

Contribution à l'optimisation de la diffusion de l'oxygène dans un Chenal Algal à Haut Rendement en mode étage

Najoua Haddaoui, Siham Boumaaza, Soukaina Alaoui et Jamal Eddine Jellal
Laboratoire de Génie, Civil Structure Traitement des Eaux, École Mohammadia d'Ingénieurs
Rabat (Maroc)

Le Maroc accuse un retard en matière d'assainissement liquide, cependant une prise de conscience a été constatée et des efforts ont été déployés pour faire face aux problèmes d'épuration et de réutilisation des eaux usées.

Plusieurs stations d'épuration ont vu le jour ces dernières années, utilisant des techniques intensives et extensives. Les procédés extensifs restent dominants, vu leur meilleure adaptation au contexte marocain. Parmi eux, on trouve le chenal algal à haut rendement qui reste encore une technique mieux adaptée avec un critère opératoire non encore standard. Les études menées sur ce procédé ont abouti à cerner les performances épuratoires en termes de charge hydraulique et organique et ont montré la bonne adaptabilité de ce type de procédé pour les petites et moyennes collectivités.

Dans le souci d'augmenter la capacité organique et hydraulique du chenal algal à haut rendement pour la même surface d'occupation, nous avons pensé à concevoir un chenal en étage qui permettrait d'absorber les fluctuations de charge.

Des études ont été réalisées pour l'optimisation de la hauteur de l'étage en tenant compte de l'ensoleillement du site pendant toute l'année et de l'effet de l'ombre du chenal haut sur le chenal bas.

Le fonctionnement du chenal est régi par une symbiose algo-bactérienne en équilibre instable, qui peut être affectée par le mode de fonctionnement diurne et nocturne; le facteur oxygène reste le seul paramètre clé pour déceler toute anomalie de fonctionnement, pour ce faire il est illusoire d'admettre que la production d'une quantité d'oxygène au-delà de la DBO est sans aucun effet sur la biomasse algale. Afin de déterminer les quantités d'oxygène produites par l'activité algale pendant la période diurne, on peut penser à considérer la grandeur suivante: l'oxygène produit qui représente un rapport constant entre l'oxygène libéré par la photosynthèse des algues, et l'énergie lumineuse pendant le temps de séjour considéré noté O_p ; et la quantité d'oxygène effectivement utilisée noté O_p' qui sera calculée par un bilan de matière sur l'oxygène. Cependant, la complexité de la modélisation de la distribution de l'oxygène dissous réside dans la mise en équation de l'écoulement, ainsi que dans l'établissement des modèles cinétiques des différents mécanismes biologiques intervenant dans le bilan de l'oxygène. Néanmoins, dans notre approche, la complexité des phénomènes biologiques a été simplifiée en considérant les algues et les bactéries comme des espèces chimiques qui subissent l'action de l'hydrodynamique (transport, diffusion, turbulence...) et qui réagissent suivant une cinétique déterminée.

La modélisation de l'interaction entre la turbulence et la cinétique du mécanisme réactionnel a permis d'exprimer les taux de réaction moyens en fonction des variables connues de la cinétique et en fonction des caractéristiques de la turbulence, puisque celle-ci joue un rôle déterminant.

Le choix a été porté sur le code de calcul ANSYS Fluent, utilisé pour mener les simulations. Cela a contribué à une meilleure compréhension des calculs mis en œuvre, notamment en ce qui concerne les processus itératifs et de la discrétisation spatiale.

Nous avons utilisé le logiciel ANSYS Fluent 18.0, dans le but de cerner les différents phénomènes et mécanismes gouvernant le fonctionnement du chenal algal à haut rendement en mode étage, et valider le modèle numérique à l'aide des études expérimentales et théoriques déjà effectuées sur le Chenal Algal à Haut Rendement.

L'étude de la diffusion d'oxygène dans le CARET a concerné les périodes diurnes et nocturnes et ce pour la disposition en série et en parallèle.

En faisant augmenter la charge organique de l'influent et réduire le temps de séjour du chenal haut en mode série, nous avons constaté une amélioration du pouvoir épuratoire du chenal bas fonctionnant en mode série.

L'examen des résultats, dévoile la possibilité d'une amélioration du rendement épuratoire en choisissant le mode série soit en augmentant la charge organique de l'influent soit en réduisant le temps de séjour du chenal haut.

ABSTRACT

Contribution to the optimisation of oxygen diffusion in a High-Yield Algal Channel in tiered mode.

Morocco is lagging behind in liquid sanitation, however there is evidence of increased awareness, and efforts are being made to deal with the purification issue and the re-using of waste water.

Several purification plants have seen the light of day in recent years, making use of intensive and extensive techniques. Extensive procedures continue to dominate, given their greater suitability in the Moroccan environment. Among these is the high-yield algal channel. This continues to be a technique that is the more suitable one, with operational criteria that are not yet standard. Studies carried out on this process have successfully determined the purifying performance in terms of the hydraulic and organic load, and have demonstrated that this kind of process is well suited to small and medium-sized local authorities.

In an attempt to boost the organic and hydraulic capacity of the high yield algal channel for the same occupied surface, we have come up with a tiered channel design, meaning that load fluctuations can be absorbed.

Studies have been undertaken into the optimisation of the tier height, taking into account the sun exposure of the site throughout

the whole year and the effect of the shadow of the higher channel on the lower one.

The channel's functioning is governed by an algo-bacterial symbiosis in an unstable equilibrium that can be affected by the diurnal and nocturnal functioning mode. The oxygen factor remains the sole key parameter for detecting any functional anomaly, and in order to do this it is unrealistic to say that the production of a quantity of oxygen over and above the BOD has no effect on the algal biomass. In order to determine the quantities of oxygen produced by the algal activity during the diurnal period, one might consider this scale: the oxygen produced that represents a constant relationship between the oxygen freed up by the photosynthesis of the algae, and the light energy during the daytime period that is noted as O_p ; and the quantity of oxygen that is actually used that is noted as O_p' that is to be calculated by way of a balance report on the oxygen. Meanwhile, the complexity of the modelling for the dissolved oxygen distribution lies in the equating of the flow, as well as in the establishment of kinetic models of the various biological mechanisms that are taking place in the oxygen report. However in our approach, the complexity of the biological phenomena has been simplified by considering the algae and bacteria as chemical species that undergo hydrodynamic action (transport, diffusion, turbulence and so on) and that react in line with determined kinetics.

The modelling of the interaction between the turbulence and the kinetics of the reactional mechanism has meant that average reaction rates can be expressed in line with the known variables of the

kinetics in line with the characteristics of the turbulence, since this plays a key role.

The choice was made to opt for the ANSYS Fluent calculation code, used to manage simulations. This contributed to a better understanding of the calculations used, especially where this concerns iterative processes and spatial discretisation.

We used the 18.0 Fluent ANSYS software to ascertain the various mechanisms and phenomena governing the high-yield algal channel's functioning in tiered mode, and to validate the digital model with the help of the experimental and theoretical research already undertaken on the High-Yield Algal Channel.

The oxygen diffusion study in the High-Yield Algal Channel in tiered mode related to diurnal and nocturnal periods, both simultaneously and on a serial basis.

By having the organic load of the influent increased and by reducing the residence time of the high channel in serial mode, we saw an improvement in the purification power of the low channel functioning in serial mode.

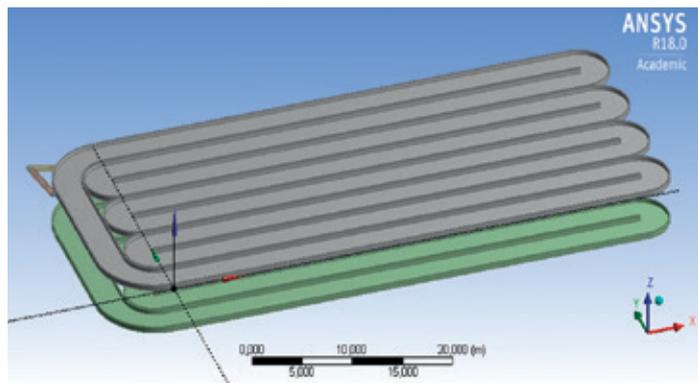
Examination of the outcomes show the potential for improvements in the purification yield by selection the serial mode either in increasing the organic load of the influent, or in reducing the residence time of the high channel.

Key words: High Yield Algal Channel (HYAC) - High Yield Algal Channel in tiered mode - hydrodynamics - diffusion - oxygen - Algae - Bacteria - Organic Matter - Biological Oxygen Demand (BOD) - residence time - simulation - optimisation.

Le chenal algal à haut rendement est l'un des systèmes d'épuration les mieux adaptés aux petites et moyennes agglomérations dans les conditions climatologiques du Maroc. C'est un procédé de traitement extensif qui nous permet d'optimiser et d'économiser la superficie.

Pour augmenter ses performances épuratoires, l'idée d'ajouter un étage identique représente une solution qui permettrait d'une part :

- Rendre le système intensif, tout en supportant des variations de charges hydrauliques et organiques.
 - Adapter le système à une agglomération plus grande par le biais d'une augmentation de la population desservie d'autre part.
- La figure suivante présente une vue générale de l'installation du chenal algal à haut rendement en mode étage (CARET), réalisée avec ANSYS Designer Modeler :



Vue en perspective du système algal en mode étage.

La mise en équation des phénomènes hydrodynamiques et de diffusion a été basée sur des données et des résultats des travaux antérieurs sur l'écoulement dans le CAHR. Ces considérations nous ont servi à cerner notre modélisation pour un écoulement monophasique turbulent d'un fluide incompressible homogène. Ceci s'est avéré essentiel pour l'établissement des équations ainsi que pour le choix des modèles de résolution numérique.

En effet, confrontés à une multitude de modèles mathématiques concernant la turbulence, qui diffèrent entre eux par l'approche théorique et par les constantes empiriques; notre choix s'est porté sur une version récente du modèle K-ε, qui

s'adapte à la réalité de l'écoulement au sein du CAHR, tout en offrant un compromis entre l'exactitude des résultats et le temps de compilation.

Cependant, la complexité de la modélisation de la distribution de l'oxygène dissous réside dans la mise en équation de l'écoulement, ainsi que dans l'établissement des modèles cinétiques des différents mécanismes biologiques intervenant dans le bilan de l'oxygène.

En effet, les conditions opératoires et les paramètres physiques (la pression, la température et l'insolation...) qui entrent en jeu dans le fonctionnement du CARET diffèrent énormément entre la période diurne et la période nocturne. Par conséquent, l'étude de la distribution de l'oxygène dans ces deux périodes s'avère indispensable.

La modélisation de l'interaction entre la turbulence et la cinétique du mécanisme réactionnel permet d'ex-

$$\frac{dc}{dt} = [K_L \cdot a \cdot (c^* - c)] + \left[K_D \cdot \frac{A}{V} \cdot (c^* - c) \right] + P - R$$

primer les taux de réaction moyens en fonction des variables connues de la cinétique et en fonction des caractéristiques de la turbulence, puisque celle-ci joue un rôle important.

Les modèles de résolution établis pour l'équation de transport des fractions massiques des espèces, ne prennent pas en compte les effets de la turbulence dans le calcul des termes sources. Ces termes sources qui apparaissent dans les équations de transport des espèces sont calculés d'après l'expression des mécanismes des réactions chimiques, en faisant appel à des modèles de réactions turbulentes.

Le code de calcul ANSYS Fluent propose plusieurs modèles d'interaction entre turbulence et réactions parmi eux, le modèle Finite-rate/Eddy-dissipation qui calcule et considère le minimum des taux d'Arrhenius -selon la loi de vitesse- et le taux de mélange.

Pour pouvoir modéliser l'hydrodynamique du chenal algal en mode étage et la diffusion d'oxygène, nous avons effectué trois

choix fondamentaux, en distinguant le cas des dispositions hydrauliques en série et en parallèle.

Ces choix concernent :

- La représentation de la géométrie et le maillage du domaine de calcul;
- Le modèle de turbulence;
- Les conditions aux limites.

L'alimentation hydraulique en série et en parallèle des bassins superposés, a une forte influence sur les performances du système.

Matériels et Méthodes

Mise en équations

L'oxygène dans le CAHR

Au cours du fonctionnement du chenal, l'équation globale du transfert d'oxygène s'écrit comme suit :

Dans laquelle :

$K_L \cdot a \cdot (c^* - c)$: le terme de l'aération artificielle;

$K_D \cdot A/V \cdot (c^* - c)$: le terme dû au transfert d'oxygène à l'interface gaz-liquide;

P : le taux de production d'oxygène par photosynthèse (mg/j/l);

R : le taux de consommation d'oxygène dans le chenal (mg/j/l).

L'oxygène produit :

En admettant qu'il existe un rapport constant entre l'oxygène libéré par la photosynthèse des algues et l'énergie lumineuse, la production d'oxygène O_p en mg/l pendant le temps de séjour T est donnée par la formule :

$$O_p = \frac{S \cdot T \cdot F}{e \cdot d}$$

Dans laquelle :

S : flux des radiations solaires (cal/m².j);

F : Rendement photochimique (%);

T : Temps de séjour (j);

d : Profondeur du chenal (m);

e : rapport entre l'oxygène libéré et l'énergie lumineuse égal à 3,68 cal/mg d'oxygène.

L'oxygène réellement utilisé :

C'est la quantité O_p' d'oxygène effectivement utilisée, elle est calculée à partir du bilan de matière sur l'oxygène.

Pour le calcul de O_p' , la concentration de

Mots-clés: Chenal Algal à Haut Rendement (CAHR) - Chenal Algal à Haut Rendement en mode étage (CARET) - hydrodynamique - diffusion - oxygène - Algues - Bactéries- Matière Organique - Demande Biologique en Oxygène (DBO) - temps de séjour - simulation - optimisation.

saturation en oxygène c^* à une température moyenne de 25 °C, dans des conditions normales de pression, est prise égale à 8 mg/L.

On définit le rapport R_0 comme suit :

$$R_0 = \frac{O'_p}{O_p}$$

Modélisation du CARET

La mise en équation des différents paramètres permettant à notre modèle d'être le plus représentatif possible de la réalité, à savoir les réactions chimiques et biologiques prépondérantes considérées, les différentes espèces qui réagissent entre eux, la géométrie réelle du chenal, les conditions initiales et aux limites, ainsi que les paramètres physiques opératoires tel que la pression, la température et l'insolation... En effet, les conditions opératoires et les paramètres physiques intervenant dans le fonctionnement du CARET pendant le jour sont très différents de ceux de la nuit. Pour cela, l'étude de la distribution de l'oxygène dans les deux périodes s'avère nécessaire.

Hydrodynamique du CARET

Le fluide au sein du chenal est un mélange d'eau usée et d'algues microscopiques, la concentration en algues est trop faible pour influencer les caractéristiques physiques du liquide. Par conséquent, le fluide sera désormais considéré comme newtonien.

Pour une vitesse moyenne d'écoulement de 15 cm/s, correspondant à la vitesse recommandée par OSWALD pour un fonctionnement optimal et économique, les paramètres hydrauliques d'écoulement sont représentés dans le tableau suivant :

Les paramètres hydrauliques du CAHR		
Paramètre	Valeur	Observation
Nombre de Mach	0.0001	Mélange incompressible
Nombre de Reynolds	56250	Écoulement turbulent
Nombre de Froude	0.005	Écoulement fluvial

Equations de l'hydrodynamique.

Les équations qui régissent l'hydrodynamique du CARET se résument en :

1-L'équation de continuité ou de conservation de masse :

$$\frac{\partial(\rho\vec{v})}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{v}\vec{v}) = -\overline{\text{grad } p} + \text{div } \vec{\tau} + \vec{f}$$

ρ : masse volumique du fluide (kg.m^{-3});

\vec{v} : vitesse du fluide (m.s^{-1});

S : terme puits/source ($\text{kg.m}^{-3}.\text{s}^{-1}$).

2-L'équation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial(\rho\vec{v})}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{v}\vec{v}) = -\overline{\text{grad } p} + \text{div } \vec{\tau} + \vec{f}$$

$\rho\vec{v}\vec{v}$: le tenseur de quantité de mouvement;
 $\text{div}(\rho\vec{v}\vec{v})$: le bilan flux entrant/sortant de quantité de mouvement pour le volume élémentaire;

$\vec{\tau}$: le tenseur des contraintes dû à la viscosité du liquide (Pa).

3-L'équation de l'énergie

$$\frac{\partial(v_i(\rho E + p))}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} [k_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j \vec{J}_j + v_i(\tau_{ij})_{\text{eff}}] + S_h$$

K_{eff} : la conductivité effective définie par :

$K_{\text{eff}} = K_{\text{moy}} + K_{\text{tur}}$ tel que : K_{moy} : la conductivité moyenne ;

K_{tur} : la conductivité turbulente.

\vec{J}_j : le flux de diffusion propre à l'espèce j.

E : est donné par la relation : $E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$

h : l'enthalpie sensible, pour un fluide incompressible.

4-L'équation de transport :

$$\frac{\partial(\rho Y_j)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i Y_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \vec{J}_i + R_i$$

V_i : composante de la vitesse suivant un axe;

Y_i : fraction massique de chaque espèce;

R_i : taux de réaction ou Taux de production de l'espèce i;

J_i : flux de diffusion de l'espèce i dû au gradient de concentration.

Après la mise en équation, des hypothèses simplificatrices s'imposent pour la résolution numérique par le logiciel à savoir :

Le régime d'écoulement est permanent,

donc :

$$\frac{\partial}{\partial t} = 0$$

Le mélange est considéré comme un fluide homogène et incompressible, donc la variation de ρ est négligeable, dans le temps et l'espace :

$\rho = \text{constante}$;

- Le mélange est considéré comme un fluide newtonien donc la viscosité du fluide :

$\mu = \text{constante}$;

- Le mélange est soumis à une unique force de volume qui est son poids donc :

$\vec{f} = \rho \cdot \vec{g}$ Où : \vec{g} : l'accélération de pesanteur (m.s^{-2})

Logiciel de simulation

Pour réaliser les simulations, nous avons choisi d'utiliser le logiciel ANSYS FLUENT 18.0 (version académique), qui est reconnu comme l'outil de simulation le plus puissant de la mécanique des fluides numérique (MFN) ou bien Computational Fluid Dynamics (CFD) qui étudie les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant l'écoulement.

ANSYS Fluent est un outil convivial et généraliste, offrant toutes les capacités physiques nécessaires pour la modélisation des écoulements des fluides, des turbulences, des transferts de chaleur, de masse et des réactions chimiques et fournissant des résultats rapides et précis pour une vaste gamme d'applications CFD.

Cet outil de simulation nécessite la connaissance de la géométrie de l'ouvrage, l'étude des conditions aux limites et le choix du modèle de turbulence. Il permet de représenter les écoulements tridimensionnels (champ de vitesse, ligne de courant, concentration des espèces.etc.).

Géométrie (Design Modeler)

Elle permet de définir la configuration du problème à analyser. Elle comporte :

- La création de la géométrie du système dans ANSYS Design Modeler;
- La modification et l'amélioration de la géométrie créée tout en effectuant les réajustements nécessaires.
- L'identification explicite de toutes les régions fluides et solides du modèle comme fluides ou solides selon leur nature.

Maillage (Meshing)

Cet outil permet de créer un maillage pour la géométrie définie, en passant par quatre étapes de base, qui se résument comme suit :

1. La génération d'un maillage par défaut
2. La définition des attributs du maillage
3. La définition des sélections nommées
4. La génération du nouveau maillage.

Configuration et solution (FluentSolver)

La composante configuration permet de spécifier les phénomènes physiques et chimiques qui doivent être modélisés et les types de matériaux utilisés (Fluide ou solide) ainsi que leurs propriétés.

Quant à la composante solution, elle permet de choisir le processus itératif, en proposant notamment plusieurs schémas numériques pour la discrétisation spatiale et temporelle, et pour le couplage de la vitesse et de la pression.

Résultats (Post Processeur)

Cette composante permet de visualiser la géométrie et le maillage du domaine, en affichant les résultats requis avec les outils de post-processeur qui sont intégrés dans « Fluent solver » tels que : graphiques et animation, tracés et rapports.

Convergence

À chaque itération, Fluent permet de juger de l'état de convergence par le biais du calcul des résidus qui correspond au déséquilibre de l'équation (l'équation générale discrétisée) sommée sur toutes les cellules du domaine.

Résultats et discussions

Cette étude nous a permis de citer les différents mécanismes intervenant dans le bilan de l'oxygène au sein du CAHR, ainsi que l'ensemble des paramètres physico-chimiques qui régissent le transfert gazeux de l'oxygène à travers l'interface air/eau.

Nous pensons que le bilan d'oxygène dans le fonctionnement du chenal, est directement lié aux différents coefficients de la concentration de l'oxygène, qui peut contribuer d'une part à juger le bon fonctionnement du photo-bioréacteur, et à améliorer les modèles de son dimensionnement d'autre part. Rendre le système algal CAHR en mode étage et son adaptation aux conditions marocaines par des modèles de dimensionnement, nécessiterait la maîtrise du principe de fonctionnement du système ainsi que ses caractéristiques qui permettraient la bonne oxygénation pour un meilleur rendement épuratoire. On peut conclure que l'adaptation du CARET, aux conditions marocaines par des modèles de dimensionnement, passerait par une mise en équation et une modélisation des différents mécanismes hydrodynamiques et bio-réactionnels qui contrôlent la distribution de l'oxygène au

sein du système.

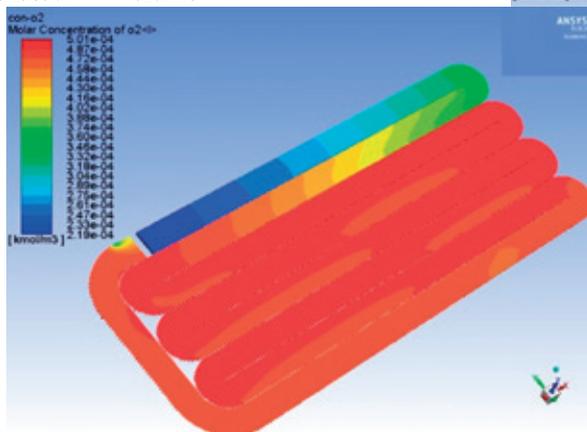
La mise en équation des phénomènes hydrodynamiques et de la diffusion a été basée sur des données et des résultats des travaux antérieurs sur l'écoulement dans le CAHR. Ces considérations nous ont servi à mieux cerner notre modélisation pour un écoulement monophasique turbulent d'un fluide incompressible homogène. Ceci s'est avéré essentiel pour l'établissement des équations ainsi que pour le choix des modèles de résolution numérique.

Nous avons tout d'abord présenté et justifié le choix du code de calcul ANSYS Fluent, utilisé pour mener à bien nos simulations. Cela a permis d'une part une meilleure compréhension des calculs mis en œuvre, notamment en ce qui concerne les processus itératifs et la discrétisation spatiale d'autre part.

Pour modéliser l'hydrodynamique du chenal algal en mode étage et la diffusion d'oxygène, nous avons effectué les choix fondamentaux, en distinguant le cas des dispositions hydrauliques en série et en parallèle.

a- Chenal haut

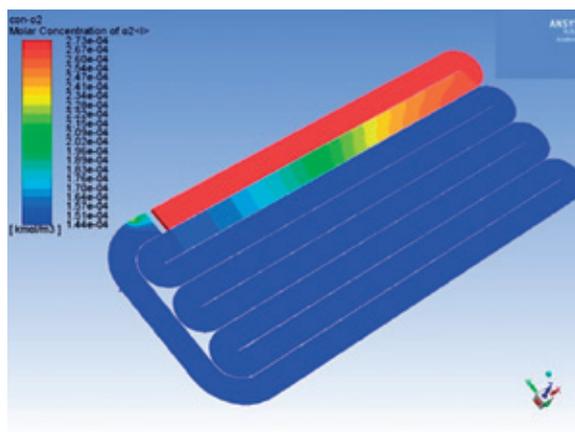
En mode série et pendant la période diurne



Distribution d'oxygène dans le chenal haut pour la période diurne.

D'après ce graphique nous pouvons remarquer que la concentration en oxygène dissous augmente progressivement à partir de la zone du mixage jusqu'à atteindre une homogénéité tout au long du chenal.

En mode série et pendant la période nocturne



Distribution d'oxygène dans le chenal haut en période nocturne.

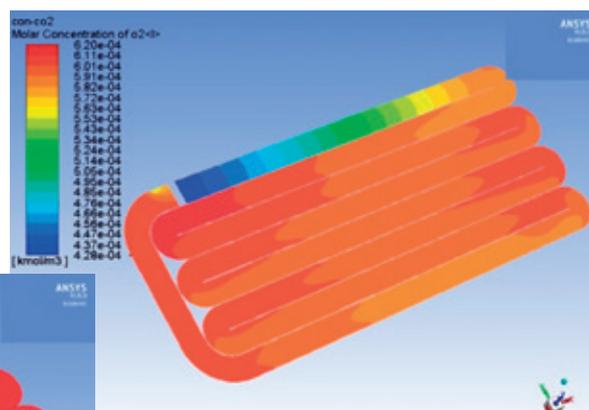
Les premières constatations qui peuvent être tirées de cette simulation se résument comme suit :

Après la sortie de la roue, l'effluent possède une concentration en oxygène proche de celle de saturation (8 mg/l), ceci est dû à l'oxygénation qui a subi le fluide durant le jour.

La concentration en oxygène diminue graduellement tout au long des deux premiers couloirs, avant de se stabiliser à une valeur de 4,46 mg/l. en effet la biodégradation à laquelle s'ajoute la respiration algale continue de consommer l'oxygène, or l'apport en oxygène par l'aération due au mixage, empêche ainsi d'atteindre des valeurs critiques (1 mg/l).

b-Chenal bas

En période diurne la distribution de l'oxygène dans le chenal bas est représentée par la figure suivante :



Distribution d'oxygène dans le chenal bas en période diurne.

À partir de ce graphique nous pouvons aisément affirmer que :

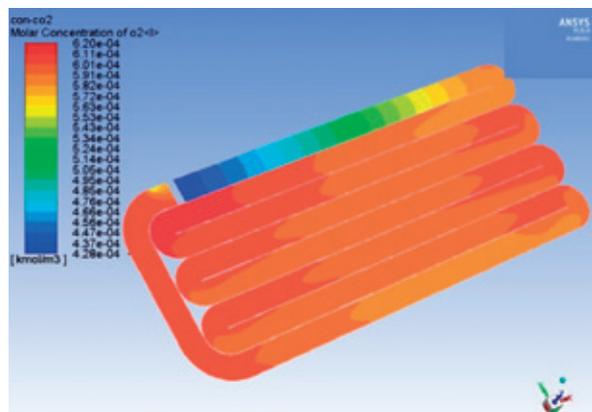
La variation de la concentration en oxygène dans le chenal, s'effectue de

manière identique à celle décrite pour le chenal haut, sauf que :

La valeur maximale atteinte est de 19,23 mg/l ($6,01 \cdot 10^{-4}$ kmol/m³), ce qui veut dire que l'effluent à l'entrée provenant du chenal haut est riche en oxygène.

Les zones (couleur orange) caractérisées par une légère diminution de la concentration en oxygène dissous, sont plus accentuées que celles du chenal haut à cause d'une part de l'effet de masque déjà expliqué précédemment, et d'autre part des variations en concentration d'algues.

En période nocturne la distribution de l'oxygène dans le chenal bas est représentée par la figure suivante :



Distribution d'oxygène dans le chenal bas en période nocturne.

La variation de la concentration en oxygène dans le chenal bas, s'effectue de façon similaire à celle déjà décrite pour la même période dans le chenal haut, sauf que les valeurs obtenues sont légèrement supérieures, puisque le chenal bas a déjà

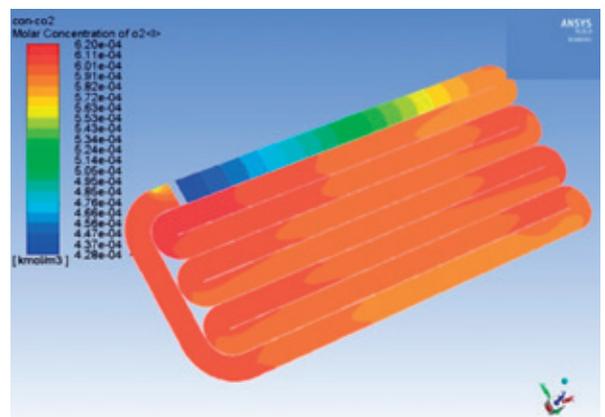
connu une oxygénation plus élevée pendant la période diurne.

Quant à la diffusion de l'oxygène dans le CARET en mode parallèle, les mêmes résultats qu'en mode série restent valables pour le chenal haut ; mais pour le chenal bas, deux cas restent à distinguer en fonction de la période diurne et nocturne.

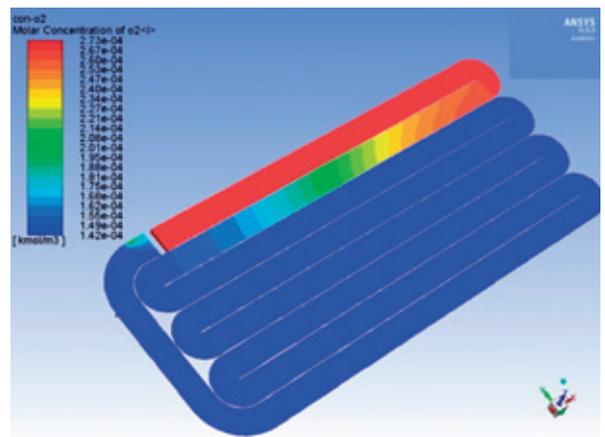
D'après les figures ci-contre, on constate que la variation de l'oxygène durant les deux périodes ressemble à celle du chenal haut en mode parallèle, avec une petite diminution des valeurs trouvées ainsi par l'effet de masque.

L'alimentation hydraulique en série et en parallèle des bassins superposés, a montré une grande influence sur les performances du système en étage en effet :

Le CARET en mode parallèle permet de traiter le double du débit, mais en générant un effluent d'une qualité moindre que celui du CARET en mode série. Cette variante pourrait être donc une introduction d'un nouveau système intensif pour des grandes



Distribution d'oxygène dans le chenal bas en période diurne.



Distribution d'oxygène dans le chenal bas en période nocturne.

agglomérations, mais pour des eaux usées de caractéristiques bien précises.

Le CARET en mode série permet de :

- Gagner en termes de population desservie tout en augmentant la charge organique à traiter, avec une meilleure performance épuratoire.
- Diminuer le temps de séjour.
- Traiter un grand volume d'eaux usées
- Réduire les surfaces nécessaires et les pertes d'eau par évaporation, ce qui présenterait un intérêt économique important.

Références Bibliographiques

EL HAMOURI B. Réacteur Anaérobie et Chenal à Haut Rendement pour l'épuration des eaux usées des petites communautés: Réalisation, exploitation et performances. IAV Hassan II, Rabat. ISBN: 9981-1769-8-2. 2005

CHATELIER, P. Simulation de l'hydrodynamique des chenaux d'oxydation par l'utilisation des équations de Navier-Stokes associées au modèle k-ε: évaluation de la vitesse de circulation, Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 1991, 220p.

JELLAL, J.E. Contribution à l'optimisation des performances d'un chenal algal à haut rendement dans l'élimination de la matière organique. Thèse d'état, Université Sidi Med Ben Abdellah, Maroc, 1994, 135 p.

CRESSON, Romain. Étude du démarrage de procédés intensifs de méthanisation: Impact des conditions hydrodynamiques et de la stratégie de montée en charge sur la formation et l'activité du biofilm. Thèse de doctorat, Université Montpellier II,

France, 3 avril 2006, 271 p

ABID.A. Contribution à l'étude des performances hydrodynamiques, thermiques et cinétiques du système intégré Réacteur anaérobie - chenal algal à haut rendement. Thèse d'état, Université Med V, École Mohammadia d'Ingénieurs Maroc, 2016, 233 p.

DEKAYIR, S. Gestion, récupération et valorisation de la biomasse produite dans une filière d'épuration des eaux usées par Chenal Algal à Haut Rendement. Thèse de doctorat, Université de Liège, 2008.

ABELIOVICH, A et WEISMAN, D. Role of heterotrophic nutrition in growth of the algae *Scenedesmus obliquus* in high rate algal oxidation ponds. Applied and environmental microbiology. Vol.35, (1), pp 32-35. 1978. [Référence du 20/04/2017]. <http://pubmedcentralcanada.ca/pmcc/articles/PMC242773/pdf/aem00216-0050.pdf>

JUPSIN H. et J.L. VASEL (2003). Bilans en O₂ et CO₂ dans un chenal algal à haut rendement. Réacteurs

gaz-liquide-solide. Trib. Eau, N°622/2. <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2010-v23-n1-rseau3590/038925ar.pdf>

JUPSIN H., A. COCKX et J.L. VASEL (2003a). Influence de l'hydrodynamique sur le transfert d'oxygène dans un fossé d'oxydation. Réacteurs gaz-liquide-solide. Trib. Eau, N°622/2. <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2010-v23-n1-rseau3590/038925ar.pdf>

OUARGHI H., B.E. BOUMANSOUR, O. DUFAYT, B. EL HAMOURI et J.L. VASEL (2000). Hydrodynamic and oxygen balance in high rate algal pond. Water Sci. Technol., 42, 349-356. <https://www.erudit.org/revue/rseau/2012/v25/n3/1013108ar.html?vue=biblio>

OSWALD, W.J. Micro-algae and waste-water treatment. In: Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J. (Eds.), Micro-algal Biotech., Cambridge University Press, Cambridge, 1988, pp. 305-328. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857404000370>

Conclusions

Ce papier s'est concentré sur l'utilisation du logiciel de simulation ANSYS Fluent pour modéliser la diffusion d'oxygène dans un Chenal Algal à Haut Rendement en mode étage (CARET). Il s'inscrit dans le cadre d'une étude plus large visant à définir le mode de fonctionnement adéquat de CARET, en termes de rendement épuratoire afin de rendre ce système, un système intensif, capable de traiter le double du débit par la même superficie et l'adapter ainsi aux grandes agglomérations.

Le logiciel ANSYS Fluent 18.0 a servi, dans

un premier temps, à cerner les différents phénomènes et mécanismes gouvernants le fonctionnement du chenal algal à haut rendement en mode étage, et valider le modèle numérique à l'aide des études expérimentales et théoriques déjà effectuées sur le Chenal Algal à Haut Rendement.

Lequel modèle a ensuite été utilisé pour étudier la diffusion d'oxygène dans le CARET pendant les périodes diurne et nocturne et ce pour les dispositions en série et en parallèle.

Il a été conclu qu'en faisant augmenter la charge organique de l'influent et en rédui-

sant le temps de séjour du chenal haut en mode série, nous pourrions constater une amélioration du pouvoir épuratoire du chenal bas fonctionnant en mode série.

L'examen des résultats, dévoile la possibilité d'une amélioration du rendement épuratoire en mode série soit en augmentant la charge organique de l'influent soit en réduisant le temps de séjour du chenal haut.

La validation des résultats reste tributaire de la confirmation expérimentale sur des prototypes ou de réels bassins superposés, afin de caler les conclusions élaborées lors de cette étude. ■

RETROUVEZ LES DERNIÈRES NOUVEAUTÉS DANS



LE GUIDE DES NOUVEAUTÉS TECHNIQUES 2018