

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénieur Année 2008-2009

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER

**MODÉLISATION HYDRAULIQUE D'UN  
BASSIN D'AÉRATION DES STATIONS  
D'ÉPURATION DES EAUX USÉES**

**Option**

Hydraulique Urbaine et Construction Hydraulique

**Par**

Mme KARIMA ALLAoui

**DIRECTEUR DE MEMOIRE :** Mr. Y. HAMMAR M.C Univ. d'Annaba

**DEVANT LE JURY**

**PRESIDENT :** Mme H. KHERICI Pr Univ. d'Annaba

**EXAMINATEURS:** M<sup>f</sup> H. AMARCHI M. C Univ. d' Annaba

M<sup>f</sup> L. DJEMILI M. C Univ. d' Annaba

REMERCIEMENT

Ce mémoire est présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER

Je tiens à remercier :

Monsieur Hammar yahia, pour m'avoir encadré mon travail avec sa pertinence et sa patience qui m'ont guidé jusqu'au terme de mon travail.

Madame Kherici.H , président de jury, et Mr Amarchi .Het Mr Djémili.L member de jury, pour avoir accepté de bien vouloir jugé mon mémoire, et y avoir contribué par ses remarque et ses corrections.

Je remercie également le personnel du bureau d'étude progress et surtout Mr Nafaa, Mr Boutaba, Aicha, Hafid, Imed, et Hamid pour ses conseils utiles.

J'adresse aussi mes remerciements à toutes les personnes, qui de prés ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens enfin à remercier mon mari pour son soutien et ma famille (mes parents, mes soeurs, mon frère et ma fille yousra) pour les moments difficiles qui ont vécu avec moi.

## RESUME

Le bassin d'aération, est l'élément majeur d'une station d'épuration à boue activée. Son fonctionnement conditionne la qualité d'épuration tel que l'aération doit permettre la fourniture d'oxygène aux micro-organismes responsables de la dégradation de la matière organique contenue dans les eaux usées.

L'efficacité des systèmes d'aération par insufflation d'air a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche qui ont montré que le rendement de transfert d'oxygène dans les conditions standard est le plus performant par rapport aux autres systèmes d'aération.

La bonne conception et le bon dimensionnement du bassin d'aération sont nécessaires pour assurer la qualité et la fiabilité d'épuration des eaux usées, pour cette raison, l'objet du présent mémoire est d'étudier l'influence des paramètres hydraulique du bassin d'aération sur le rendement optimal d'oxygénation pour avoir un rendement meilleure d'épuration.

**Mots clé:** bassin d'aération, dimensionnement, oxygénation, insufflation d'air, eau usée, rendement de transfert d'oxygène, épuration.

**ABSTRACT:**

The aeration basin is the most important equipment in an activated sludge. Its operating conditions the quality of treatment such as aeration should help supply oxygen to the micro-organisms living in aerobic conditions, which can then degrade the organic matter (carbon pollution) contained in wastewater.

The effectiveness of aeration air insufflation has been the subject of several researches which showed that the efficiency of oxygen transfer under standard conditions is the most efficient compared to other ventilation systems.

Good design and proper sizing of the aeration basin are necessary to ensure the quality and reliability of wastewater treatment, for this reason, the purpose of this paper is to study the influence of hydraulic parameters of the basin aeration on yield optimal oxygenation for a better cleaning performance.

**Key words:** Aeration basin, dimensioning, Oxygenation, air insufflation, Waste water, Return to oxygen transfer, Purification

## الملخص:

حوض التهوية هو العنصر الرئيسي في محطة معالجة مياه المجاري الحماة المنشطة, بحيث عملها يشترط نوعية التطهير, كما أن التهوية تسمح بتموين البكتيريا الحية في الوسط الهوائي بالأوكسجين لكي تستطيع هدم المواد العضوية التي تحتويها المياه المستهلكة .

فعالية نظام التهوية بنفخ الهواء كان موضوع العديد من الأبحاث و التي أظهرت أن كفاءة تحويل الأوكسجين في الشروط العادية , هو الأكثر كفاءة مقارنة بغيره من أنظمة التهوية.

التصميم الجيد والسليم لحجم حوض التهوية ضروري لضمان نوعية معالجة مياه الصرف الصحي , لهذا السبب , فإن الغرض من هذا العمل هو دراسة تأثير العوامل المائية لحوض التهوية على مردود تحويل الأوكسجين حتى نضمن مردود أمثل و نوعية تطهير عالية .

مفتاح الكلمات: حوض التهوية, ضبط الأبعاد, أكسدة, نفخ الهواء, المياه المستهلكة, مردود تحويل الأوكسجين, تطهير.

**SOMMAIRE:**

REMERCIEMENTS.....	1
RESUME.....	2
SOMMAIRE.....	5
LISTE DES FIGURES.....	10
LISTE DES PHOTOS.....	12
LISTE DES TABLEAUX.....	13
LISTES DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	15
1. INTRODUCTION.....	17
1.1. Problématique .....	17
<b>CHAPITRE I : EPURATION DES EAUX USÉES URBAINES</b>	
I.1. Caractéristiques des eaux usées urbaines.....	19
I.2. Traitement des eaux usées urbaines.....	20
I.2.1. Les prétraitements.....	20
I.2.1.1. Dégrillage .....	21
I.2.1.2. Dessablage déshuilage.....	22
I.2.2. Les traitements primaires .....	22
I.2.2.1. Décantation primaire .....	22
I.2.3. Les traitements secondaires .....	23
I.2.3.1. Les procédés intensifs .....	23
I.2.3.1.1. Procédés à culture fixe .....	23
I.2.3.1.1.1. Disque biologique.....	23
I.2.3.1.1.2. Lits bactériens .....	24
I.2.3.1.2. Procédés biologiques à culture libre .....	26
I.2.3.1.2.1. Les boues activées .....	26
I.2.3.2. Les procédés extensifs .....	29
I.2.3.2.1. Le lagunage .....	29
I.2.3.2.1.1. Le lagunage naturel .....	29
I.2.4. Les traitements tertiaires .....	31
I.3. Conclusion .....	31
<b>CHAPITRE II : LES DIFFÉRENTS CONSTRUCTIONS DES BASSINS D'AÉRATION</b>	
II.1 Classification des formes de bassins d'aération .....	32
II.1.1 Les grands chenaux, qu'ils soient oblongs ou annulaires .....	32
II.1.2 Les petits chenaux Annulaires .....	33

<b>II.1.3 Les petits « FAUX» Chenaux.....</b>	<b>32</b>
<b>II.1.4 Les bassins d'aération cylindriques .....</b>	<b>34</b>
<b>II.1.5 Les bassins d'aération parallélépipédiques .....</b>	<b>34</b>
<b>II.2. Conclusion .....</b>	<b>35</b>
<b>CHAPITRE III : LES SYSTÈMES D'AÉRATION DES STATIONS D'ÉPURATION</b>	
<b>III.1. Les systèmes d'aération utilisés dans les installations d'épuration :.....</b>	<b>36</b>
<b>III.1.1. Aérateurs de surface.....</b>	<b>37</b>
<b>III.1.1.1. Turbine lente .....</b>	<b>37</b>
<b>III.1.1.2. Turbine rapide.....</b>	<b>39</b>
<b>III.1.1.3. Brosse .....</b>	<b>40</b>
<b>III.1.2. Systèmes à injection d'air.....</b>	<b>41</b>
<b>III.1.2.1. Insufflation d'air par grosses bulles .....</b>	<b>42</b>
<b>III.1.2.2. Insufflation d'air par moyennes bulles.....</b>	<b>42</b>
<b>III.1.2.3. Insufflation d'air par fines bulles.....</b>	<b>43</b>
<b>III.1.2.4. Insufflation d'air et brassage .....</b>	<b>46</b>
<b>III.1.3. Systèmes à base de pompe .....</b>	<b>46</b>
<b>III.1.3.1. Systèmes à jets .....</b>	<b>46</b>
<b>III.1.3.2. Systèmes à éjecteurs.....</b>	<b>47</b>
<b>III.1.3.3. Systèmes déprimogènes simples .....</b>	<b>48</b>
<b>III.2. Conclusion.....</b>	<b>48</b>
<b>CHAPITRE IV : THEORIE SUR L'HYDRODYNAMIQUE</b>	
<b>IV.1. Équation de l'hydrodynamique en monophasique.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.1.1. Établissement des équations de Navier- Stokes.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.1.1.1. Équation de continuité ou équation locale de conservation de la masse.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.1.1.2. Équation de la quantité de mouvement .....</b>	<b>49</b>
<b>IV.1.1.3. Expression du tenseur des contraintes.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.1.1.4. Équations de Navier-Stockes .....</b>	<b>50</b>
<b>IV.1.1.5. Cas d'un fluide incompressible soumis a son poids.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.1.2. Equations en regime turbulent.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.1.2.1. Nombre de Reynolds .....</b>	<b>50</b>
<b>IV.1.2.2. Notions de turbulence .....</b>	<b>51</b>
<b>IV.1.2.2.1. Définition.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.1.2.2.2. Aspect énergétique.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.1.2.3. Équations pour l'écoulement turbulent d'un fluide incompressible.....</b>	<b>52</b>

<b>IV.2. Équations de l'hydrodynamique en diphsique.....</b>	<b>53</b>
<b>IV.2.1. Forces s'exerçant sur une bulle d'air isolée.....</b>	<b>54</b>
<b>IV.2.2. Équations en régime turbulent.....</b>	<b>54</b>
<b>IV.3. CONCLUSION .....</b>	<b>55</b>
<b>CHAPITRE V: SIMULATION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES HYDRAULIQUES DES BASSINS D'AÉRATIONS</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>56</b>
<b>V.1. Les performances d'oxygénation sont présentées en termes de .....</b>	<b>56</b>
<b>V.2. Définition.....</b>	<b>58</b>
<b>V.2.1. Variables caractéristiques du transfert d'oxygène.....</b>	<b>58</b>
<b>V.2.2. Caractérisation des performances d'oxygénation des systèmes d'insufflation d'air fines bulles .....</b>	<b>58</b>
<b>V.3. Relations permettant de prédire le coefficient de transfert d'oxygène et le rendement d'oxygénation des systèmes d'aération en bassin cylindrique.....</b>	<b>58</b>
<b>V.3.1. Variables caractéristiques.....</b>	<b>58</b>
<b>V.3.2. Domaine de validité.....</b>	<b>59</b>
<b>V.3.3. Expression des performances d'oxygénation en fonction des variables caractéristiques du transfert d'oxygène.....</b>	<b>60</b>
<b>V.4. Relation permettant de prédire le coefficient de transfert d'oxygène et le rendement d'oxygénation des systèmes d'aération en chenaux d'aération .....</b>	<b>61</b>
<b>V.4.1. Variables caractéristiques.....</b>	<b>61</b>
<b>V.4.2. Domaine de validité.....</b>	<b>61</b>
<b>V.4.3. Expression des performances d'oxygénation en fonction des variables caractéristiques du transfert d'oxygène .....</b>	<b>62</b>
<b>V.5. Conclusion.....</b>	<b>63</b>
<b>CHAPITRE VI : SIMULATION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES HYDRAULIQUES DES BASSINS D'AÉRATIONS SUR STATIONS REELLES</b>	
<b>Introduction.....</b>	<b>64</b>
<b>VI.1. Influence des paramètres hydrauliques sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>64</b>
<b>Station d'épuration d'Annaba A- Les bassins cylindriques.....</b>	<b>64</b>
<b>VI.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>64</b>
<b>VI.1.1.1. Cas 1. Diffuseurs disposés en couverture plancher .....</b>	<b>67</b>



<b>VI.1.1.2. Cas 2. Diffuseurs disposés sur un module .....</b>	<b>68</b>
<b>VI.1.1.3. Commentaire.....</b>	<b>69</b>
<b>VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs .....</b>	<b>70</b>
<b>VI.1.2.1. Commentaire.....</b>	<b>71</b>
<b>VI.1.3. Densité de diffuseur .....</b>	<b>72</b>
<b>VI.1.3.1. Commentaire.....</b>	<b>73</b>
<b>B- Les Chenal d'aération .....</b>	<b>74</b>
<b>VI.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement D'oxygénation .....</b>	<b>74</b>
<b>VI.1.1.1. Cas 1.Chenal d'aération de type I (diffuseurs disposés sur l'ensemble du radier).....</b>	<b>76</b>
<b>VI.1.1.2. Cas 2.Chenal d'aération de type II (diffuseurs disposés sur la moitié du radier).....</b>	<b>78</b>
<b>VI.1.1.3.Commentaire.....</b>	<b>79</b>
<b>VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs .....</b>	<b>80</b>
<b>VI.1.2.1. Commentaire.....</b>	<b>81</b>
<b>VI.1.3. Densité de diffuseur .....</b>	<b>82</b>
<b>VI.1.3.1.Commentaire.....</b>	<b>83</b>
<b>VI.1.4. Influence de l'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de Diffuseurs .....</b>	<b>84</b>
<b>VI.1.4.1. Commentaire.....</b>	<b>85</b>
<b>VI.1.5. Influence de la vitesse horizontale sur le transfert d'oxygène.....</b>	<b>86</b>
<b>VI.1.5.1. Commentaire.....</b>	<b>87</b>
<b>VI.1.5.2. Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>88</b>
<b>VI.1.5.3. Commentaire .....</b>	<b>88</b>
<b>VI.1.6. Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>89</b>
<b>VI.1.6.1. Commentaire.....</b>	<b>90</b>
<b>Station d'épuration de Sedrata</b>	
<b>A- Les bassins cylindriques.....</b>	<b>91</b>
<b>VI.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>91</b>
<b>VI.1.1.1. Cas 1. Diffuseurs disposés en couverture plancher .....</b>	<b>92</b>
<b>VI.1.1.2. Cas 2. Diffuseurs disposés sur un module .....</b>	<b>93</b>

<b>VI.1.1.3. Commentaire.....</b>	<b>94</b>
<b>VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs.....</b>	<b>95</b>
<b>VI.1.2.1. Commentaire.....</b>	<b>96</b>
<b>VI.1.3. Densité de diffuseur .....</b>	<b>97</b>
<b>VI.1.3.1. Commentaire.....</b>	<b>98</b>
<b>B - Pour les Chenal d'aération .....</b>	<b>99</b>
<b>V.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>99</b>
<b>VI.1.1.1. Cas 1.Chenal d'aération de type I (diffuseurs disposes sur l'ensemble du radier).....</b>	<b>100</b>
<b>VI.1.1.2. Cas 2.Chenal d'aération de type II (diffuseurs disposés sur la moitié du radier).....</b>	<b>102</b>
<b>VI.1.1.3. Commentaire.....</b>	<b>103</b>
<b>VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs.....</b>	<b>104</b>
<b>VI.1.2.1. Commentaire.....</b>	<b>105</b>
<b>VI.1.3. Densité de diffuseur.....</b>	<b>106</b>
<b>VI.1.3.1. Commentaire.....</b>	<b>107</b>
<b>VI.1.4. Influence de l'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de Diffuseurs.....</b>	<b>108</b>
<b>VI.1.4.1. Commentaire.....</b>	<b>109</b>
<b>VI.1.5.1. Influence de la vitesse horizontale sur le transfert d'oxygène.....</b>	<b>110</b>
<b>VI.1.5.2. Commentaire.....</b>	<b>111</b>
<b>VI.1.5.3. Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>112</b>
<b>VI.1.5.4. Commentaire .....</b>	<b>112</b>
<b>VI.1.6. Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation.....</b>	<b>113</b>
<b>VI.1.6.1. Commentaire.....</b>	<b>114</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>115</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>117</b>
<b>REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>119</b>

**LISTE DES FIGURES:**

<b>N°</b>	<b>Titre de la figure</b>	<b>page</b>
Figure 1	Exemple de variations horaires du débit et des concentrations en matières	19
Figure 2	Dégrilleur courbé	21
Figure 3	Décanteur primaire	22
Figure 4	Disque biologique	24
Figure 5	Lit bactérien	25
Figure 6	Boues activées à faible charge	28
Figure 7	Lagunage naturel	30
Figure 8	Grands chenaux d'aération a dissociation aération brassage	32
Figure 9	Petits chenaux A «vrai » B «faux»	33
Figure 10	Bassins d'aération cylindriques	34
Figure 11	Bassins d'aération parallélépipédiques	34
Figure 12	Bassin à parois à 45 °	35
Figure 13	Mouvement créé par une turbine	39
Figure 14	Turbine rapide	40
Figure 15	Aérateurs statiques	42
Figure 16	Diffuseurs moyennes bulles	42
Figure 17	Systèmes à jets	47
Figure 18	Éjecteurs	47
Figure 19	Systèmes déprimogènes simples	48
Figure 20	Variable caractéristique du transfert d'oxygène dans les bassins cylindriques	58
Figure 21	Variables caractéristiques du transfert d'oxygène dans les chenaux d'aération.	61
Figure 22	Diffuseurs disposés en couverture plancher. (Type I)	67
Figure 23	Diffuseurs disposés sur un module (Type II)	68
Figure 24	Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba	71
Figure 25	Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba	73
Figure 26	Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba	81
Figure 27	Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba	83
Figure 28	Influence de l'angle de l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur de la station d'Annaba	85
Figure 29	Influence de la vitesse de circulation de l'eau sur le transfert d'oxygène de la station d'Annaba	87
Figure 30	Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba	88
Figure 31	Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba	90
Figure 32	Diffuseurs disposés en couverture plancher. (Type I)	92
Figure 33	Diffuseurs disposés sur un module (Type II)	93
Figure 34	Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata	96
Figure 35	Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation	98
Figure 36	Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata	105
Figure 37	Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata	107

Figure 38	Influence de l'angle de l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur de la station de Sedrata	109
Figure 39	Influence de la vitesse de circulation de l'eau sur le transfert d'oxygène de la station de Sedrata	111
Figure 40	Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata	112
Figure 41	Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata	114

**LISTE DES PHOTOS:**

<b>N°</b>	<b>Titre de la photo</b>	<b>Page</b>
Photo 1	Turbine de surface à vitesse lente (immersion insuffisante)	38
Photo 2	Aérateur de surface Brosse	41
Photo 3	Disques de l'élastomère poreux	43
Photo 4	Rampes immergées de diffuseurs fines bulles	43
Photo 5	Chenal d'aération - Insufflation d'air +agitation	46

**LISTE DES TABLEAUX:**

N°	Titre du tableau	page
Tableau 1	Caractéristiques des différents paramètres de dimensionnement des stations d'épuration par boues activées suivant la charge: ROQUES	28
Tableau 2	Facteurs de dimensionnement et de fonctionnement caractéristiques du transfert d'oxygène	59
Tableau 3	Intervalle de variation des paramètres mesurés en bassins cylindriques	59
Tableau 4	Domaine de validité des relations développées en bassins cylindriques.	59
Tableau 5	Intervalle de variation des paramètres mesurés en chenaux d'aération.	61
Tableau 6	Domaine de validité des relations prédictives en chenaux d'aération.	62
Tableau 7	Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération de la station d'Annaba	65
Tableau 8	Nombre sans dimension pour la station d'Annaba 580700EH (cylindre $S_a=S$ )	67
Tableau 9	Nombre sans dimension pour la station d'Annaba de 580 700 EH (cylindre $S_a<S$ )	68
Tableau 10	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.	70
Tableau 11	Valeurs des hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.	70
Tableau 12	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.	72
Tableau 13	Valeurs de densité de diffuseur de diffuseur et rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.	72
Tableau 14	Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération de la station d'Annaba	74
Tableau 15	Nombre sans dimension pour la station d'épuration d'Annaba de 580 700 EH	77
Tableau 16	Nombre sans dimension pour la station d'épuration d'Annaba de 580 700 EH (chenal de Type II).	79
Tableau 17	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.	80
Tableau 18	Valeur de la hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.	80
Tableau 19	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.	82
Tableau 20	Valeurs de densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.	82
Tableau 21	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba	84
Tableau 22	des valeurs d'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.	84
Tableau 23	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba	86
Tableau 24	Valeurs de la vitesse de circulation de l'eau et l'apport horaire de la station d'Annaba.	86
Tableau 25	Valeurs de la vitesse horizontale de l'eau et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba	88
Tableau 26	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.	89

Tableau 27	Valeurs de débit d'air insufflé et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.	89
Tableau 28	Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération:	91
Tableau 29	Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (cylindre $S_a = S$ )	92
Tableau 30	Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (cylindre $S_a < S$ )	93
Tableau 31	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.	95
Tableau 32	Valeurs des hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.	95
Tableau 33	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.	97
Tableau 34	Valeurs de densité de diffuseur de diffuseur et rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.	97
Tableau 35	Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération de la station de Sedrata	99
Tableau 36	Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (chenal de Type I).	101
Tableau 37	Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (chenal de Type II).	103
Tableau 38	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.	104
Tableau 39	Valeur de la hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.	104
Tableau 40	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata	106
Tableau 41	Valeurs de densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata	106
Tableau 42	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.	108
Tableau 43	des valeurs d'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.	108
Tableau 44	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata	110
Tableau 45	Valeurs de la vitesse de circulation de l'eau et l'apport horaire de la station de Sedrata	110
Tableau 46	Valeurs de la vitesse horizontale de l'eau et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.	112
Tableau 47	Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.	113
Tableau 48	Valeurs de débit d'air insufflé et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.	113

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

AHs	: Apport horaire d'oxygène dans les conditions standard.
ASB	: Apport spécifique brut.
CO	: Capacité d'oxygénation.
Pb	: puissance brute absorbée.
ASN	: Apport spécifique net.
PN	: puissance nette absorbée.
% O <sub>2</sub> /air	: pourcentage massique d'O <sub>2</sub> contenu dans l'air.
Ang	: Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs.
Cs	: Concentration de saturation en oxygène.
D	: Diamètre du bassin.
D <sub>ext</sub>	: Diamètre extérieur du chenal.
D <sub>int</sub>	: Diamètre intérieur du chenal.
DD	: Densité des diffuseurs.
DD <sub>L</sub>	: Densité locale des diffuseurs.
Fr	: Nombre de Froude.
g	: Accélération de la pesanteur.
h	: Hauteur d'immersion des diffuseurs.
H	: Hauteur d'eau.
KLa <sub>20</sub>	: Coefficient de transfert d'oxygène.
L	: Largeur du chenal.
Q <sub>G</sub>	: Débit d'air insufflé.
Re	: Nombre de Reynolds.
ROs/m	: Rendement d'oxygénation standard par mètre d'immersion des diffuseurs.
S	: Surface du bassin.
Sa	: Surface couverte par les modules de diffuseurs.
Sp	: Surface totale des membranes.
Uc	: Vitesse de circulation horizontale de l'eau.
U <sub>G</sub>	: Vitesse superficielle du gaz.
V	: Volume de liquide.
μ	: Viscosité dynamique de l'eau.
ρ	: Masse volumique de l'eau.
$\vec{\rho v v}$	: Représente le tenseur de quantité de mouvement.
I <sub>d</sub>	: Le tenseur d'unité.
U	: La vitesse du fluide.
D <sub>equ</sub>	: Diamètre équivalent du chenal.
V <sub>i</sub>	: Composantes de la vitesse en régime turbulent.
It	: L'intensité turbulente.
K	: L'énergie cinétique turbulente.
ε	: Taux de dissipation d'énergie cinétique turbulente.
EPDM	: éthylène –propylène –diène-monomère.
DCO	: Demande chimique en oxygène.
DBO	: Demande biochimique en oxygène.
DBO <sub>5</sub>	: Demande biochimique en oxygène après 0 5 jours.
COT	: Carbone organique total.
NH <sub>4</sub>	: Azote ammoniacal.
NO <sub>2</sub>	: Nitrites.
NO <sub>3</sub>	: Nitrates.



Pt : Phosphore total.  
MES : Matières en suspension

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Problématique :

Le procédé de traitement des eaux usées par boues activées consiste à favoriser le développement de micro-organismes agglomérés sous forme de floccs maintenus en suspension (**culture libre**) dans un bassin, ou **réacteur biologique** alimenté en eaux usées à traiter.

**Ce bassin d'aération est l'élément clef** d'une station de traitement des eaux en boues activées. Au sein de cet ouvrage doivent être assurés la couverture des besoins en oxygène liés à la dégradation bactérienne aérobie. Ce poste représente, dans une installation normalement chargée, 60 à 80 % de la dépense énergétique totale de fonctionnement, cette dernière étant usuellement considérée comme constituant le tiers du coût total de fonctionnement.

Les performances biologiques des réacteurs à cultures libres (boues activées) sont intimement liées aux conditions d'échange entre le substrat, la biomasse active et l'oxygène fourni au milieu. Une conception rigoureuse du bassin d'aération, au travers des installations de **brassage** et d'**aération** notamment, est donc primordiale.

Un **brassage** de bonne qualité permet d'homogénéiser la boue dans le réacteur, d'éviter les dépôts et donc de limiter le risque de développement d'organismes filamenteux.

L'**aération** doit permettre la fourniture en oxygène aux micro-organismes vivant en milieu aérobie, qui pourront alors dégrader la matière organique (pollution carbonée) contenue dans les eaux usées.

Ces opérations de brassage et d'aération doivent être réalisées au moindre coût énergétique avec un rendement d'épuration meilleure. En ce sens, la connaissance de l'hydrodynamique des bassins d'aération, et en particulier les particularités constructives des bassins à savoir la forme géométrique en fonction de type d'aération adopté.

Les diffuseurs « fines bulles », membranes souples en EPDM, sont actuellement le moyen d'aération le plus efficace. Ce système, dont la technologie est maîtrisée dans les pays européens, alors qu'en Algérie le mode le plus utilisé est le système d'aération par aérateur de surface, dans notre étude on a choisi ce type d'aération (insufflation d'air fine bulle à membrane) car deux stations ont ce système d'aération l'une de réalisation récente STEP de Sedrata et l'autre en cours de réalisation celle de Annaba.

L'efficacité des systèmes d'aération par insufflation d'air fait l'objet d'accords commerciaux entre fournisseurs et assembleurs sur la base du **rendement de transfert d'oxygène de l'air** dans les conditions standard. Pour cette raison nous nous intéressons maintenant d'étudier l'influence des paramètres hydraulique (Débit d'air -densité de diffuseur -vitesse de circulation horizontale de l'eau -Hauteur d'immersion...) du bassin d'aération sur le rendement d'oxygénation ce qui permet une bonne conception du bassin d'une station d'épuration avec les meilleurs rendements du degré d'épuration des eaux usées.

L'étude de l'hydrodynamique des réacteurs en eau claire et en présence de l'aération est une partie indispensable pour la réalisation de ce mémoire. L'étude qui sera présentée dans ce mémoire permettra de dégager les premières informations sur l'influence de la géométrie des bassins d'aération selon le type du système d'aérations adopté qui est dans notre cas diffuseurs d'air fine bulle.

Nous nous appuierons sur des simulations numériques des bassins d'aérations pour atteindre notre objectif.

## CHAPITRE I.

### EPURATION DES EAUX USÉES URBAINES :

#### I.1. Caractéristiques des eaux usées urbaines :

Les eaux usées urbaines sont constituées d'un mélange d'eaux usées domestiques, provenant des habitations, des institutions et des commerces, et d'eaux parasites résultant de l'infiltration d'eaux souterraines dans les égouts et du captage d'eaux de ruissellement. Dans certains cas, les eaux usées urbaines peuvent contenir une fraction plus ou moins importante d'eaux usées industrielles.

La principale caractéristique des eaux usées urbaines réside dans la variabilité de leur débit et de leur charge polluante. Celle-ci est illustrée à la figure 1.1 pour une journée type. De plus, les débits et les charges polluantes varient également selon les jours de la semaine et les saisons.

Les eaux usées urbaines non épurées avant leur rejet dans le milieu récepteur peuvent affecter les écosystèmes aquatiques. En effet, le déversement direct d'eaux usées urbaines dans un cours d'eau entraîne un abaissement de la concentration d'oxygène dissous de même que des accumulations de boues et de matières de toutes sortes ; la pollution du cours d'eau en limite ainsi l'usage à la population. Certains produits, comme l'azote et surtout le phosphore, stimulent la croissance algale, accélérant l'eutrophisation du milieu aquatique.

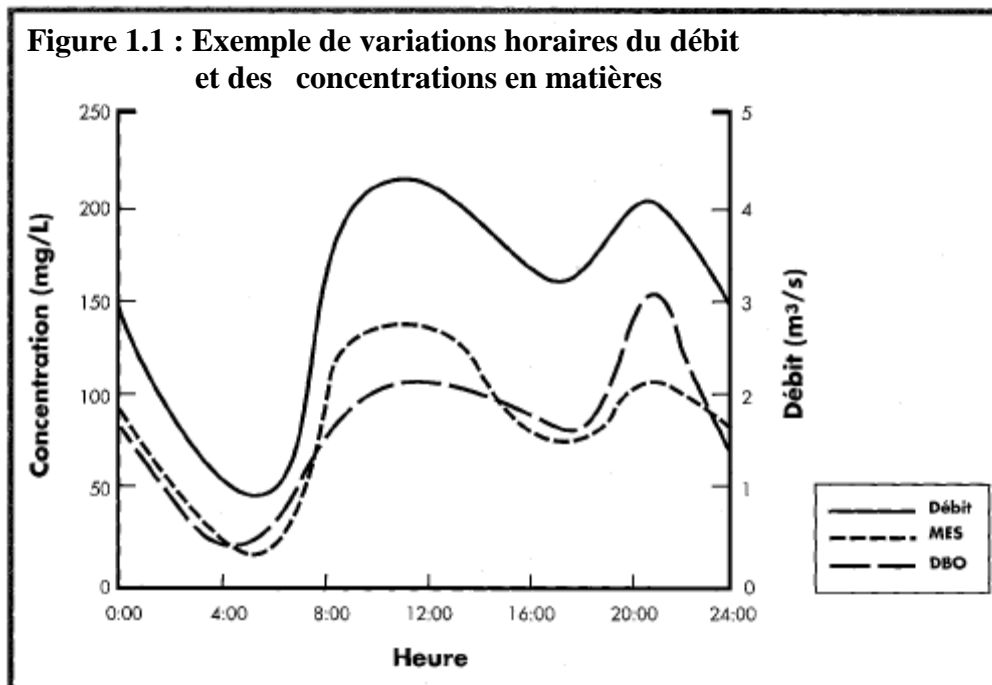


Figure 1 : Exemple de variations horaires du débit et des concentrations en matières

De plus, la contamination microbienne, causée par le déversement des bactéries et d'autres organismes potentiellement pathogènes, constitue un risque pour la santé humaine.

Les matières polluantes contenues dans les eaux usées sont organiques ou inorganiques. Elles se présentent sous formes de matières en suspension, colloïdales ou dissoutes. La caractérisation des eaux usées est primordiale pour la sélection, le dimensionnement et l'exploitation de tout procédé d'épuration. Les principaux paramètres de caractérisation des eaux usées sont les suivants :

Paramètres relatifs à la contamination chimiques :

- Mesures de la contamination organique
  - Demande chimique en oxygène (DCO) ;
  - Demande biochimique en oxygène (DBO) ;
  - Carbone organique total (COT).
- Mesures de la contamination inorganique
  - Azote total Kjeldahl (NTK) ;
  - Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4$ ) ;
  - Nitrites et nitrates ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ) ;
  - Phosphore total (Pt) ;
  - pH ;
  - Alcalinité.

Paramètres relatifs à la contamination physique :

- Solides totaux (ST) ;
- Matières en suspension (MES) ;
- Matières volatiles en suspension (MVES) ;
- Huiles et graisses (H et G) ;
- Température.

Paramètres relatifs à la contamination microbienne :

- Coliformes totaux ;
- Coliformes fécaux.

## **I.2. Traitement des eaux usées urbaines :**

Un système type de traitement d'eaux usées fait appel à une série de procédés unitaires. Ces procédés se divisent en quatre catégories : les prétraitements, les traitements primaires, les traitements secondaires et les traitements tertiaires.

### **I.2.1. Les prétraitements :**

Les prétraitements consistent à débarrasser les eaux usées brutes à leur arrivée dans une station d'épuration des polluants solides les plus grossiers (dégrillage, dessablages, déshuilages). Ce sont de simples étapes de séparation physique.

### ***1.2.1.1. Dégrillage :***

À l'arrivée à la station d'épuration, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage, permettant de séparer et d'évacuer les matières volumineuses qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer l'exécution, et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation.

La qualité de l'opération peut être définie de la façon suivante :

- Pré dégrillage : pour grille à barreaux espacés de 30 à 100 mm.
- Dégrillage moyen : pour grille à barreaux espacés de 10 à 25 mm.
- Dégrillage fin : pour grille à barreaux espacés de 3 à 10 mm.
- Tamisage : pour tamis à orifices de 0,3 à 5 mm.

Lorsque les eaux brutes sont susceptibles de véhiculer occasionnellement des corps anormalement volumineux, un pré grille de construction robuste est souhaitable.

Les grilles manuelles sont réservées aux très petites installations, la grille fortement inclinée (angle de 60° à 80° sur l'horizontale) et munie d'un by-pass destiné à éviter le débordement.

Dès que la station dépasse les 5000 habitants, on doit doter l'installation de traitement de grille mécanique.



**Figure 2 : Dégrilleur courbé**

### ***1.2.1.2. Dessablage déshuilage :***

Le dessablage porte généralement sur des particules de granulométries égales ou supérieure à 200mm.

Le dessablage et le déshuilage s'effectuent dans un même bassin. L'ouvrage regroupe dans un même ensemble conique :

- 1- Le dessaleur dans la partie inférieure du tronc conique.
- 2- Le déshuileur, aéré dans sa partie centrale est raclé mécaniquement par un écumeur pour extraire les graisses.

Le dispositif de dessablage déshuilage profite astucieusement de la différence de densité entre le sable, les graisses et l'eau.

Les sables décantent, tandis que les graisses sont mises en flottation aidés pour cela pour un aérateur immergé diffusant de fines bulles, (notons qu'il faut prévoir une zone de calme pour l'accumulation des écumes), les graisses sont donc évacuées en surface, les sables accumulés dans la partie conique basale sont évacués.

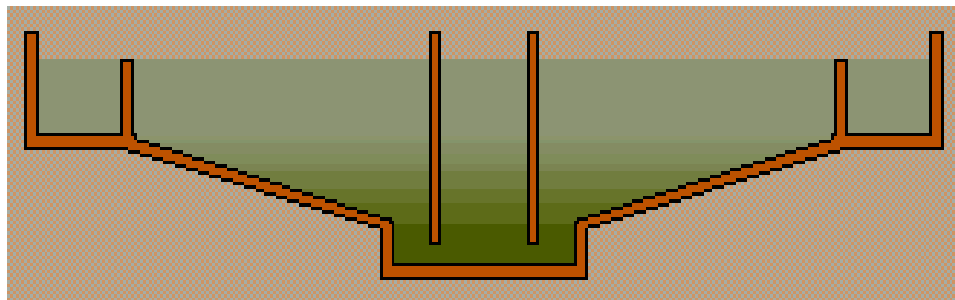
### **1.2.2. Les traitements primaires :**

Les traitements primaires consistent essentiellement en une sédimentation réalisée dans des bassins appelés décanteurs.

#### ***1.2.2.1. Décantation primaire :***

La décantation primaire a pour objet de parfaire la qualité des prétraitements notamment par la capture des matières en suspension 'MES' naturellement décantable et par élimination poussée des flottants (huile et graisse). En moyenne elle élimine jusqu'à 80% de MES et 30% à 40% de la DBO<sub>5</sub>.

La décantation primaire s'impose généralement pour les stations d'épuration de grandes agglomération (moyenne et forte charge).



**Figure 3 : Décanteur primaire**

Les eaux usées sont chargées de matières minérale et organiques pouvant être en suspension ou en solution. Il existe un grand nombre de procédés de traitements des eaux usées, dont l'application dépend à la fois des caractéristiques des eaux usées à traiter, et de degré d'épuration désiré.

Le rapport  $\frac{DCO}{DBO_5}$  donne une estimation de la biodégradabilité des matières présentes dans

l'eau usée, (la biodégradabilité est la capacité d'une substance, ou son aptitude à être décomposée par les micro-organismes décomposeurs qui sont les bactéries).

Ainsi on estime l'effluent :

- Si  $\frac{DCO}{DBO_5} < 1$  : l'effluent est excellent pour le traitement biologique ;
- Si  $1 < \frac{DCO}{DBO_5} < 2,5$  : bonne traitabilité par voie biologique ;( c'est le cas le plus courant des eaux usées urbaines).
- Si  $2,5 < \frac{DCO}{DBO_5} < 3,5$  : possibilité de traitement biologique mais avec adaptation de souches ;
- Si  $\frac{DCO}{DBO_5} > 3,5$  : le traitement biologique est impossible, on doit procéder à un traitement physico-chimique.

### I.2.3. Les traitements secondaires :

Les traitements secondaires regroupent tous les procédés d'épuration biologiques. Ces procédés biologiques impliquent la présence de micro-organismes qui dégradent et transforment la pollution organique dissoute et colloïdales contenue dans les eaux usées. Pour ce faite, les micro-organismes ont besoin d'oxygène. Dans la plupart des procédés, cet oxygène est fourni artificiellement par un système d'aération. Les principaux procédés biologiques utilisés sont les procédés extensifs et les procédés intensifs.

#### *I.2.3.1. Les procédés intensifs :*

##### *I.2.3.1.1. Procédés à culture fixe :*

###### *I.2.3.1.1.1. Disque biologique*

L'eau usée, préalablement décantée, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien. Lors de leur émerision, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent. Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées.

###### Avantages :

- bonne décantation des boues ;
- généralement adaptés pour les petites collectivités ;
- faible consommation d'énergie ;
- fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- plus faible sensibilité aux variations de charge que la technique des boues activées.



Inconvénients :

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées, qui tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit par conséquent permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;
- coûts d'investissement importants ;
- grande sensibilité aux variations de température ce qui crée une obligation de couverture ;
- boues putrescibles.

Contraintes d'exploitation :

- passage de l'exploitant au moins deux à trois fois par semaine ;
- faible technicité requise pour l'exploitant : surveiller la bonne rotation des disques biologiques (absence de balourd) et assurer un bon entretien électromécanique ;
- faible consommation énergétique ;
- extraction des boues du décanteur- digesteur une à deux fois par an.

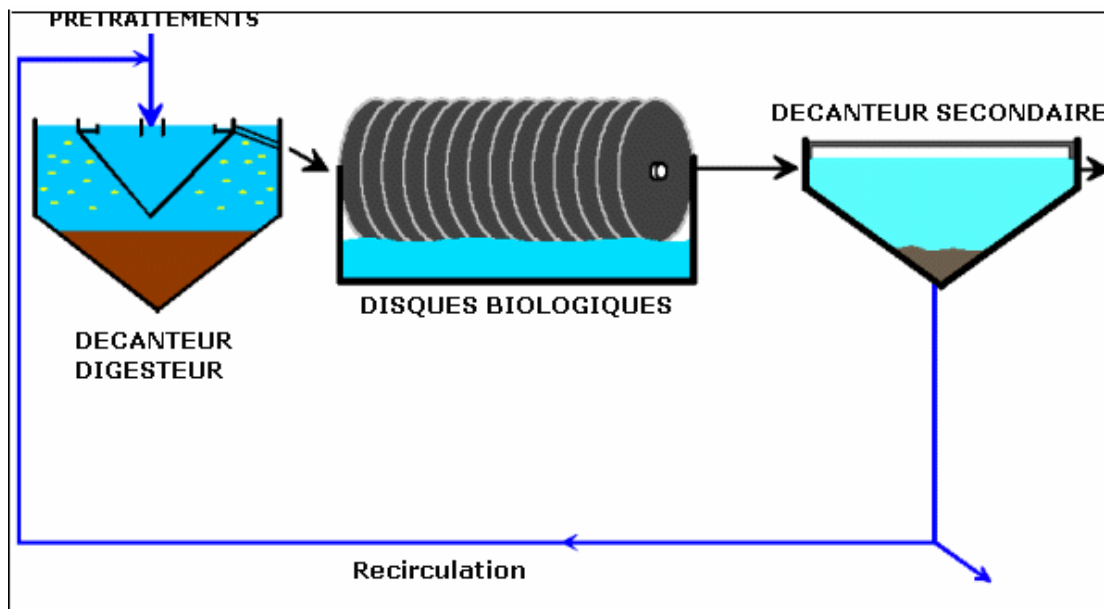


Figure 4 : Disque biologique

**I.2.3.1.1.2. Lits bactériens :**

Ce procédé consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage contenant une masse de matériaux (pouzzolane ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution.

L'aération naturelle se fait grâce à des ouïes d'aération. Le film biologique se décroche au fur et à mesure que l'eau percole. En sortie du lit bactérien se trouve un mélange d'eau traitée et de bio film. Ce dernier sera piégé dans le décanteur sous forme de boues et l'eau traitée rejoint le milieu naturel. La recirculation des boues vers le décanteur digesteur est essentielle.

Avantages :

- généralement bien adapté pour des collectivités de taille inférieure à 10.000 EH ;
- faible consommation d'énergie ;
- fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- peut être installé en amont d'une station à boues activées afin de déconcentrer les effluents du type agroalimentaire ;
- bonne décantabilité des boues ;
- plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées.

Inconvénients :

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées;
- coûts d'investissement assez élevés ;
- nécessité de prétraitements;
- sensibilité au colmatage et au froid;
- source de développement d'insectes;
- boues fermentescibles ;

Contraintes d'exploitation :

- passage de l'exploitant au moins deux à trois fois par semaine ;
- faible technicité requise pour l'exploitant : éviter le colmatage du sprinkler et du matériau de remplissage ;
- faible consommation énergétique ;
- extraction des boues du décanteur - digesteur une à deux fois par an.

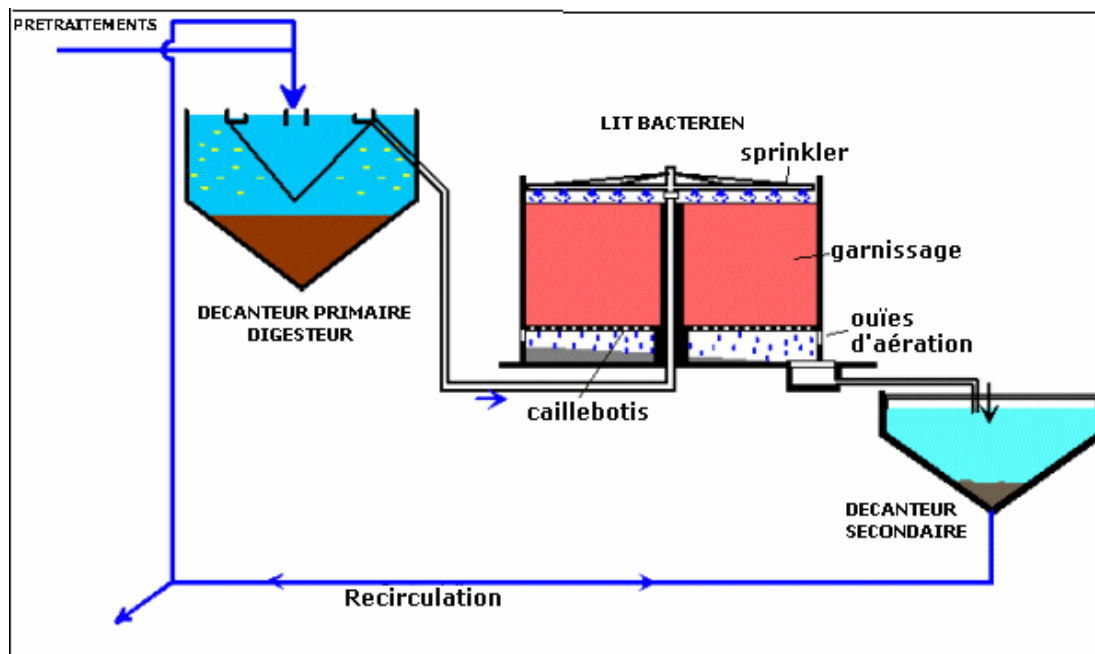


Figure 5 : Lit bactérien

### ***1.2.3.1.2. Procédés biologiques à culture libre :***

#### ***1.2.3.1.2.1. Les boues activées :***

Les procédés par boues activées comportent essentiellement une phase de mise en contact de l'eau à épurer avec un floc bactérien en présence d'oxygène suivie par une phase de séparation de ce floc (clarification).

C'est une intensification de ce passe dans le milieu naturel. La différence provient d'une plus grande concentration en micro-organisme donc une demande en oxygène plus importante. De plus pour mettre en suspension la masse bactérienne, une agitation artificielle est nécessaire. Une station de traitement par boues activées comprend dans tous les cas :

- Un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice.
- Un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation d'eau à épurer et de la culture bactérienne.
- Un dispositif de recirculation des boues assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologiques récupérées dans le clarificateur, cela permet de maintenir la quantité de micro-organisme constante pour assurer le niveau d'épuration recherché.
- Un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération.
- Un dispositif de brassage afin d'assurer au mieux le contact entre le micro-organisme et la nourriture, d'éviter les dépôts et de favoriser la diffusion de l'oxygène.

Un réacteur biologique se caractérise par les paramètres suivants :

#### ***a) Charge massique :***

La charge massique  $C_m$  est le rapport entre la quantité de pollution (le substrat) introduit dans le réacteur et la masse de boues activées MVS dans le réacteur. Cette notion  $C_m$  est importante car elle conditionne le bon fonctionnement du boue activée, tel que :

- Le rendement épuratoire
- La production de boues
- Le degré de stabilisation de boues en excès produites
- Les besoins en oxygène ramenés à la pollution éliminée

#### ***b) Charge volumique :***

La charge volumique  $C_v$  est le rapport de la pollution journalière reçue en Kg de  $DBO_5$  au volume de bassin d'aération. Cette donnée permet d'évaluer le volume de bassin et elle n'a aucune signification biologique.

#### ***c) Age des boues :***

L'âge des boues est rapport entre la masse de boues présentes dans le réacteur et la masse journalière de boues extraites de la station. Cette notion d'âge de boue traduit la présence ou l'absence de germe de nitrification.

*1.2.3.1.2.1.1. Procédés à faible charge ou très faible charge :*

Ces procédés sont utilisés pour le traitement des effluents à caractère domestique dominant de petites et moyenne collectivités

Avantage :

- assure une bonne élimination de DBO<sub>5</sub>
- les boues produites sont minéralisées
- résiste mieux aux fluctuations de charge polluante
- l'exploitation de telles stations est très simplifiée

Inconvénients :

- le temps de séjour dans le bassin
- les boues sont plus concentrées d'où la décantation dans le clarificateur est lente, il faut prévoir une surface plus importante.
- investissement coûteux
- le bassin d'aération, plus largement dimensionné
- nitrification très avancée (transformation de l'azote ammoniacale en nitrate)

*1.2.3.1.2.1.2. Procédés à moyenne et forte charge :*

Le procédé à moyenne et forte charge est consacré au traitement des effluents des collectivités de grandes importances

Avantages :

- la dimension du bassin d'aération et du clarificateur est plus réduite (investissements moins coûteux)
- la consommation énergétique du poste aération est plus faible
- un temps de contact relativement court entre l'eau à épurer et les boues activées

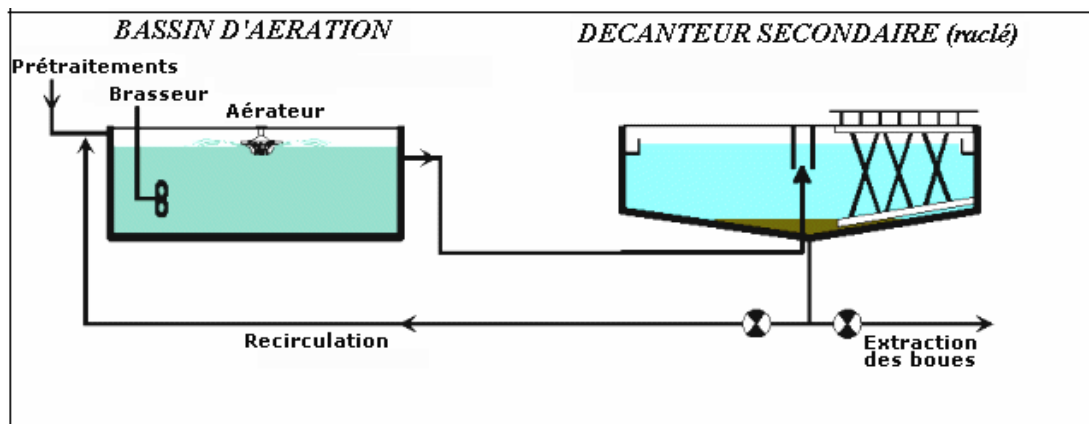
Inconvénients :

- le rendement d'élimination de DBO<sub>5</sub> est plus faible
- la nitrification est incomplète ou difficile
- le bassin d'aération est procédé d'un décanteur primaire.

Le tableau1 donne tous les paramètres de fonctionnement, selon, la charge dans le procédé « boues activées ».

**Tableau 1 :** Caractéristiques des différents paramètres de dimensionnement des stations d'épuration par boues activées suivant la charge: ROQUES

Mode d'épuration Paramètre	Forte charge (1)	Moyenne Charge (2)	Faible Charge (3)	Aération prolongée (4)
Cm (kg DBO <sub>5</sub> /kg MVS)	≥1	0,2 à 0,5	0,1 à 0,2	≤ 0,1 (=0,07)
Cv (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> )	1.5	0,55 à 1,5	0,3	0,25
ts ( heure)	1 à 3	3 à 6	6 à 18	≥18
Concentration des boues dans le bassin d'aération Cb=Cv/Cm (kg/m <sup>3</sup> )	2 à 3	3 à 6	4 à 5	≥5
Quantité de boue produite (kg de boue sèche/kg de DBO <sub>5</sub> éliminé)	≥0.5	0.3 à 0.5	0.1 à 0.2	≤ 0.1
Consommation de O <sub>2</sub> (kg de O <sub>2</sub> / kg de DBO <sub>5</sub> éliminé)	2,3 à 0,8	0,8 à 1,2	1,2 à 1,5	1,5 à 2
Nitrification	Nulle	Début	Avancée	Très avancée
Rendement (%)	70 à 80	80	90	95
Boue produite	Très instable (traitement de boues obligatoire)	Instable	Plus ou moins stable	Stable



**Figure 6 :** Boues activées à faible charge

### ***1.2.3.2. Les procédés extensifs :***

#### ***1.2.3.2.1. Le lagunage :***

Les procédés par lagunage sont les méthodes de traitement les plus communes lorsque on dispose de grandes surfaces de terrain, et lorsqu'on ne désire pas assurer en permanence une haute qualité de l'effluent. Le lagunage est très utilisé dans les pays en voie de développement.

Le principe de lagunage est identique à celui des boues activées, sauf qu'il n'y a pas de recyclage de boues.

On peut procéder selon la qualité de l'effluent et d'autres conditions techniques, à de différents types de lagunage :

- lagunage naturel (aérobie) ;
- lagunage anaérobie ;
- lagunage aéré.

##### ***1.2.3.2.1.1. Le lagunage naturel :***

Phénomène naturel, l'épuration par lagunage est réalisée grâce à un équilibre biologique, auquel participent des bactéries, du zooplancton, des algues et éventuellement des roseaux. Les matières en suspension de l'eau brute décantent dans le bassin de tête. Les bactéries assimilent la pollution dissoute, et l'oxygène nécessaire à cette dépollution est fourni par les algues (photosynthèse). Le zooplancton consomme les algues. Éventuellement, les roseaux peuvent filtrer l'eau en sortie avant rejet.

L'ensemble de ces phénomènes se réalise dans deux ou trois bassins en série, ce qui permet l'étagement des phénomènes épuratoires. Le lagunage naturel peut être utilisé en traitement complet des effluents ou en traitement tertiaire pour affiner la qualité de l'eau traitée par boue activée.

##### **Avantages :**

généralement pour des petites stations de taille inférieure à 2000EH ;

- bien adapté au réseau unitaire (charge hydraulique - dilution) ;
- coûts d'investissement limités (en absence de forte contrainte d'étanchéité) ;
- faibles coûts d'exploitation ;
- bonne intégration dans l'environnement ;
- bonne élimination des pathogènes ;
- boues peu fermentescibles ;
- raccordement électrique inutile ;
- bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %)

Inconvénients :

- emprise au sol importante ;
- contraintes de nature de sol et d'étanchéité ;
- variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée ;
- nuisances en cas de défaut de conception et/ou d'exploitation (rongeurs, odeurs, moustiques) ;
- élimination de l'azote et du phosphore incomplète ;
- difficultés d'extraction des boues ;
- taille > 100 EH ;
- pas de réglage possible en exploitation ;
- sensibilité aux effluents septiques et concentrés

Contraintes d'exploitation :

- passage de l'exploitant une à deux fois par semaine ;
- très faible technicité requise pour l'exploitant ;
- très faible consommation énergétique (voire nulle) ;
- curage contraignant et coûteux des boues tous les 1 à 5 ans dans le bassin de tête, tous les 10 à 20 ans dans tous les bassins ;
- faucardage des roseaux tous les ans (hiver), s'ils sont présents.

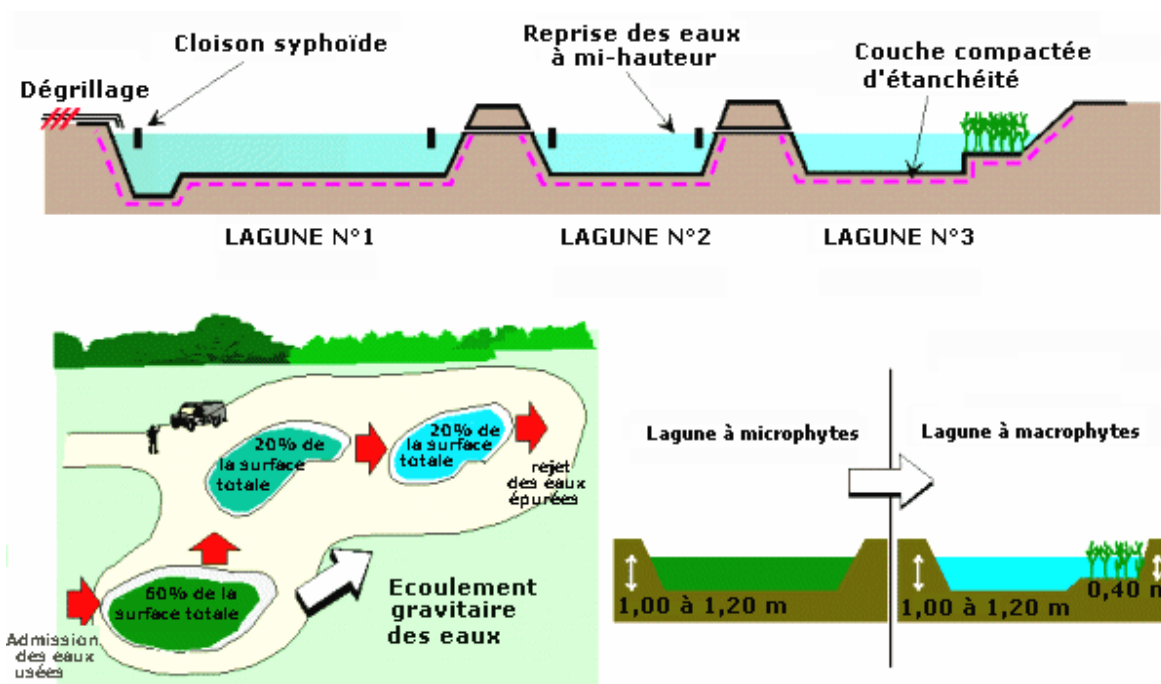


Figure 7 : Lagunage naturel

#### I.2.4. Les traitements tertiaires :

Les traitements tertiaires comprennent les procédés destinés à enlever les matières résiduelles non extraites lors des traitements précédents. Les principaux traitements tertiaires sont la déphosphatation chimique, la filtration et la désinfection. La déphosphatation chimique constitue une méthode d'enlèvement du phosphore par précipitation. Les réactifs les plus courants sont l'alun et le chlorure ferrique. On a recours à la filtration lorsque les normes de rejets sur les matières en suspension (MES) et le phosphore (Pt) sont très restrictives. Enfin, la désinfection sert au contrôle des coliformes à l'effluent. Elle peut être effectuée à l'aide d'une ozonation ou, plus couramment, par radiation aux ultraviolets (UV).

#### I.3. Conclusion :

L'épuration biologique a pour but d'éliminer la matière polluante biodégradable contenue dans l'eau domestique en la transformant en matière en suspension : micro-organismes et leurs déchets, plus facilement récupérables

La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène)

Le traitement biologique classique des eaux domestiques s'effectue par voie aérobie, le traitement consiste à dégrader les impuretés grâce à l'action d'une biomasse épuratrice, à laquelle doit être fourni l'oxygène nécessaire à son développement, En simplifiant, on peut décrire ce processus par l'équation :

Eau résiduaire + biomasse épuratrice + O<sub>2</sub> → eau purifiée + accroissement de biomasse + gaz résiduaire (CO<sub>2</sub>)

Dans le chapitre suivant nous détaillons les différentes constructions des bassins d'aération



## CHAPITRE II :

### LES DIFFÉRENTS CONSTRUCTIONS DES BASSINS D'AÉRATION :

#### II.1 Classification des formes de bassins d'aération:

Il existe plusieurs formes des bassins d'aération nous distinguerons cinq cas de figures.

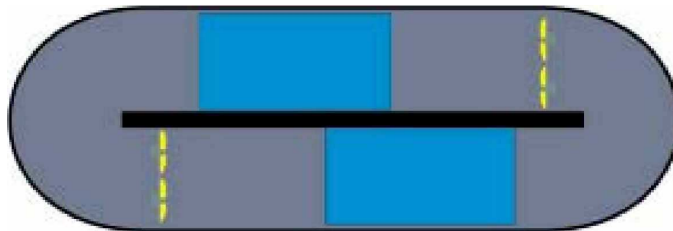
##### II.1.1 Les grands chenaux, qu'ils soient oblongs ou annulaires

###### *Généralités sur les chenaux:*

La première caractéristique des chenaux d'aération est de « dissocier » l'aération et le brassage, en d'autres termes de donner une solution différente aux deux problèmes à régler dans un bassin d'aération : couvrir les besoins d'oxygène pour la dégradation aérobie des substances polluantes et assurer un mélange minimum pour que les trois éléments fondamentaux (polluants – bactéries - oxygène) soient en contact suffisant pour assurer le traitement mais aussi pour prévenir les dysfonctionnements biologiques (gonflements filamenteux de boues par exemple).

Dans le cas de chenaux, les problèmes posés par les spirol flows - grands entre raquettes, petits entre diffuseurs - sont diminués ou annulés par l'imposition d'une vitesse horizontale de l'eau qui vient « casser » les mouvements verticaux néfastes de ces courants de convection induits.

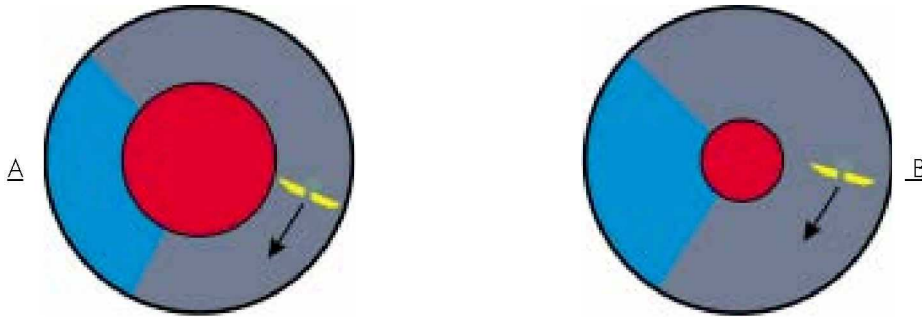
Il est aujourd'hui admis et traduit dans la modélisation hydraulique [Roustan et Line, 1996 ; Cocks et al. 2000] que des vitesses horizontales de 0,3 m/s et plus annulent l'effet des petits spirol flows sur la vitesse ascensionnelle des bulles.



**Figure 8 : Grands chenaux d'aération à dissociation aération brassage**

### II.1.2 Les petits chenaux Annulaires (Figure 9 A)

Homothétiques des précédents chenaux annulaires (figure 9 A), ils posent des problèmes particuliers, inhérents à leur faible longueur développée.



**Figure 9 : Petits chenaux A «vrai » B «faux»**

### II.1.3 Les petits « FAUX » Chenaux (Figure 9 B)

Les petits bassins à noyau central, avec comme exemple typique le chenal annulaire organisé autour d'une zone de contact cylindrique, se caractérise nécessairement par deux éléments dimensionnels:

- Le rayon de courbure interne est faible.
- La largeur du chenal est importante.

#### **Remarque:**

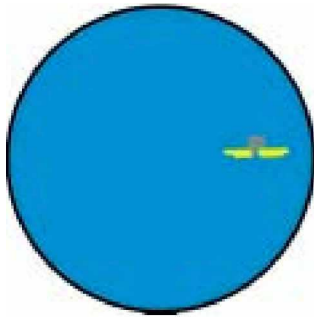
Les considérations hydrauliques centrées sur les petits bassins d'aération s'appliquent aussi aux grands chenaux, de même que la plupart des raisonnements mettant en cause des pratiques qu'il était logique de voir se développer dans les petites installations et qui sont aussi apparues récemment dans des installations de capacités supérieures.

Compte tenu du surcoût de génie civil d'un chenal annulaire par rapport à un bassin cylindrique, dès lors que le chenal ne peut être combiné à un autre ouvrage de volume important (bassin d'anoxie ou bassin d'anaérobiose), la question principale est celle de la limite de population à laquelle il est préférable de passer de l'une à l'autre des formes de bassin d'aération

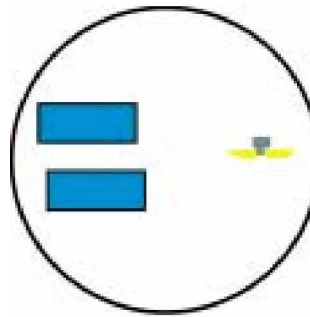
La combinaison d'un clarificateur central et d'un chenal d'aération annulaire conduit nécessairement, dans les petites aérations prolongées, à des dispositions non optimales : soit la hauteur d'eau sera très limitée, soit la largeur du chenal ne permettra pas le recours, dans des conditions optimales, à des agitateurs à grandes pales.

### II.1.4 Les bassins d'aération cylindriques

Ils se divisent en deux catégories (figure 10). Selon la disposition des diffuseurs d'air, on parle alors de couverture plancher (10 A) ou d'aération par raquette(s) 10 B.



10. A (Couverture plancher)



10.B (Aération par raquette)

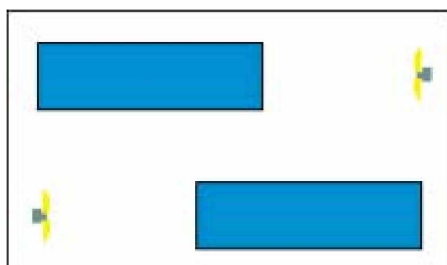
**Figure 10 : Bassins d'aération cylindriques**

L'implantation d'un agitateur est facultative, particulièrement dans le cas des ouvertures plancher. Son fonctionnement, en simultané ou successif aux temps de fonctionnement de l'aération, sera discuté plus loin.

### II.1.5 Les bassins d'aération parallélépipédiques

Plus souvent rencontrés en réhabilitation de bassins anciens qu'en construction neuve, ces bassins peuvent aussi être ou non en couverture plancher comme les bassins cylindriques (figure 11) mais peuvent de plus présenter des parois à 45 degrés.

Ces dispositifs ne semblent rencontrés que dans le cas de réhabilitation de bassin d'aération anciens.



11. A



11. B

**Figure 11 : Bassins d'aération parallélépipédiques**

- 11. A à parois droites et raquettes ;
- 11. B à parois à 45 degrés et couverture plancher.

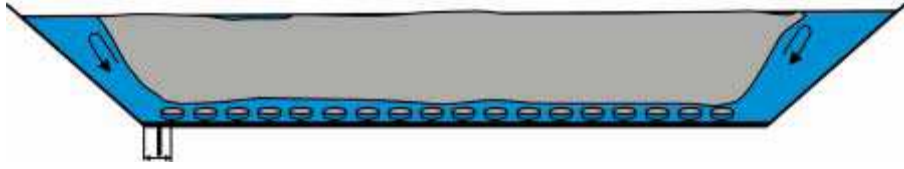


Figure 12 – Bassin à parois à 45 °

## II.2. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les différentes formes géométriques des bassins d'aération, parmi ces formes dans notre étude on a choisi le bassin cylindrique et les chenaux d'aération.

## CHAPITRE III :

### LES SYSTÈMES D'AÉRATION DES STATIONS D'ÉPURATION :

#### Rappels historiques:

En se limitant aux trente dernières années qui correspondent à l'essentiel de l'établissement des stations d'épuration de petites collectivités en France, on peut noter les grandes évolutions suivantes. Dans les années 70, alors que dans les grandes stations d'épuration le recours à l'insufflation d'air fines bulles, avec des diffuseurs en céramique, dominait dans les installations de boues activées souvent à charge massique plutôt élevée, l'équipement de petites installations, déjà en aération prolongée, était réalisé majoritairement à l'aide d'aérateurs mécaniques de surface (turbines lentes voire rapides et brosses d'aération sur les chenaux). On notera, au passage, le cote paradoxal de cette répartition du marché de l'aération en rappelant que les aérateurs de surface voient leurs performances d'autant moins affectées que la charge est élevée, alors que c'est le contraire en insufflation d'air. Le transfert d'oxygène induit par les aérateurs de surface est, en effet, positivement corrélé à la respiration des boues, elle-même croissante avec la charge massique.

Les années 80 ont vu une évolution des installations neuves avec le souci émergeant (enfin) de traiter l'azote, ce qui a normalement condamné le recours aux céramiques poreux dont on ne peut syncoper l'alimentation en air sous peine de colmatage. Il en est résulté une certaine généralisation des aérateurs de surface (turbines lentes et brosses). Parallèlement, apparaissaient sur le marché (en Allemagne, aux Etats-Unis ...) les premières membranes souples de diffusion d'air fines bulles. Ces membranes en élastomère de synthèse (EPDM) perforées de fentes millimétriques supportent les arrêts de fonctionnement de la source d'air sans colmatage significatif.

Les années 90 ont, en conséquence, vu un quasi-monopole de ces diffuseurs d'air par membrane dans les grandes stations et une montée progressive aboutissant à une situation presque identique pour les petites stations d'épuration à boues activées en effluents à dominante domestique.

#### III.1. Les systèmes d'aération utilisés dans les installations d'épuration :

Les différents systèmes d'aération utilisés de nos jours sur les stations d'épuration peuvent être classés en trois catégories :

- Aérateurs mécaniques de surface ;
- Aérateurs à injection d'air ;
- Aérateurs à base de pompes.

Ces dispositifs ont généralement une double fonction : l'aération mais aussi le brassage du contenu d'un bassin pour maintenir en suspension les microorganismes et permettre les échanges d'oxygène et de matières nutritives entre liquide et bactéries.

Installés sur stations d'épuration, ils doivent être capables de remettre en suspension la totalité des boues activées contenues dans le bassin d'aération après une période d'arrêt volontaire ou accidentel.

### III.1.1. Aérateurs de surface :

Ils sont dominants sur les petites et moyennes installations à boues activées et sur les lagunes, rares sur les très grosses stations d'épuration.

Il s'agit d'appareils qui assurent principalement la dissolution d'oxygène par projection dans l'air de la liqueur à aérer. Interviennent également l'introduction dans la masse liquide des bulles formées lors de la retombée de l'eau projetée et le renouvellement de la surface libre du liquide.

On distingue trois types d'aérateurs de surface :

- La turbine lente ;
- La turbine rapide ;
- La brosse.

#### III.1.1.1. Turbine lente :

C'est un aérateur à axe vertical et vitesse lente.

On distingue les turbines « ouvertes » des turbines « fermées » encore appelées turbines à canaux.

Une turbine lente « ouverte » est constituée de pales fixées sous un plateau ou soudées directement sur l'arbre.

Ces pales sont immergées dans le liquide à aérer et entraînées à une vitesse périphérique de 4 à 6 m/s par un motoréducteur.

Selon le diamètre de la turbine, sa vitesse de rotation peut varier entre une vingtaine et deux ou trois centaines de tours par minute.



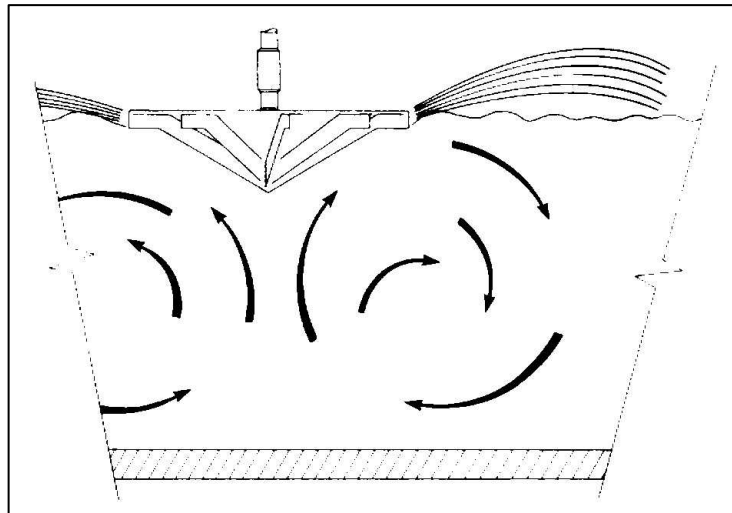
**Photo 01 : Turbine de surface à vitesse lente (immersion insuffisante)**

Dans une turbine lente fermée, les pales sont entourées par un carter et délimitent des canaux à travers lesquels l'eau est guidée.

Tournant à des vitesses périphériques comparables à celle des turbines ouvertes, les turbines à canaux sont réputées produire un meilleur pompage que ces dernières.

Notons que certaines d'entre elles présentent de sérieux risques d'obturation lorsqu'elles sont installées sur des bassins recevant des effluents urbains sommairement prétraités.

Les turbines aspirent l'eau par leur base et rejettent latéralement. Elles créent donc principalement un mouvement circulaire de l'eau dans le plan vertical.



**Figure 13 : Mouvement créé par une turbine**

Les turbines lentes sont généralement installées au centre de leur zone d'action, au milieu d'un bassin de forme régulière dans de nombreux cas.

L'eau peut présenter certains comportements néfastes au bon fonctionnement de l'aérateur :

- Mise en rotation dans le plan horizontal ;
- Formation d'un vortex sous la turbine,
- Apparition d'un vortex non centré sous l'aérateur, responsable de variations de la forme de la gerbe et de la puissance absorbée.

Ces phénomènes plus ou moins fréquents selon les caractéristiques des turbines et les formes des bassins (cylindriques, ou à parois à 45°, ou très plats) peuvent être atténués en installant des dispositifs anti-rotatoires (baffles à la périphérie du bassin) ou anti-vortex (déflecteur à la verticale de la turbine).

Trois autres types de montages de turbines lentes sont possibles :

Montage en carrousel : la turbine (ouverte) est placée à une extrémité d'un chenal allongé, dans le prolongement de la cloison centrale.

Elle assure non seulement une aspiration de l'eau, mais également sa mise en circulation dans le chenal.

#### [III.1.1.2. Turbine rapide :](#)

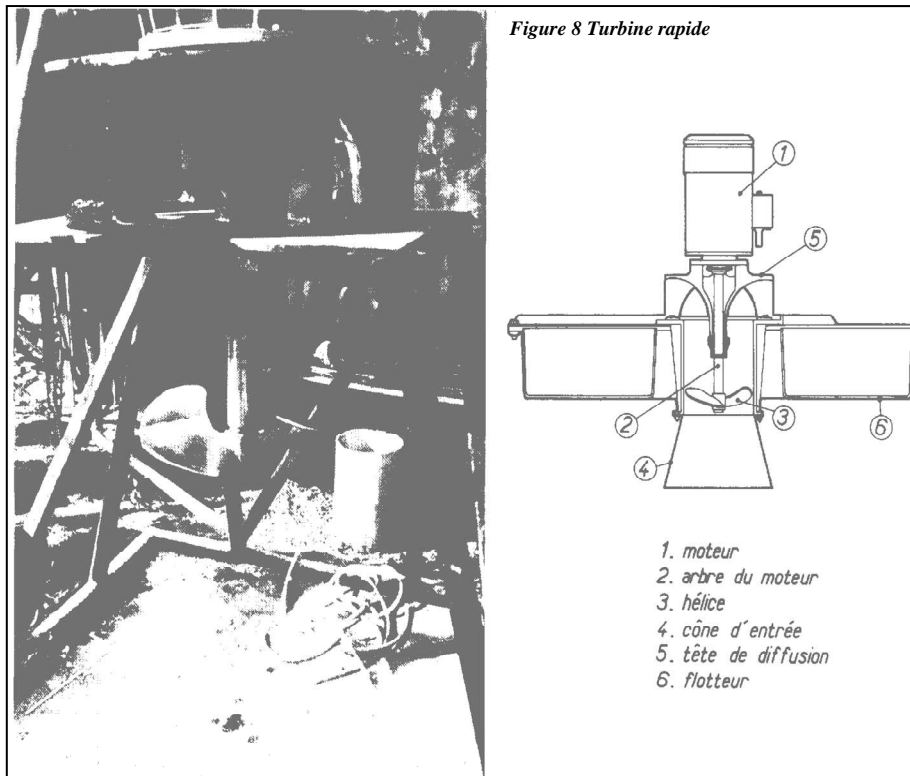
C'est un aérateur à axe vertical et à vitesse rapide. Il est constitué par une hélice généralement placée à l'intérieur d'une cheminée de faible diamètre et entraînée directement par le moteur (entre 700 et 1500 t/mn).

Les turbines rapides sont la plupart du temps monté sur flotteurs.

Elles sont principalement installées sur les lagunes et sur les cuves à niveau variable (en position centrale ou en manège).



Elles sont plus rarement solidaires d'une passerelle ou d'un pont mobile se déplaçant sur un chenal annulaire.



**Figure 14 : Turbine rapide**

### III.1.1.3. Brosse :

Une brosse est un aérateur à axe horizontal et vitesse lente. Il se compose d'un axe dénuyé portant des pales partiellement ou totalement immergées en position basse et relié à un motoréducteur. Sa vitesse de rotation est habituellement comprise entre 60 et 90 tours par minute.

Ces aérateurs équipent généralement des chenaux qui peuvent avoir différentes formes et sections.

## Aérateurs de surface - Brosses



**Photo 2 : Aérateur de surface Brosse**

### III.1.2. Systèmes à injection d'air :

Ces systèmes réalisent l'introduction d'air surpressé en profondeur dans les bassins.

L'air est fourni par des surpresseurs, des ventilateurs ou des turbo-compresseurs selon le débit requis et l'immersion des diffuseurs.

On classe les dispositifs d'injection d'air selon le diamètre moyen des bulles qu'ils délivrent :

- Grosses bulles ;
- Moyennes bulles ;
- Fines bulles.

Les systèmes à grosses bulles sont aujourd'hui quasiment abandonnés.

Les dispositifs à moyennes bulles sont utilisés sur les petites et moyennes stations d'épuration ainsi qu'en lagunage, mais restent largement dominés en nombre par les aérateurs de surface.

Les dispositifs à fines bulles équipent le plus souvent les très grosses stations mais peuvent parfois être adaptés à des installations de taille inférieure.

III.1.2.1. Insufflation d'air par grosses bulles :

Il s'agit fréquemment de systèmes d'injection à faible profondeur, d'air étant introduit dans le bassin soit par des cannes verticales, soit par des diffuseurs à large orifice.

III.1.2.2. Insufflation d'air par moyennes bulles :

L'air surpressé est introduit dans le bassin à travers des diffuseurs.

Ces diffuseurs sont de types extrêmement variables. Ils sont généralement conçus pour limiter le diamètre des bulles (4 à 6 mm en moyenne au départ) et pour éviter qu'ils ne s'obstruent.

Nous distinguerons simplement les aérateurs statiques, dispositifs qui assurent un allongement du temps de séjour des bulles dans l'eau (en les guidant le long d'une hélice par exemple), des autres types de diffuseurs moyennes bulles (lame vibrante, clapets, etc...).

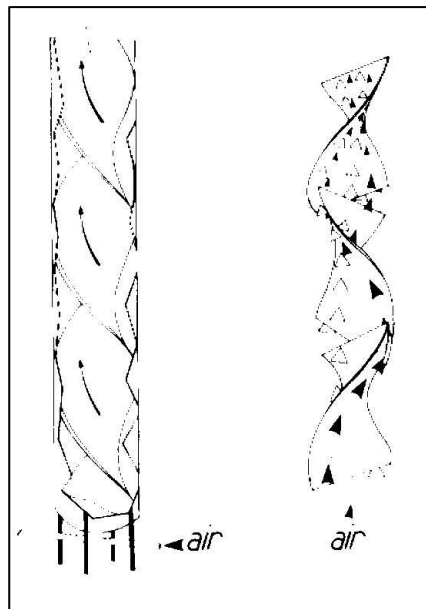


Figure 15 : Aérateurs statiques

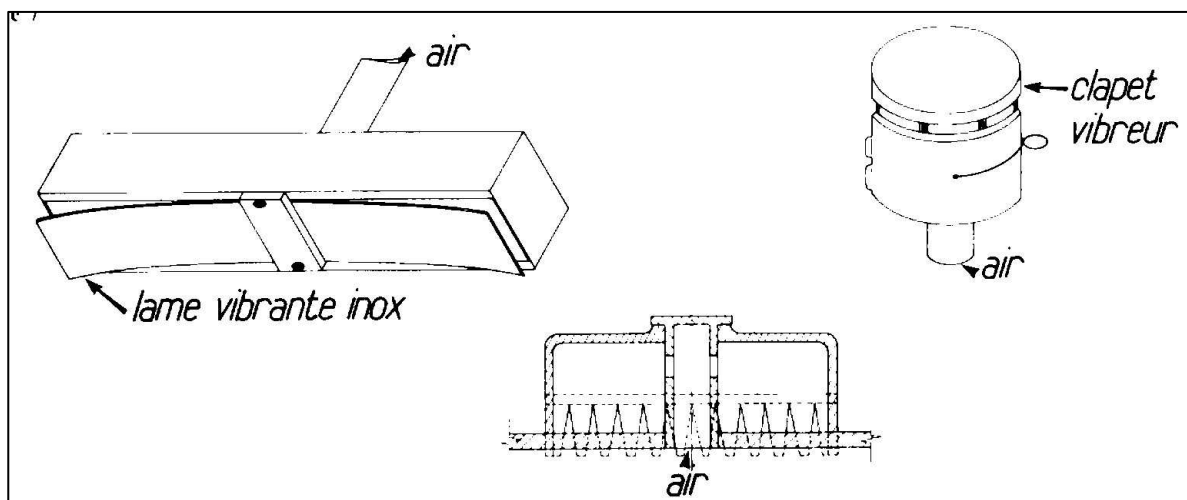


Figure 16 : Diffuseurs moyennes bulles

### III.1.2.3. Insufflation d'air par fines bulles :

Les fines bulles (diamètre 3 mm en moyenne au départ) sont émises par diffusion d'air à travers un corps poreux.

Différents types de diffuseurs peuvent être mentionnés :

- Disques, tube, plaque de l'élastomère poreux ;
- Tubes de résines agglomérées ;
- Mousses plastiques extensibles.



**Photo 3 : Disques de l'élastomère poreux**



**Photo 4 : Rampes immergées de Diffuseurs fines bulles**

### Avantages et inconvénients des membranes de diffusion d'air fines bulles :

#### Avantages :

Les avantages se situent sur plusieurs plans.

• Fiabilité de la fourniture d'oxygène L'installation de deux suppresseurs (dont l'un en secours) dans le cas de la diffusion d'air évite aisément que les pannes mécaniques aient les conséquences néfastes évoquées ci-dessous.

Cet élément est bien sur essentiel, une panne venant non seulement compromettre la qualité du traitement des eaux usées à brève échéance mais encore handicaper le traitement durablement. Il est bien démontré que, si les facteurs favorables au développement des micro-organismes filamenteux sont nombreux et pas tous encore complètement explicites, la quasi-totalité de cas de bulking est occasionnée par une carence en oxygène. Les pannes d'aération sont ainsi la cause déclenchant ces dysfonctionnements biologiques dans le plus grand nombre de cas. La durée maximale de la panne d'aération supportable sans trop de risques est estimée à environ cinq à dix heures, ce qui laisse peu de temps pour mettre en oeuvre un système de secours. Les aérateurs mécaniques, difficilement doubles dans les petits bassins d'aération, devraient obliger, en pratique, à venir installer un dispositif de rechange en cas de panne. En

effet, même s'il y a deux aérateurs de surface, la zone de l'aérateur en panne sera mal brassée/mal aérée par l'autre aérateur seul.

- **Modularité de la fourniture d'oxygène** Sur les petits bassins d'aération, la modularité de la puissance d'oxygénation par des aérateurs de surface est fort limitée : leurs performances sont fortement affectées par des vitesses de rotation, des immersions s'éloignant de l'optimum et le nombre d'appareils est nécessairement limité (le plus souvent à un).

En insufflation d'air, l'utilisation de plusieurs suppresseurs, de suppresseurs à deux vitesses ou à vitesses variables, permet d'adapter la puissance d'aération aux besoins en oxygène. Cela n'est pas assez mis en pratique aujourd'hui et c'est l'un des points importants à améliorer dans la pratique future.

Cet avantage n'est pas négligeable puisqu'un bon asservissement aux capteurs d'oxygène ou redox n'est obtenu que pour une puissance d'aération non surdimensionnée par rapport aux besoins instantanés en oxygène.

- **Sensibilité de l'aération à la concentration de boues du bassin d'aération**

Une bonne exploitation passe par le maintien d'une concentration de boues dans le bassin d'aération ne dépassant pas la concentration de projet souvent fixée entre 4 et 5 g/l selon que l'on n'a pas ou que l'on a recours à la déphosphatation physico-chimique. Il est évident que cette règle peut connaître des exceptions (impossibilités momentanées d'extraire des boues par exemple). Des concentrations élevées (> 5g/l de MES) conduiront le plus souvent au bulking suite à une sous - aération d'une partie des boues en cas d'aération mécanique, si l'on n'a pas veillé à rallonger les durées de marche afin de reprendre toutes les boues épaissies en fond de bassin et de les aérer suffisamment. Au contraire, les bulles d'air traversent toute la masse de boues, en insufflation d'air le problème ne se pose pratiquement pas et il n'y a pas lieu de modifier les réglages d'asservissement en fonction de la concentration en boues.

**Remarque :**

La conclusion qui pourrait être tirée qu'« en insufflation d'air il est possible de diminuer le volume du bassin d'aération » serait excessive, puisqu'en matière de taux de boues en aération, c'est le clarificateur qui est le premier facteur limitant.

- **Réchauffement de la liqueur mixte** L'insufflation d'air fines bulles se fait nécessairement à une pression de l'ordre de la hauteur d'immersion des diffuseurs. Cette compression augmente la température de l'air d'une dizaine de degrés par mètre d'immersion. Cette chaleur se dissipe en majeure partie dans le bassin d'aération et réchauffe son contenu. Le réchauffement ainsi procure, par rapport à une aération de surface est estimé à environ 2°C. Ce gain, modeste, est important en hiver pour maintenir plus aisément la nitrification, activité bactérienne beaucoup plus sensible à la température que la dégradation des matières organiques.

- **Maîtrise des nuisances sonores**

Les émissions sonores en insufflation d'air proviennent des suppresseurs qui sont aisément isolables dans un bâtiment spécialement conçu ou par les capotages commercialisés par les fournisseurs de ces machines. Le recours à ces deux moyens d'insonorisation permet d'assurer la maintenance sur l'un des appareils sans avoir à arrêter l'autre (cette solution onéreuse peut, au plan de la réglementation du travail être remplacée par le port de protections individuelles).

Dans le cas des aérateurs de surface, la source sonore essentielle n'est pas le moto- réducteur d'entraînement mais la gerbe d'eau retombant à la surface du bassin d'aération. L'installation de jupes enveloppant l'aérateur et sa gerbe permet une bonne insonorisation. Malheureusement elle conduit au développement de mousses biologiques stables du fait du non-rabattement des flottants dans le bassin d'aération par action mécanique de la gerbe. Des jupes s'arrêtant 15 à 20 au-dessus du plan d'eau n'ont pas cet inconvénient mais présentent une efficacité amoindrie d'insonorisation.

Inconvénients :

Ils relèvent principalement de coûts élevés • Coûts d'investissement

La solution suppresseurs et diffuseurs d'air à membrane fines bulles est en soi plus coûteuse que celle des aérateurs mécaniques. En génie civil, l'économie de passerelle que cette solution peut apporter est compensée par l'érection normale d'un local dédié aux suppresseurs. En revanche, l'ensemble des suppresseurs, canalisations, supports et diffuseurs est plus cher qu'une turbine lente de surface par exemple. Les tentatives d'économie, comme nous le verrons par la suite, se traduisent généralement par des performances significativement amoindries, en tout cas, pour les trois premiers de ces composants du système d'aération.

• Nécessite de diffuseurs relevables sans vidange du bassin d'aération

Les incidents sur un diffuseur (casse par accident, crevaison, mauvais montage initial) ne sont pas exclus et créent une fuite locale pénalisant lourdement l'ensemble du système d'aération. Plus certainement encore la longévité limitée des diffuseurs impose, en cas de bassin d'aération unique, que les diffuseurs soient relevables par groupes pour inspection, maintenance (nettoyage occasionnel, lavage haute pression) et renouvellement de tout ou partie des diffuseurs. Cette obligation contribue à renchérir le coût d'investissement (et aussi le coût de fonctionnement renouvellement).



#### III.1.2.4. Insufflation d'air et brassage :

Les diffuseurs peuvent être répartis uniformément au fond des bassins d'aération ou placés le long des parois pour créer un mouvement de convection de l'eau.

Certains systèmes séparent la fonction de brassage et celle d'aération.

Par exemple :

- Diffuseurs placés sous une turbine de fond ;
- Diffuseurs mobiles dans un bassin, le pont tournant portant les poreux et assurant la mise en rotation de l'eau ;
- Diffuseurs fixés et brassage par hélice en chenal.



**Photo 5 : Chenal d'aération - Insufflation d'air + agitation**

#### III.1.3. Systèmes à base de pompe :

Ils sont assez peu utilisés, en France, pour l'aération des boues activées. Certains d'entre eux ont des utilisations bien spécifiques : aération de lisiers par exemple.

##### III.1.3.1. Systèmes à jets :

Le liquide pompé en profondeur dans un chenal y est réintroduit sous forme de jets.

Deux systèmes existent : nombreux jets à fort débit et faible pression, ou faible nombre sous forte pression.

Les jets, tout en assurant l'aération, impriment un mouvement horizontal à la masse liquide.

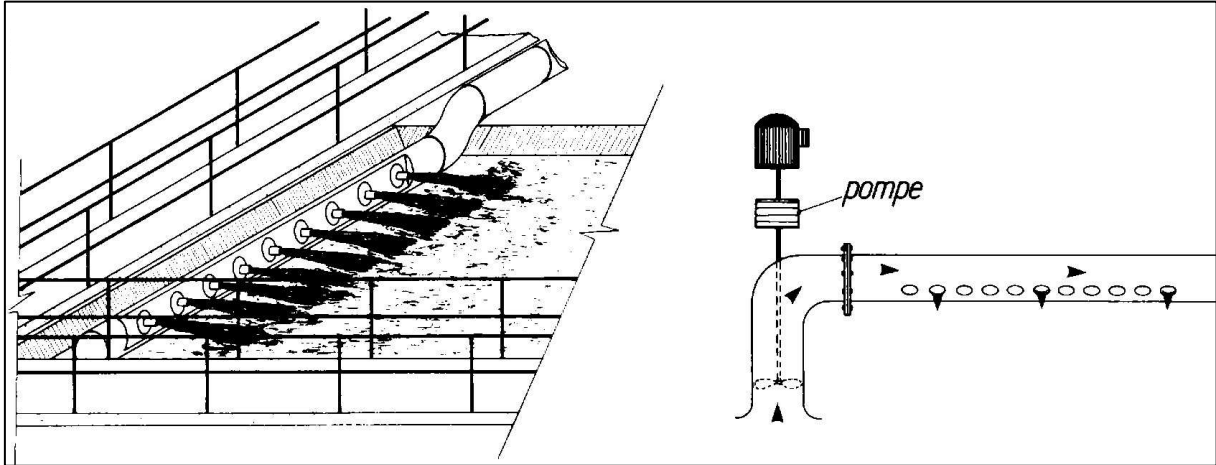


Figure 17 : Systèmes à jets

### III.1.3.2. Systèmes à éjecteurs :

Un éjecteur est constitué par un ajutage disposé à l'entrée d'un venturi de même axe. Une chambre, dite chambre d'aspiration, entoure les deux cônes. Elle reçoit l'arrivée d'air.

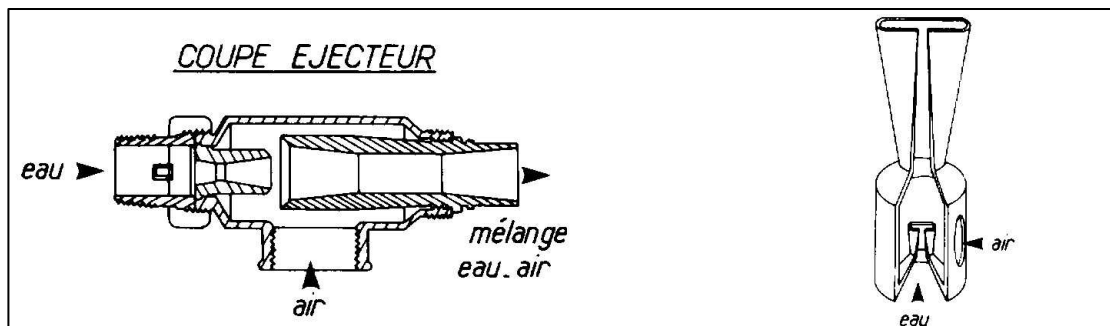


Figure 18 : Éjecteurs

Le liquide, pompé dans le bassin d'aération, est introduit sous pression dans les éjecteurs. L'énergie du jet liquide provoque un entraînement d'air qui est dispersé en très fines bulles à travers le venturi. Lorsque l'éjecteur est peu immergé, l'aspiration créée est suffisante. Lorsque l'immersion dépasse quelques mètres, l'appareil doit être alimenté en air sous pression.

Les éjecteurs peuvent être montés en rampes disposées à intervalles réguliers au fond des bassins d'aération.

Ils peuvent aussi être placés directement sur le refoulement d'une pompe immergée, voire montés sur des bras rotatifs.

Nous différencierons par la suite les systèmes à éjecteurs alimentés en air surpressé des systèmes déprimogènes à éjecteurs, leurs performances d'oxygénation n'étant pas comparables.



### III.1.3.3. Systèmes déprimogènes simples :

Le principe de ces appareils est le suivant :

Une hélice ou une turbine, dont l'axe est entouré par un manchon en communication avec l'atmosphère extérieure, est directement entraînée par un moteur.

La dépression créée par la rotation de l'hélice provoque une aspiration d'air à travers le manchon.

L'axe peut être incliné et l'appareil est alors utilisé en chenal à faible hauteur d'eau et assure simultanément l'aération et la mise en rotation de l'eau dans le plan horizontal.

Quand l'axe est vertical, la turbine est plus immergée et provoque une mise en mouvement de l'eau dans le plan vertical.

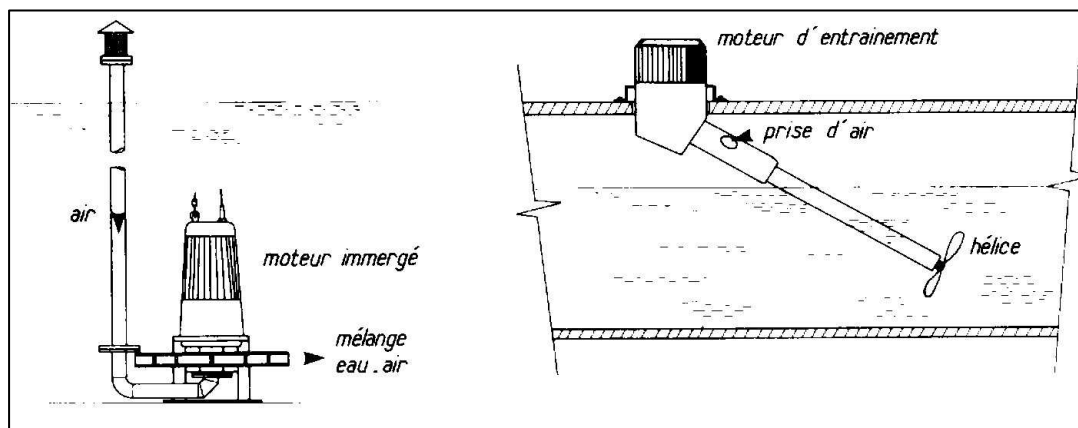


Figure 19 : Systèmes déprimogènes simples

### III.2. Conclusion:

Les différents systèmes d'aération utilisés de nos jours dans les installations d'épuration sont :

- Aérateurs de surface;
- systèmes à injection d'air;
- systèmes à base de pompe.

Ces dispositifs ont généralement une double fonction : l'aération mais aussi le brassage du contenu d'un bassin pour maintenir en suspension les microorganismes et permettre les échanges d'oxygène et de matières nutritives entre liquide et bactérie.

Les aérateurs de surface consomment beaucoup d'énergie et c'est pour cette raison qu'on a choisi le système d'insufflation d'air en fine bulle à membrane dans notre cas.

## CHAPITRE IV :

### THEORIE SUR L'HYDRODYNAMIQUE :

#### IV.1. Équation de l'hydrodynamique en monophasique:

##### IV.1.1. Établissement des équations de Navier- Stokes:

Ces équations s'obtiennent à partir de l'équation de continuité, de l'équation de la quantité de mouvement et de la définition du tenseur des contraintes. Il est uniquement question dans ce chapitre de rappeler les équations qui régissent l'hydrodynamique des systèmes, sans chercher à les démontrer.

##### IV.1.1.1. Équation de continuité ou équation locale de conservation de la masse:

Au sein d'un volume élémentaire autour d'un point M, pendant un laps de temps donné, la variation de la masse est égale au flux de matière entrant dans ce volume moins le flux sortant, additionné de la matière créée ou détruite dans ce volume (terme puits/source S (kg/m<sup>3</sup>s)).

L'équation de continuité s'écrit :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = S \quad (1)$$

Avec

$\rho$  masse volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>) et  $V$  sa vitesse (m/s)

##### IV.1.1.2. Équation de la quantité de mouvement:

Au sein d'un volume élémentaire autour d'un point M, pendant un laps de temps donné, la variation de la quantité de mouvement est égale au flux de quantité de mouvement entrant dans ce volume moins le flux sortant, additionné de la somme des forces agissant sur ce volume. Ces forces sont les forces dues à la pression  $P$  (Pa), de viscosité, et les forces de volume  $\vec{f}$  telles que le poids.

L'équation de quantité de mouvement s'écrit:

$$\frac{\partial(\rho \vec{v})}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\operatorname{grad} p + \operatorname{div} \vec{\tau} + \vec{f} \quad (2)$$

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

-  $\rho \vec{v} \vec{v}$  représente le tenseur de quantité de mouvement, et donc  $\operatorname{div}(\rho \vec{v} \vec{v})$  est le bilan flux Entrant/sortant de quantité de mouvement pour le volume élémentaire.

Cette équation peut également s'écrire (en l'absence de terme source dans l'équation de continuité) :

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\text{grad}p + \text{div}\vec{\tau} + \vec{f} \quad (3)$$

Où  $\frac{D}{Dt}$  est la dérivée particulaire associée à la description eulérienne du mouvement

#### IV.1.1.3. Expression du tenseur des contraintes:

Il a été montré que le tenseur des contraintes dû à la viscosité du liquide s'écrit :

$$\vec{\tau} = \mu * \left( \text{grad}\vec{v} + {}^t \text{grad}\vec{v} \right) - \frac{2}{3} \text{div}\vec{v} * \vec{Id} \quad (4)$$

- Id (-) est le tenseur unité et  $\mu$  (Pa.s) est la viscosité dynamique du liquide

#### IV.1.1.4. Équations de Navier-Stockes:

En intégrant l'expression du tenseur des contraintes dû à la viscosité du fluide, nous obtenons les équations de Navier- Stockes ((3) + (4)) qui s'écrivent alors :

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\text{grad}p + \text{div} \left( \mu (\text{grad}\vec{v} + {}^t \text{grad}\vec{v}) - \frac{2}{3} \text{div}(\vec{v})\vec{Id} \right) + \vec{f} \quad (5)$$

#### IV.1.1.5. Cas d'un fluide incompressible soumis a son poids:

Nous nous intéressons à l'eau, fluide incompressible ( $\rho$  constant) soumis à une unique force de volume qui est son poids, au sein duquel il n'y a ni destruction, ni création de matière. L'équation de continuité (1) se réduit donc a :

$$\text{div}(\vec{v}) = 0 \quad (6)$$

En considérant  $\mu$  constant, et avec  $\vec{f} = \rho \vec{g}$  ,  $\vec{g}$  étant l'accélération de pesanteur (m/s<sup>2</sup>), l'équation de Navier-Stockes (5) devient

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = \rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho \text{div}(\vec{v}\vec{v}) = -\text{grad}p + \rho \vec{g} + \mu \Delta \vec{v} \quad (7)$$

#### IV.1.2. Équations en régime turbulent:

##### IV.1.2.1. Nombre de Reynolds:

Ce nombre adimensionnel exprime le rapport entre les forces de viscosité et les forces d'inertie. Sa valeur permet de caractériser l'écoulement, qui est alors soit laminaire, soit turbulent.

Il s'exprime comme suit:

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (8)$$

L (m) est une échelle de longueur caractéristique de la géométrie du milieu. U (m/s) est la vitesse du fluide.

Pour les bassins d'aération de type chenal circulaire, nous pouvons assimiler L au diamètre équivalent  $D_{equ}$  (m) du chenal :

$$D_{equ} = 2 * \sqrt{\frac{surface}{\pi}} \quad (9)$$

Son ordre de grandeur est de 10 m.

U étant de l'ordre de 0,1 à 1 m/s, la valeur de Re pour un écoulement d'eau dans un chenal

d'aération peut être estimé à  $Re \approx \frac{10^3 10^{-1} 10}{10^{-3}} \approx 10^6$  Cette forte valeur de Re montre que le régime d'écoulement dans le bassin d'aération est turbulent.

Il est donc nécessaire de réécrire les équations de Navier-Stokes pour un écoulement turbulent. Rappelons tout d'abord les notions de turbulence.

#### IV.1.2.2. Notions de turbulence :

##### IV.1.2.2.1. Définition:

La définition de la turbulence est proposée par Hinze: «Le mouvement turbulent d'un fluide représente une condition irrégulière de l'écoulement, dans lequel les diverses grandeurs présentent des variations aléatoires dans l'espace et dans le temps, de telles sorte que des valeurs moyennes statistiquement distinctes puissent être évaluées ». Cette définition s'applique pour un écoulement turbulent pleinement développé.

Les composantes  $V_i$  du vecteur vitesse  $V$  peuvent donc s'écrire  $v_i = V_i + v_i'$  où  $v_i'$  représente la partie fluctuante de la vitesse et  $V_i$  la vitesse moyenne indépendante du temps.

Par définition

$$V_i = \frac{1}{T} \int_0^T v_i dt \quad \text{et} \quad \overline{v_i'} = \frac{1}{T} \int_0^T v_i' dt = 0$$

Le terme T représente un laps de temps suffisamment long pour que les valeurs moyennes soient indépendantes du temps.

Pour la pression p, nous avons une définition analogue:  $p = P + p'$  avec P pression moyenne dans le temps et p' pression fluctuante.

On peut définir l'intensité turbulente  $I_t$  (-) par la relation suivante [Graff W. H., 1995]:

$$I_t = \frac{\sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \overline{v_i^2}}}{\overline{v}} \quad (10)$$

#### IV.1.2.2.2. Aspect énergétique

Un écoulement turbulent contient un grand nombre de tourbillons dont les dimensions couvrent un large spectre allant des grosses structures ordonnées et cohérentes à de petites structures aux propriétés statistiquement isotropes. La taille et l'orientation des grosses structures sont fixées par l'écoulement moyen. Ces gros tourbillons donnent naissance à de plus petits tourbillons qui produisent à leur tour des tourbillons encore plus petits. A chaque étape, l'axe de rotation des tourbillons est de moins en moins lié à l'écoulement. La répartition de l'axe de rotation pour les tourbillons les plus petits est donc isotrope.

Au niveau énergétique, il est montré [Chatellier P., 1991] que l'énergie de turbulence est produite au niveau des gros tourbillons et dissipée dans les petits tourbillons (échelle pour laquelle les forces visqueuses deviennent actives et dissipent l'énergie). Un transfert d'énergie des grosses vers les petites structures s'opère donc. Ce phénomène est appelé « cascade d'énergie ».

On définit donc l'énergie cinétique turbulente  $k$  (J/kg) qui s'écrit

$$K = \frac{1}{2} \overline{(v_i v_i)} \quad (11)$$

On introduit également le terme  $\varepsilon$  (J/kg.s) qui représente le taux de dissipation d'énergie cinétique turbulente intervenant dans les petits tourbillons.

#### IV.1.2.3. Équations pour l'écoulement turbulent d'un fluide incompressible:

En régime turbulent, il est pratiquement impossible de résoudre les équations de Navier-Stokes lorsque les inconnues sont le champ instantané de vitesse et de pression. Cela conduirait en effet à des temps de calcul trop longs. Une solution consiste à réécrire ces équations en considérant le champ moyen de vitesse et de pression. Il faut donc pour cela réécrire les équations de Navier-Stokes, puis les moyenner sur une petite échelle de temps. Par des transformations appropriées, on obtient les équations de Navier-Stokes pour les champs moyens de vitesse et de pression.

Réécrivons dans un premier temps les équations instantanées de continuité et de Navier-Stokes en utilisant la convention d'Einstein dans le cas d'un fluide incompressible, sans terme source.

• Équation de continuité :

$$\frac{\partial(v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (12)$$

- Équation de Navier-Stokes : (à partir de (5))

$$\rho \frac{Dv_i}{Dt} = \rho \frac{\partial v_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial(v_i v_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \mu \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_i \partial x_j} \quad (13)$$

Lorsque l'on réécrit ces équations en faisant intervenir les champs moyens de vitesse  $V_i$  et de pression  $P$ , nous obtenons :

- Équation de continuité :

$$\frac{\partial(V_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (14)$$

- Equation de Navier-Stokes

En remarquant que pour un fluide incompressible  $\frac{\partial(V_i V_j)}{\partial x_j} = V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j}$ , il vient:

$$\rho \frac{DV_i}{Dt} = \rho \frac{\partial V_i}{\partial t} + \rho V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \rho g_i + \mu \frac{\partial^2 V_i}{\partial x_j \partial x_j} - \rho \frac{\partial(\overline{V'_i V'_j})}{\partial x_j} \quad (15)$$

Ces deux nouvelles équations (« Reynolds-averaged » Navier -Stockes (RANS) équations) ont la même forme générale que les équations de continuité et de Navier -Stockes en régime instantané, mais dans la nouvelle équation de Navier-Stockes moyennée, il apparaît une nouvelle inconnue. Ce terme  $\overline{V'_i V'_j}$  est appelé tenseur de Reynolds.

La résolution des équations ainsi obtenues impose donc la connaissance de cette nouvelle inconnue. Nous utilisons l'approche Boussinesq (1877) qui propose de relier ce tenseur à la vitesse moyenne  $V_i$ , et d'introduire la notion de viscosité turbulente  $\nu_t$  ( $m^2/s$ ) par la relation:

L'estimation du tenseur de Reynolds repose donc sur la détermination de la viscosité turbulente. Plusieurs modèles de turbulence permettent d'évaluer cette grandeur physique, et donc de résoudre les équations moyennées. Ces modèles reposent sur le constat qu'il faut introduire de nouvelles équations, dites « de fermeture », pour pouvoir déterminer toutes les inconnues.

## IV.2. Équations de l'hydrodynamique en diphasique:

Notre milieu diphasique est constitué d'un milieu continu, l'eau, dans lequel se meuvent des bulles d'air. Il existe une interaction forte entre l'eau et l'air. Les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement doivent donc prendre en compte ce couplage.

En tout point du domaine qui nous intéresse, nous souhaitons connaître les champs de pression, de vitesse, de turbulence, ainsi que la fraction volumique de chaque phase.

Pour pouvoir écrire les équations en diphasique, nous devons tout d'abord recenser les nouvelles forces en jeu.

#### IV.2.1. Forces s'exerçant sur une bulle d'air isolée:

- *Son poids*

*La poussée d'Archimède:* Cette force, dirigée verticalement vers le haut, résulte de la non uniformité du champ de pression hydrostatique autour de l'interface air/eau.

- *La force de traînée*

Si la bulle possède une vitesse différente de celle de l'eau, une force de traînée  $F_D$  se crée, assimilable à une résistance au déplacement. Elle résulte de la non uniformité du champ de contraintes de frottement autour de l'interface et est donc l'intégration du frottement interfacial. Elle dépend du coefficient de traînée  $C_D$  qui lui-même dépend du nombre de Reynolds de l'écoulement. Plusieurs définitions de ce coefficient existent, avec chacune leur domaine de validité.

- *La force de portance*

L'origine de cette force, due au gradient de vitesse de la phase continue, est la même que pour la force de traînée. La non uniformité du champ de contraintes autour de l'interface induit une force résultante avec une composante parallèle à l'écoulement (la traînée) et une composante perpendiculaire à l'écoulement (la portance).

- *La force de masse ajoutée*

Elle naît du fait de l'accélération relative de la phase air par rapport à la phase eau. Pendant leur accélération, les particules d'air peuvent être ralenties par l'inertie du fluide porteur et subir ainsi une force dite de masse virtuelle. On dit que le conflit entre l'inertie de la masse de l'eau et l'accélération des bulles exerce une masse virtuelle sur les bulles.

- *La force de Basset (histoire)*

Dans le cas d'un écoulement infini non stationnaire et à faible nombre de Reynolds, la force de traînée subit une augmentation matérialisée par la force de Basset.

Dans notre cas, l'hydrodynamique du bassin d'aération est essentiellement contrôlée par le poids, la poussée d'Archimède, la force de traînée et la force de masse ajoutée [Cockx A. 1997], [F. Mudde R., Simonin O., 1999], [Simon S. 2000]. Dans ce qui suit, nous négligerons donc les autres forces.

#### IV.2.2. Équations en régime turbulent:

En milieu diphasique, dans le cas des bassins d'aération, le régime d'écoulement est également turbulent. Il convient donc de réécrire les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement en tenant compte de la turbulence. Cela ne sera pas effectué dans ce mémoire. Nous pouvons simplement signaler que l'approche utilisée est la même que celle développée en milieu monophasique

### IV.3. CONCLUSION:

Nous avons cerné les équations régissant les écoulements, d'abord en milieu monophasique, puis diphasique. En monophasique, nous avons retrouvé les équations de Navier-Stokes à partir de l'équation de continuité et de la quantité de mouvement. Le régime d'écoulement étant turbulent, nous avons transformé ces équations en tenant compte de ce phénomène pour obtenir les équations de Reynolds.

En milieu diphasique, nous avons cerné les forces agissant sur une bulle d'air immergée en mouvement dans l'eau.



## CHAPITRE V :

### SIMULATION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES HYDRAULIQUES DES BASSINS

#### D'AÉRATIONS

##### Introduction:

Les différents types d'aération ayant été décrits, dans notre cas d'étude on va utiliser le système d'insufflation d'air à membrane où il est nécessaire d'effectuer un bref rappel théorique destiné à définir les paramètres pris en compte lors des mesures d'oxygénation pour développer des relations permettant de prédire le coefficient de transfert d'oxygène et le rendement d'oxygénation en eau claire dans les conditions standard des systèmes d'aération par insufflation d'air, ces relations étant utilisables par la suite pour présenter les différentes variations des paramètres hydrauliques avec le rendement d'oxygénation.

Nous avons pu déterminer les principaux facteurs physico-chimiques ayant un impact sur le transfert d'oxygène. Nous nous intéressons maintenant au cas où le transfert de matière s'effectue au sein d'une station de traitement des eaux, dans le bassin d'aération. La conception d'un système d'aération influe sur les paramètres physico-chimiques régnant dans le système diphasique, en particulier au niveau des bulles d'air. Elle a donc une influence directe sur le transfert d'O<sub>2</sub> l'efficacité du transfert d'O<sub>2</sub> dans un bassin d'aération est mesurée à l'aide de paramètres définis dans l'ouvrage du Conseil Technique du Génie Rural des Eaux et Forêt [CTGREF 1980]. Il convient maintenant de les rappeler.

##### V.1. Les performances d'oxygénation sont présentées en termes de :

- **Apport horaire standard (AHs)**, quantité d'oxygène dissous par heure (équation 1) :

$$AHs = k_L a_{20} \cdot C_s \cdot V \quad (16)$$

Avec:

- $k_L a_{20}$  : coefficient de transfert d'oxygène à 20°C (1/h)
- $C_s$  : concentration de saturation en oxygène à 20 °C
- $V$  : volume d'eau du bassin d'aération (m<sup>3</sup>)

- **Capacité d'oxygénation CO** (kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>h) : quantité d'oxygène dissous par heure et par m<sup>3</sup>.

$$CO = K_L a \cdot C_s \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

Avec:

- $k_L a_{20}$  : coefficient de transfert d'oxygène à 20°C (1/h)
- $C_s$  : concentration de saturation en oxygène à 20 °C

- **Apport spécifique brut ASB** (kg O<sub>2</sub>.k/Wh) : quantité d'oxygène dissous par unité de puissance brute consommée

$$ASB = \frac{AH}{P_b} \quad (18)$$

Avec:

- AH: apport horaire (Kg de O<sub>2</sub> / h)
- P<sub>b</sub> : puissance brute absorbée (kW)

• **Apport spécifique net ASN** (kg O<sub>2</sub>.kW/h) : quantité d'oxygène dissous par unité de puissance nette consommée

$$ASN = \frac{AH}{P_N} \quad (19)$$

Avec:

- AH: apport horaire (Kg de O<sub>2</sub> / h)
- P<sub>N</sub> : puissance nette absorbée (kW)

• **Rendement total d'oxygénation RO** (-) : pourcentage de la masse d'O<sub>2</sub> effectivement dissous par rapport à la masse d'O<sub>2</sub> insufflée dans le système à air surpressé.

$$RO = \frac{AH * 100}{Q_{air} * \%_{massiqueO_2 / air}} \quad (20)$$

Avec:

- Q<sub>air</sub> : débit d'air insufflé dans le bassin d'aération (m<sup>3</sup>/h)
- % O<sub>2</sub>/air : pourcentage massique d'O<sub>2</sub> contenu dans l'air (-)

• **Rendement spécifique d'oxygénation ROS** (-) : pourcentage de la masse d'O<sub>2</sub> effectivement dissous par rapport à la masse d'O<sub>2</sub> insufflée dans le système à air surpressé, par hauteur H<sub>i</sub> (m) d'immersion des diffuseurs.

$$ROS = \frac{RO}{H_i} \quad (21)$$

L'estimation théorique du transfert d'oxygène et le rendement d'oxygénation du couple bassin /système d'aération choisi, avec la présentation du domaine de validité sont présentés comme suit :

## V.2. Définition:

### V.2.1. Variables caractéristiques du transfert d'oxygène:

Les facteurs de conception et de fonctionnement influençant le transfert d'oxygène en bassins d'aération équipés de diffuseurs fines bulles sont rapportés dans le tableau 2 et sur les figures 20 et 21.

### V.2.2. Caractérisation des performances d'oxygénation des systèmes d'insufflation d'air fines bulles

Les bases de données requises pour l'analyse présentée ici réunissent les résultats des différents essais de réoxygénation d'eau claire effectués par les équipes du Cemagref sur des bassins équipés de systèmes d'insufflation d'air. Ces essais ont été réalisés sur des bassins d'aération équipés de diffuseurs à membrane EPDM (disques).

## V.3. Relations permettant de prédire le coefficient de transfert d'oxygène et le rendement d'oxygénation des systèmes d'aération en bassin cylindrique:

### V.3.1. Variables caractéristiques:

Les variables caractéristiques du transfert d'oxygène en bassins cylindriques sont présentées sur la figure 20 (cf. Tableau 2).

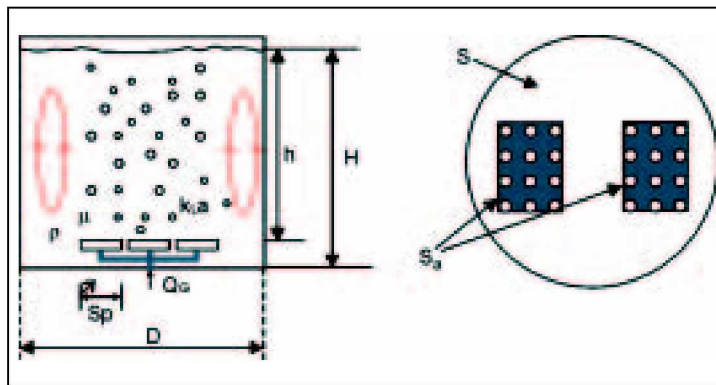


Figure 20 : Variable caractéristique du transfert d'oxygène dans les bassins cylindriques

**Tableau 2 :** Facteurs de dimensionnement et de fonctionnement caractéristiques du transfert d'oxygène

Facteurs	Symbole	Unité
Hauteur d'eau	H	m
Surface du bassin d'aération	S	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	m
Surface totale des membranes	Sp	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	m <sup>3</sup> /h
Viscosité dynamique de l'eau	μ	Pa.s
Densité de diffuseur	DD	-
Largeur de chenal	L	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	rad
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	Uc	cm/s

### V.3.2. Domaine de validité :

Les domaines de validité des relations (équations 23 et 24) sont présentés dans le tableau 4.

**Tableau 3 :** Intervalle de variation des paramètres mesurés en bassins cylindriques

Paramètre	D (m)	H (m)	S <sub>a</sub> (m)	U <sub>G</sub> (N.m/h)	K <sub>L</sub> a (1/h)	ROs (%/m)
Gamme	7.5- 14.7	2.4- 6.1	9.2- 167.6	2.0- 10.6	3.2- 13.4	3.7- 7.5

**Tableau 4 :** Domaine de validité des relations développées en bassins cylindriques.

Nombre sans dimension	DD	DD <sub>L</sub>	D/h	H/h	Re	Fr 10 <sup>-9</sup>
Gamme	0.04-0.14	0.05-0.41	1.4-7.1	1.00-1.11	1432-12141	6.5-220

Avec:

- DD: Densité de diffuseur
- $DD_i$ : Densité locale des diffuseurs
- D/h: Diamètre du bassin rapporté à la hauteur d'immersion
- H/h: Rapport de hauteurs d'eau et d'immersion
- Re: Nombre de Reynolds
- Fr: Nombre de Froude

### V.3.3. Expression des performances d'oxygénation en fonction des variables caractéristiques du transfert d'oxygène :

Les relations permettant de prédire les performances d'oxygénation des systèmes d'aération en fonction des variables caractéristiques du transfert sont présentées ici.

- ▶ Concentration en oxygène à saturation (équation 22) :

$$C_s = 8.840 h^{0.109} \quad (22)$$

- ▶ Coefficient de transfert d'oxygène (équation 23) :

$$K_{La} = 1.477 Q_G^{1.037} h^{-0.136} S^{-1.147} S_p^{0.042} S_a^{0.145} \quad (23)$$

- ▶ Rendement d'oxygénation standard spécifique (équation 24) :

$$ROs/m = 4.616 Q_G^{0.037} h^{-0.026} S^{-0.174} S_p^{0.042} S_a^{0.145} \quad (24)$$

Avec:

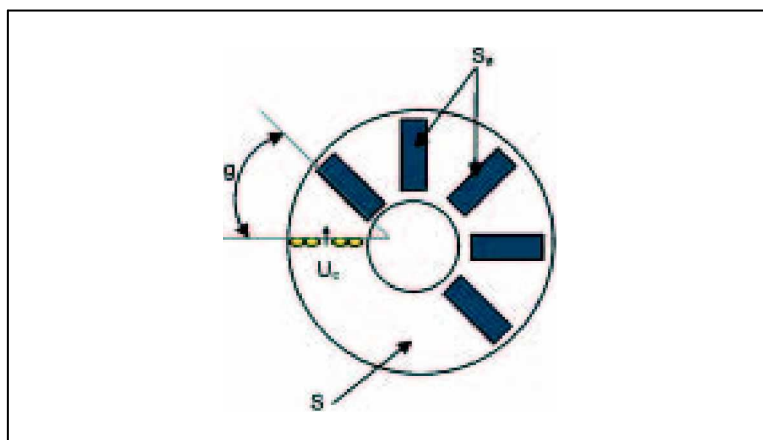
- C s: Concentration en oxygène à saturation en (mg/l)
- h: Hauteur d'immersion en (m)
- $K_{La}$ : Coefficient de transfert d'oxygène en (1/h)
- S: Surface du bassin en (m<sup>2</sup>)
- $S_p$ : Surface totale des membranes en (m<sup>2</sup>)
- $S_a$ : Surface couverte par les modules de diffuseurs (Surface aérée) en (m<sup>2</sup>)
- $Q_G$ : Débit d'air insufflé en (Nm<sup>3</sup>/h)
- ROs/m: Rendement d'oxygénation standard spécifique en (%/m).

**V.4. Relation permettant de prédire le coefficient de transfert d'oxygène et le rendement d'oxygénation des systèmes d'aération en chenaux d'aération :**

**V.4.1. Variables caractéristiques :**

Les variables caractéristiques du transfert d'oxygène en chenal d'aération sont présentées sur la figure 21 (cf. Tableau 2).

Les chenaux d'aération ont été séparés en deux sous ensembles en fonction de la répartition des modules de diffuseurs: sur plus de la moitié du radier (Type I) ou sur seulement au plus de demi radie (Type II).



**Figure 21 : Variables caractéristiques du transfert d'oxygène dans les chenaux d'aération.**

**V.4.2. Domaine de validité:**

Les domaines de validité des relations (équations 26 à 29) sont présentés dans le tableau 6.

**Tableau 5 : Intervalles de variation des paramètres mesurés en chenaux d'aération.**

Paramètre	Dint (m)	Dext (m)	h (m)	Sa (m <sup>2</sup> )	U <sub>G</sub> (m/h)	U <sub>c</sub> (cm/s)	K <sub>L</sub> a (1/h)	ROs/m (%/m)
Gamme	0.6-	14.4-	3.7-	8.6-	2.0-	25.2-	2.5-	3.6-7.2
Type I et II	36.5	54.1	7.6	290.5	7.2	47.2	8.1	

**Tableau 6 :** Domaine de validité des relations prédictives en chenaux d'aération.

Nombre sans dimension	DD	DD <sub>l</sub>	S/h <sup>2</sup>	L/h	H/h	Ang	U <sub>c</sub> /U <sub>G</sub>	Re	Fr*10 <sup>-9</sup>
Gamme	0.03-	0.18-	6.0-	0.8-	1.04-	0.4-	3.5-	3012-	4.2-76.0
Type I et II	0.9	0.67	40.8	2.5	1.08	3.6	16.2	14441	

Avec:

- DD: Densité de diffuseur
- DD<sub>l</sub>: Densité locale des diffuseurs
- S/h<sup>2</sup>: Surface du bassin rapporté au carré de la hauteur d'immersion
- L/h: Rapport de la largeur du chenal à la hauteur d'immersion
- H/h: Rapport de hauteurs d'eau et d'immersion
- Ang: Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur
- U<sub>c</sub>/U<sub>G</sub>: Rapport des vitesses Gaz –liquide.

#### V.4.3. Expression des performances d'oxygénation en fonction des variables caractéristiques du transfert d'oxygène :

Les relations permettant de prédire les performances d'oxygénation des systèmes d'aération en fonction des variables caractéristiques du transfert sont présentées ici.

- ▶ Concentration en oxygène a saturation (équation 24) :

$$C_s = 9.012 h^{0.105} \quad (25)$$

- ▶ Chenaux d'aération de type I :

- Coefficient de transfert d'oxygène (équation 25) :

$$K_{La} = 0.264 Q_G^{0.751} h^{-0.229} S^{-0.918} S_p^{0.603} S_a^{0.118} L^{-0.913} Ang^{0.453} U_c^{0.735} \quad (26)$$

- Rendement d'oxygénation standard spécifique (équation 26):

$$RO_s/m = 0.828 Q_G^{-0.249} h^{-0.123} S^{0.082} S_p^{0.603} S_a^{0.118} L^{-0.913} Ang^{0.453} U_c^{0.735} \quad (27)$$

► Chenaux d'aération de type II :

- Coefficient de transfert d'oxygène (équation 27) :

$$K_{La} = 3.930 Q_G^{0.673} h^{0.130} S^{-1.076} S_p^{0.218} S_a^{0.185} L^{-0.167} Ang^{0.206} U_c^{0.112} \quad (28)$$

- Rendement d'oxygénation standard spécifique (équation 28)

$$ROs/m = 12.433 Q_G^{-0.327} h^{0.235} S^{-0.076} S_p^{0.218} S_a^{0.185} L^{-0.167} Ang^{0.206} U_c^{0.112} \quad (29)$$

Avec:

- C s: Concentration en oxygène à saturation en (mg/l)
- h: Hauteur d'immersion en (m)
- $K_{La}$ : Coefficient de transfert d'oxygène en (1/h)
- S: Surface du bassin en (m<sup>2</sup>)
- $S_p$ : Surface totale des membranes en (m<sup>2</sup>)
- $S_a$ : Surface couverte par les modules de diffuseurs (Surface aérée) en (m<sup>2</sup>)
- L: Largeur du chenal en (m)
- Ang: Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs.
- $U_c$ : Vitesse de circulation horizontale de l'eau en (cm/s)
- $Q_G$ : Débit d'air insufflé en (Nm<sup>3</sup>/h)
- ROs/m: Rendement d'oxygénation standard spécifique en (%/m).

### V.5. Conclusion:

A partir de ces données, qui présentent les relations des paramètres de conception du système d'aération dans le bassin d'aération, il est intéressant d'étudier l'influence des paramètres hydraulique du bassin d'aération sur le rendement d'oxygénation.



## CHAPITRE VI :

### SIMULATION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES HYDRAULIQUES DES BASSINS

#### D'AÉRATIONS SUR STATIONS REELLES

##### Introduction:

L'efficacité des systèmes d'aération par insufflation d'air fine bulle à membrane fait l'objet d'accords commerciaux entre fournisseurs et ensembleurs sur la base du rendement de transfert d'oxygène de l'air dans les conditions standard. Pour cette raison nous nous intéressons maintenant d'étudier l'influence des paramètres hydraulique (Débit d'air -densité de diffuseur -vitesse de circulation horizontale de l'eau -Hauteur d'immersion...) du bassin d'aération sur le rendement d'oxygénation de deux stations d'épurations dans l'Est Algérien qui fonctionnent au même procédé à savoir boue activée qui utilisent le système d'aération par insufflation d'air fine bulle à membrane mais de différente capacité, se sont la station d'épuration d'Annaba de 580700 EH et de Sedrata de 100 000 EH ,ce qui permet une bonne conception du bassin d'aération d'une station d'épuration avec les meilleurs rendements du degré d'épuration des eaux usées.

L'étude a été faite sur deux formes géométriques de bassin d'aération qui sont les chenaux d'aérations et les bassins cylindriques.

##### VI.1. Influence des paramètres hydrauliques sur le rendement d'oxygénation:

###### Station d'épuration d'Annaba :

La station d'épuration de la ville d'Annaba de 580 700EH est destinée à traiter les eaux usées domestiques avant leur rejet à l'Oued de Seybouse.

###### Bassin d'aération:

La station est réalisée avec deux bassins d'aération cylindriques dont les dimensions sont les suivantes:

- Diamètre : 49.60m
- Hauteur d'eau: 7.64m
- Volume unitaire: 14754.56m<sup>3</sup>
- Volume totale: 29509.12m<sup>3</sup>

###### A- Les bassins cylindriques

###### VI.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation

L'influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation dans le bassin d'aération de la station d'Annaba de 580 700 EH, est basée sur plusieurs paramètres de conception et de fonctionnement qui sont présentés dans le tableau (7).

L'équation 23 permet de calculer le débit d'air nécessaire pour obtenir cet apport horaire en bassin cylindrique, en prenant en compte les caractéristiques du couple bassin/système d'aération choisi. Les différentes étapes à suivre peuvent se résumer ainsi :

**Tableau 7 :** Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération de la station d'Annaba :

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Hauteur d'immersion	h	7.10	m
Volume du bassin d'aération	V	14754.56	m <sup>3</sup>
La charge nominale de temps de pluie	DBO <sub>5</sub>	34842	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Charge volumique	Cv	0.575	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Densité de diffuseur	DD	0.07	-
La quantité d'oxygène à apporter	AHp	600	kg d'O <sub>2</sub> /h
Disque de surface percée	Si	0.04	m <sup>2</sup>

1-Calcul de la surface du bassin (S) :

$$S = \frac{V}{H} \quad (30)$$

2 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin (équation 22)

3 - Calcul du  $k_L a_{20}$  à obtenir (équation 16)

4 - Calcul de la surface totale des membranes ( $S_p$ ) par la formule (31)

$$S_p = DD.S \quad (31)$$

5 - Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$  cf. annexe 1) ;

6 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer par la formule (32)

$$n = S_p / S_i \quad (32)$$

7 - Calcul de la surface aérée ( $S_a$ );

8- Calcul de  $Q_G$  (équation 23), le débit d'air par diffuseur et la vitesse superficielle.

$q_G$  : débit d'air par diffuseur

$$q_G = \frac{Q_G}{n} \quad (33)$$

$$U_G = \frac{Q_G}{S} \quad (34)$$

9 - Vérification du domaine de validité des équations (calcul des nombres sans dimension, cf. annexe 2) ;

10 - Calcul du rendement d'oxygénation standard (équations 24).

**VI.1.1.1. Cas 1. Diffuseurs disposés en couverture plancher (Sa = S) :**

1-Calcul de la surface du bassin (S) :

$$S=1931.20 \text{ m}^2, D=49.60\text{m}$$

2 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s=10.94\text{mg/l}$$

3 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 3.71 \text{ h}^{-1}$$

4 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 135.184 \text{ m}^2$$

5- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ )

Disque de surface percée de  $0.04 \text{ m}^2$ .

$$S_i=0.04 \text{ m}^2$$

6 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$$n = 3379, \text{ le nombre de diffuseur retenu est de } 3384.$$

7 -  $S_a = S = 1931.20 \text{ m}^2$  (couverture plancher)

8 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

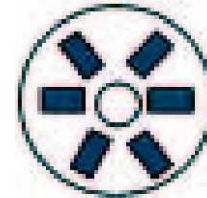
$$Q_G = 4700,36 \text{ m}^3/\text{h}.$$

- Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 1.68 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 2.43 \text{ m/h}$$

9 - Vérification du domaine de validité des équations:



**Figure 22 : Diffuseurs disposés en couverture plancher. (Type I)**

**Tableau 8 :** Nombre sans dimension pour la station d'Annaba 580700EH (cylindre  $S_a=S$ )

DD	DD <sub>1</sub>	D/h	H/h	Re	Fr x 10 <sup>-9</sup>
0.07	0.28	6.98	1.07	4790,51	06.56

Tableau 8 - Nombres sans dimension pour la station de 580 700 EH (cylindre,  $S_a = S$ ). Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 4).

10 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

$$RO_s/m=5.91 \text{ %/m}$$

**VI.1.1.2. Cas 2. Diffuseurs disposés sur 1 module ( $S_a < S$ )**

1-Calcul de la surface du bassin (S) :

$$S = 1931.2 \text{ m}^2, D = 49.60 \text{ m}$$

2 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s = 10.94 \text{ mg/l}$$

3 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 3.71 \text{ h}^{-1}$$

4 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 135.18 \text{ m}^2$$

5- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ )

Disque de surface percée de  $0.04 \text{ m}^2$ .

$$S_i = 0.04 \text{ m}^2$$

6 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$$n = 3379, \text{ le nombre de diffuseur retenu est de } 3384.$$

7 - En considérant un module de 3.60m de large et de 16.5m de longueur, on peut proposer

8 modules de 423 de diffuseurs correspond à une surface aérée de  $S_a = 475.20 \text{ m}^2$  (disposition modulaire  $S_a/S=0.24$ )

8 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

$$Q_G = 5718,37 \text{ m}^3/\text{h}.$$

.Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 1.69 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 2.96 \text{ m/h}$$

9 - Vérification du domaine de validité des équations:



**Figure 23 : Diffuseurs disposés sur un module (Type II)**

**Tableau 9 :** Nombre sans dimension pour la station d'Annaba de 580 700 EH (cylindre  $S_a < S$ )

DD	DD <sub>1</sub>	D/h	H/h	Re	Fr x10 <sup>-9</sup>
0.07	0.28	6.98	1.07	5828,11	9.71

Tableau 9 - Nombre sans dimensions pour la station d'Annaba de 580 700 EH (Cylindre,  $S_a < S$ ).

Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 4).

10 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

$ROs/m=4.86 \text{ \%}/m$

#### VI.1.1.3. Commentaire:

Le calcul illustre la supériorité de la disposition plancher par rapport à la disposition modulaire, A nombre de diffuseurs donné, les performances d'oxygénation obtenues sont meilleures dans le premier cas.

Dans le cas où les diffuseurs ne couvrent pas tout le radier, DA SILVA-DEZONZIER a montré qu'un regroupement des raquettes favoriserait l'efficacité de l'aération (augmentation de l'AH).

Cela s'explique par la présence de grands spiral-flows qui diffèrent selon la disposition des raquettes. L'idéal est de répartir uniformément les diffuseurs sur tout le radier du bassin. Cela favorise le transfert d'oxygène, par suppression ou atténuation des grands spiral flows.

**VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 10.

**Tableau 10 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Surface du bassin d'aération	S	1931.20	m <sup>2</sup>
<b>Hauteur d'immersion</b>	h	var	m
Surface totale des membranes	Sp	135.18	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	475.20	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	4700,36	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	2.43	m/h
Densité de diffuseur	DD	0,07	

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (24) après remplacement des paramètres on obtient la formule (35) qui donne les résultats présenter dans le tableau 11.

$$ROs/m = 5.61 * h^{-0.026} \quad (35)$$

**Tableau 11 :** Valeurs des hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.

Hauteur d'immersion h (m)	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	7.10
Rendement d'oxygénation ROs(%/m)	5,49	5,46	5,44	5,42	5,40	5,39	5,37	5,36	5.91

Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation

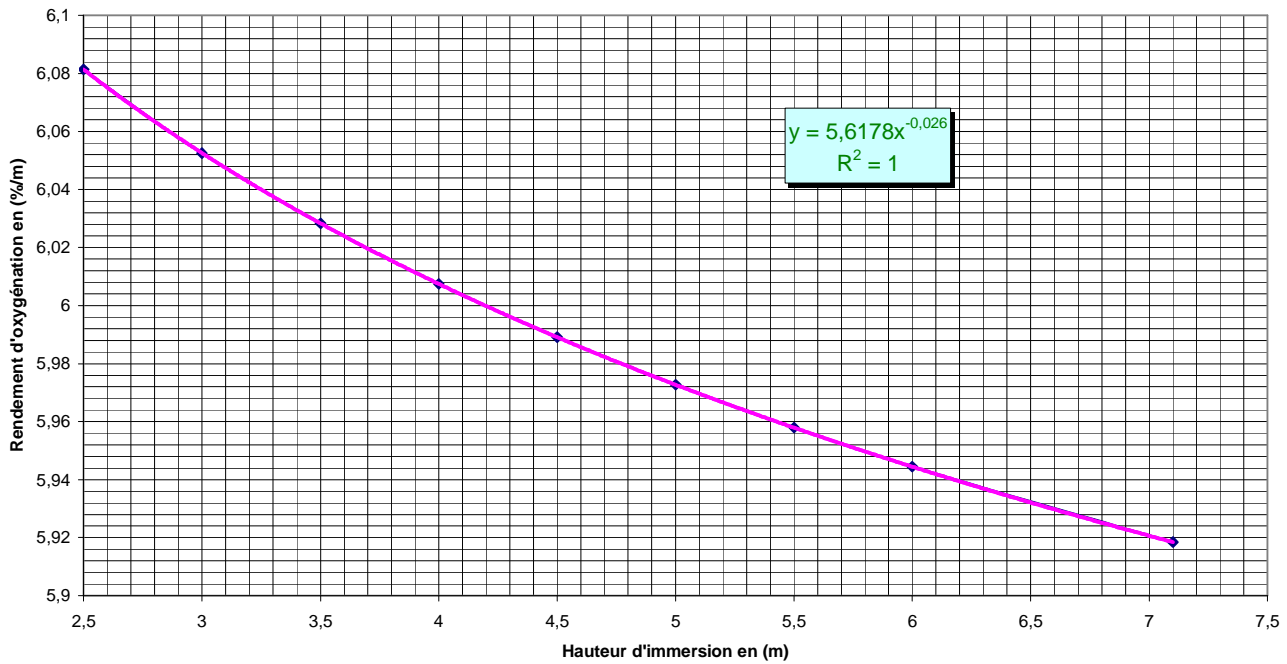


Figure 24 : Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba

VI.1.2.1. Commentaire:

D'après le graphe précédent dans la figure 24 qui présente la variation de la hauteur d'immersion et le rendement d'oxygénation on voit que le rendement d'oxygénation décroît lorsque la hauteur d'immersion croit, par suite de l'appauvrissement des bulles d'air en oxygène.



**VI.1.3. Densité de diffuseur :**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 12.

**Tableau 12 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Surface du bassin d'aération	S	1931.20	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	7.10	m
Surface totale des membranes	S <sub>p</sub>	135.18	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	S <sub>a</sub>	475.20	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	4700,36	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	2.43	m/h
<b>Densité de diffuseur</b>	<b>DD</b>	<b>var</b>	<b>-</b>

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (24) après remplacement des paramètres on obtient la formule (36) qui donne les résultats présenter dans le tableau 13.

$$ROs/m=6.02*DD^{0.042} \quad (36)$$

**Tableau 13 :** Valeurs de densité de diffuseur de diffuseur et rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.

Densité de diffuseur DD	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14
Rendement d'oxygénation ROs/m en (%/m)	5.78	5.88	5.95	6.01	6.05	5.09

Influence de densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation

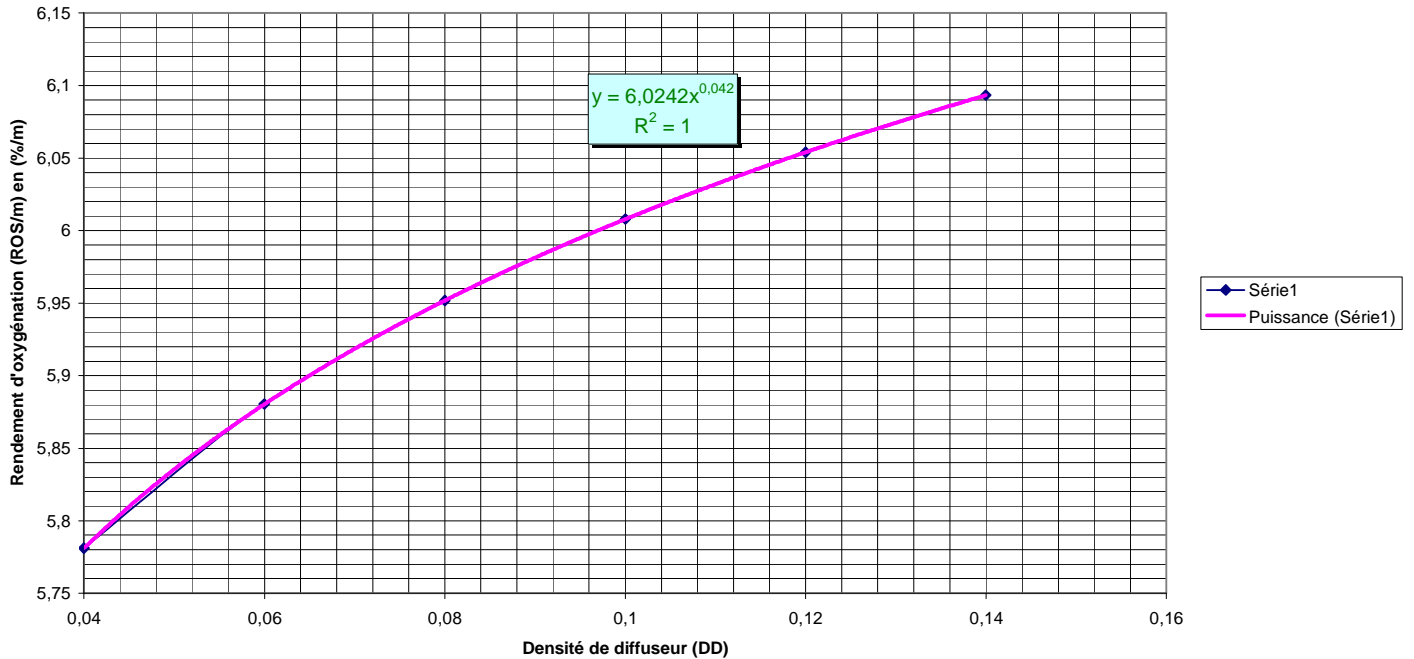


Figure 25 : Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba

**VI.1.3.1. Commentaire:**

D'après le graphe dans la figure 25 qui présente la variation de la densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation on voit clairement que la relation entre ces deux paramètres c'est une fonction croissante et que plus la densité de diffuseur est importante, le rendement d'oxygénation est meilleur .Cela s'explique en considérant les petits et micro spiral-flows. Plus la densité de diffuseurs est élevée, moins l'eau dispose d'espace, entre les bulles d'air, pour redescendre au fond du bassin. Celle ci freine alors les bulles d'air ascendantes et augmente leur temps de séjour. Une densité importante de diffuseurs réduit donc l'effet néfaste des petits spiral-flows.

B- Les Chenal d'aération

VI.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation:

On fait les mêmes étapes de calcul avec les même données de la station d'épuration d'Annaba pour la forme géométrique du bassin d'aération "chenaux d'aération" pour montrer l'influences des différentes paramètres hydrauliques sur le rendement d'oxygénation de cette forme.

L'influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation dans un bassin d'une station de 580 700 EH, est basée sur plusieurs paramètres de conception et de fonctionnement qui sont présenté dans le tableau (14).

Les équations 26 et 28 permettent de calculer le débit d'air nécessaire pour obtenir cet apport horaire en chenal d'aération respectivement de type I et II, en prenant en compte les caractéristiques du couple bassin/système d'aération choisi. Les différentes étapes à suivre peuvent se résumer ainsi :

**Tableau 14 :** Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération de la station d'Annaba:

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Hauteur d'immersion	h	7.10	m
Volume du bassin d'aération	V	14754.56	m <sup>3</sup>
Diamètre intérieur	D <sub>int</sub>	20	m
La charge nominale de temps de pluie	DBO <sub>5</sub>	34842	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Charge volumique	C <sub>v</sub>	0.575	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Densité de diffuseur	DD	0.07	-
La quantité d'oxygène à apporter	AH <sub>s</sub>	600	kg d'O <sub>2</sub> /h
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Disque de surface percée	Si	0.04	m <sup>2</sup>

1-Calcul de la surface du chenal (S) :

$$S = \frac{V}{H} \quad (37)$$

2 -Calcul du diamètre extérieur du chenal

$$(D_{\text{ext}} = \sqrt{(4S/\Pi + D_{\text{int}}^2)}) \quad (38)$$

3 - Calcul de la largeur du chenal par la formule (39)

$$(L = (D_{\text{ext}} - D_{\text{int}})/2) \quad (39)$$

4 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin (équation 25)

5 - Calcul du  $k_L a_{20}$  à obtenir (équation 16)

6 - Calcul de la surface totale des membranes ( $S_p$ ) par la formule (40)

$$S_p = DD.S \quad (40)$$

7 - Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$  cf. annexe 1) ;

8 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer par la formule (41)

$$n = S_p / S_i \quad (41)$$

9 - Calcul de la surface aérée ( $S_a$ );

10 - Choix d'une vitesse horizontale de circulation ( $U_c$ ) ;

11- Calcul de  $Q_G$  (équation 26 ou 28) , le débit d'air par diffuseur et la vitesse superficiel .

$q_G$  : débit d'air par diffuseur

$$q_G = \frac{Q_G}{n} \quad (42)$$

$$U_G = \frac{Q_G}{S} \quad (43)$$

12 - Vérification du domaine de validité des équations (calcul des nombres sans dimension, cf. annexe 2) ;

13 - Calcul du rendement d'oxygénation standard (équations 27 ou 29).

**VI.1.1.1. Cas 1.Chenal d'aération de type I (diffuseurs disposes sur l'ensemble du radier)**

1-Calcul de la surface du chenal (S) :

$$S=1931.20 \text{ m}^2$$

2 -Calcul du diamètre extérieur du chenal:

$$D_{\text{ext}}=54.00 \text{ m}$$

3 - Calcul de la largeur du chenal:

$$L=17.00 \text{ m}$$

4 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s=11.07 \text{ mg/l}$$

5 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 3.67 \text{ h}^{-1}$$

6 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 135.18 \text{ m}^2$$

7- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ ):

Disque de surface percée de  $0.04\text{m}^2$

$$S_i=0.04 \text{ m}^2$$

8 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$$n = 3379, \text{ le nombre de diffuseur retenu est de } 3384.$$

9 - En considérant un module de 3.6 m de large qui couvre la quasi-totalité de la largeur du chenal (L - 0,5 m), on peut proposer 8 modules de 423 diffuseurs, correspondant a une surface aérée de  $S_a = 475.20 \text{ m}^2$

10 - Choix d'une vitesse horizontale de circulation ( $U_c$ ) ;

$$U_c=30 \text{ cm/s}$$

11 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

$$Q_G= 4083.34 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 1.20\text{m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 2.11 \text{ m/h}$$

12 - Vérification du domaine de validité des équations:

**Tableau 15** : Nombre sans dimension pour la station d'épuration d'Annaba de 580 700 EH

DD	DDI	S/h <sup>2</sup>	L/h	H/h	Ang	Uc/UG	Re	Fr x10 <sup>-9</sup>
0.07	0.28	38.31	2.39	1.07	1.5	14.18	4161.70	4.95

Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 6).

13 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

$$ROs/m = 6.70 \text{ \%/m}$$

**VI.1.1.2. Cas 2.Chenal d'aération de type II (diffuseurs disposés sur la moitié du radier)**

1-Calcul de la surface du chenal (S) :

$$S = 1931.20 \text{ m}^2$$

2 -Calcul du diamètre extérieur du chenal:

$$D_{\text{ext}} = 54.00 \text{ m}$$

3 - Calcul de la largeur du chenal:

$$L = 17.00 \text{ m}$$

4 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s = 11.07 \text{ mg/l}$$

5 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 3.67 \text{ h}^{-1}$$

6 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 135.18 \text{ m}^2$$

7- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ ):

Disque de surface percée de  $0.04 \text{ m}^2$

$$S_i = 0.04 \text{ m}^2$$

8 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$$n = 3379, \text{ le nombre de diffuseur retenu est de } 3384$$

9 - En considérant un module de 3.6 m de large qui couvre la quasi-totalité de la largeur du chenal ( $L - 0,5 \text{ m}$ ), on peut proposer 8 modules de 423 diffuseurs, correspondant a une surface aérée de  $S_a = 475.20 \text{ m}^2$

10 - Choix d'une vitesse horizontale de circulation ( $U_c$ ) ;

$$U_c = 30 \text{ cm/s}$$

11 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

$$Q_G = 4215.51 \text{ m}^3/\text{h}.$$

- Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 1.24 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 2.18 \text{ m/h}$$

12 - Vérification du domaine de validité des équations:

**Tableau 16 :** Nombre sans dimension pour la station d'épuration d'Annaba de 580 700 EH (chenal de Type II).

DD	DD <sub>1</sub>	S/h <sup>2</sup>	L/h	H/h	Ang	U <sub>c</sub> /U <sub>G</sub>	Re	Fr x10 <sup>-9</sup>
0.07	0.28	38.31	2.39	1.07	1.5	13.74	4296,41	5.27

Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 6).

13 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

ROs/m=6.53 %/m

### VI.1.1.3. Commentaire:

Cet exemple montre la meilleure efficacité de transfert d'oxygène dans les chenaux de type I plutôt que de type II, il semblerait que le positionnement des raquettes de diffuseurs ait une influence sur le rendement d'oxygénation.

Dans le cas où les diffuseurs ne couvrent pas tout le radier, DA SILVA-DEZONZIER a montré qu'un regroupement des raquettes favoriserait l'efficacité de l'aération (augmentation de l'AH).

Cela s'explique par la présence de grands spiral-flows qui diffèrent selon la disposition des raquettes. L'idéal est de répartir uniformément les diffuseurs sur tout le radier du bassin. Cela favorise le transfert d'oxygène, par suppression ou atténuation des grands spiral- flows.



**VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs:**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 17.

**Tableau 17 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Surface du bassin d'aération	S	1931.20	m <sup>2</sup>
<b>Hauteur d'immersion</b>	<b>h</b>	<b>var</b>	<b>m</b>
Surface totale des membranes	Sp	135.18	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	475.20	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	QG	4083.33	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	UG	2.11	m/h
Densité de diffuseur	DD	0,07	-
Largeur de chenal	L	17.00	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	Uc	30	cm/s

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (27) après remplacement des paramètres on obtient la formule (44) qui donne les résultats présenter dans le tableau 18.

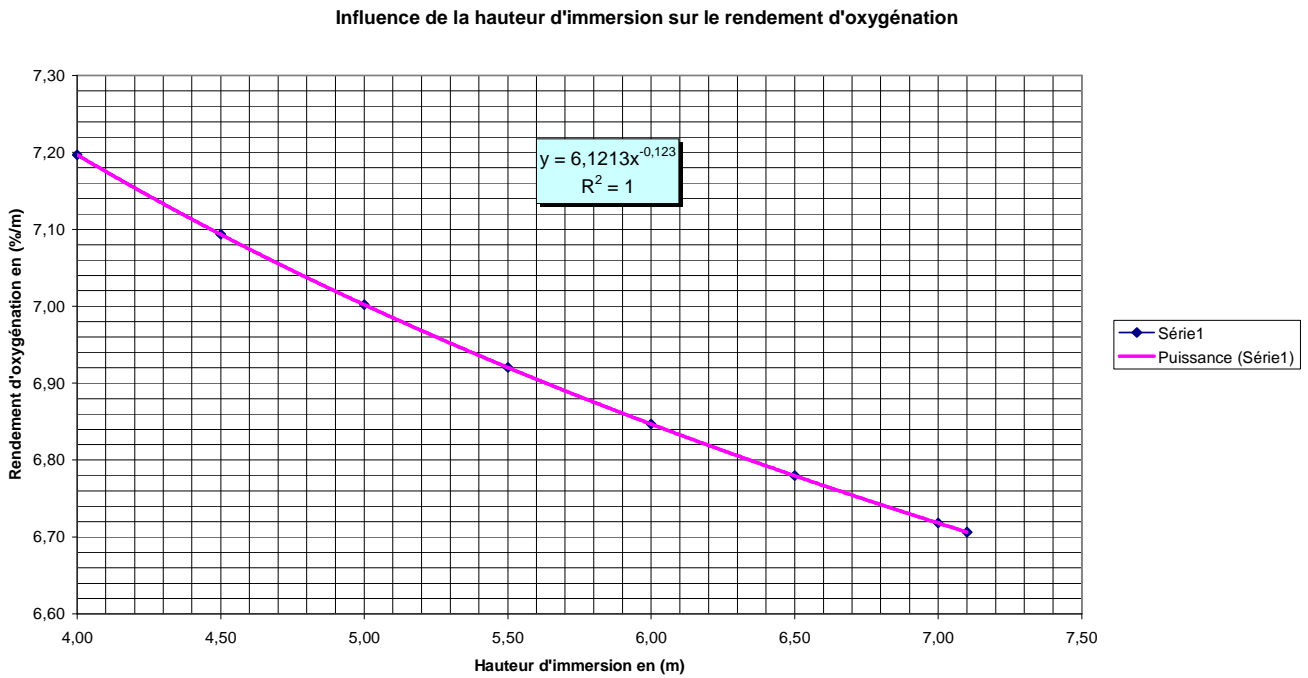
$$ROs/m = 6.12 * h^{-0.123}$$

$$ROs/m = 6.12 * h^{-0.123} \quad (16)$$

$$ROs/m = 6.12 * h^{-0.123} \quad (44)$$

**Tableau 18 :** Valeur de la hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.

Hauteur d'immersion h (m)	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
Rendement d'oxygénation ROs(%/m)	7.20	7.09	7.00	6.92	6.85	6.78	6.72	6.71



**Figure 26 : Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba**

**VI.1.2.1. Commentaire:**

D'après le graphe précédent dans la figure 26 qui présente la variation de la hauteur d'immersion et le rendement d'oxygénation on voit que le rendement d'oxygénation décroît lorsque la hauteur d'immersion croît, par suite de l'appauvrissement des bulles d'air en oxygène.

**VI.1.3. Densité de diffuseur :**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 19.

**Tableau 19 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.

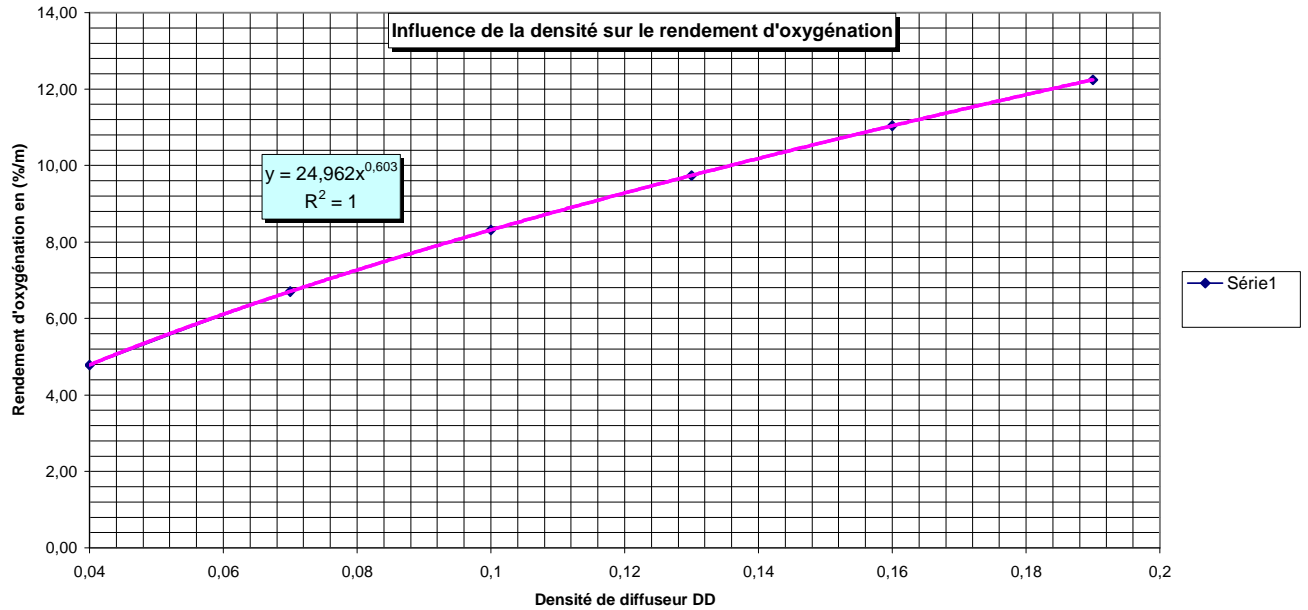
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Surface du bassin d'aération	S	1931.20	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	7.10	m
Surface totale des membranes	Sp	135.18	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	475.20	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	4083.33	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	2.11	m/h
<b>Densité de diffuseur</b>	<b>DD</b>	<b>var</b>	-
Largeur de chenal	L	17.00	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	U <sub>c</sub>	30	cm/s

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (27) après remplacement des paramètres on obtient la formule (45) qui donne les résultats présenter dans le tableau 20.

$$ROs/m=6.02*DD^{0.042} \quad (45)$$

**Tableau 20 :** Valeurs de densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.

Densité de diffuseur DD	0,04	0,07	0,1	0,13	0,16	0,19
Rendement d'oxygénation ROs/m en (%/m)	4.79	6.71	8.32	9.74	11.04	12.25



**Figure 27 : Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba**

**VI.1.3.1. Commentaire:**

D'après le graphe dans la figure 27 qui présente la variation de la densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation on voit clairement que la relation entre ces deux paramètres c'est une fonction croissante et que plus la densité de diffuseur est importante, le rendement d'oxygénation est meilleur. Cela s'explique en considérant les petits et micro spiral-flows. Plus la densité de diffuseurs est élevée, moins l'eau dispose d'espace, entre les bulles d'air, pour redescendre au fond du bassin. Celle ci freine alors les bulles d'air ascendantes et augmente leur temps de séjour. Une densité importante de diffuseurs réduit donc l'effet néfaste des petits spiral-flows.

**VI.1.4. Influence de l'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs:**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 21.

**Tableau 21 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.

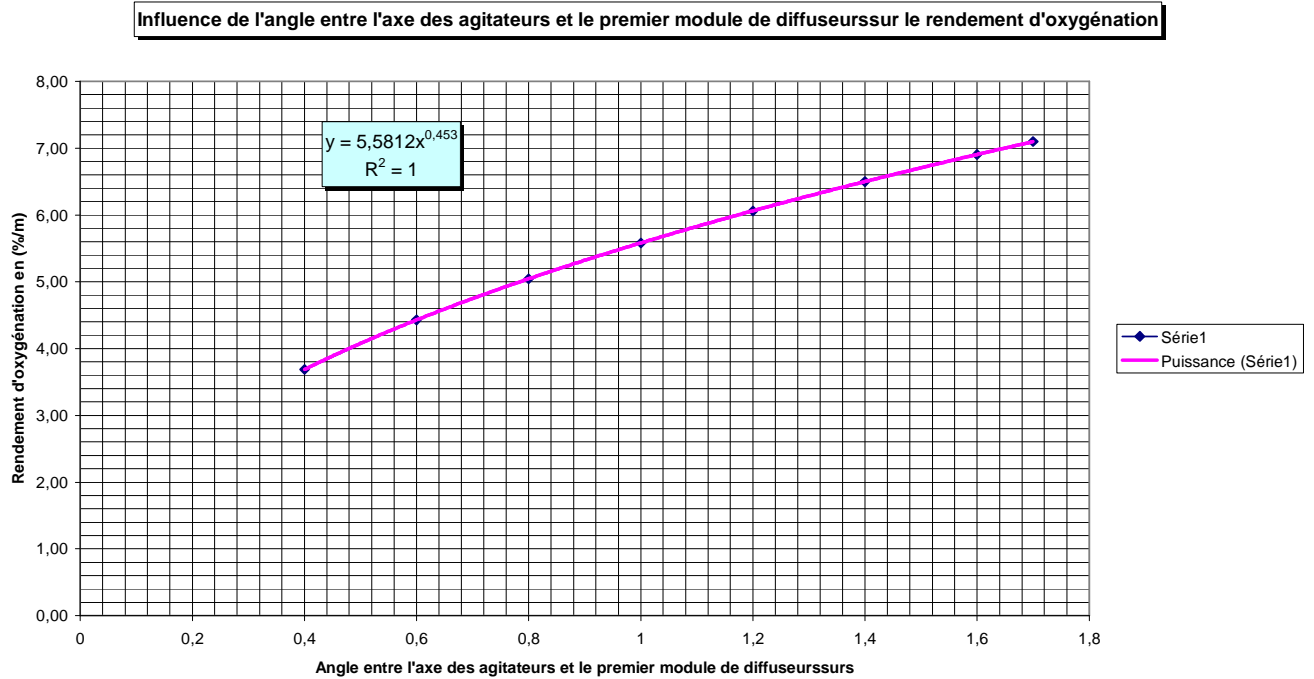
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Surface du bassin d'aération	S	1931.20	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	7.10	m
Surface totale des membranes	Sp	135.18	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	475.20	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	4083.33	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	2.11	m/h
Densité de diffuseur	DD	0.07	-
Largeur de chenal	L	17.00	m
<b>Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs</b>	<b>Ang</b>	<b>var</b>	<b>rad</b>
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	U <sub>c</sub>	30	cm/s

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (27) après remplacement des paramètres on obtient la formule (46) qui donne les résultats présenter dans le tableau 22.

$$ROs/m=4.62*Ang^{0.453} \quad (46)$$

**Tableau 22 :** des valeurs d'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.

Ang en (rad)	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,7
ROs/m en (%/m)	3.69	4.43	5.04	5.58	6.06	6.50	6.91	7.10



**Figure 28 : Influence de l'angle de l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur de la station d'Annaba**

**VI.1.4.1. Commentaire:**

Le graphe précédent (Fig 28) montre que le rendement RO est une fonction croissante de l'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs. Et que la variation des valeurs de l'angles dans l'intervalle (0.4-1.7) rad accroît le rendement d'oxygénation à environ de 40 %.

Le positionnement des agitateurs par rapport aux diffuseurs influe sur le rendement d'oxygénation. Pour maximiser ces dernières, les diffuseurs doivent être placés suffisamment loin des agitateurs. Le dispositif d'aération placé trop près des hélices empêche en effet le bon établissement de l'écoulement.

**VI.1.5. Influence de la vitesse horizontale sur le transfert d'oxygène**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 23.

**Tableau 23 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba :

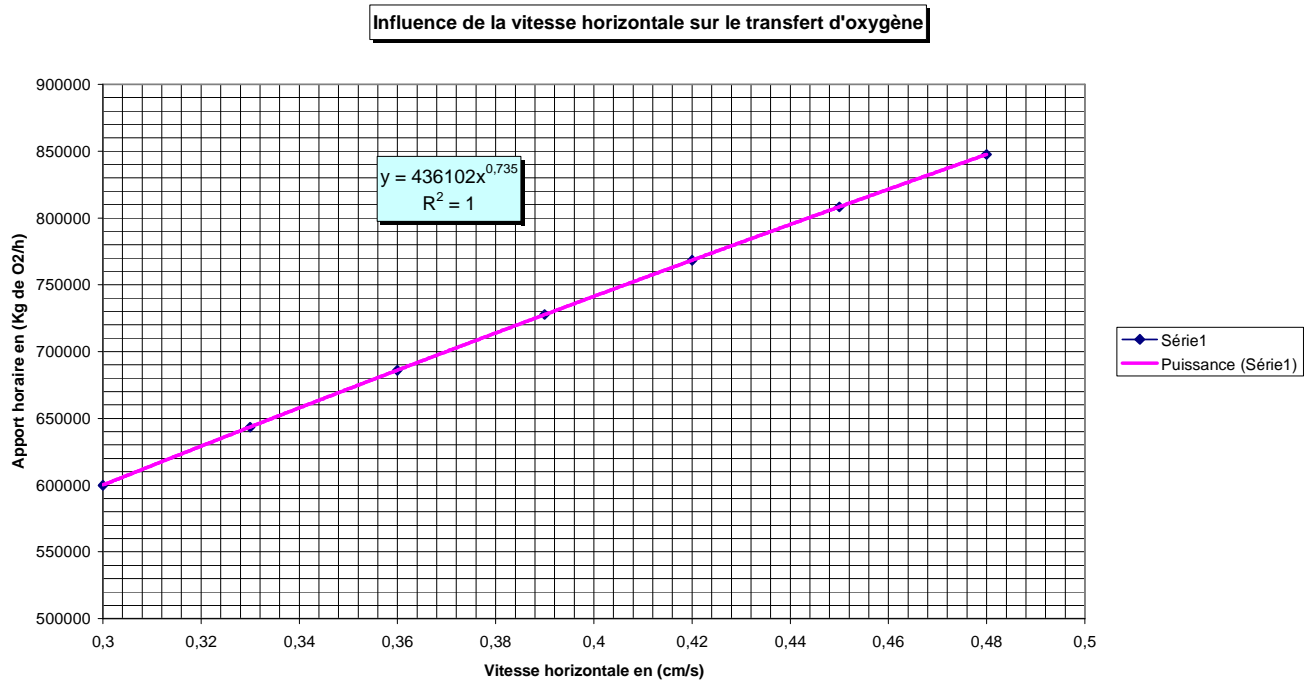
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Surface du bassin d'aération	S	1931.20	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	7.10	m
Surface totale des membranes	Sp	135.18	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	475.20	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	4083.33	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	2.11	m/h
Densité de diffuseur	DD	var	-
Largeur de chenal	L	17.00	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
<b>Vitesse de circulation horizontale de l'eau</b>	<b>U<sub>c</sub></b>	<b>var</b>	<b>cm/s</b>

Les calculs ont été fait à l'aide des formules de l'apport horaire (16), la formule du Coefficient de transfert d'oxygène (26) et la formule du rendement d'oxygénation (27) pour présenter l'influence de la vitesse de circulation de l'eau sur le transfert d'oxygène après remplacement des paramètres on obtient la formule (47) qui donne les résultats présenter dans le tableau 24.

$$AHs=436102*U_c^{0.735} \quad (47)$$

**Tableau 24 :** Valeurs de la vitesse de circulation de l'eau et l'apport horaire de la station d'Annaba.

Vitesse de circulation de l'eau U <sub>c</sub> en (cm/s)	30	33	36	39	42	45	48
Apport Horaire AHs en (Kg de O <sub>2</sub> /h)	600000	643539	686040	727611	768343	808310	84757



**Figure 29 : Influence de la vitesse de circulation de l'eau sur le transfert d'oxygène de la station d'Annaba**

**VI.1.5.1. Commentaire:**

Le graphe précédent (Fig 29) montre que l'apport horaire AH est une fonction croissante de la vitesse horizontale de circulation de l'eau. Et que la mise en rotation de l'eau comprise entre 0,35 et 0,48 m/s accroît le transfert d'oxygène à environ de 40 %.

Des études ont confirmé que le gain d'apport horaire en O<sub>2</sub> lorsque la vitesse passe de 0 à 0,40 m/s est de l'ordre de 40% pour les chenaux.



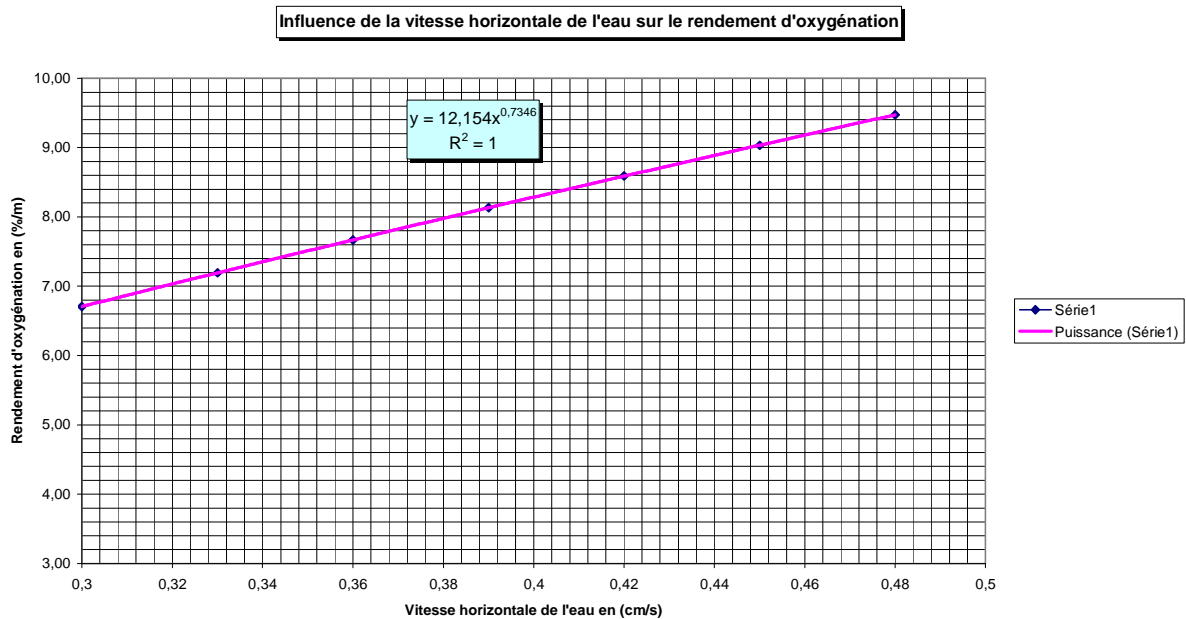
**VI.1.5.2. Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation**

Les calculs ont été fait à l'aide de la formule du rendement d'oxygénation (27) après remplacement des valeurs des paramètres hydraulique on trouve la formule (48) qui permet de présenter la variation de la vitesse et le rendement RO et les résultats de calculs sont présentés dans le tableau 25.

$$ROs/m=12.15*Uc^{0.735} \quad (48)$$

**Tableau 25 :** Valeurs de la vitesse horizontale de l'eau et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.

Vitesse de circulation de l'eau Uc en (cm/s)	30	33	36	39	42	45	48
Rendement d'oxygénation ROs en (%/m)	6.71	7.19	7.67	8.13	8.59	9.03	9.47



**Figure 30 :** Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba

**VI.1.5.3. Commentaire:**

D'après le graphe précédent qui présente la variation de la vitesse horizontale de l'eau et le rendement d'oxygénation on voit clairement que c'est une fonction croissante tel que le RO accroît lorsque la vitesse de circulation de l'eau augmente.

**VI.1.6. Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 26.

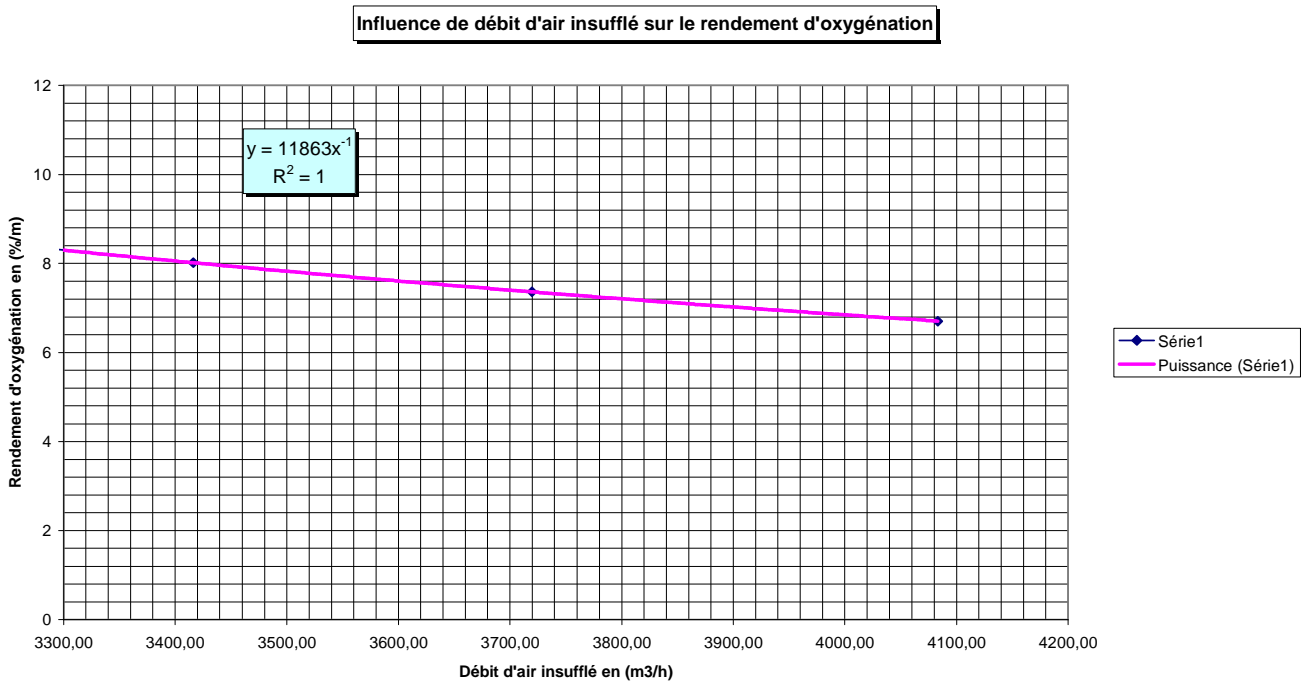
**Tableau 26 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station d'Annaba.

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	7.64	m
Surface du bassin d'aération	S	1931.20	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	7.10	m
Surface totale des membranes	S <sub>p</sub>	135.18	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	S <sub>a</sub>	475.20	m <sup>2</sup>
<b>Débit d'air insufflé</b>	<b>Q<sub>G</sub></b>	<b>var</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	2.11	m/h
Densité de diffuseur	DD	0.07	-
Largeur de chenal	L	17.00	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	U <sub>c</sub>	var	cm/s

Les calculs des débits d'airs insufflé en fonction du rendement d'oxygénation ont été fait pour différentes vitesses de circulation à l'aide de la formule de rendement d'oxygénation (27) et les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 27.

**Tableau 27 :** Valeurs de débit d'air insufflé et le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba.

Vitesse de circulation de l'eau U <sub>c</sub> en (cm/s)	30	33	36	39	42	45	48
Débit d'air Q <sub>G</sub> en (m <sup>3</sup> /h)	4083.34	3719.67	3416.02	3158.63	2937.65	2745.84	2577.77
Rendement d'oxygénation RO <sub>s</sub> /m en (%/m)	6.71	7.36	8.01	8.67	9.32	9.97	10.62



**Figure 31 : Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation de la station d'Annaba**

**VI.1.6.1. Commentaire:**

D'après le graphe qui présente la variation de débit d'air insufflé et le rendement d'oxygénation on voit clairement que le RO diminue lorsque le débit d'air insufflé augmente.

Cette diminution de rendement peut s'expliquer par une aire interfaciale plus faible lorsque le débit d'air par diffuseur augmente, la taille des bulles pouvant être plus grande à la sortie des diffuseurs. Par contre, il semblerait que les phénomènes de coalescence et de cisaillement ne soient pas influencés par le débit d'air.

Station d'épuration de Sedrata :

La station d'épuration de la ville de Sedrata de 100 000 EH est destinée à traiter les eaux usées domestiques avant leur rejet à l'amont de la cuvette de Oued Cherf.

Bassin d'aération:

La station est réalisée avec deux bassins d'aération cylindriques dont les dimensions sont les suivantes:

- Diamètre : 41.00 m
- Hauteur d'eau: 6.00 m
- Volume unitaire: 7560 m<sup>3</sup>
- Volume totale: 15120 m<sup>3</sup>

A- Les bassins cylindriques

VI.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation

L'influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation dans le bassin d'aération de la station de Sedrata de 100 000 EH, est basée sur plusieurs paramètres de conception et de fonctionnement qui sont présentés dans le tableau (28).

L'équation 23 permet de calculer le débit d'air nécessaire pour obtenir cet apport horaire en bassin cylindrique, en prenant en compte les caractéristiques du couple bassin/système d'aération choisi. Les mêmes étapes de calcul appliquées à la station d'épuration d'Annaba.

**Tableau 28 :** Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération:

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Hauteur d'immersion	h	6.00	m
Volume du bassin d'aération	V	7560	m <sup>3</sup>
La charge nominale de temps de pluie	DBO <sub>5</sub>	4500	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Charge volumique	Cv	0.30	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Densité de diffuseur	DD	0.05	-
La quantité d'oxygène à apporter	AHp	500	kg d'O <sub>2</sub> /h
Disque de surface percée	Si	0.04	m <sup>2</sup>

**VI.1.1.1. Cas 1. Diffuseurs disposés en couverture plancher (Sa = S) :**

1-Calcul de la surface du bassin (S) :

$$S=1260 \text{ m}^2, D=41\text{m}$$

2 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s=10.74\text{mg/l}$$

3 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 6.15 \text{ h}^{-1}$$

4 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 63.00 \text{ m}^2$$

5- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ )

5- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ )

Disque de surface percée de  $0.04 \text{ m}^2$ .

$$S_i=0.04 \text{ m}^2$$

6 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$$n = 1575, \text{ le nombre de diffuseur retenu est de } 1584$$

7 -  $S_a = S = 1260 \text{ m}^2$  (couverture plancher)

8 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

$$Q_G = 5050.23 \text{ m}^3/\text{h}.$$

.Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 3.19 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 4.00 \text{ m/h}$$

9 - Vérification du domaine de validité des équations:

**Tableau 29 :** Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (cylindre  $S_a = S$ )

DD	DD <sub>1</sub>	D/h	H/h	Re	Fr x10 <sup>-9</sup>
0.05	0.05	6.83	1.00	6666.80	21.06

Tableau 29 - Nombres sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (cylindre,  $S_a = S$ ).

Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 4).

10 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

$$RO_s/m = 5.84 \text{ \%}/m$$



**Figure 32 :** Diffuseurs disposés en couverture plancher. (Type I)

**VI.1.1.2. Cas 2. Diffuseurs disposés sur 1 module (Sa < S)**

1-Calcul de la surface du bassin (S) :

$$S = 1260 \text{ m}^2, D = 41\text{m}$$

2 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s = 10.74 \text{ mg/l}$$

3 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 6.15 \text{ h}^{-1}$$

4 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 63.00 \text{ m}^2$$

5-Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ )

Disque de surface percée de  $0.04 \text{ m}^2$ .

$$S_i = 0.04 \text{ m}^2$$

6 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$$n = 1575, \text{ le nombre de diffuseur retenu est de } 1584$$

7 - En considérant un module de 2.4m de large et de 12.00m de longueur, on peut proposer

8 modules de 198 de diffuseurs correspond à une surface aérée de  $S_a = 230.40 \text{ m}^2$  (disposition modulaire  $S_a/S = 0.18$ )

8 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

$$Q_G = 6404.54 \text{ m}^3/\text{h}.$$

- Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 4.04 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 5.08 \text{ m/h}$$

9 - Vérification du domaine de validité des équations:



**Figure 33 : Diffuseurs disposés sur un module (Type II)**

**Tableau 30 :** Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (cylindre  $S_a < S$ )

DD	DD <sub>1</sub>	D/h	H/h	Re	Fr x10 <sup>-9</sup>
0.05	0.27	6.83	1.00	8454.61	33.86

Tableau 30 - Nombres sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (cylindre,  $S_a < S$ ).

Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 4).

10 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

$$ROs/m = 4.61 \text{ \%/m}$$

#### VI.1.1.3. Commentaire:

Le calcul illustre la supériorité de la disposition plancher par rapport à la disposition modulaire, A nombre de diffuseurs donné, les performances d'oxygénation obtenues sont meilleures dans le premier cas.

Dans le cas où les diffuseurs ne couvrent pas tout le radier, DA SILVA-DEZONZIER a montré qu'un regroupement des raquettes favoriserait l'efficacité de l'aération (augmentation de l'AH).

Cela s'explique par la présence de grands spiral-flows qui diffèrent selon la disposition des raquettes. L'idéal est de répartir uniformément les diffuseurs sur tout le radier du bassin. Cela favorise le transfert d'oxygène, par suppression ou atténuation des grands spiral flows.

**VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 31.

**Tableau 31 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Surface du bassin d'aération	S	1260	m <sup>2</sup>
<b>Hauteur d'immersion</b>	h	var	m
Surface totale des membranes	Sp	63.00	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	1260	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	5050.23	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	4.00	m/h
Densité de diffuseur	DD	0,05	

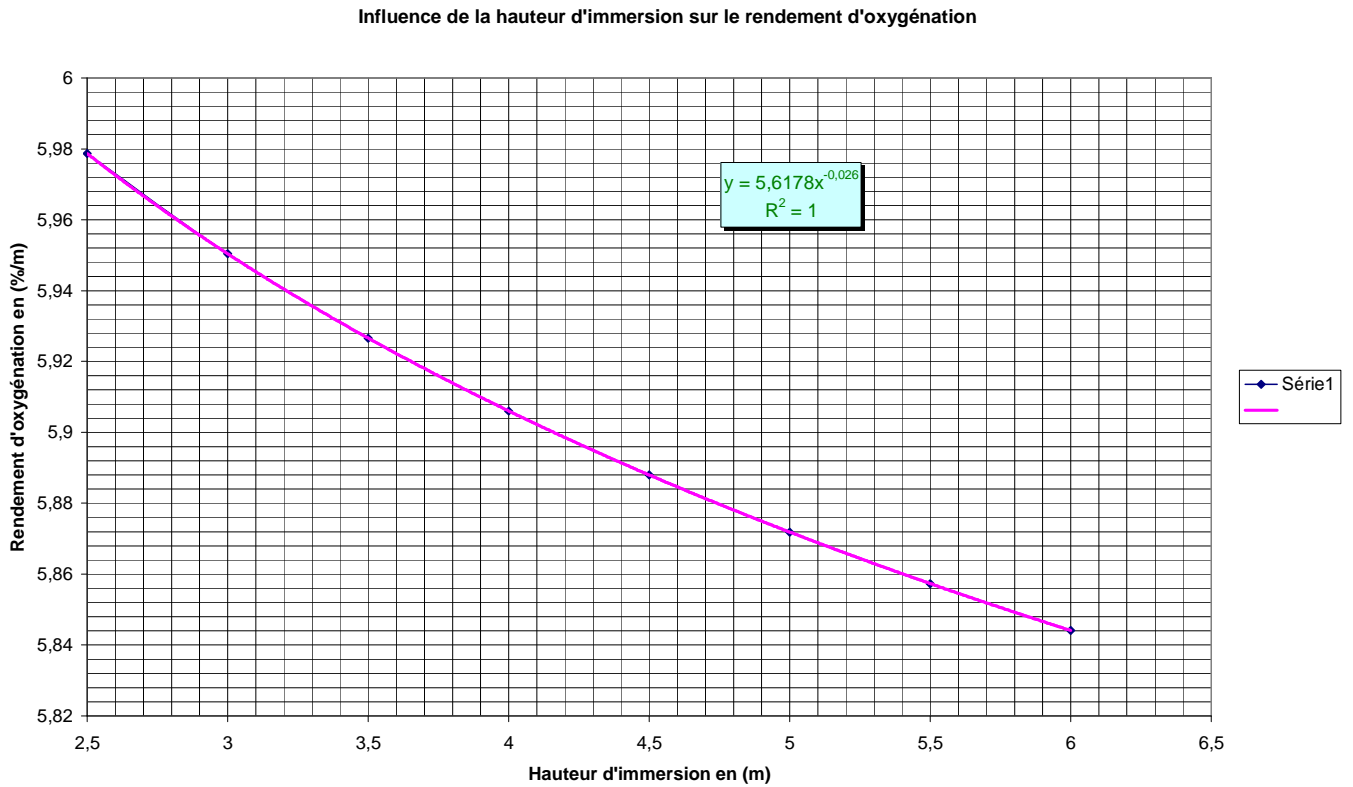
Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (24) après remplacement des paramètres on obtient la formule (35) qui donne les résultats présenter dans le tableau 32.

$$ROs/m = 5.61 * h^{-0.026} \quad (35)$$

**Tableau 32 :** Valeurs des hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.

Hauteur d'immersion h (m)	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
Rendement d'oxygénation ROs(%/m)	5,98	5,95	5,93	5,90	5,88	5,87	5,85	5,84





**Figure 34 : Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata**

**VI.1.2.1. Commentaire:**

D'après le graphe précédent dans la figure 34 qui présente la variation de la hauteur d'immersion et le rendement d'oxygénation on voit que le rendement d'oxygénation décroît lorsque la hauteur d'immersion croît, par suite de l'appauvrissement des bulles d'air en oxygène.

**VI.1.3. Densité de diffuseur :**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 33.

**Tableau 33 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.

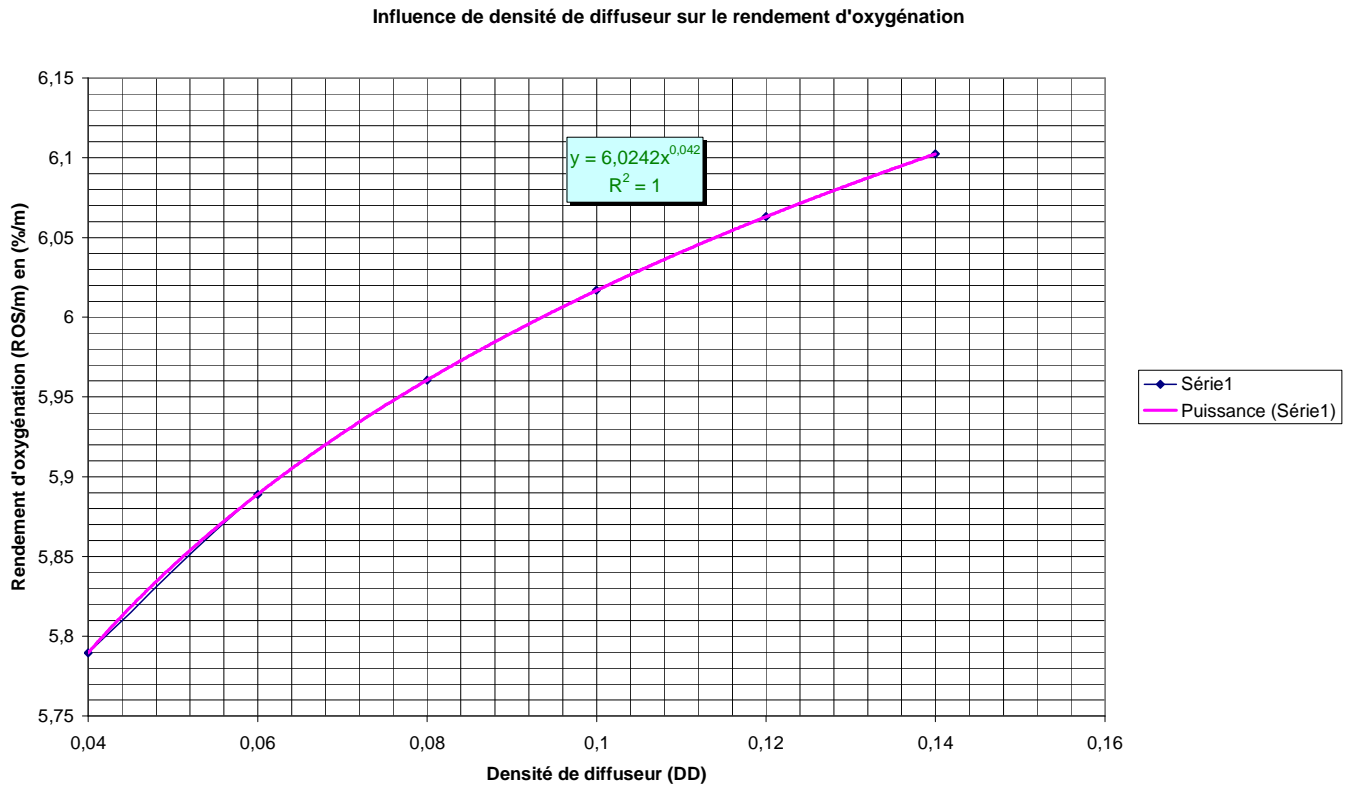
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Surface du bassin d'aération	S	1260	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	6.00	m
Surface totale des membranes	Sp	63.00	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	230.40	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	5050.23	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	4.00	m/h
<b>Densité de diffuseur</b>	<b>DD</b>	<b>var</b>	<b>-</b>

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (4) après remplacement des paramètres on obtient la formule (36) qui donne les résultats présenter dans le tableau 34.

$$ROs/m=6.02*DD^{0.042} \quad (36)$$

**Tableau 34 :** Valeurs de densité de diffuseur de diffuseur et rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.

Densité de diffuseur DD	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14
Rendement d'oxygénation ROs/m en (%/m)	5,79	5,89	5,96	6.02	6.06	6.10



**Figure 35 : Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation**

**VI.1.3.1. Commentaire:**

D'après le graphe dans la figure 35 qui présente la variation de la densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation on voit clairement que la relation entre ces deux paramètres c'est une fonction croissante et que plus la densité de diffuseur est importante, le rendement d'oxygénation est meilleur. Cela s'explique en considérant les petits et micro spiral-flows. Plus la densité de diffuseurs est élevée, moins l'eau dispose d'espace, entre les bulles d'air, pour redescendre au fond du bassin. Celle ci freine alors les bulles d'air ascendantes et augmente leur temps de séjour. Une densité importante de diffuseurs réduit donc l'effet néfaste des petits spiral-flows.

B - Pour les Chenal d'aération

VI.1.1. Influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation:

On fait les mêmes étapes de calcul avec les mêmes données de la station d'épuration de Sedrata pour la forme géométrique du bassin d'aération "chenaux d'aération" pour montrer l'influences des différentes paramètres hydrauliques sur le rendement d'oxygénation de cette forme.

L'influence de la disposition des modules de diffuseurs sur le rendement d'oxygénation dans le bassin d'aération de la station de Sedrata de 100 000 EH, est basée sur plusieurs paramètres de conception et de fonctionnement qui sont présenté dans le tableau (35).

Les équations 26 et 28 permettent de calculer le débit d'air nécessaire pour obtenir cet apport horaire en chenal d'aération respectivement de type I et II, en prenant en compte les caractéristiques du couple bassin/système d'aération choisi. Les différentes étapes à suivre peuvent se résumer ainsi :

**Tableau 35 :** Les paramètres de conception et de fonctionnement d'un bassin d'aération de la station de Sedrata :

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Hauteur d'immersion	h	6.00	m
Volume du bassin d'aération	V	7560	m <sub>3</sub>
Diamètre intérieur	Dint	20	m
La charge nominale de temps de pluie	DBO <sub>5</sub>	4500	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Charge volumique	Cv	0.30	Kg de DBO <sub>5</sub> /jour
Densité de diffuseur	DD	0.05	-
La quantité d'oxygène à apporter	AHs	500	kg d'O <sub>2</sub> /h
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Plaques de surface percée	Si	0.04	m <sup>2</sup>

**VI.1.1.1. Cas 1.Chenal d'aération de type I (diffuseurs disposes sur l'ensemble du radier)**

1-Calcul de la surface du chenal (S) :

$$S = 1260.00 \text{ m}^2$$

2 -Calcul du diamètre extérieur du chenal:

$$D_{\text{ext}} = 45.00 \text{ m}$$

3 - Calcul de la largeur du chenal:

$$L = 12.50 \text{ m}$$

4 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s = 10.87 \text{ mg/l}$$

5 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 6.08 \text{ h}^{-1}$$

6 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 63.00 \text{ m}^2$$

7- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ ):

Disque de surface percée de  $0.04 \text{ m}^2$

$$S_i = 0.04 \text{ m}^2$$

8 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$$n = 1575, \text{ le nombre de diffuseur retenu est de } 1584.$$

9 - En considérant un module de 2,4 m de large qui couvre la quasi-totalité de la largeur du chenal ( $L - 0,5 \text{ m}$ ), on peut proposer 8 modules de 198 diffuseurs, correspondant a une surface aérée de  $S_a = 230.4 \text{ m}^2$

10 - Choix d'une vitesse horizontale de circulation ( $U_c$ ) ;

$$U_c = 30 \text{ cm/s}$$

11 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

$$Q_G = 6409.09 \text{ m}^3/\text{h}.$$

- Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 4.05 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 5.09 \text{ m/h}$$

12 - Vérification du domaine de validité des équations:

**Tableau 36 :** Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (chenal de Type I).

DD	DD <sub>1</sub>	S/h <sup>2</sup>	L/h	H/h	Ang	U <sub>c</sub> /U <sub>G</sub>	Re	Fr x10 <sup>-9</sup>
0.05	0.27	35.00	2.08	1.00	1.5	5.89	8460.61	33.91

Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 6).

13 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

ROs/m=4.53 %/m

**VI.1.1.2. Cas 2.Chenal d'aération de type II (diffuseurs disposés sur la moitié du radier)**

1-Calcul de la surface du chenal (S) :

$$S = 1260.00 \text{ m}^2$$

2 -Calcul du diamètre extérieur du chenal:

$$D_{\text{ext}} = 45.00 \text{ m}$$

3 - Calcul de la largeur du chenal:

$$L = 12.50 \text{ m}$$

4 - Calcul de la concentration en oxygène dissous à saturation du bassin:

$$C_s = 10.87 \text{ mg/l}$$

5 - Calcul du  $k_L a_{20}$ :

$$K_L a_{20} = 6.08 \text{ h}^{-1}$$

6 - Calcul de la surface totale des membranes:

$$S_p = 63.00 \text{ m}^2$$

7- Choix du diffuseur (de surface unitaire perforée  $S_i$ ):

Disque de surface percée de  $0.04 \text{ m}^2$

$$S_i = 0.04 \text{ m}^2$$

8 - Calcul du nombre (n) de diffuseurs à installer:

$n = 1575$ , le nombre de diffuseur retenu est de 1584.

9 - En considérant un module de 2,4 m de large qui couvre la quasi-totalité de la largeur du chenal ( $L - 0,5 \text{ m}$ ), on peut proposer 8 modules de 198 diffuseurs, correspondant a une surface aérée de  $S_a = 230.4 \text{ m}^2$

10 - Choix d'une vitesse horizontale de circulation ( $U_c$ ) ;

$$U_c = 30 \text{ cm/s}$$

11 - Calcul de  $Q_G$  et le débit d'air par diffuseur :

$$Q_G = 6736.21 \text{ m}^3/\text{h}.$$

- Calcul de débit d'air par diffuseur:

$$q_G = 4.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$U_G = 5.35 \text{ m/h}$$

12 - Vérification du domaine de validité des équations:

**Tableau 37** : Nombre sans dimension pour la station d'épuration de Sedrata de 100 000 EH (chenal de Type II).

DD	DD <sub>1</sub>	S/h <sup>2</sup>	L/h	H/h	Ang	U <sub>c</sub> /U <sub>G</sub>	Re	Fr x10 <sup>-9</sup>
0.05	0.27	35.00	2.08	1.00	1.5	5.61	8892.44	37.46

Les nombres sans dimension sont bien compris dans le domaine de validité des équations (cf. tableau 6).

13 - Calcul du rendement d'oxygénation standard :

ROs/m=4.34 %/m

#### VI.1.1.3. Commentaire:

Cet exemple montre la meilleure efficacité de transfert d'oxygène dans les chenaux de type I plutôt que de type II, il semblerait que le positionnement des raquettes de diffuseurs ait une influence sur le rendement d'oxygénation.

Dans le cas où les diffuseurs ne couvrent pas tout le radier, DA SILVA-DEZONZIER a montré qu'un regroupement des raquettes favoriserait l'efficacité de l'aération (augmentation de l'AH).

Cela s'explique par la présence de grands spiral-flows qui diffèrent selon la disposition des raquettes. L'idéal est de répartir uniformément les diffuseurs sur tout le radier du bassin. Cela favorise le transfert d'oxygène, par suppression ou atténuation des grands spiral flows.



**VI.1.2. La hauteur d'immersion de diffuseurs:**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 38.

**Tableau 38 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.

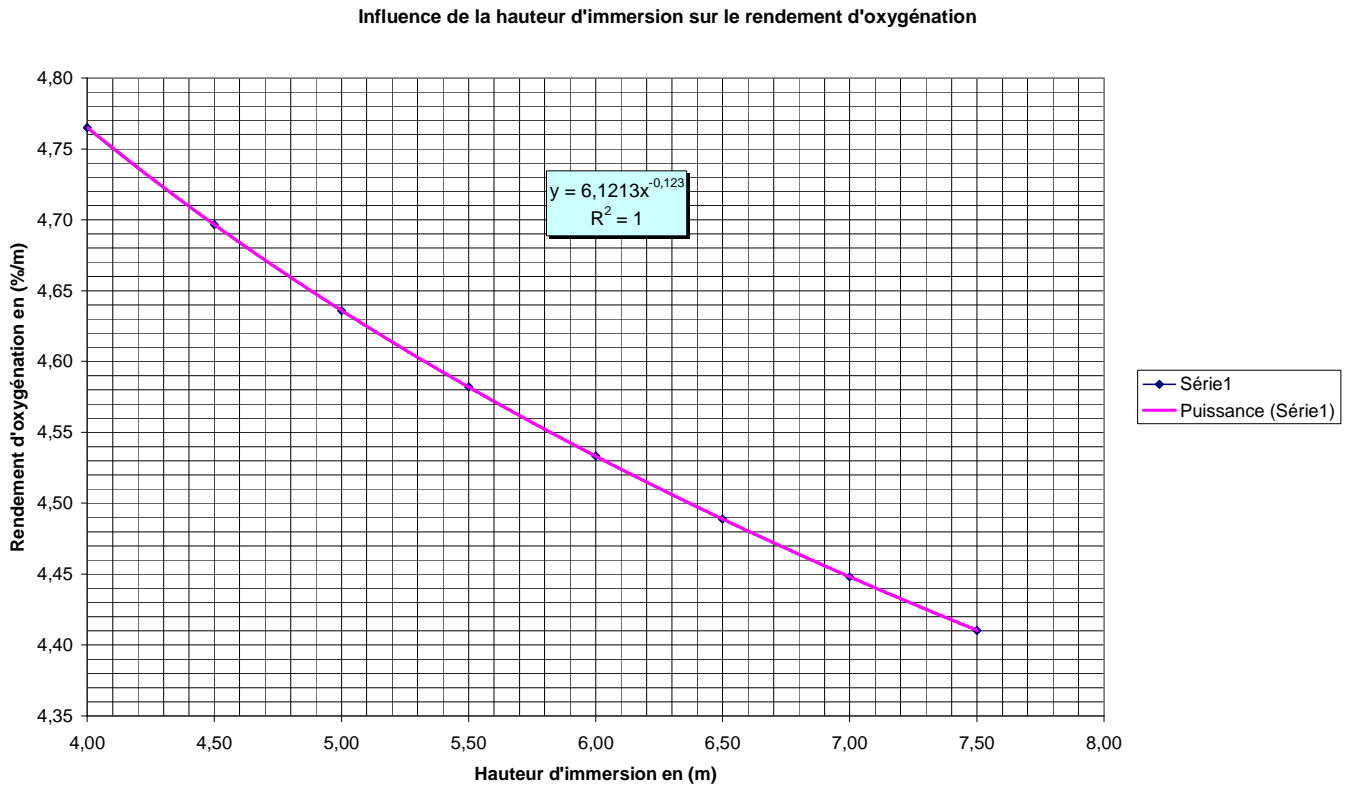
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Surface du bassin d'aération	S	1260	m <sup>2</sup>
<b>Hauteur d'immersion</b>	<b>h</b>	<b>var</b>	<b>m</b>
Surface totale des membranes	Sp	63.00	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	230.4	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	QG	6409.09	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	UG	5,08	m/h
Densité de diffuseur	DD	0,05	-
Largeur de chenal	L	12.50	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	Uc	30	cm/s

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (27) après remplacement des paramètres on obtient la formule (44) qui donne les résultats présenter dans le tableau 39.

$$ROs/m = 6.12 * h^{-0.123} \quad (44)$$

**Tableau 39 :** Valeur de la hauteur d'immersion et rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.

Hauteur d'immersion h (m)	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
Rendement d'oxygénation ROs(%/m)	4.77	4.70	4.64	4.58	4.53	4.49	4.45	4.41



**Figure 36 : Influence de la hauteur d'immersion sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata**

**VI.1.2.1. Commentaire:**

D'après le graphe précédent dans la figure 36 qui présente la variation de la hauteur d'immersion et le rendement d'oxygénation on voit que le rendement d'oxygénation décroît lorsque la hauteur d'immersion croit, par suite de l'appauvrissement des bulles d'air en oxygène.

**VI.1.3. Densité de diffuseur :**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 40.

**Tableau 40 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.

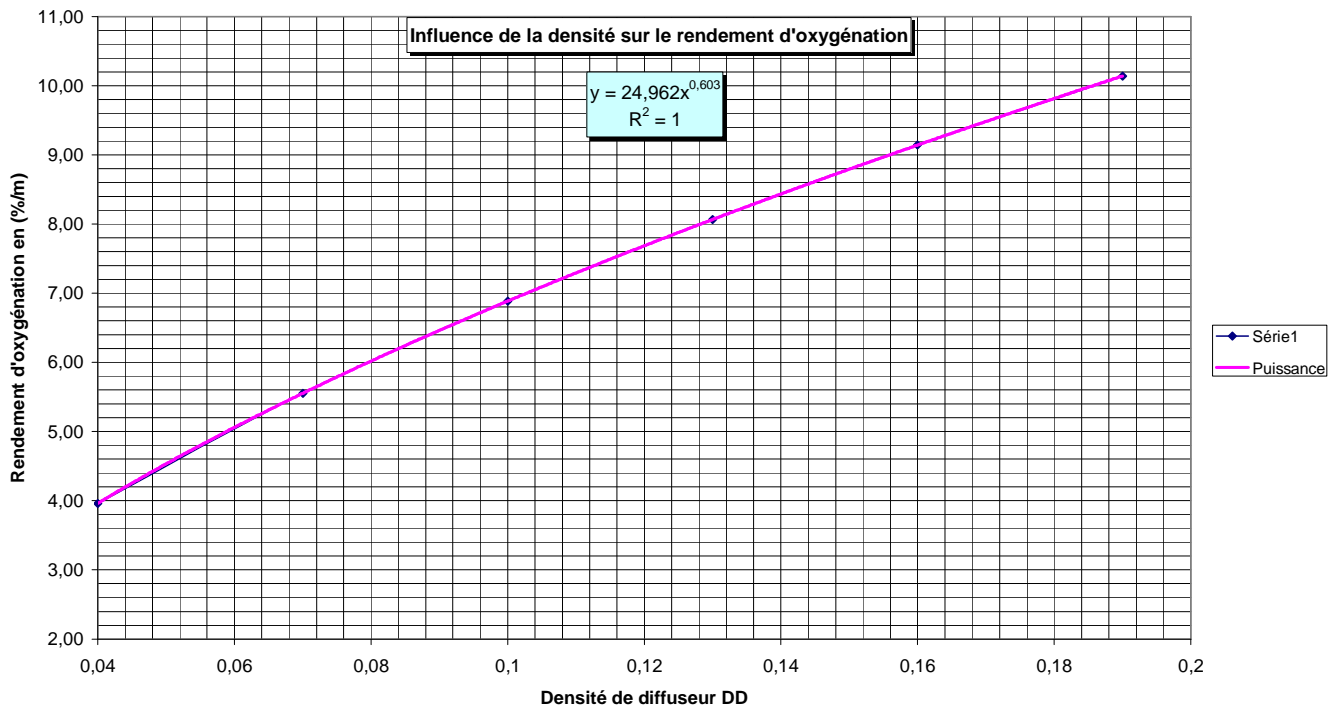
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Surface du bassin d'aération	S	1260	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	6.00	m
Surface totale des membranes	Sp	63.00	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	230.40	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	6409.09	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	5,08	m/h
<b>Densité de diffuseur</b>	<b>DD</b>	<b>var</b>	<b>-</b>
Largeur de chenal	L	12.50	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	U <sub>c</sub>	30	cm/s

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (7) après remplacement des paramètres on obtient la formule (45) qui donne les résultats présenter dans le tableau 41.

$$ROs/m=6.02*DD^{0.042} \quad (45)$$

**Tableau 41 :** Valeurs de densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.

Densité de diffuseur DD	0,04	0,07	0,1	0,13	0,16	0,19
Rendement d'oxygénation ROs/m en (%/m)	3.96	5.55	6.89	8.07	9.14	10.14



**Figure 37 : Influence de la densité de diffuseur sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata**

**VI.1.3.1. Commentaire:**

D'après le graphe dans la figure 37 qui présente la variation de la densité de diffuseur et le rendement d'oxygénation on voit clairement que la relation entre ces deux paramètres c'est une fonction croissante et que plus la densité de diffuseur est importante, le rendement d'oxygénation est meilleur. Cela s'explique en considérant les petits et micro spiral-flows. Plus la densité de diffuseurs est élevée, moins l'eau dispose d'espace, entre les bulles d'air, pour redescendre au fond du bassin. Celle ci freine alors les bulles d'air ascendantes et augmente leur temps de séjour. Une densité importante de diffuseurs réduit donc l'effet néfaste des petits spiral-flows.

**VI.1.4. Influence de l'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs:**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 42.

**Tableau 42 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.

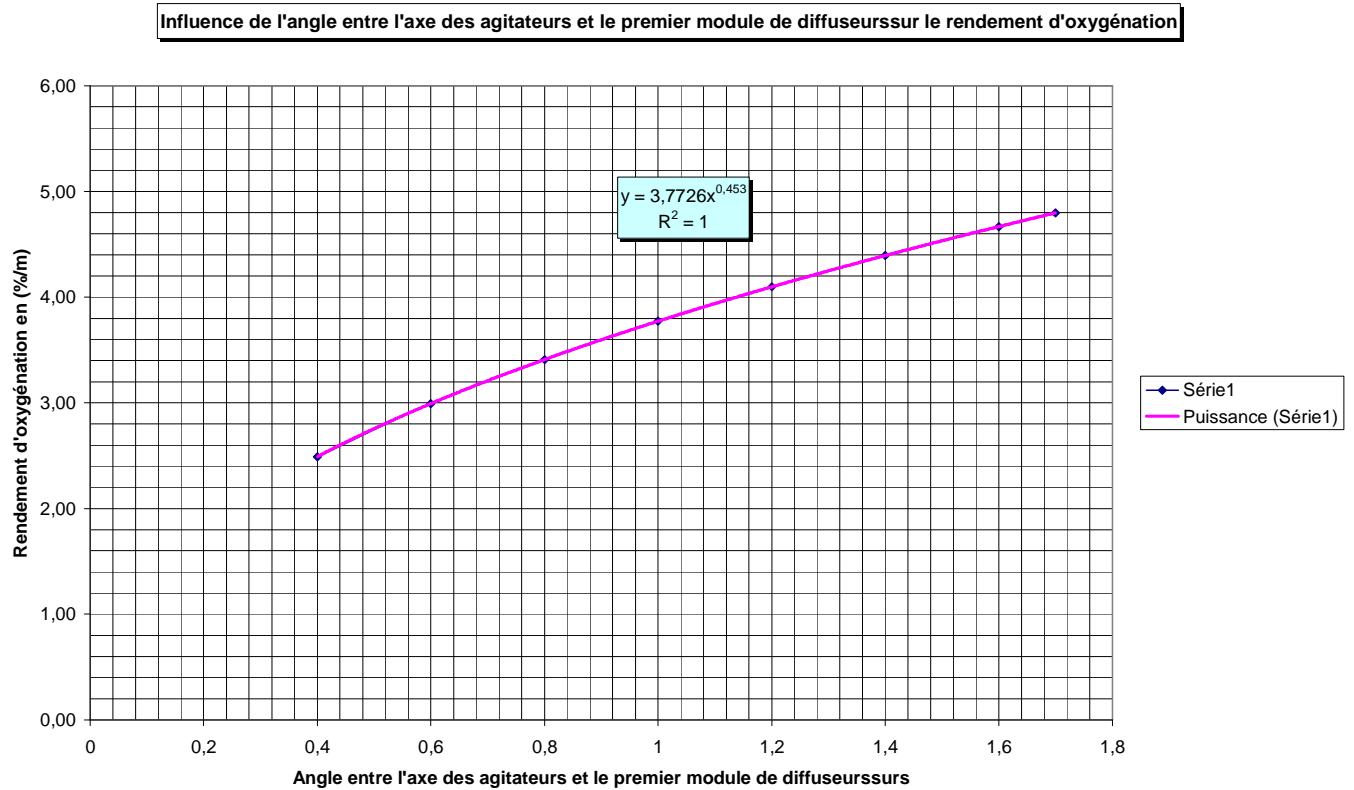
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Surface du bassin d'aération	S	1260	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	6.00	m
Surface totale des membranes	Sp	63.00	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	230.4	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	6409.09	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	5,08	m/h
Densité de diffuseur	DD	0.05	-
Largeur de chenal	L	12.5	m
<b>Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs</b>	<b>Ang</b>	<b>var</b>	<b>rad</b>
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	U <sub>c</sub>	30	cm/s

Les calculs ont été fait à l'aide de la formules du rendement d'oxygénation (7) après remplacement des paramètres on obtient la formule (46) qui donne les résultats présenter dans le tableau 43.

$$ROs/m=4.62*Ang^{0.453} \quad (46)$$

**Tableau 43 :** des valeurs d'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.

Ang en (rad)	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,7
ROs/m en (%/m)	2.49	2.99	3.41	3.77	4.10	4.39	4.67	4.80



**Figure 38 : Influence de l'angle de l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseur de la station de Sedrata**

**VI.1.4.1. Commentaire:**

Le graphe précédent (Fig 38) montre que le rendement RO est une fonction croissante de l'angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs. Et que la variation des valeurs de l'angles dans l'intervalle (0.4-1.7) rad accroît le rendement d'oxygénation à environ de 40 %.

Le positionnement des agitateurs par rapport aux diffuseurs influe sur le rendement d'oxygénation. Pour maximiser ces dernières, les diffuseurs doivent être placés suffisamment loin des agitateurs. Le dispositif d'aération placé trop près des hélices empêche en effet le bon établissement de l'écoulement.

**VI.1.5.1. Influence de la vitesse horizontale sur le transfert d'oxygène**

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 44.

**Tableau 44 :** Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata :

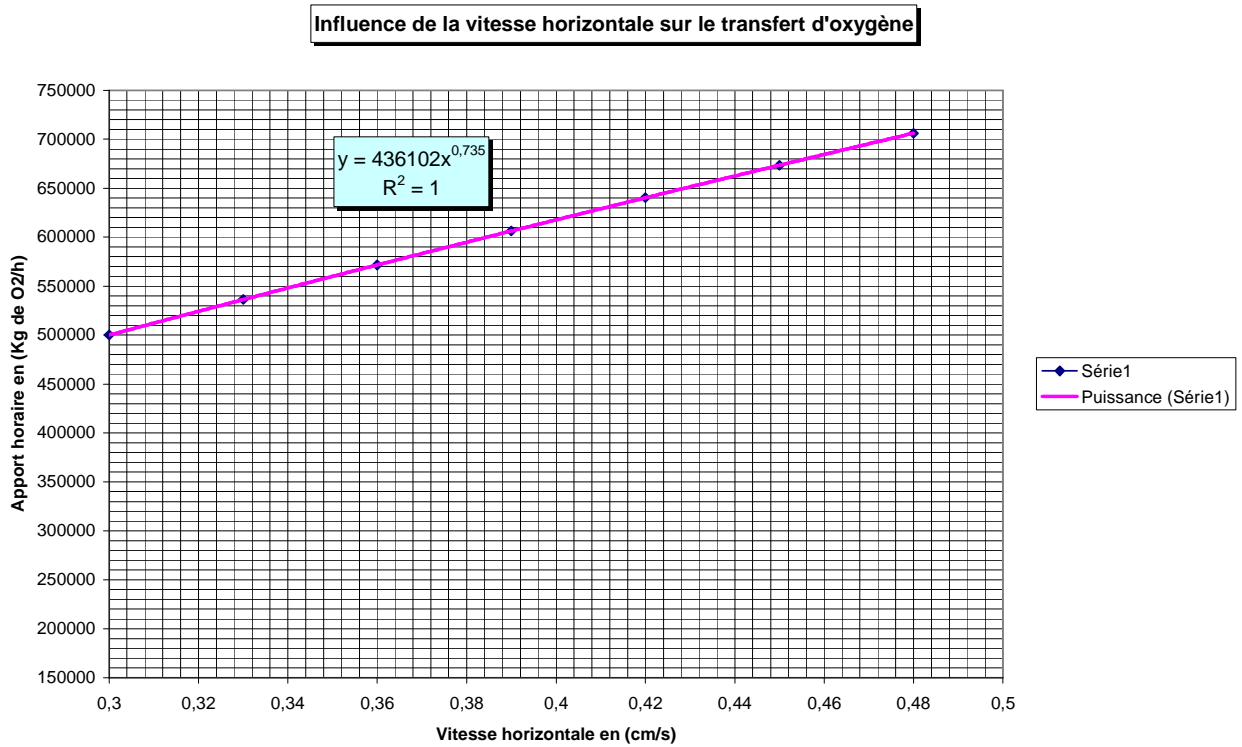
Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Surface du bassin d'aération	S	1260.00	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	6.00	m
Surface totale des membranes	Sp	63.00	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	Sa	230.40	m <sup>2</sup>
Débit d'air insufflé	Q <sub>G</sub>	6409.09	m <sup>3</sup> /h
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	5,08	m/h
Densité de diffuseur	DD	var	-
Largeur de chenal	L	12.5	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
<b>Vitesse de circulation horizontale de l'eau</b>	<b>U<sub>c</sub></b>	<b>var</b>	<b>cm/s</b>

Les calculs ont été fait à l'aide des formules de l'apport horaire (16), la formule du Coefficient de transfert d'oxygène (26) et la formule du rendement d'oxygénation (27) pour présenter l'influence de la vitesse de circulation de l'eau sur le transfert d'oxygène après remplacement des paramètres on obtient la formule (47) qui donne les résultats présenter dans le tableau 45.

$$AHs=436102*U_c^{0.735} \quad (47)$$

**Tableau 45 :** Valeurs de la vitesse de circulation de l'eau et l'apport horaire de la station de Sedrata.

Vitesse de circulation de l'eau U <sub>c</sub> en (cm/s)	30	33	36	39	42	45	48
Apport Horaire AHs en (Kg de O <sub>2</sub> /h)	500000	536282	571700	606343	640286	673592	706314



**Figure 39 : Influence de la vitesse de circulation de l'eau sur le transfert d'oxygène de la station de Sedrata**

**VI.1.5.2. Commentaire:**

Le graphe précédent (Fig 39) montre que l'apport horaire AH est une fonction croissante de la vitesse horizontale de circulation de l'eau. Et que la mise en rotation de l'eau comprise entre 0,35 et 0,48 m/s accroît le transfert d'oxygène à environ de 40 %.

Des études ont confirmé que le gain d'apport horaire en O<sub>2</sub> lorsque la vitesse passe de 0 à 0,40



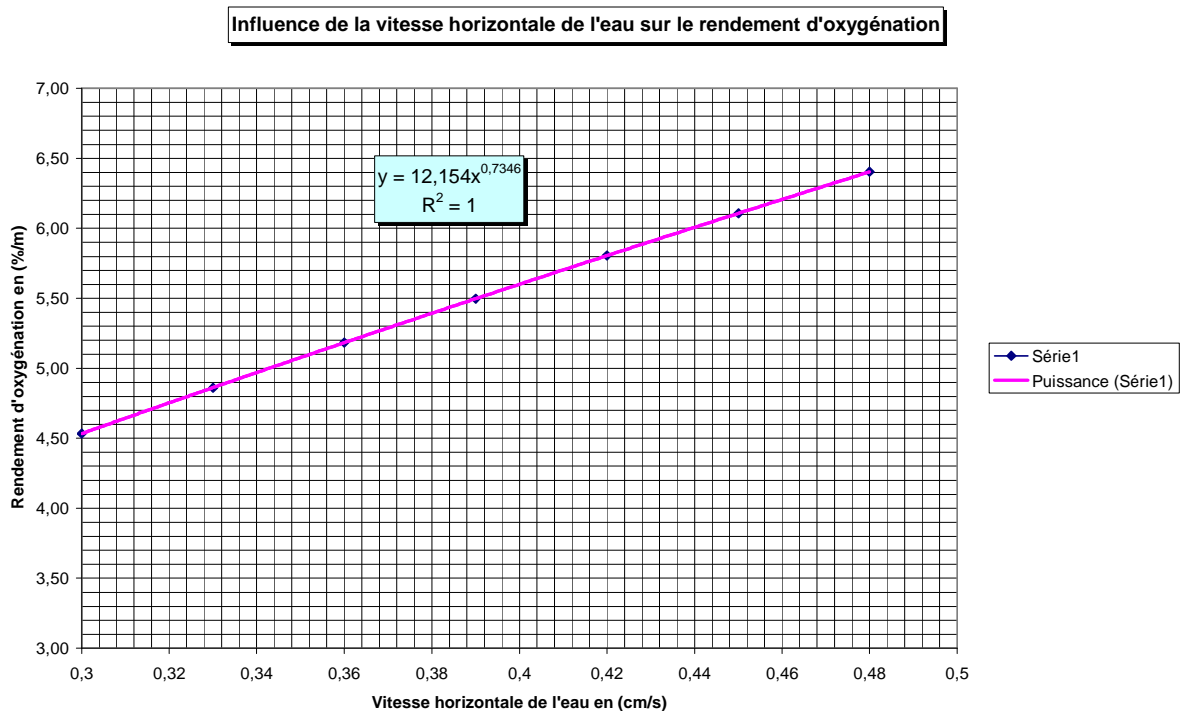
**VI.1.5.3. Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation**

Les calculs ont été fait à l'aide de la formule du rendement d'oxygénation (27) après remplacement des valeurs des paramètres hydraulique on trouve la formule (48) qui permet de présenter la variation de la vitesse et le rendement RO et les résultats de calculs sont présentés dans le tableau 46.

$$ROs/m=12.15*Uc^{0.735} \quad (48)$$

**Tableau 46 :** Valeurs de la vitesse horizontale de l'eau et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.

Vitesse de circulation de l'eau Uc en (cm/s)	30	33	36	39	42	45	48
Rendement d'oxygénation ROs en (%/m)	4.53	4.86	5.18	5.50	5.81	6.11	6.40



**Figure 40 :** Influence de la vitesse horizontale de l'eau sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata

**VI.1.5.4. Commentaire:**

D'après le graphe précédent qui présente la variation de la vitesse horizontale de l'eau et le rendement d'oxygénation on voit clairement que c'est une fonction croissante tel que le RO accroît lorsque la vitesse de circulation de l'eau augmente.

### VI.1.6. Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation

Les différents paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération sont présentés ci-dessous dans le tableau 47.

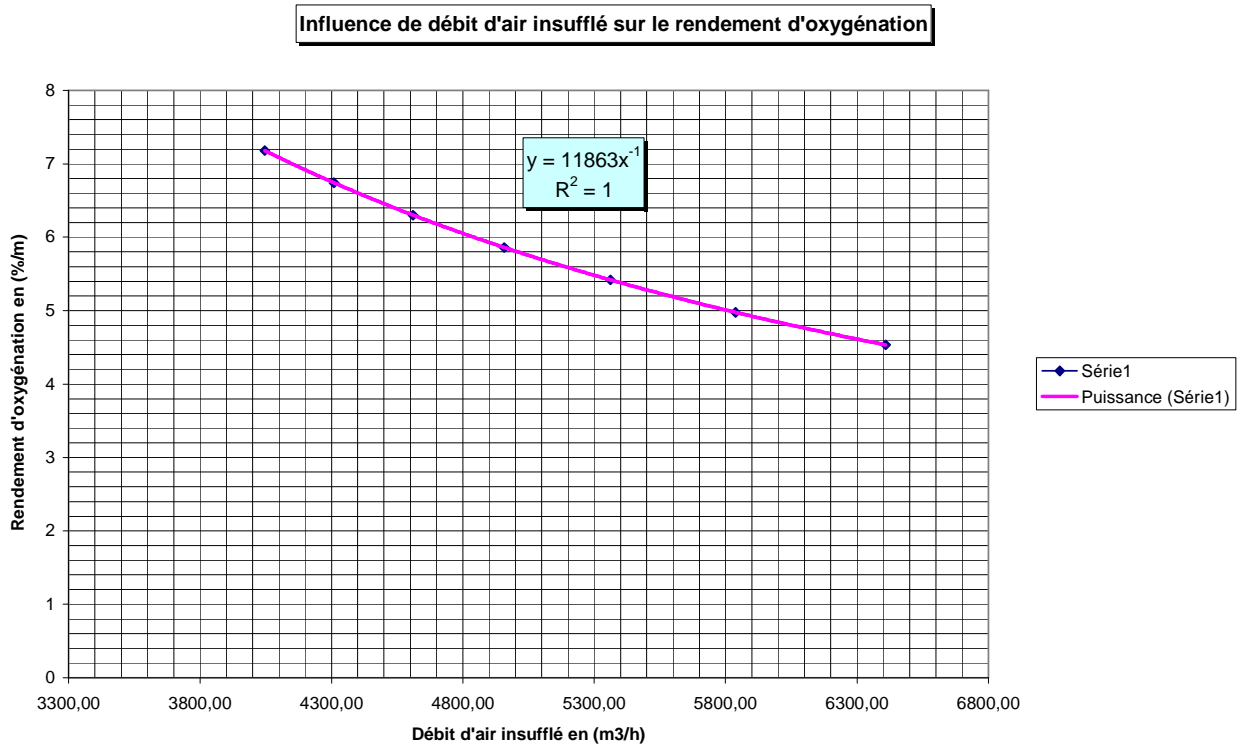
**Tableau 47** : Les paramètres hydrauliques de conception d'un bassin d'aération de la station de Sedrata.

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Hauteur d'eau	H	6.00	m
Surface du bassin d'aération	S	1260	m <sup>2</sup>
Hauteur d'immersion	h	6.00	m
Surface totale des membranes	S <sub>p</sub>	63.00	m <sup>2</sup>
Surface couverte par les modules de diffuseur	S <sub>a</sub>	230.40	m <sup>2</sup>
<b>Débit d'air insufflé</b>	<b>Q<sub>G</sub></b>	<b>var</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
Vitesse superficielle	U <sub>G</sub>	5,08	m/h
Densité de diffuseur	DD	0.05	-
Largeur de chenal	L	12.50	m
Angle entre l'axe des agitateurs et le premier module de diffuseurs	Ang	1.5	rad
Vitesse de circulation horizontale de l'eau	U <sub>c</sub>	var	cm/s

Les calculs des débits d'airs insufflé en fonction du rendement d'oxygénation ont été fait pour différentes vitesses de circulation à l'aide de la formule de rendement d'oxygénation (27) et les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 48.

**Tableau 48** : Valeurs de débit d'air insufflé et le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata.

Vitesse de circulation de l'eau U <sub>c</sub> en (cm/s)	30	33	36	39	42	45	48
Débit d'air Q <sub>G</sub> en (m <sup>3</sup> /h)	6409	5838	5361	4957	4610	4309	4045
Rendement d'oxygénation RO <sub>s</sub> /m en (%/m)	4.53	4.97	5.42	5.86	6.30	6.74	7.18



**Figure 41 : Influence de débit d'air sur le rendement d'oxygénation de la station de Sedrata**

**VI.1.6.1. Commentaire:**

D'après le graphe qui présente la variation de débit d'air insufflé et le rendement d'oxygénation on voit clairement que le RO diminue lorsque le débit d'air insufflé augmente.

Cette diminution de rendement peut s'expliquer par une aire interfaciale plus faible lorsque le débit d'air par diffuseur augmente, la taille des bulles pouvant être plus grande à la sortie des diffuseurs. Par contre, il semblerait que les phénomènes de coalescence et de cisaillement ne soient pas influencés par le débit d'air.

## CONCLUSION GENERALE

Le traitement biologique à boues activées est le procédé le plus couramment utilisé en Algérie. Il utilise les bactéries qui représentent la biomasse afin de dégrader la pollution représentée par le substrat. Ces réactions sont aérobies, elle nécessitent donc de l'oxygène.

L'épuration est une synergie entre la présence d'oxygène dans le bassin d'aération, et l'apport constant de pollution carbonée, "nourriture" des bactéries, via les effluent et à un brassage optimum (mise en contact de la biologie avec le substrat).

L'oxygène est le facteur primordial du bon fonctionnement du bassin, il va conditionner la croissance des bactéries qui vont dégrader la pollution. Une bonne aération optimise la dépollution. cependant, l'oxygène est fourni par un système d'aération.

Les différents systèmes d'aération utilisés de nos jours dans les installations d'épuration sont:

- Aérateur de surface ;
- Système à injection d'air;
- Système à base de pompe.

Ces dispositifs ont généralement une double fonction : l'aération mais aussi le brassage du contenu d'un bassin pour maintenir en suspension les microorganismes et permettre les échanges d'oxygène et de matières nutritives entre liquide et bactérie.

L'objectif de cette étude était de montrer que la bonne conception du bassin d'aération est nécessaire pour avoir les meilleurs rendements de degré d'épuration des eaux usées, pour cette raison on a étudié l'influence des paramètres hydrauliques (Débit d'air -densité de diffuseur - vitesse de circulation horizontale de l'eau -Hauteur d'immersion- disposition des modules...) du bassin d'aération équipé par diffuseur d'air à membrane sur le rendement d'oxygénation,

L'étude a été faite sur deux formes géométriques de bassin d'aération de deux stations d'épurations dans l'Est Algérien qui fonctionnent au même procédé à savoir boue activée qui utilisent le système d'aération par insufflation d'air fine bulle à membrane mais de différente capacité, se sont la station d'épuration d'Annaba de 580 700 EH et de Sedrata de 100 000 EH.

L'interprétation des résultats de calculs, a permis de conclure que:

- Le positionnement des raquettes de diffuseurs ait une influence sur le rendement d'oxygénation, et que le meilleur rendement étant donnée par la disposition plancher que disposition modulaire donc si possible, le dispositif d'insufflation d'air devra être installé sur tout le radier du bassin. Dans le cas contraire, il est préférable de regrouper les raquettes, plutôt que de les répartir uniformément sur le bassin.
- Le rendement d'oxygénation décroît lorsque la hauteur d'immersion croît, par suite de l'appauvrissement des bulles d'air en oxygène donc il faut éviter les grandes hauteurs.
- Le positionnement des agitateurs par rapport aux diffuseurs influe sur le rendement d'oxygénation. Pour maximiser ce dernier, les diffuseurs doivent être placés suffisamment loin des agitateurs. Le dispositif d'aération placé trop près des hélices empêche en effet le bon établissement de l'écoulement.

- La densité et le débit d'air de diffuseur ont également une influence sur le rendement d'oxygénation. Pour un débit d'air donné fourni au bassin d'aération, il est préférable d'avoir une forte densité de diffuseurs et un faible débit d'air par diffuseurs.
- Avec un dispositif d'insufflation d'air, le transfert d'oxygène sera donc optimisé s'il existe une vitesse horizontale de circulation comprise entre 0,35 et 0,48 m/s. Les études montrent que cette vitesse doit être au moins de 0,3 m/s en moyenne en eau claire pour que ses effets soient perceptibles. L'AH sera amélioré de 40 à 50% en eau claire, pour des bassins de type chenaux.

**ANNEXE:**

**Annexe1- Calcul de la surface des poreux:**

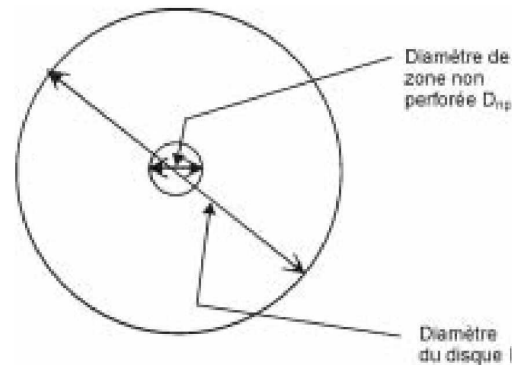
La surface des poreux est calculée comme le produit du nombre de diffuseurs par la surface perforée de chaque diffuseur.

La surface perforée est fonction de la forme des diffuseurs.

**Surface perforée des disques**

La surface perforée d'un disque s'écrit :

$$S_{perf} = \frac{\pi}{4} (D_d^2 - D_{np}^2)$$



**Annexe 2- Calcul des nombres sans dimension:**

Données numériques

Masse volumique de l'eau à 20°C

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

Viscosité cinématique de l'eau à 20 °C

$$\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

Accélération de la pesanteur

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Nombre de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho U_G h}{\mu} = \frac{998 U_G h}{0.001 * 3600} = 277.22 U_G h$$

Avec:

La vitesse  $U_G$  en m/h

La hauteur d'immersion  $h$  en m.

Nombre de Froude :

$$Fr = \frac{U_G^2}{gh} = \frac{U_G^2}{3600^2 * 9.81h} = 2.8 * 10^{-5} \frac{U_G^2}{h}$$

Avec:

La vitesse  $U_G$  en m/h

La hauteur d'immersion  $h$  en m.

**REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE:**

ABUSAM A., KEESMAN K.J, MEINEMA K., VAN STRATEN G. « Oxygen transfer rate estimation in oxidation ditches from clean water measurements », Water research, vol.35, N°8, 2001 p2058-2064.

BOUMANSOUR B.E., OUNAIES F., ROCHE N., VASEL J.L., « Tracer gas method characterisation of oxygen transfer in dense membrane reactors », In «3eme Congrès International de recherche- L'eau et sa réutilisation », INSA Toulouse, 9-10 novembre 1999, p 77-82.

CEMAGREF, Amélioration du traitement de l'azote des effluents, 1989

CHATELIER P., «Simulation de l'hydrodynamique des chenaux d'oxydation par l'utilisation des équations de Navier-Stokes associées au modèle k-E : évaluation de la vitesse de circulation », Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 1991, 22Op.

COCKX A. \*, SIMON.S \*\*, DO-QUANG.Z \*, CHATELLIER.P \*, LINE.A« Application de la CFD en traitement biologique des eaux -Simulation de l'hydrodynamique diphasique et du transfert gaz-liquide »,2000, 6p.

COCKX A., DO-QUANG Z, ADDIC J.M., LINE A., ROUSTAN M., , Global and local mass transfert coefficients in waste water treatment process by computational fluid dynamics », Chemical Engineering San processing, N°40, 2001, P 187-194.

CTGREF (Centre Technique du Génie Rural, des Eaux et Forêts), «Les performances des systèmes d'aération des stations d'épuration - Méthodes et mesures de résultats », 1980, 123p.

DA SIL VA,DERONZIER G., «Éléments d'optimisation du transfert d'oxygène par fines bulles et agitateur séparé en chenal d'épuration ». Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1994, 126p

DJEBBAR R.,« Contribution à l'étude par des approches globales et locales de l'hydrodynamique des dispersions et du transfert de matière gaz- liquide dans une cuve agitée mécaniquement », thèse de doctorat, INSA Toulouse, 1996, 180p

DUCHENE P. et HEDUIT A., «Aération et brassage en stations d'épuration : efficacité des divers systèmes », Informations techniques du Cemagref, 1990, vol. 78, n° 2, 1990, 7p.

FAUQUET T. «Séparation du brassage et de l'aération sur un chenal d'oxydation. Étude du transfert d'oxygène et de la circulation », Mémoire de fin d'étude ENITRTS, 1988, 46p plus annexes

F. MUDDE R, SIMONIN O., « Two and three dimensional simulations of a bubble plume using a two-fluid model », Chemical Engineering Science, N°54, 1999, P 5061-5069.

FNDAE, «Insufflation d'air fines bulles, application aux stations d'épuration en boues activées des petites collectivités », document technique FNDAE N°26, 2002, 53p.



FUJIE K. «Hydrodynamics and oxygen transfert characteristics in activated sludj aeration tanks », Water Science and Technology, 26, N°3 et 4, 1992, P 791-800,

GILLOT S. «Transfert d'oxygène en boues activées par insufflation d'air- Mesure et éléments d'interprétation », Thèse de doctorat en sciences et techniques de l'Environnement, CEMAGREF d'Anthony, 1997, 145p plus annexes.

GILLOT S., HEDUIT A., « Effect of air flow rate on oxygen transfer in an oxydation ditch equipped with fine bubble diffusers and slow speed mixers », Water research N°5, 2000, P 1756-1762.

GRAF W. H., ALTINAKAR M. S., «Hydrodynamique une introduction », Traite de génie civil de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, volume 1 5, Presses polytechniques romandes, 1998, 439p.

HABERMAN W. L., MORTON R.K, «An experimental study of bubbles moving in liquids», American society of civils engineers, N°2799, p 227-252, 1954

HAGER W.H., SINNIGER O. R.,« Constructions hydrauliques - écoulements stationnaires », Traite de génie civil de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, volume 14, Presses polytechniques romandes,1995,481p.

MEZIANE A., «Circulation et aération engendrée par des mobiles d'agitation immerges a axe horizontal dans un chenal d'oxydation », thèse de docteur - ingénieur, INSA Toulouse, , 1988, 146p

MOUREH J. et BERTRAND J. «Approche numérique tridimensionnelle de l'agitation mécanique en régime turbulent », thèse de doctorat, INP Toulouse, 1992, 20Op.

NAUDE I. «Simulation des écoulements en cuve agitée. Contribution a l'optimisation du choix d'un agitateur », thèse de doctorat, INP Toulouse, 1998, 25Op.

POPEL H. J., WAGNER M, WEIDMANN F, «Oxygen transfer in deep diffused-aeration tankstheory and practical results », Journées d'étude du Cebedeau, Tribune de l'eau N° 5-6/96, 1996, P 5967.

RACHID-SALL Y L., «Circulation et aération engendrées par des jets liquides dans un chenal d'oxydation», thèse de docteur - ingénieur, INSA Toulouse, 1984, 97p.

ROUSTAN M., et LINE A., Rôle du brassage dans les procédés biologiques d'épuration, Tribune de l'eau n° 49, 583-584 septembre - décembre, 1996, p 109-115.

SIMON S., «Étude d'un chenal d'oxydation par des approches globales et locales: hydrodynamique et transfert de matière », thèse de doctorat, INSA Toulouse, 2000, 190p.

Zlokarnik, M., 1 998, Comparaison de différents systèmes d'aération et méthodes de dimensionnement, Journées d'études gaz - liquide, INSA Toulouse: 7/1-7/13