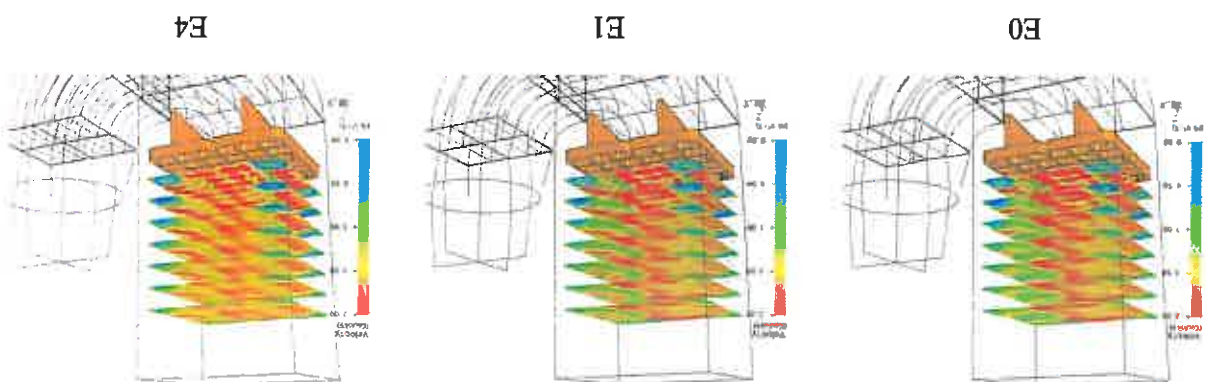


Figure 7-4 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (géométrie complète sans grille)

Plan	E0		E1		E4	
	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)	V_a (m/s)	σ (m/s)
3	1.46	0.81	1.45	0.80	1.46	0.78
4	1.42	0.71	1.42	0.71	1.43	0.69
5	1.43	0.58	1.42	0.58	1.43	0.56
6	1.43	0.49	1.43	0.48	1.44	0.46
7	1.44	0.44	1.44	0.43	1.45	0.40
8	1.44	0.41	1.44	0.40	1.45	0.37
9	1.45	0.39	1.45	0.38	1.46	0.34

Tableau 7-2 : Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (sans grille)

La figure 7-5 de façon qualitative et le tableau 7-3 du point de vue quantitatif montre l'effet bénéfique de l'ajout des grilles sur la réduction de l'hétérogénéité du champ de vitesse. Il apparaît que la solution la plus favorable est la configuration disposant d'une aube intercalaire par canal.

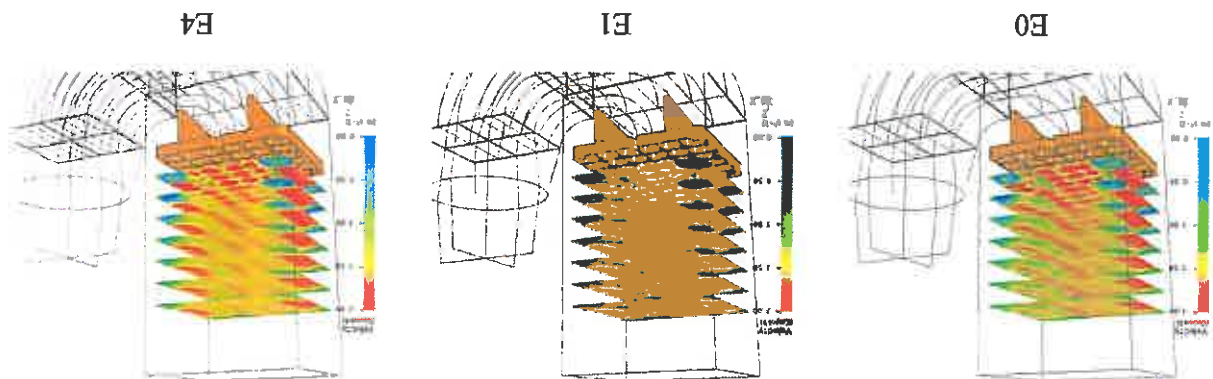


Figure 7-5: Champs de vitesse dans le couloir de tremp (géométrie complète avec grille)

Plan	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	V _a (m/s)	σ (m/s)	E4	
							V _a (m/s)	σ (m/s)
9	1.45	0.32	1.44	0.34	1.45	0.31		
8	1.44	0.35	1.44	0.37	1.44	0.34		
7	1.44	0.38	1.44	0.4	1.44	0.37		
6	1.43	0.43	1.43	0.45	1.43	0.42		
5	1.42	0.53	1.42	0.54	1.42	0.52		
4	1.42	0.67	1.41	0.67	1.42	0.66		
3	1.45	0.77	1.45	0.77	1.45	0.75		

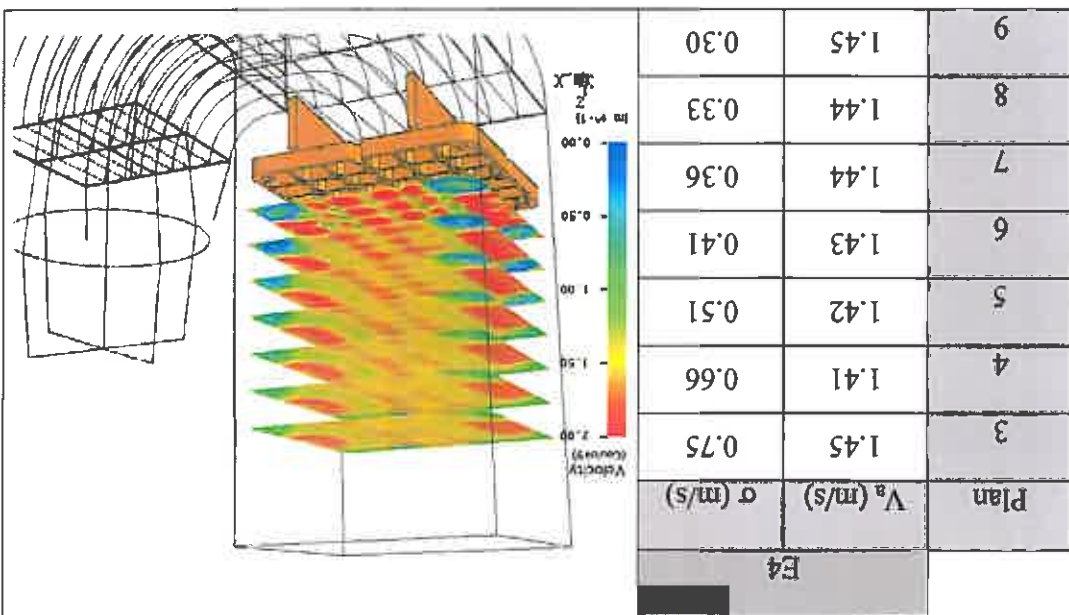
Tableau 7-3: Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de tremp (avec grille)

A la vue des résultats obtenus dans la phase précédente concernant l'impact des grilles placées en amont, en milieu et en sortie de coude et sur la configuration E4 (4 aubes intercalaires), il est proposé une répartition des grilles légèrement différentes (cf. tableau 7-4) qui permet d'améliorer légèrement le champ de vitesse dans le couloir de tremp et de diminuer un peu les pertes de charge du bac. La figure 7-6 montre les résultats obtenus dans ce cas.

Grille	5
Entrée	0.42
Milieu	0.25
Sortie	0.65

Tableau 7-4: Définition des grilles (Configuration E4 avec grille)

Figure 7-6 : Champs de vitesse dans le couloir de trempe (géométrie complète, E4, grille 0.42-0.25-0.65)



7.2.2 Prise en compte de la rotation

La composante tangentielle est estimée à partir de la formule théorique suivante :

$$gH_h = \Delta(Uc_u)$$

où g : accélération de la pesanteur (9.81 m.s^{-2})

H_h : hauteur théorique de la pompe (m)

U : vitesse périphérique ($U = \omega r$, m/s)

c_u : composante tangentielle (m/s)

A partir des données fournies par le client sur la pompe, on estime une valeur de la composante tangentielle :

Pompe CELES

Type : PBM 450/1000

Vitesse de rotation $N = 1000 \text{ tr.min}^{-1}$

Débit : $2100 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$

Hauteur : 1.6 mCE

Ce qui donne une composante tangentielle de 1.94 m/s.

Cette méthode ne peut évidemment pas remplacer l'intégration physique de la pompe dans le modèle numérique, mais permet de donner une idée de l'impact de la rotation à moindre coût (temps calcul).

Sur la base de la dernière configuration (la répartition des grilles est celle du tableau 7-4), on considère 3 cas définis sur la figure 7-7. Le cas E4-A avec une séparation droite dans la conduite d'amenée, le cas E4-B sans séparation dans la conduite d'amenée, et le cas E4-C avec une séparation dans la conduite d'amenée dont l'angle d'attaque est adapté à l'écoulement incident.

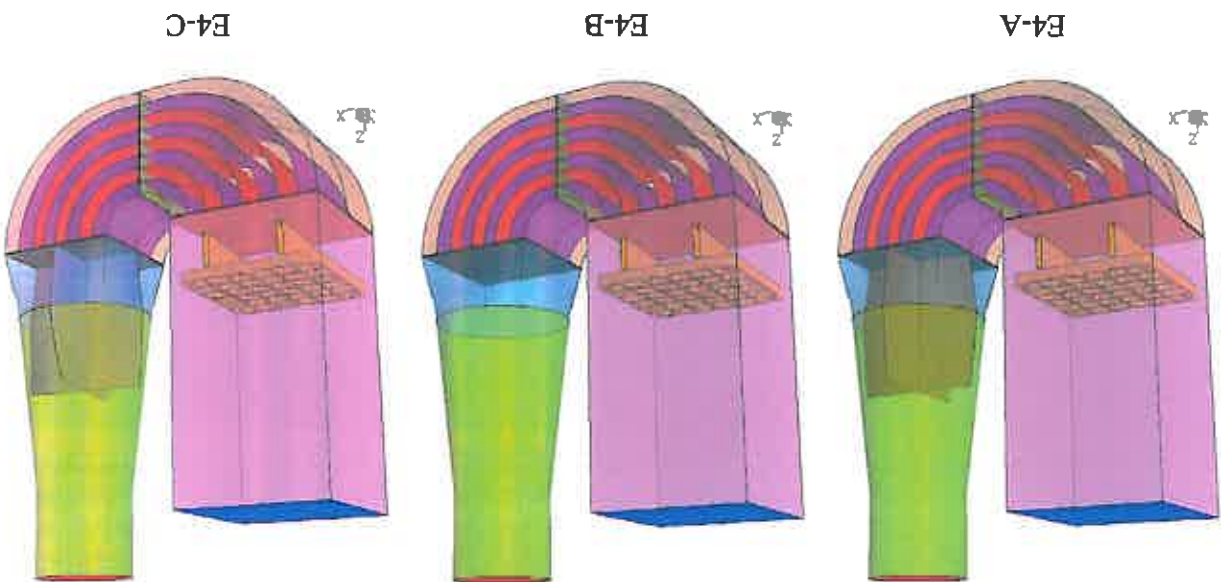


Figure 7-7 : Configurations simulées (avec rotation)

La figure 7-8 montre la structure de l'écoulement pour les trois cas étudiés. La configuration E4-A présente sur l'arrière un décollement de l'écoulement qui engendre une perte de charge supplémentaire et ne favorise pas une alimentation correcte des canaux aval. Si l'adaptation de l'angle d'attaque de la séparation à l'écoulement évite ce décollement, il s'avère préférable de se dispenser de ce système qui n'est pertinent que pour un point de fonctionnement particulier et pourrait conduire au même problème que la configuration E4-A pour d'autres modes opératoires.

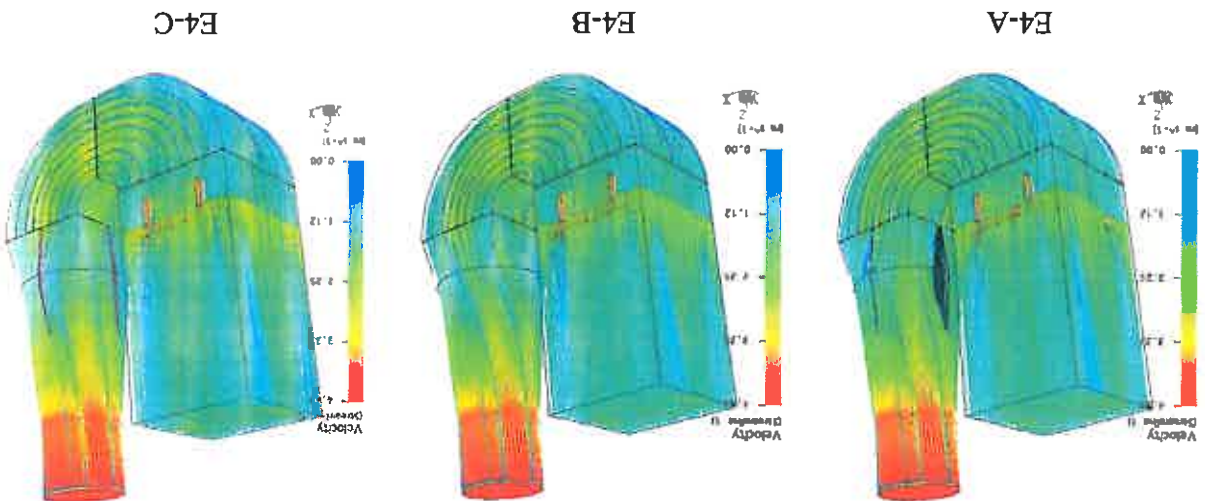


Figure 7-8: Lignes de courant (géométrie complète avec rotation)

La figure 7-9 de façon qualitative et quantitative met en valeur l'hétérogénéité résiduelle du champ de vitesse à travers le couloir de trempe pour la configuration E4-B.

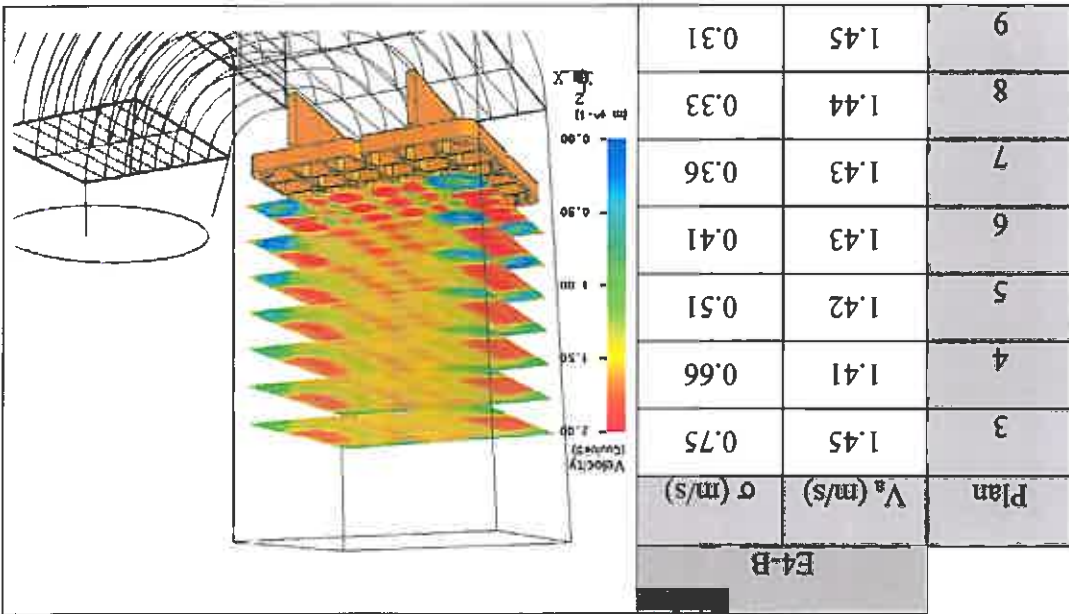


Figure 7-9: Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de trempe (avec rotation)

Le tableau 7-5 montre la répartition de débit entre les différents canaux. Ces valeurs sont associées au domaine complet d'où le rapport sensiblement double aux valeurs présentées dans le chapitre 6.

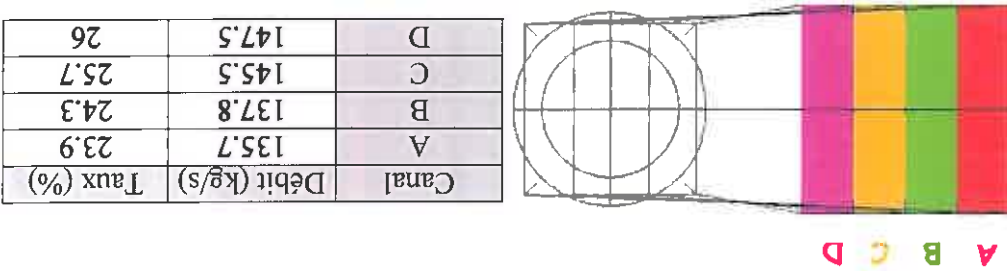


Tableau 7-5: Répartition de débit (configuration E4-B, avec rotation)

Les dimensions du bac de trempe sont données en annexe.

7.2.3 Effet de la charge

La charge est difficile à prendre en compte du fait de la grande variété de pièces susceptibles de subir un traitement thermique dans le bac de trempe. Cependant, on a défini un volume cubique représentant la forme des casiers et introduit un coefficient de perte de charge homogène et isotrope. Cette hypothèse ne peut évidemment par retrascrire la structure réelle de l'écoulement à travers le bac de trempe. La détermination d'un coefficient de perte de charge significatif n'est pas aisée, on se fixera deux valeurs l'une de 0.73 pouvant correspondre à peu près à des charges alignées, et l'autre de 2.34 à des charges en quinconces.

Le tableau 7-6 regroupe les pertes de charge induites. Cependant, il est à noter que ces valeurs sont à prendre avec beaucoup de réserve. En effet, on introduit ici un coefficient de perte de charge dont la représentativité peut porter à caution. De plus, le débit est fixé et identique quel que soit le cas.

ζ_{charge}	$\Delta P_{tot} (Pa)$
0	4344
0.73	4861
2.34	5931

Tableau 7-6 : Pertes de pression dans le bac en fonction de la charge

La figure 7-10 présente le champ de vitesse à travers le couloir de tremp en fonction de la charge.

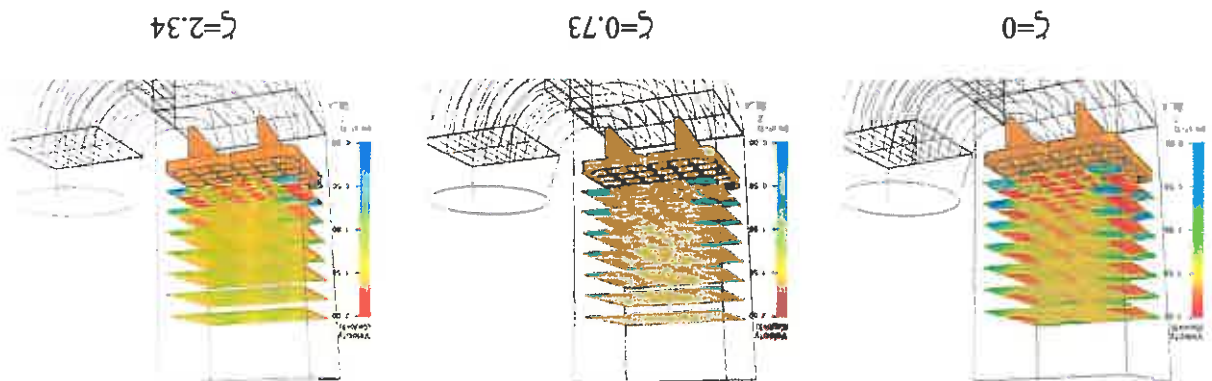


Figure 7-10: Vitesse débitante et écart-type dans le couloir de tremp (avec rotation et charge)

8. CONCLUSIONS

Dans le cadre du projet d'installation de bac de tremp de la société *SERTHEL*, il a été réalisé une étude basée sur la simulation numérique de l'écoulement. Cette étude visée à modifier la géométrie du projet initial dans le but de réduire l'hétérogénéité du champ de vitesse dans le couloir de tremp, couloir où sont introduites les pièces devant subir un traitement thermique.

L'analyse numérique a conduit à la définition :

- D'une chaussette reliant la zone génératrice du flux d'huile et le couloir de tremp
- D'un aubage de guidage limitant les décollements lors du changement de direction imposé au fluide
- D'un ensemble de grille réduisant l'hétérogénéité du champ de vitesse

La figure 8-1 montre une visualisation tridimensionnelle de la nouvelle géométrie et les champs de vitesses obtenus dans le couloir de trempe.

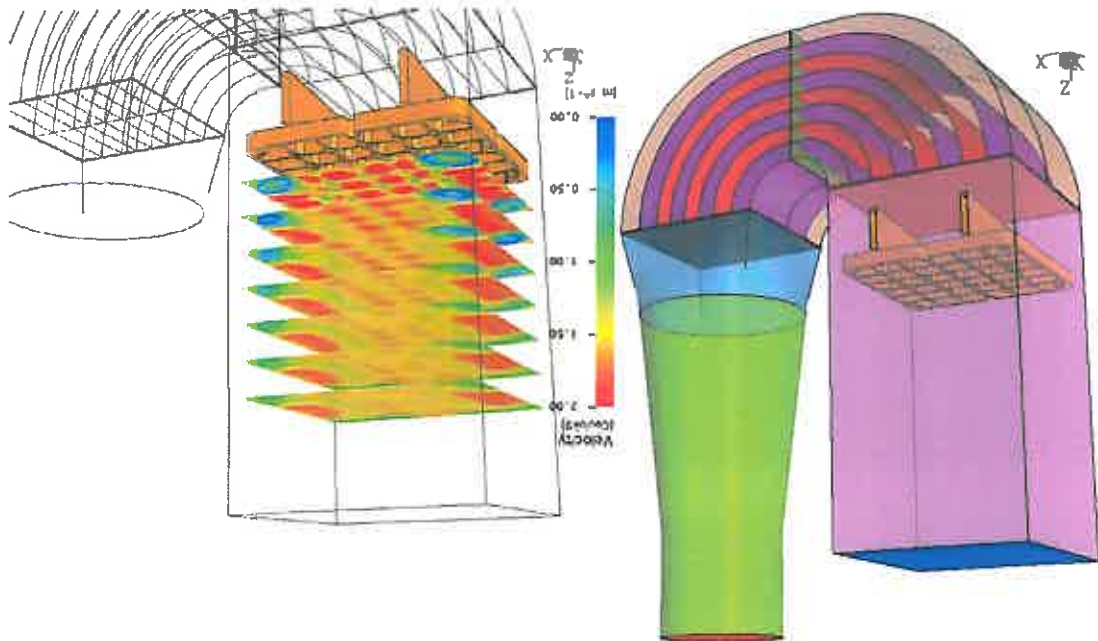


Figure 8-1 : Définition du bac de trempe modifié et champs de vitesse dans le couloir

Dans l'optique de réduire davantage l'hétérogénéité du champ de vitesse, il faudrait envisager une modification de la forme du plateau. En effet, sa géométrie (cf. figure 8-2) présente en ses 4 coins une obstruction importante de la section de passage. Il en résulte de forte recirculation en aval et un contournement du fluide vers les zones adjacentes. Ces zones de hautes et faibles vitesses présentes sur les parois intérieures et extérieures du couloir de trempe ne se résorbent que très difficilement.

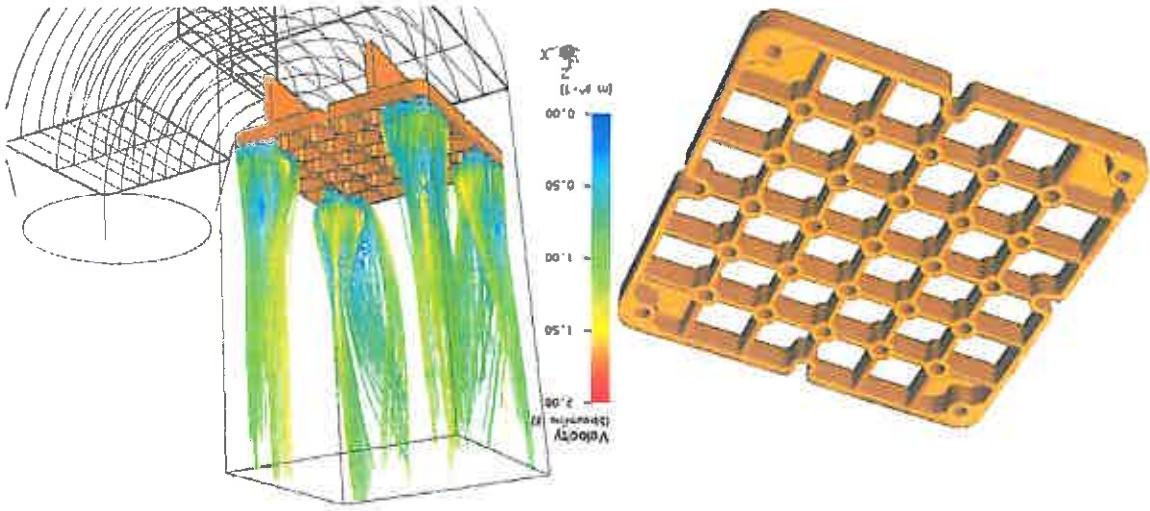
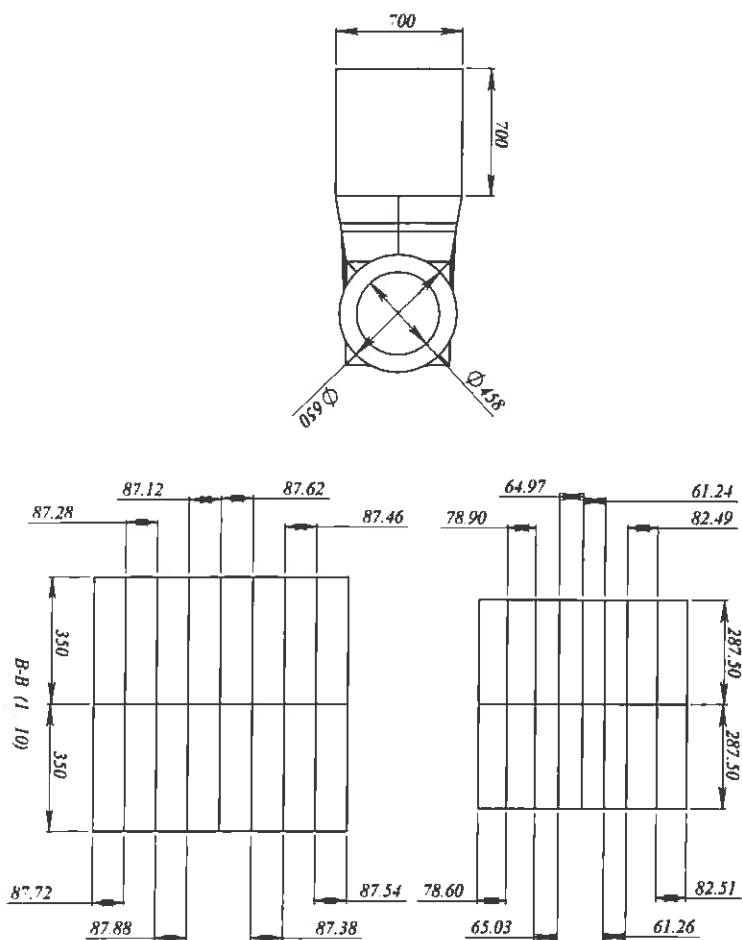
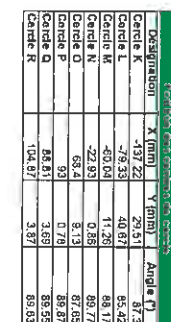
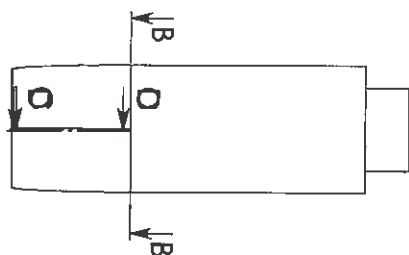


Figure 8-2 : Géométrie du plateau et lignes de courant en aval de ses coins

Ingénieur d'Affaire
Guillaume PINTRAND

Si la forme du plateau est définie suivant des critères de tenue mécanique, il est important de conserver en mémoire son impact sur l'écoulement pour le traitement thermique des pièces.

ANNEXE 1

[illegible]