

# *Simulations numériques des écoulements dans un décanteur lamellaire à contre-courant*

*Morin A. – Hydroconcept, Milisic V., Figue J-F., - Laboratoire de Génie des Procédés  
et Environnement, Université de Bordeaux II, Aires N. - Agence de l'Eau Seine Normandie.*

*Avec la participation financière de l'agence de l'eau Seine Normandie.*

## **RESUME**

La décantation lamellaire est l'un des procédés que l'on peut mettre en œuvre pour séparer la pollution véhiculée dans les eaux de ruissellement. Les décantateurs lamellaires présentent l'avantage d'être à la fois des ouvrages compacts comparativement aux bassins de retenues, mais également, d'offrir des performances élevées du fait de leur surface de décantation très étendue. L'optimisation de leur fonctionnement hydraulique devrait permettre d'obtenir un écoulement homogène sur toute la surface de décantation, et des conditions d'écoulement proche d'un régime laminaire.

Or peu de travaux de modélisation ont été présentés sur de tels ouvrages. Aussi, afin d'étudier leur fonctionnement hydraulique, nous avons employé un logiciel de calcul qui résout les équations de Navier-Stokes et simulé les mouvements d'un fluide dans un décanteur lamellaire. L'espace étudié a été divisé en cellules et le calcul a été effectué dans chaque cellule avec un intervalle de temps donné. Pour les besoins de l'étude nous avons utilisé le code CFX version 5.0 commercialisé par ANSYS.

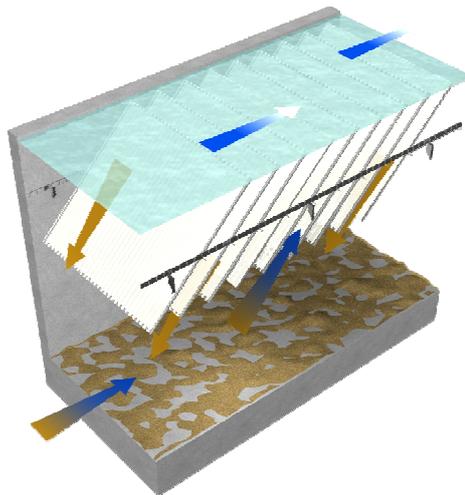
Le type de décanteur étudié est un décanteur lamellaire fonctionnant à contre-courant. Les calculs obtenus ont montré que les conditions d'entrée influent sur la nature de l'écoulement sous la structure lamellaire. En choisissant une ouverture adéquate on peut réduire les turbulences qui se forment sous les lames. L'examen des champs de vecteurs vitesse tend à montrer qu'il faut pénétrer sous les lames avec des vitesses d'écoulement très faibles, inférieures à 10 cm/s.

Plus marquante est l'influence des goulottes de reprise des eaux après décantation. Lorsque le décanteur est muni de goulottes de reprise des eaux claires, on observe une nette réduction des phénomènes de re-circulation et d'écoulement à contresens dans la structure lamellaire tels qu'ils ont pu être observés dans un décanteur dépourvu de goulotte. L'emploi des goulottes de reprise améliore donc l'homogénéité de l'écoulement dans les lames.

## **INTRODUCTION**

Les décanteurs lamellaires sont ici des ouvrages destinés au traitement des eaux de ruissellement polluées. Le « traitement » consiste à séparer les matières solides véhiculées en suspension dans l'eau. Il a lieu dans une structure lamellaire composée de lames juxtaposées et inclinées par rapport au plan horizontal. L'objectif recherché est le piégeage des éléments pollués sur la surface des lames puis au fond de l'ouvrage.

Le procédé mis en œuvre est la séparation liquide solide à contre-courant. Dans une structure lamellaire fonctionnant à contre-courant, la chute des particules solides que l'on veut séparer, et le sens de circulation de l'eau entre les lames sont opposés. L'eau remonte le long des lames du bas vers le haut, tandis que les particules plus denses que l'eau redescendent vers le bas (Voir figure n°1).



*Figure n°1 : Décantation à contre courant*

Le calcul du nombre de lames qui composent la structure lamellaire, dont les caractéristiques dimensionnelles sont fixées, dépend de la vitesse limite de chute des particules que l'on souhaite séparer. Dans le cas d'un ouvrage destiné à réduire la masse annuelle de matières polluantes rejetée par un réseau pluvial, la taille des particules que l'on veut piéger est très faible.

Depuis un vingtaine d'années, des programmes de recherche ont montré que les polluants présents dans les effluents urbains de temps de pluie, sont majoritairement fixés sur de fines particules véhiculées en suspension dans les réseaux. 80 % de la masse de ces particules ont un diamètre inférieur à 100 microns, et le diamètre médian des particules avoisine les 30 microns (CHEBBO 1992 et 1995, SAJET 1994).

Ces particules présentent cependant une assez bonne aptitude à la décantation. Leurs vitesses de chute, très variables suivant les sites et les événements pluvieux, nécessiteraient des mesures spécifiques à chaque site préalablement à tout nouveau projet, ce qui est rarement le cas actuellement (GROMAIRE MERTZ 1998, et ANDRAL 1999).

Les vitesses de chute habituellement retenues pour le calcul du nombre de lames, sont la plupart du temps choisies par défaut en s'appuyant sur quelques éléments bibliographiques. La valeur de 1 m/h retenue pour l'ouvrage simulée dans cette étude, pourrait vraisemblablement permettre d'abattre 70 % à 80% de la charge entrante en matières en suspension. Dans ces conditions, le calcul du nombre de lames aboutit à des surfaces de décantation très importantes (BOURRIER 1995).

Pour des raisons liées à la fabrication et à la mise en œuvre des lames, les décanteurs lamellaires sont généralement de forme parallélépipédique, et de deux à cinq fois plus longs que larges. Malheureusement, une forme parallélépipédique ne permet pas une répartition aisée de l'eau dans la totalité de la structure lamellaire. Or l'hypothèse que l'on suppose vraie lors du dimensionnement d'un décanteur est la répartition équitable de l'eau entre toutes les lames.

Nous avons donc logiquement supposé que le cheminement de l'eau dans un décanteur pouvait être influencé par la forme et les dimensions de l'ouvrage. Nous avons également supposé que le cheminement de l'eau pouvait être modifié en fonction des conditions d'entrée de l'eau brute, et aussi en fonction des conditions de sortie de l'eau traitée.

L'objectif de notre étude a donc été de préciser le fonctionnement hydraulique d'un décanteur lamellaire à contre-courant. Une modélisation numérique en trois dimensions a été faite avec un maillage fin, afin de préciser l'incidence des caractéristiques géométriques de l'ouvrage sur le régime d'écoulement sous les lames et le cheminement de l'eau dans la structure lamellaire. Les modalités d'alimentation des eaux brutes, et la mise en œuvre d'un dispositif d'évacuation des eaux claires ont ensuite été étudiées.

## 1. THEMES ETUDIÉS

### 1.1. Incidence des caractéristiques dimensionnelles sur le fonctionnement hydraulique.

Pour les décanteurs lamellaires qui fonctionnent à contre-courant, les matières polluantes piégées dans l'ouvrage s'accumulent sous les lames au fond de l'ouvrage. Or dans une telle structure, l'eau brute transite elle aussi sous les lames avant d'y pénétrer. Il est donc nécessaire de prévoir une hauteur libre suffisante sous les lames, afin que l'écoulement de l'eau brute n'interfère pas avec la zone de stockage des boues.

La hauteur libre sous les lames est aussi l'une des composantes de la forme du décanteur. Si l'on change la hauteur libre sous les lames, l'écoulement des eaux brutes et la répartition de l'eau *dans* les lames devraient changer elles aussi.

Nous avons donc fait varier la longueur et la largeur intérieures du compartiment lamellaire, puis, à partir d'un ouvrage dont la géométrie est fixée, nous avons fait varier la hauteur libre sous les lames. Corollairement, nous avons également étudié l'incidence des caractéristiques dimensionnelles sur l'écoulement *sous* les lames.

Une représentation d'un décanteur lamellaire est donnée en figure n°2.

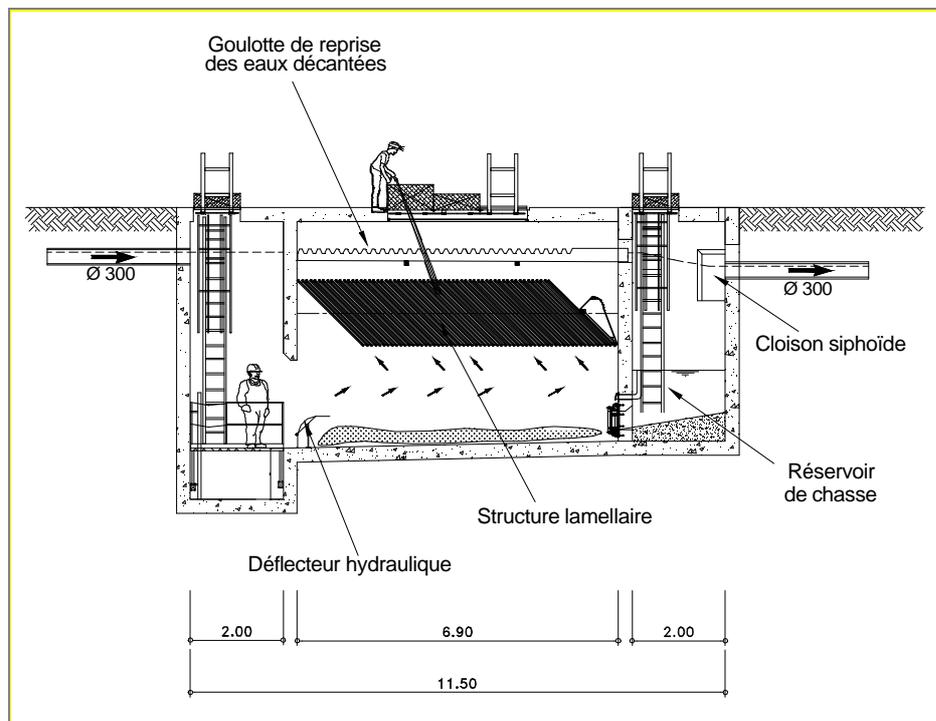


Figure n°2 : Décanteur lamellaire , coupe en long.

### 1.2. Incidence d'un dispositif d'alimentation des effluents bruts sous la structure lamellaire.

D'une manière générale, il s'agit de savoir si la forme et la position altimétrique de l'ouverture d'alimentation contribuent ou non, à obtenir une répartition équitable des effluents dans la totalité de la structure lamellaire. Pour cela, il faut déterminer la direction et la vitesse des veines liquides qui pénètrent dans le compartiment lamellaire.

L'eau brute doit-elle entrer avec une vitesse peu élevée afin de ne pas former de turbulences, ce qui pourrait provoquer le réentraînement des matières polluantes piégées au fond de l'ouvrage ? Doit-elle au contraire entrer avec une vitesse suffisante afin d'une part de générer des turbulences, ce qui créerait les conditions d'un mélange, et d'autre part, de pénétrer suffisamment loin dans le compartiment lamellaire pour se répartir dans la totalité de la structure lamellaire ?

Les objectifs de la simulation numérique réalisée dans le cadre de cette étude ont donc été de préciser les dimensions de la fente d'alimentation et les vitesses d'écoulement associées à l'entrée du compartiment lamellaire (voir figure n°3 : dispositif d'alimentation des eaux brutes).

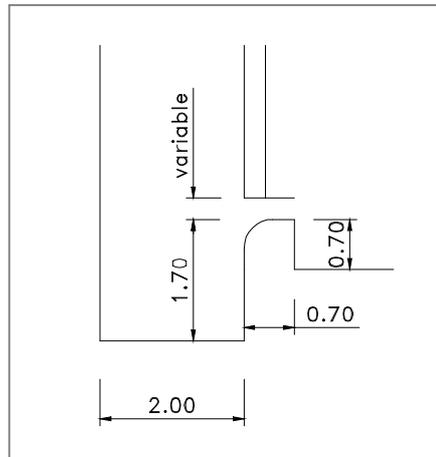


Figure n°3 : Coupe du dispositif d'alimentation des eaux brutes.

### 1.3. Incidence de goulottes d'évacuation des eaux traitées sur le fonctionnement hydraulique.

Les goulottes d'évacuation de l'eau traitée contribuent-elles à obtenir une répartition équitable de l'effluent brute dans la structure lamellaire ?

Nous avons prévu de fixer des goulottes au dessus des lames et de les disposer soit longitudinalement le long des parois du compartiment lamellaire, soit dans un sens transversal. L'évacuation de l'eau traitée s'effectue par surverse et écoulement libre dans les goulottes.

## 2. MOYENS MIS EN OEUVRE

### 2.1. Ouvrage étudié

Seule une expérimentation sur une maquette de grandes dimensions permettrait de vérifier la pertinence des règles de dimensionnement que nous avons retenues. Une telle étude, sur un décanteur pilote ou une maquette, permettrait d'observer le fonctionnement du dispositif d'alimentation en eau brute et des goulottes d'évacuation de l'eau traitée.

Or une telle expérimentation s'avèrerait longue et coûteuse. A contrario, une simulation numérique permet de déterminer rapidement, avec un coût acceptable, les conditions d'écoulement dans un décanteur lamellaire.

Caractéristiques du décanteur lamellaire modélisé :

- Vitesse de chute choisie  $V_s = 1 \text{ m/h}$
- Débit traité  $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$
- Dimensions des lames : hauteur  $L = 1,50 \text{ m}$  et largeur  $l = 3,18 \text{ m}$
- Caractéristiques des lames : plaque nervurées en PVC avec coefficient de forme  $k = 1,31$
- Inclinaison  $\alpha = 45^\circ$  par rapport au plan horizontal
- Espacement entre lames  $d = 6,36 \text{ cm}$
- Hauteur libre sous les lames en position inclinée :  $1,70 \text{ m}$

Le calcul du nombre d'intervalles est donné par la formule suivante (BOURRIER 1995):

$$n = \frac{Q}{L \cdot l \cdot k \cdot V_s \cdot \left(\frac{d}{L} + \cos\alpha\right)}$$

Le décanteur comprend 77 lames. L'établissement d'un régime laminaire est démontré par une valeur du Reynolds de 119. La vitesse d'écoulement est de 0,65 cm/s. Le temps de séjour intra lamellaire est de l'ordre de 4 minutes. La surface des lames est d'environ 475 m<sup>2</sup>

Le décanteur est composé de trois parties. La première partie est constituée d'une chambre d'arrivée de l'eau brute. Elle est séparée du compartiment lamellaire constituant la seconde partie par un voile siphonide. Un regard d'évacuation de l'eau traitée constitue la troisième partie. Il est disposé à l'aval, et est séparé du compartiment lamellaire par un voile plein.

Pour faire varier les dimensions intérieures du décanteur, nous avons choisi cinq rapports largeur intérieure sur longueur intérieure, selon la progression suivante : 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, et 1/5. La hauteur sous lames est fixée à 1,70 m.

## 2.2. Modèle numérique utilisé

Les codes de CFD (Computational Fluid Dynamics) résolvent au moyen d'un ordinateur, les équations de Navier Stokes qui régissent les mouvements d'un fluide. Ces équations traduisent la conservation de la masse et de la quantité de mouvement du fluide. Certains de ces codes sont aussi en mesure de décrire le transport de polluants ou les réactions chimiques au sein du fluide (SCHMITT F 2002 et 2003).

Il existe un grand nombre de codes de CFD. Ils sont pour l'essentiel d'origine anglo-saxonne et emploient la méthode des volumes finis. La méthode consiste à décomposer le domaine d'étude en une multitude d'éléments tridimensionnels interconnectés, de tailles et de formes variables, pour former un maillage. En chaque point de l'espace de calcul, c'est à dire du maillage, les équations préalablement discrétisées avec un schéma numérique sont résolues selon une série de pas de temps (l'intervalle de temps entre deux instants de calcul de la solution). Si le problème est bien posé, le calcul de plusieurs milliers de ces pas de temps (qui représente la durée réelle) produit une solution stable et reproductible, qui convient tout à fait aux besoins des ingénieurs d'études (MILISIC 2004 et 2005).

Pour les besoins du laboratoire, nous avons choisi le code CFX, commercialisé par ANSYS. Nous disposons de la version 5.0 sur station de travail Windows NT. Ce logiciel industriel est l'un des plus avancé. Il a été sélectionné car il offre le plus de possibilités d'adaptation et de transparence vis à vis de notre problème.

Il est composé de trois modules :

- Le Pré-processeur BUILD, qui permet de définir la géométrie étudiée ainsi que le maillage.
- Le Solveur CFX, qui permet de définir :
  - Les *paramètres physiques* : les équations qui régissent le problème, les propriétés du fluide, les conditions aux limites, les conditions initiales, etc.
  - Les *paramètres numériques* : les schémas de discrétisation, les pas de temps, le type de solveur, etc.
- Le Post-processeur ANALYSE, qui permet la visualisation des résultats du calcul sous la forme de champ d'isovaleurs, de vecteurs, etc.

## 2.3. Méthodologie de la simulation

### 2.3.1. Le maillage

Le *maillage* (voir figure n°4), de type orthogonal avec CFX, doit tenir compte à la fois des spécificités de la géométrie et des caractéristiques de l'écoulement dans des régions particulièrement intéressantes : à proximité du fond, des changements brusques de géométrie, et des organes d'entrée et de sortie.

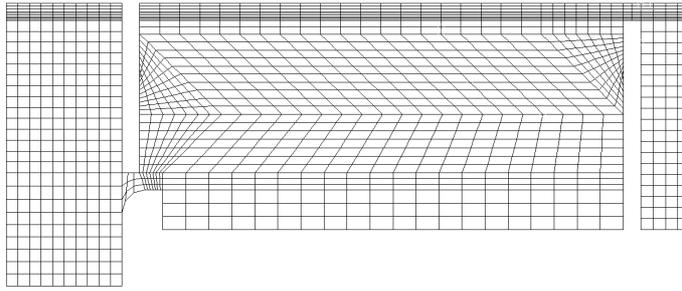


Figure n°4 : Maillage selon un plan de coupe longitudinale

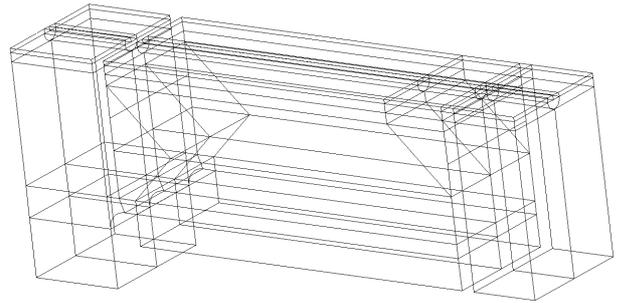


Figure n°5: Structure multi blocs selon une représentation tridimensionnelle

### 2.3.2. La structure multi blocs

L'espace est divisé en blocs. La densité de maillage variable, ainsi que la structure *multi blocs* (voir figure n°5), aident à mieux approcher ces zones.

Le temps nécessaire pour le calcul, en général long, dépend directement du maillage, du nombre d'éléments de volume et de leur forme. Plus la forme des éléments de volumes est régulière, plus l'intégration des équations est rapide. Ces deux contraintes sont souvent en contradiction avec le besoin de simuler l'écoulement de manière précise. Le compromis se situe à l'échelle où le raffinement n'améliore plus de façon significative le résultat du calcul.

La symétrie de l'ouvrage, permettant dans certains cas une grande économie de calcul, ne garantit pas systématiquement la symétrie de l'écoulement dans l'ouvrage, qui dépend des conditions en amont.

### 2.3.3. Conditions aux limites

- Les *conditions en entrée* : Dans le cadre de cette étude, le modèle de décanteur choisi comprend un vaste compartiment en amont du compartiment lamellaire. Nous avons donc imposé des vitesses uniformes à l'entrée du décanteur, dont la valeur correspond au débit d'entrée.
- Les *conditions aux parois* : Par défaut ce sont des conditions d'adhérence à la paroi ou de « non glissement », de sorte que les vitesses, l'énergie cinétique turbulente et le gradient normal des fractions volumiques soient nuls. En revanche, le taux de dissipation de l'énergie cinétique par les contraintes visqueuses possède une valeur finie, puisqu'au voisinage très proche de la paroi (sous couche visqueuse ou laminaire), les contraintes visqueuses sont beaucoup plus importantes que les contraintes turbulentes.
- Dans le cas d'un écoulement permanent ou lentement variable dans un décanteur rempli d'eau, la *condition à la surface* que nous avons retenue est celle d'une paroi sans frottement où l'eau glisse sous cette surface sans y adhérer, mais elle devient non applicable pour les phases de remplissage et de vidange.
- Le *modèle de turbulence* le plus utilisé est le modèle « **k-ε** ». Mais par rapport à l'hypothèse sur le caractère homogène de la turbulence, il peut s'avérer inadéquat dans le cas où la géométrie de l'ouvrage induit des instabilités d'écoulement à grande échelle. Dans ces cas, les versions des modèles RNG (Relative Neighborhood Graph) de « k-ε » ou RSM (Reynolds Stress Model) ont donné de meilleurs résultats. Mais dans le cadre de cette étude, le décanteur n'induisant pas de fortes turbulences, nous avons utilisé le modèle « k-ε ».
- Les *conditions en sortie* : ici les pressions dynamiques sont nulles, ce qui signifie que la pression totale équivaut à la pression atmosphérique.

Le décanteur comportant un nombre important de lames, il n'a pas été possible de modéliser l'écoulement réel entre toutes les lames car le nombre de cellules nécessaires pour calculer les champs de vitesses, conduit au dépassement de la capacité de l'ordinateur. Aussi, **l'ensemble des lames a été représenté par une zone de résistance à l'écoulement**, comme s'il s'agissait d'un **bloc poreux décrit par sa perméabilité** (MORIN 2007).

Au niveau du code de calcul, afin de simuler l'orientation des lamelles, cette résistance est définie en termes de perméabilité vectorielle, dont la composante perpendiculaire à la surface de lame est infiniment petite pour empêcher l'écoulement dans cette direction. Les autres composantes seront données de manière à obtenir des dénivellations de niveau d'eau entre l'entrée et la sortie du décanteur de quelques millimètres. Cette valeur que nous avons mesurée dans un décanteur réel, traduite en pression, a été utilisée pour approcher la perméabilité du bloc. Le décanteur qui a servi pour caler notre modèle, équipe la ZAC des Grillons à Gleizé (71). Il est placé en aval d'un bassin de stockage. Une bêche de pompage relève les eaux du bassin à raison de 100 l/s vers le décanteur. Les eaux traitées sont ensuite rejetées dans la rivière le Nizerand.

## 2.4. Mise en forme des résultats

Les champs de vecteurs ou de concentrations sont présentés par des coupes verticales ou horizontales disposées longitudinalement ou transversalement dans le volume délimité par le décanteur. Dans certains cas, nous juxtaposerons une série de coupes afin de donner une représentation en trois dimensions. Dans les simulations numériques, les résultats des calculs de vitesse ou de concentration sont exprimés à l'aide d'échelles colorées qui sont jointes à chacune des figures. Compte tenu du grand nombre de cas pouvant être étudiés, nous avons procédé étape par étape. A partir des premières simulations, la meilleure configuration dimensionnelle a été définie, puis le dispositif d'entrée a été testé, enfin le dispositif de sortie a été ajouté.

## 3. SIMULATIONS NUMERIQUES DES VITESSES D'ECOULEMENT

### 3.1. Champs hydrodynamiques dans un décanteur lamellaire dépourvu de goulottes d'évacuation des eaux claires, en fonction des caractéristiques géométriques.

Dans cette partie, nous avons étudié l'écoulement dans un décanteur lamellaire de plus en plus allongé et étroit, la surface de décantation de la structure lamellaire restant identique. Quand le compartiment décanteur s'allonge, la section de l'orifice d'entrée des effluents sous les lames devient plus étroite (la largeur diminue alors que la hauteur de la section réglée à 30 cm reste inchangée), ce qui se traduit par un accroissement de la vitesse de pénétration de l'eau sous les lames (voir tableau n°1).

Ratio longueur/largeur	1/1	1/3	1/5
Largeur de l'ouverture en cm	492	272	212
Ouverture en cm <sup>2</sup>	14760	8160	6360
Vitesse moyenne calculée en cm/s	6,77	12,25	15,72

Tableau n°1 : Vitesses d'écoulement à l'entrée du compartiment lamellaire pour  $Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  en fonction de différentes largeurs de l'ouverture ( $h$  fixée à 30 cm).

L'examen des simulations dans un plan vertical longitudinal et médian (Figures n°6, n°7, et n°8) conduit aux observations suivantes : les simulations montrent qu'il se forme un important tourbillon dans le plan vertical avec descente des lignes d'eau vers le fond de l'ouvrage, puis remontée de l'eau dans les lames. Elles montrent également que l'eau pénètre jusqu'au fond de l'ouvrage, percute le voile arrière du compartiment lamellaire, puis revient à contresens avant de remonter dans les lames. La formation de turbulences sous les lames dépend de la vitesse de pénétration de l'eau. La turbulence principale se situe approximativement dans la première moitié du compartiment. Plus l'ouvrage est long, plus la zone de turbulence s'allonge. Cette turbulence semble être à l'origine du mouvement de retour de l'eau à contresens dans les premières lames.

Si l'on observe le mouvement de l'eau au-dessus des lames, plus le compartiment est long, plus la zone où l'eau s'écoule à contre sens est importante. Au niveau de la zone de stockage des boues, c'est-à-dire sous un plan horizontal situé dans le prolongement du déflecteur, on constate que l'eau redescend peu à peu vers le fond de l'appareil mais sans créer de fortes perturbations.

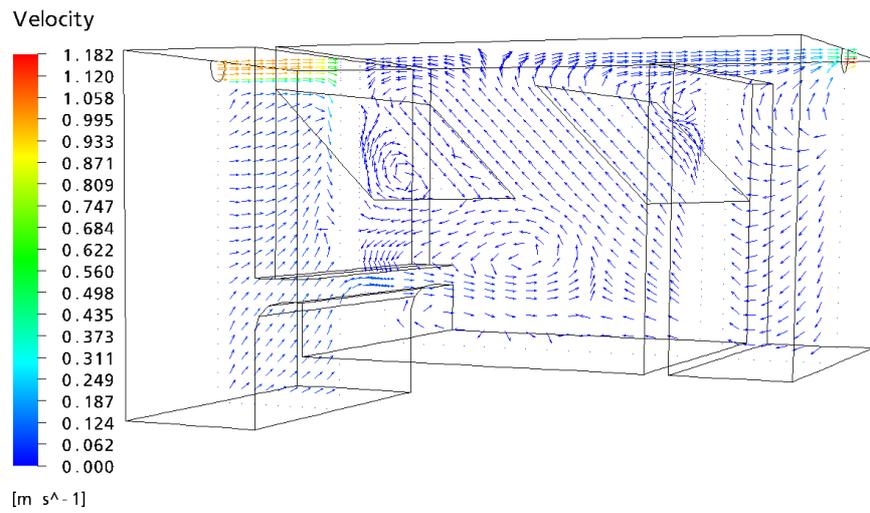


Figure n°6 : Champs de vitesses dans le décanteur 1/1 selon un plan vertical longitudinal médian

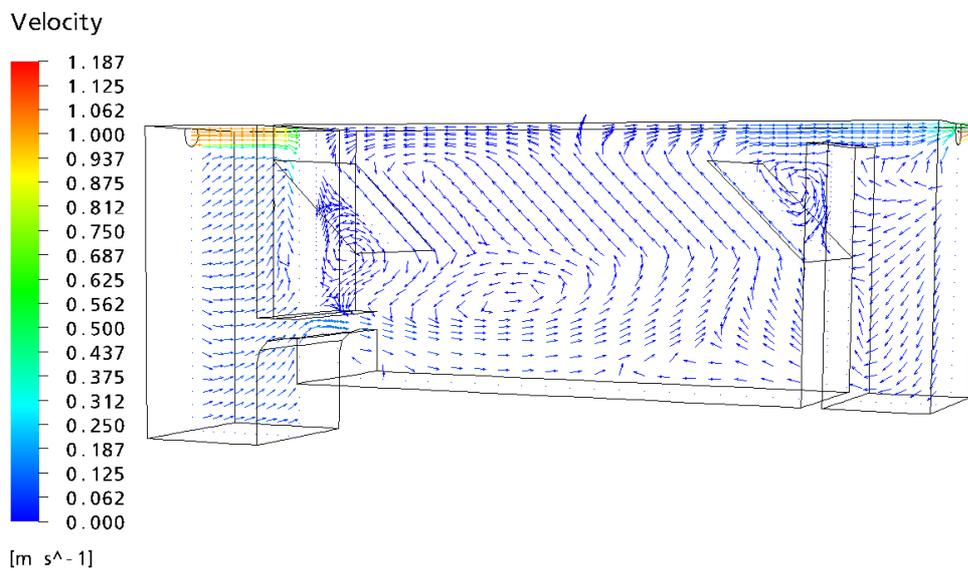


Figure n°7 : Champs de vitesses dans le décanteur 1/3 selon un plan vertical longitudinal médian

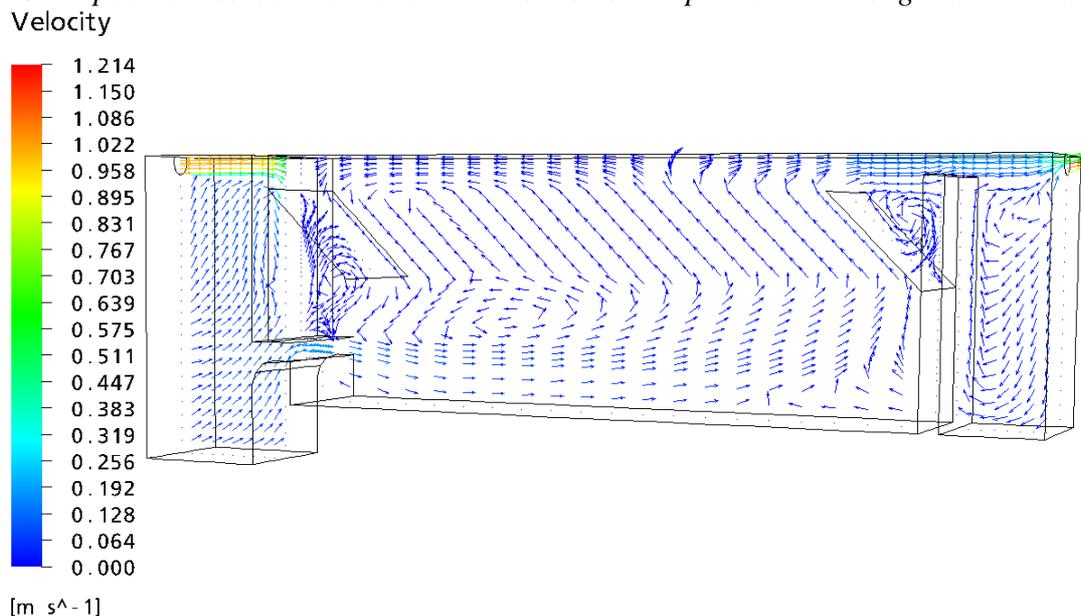


Figure n°8 : Champs de vitesses dans le décanteur 1/5 selon un plan vertical longitudinal médian

Dans la figure n°9, une série de plans verticaux ont été juxtaposés. On obtient une représentation de l'écoulement dans les lames en trois dimensions. Cette figure confirme que la répartition des vitesses n'est pas homogène dans toute la structure lamellaire. Les vitesses d'écoulement restent néanmoins faibles (quelques centimètres/seconde). Plus on se rapproche du seuil aval, plus la vitesse d'écoulement entre les lames s'accroît.

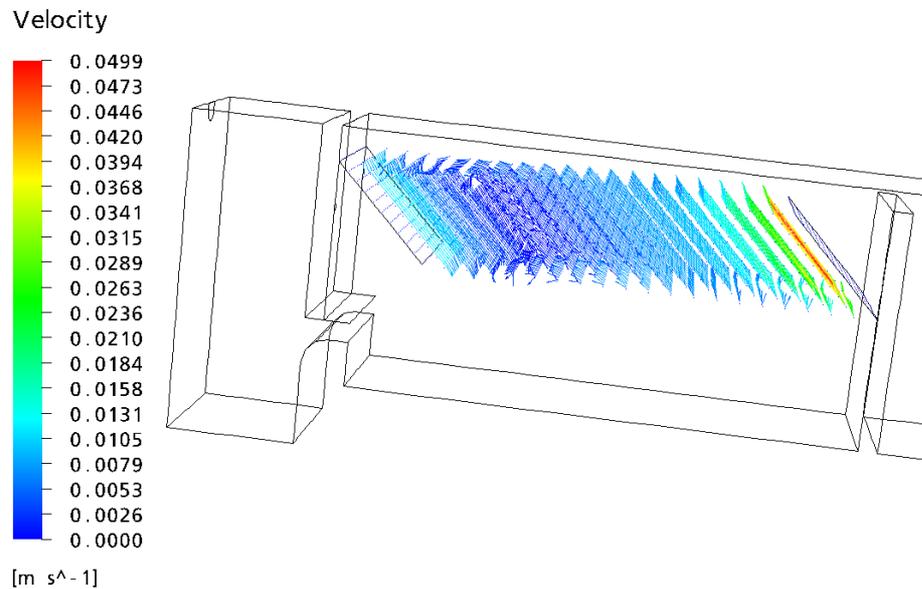


Figure n°9 : Champs de vitesses dans le décanteur 1/3 selon des plans verticaux juxtaposés

Pour ce qui est de la géométrie la plus favorable, à ce stade de l'étude, aucune tendance ne se dégage. Nous avons donc poursuivi les simulations avec le modèle 1/3, et nous avons fait varier la dimension de l'ouverture d'alimentation, la hauteur sous les lames et la position altimétrique de l'ouverture.

### 3.2. Champs hydrodynamiques dans un décanteur lamellaire dépourvu de goulottes d'évacuation des eaux claires, en fonction des conditions d'alimentation de l'eau brute.

Dans cette série, nous avons d'abord modifié les dimensions de l'ouverture d'alimentation du décanteur. Puis nous avons changé la hauteur sous les lames ainsi que la position altimétrique de l'ouverture.

#### 3.2.1. Dimensions de l'ouverture d'alimentation

L'ouverture d'alimentation permet le passage de l'eau brute de la chambre d'arrivée vers le compartiment lamellaire. La section de passage est de forme rectangulaire et est placée à 70 cm de hauteur. La longueur de l'ouverture (2,72 m pour le modèle 1/3) coïncide avec la largeur intérieure de l'ouvrage et reste inchangée dans les simulations suivantes. La variable est donc la largeur de cette ouverture (ou largeur du rectangle). Elle varie de 10 cm, à 30 cm, puis à 50 cm. Cependant, l'augmentation de la section se fait vers le bas, c'est-à-dire que la partie inférieure de l'ouverture s'abaisse vers le bas tandis que la partie supérieure reste fixe (cf. tableau n°2). L'augmentation de la section de passage se traduit par une réduction des vitesses d'écoulement à l'entrée du compartiment lamellaire.

Longueur de l'ouverture en cm	272	272	272
Largeur de l'ouverture en cm	10	30	50
Ouverture en cm <sup>2</sup>	2720	8160	13600
Position / radier en cm	70	50	30
Vitesse moyenne calculée en cm/s	36,76	12,25	7,35

Tableau n°2 : Vitesses d'écoulement à l'entrée du compartiment lamellaire pour  $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  en fonction de différentes sections de passage.

Avec l'augmentation la section de l'ouverture d'alimentation, les lignes d'eau qui pénètrent sous les lames sont de moins en moins convexes et descendent de moins en moins vers le radier. Le rebond contre le voile aval du

compartiment se réduit au fur et à mesure que la vitesse décroît. La masse d'eau est donc plus stable. L'ouverture la plus grande, soit de 50 cm haut sur 272 cm de large, donne ici les meilleurs résultats. La vitesse d'entrée est la plus faible, moins de 10 cm/s, le rebond est peu important et les turbulences occasionnées au niveau du voile de boue sont réduites. Par contre le mouvement de l'eau à contre sens dans les premières lames subsiste toujours.

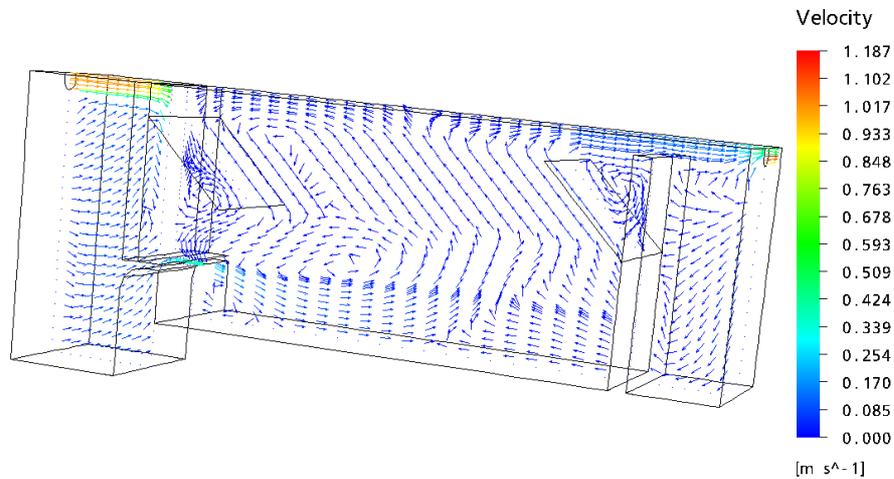


Figure n°10: Vecteurs vitesse selon un plan vertical longitudinal pour une ouverture de 10 cm

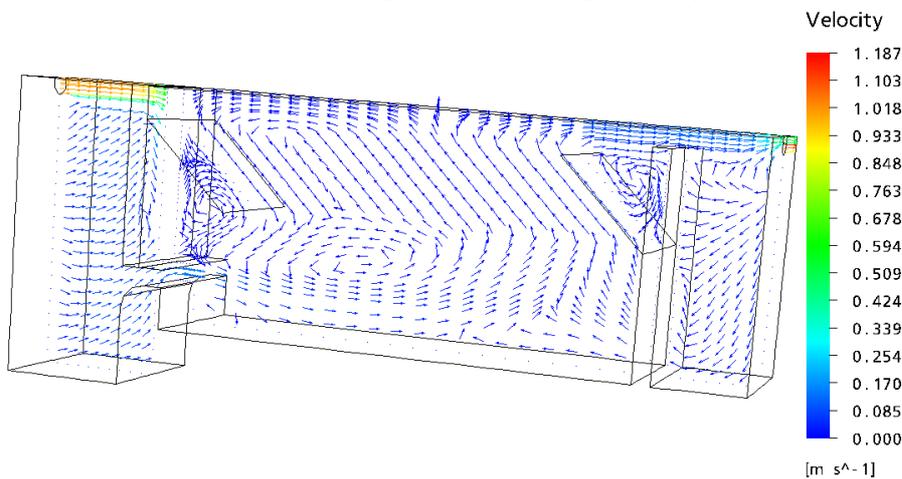


Figure n°11 : Vecteurs vitesse selon un plan vertical longitudinal pour une ouverture de 30 cm

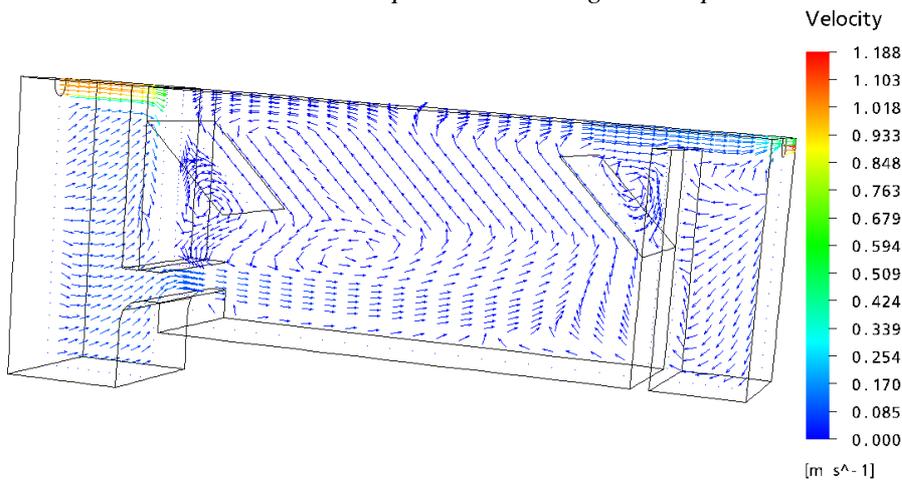


Figure n°12 : Vecteurs vitesse selon un plan vertical longitudinal pour une ouverture de 50 cm

### 3.2.2. Position altimétrique de l'ouverture d'alimentation

Dans le modèle utilisé, les lames sont positionnées à 1,70 m au-dessus du radier. Trois positions altimétriques ont été simulées : au niveau du radier, à 0,7 m au-dessus et à 1,4 m au-dessus. Dans ces trois cas, l'ouverture d'alimentation est fixée à 30 cm de largeur sur 272 cm de longueur (modèle 1/3).

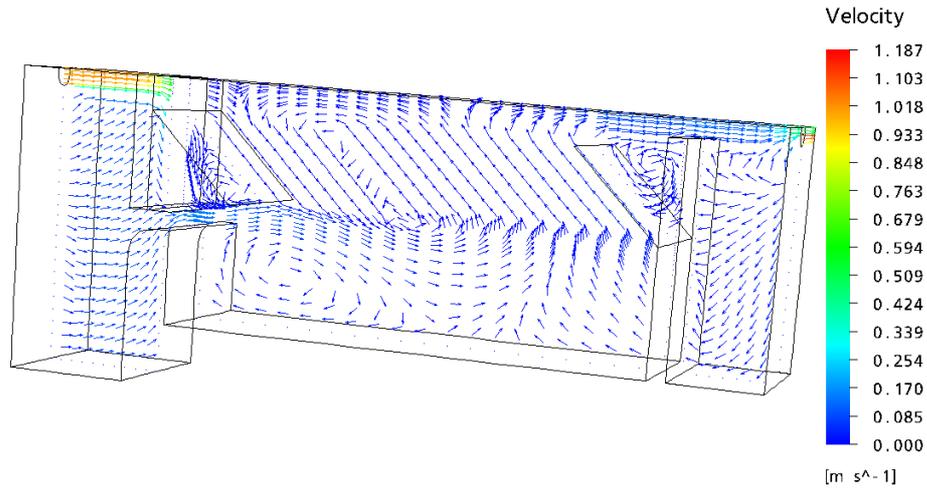


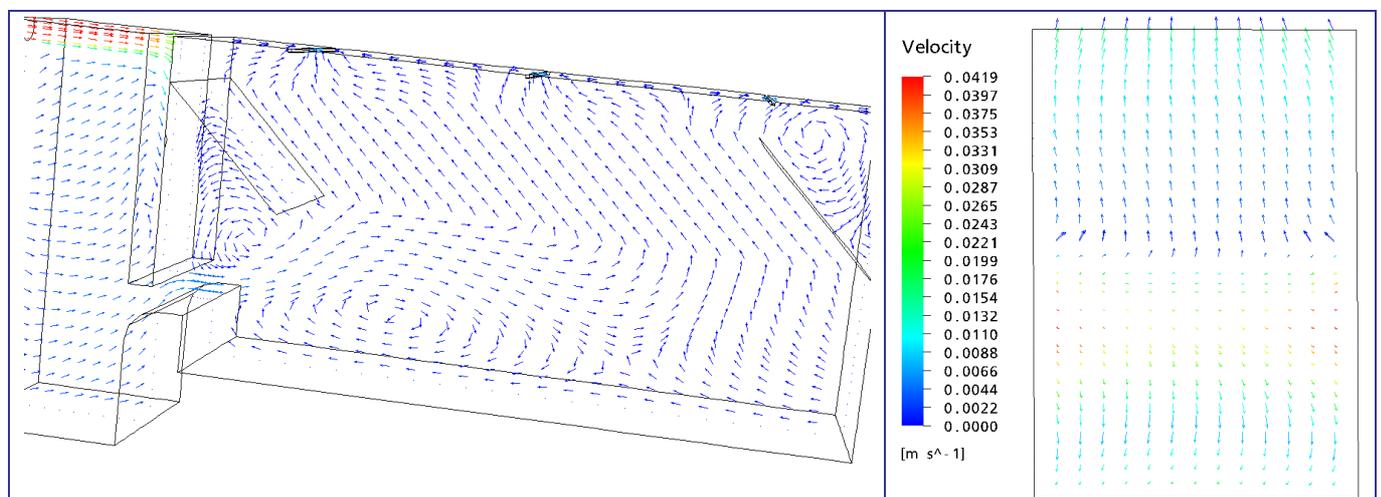
Figure n°13 : Vecteurs vitesse selon un plan vertical longitudinal pour une hauteur de 1.7 m sous lames.

Les simulations obtenues montrent qu'il est nécessaire de prévoir une hauteur minimum entre le radier et l'extrémité inférieure des lames. D'autre part, le sens de rotation de la turbulence dépend de la position de l'ouverture. En effet, quand l'ouverture est placée au niveau ou au-dessus du radier, on constate la formation d'une turbulence dont le sens de rotation est antihoraire. Par contre, quand l'ouverture est placée sous le niveau des lames (figures n°13) le sens de rotation de la turbulence est inversé par rapport au cas précédents (figure n°12). Ainsi, les conditions d'entrée c'est-à-dire les dimensions de l'ouverture, sa position, sous la structure lamellaire, permettent de réduire les turbulences sous les lames et d'obtenir une zone de stockage des boues préservée de turbulences. En revanche, les conditions d'entrée n'influent pas sur la répartition des effluents dans les lames, car dans tous les cas, le mouvement de l'eau à contre sens est toujours présent.

### 3.3. Champs hydrodynamiques dans un décanteur lamellaire muni de goulottes d'évacuation de l'eau traitée.

#### 3.3.1. Goulottes d'évacuation de l'eau traitée disposées transversalement

Dans la série suivante, nous avons utilisé le modèle de décanteur dont le ratio largeur/longueur est de 1/3. La hauteur sous lame est de 1,70 m et les dimensions de l'ouverture d'alimentation sont de 30 cm de haut par 272 cm de large. La position de la partie inférieure de l'ouverture est de + 70 cm par rapport au radier. Puis nous avons disposé régulièrement trois goulottes d'évacuation, de manière transversale par rapport à l'axe du décanteur, et à une distance de 50 cm au-dessus des lames.



Figures n°14 et 15 : Vecteurs vitesse selon un plan vertical longitudinal et transversal, avec trois goulottes transversales réparties régulièrement.

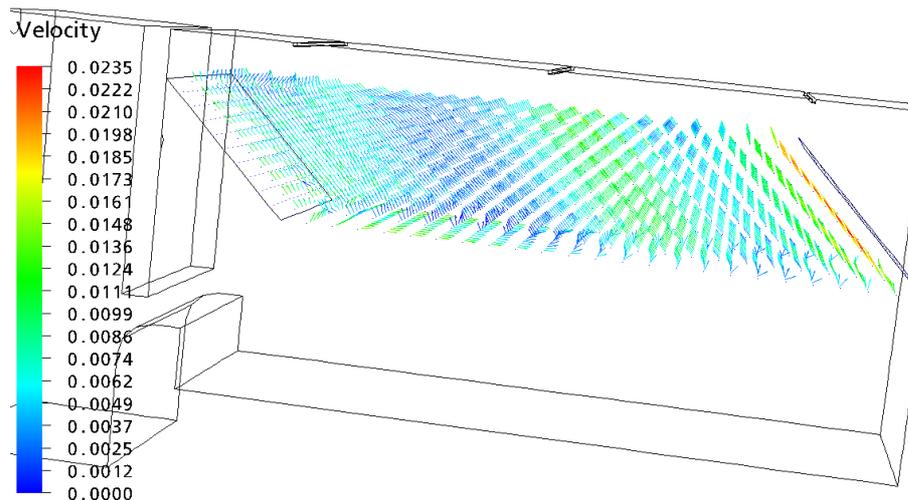


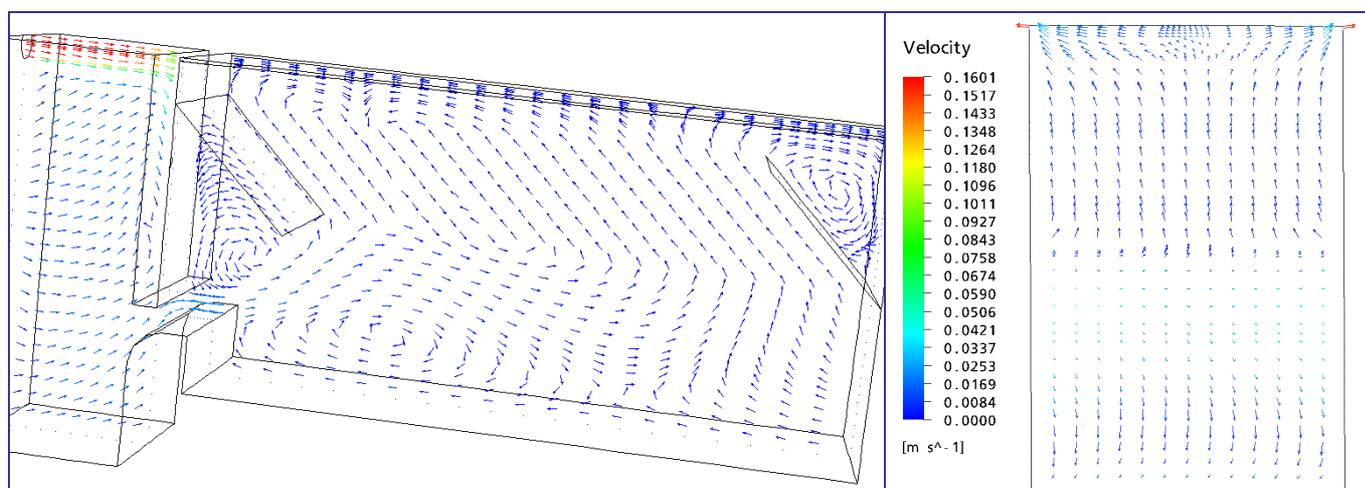
Figure n°16 : Juxtaposition de plans verticaux longitudinaux au niveau des lames avec trois goulottes transversales réparties régulièrement

Grâce à une perméabilité équivalente dans les deux directions parallèles au plan des lames, le modèle prend en compte la diffusion latérale de l'eau entre les lames. Dans les figures n°14 et n°15, les vecteurs apparaissent parallèles au plan des lames. On constate aussi l'absence de recirculation à contre sens dans la structure lamellaire. Dans la figure n°16, l'alternance de bandes bleues et vertes traduit une hétérogénéité des vitesses (de 5 à 15 mm/s environ). On notera même une teinte orangée (20 mm/s) dans les dernières lames. La position des goulottes joue donc un rôle dans la répartition de l'eau dans les lames. La dernière goulotte en particulier est placée au-dessus des deux dernières lames et évacue malencontreusement plus d'eau que les deux autres.

### 3.3.2. Goulottes d'évacuation des eaux traitées disposées longitudinalement

Nous avons conservé le même modèle de décanteur que précédemment. Mais nous avons positionné deux goulottes d'évacuation le long des parois du décanteur, à la même distance de 50 cm au-dessus des lames.

Les figures n°17 et n°18 montrent également que les vecteurs sont parallèles longitudinalement et transversalement, et que la répartition est convenable malgré un petit mouvement à contresens dans le premier tiers de la structure lamellaire.



Figures n°17 et 18 : Vecteurs vitesse selon un plan vertical longitudinal et transversal, avec deux goulottes longitudinales fixées le long des parois du décanteur.

Si l'on juxtapose les coupes longitudinales, on obtient une figure similaire à la figure n°18.

Dans cette simulation, les goulottes se prolongent au-delà des dernières lames, ce qui explique sans doute que l'eau s'écoule plus vite et donc davantage entre les dernières lames. L'étude des conditions de sortie conduit à répartir les prises d'eaux décantées de manière uniforme au-dessus de la totalité de la structure ou du bloc lamellaire. Si la disposition des prises d'eau est uniforme, alors la répartition de l'eau dans les lames sera équitable, et par conséquent les vitesses de décantation seront homogènes.

#### **4. CONCLUSIONS :**

Le fonctionnement hydraulique d'un décanteur lamellaire fonctionnant à contre-courant a été étudié en simulant par une modélisation numérique le mouvement d'un fluide. A partir d'un ouvrage type traitant  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , dont la structure lamellaire est calculée sur la base d'une vitesse de chute de  $1 \text{ m/h}$ , et dont la hauteur libre sous les lames est de  $1.70 \text{ m}$ , nous avons fait varier le rapport longueur/largeur, les dimensions de l'orifice d'alimentation des eaux brutes, et la présence ou non de goulottes de reprise des eaux traitées, celles-ci étant disposées transversalement puis longitudinalement.

Lorsque l'ouvrage est dépourvu de goulottes de reprise des eaux traitées, il se forme dans tous les cas, un important tourbillon sous les lames à l'avant du décanteur. On constate qu'une partie du flux recircule à contresens dans les lames placées au-dessus du tourbillon, et que les vitesses d'écoulement à travers les lames ne sont pas homogènes. L'écoulement est plus rapide au fur et à mesure que l'on se rapproche de la sortie. Au niveau du radier, sous un plan horizontal situé dans le prolongement du déflecteur, l'eau redescend peu à peu vers le fond du décanteur. Arrivée contre le voile aval du compartiment, l'eau revient à contresens puis remonte dans les lames. Les vitesses d'écoulement sont pourtant peu élevées, de l'ordre de  $5 \text{ cm/s}$  ce qui révèle la grande instabilité des masses d'eau.

L'allongement du compartiment décanteur, alors que les dimensions de l'orifice d'alimentation restent constantes, se traduit par un accroissement de la vitesse d'écoulement sous les lames. Si la vitesse de l'eau sous les lames est élevée, par exemple supérieure à  $20 \text{ cm/s}$ , elle génère des tourbillons peu propices à la constitution d'un voile de boue sur le radier. Mais aucune modification d'ordre géométrique n'a conduit à améliorer le fonctionnement hydraulique.

Quand on « ouvre » l'orifice d'alimentation, le régime d'écoulement se « tranquillise », et l'eau forme des veines liquides relativement parallèles qui s'écoulent au-dessus du voile de boues avec un faible rebond contre le voile arrière. Les meilleurs résultats sont obtenus avec une ouverture d'alimentation de  $50 \text{ cm} \times 272 \text{ cm}$ , et une vitesse d'entrée inférieure à  $10 \text{ cm/s}$ . On observe également que l'ouverture de l'orifice d'alimentation réduit l'importance de la zone de recirculation de l'eau à contresens (vers l'amont) dans les lames, sans toutefois l'éviter.

Pour une hauteur sous les lames permettant à un homme de se tenir debout, et si la zone de stockage des boues est délimitée par un déflecteur que l'on peut enjamber (environ de  $70 \text{ cm}$  de haut), cette zone apparaît stable et peu perturbée par les mouvements de l'eau.

Pour une même hauteur libre en revanche, si l'alimentation a lieu juste sous les lames avec une vitesse de l'eau de l'ordre de  $20 \text{ cm/s}$ , on observe une progression des lignes d'eau vers le bas et la création d'un tourbillon dont le sens de rotation est inversé par rapport au cas précédent. On constate également que lorsque l'eau pénètre trop vite et progresse loin, elle ne peut pas remonter dans les premières lames. Si la hauteur libre sous lames diminue, la vitesse de l'eau s'accroît sous les lames et produit un tourbillon qui génère à son tour un mouvement de recirculation à contresens dans le module lamellaire. Plus l'espace sous lame est restreint, plus le phénomène s'accroît.

Les conditions d'entrée influent donc sur la vitesse et la nature de l'écoulement sous la structure lamellaire. En choisissant une ouverture adéquate, on peut réduire les turbulences sous les lames mais sans toutefois les éviter. En revanche, les conditions d'entrée n'améliorent pas la répartition des effluents dans les lames et corollairement l'obtention de vitesses d'écoulement homogènes dans l'ensemble de la structure.

Lorsque le décanteur type est muni de goulottes de reprise des eaux claires disposées transversalement ou longitudinalement, on observe une nette réduction des phénomènes de re-circulation à contresens dans la structure lamellaire tels qu'ils ont été observés précédemment. Avec une position transversale, on remarque une

alternance de bandes colorées qui correspondent à des vitesses d'écoulement très lentes alternant entre 5 mm/s et 15 mm/s. Il subsiste donc une variation de vitesse qui n'est pas négligeable (du simple au triple).

Dans notre étude, le seuil des goulottes est disposé à + 50 cm au-dessus des lames. Or on ne constate pas d'écoulement préférentiel sur une partie de la surface des lames lors de son cheminement ascendant vers les goulottes. L'étude des conditions de sortie conduit à répartir les prises d'eaux décantées de façon à recouvrir toute la structure lamellaire. Si les prises d'eau sont disposées convenablement, alors la répartition de l'eau dans les lames, et par conséquent l'homogénéité des vitesses de Hazen entre les lames est améliorée.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- CHEBBO G. 1992. « Solides des rejets urbains par temps de pluie : caractérisation et traitabilité » Thèse de doctorat. Ecole nationale des Ponts et Chaussées.
- SAGET A. 1994. « Bases de données sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie. Distribution de la pollution rejetée. Dimensions des ouvrages d'interception ». Thèse de doctorat. Ecole nationale des Ponts et Chaussées.
- BOURRIER R. – LEMAIRE J.-P. – SATIN M. – SELMI B. 1995. Guide Technique de l'Assainissement. Edition Le Moniteur.
- CHEBBO G. – MOUCHEL J.-M. – SAGET A. – GOUSAILLES M. 1995. « La pollution des rejets urbains par temps de pluie : flux, nature, et impacts ». Technique Science et Méthode n°11 novembre 1995.
- GROMAIRE-MERTZ M.-C. 1998. « La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire. Caractéristiques et origines ». Thèse de doctorat. Ecole nationale des Ponts et Chaussées.
- ANDRAL M.C. – MONTREJAUD-VIGNOLLES M. - HERREMANS L. 1999. « Répartition granulométrique et caractéristiques hydrodynamiques des rejets solides drainés par les eaux de ruissellement sur chaussée autoroutière » ESI-GTI Pau, ANJOU RECHERCHE Rungis, INPT Toulouse.
- SCHMITT F., MILISIC V., CHEBBO G. : «Storage settling basins design and management, 3<sup>rd</sup> International Conference on sewer process and networks». Paris, April 2002.
- SCHMITT F., MILISIC V., CHEBBO G. : «Numerical Modelling of Storage Settling Basins, Pumps, Electromechanical Devices and Systems», Joint Conference IAHR-IWA, Valencia, April 2003.
- MILISIC V. 2004. « Modélisation de la décantation des effluents. Bassin de rétention République ». Rapport d'étude. Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole - Direction de l'Eau et de l'Assainissement et Laboratoire de Génie des Procédés et Environnement – Université Victor Segalen Bordeaux 2. Juin 2004.
- MILISIC V. , CHEBBO G. 2005. « Numerical tools for sediment management in sewers : application to storage settling basins ». Sustainable Water Management Solutions for Large Cities. Proceeding of symposium S2 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005. IAHS Publ. 293, 2005.
- MORIN A ., FIGUE J-F., MILISIC V., AIRES N., 2007. « Simulations numériques des écoulements dans un décanteur lamellaire à contre courant ». Rapport d'études pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie – Laboratoire de Génie des Procédés et Environnement – Université Victor Segalen Bordeaux 2. Septembre 2007.