

Optimisation de la forme des décanteurs lamellaires à flux croisés par la modélisation numérique 3D

Shape optimisation of lamellar decaners using 3D CFD modelling

José Vazquez*, Antoine Morin**, Matthieu Dufresne*, Jonathan Wertel***

* Institut de Mécanique des Fluides et des Solides de Strasbourg, 2 rue Boussingault, 67000 STRASBOURG, FRANCE, jvazquez@engees.u-strasbg.fr

** Hydroconcept, ZA Trappes Elancourt, 46, Avenue des Frères Lumière 78190 TRAPPES, FRANCE, hydroemail@gmail.com

*** 3D Eau, 4 rue Boussingault, 67 000 STRASBOURG, FRANCE
jonathan.wertel@3deau.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est l'optimisation du fonctionnement hydraulique tridimensionnel d'un décanteur lamellaire à flux croisés. Le critère d'optimisation choisi est l'équirépartition hydraulique du débit entre les lames. La modélisation 3D complète de l'ouvrage permet de montrer la répartition des vitesses, la localisation des zones de recirculation et les chemins préférentiels d'écoulement à l'amont, à l'aval, et entre les lames du décanteur. Concrètement, ce sont les modalités géométriques d'alimentation et de sortie qui sont testées afin de satisfaire au mieux le critère d'optimisation précédemment défini. La modélisation hydraulique des formes de l'ouvrage a montré que la tranquillisation et la répartition des flux est beaucoup plus importante sur la partie amont que sur la zone aval. Sans dispositif d'entrée particulier, un pourcentage très élevé (80%) du débit passe dans 20% des lames. La répartition est médiocre et le décanteur n'atteint pas les performances qui sont attendues compte tenu de la faible surface de décantation active mise en jeu. La création de chicanes, de siphons ou de parois plongeantes permettent de diminuer la vitesse à l'amont des lames. En modifiant peu à peu les géométries testées, nous avons obtenu un prototype de décanteur lamellaire permettant d'homogénéiser au maximum la vitesse de l'eau à travers les lames.

ABSTRACT

The aim of this paper is the optimization of a cross-flow lamellar decanter tridimensional hydraulic running. The more homogenous flow distribution among the lamella is the chosen optimization criteria. 3D modeling of the whole structure makes it possible to obtain the velocity distribution, the location of the recirculation and turbulence zones, the preferential flow path from upstream to downstream and between the lamella of the decanter. More precisely, several income and outcome shapes have been tested to satisfy the optimization criteria. It is found that tranquilization and flux distribution mainly takes place in upstream zone. Without any modification, a great percentage of the flow rate (80%) goes into 20% of the lamella. This is poor distribution, since the active settling surface is small, the decanter cannot be efficient. Zigzags, siphons and walls installing make it possible to decrease the velocity of upstream lamella flow. Successive models have been studied, the present one allows the velocity among the lamella to be homogenized quite well.

KEYWORDS

3D CFD, turbulence model, sedimentation tank, lamellar decaners, shape optimisation

MOTS-CLES

Modélisation 3D, CFD, modèle de turbulence, bassin de décantation, décanteurs lamellaires, optimisation de la géométrie

INTRODUCTION

Les décanteurs lamellaires à flux croisés, décrits dans cet article, sont des ouvrages destinés au traitement des eaux de ruissellement polluées. Le principe du traitement est la séparation gravimétrique entre deux lames juxtaposées et inclinées par rapport au plan horizontal. Dans ce type de décanteur, l'effluent brut pénètre horizontalement sur l'un des flancs du bloc lamellaire. L'eau circule horizontalement entre les lames tandis que les particules plus denses que l'eau chutent vers le bas. Après avoir décanté, les eaux claires ressortent de l'autre côté de la structure lamellaire (voir Figure 1). Ce type de décanteurs lamellaires se différencie des décanteurs lamellaires à contre courant, dans lesquels l'effluent traverse la structure lamellaire verticalement de bas en haut. On admet que la profondeur requise pour construire un décanteur lamellaire à flux croisés est plus faible que celle d'un décanteur à contre courant, ce qui conduit à réduire les coûts de construction. La structure lamellaire d'un décanteur à flux croisés est également plus simple à mettre en œuvre et sa maintenance est plus facile à effectuer parce qu'elle est posée sur deux murets et non accrochée en hauteur aux voiles du décanteur. Enfin, l'exploitant peut accéder aux lames à des fins de nettoyage, sur trois faces de la structure lamellaire (de chaque côté et par le dessus depuis une galerie ou bien des trappes), alors qu'il ne peut nettoyer les lames d'un décanteur à contre-courant que par le dessus.

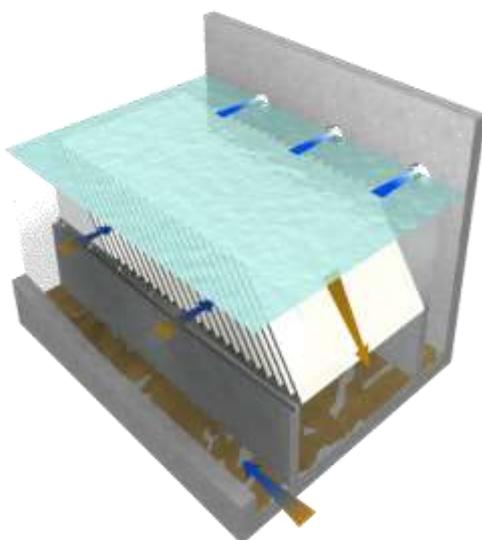


Figure 1 : Décanteur lamellaire à flux croisés

Depuis les années 1990, de nombreux articles [Chebbo (1992), Chocat (1997), Ashley et al. (2004)] ont montré que les matières polluantes entraînées par les eaux de ruissellement étaient majoritairement fixées sur de fines particules véhiculées en suspension. En dessous du seuil de 100 microns, on trouve environ 80 % de la masse des particules selon ces auteurs. Leur diamètre médian approche les 30 microns. Les vitesses de chute habituellement retenues pour le calcul du nombre de lames qui équipent les décanteurs sont très faibles. Il en résulte la mise en œuvre d'importantes surfaces de décantation pour séparer ces fines particules. Le calcul du nombre de lames conduit donc à des ouvrages de grandes dimensions, et par conséquent, la distribution équitable de l'eau dans la totalité de la structure lamellaire est plus difficile à réaliser. Mais lorsque l'on calcule le nombre de lames d'un décanteur lamellaire, on suppose toujours vraie l'hypothèse selon laquelle l'eau se répartit équitablement entre toutes les lames. L'équirépartition de l'eau est l'un des gages du bon fonctionnement d'un décanteur lamellaire. Cette problématique a été étudiée dans un décanteur lamellaire à contre-courant par Morin et al. (2009 et 2011), qui ont mis en évidence le rôle des dispositifs de reprise des eaux décantées pour obtenir des vitesses d'écoulement homogènes.

Cependant le fonctionnement hydraulique des décanteurs à flux croisés reste peu étudié. Ce problème est d'ailleurs signalé par Chocat (Chocat, 1997) dans son ouvrage "Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement" qui explique que pour les "décanteurs à courants croisés, si leur principe permet théoriquement de construire des ouvrages très compacts et de faible hauteur, les problèmes d'équirépartition hydraulique du débit sur les lamelles sont particulièrement difficiles à résoudre et aucune solution réellement satisfaisante à l'échelle industrielle n'a pu être dégagée."

La modélisation tridimensionnelle est un outil particulièrement performant pour permettre la connaissance fine du champ des vitesses dans un ouvrage hydraulique. Les simulations faites avec l'outil CFD (Computational Fluid Dynamics) ont été suffisamment vérifiées par des mesures expérimentales pour pouvoir être utilisées aujourd'hui dans le but d'optimiser la forme des ouvrages et

atteindre un comportement hydraulique adéquat. Le code retenu pour cette étude est Fluent (Fluent, 2001), déjà utilisé pour l'étude de déversoirs d'orage (Lipeme-Kouyi, G., 2005) et de bassins d'orage (Stovin, V. R. et al., 1994, Adamsson, Å. et al., 2003, Dufresne M. et al., 2008).

L'objectif principal du travail présenté est d'optimiser le fonctionnement hydraulique tridimensionnel d'un décanteur lamellaire à flux croisés. Les critères principaux de conception de ce type d'ouvrage sont la bonne répartition des flux et la réduction des vitesses verticales du fluide. Si l'étude a abordé ces deux sujets, le présent article concerne principalement le premier point, le second n'est abordé qu'à travers la considération d'un critère global. C'est pourquoi le critère d'optimisation choisi consiste à quantifier de quelle façon le débit se répartit dans la structure lamellaire afin de déterminer les conditions permettant d'obtenir une répartition homogène des effluents entre toutes les lames. La modélisation 3D complète de l'ouvrage va permettre de montrer comment se répartissent les vitesses, de localiser les zones de recirculations, de turbulences, et les chemins préférentiels d'écoulement à l'amont, à l'aval, et entre les lames de huit décanteurs. Plus précisément, ce sont les caractéristiques géométriques des dispositifs d'alimentation des eaux brutes et de sortie des eaux décantées qui seront testées afin de satisfaire au mieux le critère d'optimisation précédemment défini.

1 PRINCIPE DE MODELISATION ET METHODE DE COMPARAISON

Le code de calcul utilisé pour la modélisation 3D est le logiciel FLUENT[®]. Il utilise la méthode des volumes finis pour résoudre les équations de Reynolds. Le modèle de turbulence utilisé pour nos simulations est le modèle RSM (Reynolds Stress Model) (Versteeg & Malalasekera, 1995). Les conditions aux limites sont du type Dirichlet (vitesse imposée) à l'entrée et du type Neumann (sortie de fluide à la pression atmosphérique) au niveau de la sortie. La surface dans notre ouvrage ne présente pas de difficulté en termes de localisation, cette condition aux limites a été représentée par un plan de symétrie.

La construction du maillage constitue la première étape de toute simulation numérique. Cette construction concerne non seulement le nombre de mailles mais aussi leur taille et leur forme. Typiquement, on densifie le maillage dans les zones où de forts gradients sont attendus. Inversement, dans les zones où les gradients sont probablement faibles, des mailles plus grandes peuvent être utilisées. Quant à leur forme, les mailles hexaédriques sont privilégiées. Cependant, dans le cas de géométries aux formes complexes, il n'est pas toujours possible d'utiliser de telles mailles. Des cellules tétraédriques peuvent alors être utilisées. C'est le cas dans le modèle présenté, pour les transitions de formes circulaires vers des formes angulaires, comme par exemple lorsque le tuyau d'entrée débouche dans une chambre rectangulaire (Figure 2).

Pour obtenir des résultats de simulation corrects, le maillage doit être construit avec le plus grand soin. Le choix du nombre de mailles doit constituer un compromis entre le temps de calcul et la qualité des résultats. Plus le maillage est dense, plus les résultats sont précis, mais plus le temps de calcul est long. En général, on constate que les résultats n'évoluent plus de façon significative au delà d'un certain nombre de mailles. Construire un maillage plus fin n'est donc pas nécessaire. Si la concordance avec les expériences est mauvaise, il faut, non pas affiner le maillage, mais modifier le choix des modèles.

Le maillage qui a été choisi a fait l'objet d'une étude particulière. Trois maillages ont été testés : 300 000 mailles, 700 000 mailles et 1 500 000 mailles (Figure 2). Les résultats ont montré qu'un maillage à 700 000 mailles est performant tant du point de vue des résultats que du temps de calcul (Vazquez J. et al., 2009) en ce qui concerne l'étude de la répartition des flux. Ce dernier a donc été utilisé pour les différents calculs présentés dans cette communication. Suivant la configuration testée (voir Figure 4), le maillage a été adapté à la géométrie mais le nombre de mailles ne varie que localement et reste globalement voisin de 700 000.

A titre d'information, les calculs sont effectués en 14h environ sur des ordinateurs équipés de Pentium 4 ou équivalent. Le calcul est arrêté lorsque les critères de convergence sont satisfaits. Ces derniers sont obtenus lorsque l'écart des variables calculées au cours de deux itérations consécutives est inférieur à 10^{-4} . D'autres valeurs sont considérées, notamment le bilan de masse ou la faible fluctuation des débits entrée/sortie.

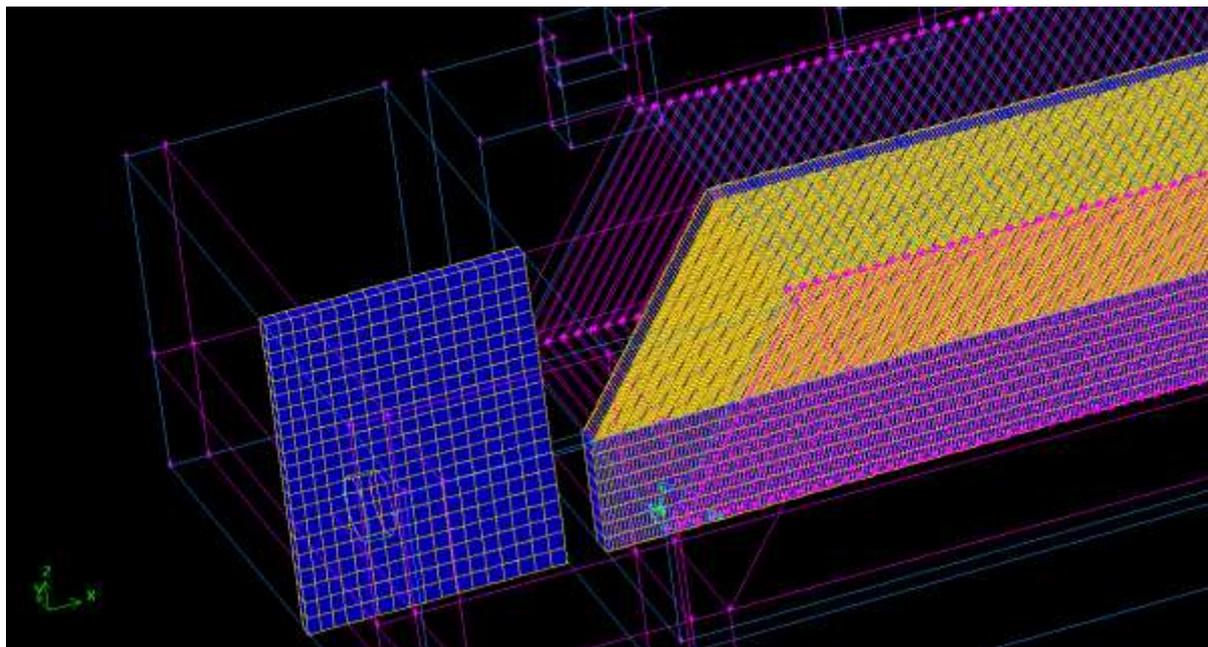


Figure 2 : Maillage avec 1.500.000 mailles

Afin de comparer les résultats des simulations entre elles, nous avons divisé la structure lamellaire en paquets de dix lames (Figure 3). On dispose ainsi de 9 paquets de lames qui seront traversés par une fraction de l'effluent brut. Nous avons calculé le pourcentage du débit qui traverse chacun d'eux dans le sens horizontal d'une part, mais également dans le sens vertical afin d'apprécier l'importance de la circulation de l'eau sous les lames.

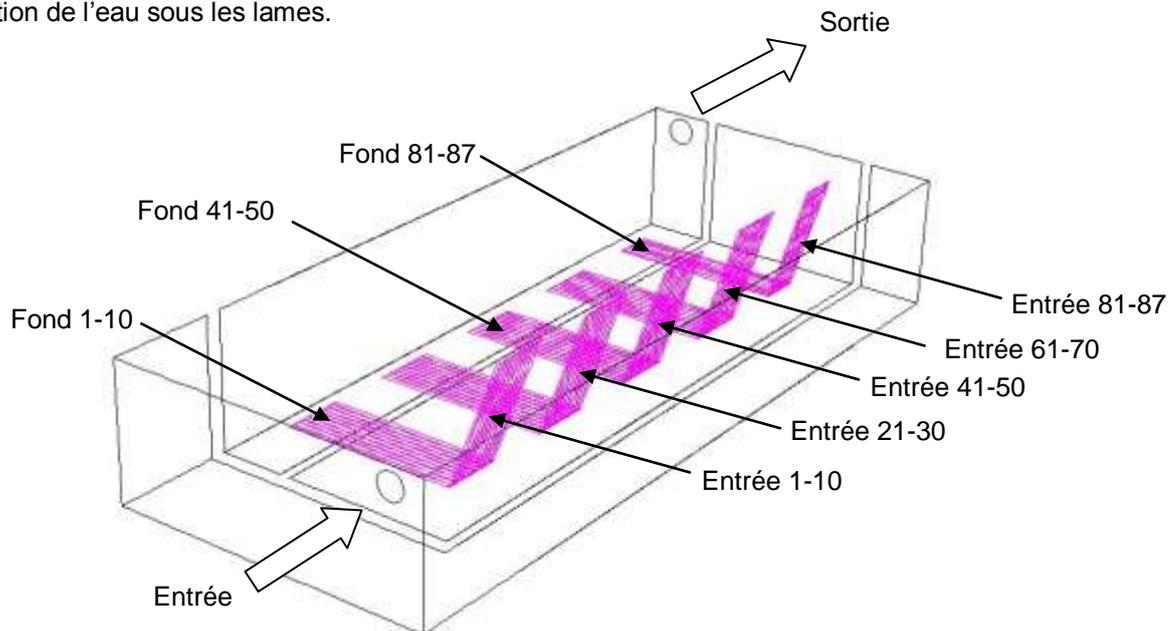


Figure 3 : Division du bloc lamellaire en paquets de 10 lames

2 CARACTERISTIQUES DU DECANTEUR LAMELLAIRE A FLUX CROISES

L'objectif de cette partie est la comparaison des performances des décanteurs ayant différents modes d'alimentation des eaux brutes et différents modes de sortie des eaux claires. On rappelle que le principal critère de performance consiste à avoir une alimentation des lames la plus homogène possible. Le taux de recirculation avec le fond est également un critère de qualité, plus le taux est faible et moins il y aura de remise en suspension.

Une répartition homogène devant chaque lame représente 1,15% du débit d'entrée (88 l/s / 87 lames = 1,0115), soit respectivement 11,5% pour un paquet de 10 lames et 8,05% pour les 7 dernières lames.

Les lames ont les dimensions suivantes : 3,20 m de largeur x 2,0 m de hauteur. La surface de décantation est constituée par des plaques planes ce qui les différencie des plaques utilisées pour fabriquer les lames de décanteurs lamellaires à contre-courant qui sont parfois nervurées.

Nous avons retenu les caractéristiques géométriques et hydrauliques suivantes. Elles sont issues d'un ouvrage dont la planification a été faite par Hydroconcept mais qui n'a pas été réalisé :

✓ Débit d'alimentation dans le compartiment lamellaire	: 0,088 m ³ /s
✓ Hauteur des lames	: 2,00 m
✓ Largeur des lames	: 3,20 m
✓ Espaces entre lames	: 0,09 m
✓ Angle d'inclinaison	: 55°
✓ Vitesse de sédimentation retenue (0.28 mm/s)	: 1 m/h
✓ Nombre de lames	: 87
✓ Hauteur minimale sous lames	: 0,80 m
✓ Largeur du couloir d'alimentation	: 1,20 m
✓ Largeur du couloir d'évacuation	: 1,20 m
✓ Surface de décantation pour le compartiment décanteur	: 557 m ²
✓ Surface de décantation projetée sur un plan horizontal	: 319 m ²
✓ Vitesse théorique moyenne d'écoulement entre les lames	: 0,43 cm/s

Dans les configurations couramment proposées par les industriels, on observe que les décanteurs lamellaires à flux croisés sont constitués d'un canal d'alimentation conduisant les effluents bruts vers le compartiment lamellaire. Les eaux décantées sont ensuite évacuées par un canal d'évacuation parfois muni de seuils de surverse. Ces configurations (avec ou sans seuils) sont représentés respectivement par les tests 1 et 2.

L'objectif de cette étude est d'aboutir à une configuration satisfaisante au regard de la répartition de l'eau dans les lames. Aussi, nous avons défini trois configurations de base qui correspondent aux trois premiers tests de la figure 4, que nous avons ensuite modifié afin d'aboutir rapidement à une solution acceptable.

Huit configurations ont ainsi été testées (Figure 4 et Tableau I) :

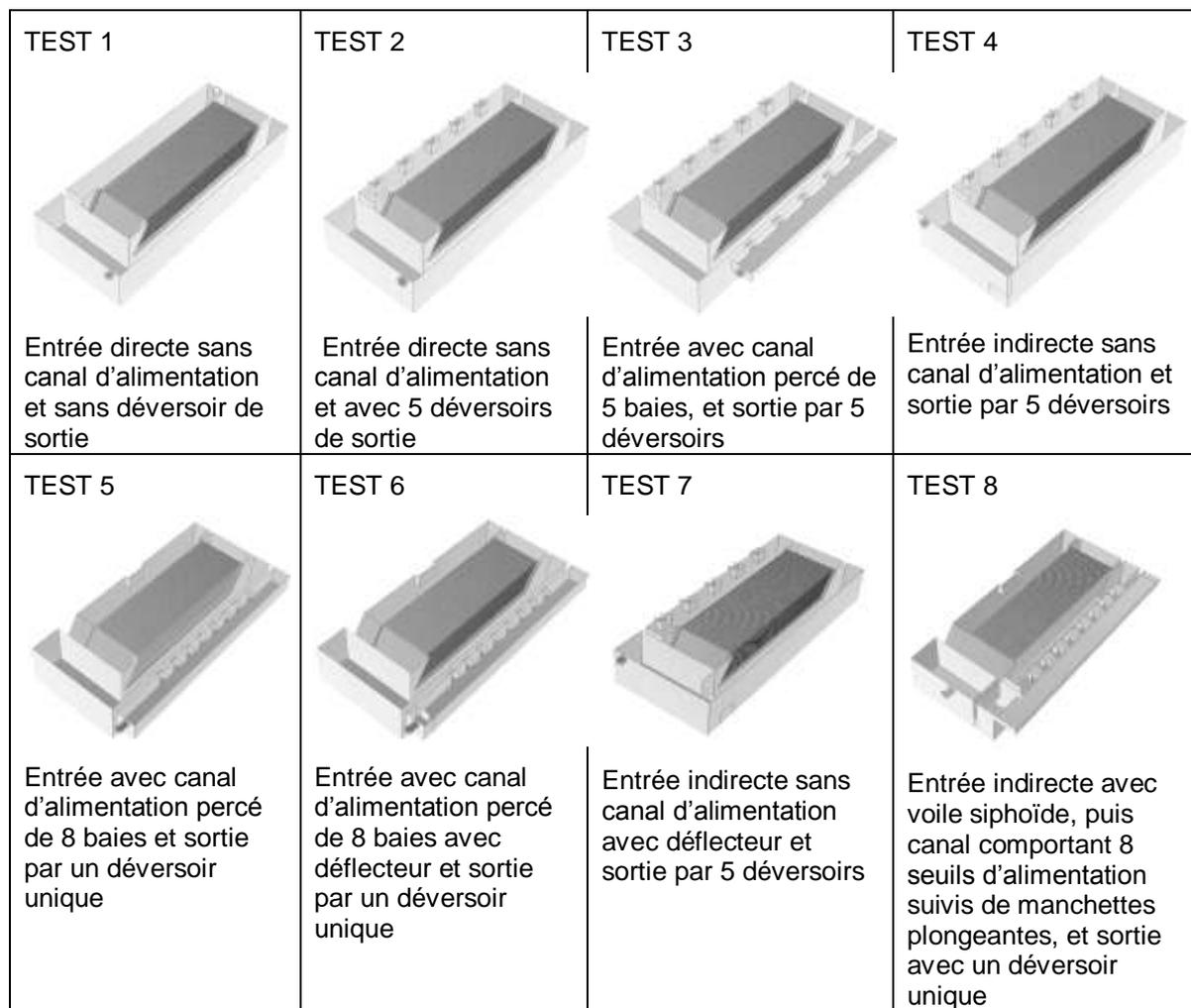


Figure 4 : Ensemble des tests

Test	Entrée				Sortie		
	directe	indirecte	via un canal d'alimentation	défecteur	simple	1 déversoir	5 déversoirs
1	X				X		
2	X						X
3			avec 5 baies				X
4		X					X
5			avec 8 baies			X	
6			avec 8 baies	X		X	
7		X		X			X
8			voile siphonoïde et 8 seuils			X	

Tableau I : synthèse des configurations entrée/sortie testées

3 LES RESULTATS

3.1 Tests 1-2 : Comparaison de sorties (avec et sans déversoirs)

3.1.1 Description des configurations

Les tests 1 et 2, dont les configurations sont rappelées dans le Tableau II, permettent de comparer deux modes d'évacuation de l'ouvrage : par une simple sortie ou cinq déversoirs.

Test	directe	indirecte	via un canal d'alimentation	défecteur	simple	1 déversoir	5 déversoirs
1	X				X		
2	X						X

Tableau II : rappel des configurations entrée/sortie des tests 1 et 2

3.1.2 Résultats

Les Figure 5 et Figure 6 suivantes montrent les lignes de courants pour les tests 1 et 2. Ces lignes de courant sont colorées, comme pour les autres figures similaires, par la vitesse en m/s.

Les deux premiers tests montrent des débits négatifs à travers les 30 premières lames. Les débits négatifs traduisent un mouvement de recirculation de l'eau dans les lames à contre sens. Ces recirculations engendrent une élévation du débit par rapport à la solution idéale pour les groupes de lame disposés à l'aval.

Pour ces deux tests, l'effluent brut pénètre dans le couloir d'alimentation avec une vitesse, en partie supérieure du couloir, de l'ordre de 0,5m/s. Le flux percute le voile placé au fond du couloir, puis repart en sens inverse ce qui crée une grande recirculation dans le canal d'entrée. Dans cette configuration, il sera difficile d'avoir une répartition homogène des débits dans chaque groupe de lames. Plus de 80% du débit transite dans les 17 dernières lames.

Les recirculations verticales à travers les lames du décanteur représentent au maximum 46,9% du débit d'entrée pour le test 2.

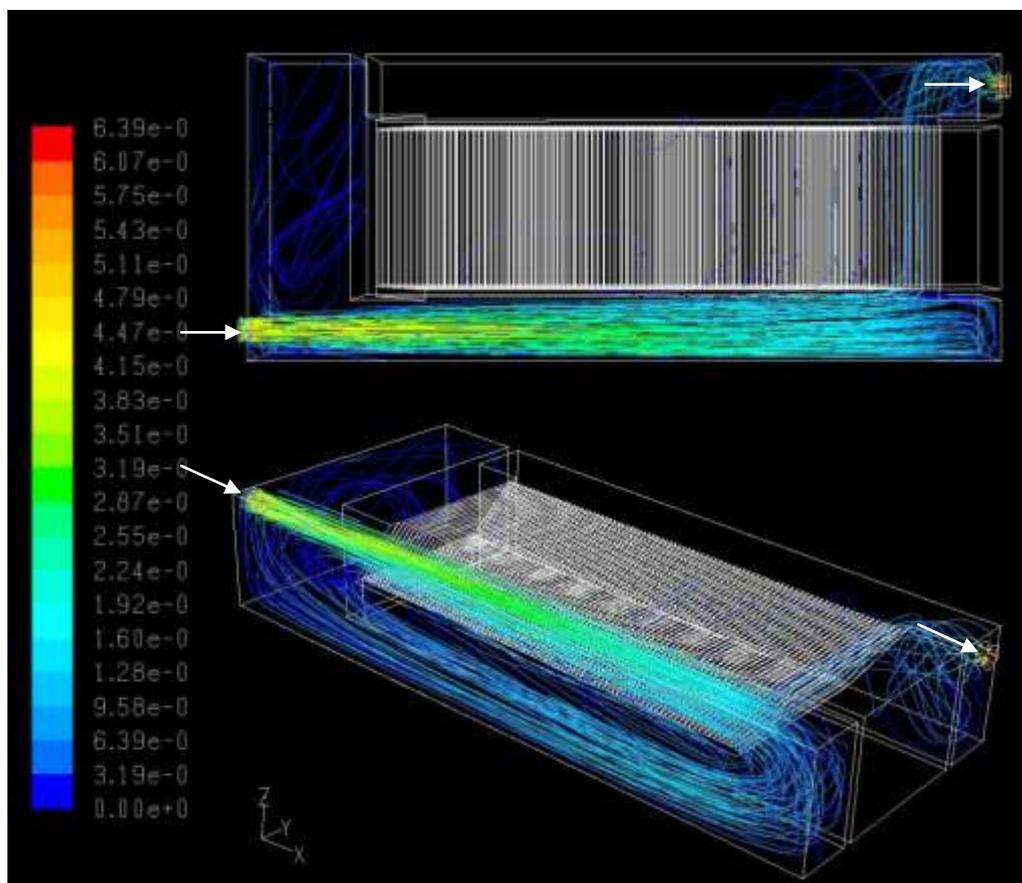


Figure 5 : Lignes de courant pour le test 1

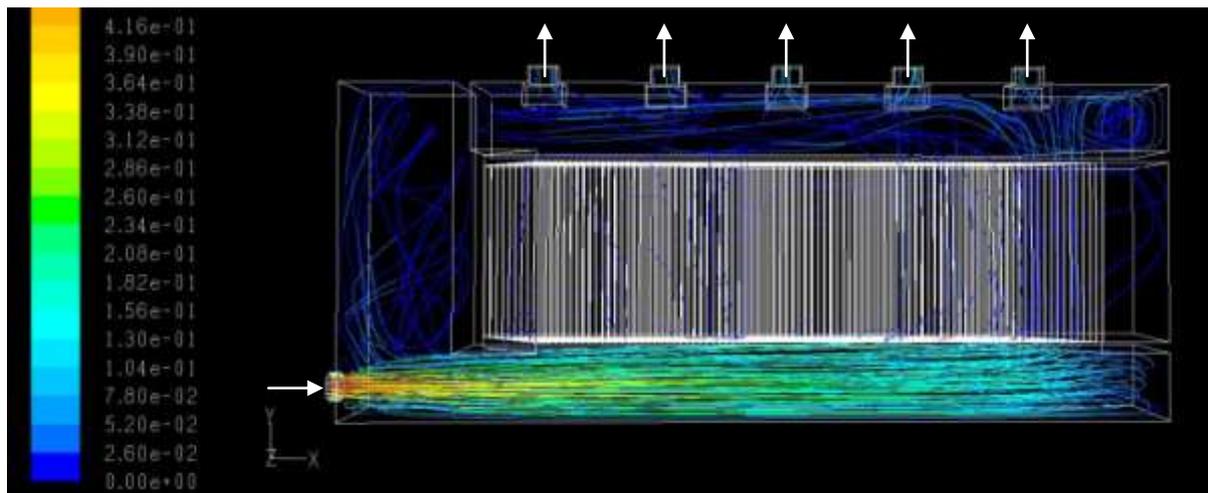


Figure 6 : Lignes de courant pour le test 2

Test	Lames les plus sollicitées		Lames les moins sollicitées		Ecart-type du débit entre les lames	% de recirculation avec le fond
	Lames	% du débit amont	Lames	% du débit amont		
1	entrée 81-87	58.30%	entrée 11-20	-10.11%	20.55%	16.0%
2	entrée 81-87	63.44%	entrée 1-10	-21.41%	26.70%	46.9%

Tableau III : Synthèse des résultats des tests 1 et 2

3.1.3 Conclusion sur la comparaison des sorties

L'ajout des déversoirs de sortie ne permet pas de réduire la recirculation dans le canal d'entrée et d'améliorer la répartition de l'eau dans les lames. Par ailleurs, pour le test 2, lorsque l'eau pénètre entre les lames, au mieux elle ressort de l'autre côté, et au pire, elle ressort sous les lames.

3.2 Tests 2-3-4 : Comparaison d'entrées : (directe / indirecte / canal d'alimentation)

3.2.1 Description des configurations

Pour les tests 2, 3 et 4, dont les configurations sont rappelées dans le Tableau IV, on compare essentiellement la forme du dispositif d'alimentation.

Dans le test 3 (Figure 7), on cherche à diffuser le flux d'entrée via des baies d'alimentation.

Le test 4 (Figure 8) a pour objectif de « casser » la vitesse en entrée afin de ralentir l'écoulement et d'homogénéiser la répartition du flux entre les lames. La canalisation d'entrée a ainsi été décalée par rapport à l'axe du couloir d'alimentation Figure 4 pour que le flux vienne percuter le mur séparant la chambre d'alimentation du compartiment lamellaire.

Test	Entrée				Sortie		
	directe	indirecte	via un canal d'alimentation	défecteur	simple	1 déversoir	5 déversoirs
2	X						X
3			avec 5 baies				X
4		X					X

Tableau IV : rappel des configurations entrée/sortie des tests 3 et 4

3.2.2 Résultats

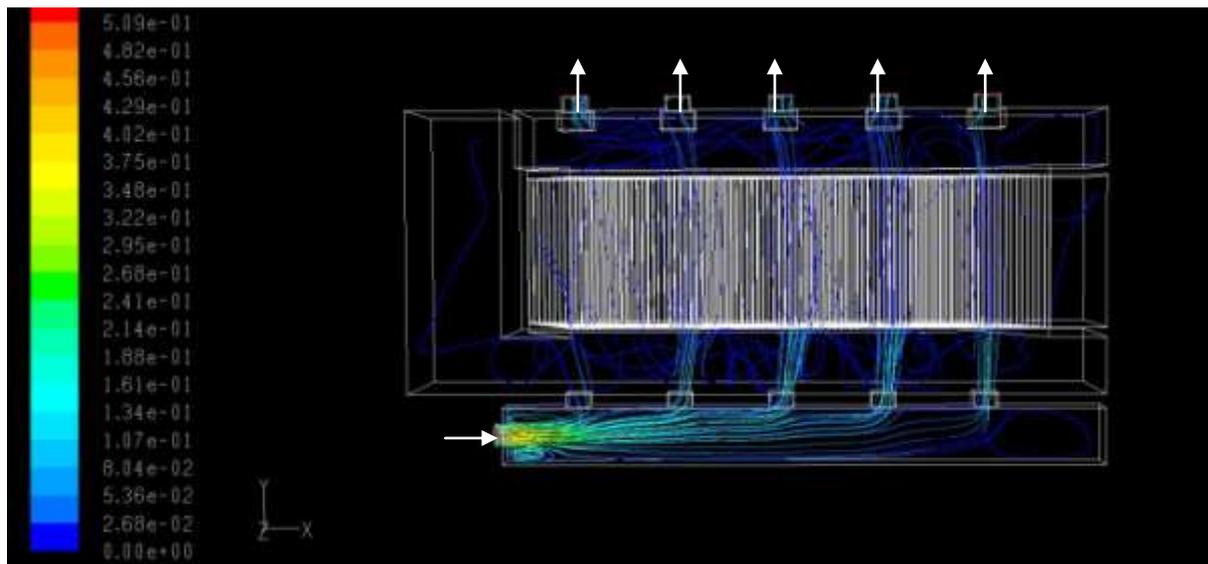


Figure 7 : Lignes de courant pour le test 3

Pour les tests 3 et 4, on constate que la répartition des vitesses est plus homogène que précédemment (Tableau V).

Pour le test 3 (Figure 7), on remarque que les lames qui sont en face des baies d'entrée reçoivent d'avantage d'effluents que celles qui se trouvent placées entre deux baies. Cette observation est confirmée, dans la Figure 13, par l'alternance de pourcentages négatifs et positifs. Quant aux recirculations verticales, elles représentent 33,1% du débit d'entrée. Pour le test 4, on observe une nette amélioration de la répartition du débit entre les différentes lames. Les recirculations verticales ne représentent plus que 8,9% du débit d'entrée.

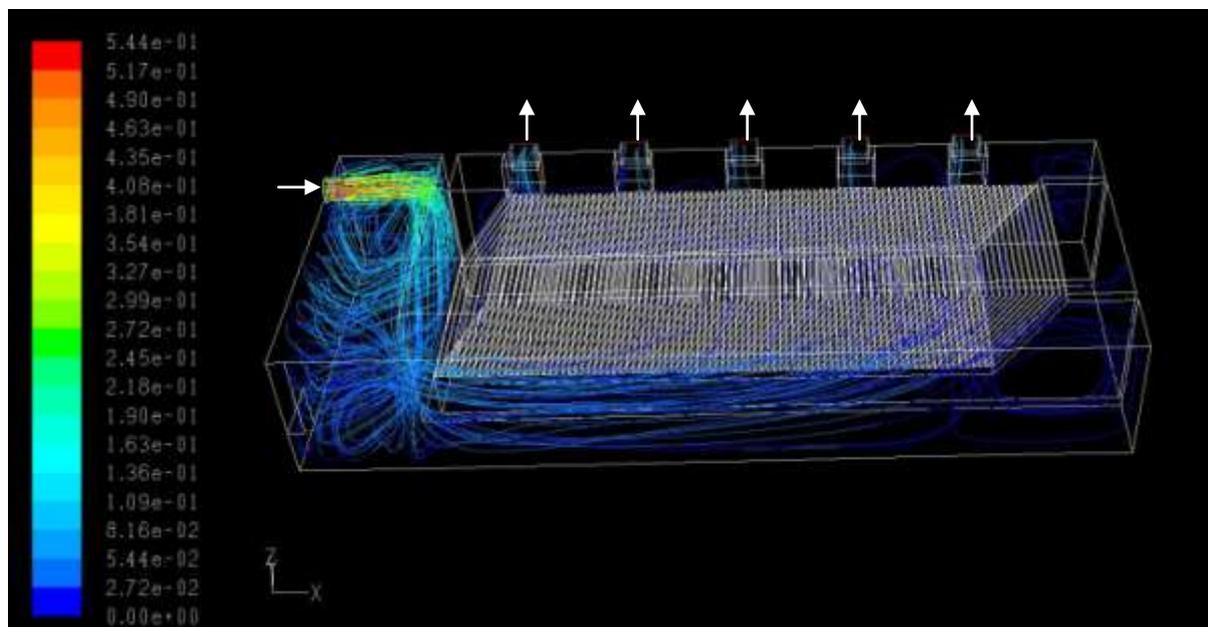


Figure 8 : Lignes de courant pour le test 4

Test	Lames les plus sollicitées		Lames les moins sollicitées		Ecart-type du débit entre les lames	% de recirculation avec le fond
	Lames	% du débit amont	Lames	% du débit amont		
2	entrée 81-87	63.44%	entrée 1-10	-21.41%	26.70%	46.9%
3	entrée 41-50	32.90%	entrée 1-10	-16.91%	19.32%	33.1%
4	entrée 71-80	24.17%	entrée 1-10	-8.93%	10.20%	8.9%

Tableau V : synthèse des résultats des tests 2, 3 et 4

3.2.3 Conclusion sur la comparaison des entrées

L'aménagement de l'entrée est une bonne piste pour uniformiser les flux. Le test 4 est plus performant que le test 3. La tranquillisation du flux en entrée permet une meilleure répartition des débits sur les différentes lames.

3.3 Tests 4-7/5-6 : Impact de la mise en place d'un déflecteur

3.3.1 Description des configurations

Les configurations des tests 4 à 7 sont rappelées dans le Tableau VI.

Test	Entrée				Sortie		
	directe	indirecte	via un canal d'alimentation	défecteur	simple	1 déversoir	5 déversoirs
4							
5			avec 8 baies				
6			avec 8 baies				
7							

Tableau VI : rappel des configurations entrée/sortie des tests 4 à 7

Le test 5 (Figure 9) cherche à améliorer le test 3 en ajoutant 3 baies supplémentaires dans le couloir d'entrée. On dispose ainsi de 8 baies d'entrée. Les déversoirs de sortie ne permettant pas d'améliorer la répartition homogène des débits dans les lames puisque l'effluent est canalisé par celles-ci, (voir Figure 5 du test 1 et Figure 6 du test 2), il a donc été décidé de ne disposer qu'un seul déversoir de surverse plus large en sortie.

Le test 6 (Figure 10) reprend la géométrie du test 5 en y ajoutant un déflecteur en tête pour « casser » les vitesses en entrée. Le test 7 (Figure 11) reprend la configuration du test 4, c'est-à-dire avec une conduite d'alimentation décalée, mais en ajoutant une paroi déflectrice entre la chambre d'alimentation et le couloir d'amenée des effluents bruts.

3.3.2 Résultats

On remarque que la répartition obtenue pour la géométrie du test 5, qui n'est pas encore suffisamment homogène, s'améliore par rapport aux tests 1 et 2 (Tableau VII). Les recirculations verticales représentent 24,9% du débit d'entrée. Elles sont meilleures que dans le cas du test 3.

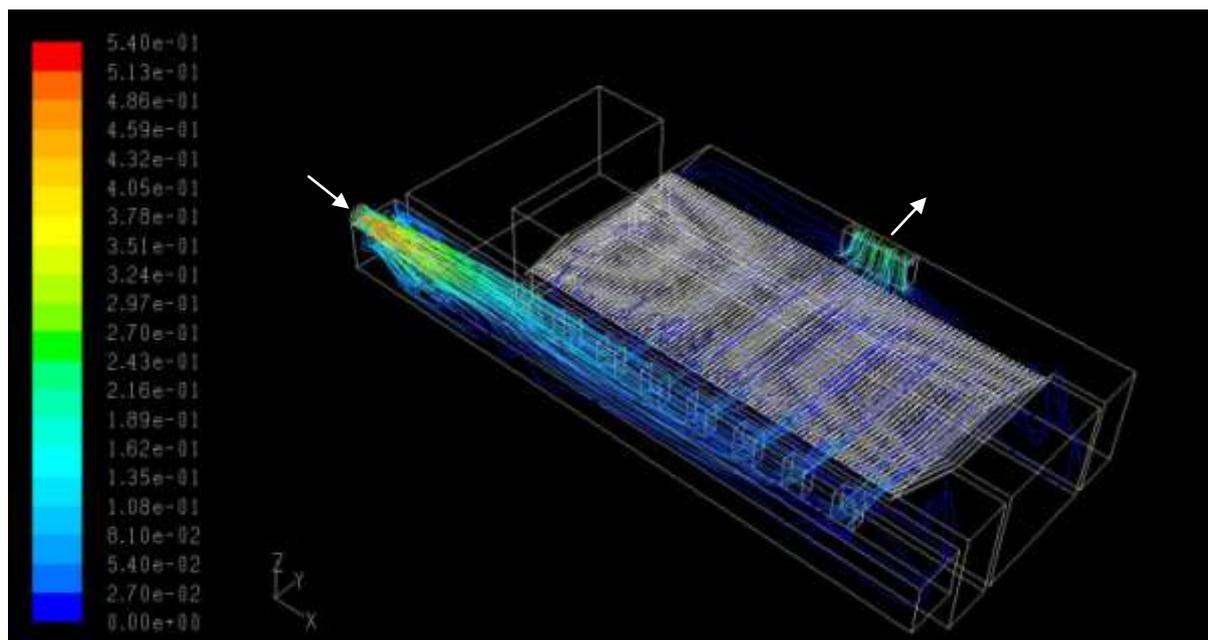


Figure 9 : Lignes de courant pour le test 5

Le test 6 permet une légère amélioration par rapport au test 5. En effet, la valeur maximum de débit dans les lames passe de 26,1% à 21,9% (entrée 71-80 Figure 13 et Tableau VI). Les recirculations verticales représentent 15,5% du débit d'entrée.

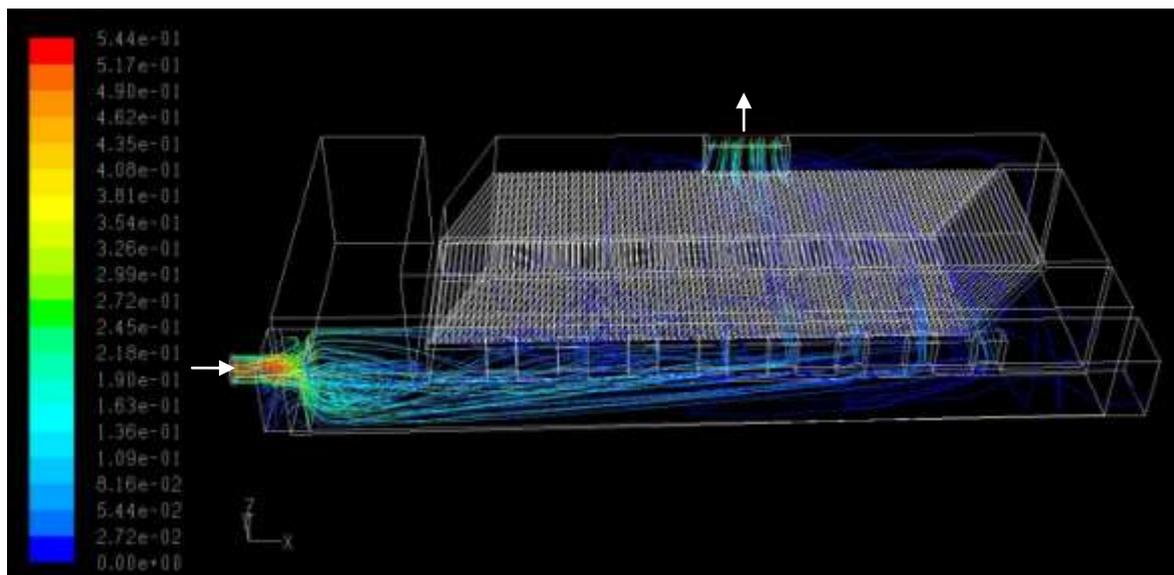


Figure 10: Lignes de courant pour le test 6

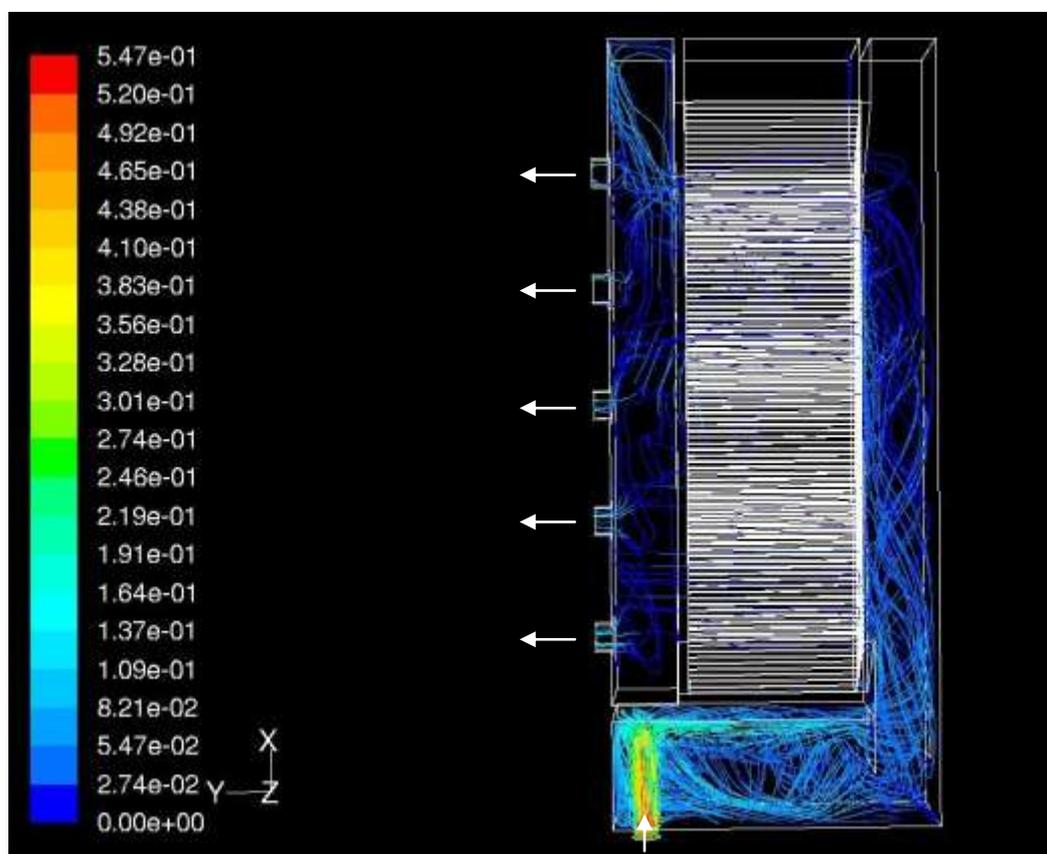


Figure 11 : Lignes de courant pour le test 7

En comparant les tests 7 et 4, on remarque qu'il n'y a plus de recirculation entre les lames. Le débit n'est pas « parfaitement homogène » mais il représente toutefois un écart faible par rapport à la répartition homogène de 11,5% pour 10 lames.

Test	Lames les plus sollicitées		Lames les moins sollicitées		Ecart-type du débit entre les lames	% de recirculation avec le fond
	Lames	% du débit amont	Lames	% du débit amont		
4	entrée 71-80	24.17%	entrée 1-10	-8.93%	10.20%	8.9%
5	entrée 71-80	26.15%	entrée 1-10	-13.72%	14.59%	24.9%
6	entrée 71-80	21.92%	entrée 1-10	-13.44%	11.66%	15.5%
7	entrée 81-87	21.02%	entrée 21-30	4.57%	6.12%	14.5%

Tableau VII : synthèse des résultats des tests 4 à 7

3.3.3 Conclusion sur la mise en place d'un déflecteur

La mise en place du déflecteur, dans les deux cas (tests 6 et 7), permet la réduction des vitesses et l'amélioration de la répartition du débit dans les lames.

3.4 Tests 5-8 : Impact du voile siphonide

3.4.1 Description des configurations

Le test 8 (Figure 12) reprend le principe de la géométrie du test 5 mais en ajoutant d'abord un voile (ou cloison) siphonide latéral entre la chambre d'alimentation et le couloir d'amenée des eaux brutes. On dispose aussi des seuils au lieu de baies à l'entrée du compartiment lamellaire. Enfin, on ajoute des manchettes siphonides derrière les 8 seuils, il s'agit de parois disposées en travers de l'écoulement pour briser le déversement. L'objectif étant de dissiper au maximum l'énergie des effluents lorsqu'ils passent d'un compartiment à un autre.

Les configurations des tests 5 et 8 sont rappelées dans le Tableau VIII.

Test	Entrée				Sortie		
	directe	indirecte	via un canal d'alimentation	défecteur	simple	1 déversoir	5 déversoirs
5			avec 8 baies				
8			voile siphonide et 8 seuils				

Tableau VIII : rappel des configurations entrée/sortie des tests 5 et 8

3.4.2 Résultats

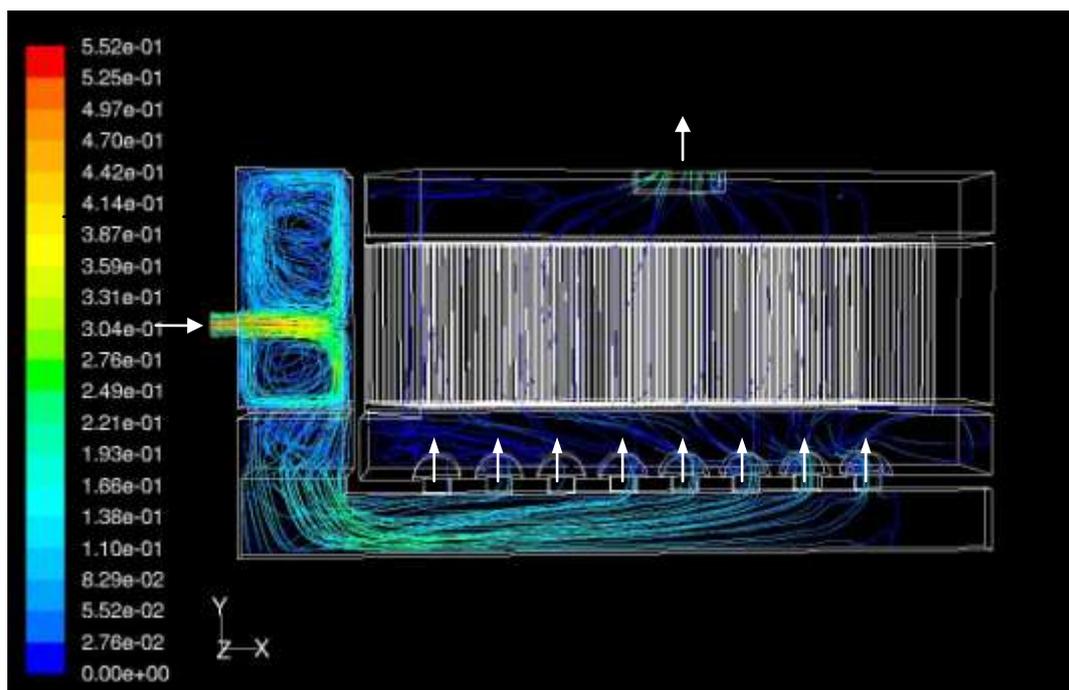


Figure 12 : Lignes de courant pour le test 8

Test	Lames les plus sollicitées		Lames les moins sollicitées		Ecart-type du débit entre les lames	% de recirculation avec le fond
	Lames	% du débit amont	Lames	% du débit amont		
5	entrée 71-80	26.15%	entrée 1-10	-13.72%	14.59%	24.9%
8	entrée 1-10	15.08%	entrée 81-87	3.73%	3.82%	18.0%

Tableau IX : synthèse des résultats des tests 5 et 8

Concernant le test 8 (Figure 12), la répartition des débits d'entrée est encore améliorée par rapport à celle obtenue pour le test 5 comme le montre le Tableau IX.

3.4.3 Conclusion sur la mise en place d'un voile siphonide

Ce dernier test démontre l'utilité des manchettes siphonides pour améliorer la répartition de l'eau brute dans les lames. Il est le plus performant en termes de débit homogène sur l'ensemble des lames. Il présente également l'avantage de séparer les matériaux des plus grossiers au plus fins, dans l'enchaînement de cloisons, lors du cheminement de l'eau dans les différents compartiments du décanteur.

3.5 Synthèse des résultats

Les figures suivantes montrent respectivement l'évolution du débit d'entrée dans chaque groupe de lames et l'écart-type des répartitions (exprimé en pourcentage du débit amont) pour chaque test. Les 8 tests réalisés sont représentés (Figure 13 et Figure 14).

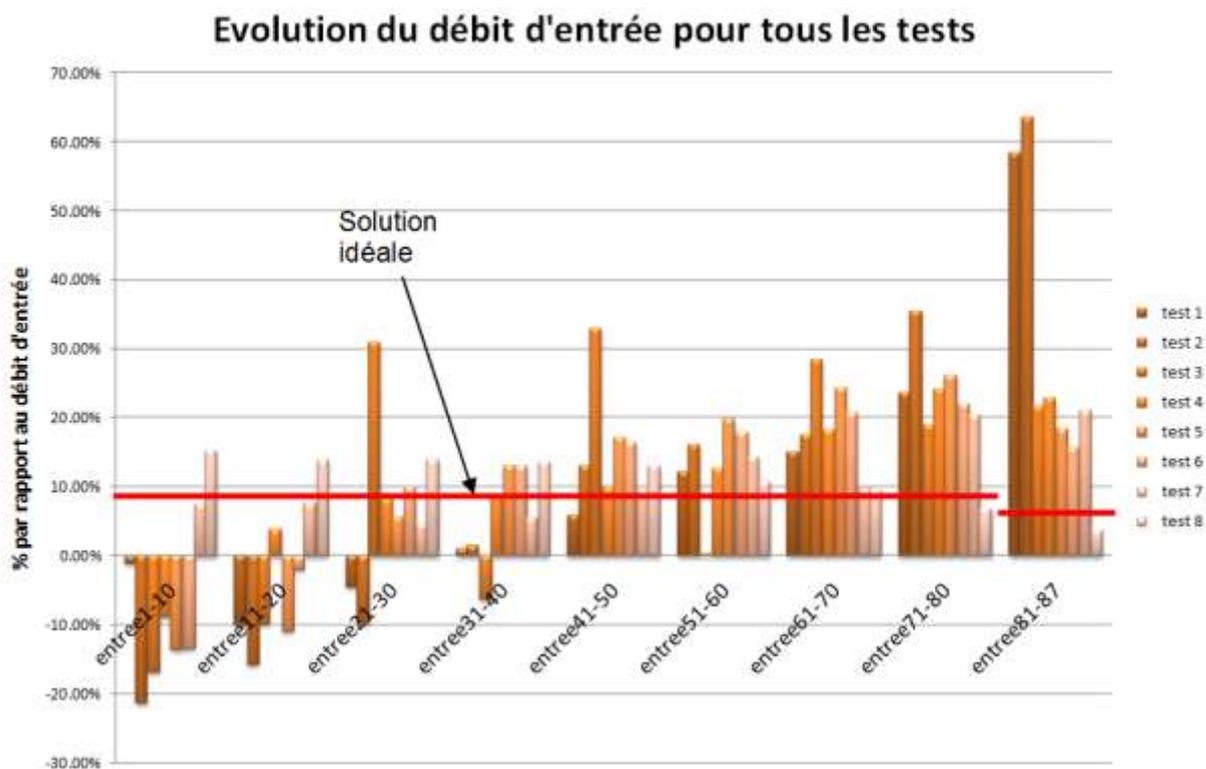


Figure 13 : Evolution des débits d'entrée pour l'ensemble des cas

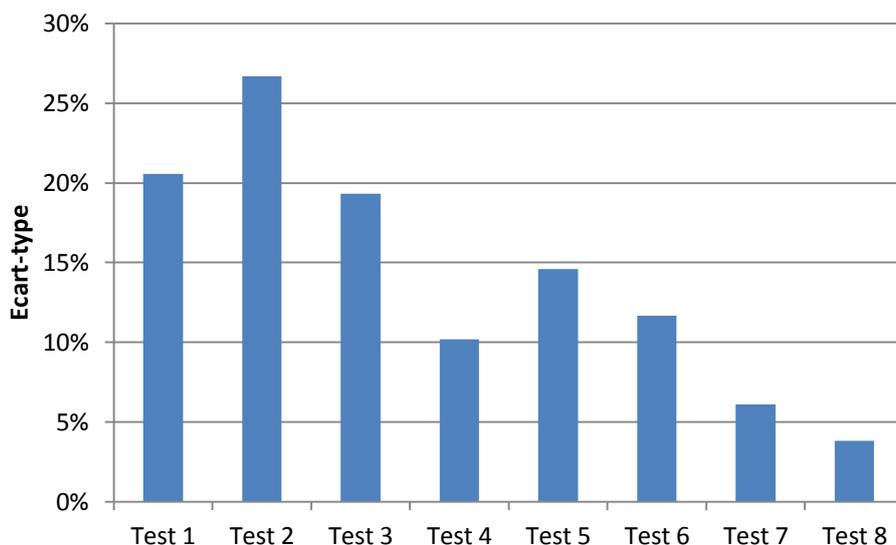


Figure 14 : Evolution de l'écart-type des répartitions (exprimé en pourcentage du débit amont) pour chaque cas

Le graphique suivant (figure 15) représente le pourcentage de recirculation verticale avec le fond en fonction des différents tests. On remarque que le test 8 n'est pas le plus performant, toutefois la variation est faible par rapport au test 4.

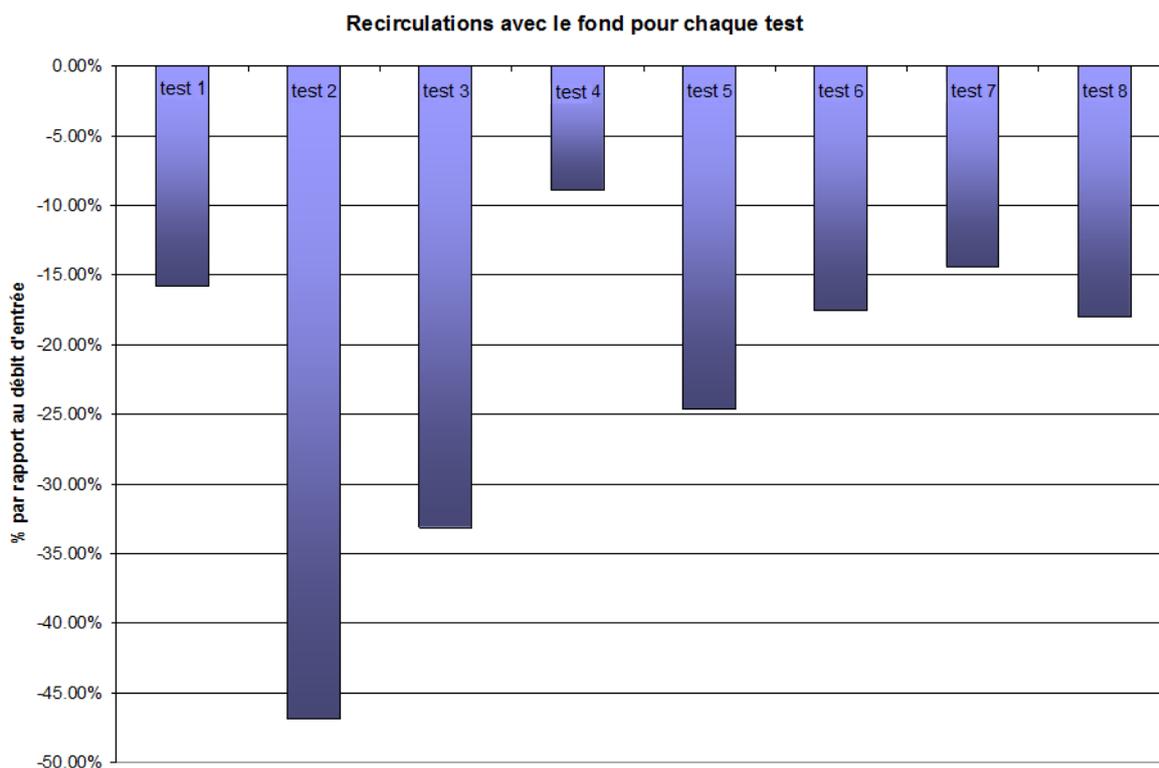


Figure 15 : % de recirculation avec le fond

On y observe que la première piste d'optimisation d'un décanteur est bien la dissipation de l'énergie de l'effluent en entrée. Sans un ouvrage de tranquillisation conçu afin de dissiper l'énergie à l'entrée du décanteur, seules les dernières lames sont réellement sollicitées et le taux de recirculation avec le fond est élevé.

Pour opérer cette tranquillisation du flux en entrée, deux solutions se démarquent :

- La mise en place d'une alimentation indirecte : (test 4 : canalisation d'entrée décalée par rapport à l'axe du couloir d'alimentation) ;
- La mise en place d'un voile siphonoïde : (test 8).

Le test 4 présente une moins bonne homogénéité de la répartition des flux, bien qu'acceptable, mais

une plus faible recirculation verticale avec le fond ce qui est un paramètre essentiel vis-à-vis de la dépollution.

Ceci montre l'intérêt de définir clairement les critères de dimensionnement et d'optimisation des décanteurs lamellaires, une fois que la répartition des flux entre les lames est correcte, il est nécessaire de privilégier la minimisation de la vitesse verticale de liquide et donc le test 4.

4 CONCLUSION

L'objectif de cette étude a été de simuler l'écoulement dans un décanteur lamellaire à flux croisés. Huit configurations ont été testées. Les différences ont porté sur les modalités d'alimentation des eaux brutes et de reprise des eaux traitées. Nous avons pu montrer l'intérêt de la modélisation tridimensionnelle en termes de compréhension hydrodynamique de l'ouvrage de décantation. L'optimisation des formes de l'ouvrage a montré que la tranquillisation et la répartition des flux est beaucoup plus importante sur la partie amont que sur la zone aval. Sans dispositif d'entrée particulier, un pourcentage très élevé (80%) du débit passe dans 20% des lames. La répartition est médiocre et le décanteur ne peut donner les performances qui sont attendues compte tenu de la faible surface de décantation active mise en jeu. La création de chicanes, de siphons ou de parois plongeantes permettent de diminuer la vitesse à l'amont des lames. En modifiant peu à peu les modèles testés, nous avons obtenu un prototype de décanteur lamellaire permettant d'homogénéiser au maximum la vitesse à travers les lames. A noter toutefois l'importance des volumes « morts » des différents compartiments des ouvrages testés, qui permettent de dissiper l'énergie et impactent sur leur fonctionnement hydraulique.

Un argument en faveur des décanteurs lamellaires à flux croisés que l'on trouve dans les documentations commerciales, est que la zone de stockage des boues est protégée des phénomènes de réentraînement puisqu'elle est délimitée par des cloisons. On constate dans notre étude, que les recirculations avec le fond des lames génèrent des vitesses verticales locales inférieures à 2,5 cm/s. Ces faibles vitesses ne vont « probablement » pas générer de recirculation de matières en suspension. Toutefois, des données expérimentales permettraient de vérifier la relative inertie hydrodynamique de cette partie de l'ouvrage.

Les simulations numériques ont permis de tester différents concepts de décanteur. Les modèles numériques arrivent à prédire si un ouvrage fonctionne de manière satisfaisante du point de vue hydraulique. La modélisation numérique permet donc de donner à l'investisseur une garantie de fonctionnement hydraulique et donc de traitement, préalablement à la réalisation d'un ouvrage. Cette démarche, anticipant l'exécution, pourra être complétée, après réalisation par une campagne de mesure en entrée et en sortie sur de longues séries d'épisodes pluvieux, pour valider le bon fonctionnement de l'ouvrage.

On évoquera enfin l'intérêt de modéliser finement l'interaction fluide/particule/paroi au niveau, notamment, d'une lame du décanteur. Ceci nécessiterait de « zoomer » sur ce système en modélisant, par exemple, deux ou trois lames seulement par la CFD. Le maillage serait alors beaucoup plus dense au niveau des parois ce qui permettrait la mise œuvre de modèle « bas Reynolds » reproduisant l'écoulement proche paroi de manière plus réaliste que les lois de parois utilisées par défaut par Fluent. Les vitesses verticales au voisinage des lames seraient mieux évaluées. Les résultats de ce modèle seraient couplés avec ceux du modèle faisant l'objet du présent article et permettraient ainsi de prédire de manière plus fine la répartition des flux et l'efficacité de l'ouvrage.

BIBLIOGRAPHIE

- Adamsson Å., Stovin V. R. & Saul A. J., (2003). - *Bed shear stress boundary condition for storage tank sedimentation*. J. Environ. Eng., 129(7), 651-658.
- Ashley R. M., Bertrand-Krajewski J.-L. & Hvited-Jacobsen T., (2004). - *Solids in sewers*. IWA publishing, Scientific and technical report n°14.
- Chebbo G., (1992). *Solides des rejets urbains par temps de pluie : caractérisation et traitabilité*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- Chocat B. et al., (1997), *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*, Bassins de retenue p. 95, Eurydice 92, Ed Tec&Doc Lavoisier, Paris, 1997, 1121 p.
- Dufresne M., Vazquez J., Terfous A., Ghenaim A., Poulet J-B., (2009). *Experimental investigation and CFD modelling of flow, sedimentation, and solids separation in a combined sewer detention tank*. Computers &

Fluids 38, 1042-1049. .

Fluent (2001). - *Fluent 6.0 software User's Guide*. Fluent Inc.

Lipeme-Kouyi G., (2005). *Expérimentations et modélisations tridimensionnelles de l'hydrodynamique et de la séparation particulaire dans les déversoirs d'orage*. PhD thesis, Louis Pasteur University (Strasbourg, France).

Morin A., Milisic V., Figue J-F., Aires N., (2009): *Simulations numériques des écoulements dans un décanteur lamellaire à contre courant*. Technique Science et Méthode n°11 novembre 2009.

Morin A., Milisic V., Figue J-F., (2011): *Simulations numériques de champs de concentrations de particules dans un décanteur lamellaire à contre courant*. Technique Science et Méthode n°09 septembre 2011.

Stovin, V. R. & Saul, A. J. (1994). - *Sedimentation in storage tank structures*. Wat. Sci. Tech., 29(1-2), 363-372.

Vazquez J., Morin, A., Wertel J., Dufresne, M., (2009) *Optimisation Hydrodynamique des décanteurs lamellaires à flux croisés*, Rapport de contrat pour la société Hydroconcept.

Versteeg HK, Malalasekera W (1995). *An introduction to computational fluid dynamics*. Prentice Hall.