

Table des matières

Résumé.....	iii
Abstract.....	v
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures.....	xiii
Liste des équations.....	xvii
Remerciements.....	xix
1. Introduction et objectifs.....	1
1.1. Contexte et justification.....	1
1.2. Structure du document.....	3
2. Revue de littérature.....	5
2.1. Traitement des eaux.....	5
2.2. Traitement des eaux en situation d'urgence humanitaire.....	6
2.2.1. Contexte.....	6
2.2.2. Objectifs de traitement.....	8
2.2.3. Le <i>Sphere Project</i>	8
2.2.4. Le compromis entre qualité et quantité.....	11
2.2.5. Technologies de traitement disponibles.....	12
2.2.6. Décanteur lamellaire.....	19
2.3. Système de décantation lamellaire.....	23
2.3.1. Coagulation.....	23
2.3.2. Flocculation.....	26
2.3.3. Sédimentation.....	31
2.4. Essais au traceur.....	35
2.5. Jar tests.....	37
3. Travaux antérieurs.....	39
3.1. Phase I : Juin- Décembre 2011.....	39
3.1.1. Tests de flocculation.....	39
3.1.2. Premier prototype.....	39
3.1.3. Test du prototype.....	41
3.1.4. Résultats.....	41
3.2. Phase II : Février-Juillet 2013.....	42

3.2.1.	Amélioration du système	42
3.2.2.	Modifications.....	42
3.2.3.	Design final, résultats et recommandations.....	43
3.3.	Suite : Phases III et IV : Maîtrise 2012-2014.....	44
3.4.	Objectifs	45
4.	Méthodologie	47
4.1.	Montage pilote.....	47
4.1.1.	Alimentation en eau brute, échantillonnage et mesure du débit.....	49
4.1.2.	Coagulation	51
4.1.3.	Floculateur.....	53
4.1.4.	Décanteur.....	56
4.1.5.	Eaux traitées	65
4.1.6.	Consommables et autres	65
4.2.	Protocoles	68
4.2.1.	Essais au traceur	68
4.2.2.	Essais de traitement d'eau	68
4.3.	Plan expérimental	70
4.3.1.	Essais au traceur	70
4.3.2.	Essais de traitement d'eau.....	71
5.	Résultats et discussion.....	77
5.1.	Essais au traceur	77
5.2.	Essais de traitement d'eau.....	85
5.2.1.	Perte de charge et gradient de vitesse.....	85
5.2.2.	Décanteur seul et choix du type de floculation.....	86
5.2.3.	Configuration optimale pour des eaux brutes de 300 UTN.....	98
5.2.4.	Configuration optimale pour des eaux brutes de 50 à 300 UTN	101
5.2.5.	Vérifications supplémentaires et analyse générale	103
5.2.6.	pH, alcalinité, alun et température.....	109
5.3.	Phase IV	113
5.3.1.	Inde 2014.....	113
5.3.2.	Conception.....	113
5.3.3.	Matériaux et manufacturier	119
5.3.4.	Suite et fin du projet	121
6.	Conclusion et recommandations	125
6.1.	Conclusion.....	125

6.2.	Recommandations	127
7.	Bibliographie.....	129
8.	Annexe A: Essais de Jar Tests	137
8.1.	Introduction.....	137
8.2.	Méthodologie	138
8.3.	Résultats et discussion.....	141
8.3.1.	Observations qualitatives	141
8.3.2.	Résultats quantitatifs : Méthode de brassage	142
8.3.3.	Résultats quantitatifs : Méthode d'évaluation de la dose optimale.....	146
8.3.4.	Résultats quantitatifs : Technique de jar test.....	148
8.3.5.	Résultats quantitatifs : analyse statistique.....	148
9.	Annexe B : Résultats bruts des Jar tests.....	149
10.	Annexe C : Résultats des essais de traitement d'eau des phases antérieures (I et II).....	153
10.1.	Résultats de la phase I (Juin-Décembre 2011):.....	153
10.2.	Résultats de la phase II (Février – Juillet 2013) :.....	155
11.	Annexe D : Résultats bruts des essais au traceur	157
12.	Annexe E : Résultats bruts des essais de traitement d'eau (phase III)	165
13.	Annexe F : Caractéristiques des consommables utilisés	169
13.1.	Traceur	169
13.2.	Kaolin.....	169
13.3.	Coagulant (Alun).....	170
13.4.	Floculant (Polymère).....	173

Liste des tableaux

Tableau 1: Quantité d'eau adéquate (Sphere project, 2011).....	9
Tableau 2: Accessibilité à l'eau.....	9
Tableau 3: Résumé des systèmes utilisés et de leurs caractéristiques.....	20
Tableau 4: Dimensions du prototype de la phase I (Bourgeault, 2011).....	39
Tableau 5: Dimensions du prototype de la phase I (2) (Bourgeault, 2011).....	40
Tableau 6: Éléments de conception du décanteur.....	57
Tableau 7: Résumé des configurations testées lors des essais au traceur.....	71
Tableau 8: Conditions des essais de traitement d'eau selon les séries.....	75
Tableau 9: Résultats des essais au traceur.....	79
Tableau 10: Série #1 des essais de traitement d'eau.....	88
Tableau 11: Série #2 des essais de traitement d'eau.....	90
Tableau 12: Série #3 des essais de traitement d'eau.....	92
Tableau 13: Série #4 des essais de traitement d'eau.....	96
Tableau 14: Série #5 des essais de traitement d'eau.....	97
Tableau 15: Série #6 des essais de traitement d'eau.....	100
Tableau 16: Séries # 7 et #8 des essais de traitement d'eau.....	102
Tableau 17: Série #9 des essais de traitement d'eau.....	104
Tableau 18: Éléments de conception du bassin de floculation et décantation.....	118
Tableau 19: Comparaison des éléments à respecter avec la version finale du système.....	123
Tableau 20: Variation des caractéristiques des eaux brutes testées.....	140
Tableau 21: Caractéristiques de l'eau des essais effectués.....	141
Tableau 22: Résumé des doses optimales d'alun.....	146
Tableau 23: doses optimales de coagulant moyenne selon la technique utilisée.....	148
Tableau 24: Résultats bruts des jar tests selon la technique terrain (1).....	149
Tableau 25: Résultats bruts des jar tests selon la technique terrain (2).....	150
Tableau 26: Résultats bruts des jar tests selon la technique laboratoire (1).....	151
Tableau 27: Résultats bruts des jar tests selon la technique laboratoire (2).....	152
Tableau 28: Résultats des essais (Phase I).....	153
Tableau 29: Influence de la longueur de la conduite de floculation sur la performance du système (Phase I).....	154
Tableau 30: Résultats des essais (Phase II) (1).....	155
Tableau 31: Résultats des essais (Phase II) (2).....	156
Tableau 32 : Résultats bruts de l'essai au traceur 1 (D: 60mm, PV).....	157
Tableau 33: Résultats bruts de l'essai au traceur 2 (D:160mm, PV).....	158
Tableau 34: Résultats bruts de l'essai au traceur 3 (D: 60mm).....	159
Tableau 35: Résultats bruts de l'essai au traceur 4 (D: 160mm).....	160
Tableau 36: Résultats bruts de l'essai au traceur 5 (D: Long).....	161
Tableau 37: Résultats bruts de l'essai au traceur 6 (D: Long, PV).....	162
Tableau 38: Résultats bruts de l'essai au traceur 7 (D: Long, PDT).....	163
Tableau 39: Résultats de l'essai au traceur 8 (D: Long, PV, PDT).....	164
Tableau 40: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 1 à 25 (1).....	165
Tableau 41: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 1 à 25 (2).....	166
Tableau 42: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 26 à 46 (1).....	167
Tableau 43: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 26 à 46 (2).....	167

Liste des figures

Figure 1: Chaîne de traitement conventionnelle des eaux de surface (traduite de Crittenden, 2012).	5
Figure 2: Sachets (Clarke & Steele, 2010)	12
Figure 3: Filtre de céramique (Williams, dissertation, 2011)	13
Figure 4: Système de filtration granulaire à tape unique (Clarke & Steele, 2010)	15
Figure 5: Système de filtration granulaire à deux étapes (P4000 CL Operation and Maintenance manual, 2010)	16
Figure 6: Décanteur à lit de boues (traduite de Clarke et al., 2004)	18
Figure 7: Désstabilisation et restabilisation des particules par coagulation (traduite de Black et al., 1966)	24
Figure 8: pH de coagulation (Traduit de Crittenden, 2012)	25
Figure 9: Coagulation de la matière organique (Traduit de Crittenden, 2012)	25
Figure 10: Procédés de floculation (Crittenden, 2012)	28
Figure 11: Floculateur à déflecteurs « autour de l'extrémité » (Haarhoff et al., 1998)	29
Figure 12: Floculateur à déflecteurs « par-dessus, par-dessous » (Cornell, 2014)	30
Figure 13: Types de sédimentation (traduite de Crittenden, 2012)	32
Figure 14: Bassin de sédimentation idéal (Crittenden, 2012)	33
Figure 15: Écoulement dans les plaques d'un décanteur lamellaire en configuration contre-courant(traduite de Crittenden, 2012)	34
Figure 16: Agencement des plaques à l'intérieur d'un décanteur lamellaire(traduite de Crittenden, 2012)	34
Figure 17: Rampe de jar test (image provenant de CHEM-SULT, INC.)	38
Figure 18: Prototype I (Bourgeault, 2011)	40
Figure 19: Schéma du prototype I (Bourgeault, 2011)	40
Figure 20: Montage de traitement (Bourgeault, 2011)	41
Figure 21: Essais de traitement de la phase I (Bourgeault, 2011)	41
Figure 22: Plaque de déflexion trouée (Boulay, 2013)	42
Figure 23: Plaques ondulées (Boulay, 2013)	43
Figure 24: Prototype II	43
Figure 25: Essais de traitement de la phase II	44
Figure 26: Schéma du montage pilote	48
Figure 27: Réservoir contenant la suspension de Kaolin	50
Figure 28: Pompage de la suspension de Kaolin dans l'eau brute	50
Figure 29: Mélangeur en ligne	51
Figure 30: Ajout du coagulant	52
Figure 31: Jar test	52
Figure 32: Bassin de floculation	54
Figure 33: Structure de bois dans le floculateur	54
Figure 34: Rapport de l'espacement entre les déflecteurs et celui au bout d'un déflecteur (Haarhoff, 1998)	55
Figure 35: Configurations des déflecteurs testées à l'intérieur du floculateur hydraulique	55
Figure 36: Assemblage du floculateur et du décanteur durant un essai	56
Figure 37: Plan du modèle du décanteur lamellaire	58
Figure 38: Décanteur lamellaire, vues de côté et de face	58
Figure 39: Connecteur entre le floculateur et le décanteur	59

Figure 40: Schéma d'un déversoir (Robert, 2010).....	60
Figure 41: Configurations des déversoirs testés.....	61
Figure 42: Décanteur lamellaire et valves de vidange.....	62
Figure 43: Décanteur lamellaire avec renforts.....	63
Figure 44: Poutres de renforcement de métal.....	63
Figure 45: Entrée du décanteur lorsqu'utilisé sans flocculateur à chicanes.....	64
Figure 46: Plaque de déflexion trouée sous le déversoir longitudinal.....	64
Figure 47: Dispositif de vidange de la solution de traceur.....	65
Figure 48: Traceur (Negrosin) et spectrophotomètre (Hach DR-5000) utilisés pour les essais au traceur.....	66
Figure 49: Courbe de calibration de la turbidité avec le Kaolin de marque NaturoSources.....	67
Figure 50: Courbe de calibration de l'alcalinité avec le bicarbonate de soude de Arm and Hammer.....	67
Figure 51: Algorithme de sélection des essais de traitement d'eau.....	74
Figure 52: Graphique de la concentration en traceur à la sortie du décanteur pour les essais 1, 5, 6 et 7.....	77
Figure 53: Essai au traceur #2.....	81
Figure 54: Essai au traceur #5.....	83
Figure 55: Essai au traceur # 8.....	84
Figure 56: Résumé des résultats des essais de traitement d'eau.....	85
Figure 57: Graphique des pertes de charge théorique et mesurées du flocculateur à chicanes.....	86
Figure 58: Graphique des mesures de turbidité de l'essai #6 : décanteur seul.....	89
Figure 59: Comparaison du brassage selon le type de flocculateur à chicanes.....	95
Figure 60: Graphique des mesures de turbidité de l'essai #31.....	98
Figure 61: Effet du gradient de vitesse (G) sur la diminution de la turbidité.....	106
Figure 62: Effet du gradient de vitesse sur la diminution de turbidité (2).....	107
Figure 63: Comparaison visuelle d'eaux de différentes turbidités.....	109
Figure 64: Mesures de pH des essais de traitement d'eau.....	110
Figure 65: Mesures d'alcalinité des essais de traitement d'eau.....	111
Figure 66: Système calco-carbonique (Sigg et al., 2006).....	112
Figure 67: Relation entre la dose d'alun et la consommation d'alcalinité.....	112
Figure 68: Températures de l'eau lors des essais de traitement d'eau.....	113
Figure 69: Conception finale: Ajout des déflecteurs du flocculateur dans le bassin.....	115
Figure 70: Conception finale: vue d'ensemble une fois le flocculateur fermé.....	115
Figure 71: Conception finale: flocculateur en plan.....	116
Figure 72: Conception finale, vue de côté.....	116
Figure 73: Conception finale: Vue d'ensemble du produit final.....	117
Figure 74: Plastique ondulé.....	119
Figure 75: Modules de plaques.....	119
Figure 76: Produit final: Le bassin.....	120
Figure 77: Produit final: Structure du flocculateur (hors du bassin).....	120
Figure 78: Produit final: Le flocculateur dans le bassin.....	121
Figure 79: Schéma du système de décantation lamellaire.....	122
Figure 80: Rampe de jar test en laboratoire.....	137
Figure 81: Turbidité finale des jar test de l'essai #1 (1,1,1) selon la méthode de brassage utilisée.....	142
Figure 82: Turbidité finale des jar tests de l'essai #2 (1,0,-1) selon la méthode de brassage utilisée.....	143

Figure 83: Turbidité finale des jar tests de l'essai #3 (1,-1,0) selon la méthode de brassage utilisée	143
Figure 84: Turbidité finale des jar tests de l'essai #4 (0,1,-1) selon la méthode de brassage utilisée	143
Figure 85: Turbidité finale des jar tests de l'essai #5 (0,0,1) selon la méthode de brassage utilisée	144
Figure 86: Turbidité finale des jar tests de l'essai #6 (0,0,0) selon la méthode de brassage utilisée	144
Figure 87: Turbidité finale des jar tests de l'essai #7 (0,-1,-1) selon la méthode de brassage utilisée	144
Figure 88: Turbidité finale des jar tests de l'essai #8 selon la méthode de brassage utilisée	145
Figure 89: Turbidité finale des jar tests de l'essai #9 (-1,0,-1) selon la méthode de brassage utilisée	145
Figure 90: Turbidité finale des jar tests de l'essai #10 (-1,-1,1) selon la technique utilisée	145
Figure 91: Meilleurs résultats obtenus (Phase I)	154
Figure 92: Caractéristiques du traceur utilisé (Nigrosin)	169
Figure 93: Fiche signalétique de l'alun fourni par la station de production d'eau potable de Charny (page 1)	170
Figure 94: Fiche signalétique de l'alun fourni par le laboratoire MAG Québec (page 1)	171
Figure 95: Fiche signalétique de l'alun fourni par le laboratoire MAG Québec (page 2)	172

Liste des équations

Équation 1: Définition du gradient de vitesse	26
Équation 2: Perte de charge.....	29
Équation 3: Gradient de vitesse (floculateur hydraulique « autour de l'extrémité »).....	29
Équation 4: Gradient de vitesse (floculateur hydraulique « par-dessus, par-dessous »).....	30
Équation 5: Gradient de vitesse (conduite)	31
Équation 6: Taux de débordement	33
Équation 7: Vitesse de sédimentation des floes	35
Équation 8: Masse de traceur récupérée.....	36
Équation 9: Temps de séjour.....	36
Équation 10: Indice de zone morte.....	36
Équation 11: Indice de Morril	36
Équation 12: Nombre de réacteur complètement mélangés en continu	37
Équation 13: Somme 3	37
Équation 14: Déversoir	59
Équation 15: Coefficient de débit d'un déversoir	60
Équation 16: Largeur effective d'un déversoir	60
Équation 17: Calcul du gradient de vitesse dans un bécher de jar test (1) (Crittenden, 2012).....	138
Équation 18: Calcul du gradient de vitesse dans un bécher de jar test (2) (Crittenden, 2012).....	138

Remerciements

Ce projet n'aurait jamais vu le jour sans le support et l'essentielle collaboration de mes directeurs de maîtrise, Messieurs Caetano Dorea et Christian Bouchard. Je tiens également à remercier le personnel des laboratoires de l'Université Laval : Dany Crépault, Michel Bisping, Denis Jobin et Benoit Turcotte, les étudiants ayant participé de près ou de loin aux diverses manipulations : Olivier Lemay, Vincent Jalaber, Félix Légaré-Julien et Jean-Thomas Marois-Fiset et le personnel ayant participé au travail effectué en Inde : Johnny Williams, Rahul Pathak, Ajeet Oak et Akshay Bahursettiwar.

De plus j'aimerais remercier *Humanitarian Innovation* pour avoir financé ce projet ainsi que l'Université Laval pour les ressources et l'équipement déployés afin de faire de ce projet une réalité. Également, je remercie *Oxfam*, *RedR India* et *Aquaplus Disaster Management* pour leur participation aux différentes phases du projet.

Finalement, j'aimerais remercier ma famille et mes amis pour leur soutien moral ou financier continu et leurs encouragements tout au long du travail effectué. Ces personnes incluent notamment :

Normand et Lucie Bédard
Mireille Bédard
Dominique Bédard
Roland et Jovette Bédard
Pierrette Lemire
Daniel Gretillat
Jean-David Masana
François Royer
Félix Larose Tarabulsy
Jean-Michel Royer
Guy Larose
La famille Tarabulsy

1. Introduction et objectifs

1.1. Contexte et justification

Partout dans le monde, des catastrophes de grande ampleur surviennent. Qu'elles soient d'origine humaine (p. ex. guerres, conflits armés, etc.) ou qu'elles soient le résultat de phénomènes naturels (p. ex. ouragans, tsunamis, etc.), elles amènent des populations à vivre dans l'état d'urgence (Dorea et al., 2006). Dans le contexte des pays développés, l'aide apportée aux populations affectées arrive habituellement très rapidement et est très efficace pour subvenir aux besoins des sinistrés. La situation est très différente dans les pays en voie de développement. L'aide apportée doit souvent provenir de l'extérieur du pays à cause des ressources limitées auxquelles ces pays ont accès pour venir en aide aux sinistrés. De plus, la fréquence des catastrophes naturelles et leur intensité ont augmenté drastiquement depuis les années 1900 et ce de manière beaucoup plus marquée dans les pays en voie de développement (Pisarenko & Rodkin, 2006).

Au-delà des effets immédiats directs, les catastrophes peuvent avoir différents effets indirects sur la santé des populations affectées. Les infrastructures servant à combler les besoins primaires des populations touchées peuvent avoir été détruites, contaminées, être hors de portée ou simplement inexistantes. Ces populations peuvent donc être forcées de vivre dans des conditions inadéquates en termes d'installations sanitaires, de salubrité des lieux, de quantité et de qualité d'eau consommée, de quantité de nourriture disponible et de protection face aux maladies. L'accès à une eau propre à la consommation est donc un élément essentiel pour le rétablissement de ces besoins. Notamment, l'approvisionnement en eau potable permet de prévenir la contamination et la propagation des maladies diarrhéiques qui sont un facteur très important de morbidité et de mortalité post-catastrophe et sont souvent dues à la consommation d'eau contaminée par des excréments et à la quantité insuffisante d'eau pour l'hygiène. (Conolly et al., 2004; Waring & Brown, 2005; Dorea, 2012).

En situation d'urgence, les eaux de surface sont habituellement utilisées comme source d'approvisionnement pour les populations affectées (Clarke & Steele, 2009). Ces eaux doivent obligatoirement être traitées et désinfectées dans le but de fournir de l'eau potable pour combattre la propagation des maladies de contamination fécale-orale. Pour ce faire, les agences humanitaires ont recours à des équipements permettant le traitement des eaux qui peuvent être envoyés et installés rapidement sur le terrain. Ces systèmes peuvent être modulaires, c'est-à-dire transportables en pièces détachées pouvant être assemblées sur place, mobiles, ceux-ci requérant un transport du système déjà assemblé pour permettre une installation sur place plus rapide, ou ils peuvent être des

technologies dites «au point d'utilisation» qui permettent un traitement directement à l'emplacement où le consommateur requiert l'eau (Dorea et al., 2006).

Bien que ces systèmes aient déjà été utilisés avec succès lors de situations d'urgence, certains problèmes spécifiques aux technologies utilisées subsistent. Par exemple, le succès des systèmes de traitement «au point d'utilisation» dépendent de la capacité des populations affectées à effectuer le traitement eux-mêmes, ce qui peut poser un problème dans les pays où l'éducation n'est pas adéquate. Également, plusieurs systèmes de traitement centralisés (mobiles et modulaires) utilisent la filtration comme technologie de traitement. Ces systèmes se sont parfois avérés inefficaces à traiter une quantité suffisante d'eau lorsque la turbidité de l'eau brute est élevée à cause d'une accumulation trop rapide de particules dans les filtres (Dorea, 2012; Luff, 2004). La qualité de l'eau à traiter étant inconnue à priori, la flexibilité des systèmes en termes de capacité à traiter différentes qualités est primordiale. Le prix de ces systèmes de traitement semble également représenter un problème pour les organismes humanitaires (Luff, 2004).

C'est dans ce contexte que l'idée de développer un décanteur lamellaire mobile pour le traitement des eaux dans les situations d'urgence humanitaire dans les pays en voie de développement a émergé. La décantation lamellaire étant déjà reconnue comme une technologie efficace et largement utilisée dans les stations de traitement d'eau conventionnelles pour l'enlèvement des particules en suspension et pour un enlèvement partiel des microorganismes pathogènes, il est naturel de penser qu'elle pourrait servir pour répondre aux besoins en eau dans les situations de crise humanitaire en plus de répondre aux problèmes rencontrés avec les autres systèmes. La clarification s'étant déjà montrée comme étant une technologie flexible et peu coûteuse pour le traitement de différentes eaux brutes en situation d'urgence (clarification en batch et «Field Upflow Clarifier kit»), le développement d'un système de décantation lamellaire comblerait plusieurs besoins (Williams, 2011). De plus, sachant que ce type de système permet d'obtenir une grande surface de décantation (plaques) pour une même empreinte au sol du système, il semble qu'une telle technologie correspond bien à l'idée d'avoir un système compact, ce qui en facilite le transport.

Ce projet de décanteur lamellaire transportable a débuté en juin 2011 dans la ville de Pune, en Inde. Durant cette première phase du projet, une étudiante de l'Université Laval (Catherine Bourgault) s'y est rendue pour effectuer des essais de décantation, concevoir, faire construire et tester un prototype du décanteur (Dorea & Bourgault, 2012). Les résultats obtenus étant considérés prometteurs mais insatisfaisants par rapport à l'enlèvement de turbidité, une deuxième phase du projet a été lancée en février 2013 où un autre étudiant (Frédérique Boulay) s'est rendu à Pune pour

effectuer d'autres séries de tests tout en modifiant certaines composantes du système pour en mesurer l'influence sur la performance.

À la suite de ces deux premières phases de travaux effectués en Inde, quelques éléments du système ont été identifiés comme nécessitant une étude plus approfondie pour apporter des modifications afin d'obtenir des résultats satisfaisants de manière plus constante. Bien que ces éléments aient été étudiés sur le terrain en Inde, les conditions de travail à Pune n'étaient souvent pas les meilleures ce qui a parfois compliqué l'analyse des résultats. Il est ainsi apparu nécessaire de poursuivre l'étude du système dans un environnement plus contrôlé et avec de l'équipement de meilleure qualité. Ces essais ont été effectués dans les laboratoires de l'Université Laval et font l'objet du présent mémoire.

1.2. Structure du document

Le document comprend une revue de bibliographie présentant une introduction au traitement des eaux, un aperçu des conditions et des objectifs à atteindre pour le traitement en situation d'urgence dans les pays en voie de développement ainsi qu'un résumé des technologies utilisées à ce jour dans ce contexte ainsi qu'un survol de leurs performances. Le chapitre de méthodologie présente ensuite les étapes de conception et de construction du montage pilote ainsi que le protocole des essais et leur plan expérimental. Ensuite, les résultats sont présentés et sont accompagnés d'une discussion. Finalement, la conception du système à pleine échelle est présentée en plus de sa construction, encore une fois à Pune, en Inde, avant de conclure et d'ajouter quelques recommandations.

2. Revue de littérature

2.1. Traitement des eaux

Le traitement conventionnel des eaux de surface fait généralement appel à plusieurs étapes de traitement comme l'illustre la figure 1 (Crittenden, 2012). Afin d'obtenir une eau saine et esthétiquement acceptable, les objectifs de traitement rencontrés dans un traitement conventionnel comprennent généralement: l'enlèvement des débris (dégrilleurs), l'enlèvement de la matière organique, le contrôle du pH et de l'alcalinité (eau non-corrosive), la réduction de la turbidité (traitement physico-chimique, décantation, filtration granulaire, filtration membranaire) et la désinfection (chloration, ozonation, etc.). À cette liste peuvent être ajoutés les procédés de traitement plus avancés comme l'adsorption, l'échange d'ions, l'osmose inverse, etc.

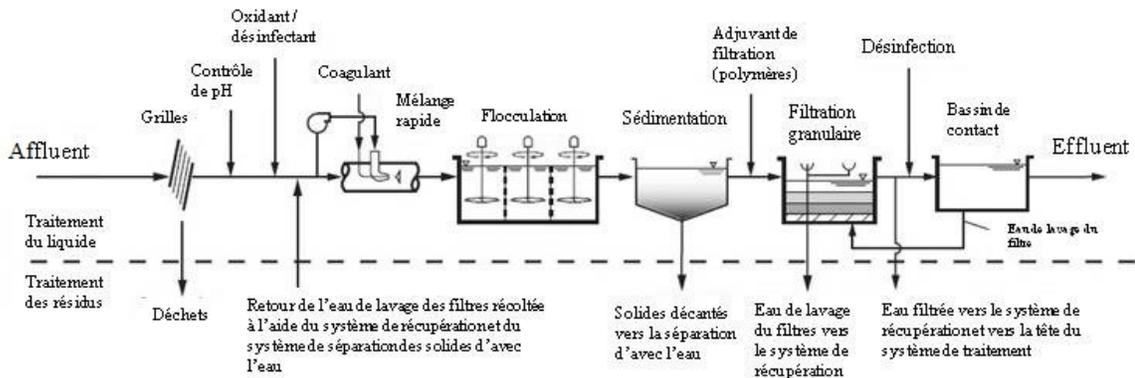


Figure 1: Chaîne de traitement conventionnelle des eaux de surface (traduite de Crittenden, 2012)

Dans un contexte où les ressources humaines, financières et techniques sont relativement grandes, comme dans les pays développés, ces technologies conventionnelles sont exploitées de façon à atteindre des normes de qualité très élevées. Au Québec, par exemple, le ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (MDDEP) a promulgué le règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP) en 2001 qui énonce les normes à respecter. Ces normes évoluent en fonction des connaissances sur les risques à la santé humaine et sur les technologies de traitement afin de toujours obtenir une qualité d'eau nécessaire à la santé des usagers à court et à long terme (réduction des risques aigus et des risques chroniques en dessous de seuils acceptables très faibles).



2.2. Traitement des eaux en situation d'urgence humanitaire

2.2.1. Contexte

En situation de crise humanitaire dans les pays en voie de développement, l'alimentation en eau de consommation peut être interrompue pour certaines populations. Les raisons expliquant ce problème incluent : la destruction des équipements de traitement par les phénomènes naturels, la contamination des réserves, l'inaccessibilité à l'eau due aux phénomènes naturels et humains (guerre, gestes politiques concernant l'eau, etc.) ou l'insuffisance des ressources disponibles. Citons, par exemple, la destruction des systèmes d'approvisionnement en eau potable et des pompes d'eaux souterraines sur les côtes de l'océan Indien à la suite du Tsunami du 26 décembre 2004 et l'intrusion d'eau salée dans plusieurs sources qui a rendu la plupart des systèmes d'approvisionnement en eau complètement inutilisables (Clasen and Smith, 2006).

Lors de ces situations d'urgence, plusieurs facteurs favorisent la prolifération des maladies. Ainsi, il arrive très souvent de voir des épidémies de maladies diarrhéiques survenir pendant les crises humanitaires. En fait les maladies transmises par la voie fécale-orale peuvent être responsables de plus de 40% des décès durant la phase immédiate (aiguë) d'une situation d'urgence (Connolly et al., 2004). Des études ont montré que ces épidémies sont souvent causées par les facteurs de transmission suivants : des sources d'eau contaminées (par contamination fécale), la contamination de l'eau pendant le transport de celle-ci, la faible quantité d'eau disponible, les piètres conditions d'hygiène, incluant l'absence de savon et de lavage des mains, et la nourriture contaminée (Connolly et al. 2004 et Brown et al. 2012). Rappelons ici que les infections diarrhéiques aiguës sont les maladies les plus importantes liées à l'eau, l'assainissement et l'hygiène (Water, Sanitation and hygiene : WASH) (Checkley and Checkley 2008).

Les maladies en lien avec l'eau peuvent être catégorisées selon leurs voies de transmission. Selon Mara & Feachem (1999), les quatre catégories principales de transmission sont les maladies hydriques (*waterborne diseases*), les maladies liées aux lavages avec de l'eau (*water-washed diseases*), les maladies d'origine aquatique (*water-based diseases*) et les maladies liées à l'eau par vecteurs (*water related/insect vectors*). Plusieurs de ces maladies sont liées à l'utilisation d'une eau contaminée par des excréments (maladies hydriques) et à un manque d'hygiène adéquate (maladies lavées par l'eau) ce qui aide à la prolifération des maladies diarrhéiques. L'approvisionnement en eau d'une qualité adéquate et en quantité suffisante pour l'hygiène permet donc de contrer ces problèmes de contamination. (Mara and Feachem, 1999; Dorea, 2012).

Les rétablissements de l'accès à l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène sont donc vitaux pour la santé publique lors d'une situation d'urgence (Dorea, 2012; Fewtrell, 2005). Lorsque ces crises

surviennent dans les pays en voie de développement, les autorités locales n'ont souvent pas les ressources nécessaires pour rétablir ces services de bases. Elles font alors appel aux organismes humanitaires non gouvernementaux (ONG) pour venir en aide aux populations affectées. L'accès à de l'eau sécuritaire pour la consommation, pour les installations sanitaires et l'hygiène étant un point central dans le combat contre les épidémies de maladies diarrhéiques, cet aspect est au cœur du travail de ces ONG.

Lors de leur arrivée sur le terrain, les travailleurs humanitaires doivent trouver une source d'eau permettant d'approvisionner les populations affectées le plus facilement possible. L'eau souterraine représente théoriquement la meilleure option puisqu'elle ne nécessite habituellement qu'une désinfection. Toutefois, elle se trouve souvent indisponible, difficile d'accès ou en quantité insuffisante pour être utilisée comme source principale et peut aussi être contaminée. De plus, l'installation d'un puits assez profond et sécuritaire n'est pas toujours envisageable en situation d'urgence à cause de la complexité d'exécution. C'est pourquoi les eaux de surface sont habituellement l'alternative la plus rapide pour les situations d'urgence. Cependant, ces sources nécessitent un traitement plus important que les eaux souterraines en raison de leur qualité souvent inférieure (turbidité, couleur et contamination microbiologique plus élevées). C'est pourquoi on a recourt à des systèmes de traitement d'eau transportables (appelés «kits») qui correspondent à une ou plusieurs parties d'une station de traitement conventionnelle d'eau de surface. Comme mentionné précédemment, ces *kits* peuvent être modulaires (transportés en pièces détachées et assemblés sur place), mobiles (transport du système déjà assemblé) ou au point de consommation (traitement à plus petite échelle directement à l'emplacement où l'eau est consommée) (Dorea, 2012).

Pour développer des systèmes de traitement portatifs utiles et efficaces pour les situations d'urgence, il est important de bien connaître les objectifs de traitement lors de tels événements et leurs conditions d'utilisation. En fait, les conditions extrêmes pouvant être rencontrées sur le terrain et les ressources financières, humaines et techniques très limitées dont disposent les organismes humanitaires, font en sorte que plusieurs kits basés sur des technologies conventionnelles ne fonctionnent pas bien sur le terrain (Dorea, 2012 et Luff 2004). Ainsi, le manque de connaissances des fabricants des systèmes transportables envers les besoins précis d'une situation d'urgence a amené certaines missions humanitaires à échouer dans leurs tentatives de rétablir l'approvisionnement en eau potable aux populations touchées. Cela a été le cas, par exemple, au Pakistan en 2010 après d'importantes inondations où certains systèmes ont fait défaut à causes des conditions présentes sur place. Les systèmes utilisés étaient conçus pour offrir une qualité d'eau

traitée très élevée mais se sont montrés inefficaces à produire de l'eau potable en quantité suffisante et à un coût raisonnable (ex : systèmes de traitement par osmose inverse) (Dorea, 2012; Luff et Dorea, 2012).

2.2.2. Objectifs de traitement

L'approvisionnement en eau comprend deux éléments importants soient la qualité et la quantité de l'eau produite. Dans les situations d'urgence, la quantité est plus importante que la qualité principalement à cause des problèmes d'hygiène tel que mentionné précédemment (Smith et Reed, 1991). Selon Esrey et al., (1985) la réduction médiane des maladies diarrhéiques est plus importante à cause d'une plus grande disponibilité de l'eau (25%) qu'à cause d'une augmentation de sa qualité (16%) ou de l'amélioration des précédés d'élimination des déchets fécaux (22%) (Checkley and Checkley, 2008). Ceci ne signifie pas que la qualité de l'eau n'est pas à considérer puisque la transmission des maladies découle aussi de la contamination de la source utilisée. Ceci signifie plutôt qu'il existe un compromis à faire entre la quantité et la qualité. Ainsi en temps normal dans une station de production d'eau potable dans les pays développés le problème est: comment atteindre des standards de qualité très élevés? Par contre, en situation d'urgence dans les pays en voie de développement, le problème est plutôt : quelle qualité d'eau est suffisante pour produire une quantité d'eau élevée tout en réduisant suffisamment les risques liés à la consommation d'eau?

Pour répondre à cette question, et à plusieurs autres questions concernant l'intervention humanitaire en situation d'urgence, le «Sphere Project» a été mis sur pied. Ce projet est le fruit d'une initiative de plusieurs organismes non-gouvernementaux et du mouvement de la Croix-rouge et du Croissant-rouge. Leur objectif étant d'améliorer leurs réponses aux crises humanitaires et de se garder responsables envers leurs actions, le *Sphere Project* a permis d'identifier un ensemble de standards minimums concernant les aspects suivants du travail en situation d'urgence : l'approvisionnement en eau, l'assainissement, la promotion de l'hygiène, la nutrition et la sécurité alimentaire, le besoin d'un abri et d'équipements de survie et les soins de santé (Sphere Project, 2011). Cela est détaillé dans la section suivante.

2.2.3. Le *Sphere Project*

Même si le *Sphere project* porte sur d'autres aspects, le focus est mis ici sur :

- L'accès et la quantité d'eau adéquats;
- La qualité d'eau adéquate;
- Les installations permettant la consommation de l'eau

2.2.3.1. L'accès et la quantité d'eau adéquats

Voici un résumé des recommandations du *Sphere Project* concernant l'accès et la quantité d'eau adéquats en réponse à une situation d'urgence :

- La quantité moyenne d'eau utilisée pour boire, faire à manger et pour l'hygiène personnelle doit être d'au moins 15 litres par personne par jour. Le détail des besoins considérés est montré au tableau 1 (Sphere Project 2011) :

Tableau 1: Quantité d'eau adéquate (Sphere project, 2011)

Besoins de subsistance : eau consommée (bue)	2,5 – 3 litres par jour	Dépend du climat et de la physiologie des individus
Pratiques d'hygiène de base	2 - 6 litres par jour	Dépend des normes sociales et culturelles
Besoins de cuisine de base	3 - 6 litres par jour	Dépend du type de nourriture et des normes culturelles
Besoins de base totaux	7,5 – 15 litres par jour	

- La distance maximale entre une résidence et le point d'eau le plus prêt doit être de 500 mètres.
- L'attente pour l'accès à l'eau à la source ne doit pas dépasser 30 minutes.
- Lors d'un désastre, et jusqu'à ce que les standards de quantité et de qualité soient remplis, la priorité est de fournir un accès équitable à une quantité d'eau adéquate même si elle est de qualité intermédiaire.
- Le nombre maximal de personnes desservies par un point d'accès à l'eau doit respecter les indications du tableau 2 (Sphere Project 2011) :

Tableau 2: Accessibilité à l'eau

250 personnes par robinet	Basée sur un débit de 7,5 litres par minute
500 personnes par pompe à main	Basée sur un débit de 17 litres par minute
400 personnes par puits ouvert à utilisateur unique	Basée sur un débit de 12,5 litres par minute

- L'eau doit être disponible de manière équitable, c'est-à-dire sans discrimination en regard au genre ou à l'ethnicité. Des mesures spéciales peuvent être requises pour les utilisateurs souffrant du VIH ou du SIDA, les personnes âgées, les personnes handicapées et les enfants.

2.2.3.2. *La qualité d'eau adéquate*

Voici un résumé des recommandations du *Sphere Project* concernant la qualité d'eau adéquate en réponse à une situation d'urgence :

- Examen sanitaire des conditions et pratiques qui peuvent constituer un risque de santé publique indiquant les sources de contamination potentielles à la source, pendant le transport et au niveau des habitations.
- La turbidité maximale de l'eau au robinet est de 5 UTN (unités de turbidité néphélométrique) et la quantité de chlore résiduel libre est de 0,5 mg/l et ce 30 minutes après la chloration.
- Aucun coliforme fécal par 100 ml au point d'approvisionnement et d'utilisation.
- La promotion de l'utilisation des sources protégées est effectuée. En effet, certaines populations peuvent préférer utiliser une source non protégée pour des raisons de goût, proximité ou habitudes sociales par opposition aux sources d'eau traitées par l'organisme humanitaire en place.
- Prendre des mesures pour éviter la contamination après la distribution telles que l'amélioration de la collecte et des pratiques de stockage et la distribution de contenants propres et appropriés.
- Dans le cas où des activités industrielles ou militaires suggèrent que la source choisie a un potentiel de risque chimique ou radiologique sur la santé, mesurer ce risque chimique et radiologique.
- L'eau distribuée doit être esthétiquement acceptable pour la population (goût, odeur, apparence).

2.2.3.3. *Les installations permettant la consommation de l'eau*

Voici un résumé des recommandations du *Sphere Project* concernant les installations d'eau en réponse à une situation d'urgence :

- Fournir à la population affectée des installations de collecte et d'entreposage de l'eau adéquates.
- Encourager les individus de la population touchée à participer au design et à la construction d'installations de lavage et de salles de bain.

- Chaque résidence doit posséder au moins 2 contenants de collecte d'eau pouvant contenir entre 10 et 20 litres.
- Au moins un bassin de lavage est disponible pour 100 personnes et des aires de lavage réservées aux femmes.
- L'eau gardée dans les foyers est isolée de sources de contamination en tout temps.
- L'entretien des installations est effectué de manière régulière et les utilisateurs sont inclus dans ce processus.

2.2.4. Le compromis entre qualité et quantité

Comme mentionné précédemment, le traitement en situation d'urgence fait appel à un compromis à faire entre la quantité et la qualité de l'eau distribuée. Selon les standards du *Sphere Project (2011)*, les objectifs de traitement concernant la qualité de l'eau peuvent être résumés au maximum de turbidité de 5 UTN, au chlore résiduel de 0,5 mg/l après 30 minutes de temps de contact et à la nécessité de n'avoir aucun coliforme fécal par 100 millilitres. Les deux derniers objectifs sont en lien direct avec la désinfection qui se fait habituellement à l'aide d'une solution de chlore préparée en utilisant de la poudre de blanchiment (Oxfam Humanitarian Department, 2001). Avant d'effectuer cette chloration, les *kits* de traitement transportables doivent être en mesure d'abaisser la turbidité de l'eau si celle-ci est trop élevée. La turbidité étant une mesure de la quantité de matière en suspension dans l'eau, ceci est fait dans le but d'améliorer la qualité esthétique de l'eau (visuelle) et pour améliorer l'efficacité de la chloration qui est gênée par une trop grande concentration de particules dans l'eau (LeChevallier, 1981). Ainsi, en diminuant la turbidité à 5 UTN ou moins, l'eau sera plus efficacement débarrassée de sa contamination microbienne lors de sa désinfection (Dorea 2012) et le risque de contamination par voie fécale-orale sera diminué. Également, d'un point de vue esthétique, la diminution de la turbidité est essentielle afin d'obtenir une acceptabilité minimale pour le consommateur. En effet, une eau à turbidité plus faible encourage les populations à utiliser l'eau traitée plutôt que les sources non traitées qu'elles utilisent habituellement.

En sachant que les stations de production d'eau potable dans les pays développés peuvent produire des eaux d'une turbidité extrêmement faible (< 1 UTN) et puisque les *kits* de traitement portatifs sont basées sur les mêmes technologies, il est facile de penser que cet objectif est facilement atteignable en situation d'urgence. Cependant, en considérant que ces systèmes doivent être de taille réduite pour le transport tout en produisant un débit acceptable pour atteindre les standards de quantité du *Sphere Project* pour des populations souvent considérables, l'idée du compromis entre la qualité et la quantité d'eau produite prend tout son sens. La prochaine section permet de présenter

quelques *kits* déjà utilisés par les agences humanitaires à travers le monde pour répondre aux situations d'urgence ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs.

2.2.5. Technologies de traitement disponibles

2.2.5.1. Technologies au point d'utilisation

Les technologies de traitement au point d'utilisation représentent des systèmes permettant de traiter l'eau là où elle sera consommée. Ceci a donc l'avantage d'éviter le risque de recontamination lors du transport du point de production jusqu'au point de consommation. L'équipement nécessaire au traitement est distribué à la population afin qu'elle effectue elle-même le traitement. Il existe plusieurs technologies au point d'utilisation mais seulement deux des plus utilisées sont brièvement présentées.

A. Produits en sachets

Le premier exemple est celui des produits en sachets. Le traitement consiste à ajouter le contenu d'un sachet dans un volume précis d'eau à traiter (figure 2). Ces sachets contiennent un coagulant et un floculant pour permettre le traitement physique par l'enlèvement des particules en suspension



Figure 2: Sachets (Clarke & Steele, 2010)

présentent dans l'eau (turbidité). Également, ces sachets contiennent un désinfectant pour compléter le traitement microbiologique. En termes de manipulations, l'utilisateur doit ajouter le contenu du sachet au volume indiqué pour le sachet en question (10 à 20 litres), effectuer le brassage nécessaire à la coagulation et à la floculation, attendre le temps nécessaire au dépôt des floes au fond du contenant et à l'action du désinfectant et filtrer l'eau décantée à travers un morceau de tissu. Ces sachets offrent une utilisation relativement simple et efficace autant pour l'enlèvement de la turbidité que pour la désinfection. Étant une technologie au point d'utilisation, le succès du traitement repose en grande partie sur la volonté et la capacité des utilisateurs d'effectuer le traitement dans leurs foyers, ce qui n'est pas toujours garanti dans le contexte des pays en voie de développement (Clarke et Steele, 2009). En effet, certaines recherches ont montré qu'un très faible

pourcentage (20%) des populations utilise les technologies au point d'utilisation après leur distribution (Williams, 2011). Ceci peut être dû au manque d'éducation et de sensibilisation faite auprès de la population pour qu'elle reconnaisse la nécessité de leur utilisation par rapport à leurs habitudes. Également, si la procédure n'est pas bien expliquée ou appliquée, certaines étapes importantes du traitement (brassage, temps de sédimentation, filtration à l'aide du tissu) peuvent ne pas être effectuées correctement et ainsi réduire l'efficacité du traitement. Il peut aussi être difficile d'implanter une stratégie de traitement globale dans la phase immédiate (1 à 30 jours) d'une situation d'urgence avec ce type de technologie à cause des éléments de logistique que cela implique (Clasen et al. 2006; Dorea et al. 2006).

B. Filtres de céramique

La filtration à l'aide de filtres de céramique est un autre système pour utilisation au point de consommation. La filtration réalisée est habituellement comparable à celle de la micro filtration (0,1 à 1 micromètre) mais varie beaucoup d'un produit à l'autre. Elle est principalement utilisée pour obtenir une eau à boire en enlevant les plus gros micro-organismes d'une eau juste avant la consommation. L'enlèvement des virus peut survenir par attraction électrostatique avec le matériel utilisé (céramique) mais il est habituellement très faible à cause de la taille de virus qui est considérablement plus petite que celle des pores du filtre. En plus des avantages et inconvénients associés aux technologies au point d'utilisation, ces filtres représentent un bon choix économique car ils peuvent être réutilisés après lavage à la main. Cependant, la turbidité de l'eau brute peut facilement ralentir le processus de filtration (0,05 à 0,15 litre par heure pour une eau brute de 40 à 60 UTN) (Clasen, 2005; Clarke et Steele, 2009). La figure 3 montre un tel système où le filtre (dans lequel l'eau à traiter est versée) est en forme de seau et est déposé à l'intérieur d'un seau plus grand en plastique qui permet de collecter l'eau filtrée.



Figure 3: Filtre de céramique (Williams, dissertation, 2011)

2.2.5.2. *Systèmes mobiles*

C. Filtration membranaire (mobile)

La filtration membranaire consiste à faire passer l'eau à traiter à travers une membrane semi-perméable qui retient les particules en suspension, les colloïdes et des matières dissoutes, tout dépendamment de la porosité de la membrane. Cette technique peut être divisée en quatre groupes selon la grosseur des particules que chaque filtre laisse passer en allant des plus grosses aux plus petites particules selon l'ordre suivant : la microfiltration, l'ultrafiltration, la nano filtration et l'osmose inverse. Par exemple, le ROWPU (Reverse Osmosis Water Purification Unit) de l'armée Canadienne est utilisée pour des missions militaires et des réponses humanitaires (Canadian Army¹). La nano filtration et l'osmose inverse ne sont cependant pas utilisés dans le contexte de situation d'urgence car ils demandent une étape de préfiltration de l'eau brute produisant déjà une eau d'une qualité élevée ne requérant qu'une désinfection pour atteindre les standards de qualité désirés en vue de la consommation (Clarke & Steele, 2009). En général, la filtration membranaire permet d'obtenir un très haut niveau de traitement physique avec des turbidités finales de moins de 0,1 UTN. Ces filtres permettent aussi l'enlèvement de certains micro-organismes. Cela n'assure cependant aucune protection rémanente à l'eau après le traitement (contamination post distribution). Également, ces systèmes ne requièrent pas l'utilisation de coagulant, ce qui simplifie le procédé de traitement. Ces systèmes peuvent devenir problématiques en présence d'une eau brute à turbidité élevée. Dans un tel cas, les filtres peuvent produire des eaux d'une qualité insatisfaisante, et ils peuvent se boucher ou nécessiter un grand nombre de rétro lavages (microfiltration et ultrafiltration) ce qui peut ralentir considérablement la production d'eau potable et ainsi diminuer la quantité produite. Les nettoyages peuvent aussi nécessiter de l'équipement et des techniques spéciales (Clarke et Steele, 2009 et Dorea et al., 2006).

D. Filtration granulaire (mobile)

La filtration granulaire consiste à faire passer l'eau à traiter à travers une couche de milieu granulaire fin comme le sable par exemple. Cette étape se fait habituellement à l'intérieur d'un réservoir sous pression. Un tel système peut compter plus d'une étape de filtration en série afin d'enlever différentes grosseurs de floes à chaque étape pour réduire le nombre de rétro lavages et ainsi augmenter la productivité. On retrouve donc généralement un premier filtre à sable suivi d'un filtre à charbon activé (Clarke & Steele, 2009). Les lavages doivent être effectués lorsque la perte de charge à travers les filtres est trop élevée ou lorsque la turbidité de l'eau traitée n'est plus

¹ Pour référence internet, voir armée canadienne dans la bibliographie (section 7)

satisfaisante. L'utilisation d'un coagulant est également requise pour permettre aux particules en suspension d'être adsorbées sur les grains du filtre (Crittenden, 2012).



Figure 4: Système de filtration granulaire à tape unique (Clarke & Steele, 2010)

Comme pour les filtres membranaires, les filtres granulaires permettent d'atteindre un niveau de traitement physique très élevé mais requièrent d'effectuer des rétrolavages qui peuvent ralentir la production selon la turbidité de l'eau brute. Par exemple, Nothomb (1995) a effectué des essais sur deux de ces systèmes utilisés par des organismes de secours en traitant une eau synthétisée ayant une turbidité de 75 à 300 UTN et a obtenu des résultats ne satisfaisant pas toujours l'objectif de 5 UTN tout en requérant des rétro lavages après 30 à 90 minutes d'utilisation. De plus, ces eaux de rétro lavage doivent être rejetées de manière sécuritaire (Dorea et al. 2006 et Clarke et Steele, 2009). La figure 5 montre un exemple d'un tel kit de traitement qui porte le nom de P4000.





Figure 5: Système de filtration granulaire à deux étapes (P4000 CL Operation and Maintenance manual, 2010)

2.2.5.3. Systèmes modulaires

E. Filtration (modulaire)

Les filtres membranaires et granulaires sous pression décrits précédemment peuvent également être produits sous la forme de systèmes modulaires (Dorea et al. 2006). Ces unités requièrent donc théoriquement un assemblage plus long et plus complexe que leur équivalent en systèmes mobiles mais ceci peut aussi signifier un transport plus facile grâce aux pièces détachées.

F. Filtration lente

Des kits de filtration lente sur sable peuvent être construits en utilisant un média granulaire disponible localement et à l'aide de réservoirs (ex : T70 de Oxfam) et peuvent être utilisés comme installation de traitement à long terme (plus de 6 mois). En effet, ces filtres nécessitent un temps de démarrage élevé afin de développer les propriétés nécessaires au traitement biologique et physico-chimique de l'eau. Encore une fois, ce type de système permet de traiter une eau jusqu'à de très faibles turbidités (moins de 1 UTN) mais est très sensible à la turbidité de l'eau brute car, tout comme pour les autres types de filtration, il est normalement réservé pour des eaux brutes peu turbides. Ceci a pour effet de nécessiter un prétraitement si la turbidité de l'eau brute est trop élevée (Dorea et al. 2006).

G. Clarification

La clarification réfère à l'enlèvement des particules en suspension par déstabilisation de ces particules à l'aide d'un coagulant pour ensuite faire les faire agglomérer en vue de leur séparation d'avec l'eau (sédimentation ou flottation). L'alun est habituellement le coagulant choisi pour les systèmes de traitement d'eau pour les situations d'urgence. Ceci est principalement dû à sa grande disponibilité et à son coût habituellement faible partout à travers le monde (Dorea 2009). Il existe présentement deux façons d'effectuer la clarification par coagulation et sédimentation de l'eau en situation d'urgence. La première dite «en cuvée» (*batch*) consiste à ajouter un coagulant à l'eau contenue dans un réservoir, effectuer le brassage de l'eau pour la coagulation et la floculation, laisser les particules sédimenter pour un certain temps, récupérer l'eau traitée et finalement ajouter un désinfectant. Ces réservoirs sont construits sur place. Habituellement, entre deux et six heures sont nécessaires pour effectuer la sédimentation et l'eau traitée peut habituellement passer d'une très haute turbidité (centaines de UTN) à une turbidité acceptable selon les recommandations du *Sphere Project* (Dorea 2007). D'un point de vue opérationnel, ce type de traitement est semblable aux technologies de traitement au point d'utilisation (sachets) puisqu'effectuée de manière discontinue (*batch*). Cet aspect ajoute un élément de logistique puisque les batch doivent être prêtes au moment où l'eau est nécessaire pour la consommation contrairement au système de traitement en continu avec lesquels il est habituellement possible de commencer à obtenir de l'eau traitée en quelques minutes une fois l'installation du système terminée.

La deuxième façon d'effectuer la clarification avec coagulant est de développer un système de traitement en continu permettant la sédimentation à rendement élevé (Crittenden, 2012). Le meilleur exemple de ce type de système est le «Field Upflow Clarifier Kit» (Dorea, 2009) qui est un décanteur à lit de boues. L'idée de développement de ce système est premièrement d'offrir une alternative aux filtres pour le traitement d'eaux très turbides en continu tout en évitant les fréquents colmatages et rétrolavages de ces filtres qui ralentissent la production.

Le fonctionnement du système se fait donc selon les étapes suivantes. Tout d'abord, l'ajout d'un coagulant (alun) est effectué par succion à l'aide d'un doseur connecté à la conduite d'amenée de l'eau pompée vers la pompe. Pour effectuer la floculation, un tuyau placé en spirale autour du réservoir de décantation (T11 de Oxfam) est utilisé. Par la suite, l'eau entrant dans le réservoir de décantation passe dans un cône. La forme conique a pour effet de ralentir graduellement la vitesse d'écoulement de l'eau pompée. À un certain point, la vitesse de sédimentation des floes en suspension dans l'eau devient similaire à la vitesse de déplacement de l'eau ce qui permet aux floes de rester en suspension dans l'eau. Ceci a pour effet de créer une couche de floes (appelée lit de

boues) qui sont enlevés de l'eau et qui permettent d'accumuler d'autres particules en épaississant cette couche. L'eau sortant du réservoir passe ensuite à travers un filtre de polissage en géotextile et est alors récoltée pour la chloration avant la distribution. La figure 6 illustre le système de manière schématique (Clarke et Steele, 2009, Clarke et al., 2004 et Dorea, 2009).

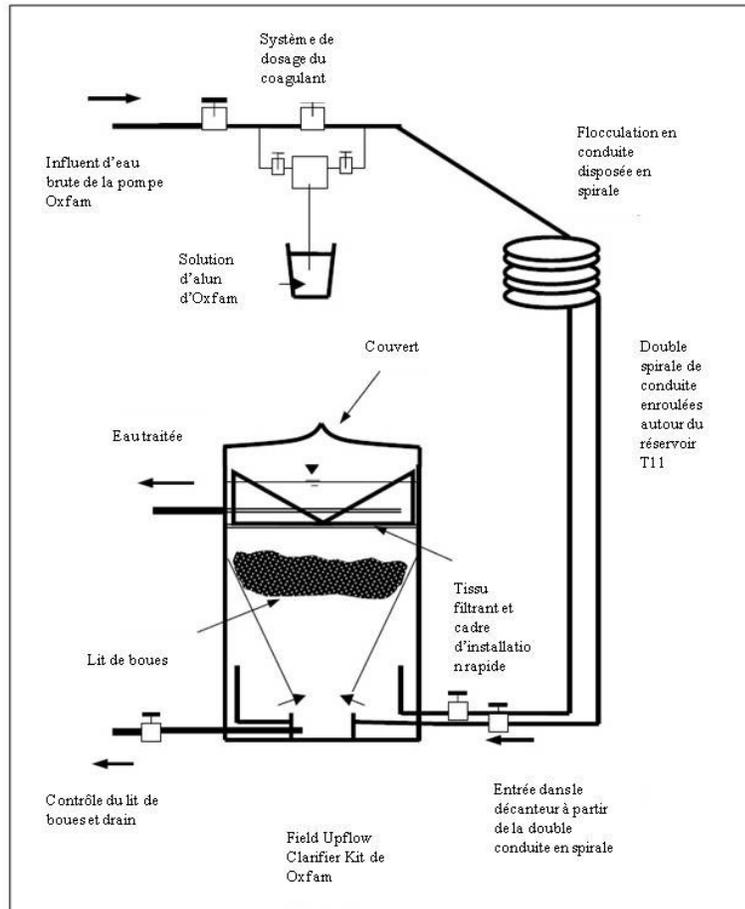


Figure 6: Décanteur à lit de boues (traduite de Clarke et al., 2004)

Ce système est considéré comme facile à opérer et peut fonctionner pour une longue période de temps sans nécessiter de nettoyage et peut même voir sa performance s'améliorer dans le temps avec l'épaississement et la stabilisation du lit de boues. Cependant, la formation de ce lit de boues est essentielle au bon fonctionnement du système (abaissement de turbidité) et peut prendre un temps considérable au démarrage du système. En effet, l'atteinte d'un lit stable peut s'avérer difficile et celui-ci risque également de se déstabiliser en cours de traitement. Le transport est très facile puisque le tout est démontable et le type de réservoir est très commun (T11) et peut être utilisé pour d'autres applications (peut être converti en unité de filtration) (Clarke et al. 2004). À la suite de l'ouragan Jeanne qui a sévi à Haïti en 2004, ce système a permis de traiter des eaux brutes

d'une turbidité variant de 57 à 142 UTN en obtenant des turbidités finales de 0,82 à 19,5 UTN à des débits allant de 6,4 à 10,2 m³ par heure. Également, la réduction du nombre de coliformes fécaux par 100 millilitres a atteint entre 98 et 98,8 % (Dorea et Clarke 2006). La principale lacune de ce système, qui a été identifié jusqu'à maintenant, est la difficulté d'installation. Le grand nombre de composantes et d'étapes nécessaires à l'installation rend ce système un peu long à mettre en place et à démarrer en requérant généralement une journée de travail pour se faire. (Clarke et Steele, 2009 et Dorea et Clarke, 2006).

2.2.6. Décanteur lamellaire

Selon Clarke et Steele (2010), plusieurs agences de secours ont redéfini leurs exigences concernant les systèmes de traitement pour les situations d'urgence pour mieux répondre aux besoins dans le contexte donné. Ces exigences incluent :

- La flexibilité de traitement : Le système doit être capable de traiter un grand éventail de qualités d'eau brute;
- La durabilité et la fiabilité;
- Les coûts relativement faibles;
- La capacité de production : être en mesure de produire jusqu'à 10 mètres cubes d'eau par heure d'une certaine qualité (turbidité maximale de 5 UTN);
- Le transport : être en mesure de transporter le système dans la boîte arrière d'une camionnette (*pick-up*, en général; 4' x 5,5' ou 1,22m x 1,68m);
- La rapidité de déploiement : Rapidité d'installation, facilité d'opération et de maintenance.

Le tableau 3 récapitule les caractéristiques des systèmes décrits précédemment vis-à-vis des exigences ci-dessus. Les informations recueillies proviennent des articles suivants : Sobsey et al., 2008; Clarke & Steele, 2010; Dorea et al., 2012 et Luff & Dorea., 2012.

Tableau 3: Résumé des systèmes utilisés et de leurs caractéristiques

	Flexibilité de traitement	Durabilité et fiabilité	Coûts	Capacité de production	Transport	Rapidité de déploiement et facilité d'opération
Sachets	Très flexible, car cela permet de traiter pratiquement tous les types d'eaux douces brutes.	Le succès du traitement dépend des utilisateurs et de leur éducation. Non envisageable à long terme.	En moyenne, 0,003USD-0,01USD / litre pour le sachet seulement.	Selon le nombre de sachets distribués et le nombre de personne les utilisant. 10 à 20 litres par sachet.	Facilement transportable à l'aide de différents moyens de transports.	La distribution peut être ardue. Doit habituellement être importé à partir des quelques pays producteurs. Facile à opérer. Pas de maintenance à faire.
Filtres de céramique	Peu flexible, la turbidité de l'eau brute ne devrait pas dépasser 40 à 60 UTN.	Le succès du traitement dépend des utilisateurs et de leur éducation.	Rachat du média filtrant. En moyenne, 0,0001 USD/ litre.	Faible, 1 à 3 litres par heure.	Facilement transportable. À l'aide de différents moyens de transport.	Transport facile, la distribution peut être ardue. Traitement très simple, le nettoyage du filtre se fait facilement à la main.
Filtration membranaire	Peu flexible, la turbidité de l'eau brute ne peut être très élevée sans risquer de boucher le filtre.	Durable mais la fréquence des rétro-lavages peut devenir un problème de fiabilité si la turbidité de l'eau brute est élevée.	Coûts moyens. 3000\$ / m ³ /h (Coût d'achat en fonction du débit de production).	Jusqu'à 15 m ³ /h. Dépend de la fréquence des rétro-lavages.	Transportable dans la boîte d'une camionnette.	Selon le système, peut être installé en une journée ou moins. Opération relativement simple. Il faut savoir effectuer les rétro-lavages. Maintenance peu fréquente (1 fois par jour).

Tableau 3: Résumé des systèmes utilisés et de leurs caractéristiques (suite)

	Flexibilité de traitement	Durabilité et fiabilité	Coûts	Capacité de production	Transport	Rapidité de déploiement
Filtration granulaire	Peu flexible, la turbidité de l'eau brute ne devrait pas dépasser 300 UTN.	Durable mais peu fiable si la turbidité de l'eau brute est élevée.	Coûts moyens. 3000 \$ / m ³ /h (P4000) (Coût d'achat en fonction du débit de production).	Jusqu'à 4 mètres cubes par heure (P4000). Dépend de la fréquence des rétro lavages.	Transportable dans la boîte d'une camionnette.	Selon le système, peut être installé en une journée ou moins. Opération relativement simple. Il faut savoir effectuer les rétro-lavages. Maintenance peu fréquente (1 fois par jour).
Clarification en cuvée	Très flexible, peut pratiquement traiter tous les types d'eaux douces brutes.	Très durable et fiable. Traitement discontinu.	Coûts généralement faibles, reliés à l'achat du réservoir utilisé.	Selon le nombre de réservoir disponibles pour effectuer le traitement.	Transportable dans la boîte d'une camionnette.	Peut être installé en moins d'une journée. Opération simple. Maintenance entre les cuvées.
Décanteur à lit de boues	Très flexible, peut pratiquement traiter tous les types d'eaux douces brutes à une qualité très élevée.	Durable. La fiabilité dépend de la stabilité du lit de boues.	Coûts faibles. 400 à 800 \$ / m ³ /h (Coût d'achat en fonction du débit de production).	Jusqu'à 10 mètres cubes par heure.	Transportable dans la boîte d'une camionnette.	Relativement long à installer, environ un à deux jours à mettre en place. Opération de démarrage relativement complexe avant l'atteinte du lit de boues. Maintenance peu fréquente (1 fois par jour).

Cette comparaison permet de voir les forces et les faiblesses des systèmes présentement utilisés. De manière générale, les systèmes de traitement au point de consommation demandant une logistique complexe, la rapidité de déploiement en est affectée. La réussite du traitement est aussi incertaine et difficile à évaluer. Les systèmes de traitement en cuvée demandent également une logistique assez élaborée afin d'avoir l'eau au moment nécessaire. Le traitement par filtration permet de produire une eau de très haute qualité mais son manque de flexibilité par rapport aux eaux brutes a déjà fait défaut par le passé ce qui le rend inadéquat par moment. La clarification s'avérant une technologie plus flexible, cette option présente une avenue à exploiter plus amplement. En effet, les systèmes de clarification déjà utilisés (cuvée, Upflow Clarifier) sont efficaces pour pratiquement toutes les qualités d'eaux douces brutes mais la rapidité et simplicité de déploiement et de fonctionnement doit être amélioré.

Les objectifs à atteindre pour le développement d'un nouveau système de clarification ont donc été identifiés comme étant les suivants :

- Traitement basé sur la clarification continue.
- Système relativement compact et transportable à l'aide d'une camionnette (*pick-up*).
- Système pouvant produire jusqu'à 6 m³/h.
- Coagulation faite à l'aide d'alun.
- Respecte les standards du *Sphere Project*.
- Facile et rapide à déployer.
- Faible coût (~1000\$/m³/h).

La décantation lamellaire étant une technologie de clarification reconnue et utilisée pour le traitement des eaux à travers le monde mais n'ayant pas été développée jusqu'à maintenant pour les systèmes transportables pour les situations d'urgence, il a donc été décidé de démarrer des recherches pour développer un tel système. Afin d'être rapide et facile à déployer, ce système serait de type mobile et, afin d'être transportable à l'aide d'un camion pick-up tout en ayant un volume permettant d'avoir un temps de rétention suffisant, la cible de production a été fixée à 6 m³/h.

2.3. Système de décantation lamellaire

Un système de décantation lamellaire est généralement composé de trois étapes principales soient la coagulation, la floculation et la décantation.

2.3.1. Coagulation

2.3.1.1. Coagulants

Les particules créant la turbidité présente dans l'eau sédimentent de manière naturelle à des vitesses extrêmement lentes. La stabilité des particules dans l'eau empêchant cette sédimentation est due à un équilibre entre les forces de répulsion électrostatiques et les forces d'attraction (force van der Waals) entre les particules. La plupart des particules en suspension dans les eaux naturelles sont chargées négativement. L'étape de la coagulation réfère au processus de déstabilisation des particules par l'ajout d'un coagulant, ce qui permet aux particules de s'agglomérer entre elles. Deux des principaux coagulants utilisés pour traiter l'eau sont le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) et le sulfate ferrique ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Lorsqu'ajoutés à l'eau, ces produits se dissocient pour former des ions trivalents (Al^{3+} et Fe^{3+}) qui réagissent avec l'eau. En s'hydratant, ces ions forment des composés complexes ($\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ et $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$) qui subiront une série de réactions d'hydrolyse pour former une variété d'autres ions (entres autres) qui pourront ensuite réagir ou se lier avec la matière en suspension de l'eau afin de la déstabiliser (Crittenden, 2012). Pour le traitement d'eau en situation d'urgence, l'alun est généralement utilisé à cause de sa disponibilité et facilité d'accès partout à travers le monde ainsi que son faible coût.

Il existe trois principaux mécanismes de coagulation des particules soient: 1) l'adsorption et neutralisation de charge, 2) la précipitation et emprisonnement (*sweep*) et 3) l'adsorption et pontage. Le premier mécanisme (adsorption et neutralisation de charge) réfère à l'adsorption d'éléments chargés positivement pour neutraliser les charges négatives de surface des particules. Pour ce mécanisme, il existe une dose optimale de coagulant à ajouter pour le traitement des particules en suspension d'une eau. En effet, si le dosage est trop faible, la déstabilisation des particules en suspension ne se fait pas entièrement et la coagulation n'est pas complète. Si le dosage est trop élevé, il peut y avoir restabilisation des particules qui sont alors chargées positivement comme l'illustre la figure 7 tirée du manuel de Crittenden (2012) et provenant des essais de Black et al. (1966).

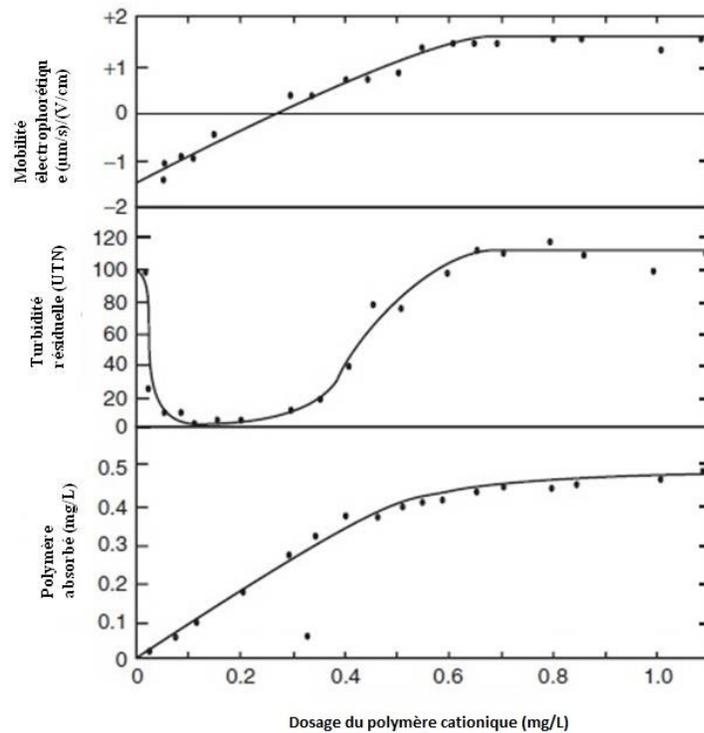


Figure 7: Déstabilisation et restabilisation des particules par coagulation (traduite de Black et al., 1966)

La précipitation et l'emprisonnement (*sweep*) réfère à une sursaturation en sels d'aluminium ou de fer qui précipitent sous forme d'hydroxydes et emprisonnent les particules en suspension. Finalement, l'adsorption et le pontage réfère à un mécanisme de formation de ponts entre les particules. Il y a également risque de restabilisation pour ce mécanisme (Bouchard, 2012). Il est important de noter que la capacité du coagulant à réagir avec la matière en suspension est dépendante du pH de l'eau. En effet, tel qu'illustré sur la figure 8 le pH détermine la solubilité des espèces d'aluminium ou de fer présent dans l'eau ce qui influence le mécanisme de coagulation en cours. La gamme de pH d'utilisation de l'alun (sulfate d'aluminium) pour la coagulation des particules est entre 5,5 et 7,7 et la gamme de pH d'utilisation du fer est entre 5 et 8,5.

Également, une fois que le coagulant a été ajouté à l'eau et que $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ont été formés, les espèces restantes sont semblables à ce qu'on retrouve après l'ajout de H_2SO_4 et HCl à l'eau ce qui représente des acides forts. L'ajout d'un coagulant consomme donc l'alcalinité de l'eau et abaisse son pH ce qui rend ces deux éléments très importants à surveiller après l'ajout du coagulant

pour le succès de la coagulation. L'alcalinité est une mesure de la capacité d'une eau à neutraliser les acides. En général, 1 meq/L de coagulant consomme 1 meq/L d'alcalinité ce qui correspond environ à une consommation de 0,5 mg/L d'équivalent en CaCO_3 d'alcalinité pour l'ajout de 1 mg/L d'alun. L'ajout d'acides ou de bases peut aussi être utilisé pour maintenir le pH dans les gammes indiquées précédemment pour obtenir une coagulation efficace (Crittenden, 2012).

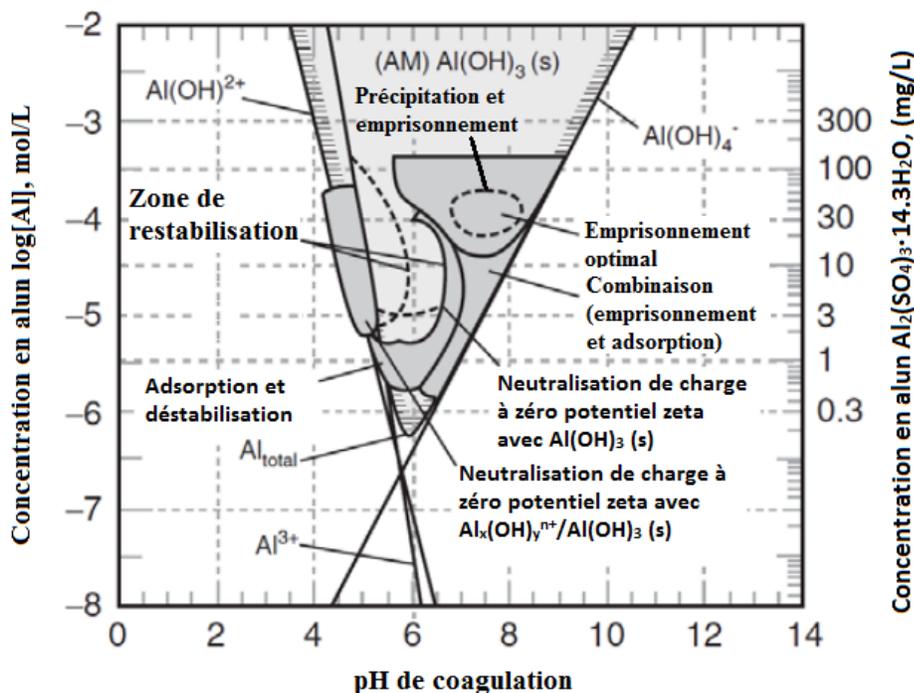


Figure 8: pH de coagulation (Traduit de Crittenden, 2012)

La présence de matière organique affecte également la dose de coagulant nécessaire. En effet la fraction dissoute de la matière organique naturelle (MON) réagit avec les ions métalliques et tend ainsi à augmenter la consommation de coagulant par l'eau comme l'illustre la figure 9 (Crittenden, 2012).

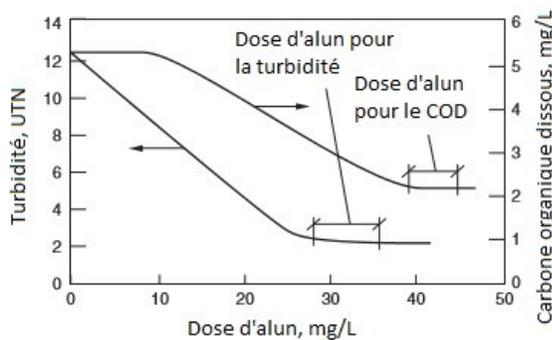


Figure 9: Coagulation de la matière organique (Traduit de Crittenden, 2012)

Le bon dosage du coagulant est habituellement évalué à l'aide du jar test (voir section 2.5). Ce test consiste à simuler en laboratoire les conditions de coagulation et de floculation retrouvées dans un système de traitement à pleine échelle. Cela est fait dans des contenants (bêchers) de mêmes volumes (habituellement un litre) en y ajoutant des doses de coagulant différentes (selon le test désiré). Généralement, le test consiste en 6 étapes : l'ajout du coagulant, le mélange rapide (pour simuler la coagulation), l'ajout d'un polymère (floculant), le mélange lent (pour simuler la floculation), la décantation et la mesure de la turbidité résiduelle. En ne faisant varier que la dose du coagulant d'un bêcher à l'autre, la turbidité résiduelle indique quel dosage est le meilleur pour l'eau à traiter.

2.3.1.2. Polymères

Les polymères (organiques) sont des molécules formées de très longues chaînes et ayant une structure leur conférant des propriétés physicochimique intéressantes pour le traitement d'eau. Principalement, les polymères peuvent être utilisés comme coagulants (pour certains types de particules) ou comme aide à la formation de particules plus grandes en vue de leur sédimentation. Tel que mentionné, l'étape de coagulation est habituellement effectuée à l'aide d'alun en situation d'urgence. Pour ce qui est de la deuxième utilisation, celle-ci se rapproche plus de l'étape de la floculation et n'est habituellement pas non plus employée en situation d'urgence pour des raisons économiques puisque les polymères sont habituellement assez dispendieux. De plus, la nécessité de bien ajuster le dosage et d'ajouter une composante au système pour l'ajout du polymère viendrait considérablement ajouter à la complexité du traitement. D'autres techniques de floculation sont donc utilisées.

2.3.2. Floculation

La floculation réfère au processus d'agglomération des particules afin d'en former de plus grosse en vue de leur décantation. Elle peut être effectuée par brassage de l'eau ayant été coagulée pour entraîner des collisions entre les particules déstabilisées ce qui permet de créer de plus gros floes qui sédimenteront plus rapidement. Le niveau de brassage peut être globalement mesuré à l'aide du gradient moyen de vitesse (G). Ce gradient est proportionnel à la contrainte de cisaillement exercée sur les éléments d'un fluide. L'équation suivante tirée du manuel de Crittenden (2012) provenant des travaux de Camp et Stein (1943) représente le lien entre le gradient de vitesse (G) et la puissance transmise à l'eau pour le brassage :

Équation 1: Définition du gradient de vitesse

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Où G est le gradient de vitesse (s^{-1}), P est la puissance mécanique transmise à l'eau dans le bassin de floculation (W), V est le volume du bassin de floculation (m^3) et μ est la viscosité dynamique de l'eau ($kg / m \cdot s$) (Crittenden, 2012).

La formation de plus gros floes dépend de la fréquence des collisions entre les particules présentes dans l'eau. Cette fréquence de collisions est fonction de la taille des particules, du nombre de particules, de l'intensité du brassage (gradient de vitesse) et du temps de brassage. Durant ce processus, les floes soumis aux efforts de cisaillement peuvent également se rompre si ces forces sont trop élevées. Après une certaine durée de brassage, un équilibre dynamique est atteint entre la vitesse de formation et la vitesse de bris des floes (Crittenden, 2012).

Il existe plusieurs façons d'effectuer la floculation de l'eau après la coagulation qui correspondent à différentes façons d'agiter l'eau. Les trois principales techniques utilisées sont la floculation par turbine à axe vertical, la floculation par roues à pagaies (ou pales) horizontales et la floculation hydraulique. Étant donné que la floculation à turbine et la floculation par roues à pagaies nécessitent une source énergétique supplémentaire (ex: électricité) ce qui complexifie l'installation et l'utilisation du système, ces techniques ne conviennent pas pour un système transportable pour les situations d'urgence. La floculation hydraulique utilisant l'énergie transmise à l'eau par la pompe pour entraîner le brassage de l'eau, cette technique est plus appropriée. La figure 10 présente différentes façons d'effectuer ce type de floculation.

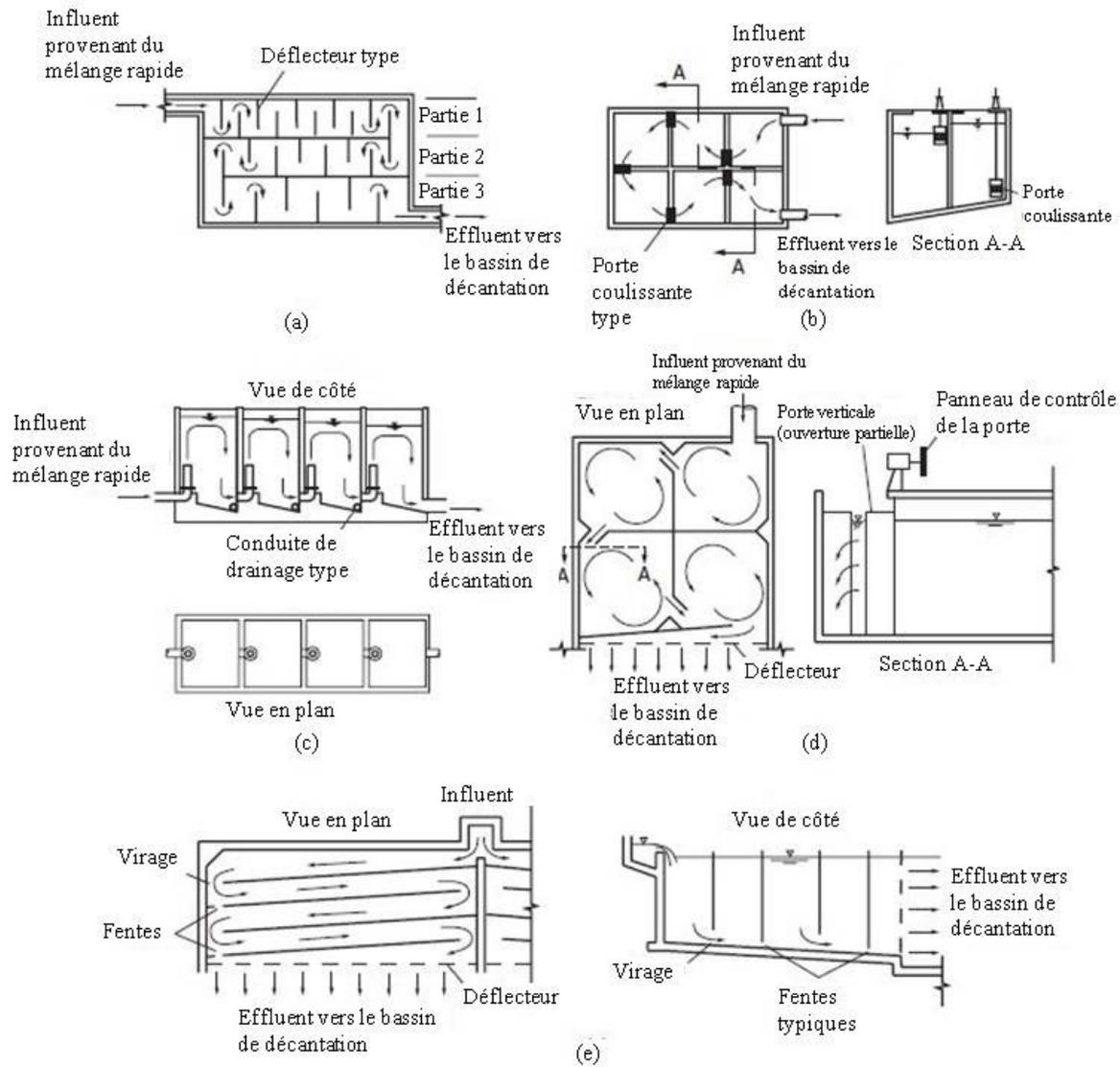


Figure 10: Procédés de floculation (Crittenden, 2012)

La partie (d) de la figure 10 représente la floculation hydraulique à porte variable où l'eau est forcée de couler de manière circulaire à l'intérieur d'un compartiment pendant un certain temps pour effectuer le brassage. La partie (a) et la deuxième image de la partie (e) de la figure 10 représentent respectivement des configurations de flocculateurs hydrauliques à chicanes dit «autour de l'extrémité» et «par-dessus et par-dessous». Pour ce type de flocculateur, la perte de charge (m), de laquelle le gradient de vitesse dépend, peut être exprimée ainsi (Haarhoff et al. 1998):

Équation 2: Perte de charge

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

Où K est un facteur de perte de charge pour les virages à 180°, v est la vitesse d'écoulement moyenne de l'eau entre les déflecteurs (m/s) et g est la constante gravitationnelle (9,81 m/s²).

Dans le cas d'un flocculateur à déflecteurs « autour de l'extrémité » (figure 11), l'eau traverse le flocculateur en s'écoulant toujours de manière horizontale en contournant chaque déflecteur (figure 11), ce qui permet le brassage de l'eau. La formule suivante tirée de Haarhoff et al. (1998) permet de calculer le gradient de vitesse (G) du flocculateur selon la configuration de celui-ci :

Équation 3: Gradient de vitesse (flocculateur hydraulique « autour de l'extrémité »)

$$\frac{(N-1)}{(rB)^2} = \frac{2vG^2t}{KQ^2}$$

Où N-1 est le nombre de déflecteurs (N étant le nombre d'espaces d'écoulement entre les déflecteurs), B est la distance entre deux déflecteurs (m), r est le ratio de la profondeur d'eau moyenne dans le bassin divisée par la distance entre deux déflecteurs (sans dimension), v est la viscosité cinématique de l'eau (m²/s), t est le temps de floculation (s), Q est le débit (m³/s) et K est un facteur de perte de charge (sans dimension) pour les virages à 180° horizontaux tel qu'illustré sur la figure 11 (Haarhoff et al., 1998).

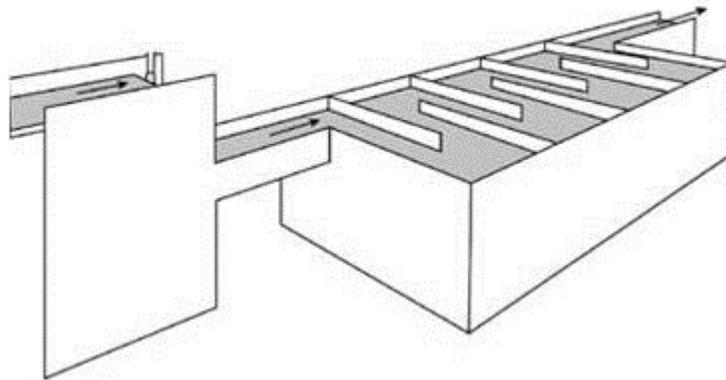


Figure 11: Flocculateur à déflecteurs « autour de l'extrémité » (Haarhoff et al., 1998)

Selon Haarhoff (1998), le gradient de vitesse d'un tel flocculateur devrait se situer entre 20 et 70 s⁻¹ afin d'obtenir des conditions de brassage permettant d'obtenir des floes d'une grosseur permettant leur décantation. Pour un flocculateur hydraulique à déflecteur « par-dessus et par-dessous » (figure 12), l'écoulement de l'eau entre les déflecteurs s'effectue de manière verticale (vers le haut ou vers le bas) avant de passer horizontalement (« par-dessus ou par-dessous ») au prochain déflecteur. L'équation suivante tirée d'un article du groupe de recherche AguaClara de l'Université Cornell² est utilisée pour calculer le gradient de vitesse (G) du flocculateur :

Équation 4: Gradient de vitesse (flocculateur hydraulique « par-dessus, par-dessous »)

$$G = V^{3/2} \sqrt{\frac{1}{2\nu L} \sqrt{\Sigma K_{\min} + f \frac{L_s(w+b)}{2wb}}}$$

Où V est la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau entre les déflecteurs (m/s), L est la profondeur d'eau (m), K_{min} est un facteur de perte de charge pour les virages à 180° (sans dimension), f est un facteur de friction qui dépend du matériel utilisé pour la construction du flocculateur (frottement de l'eau sur les parois du bassin et sur les déflecteurs) (sans dimension), L_s est la longueur sur laquelle le frottement est exercé (m), w est la largeur de l'écoulement (largeur des déflecteurs) (m) et b est la distance entre deux déflecteurs (m) (Cornell, 2014).

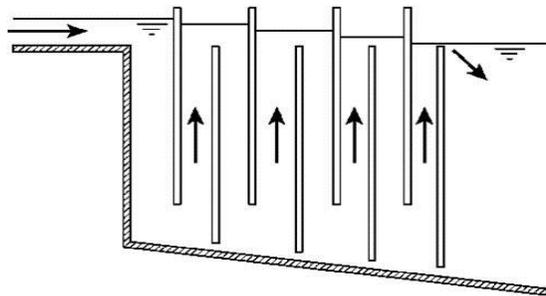


Figure 12: Flocculateur à déflecteurs « par-dessus, par-dessous » (Cornell, 2014)

Finalement, il est également possible d'effectuer la floculation à l'intérieur d'une conduite fermée où la perte de charge par friction et la perte de charge due aux singularités (coudes, valves, etc.) permet le brassage de l'eau. Encore une fois tirée du même article du groupe de recherche AguaClara, l'équation suivante donne une manière de mesurer le gradient de vitesse dans une conduite:

² Pour référence internet, voir Cornell dans la bibliographie (section 7)

Équation 5: Gradient de vitesse (conduite)

$$G = V \sqrt{\frac{1}{2\nu\theta} \left(\Sigma K_{\text{minor}} + f \frac{L}{2R_h} \right)}$$

Où V est la vitesse d'écoulement de l'eau dans la conduite, θ est le temps de rétention dans la conduite (s), ΣK_{minor} représente la somme des coefficients des singularités dans la conduite (ex: 0,3 pour un virage à 90°), L est la longueur de la conduite (m) et R_h est le rayon hydraulique de la conduite (m).

2.3.3. Sédimentation

Les particules en suspension dans l'eau ont tendance à sédimenter selon quatre modes (figure 13). La sédimentation de type I dite de particules discrètes représente la décantation d'une particule isolée dans un liquide selon la résultante des forces gravitationnelle et de la poussée d'Archimède. La sédimentation de type II (sédimentation floculante) considère qu'à une certaine concentration, les particules entrent en contact les unes avec les autres pour former de plus grosses particules qui décantent plus rapidement. La sédimentation de type III (sédimentation freinée) considère la formation d'une couche de particules entraînant les particules en dessous de cette couche et laissant une interface claire au-dessus de cette couche. Finalement, à des concentrations beaucoup plus élevées, la sédimentation de type IV (tassement) représente la sédimentation de compression où les particules ne décantent pas vraiment mais c'est plutôt l'eau qui s'écoule ou se draine hors de l'amas de particules (Crittenden, 2012).

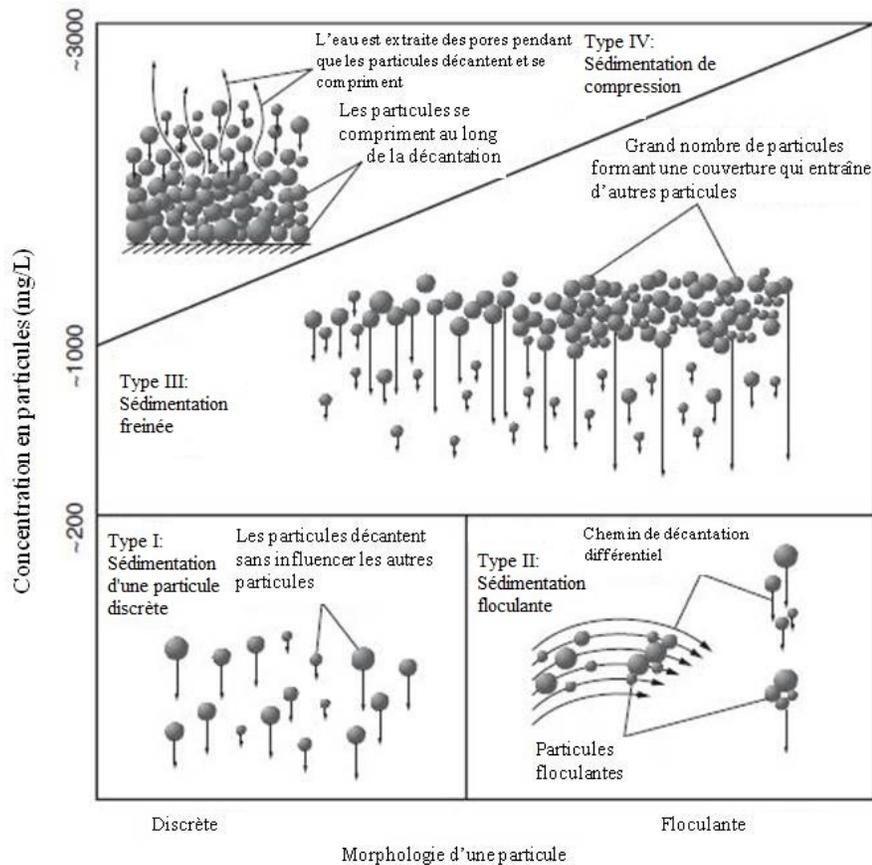


Figure 13: Types de sédimentation (traduite de Crittenden, 2012)

Les bassins de décantation servent donc à utiliser la sédimentation des particules pour les enlever de l'eau. En considérant la sédimentation d'une particule discrète (type I: aucune floculation et vitesse de sédimentation constante) dans un bassin de décantation idéal rectangulaire dans lequel l'écoulement de l'eau est un écoulement piston, la trajectoire d'une particule dans un tel bassin comprend deux composantes soit la vitesse de décantation (v_s) et la vitesse du fluide (v_f) comme le montre la figure 14.

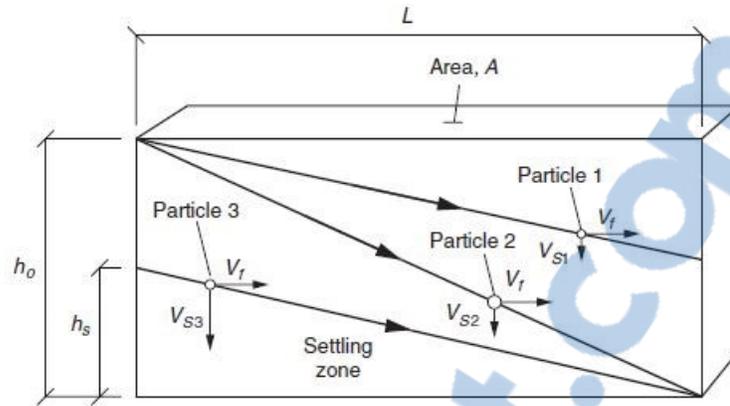


Figure 14: Bassin de sédimentation idéal (Crittenden, 2012)

Toute particule qui atteint le fond du bassin (zone des boues) est donc enlevée de l'eau. La vitesse de sédimentation d'une particule entrant dans le haut du bassin et atteignant le fond du bassin tout juste avant la sortie est qualifiée de vitesse critique (v_c) (particule 2 sur la figure 14). Cette vitesse est donnée par l'équation suivante :

Équation 6: Taux de débordement

$$v_c = \frac{h_0}{\tau} = \frac{h_0 Q}{h_0 A} = \frac{Q}{A} = TD$$

Où v_c est la vitesse critique (m/h), h_0 est la hauteur du bassin de sédimentation, Q est le débit traité, A est l'aire couverte par le bassin (m^2) et TD est le taux de débordement auquel le traitement est effectué ($m^3/m^2 \cdot h$). Ce taux de débordement (égal à la vitesse critique dans le cas d'un décanteur idéal), est un critère important de la conception de ces bassins (Crittenden, 2012). Cependant, cette conception étant basée sur la sédimentation de type I, elle représente une conception conservatrice puisqu'avec l'addition d'un coagulant, les particules entrent en contact entre elles pour former de plus grosses particules et ainsi obtenir une sédimentation floculante (type II).

Afin d'obtenir de bonnes réductions de turbidité par l'enlèvement des particules, de tels bassins doivent occuper de très grands espaces. En faisant diminuer la distance qu'une particule doit traverser dans le bassin afin d'être enlevée de l'eau, il est possible d'augmenter le taux d'enlèvement des particules. Pour ce faire, des plaques ou des tubes parallèles (lamelles) sont ajoutés dans le bassin de décantation ce qui permet aux particules d'atteindre une surface après une courte période de sédimentation. Afin d'éviter que les espaces entre ces lamelles ne se remplissent rapidement et se bouchent si elles étaient horizontales, elles sont plutôt installées à un angle (60°) pour permettre aux particules accumulées de glisser au fond du bassin. La figure 15 illustre ce principe et montre comment ces lamelles sont installées pour obtenir une configuration

d'écoulement à contre-courant, ce qui signifie que les floccs descendent dans le sens inverse de l'écoulement. La figure 16 illustre comment les lamelles sont installées à l'intérieur d'un bassin rectangulaire (Crittenden, 2012). Ainsi, lorsque les particules atteignent la lamelle angulée, elles descendent au fond du bassin pour être accumulées ou ramassées par le collecteur de boues. L'eau sortant des lamelles atteint donc le déversoir avec une turbidité diminuée. Ceci permet donc, pour un même enlèvement de particules, de concevoir des systèmes ayant une empreinte au sol inférieure à celle des systèmes n'ayant pas de lamelles.

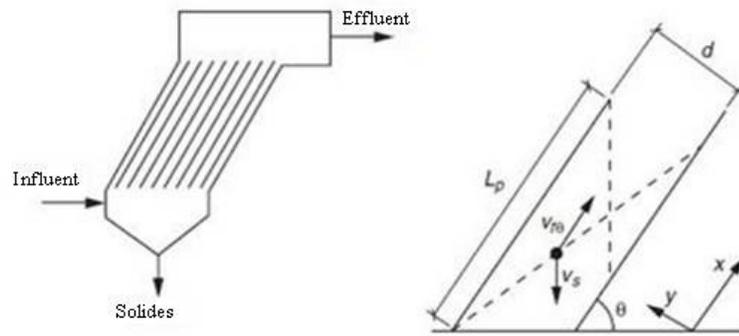


Figure 15: Écoulement dans les plaques d'un décanteur lamellaire en configuration contre-courant(traduite de Crittenden, 2012)

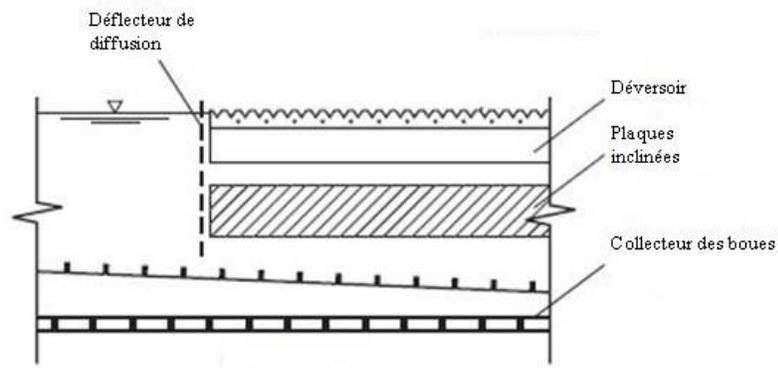


Figure 16: Agencement des plaques à l'intérieur d'un décanteur lamellaire(traduite de Crittenden, 2012)

L'espace nécessaire entre les lamelles afin d'obtenir une certaine vitesse critique peut être calculé à l'aide de l'équation suivante (Hendricks, 2010):

Équation 7: Vitesse de sédimentation des floes

$$v_0 = \frac{Q(\text{plaque})}{\left[L \cos \theta + \frac{d}{\sin \theta} \right] w} \quad ?)$$

Où v_0 (équivalent à v_c de l'équation 6) est la vitesse de chute de la plus petite particule à être complètement enlevée de l'eau (vitesse critique) (m/s), Q (plaque) est le débit passant entre deux lamelles (m^3/s), θ est l'angle des plaques par rapport à l'horizontal ($^\circ$), d est l'espacement entre deux lamelles (m) et w (plaque) est la largeur d'une lamelle (m) (largeur intérieure du décanteur).

2.4. Essais au traceur

Les réacteurs ou bassins sont très utilisés dans le domaine du traitement de l'eau et l'étude de ces derniers est importante pour prévoir leur comportement hydraulique et optimiser leur utilisation (ex: écoulement dans un décanteur). Pour le cas théorique d'un réacteur idéal ou d'un bassin ayant un écoulement idéal, le débit et le niveau de mélange peuvent être définis de manière exacte et les modèles peuvent prédire le comportement hydraulique exact de ceux-ci. Dans la pratique, ces réacteurs ou bassins ne se comportent pas exactement comme dans la théorie à cause de court-circuits, de la présence de turbulence, de la présence de courants internes et de zones mortes. Le niveau de mélange d'un bassin dans lequel l'eau s'écoule a une grande influence sur sa performance puisqu'il indique le volume du bassin qui participe activement à l'écoulement (Gujer, 2008).

Un essai au traceur dans un décanteur lamellaire permet de déterminer la distribution du temps de séjour hydraulique dans ce décanteur. Cela renseigne sur le temps disponible dans le décanteur pour effectuer la décantation des particules et sur la présence de court-circuits et de zones mortes. Ceci permet aussi de faire des comparaisons sur l'efficacité hydraulique de différentes configurations à l'intérieur du décanteur (Gujer, 2008).

Les essais au traceur consistent à ajouter un traceur à l'entrée du bassin et à mesurer la concentration en traceur à la sortie de ce bassin. Ce traceur doit remplir certaines exigences telles être transporté de la même façon que l'eau, ne pas affecter les processus de mélange et le débit, ne pas adhérer aux parois du réacteur, être très soluble dans l'eau sans réagir avec l'eau, être facile à détecter et le bruit de fond (concentration détectée dans l'eau sans ajout de traceur) doit être très faible (Bouchard, 2011).

Dans le cas d'un décanteur, l'essai peut s'effectuer en ajoutant une quantité connue de traceur en solution à son affluent de manière ponctuelle (certains essais sont effectués avec injection continue). Ensuite, des échantillons de l'effluent sont pris à certains intervalles de temps à la sortie du décanteur pour en mesurer la concentration en traceur. Pour connaître cette concentration,

l'absorbance de l'échantillon peut être mesurée pour la longueur d'onde la plus proche de celle correspondant à la longueur d'onde de l'absorbance maximale du traceur utilisé (Bouchard, 2012). La masse de traceur récupérée peut alors être calculé à l'aide l'équation suivante :

Équation 8: Masse de traceur récupérée

$$M_{\text{traceur,récupéré}} = Q \sum_{i=1}^n (C_{\text{traceur,sortie}} - C_{\text{traceur,BF}})_i * \Delta t_i$$

Où Q est le débit dans le système (l/min), C correspond à une concentration (g/l), M est la masse de traceur récupérée depuis le début de l'essai (g) et t est le temps écoulé depuis le début de l'essai (min). Le temps de séjour et l'indice de zones mortes, IZM, qui informent sur la répartition du débit dans le décanteur peuvent ensuite être calculés à l'aide des formules suivantes :

Équation 9: Temps de séjour

$$(\tau_m)_{\text{exp}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i * (C_{\text{traceur,sortie}} - C_{\text{traceur,BF}})_i * \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n (C_{\text{traceur,sortie}} - C_{\text{traceur,BF}})_i * \Delta t_i} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$$

Équation 10: Indice de zone morte

$$IZM(\%) = \frac{\theta_H - (\tau_m)_{\text{exp}}}{\theta_H} * 100$$

Où $(\tau_m)_{\text{exp}}$ représente le temps de séjour moyen expérimental (min), Δt représente l'intervalle de temps entre deux prises d'échantillons (min), IZM est l'indice de zones mortes (sans unité) et θ_H est le temps de rétention hydraulique théorique (min). L'indice de Morril, IM (sans unité), est une autre variable qui renseigne sur l'étalement des temps de séjour dans le bassin et qui se calcule de la manière suivante :

Équation 11: Indice de Morril

$$IM = \frac{\tau_{90}}{\tau_{10}}$$

Où τ_{90} et τ_{10} représentent respectivement les temps (min) où 90% et 10% de la masse de traceur a été récupérée. Finalement, il est intéressant de vérifier à quel modèle de réacteurs complètement mélangés en continu (RCMC) en série le bassin analysé correspond. Ce nombre (n) renseigne

également sur la distribution de l'écoulement dans le bassin et se calcule à l'aide de la formule suivante:

Équation 12: Nombre de réacteur complètement mélangés en continu

$$\frac{1}{n} = \frac{\Sigma_1 \Sigma_3}{(\Sigma_2)^2} - 1$$

où Σ_1 et Σ_2 sont les sommes présentées à l'équation 9 et Σ_3 est calculé à l'aide de la formule suivante (Bouchard, 2012):

Équation 13: Somme 3

$$\Sigma_3 = \sum_{i=1}^n t_i^2 * (C_{traceur,sortie} - C_{traceur,BF})_i * \Delta t_i$$

2.5. Jar tests

Comme mentionné précédemment, la coagulation est une réaction chimique qui dépend de son dosage et du pH pour être efficace. Ce dosage est habituellement évalué à l'aide du jar test pour simuler les conditions présentes dans la chaîne de traitement. En laboratoire, ce test est effectué à l'aide d'une rampe alimentée électriquement qui permet de programmer les différentes étapes du jar test (temps et vitesse des mélanges rapides et lent, temps de la décantation). En ajoutant différentes doses de coagulant à l'eau à traiter, il est possible d'évaluer la dose optimale à utiliser. Cette rampe assure donc l'uniformité du test d'un béccher à l'autre et d'un essai à l'autre en plus de simuler des conditions très proches de celles retrouvées pendant le traitement. La mesure de turbidité finale est ensuite effectuée à l'aide d'un turbidimètre pour chaque béccher. La figure 17 montre une telle rampe de jar test ainsi que les bécchers de verre utilisés (jar test en laboratoire).



Figure 17: Rampe de jar test (image provenant de CHEM-SULT, INC.)³

Lors de situations d'urgence humanitaire dans les pays en voie de développement, le jar test est également utilisé pour évaluer la dose de coagulant optimale mais les ressources disponibles pour l'effectuer sont limitées. Des modifications doivent alors être apportées au test. Ces tests sont ainsi effectués à l'aide de matériel retrouvé localement tels que des fourchettes ou cuillères pour le brassage, des seringues pour l'ajout du coagulant et des pots de plastique. Les brassages rapides et lents se font donc à la main par un opérateur unique qui doit effectuer les brassages un ou deux béciers à la fois ou par plusieurs opérateurs en même temps. Les temps de brassage sont habituellement très courts comparativement aux jar tests en laboratoire puisque les étapes du test doivent être effectuées à répétition et qu'il est surtout important d'être cohérent d'un bécier à l'autre et d'un test à l'autre. Finalement, à la suite de la décantation, la dose optimale de coagulant est déterminée de façon visuelle puisqu'un turbidimètre n'est habituellement pas disponible. Il est donc très difficile dans ce contexte de reproduire les conditions de traitement du système utilisé dans le jar test. C'est pourquoi la dose choisie est plutôt considéré comme un estimé de la dose optimale réelle (Dorea, 2009).

A priori, il existe donc un écart potentiel entre la dose optimale réelle de coagulant pour traiter une eau et l'estimation de la dose optimale trouvée à l'aide du jar test terrain ou du jar test laboratoire. Cet écart peut être étudié en effectuant des jar tests en laboratoire et en comparant la dose optimale obtenue avec le jar test terrain pour une eau ayant les mêmes caractéristiques (annexe A, section 8).

³ Pour référence internet, voir CHEM-SULT., INC dans la bibliographie (section 7)

3. Travaux antérieurs

3.1. Phase I : Juin- Décembre 2011

3.1.1. Tests de floculation

La première phase du projet de développement du décanteur lamellaire pour les situations d'urgence humanitaire a débuté en juin 2011 avec le séjour de l'étudiante Catherine Bourgeault de l'Université Laval (Québec, Canada) à Pune, en Inde. Son premier objectif était d'effectuer des tests de floculation pour déterminer quelle était la meilleure alternative pour l'étape de floculation entre 1) un réservoir circulaire (principe de floculation hydraulique à porte variable) et 2) 60 mètres de conduite de 3 pouces de diamètre enroulée. Pour ce faire, une colonne de décantation a été utilisée pour calculer la vitesse de décantation des floes à la suite de la floculation selon l'alternative. À la suite de ces tests, la conduite a été choisie pour servir d'étape de floculation dans le système (Bourgeault, 2012).

3.1.2. Premier prototype

Le deuxième objectif étant la conception et la construction d'un premier prototype de décanteur lamellaire, la vitesse de décantation moyenne des floes trouvée à la suite des tests de décantation a été utilisée comme critère de conception. L'objectif étant d'obtenir un système permettant de traiter de 4 à 6 m³/h d'eau ayant une turbidité inférieure à 5 UTN et pouvant être transporté dans la boîte d'une camionnette (*pick-up*) tout en étant le plus simple possible, léger et peu dispendieux. Le tableau 4 et le tableau 5 montrent respectivement les dimensions du décanteur et celles des plaques. Ce premier prototype a été construit en acier. La figure 18 montre le prototype une fois assemblé et la figure 19 en montre le schéma de conception (Bourgeault, 2012).

Tableau 4: Dimensions du prototype de la phase I (Bourgeault, 2011)

Dimensions du décanteur	
L = Longueur (m)	1,6
W= Largeur (m)	1,0
H= hauteur (m)	0,8
= Volume (m³)	1,3

Tableau 5: Dimensions du prototype de la phase I (2) (Bourgeault, 2011)

Dimensions des plaques	
L = Longueur (m)	0,75
W = Largeur (m)	0,80
T = Épaisseur (m)	0,005
N = Nombre de plaques	36
At= Surface totale projetée (m²)	12,4
ds = Distance entre les plaques (m)	0,025
θ = Angle des plaques (degrés)	55



Figure 18: Prototype I (Bourgeault, 2011)

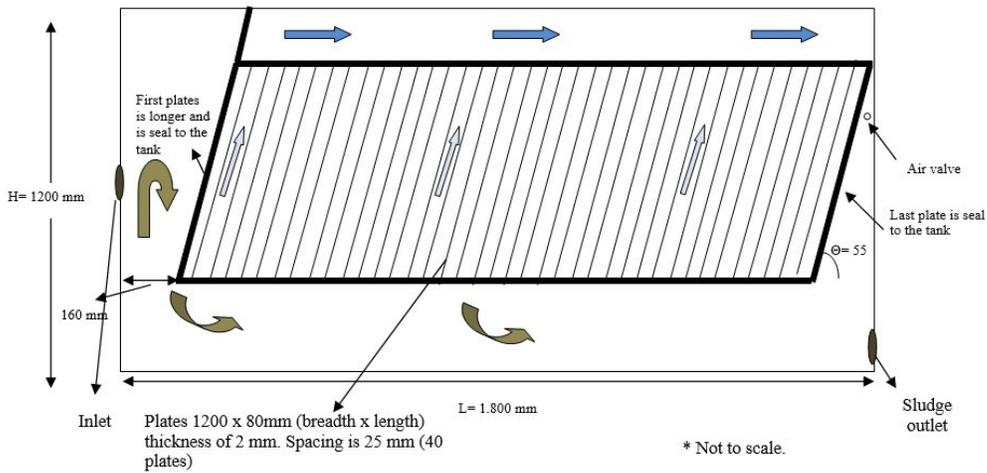


Figure 19: Schéma du prototype I (Bourgeault, 2011)

3.1.3. Test du prototype

Le dernier objectif de cette première phase du projet étant de tester ce premier prototype, un montage a été mis sur pied pour effectuer ces tests. La figure 20 montre ce montage qui comprend : 1) un réservoir de 11 mètres cubes dans lequel l'eau brute était synthétisée à l'aide d'argile (Kaolin) pour obtenir une certaine turbidité initiale, 2) un réservoir de solution d'alun (coagulant), 3) une pompe pour amener l'eau brute dans le système, 4) la conduite de 3 pouces pour assurer la floculation et 5) un rotamètre pour mesurer le débit auquel le système fonctionne (Bourgeault, 2011).



Figure 20: Montage de traitement (Bourgeault, 2011)

3.1.4. Résultats

Les résultats obtenus à la suite des tests de la phase 1 du projet pour des eaux brutes ayant une turbidité variant de 40 à 257 UTN (Bourgeault, 2012) sont montrés à la figure 21.

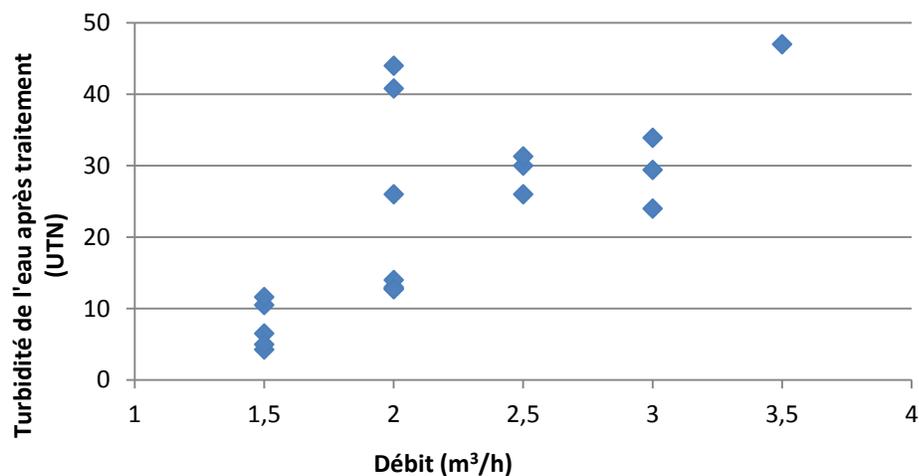


Figure 21: Essais de traitement de la phase I (Bourgeault, 2011)

En résumé, la première phase du projet a montré des résultats en deçà des attentes avec l'atteinte d'une turbidité minimale après traitement de 6,5 UTN à un débit de 1,5 mètre cube par heure et ce en ayant augmenté la longueur de la conduite de floculation à 120 mètres. Également, le poids du décanteur étant très élevé, il ne permettait pas d'atteindre l'objectif de transport (Bourgeault, 2012).

3.2. Phase II : Février-Juillet 2013

3.2.1. Amélioration du système

L'objectif principal de cette deuxième phase du projet a été de trouver les éléments limitants du système pour apporter des changements permettant d'en améliorer la performance et la facilité d'assemblage et d'utilisation. Les éléments identifiés étaient la floculation insuffisante, l'absence de contrôle pour unifier le débit passant dans les plaques, l'absence de contrôle de pH, le poids du décanteur ainsi que la facilité de manipulation des plaques (Boulay, 2013).

3.2.2. Modifications

Pour améliorer la floculation, différentes options ont été testées mais, au final, c'est l'ajout d'une extension à l'entrée du système pour y installer un flocculateur hydraulique qui a été l'option la plus efficace. Le flocculateur était constitué de plaques de déflexion verticales forçant l'eau à monter et descendre le long de ces plaques selon la conception d'un flocculateur hydraulique à déflecteur «par-dessus, par-dessous».

Afin de permettre une meilleure distribution du débit à travers les plaques, deux ajouts ont été faits au système. Tout d'abord, deux déversoirs ont été installés au-dessus des plaques perpendiculairement à celles-ci pour récolter l'effluent sur toute la longueur de la surface occupée par les plaques (figure 24). Ensuite, l'ajout d'une plaque de déflexion trouée (ported baffle: figure 22) directement sur le dessus des plaques (sous les déversoirs) avait comme objectif d'égaliser la perte de charge sur toute la surface d'écoulement ce qui permet encore ici d'obtenir une meilleure distribution du débit.

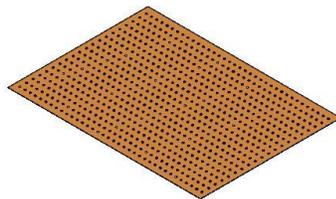


Figure 22: Plaque de déflexion trouée (Boulay, 2013)

Pour améliorer la décantation et la facilité d'installation, les plaques de décantation plates ont été changées au profit de plaques ondulées comme le montre la figure 23. En installant ces plaques dos à dos en alternance, il est possible d'obtenir une forme de tubes de décantation. Dans le présent cas, après l'installation de ces plaques dans le décanteur, l'espace entre les plaques était d'environ 2 centimètres.



Figure 23: Plaques ondulées (Boulay, 2013)

3.2.3. Design final, résultats et recommandations

La figure 24 montre le schéma du design du système à la fin de la deuxième phase du projet.

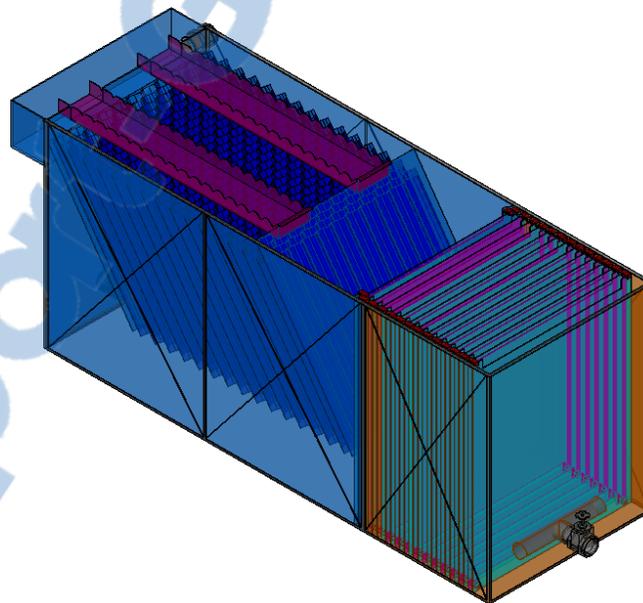


Figure 24: Prototype II

Avec ce système et tout en ayant conservé les 120 mètres de tuyau de 3 pouces (7,62 cm) pour les tests, il a été possible d'atteindre l'objectif de 5 UTN (meilleur résultat : 3,5 UTN) à la sortie avec un débit de traitement de 5 m³/h dans 6 des 25 configurations testées pour ce débit (annexe section 10.2) tel qu'illustré à la figure 25.

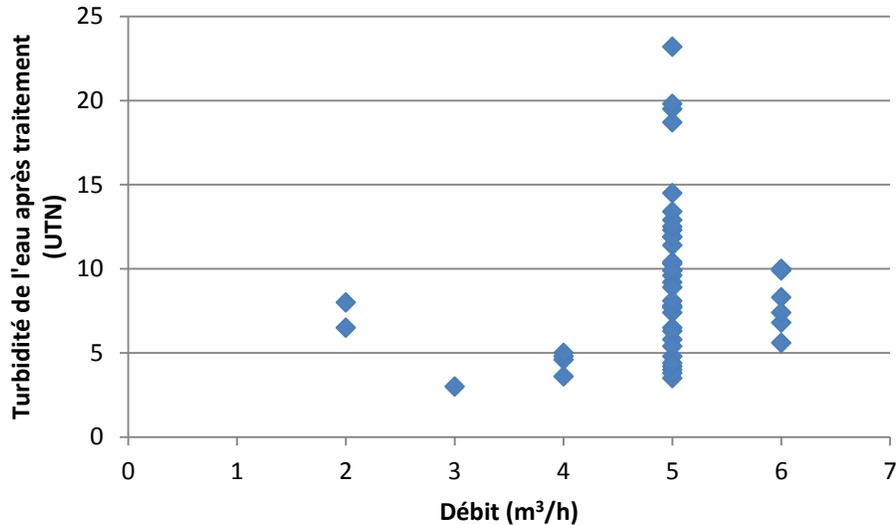


Figure 25: Essais de traitement de la phase II

Les recommandations pour le prochain design étaient les suivantes : utiliser un matériel plus léger pour le décanteur, inverser le sens de l'écoulement dans les déversoirs pour utiliser le grand espace libre à l'entrée du décanteur pour récolter l'eau traitée, utiliser des conduites circulaires pour les déversoirs, fixer les plaques de déflexion dans le flocculateur (les dernières plaques utilisées étant amovibles), fabriquer la plaque de déflexion trouée en 2 parties séparées, fabriquer le fond du décanteur avec une pente pour récolter les boues plus facilement, augmenter la distance entre le haut du décanteur et le haut des plaques de décantation, utiliser des connecteurs de 2 pouces pour la sortie et le drain des boues et évaluer la possibilité d'ajouter un élément de contrôle du pH au système (Boulay, 2013).

3.3. Suite : Phases III et IV : Maîtrise 2012-2014

À la suite de ces deux premières phases de travaux effectués en Inde, quelques éléments du système ont été identifiés comme nécessitant une étude plus approfondie pour apporter des modifications afin d'obtenir des résultats satisfaisants de manière plus constante. Ces éléments comprenaient l'étape de la floculation, la zone d'entrée du décanteur, l'espace nécessaire à l'accumulation des boues, les déversoirs longitudinaux, la plaque de déflexion trouée au-dessus des plaques de décantation et l'absence d'un contrôle de pH. Comme mentionné précédemment, les conditions de travail présentes à Pune n'étaient souvent pas les meilleures ce qui compliquait parfois l'analyse. D'abord, il était difficile d'obtenir une eau d'une turbidité constante à l'entrée du système à cause de la décantation rapide du Kaolin dans le réservoir d'eau brute. Ceci ne représente cependant pas un problème grave puisqu'en réalité, la turbidité d'une source d'eau naturelle n'est pas non plus constante. Il est cependant avantageux du point de vue de l'analyse de travailler avec une turbidité

constante à l'entrée car cela élimine une source de variation dans les résultats, c'est-à-dire que le changement dans la qualité de n'est pas à considérer dans l'analyse de la performance du système. Ensuite, l'évaluation de la distribution du débit à travers les plaques est faite à l'œil nu car aucun équipement ne permet de mesurer cette distribution. Aussi, la perte de charge réelle engendrée par les différents systèmes de floculation testés n'a jamais pu être mesurée pour être comparée aux performances du système. C'est pourquoi la suite de l'étude a été effectuée à l'Université Laval dans un environnement contrôlé, plus stable et avec de l'équipement analytique de meilleure qualité, ce qui constitue la phase III du projet. À la suite de cette phase, la conception finale du système a été ramenée à Pune en Inde pour en effectuer la construction, ce qui représente la phase IV du projet et complète les travaux de la maîtrise.

3.4. Objectifs

Cette maîtrise s'inscrit donc à l'intérieur de ce projet de recherche et développement d'un système de décantation lamellaire pour les situations d'urgence humanitaire. L'objectif principal de la maîtrise est de modifier la conception du système pour améliorer ses performances d'enlèvement des particules en suspension. Les sous-objectifs incluent :

- Concevoir et construire un décanteur pilote basé sur le précédent prototype à une échelle d'un tiers pour en vérifier le potentiel et pour y apporter quelques ajustements. Également, construire un flocculateur hydraulique permettant de tester différents niveaux de brassage avant la décantation pour en mesurer l'influence sur le traitement.
- Effectuer des essais au traceur sur le décanteur pour étudier le courant à l'intérieur de celui-ci
- Effectuer l'installation d'un système de production d'eau brute pour tester la capacité du décanteur du système pilote à traiter des eaux en abaissant leur turbidité.
- Concevoir et faire construire le système de décantation lamellaire final à pleine échelle.
- Effectuer des jar tests comparatifs afin d'évaluer l'influence de la technique utilisée sur le terrain dans les situations d'urgence sur le choix de la dose de coagulant (annexe, section 8).

4. Méthodologie

Pour cette troisième phase du projet, un montage pilote de décantation a été conçu et construit à l'Université Laval afin d'effectuer les essais. Les installations utilisées ne permettant pas d'effectuer des essais à 6 m³/h, ce montage a été construit à l'échelle 1/3 pour fonctionner à 2 m³/h tout en permettant de transposer la conception au système pleine grandeur. Cette section présente ce montage, les protocoles des essais au traceur effectués sur le modèle du décanteur et des essais de traitement ainsi que le plan expérimental choisi afin de trouver une configuration permettant d'atteindre les objectifs de traitement.

4.1. Montage pilote

La figure 26 est un schéma du montage pilote. Les parties en couleurs représentent les différents éléments du montage qui sont détaillés dans la prochaine section. Ces parties incluent l'alimentation (partie a: jaune), l'injection d'une solution de kaolin pour obtenir la turbidité de l'eau brute désirée (partie b: vert), la prise d'échantillon afin de vérifier la qualité de l'eau brute et la mesure du débit entrant dans le système (partie c: mauve), l'injection de l'alun (partie d: rouge), la floculation (partie e: orange), le décanteur (partie f: rose) et la mesure de la qualité de l'eau traitée (partie g: turquoise).

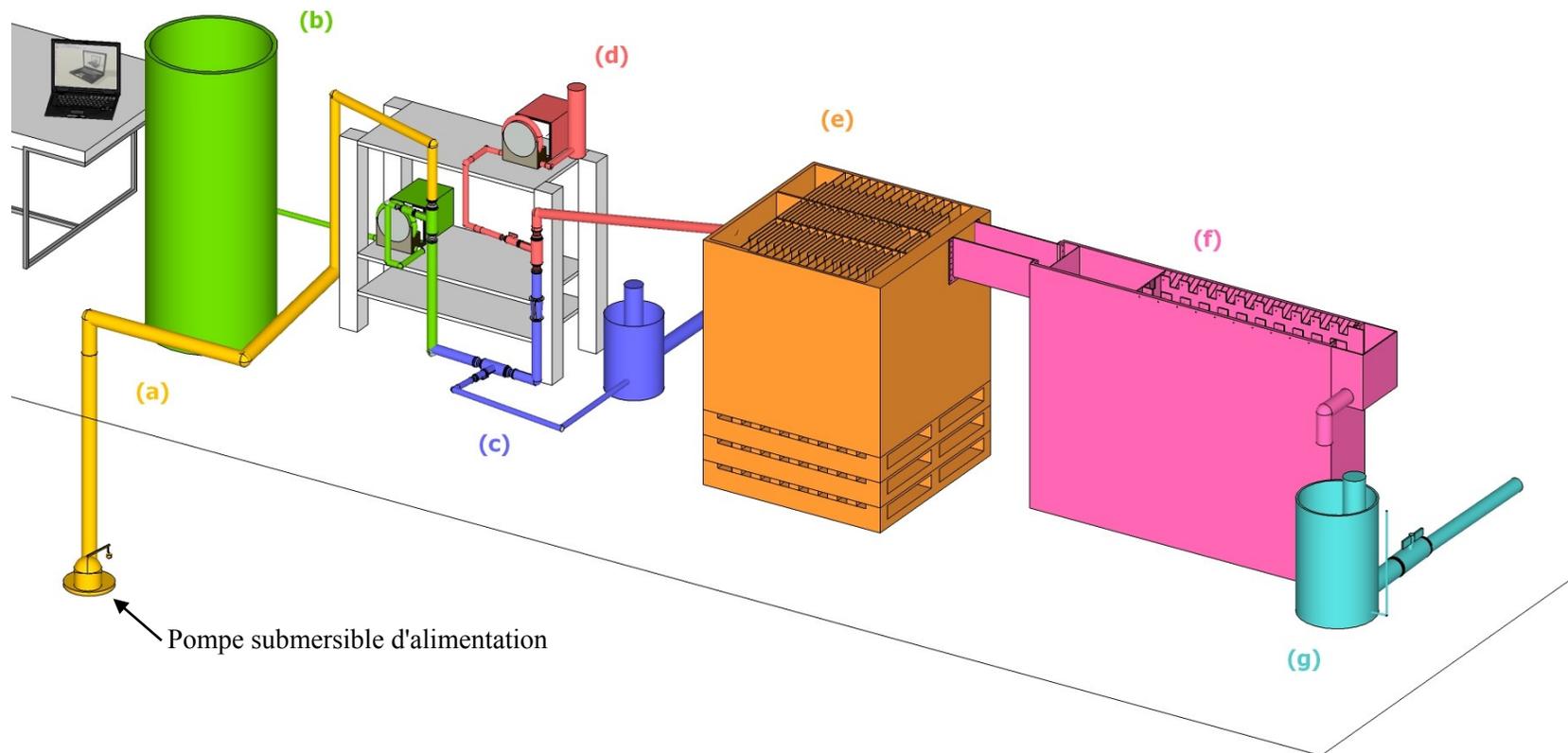


Figure 26: Schéma du montage pilote

Légende: (a) Alimentation (b) Synthétisation de l'eau brute (c) Échantillonnage et mesure du débit (d) Coagulation
 (e) Floculation (f) Décantation (g) Récolte des eaux traitée

4.1.1. Alimentation en eau brute, échantillonnage et mesure du débit

Les parties (a), (b) et (c) de la figure 26 montrent comment le montage était alimenté en eau brute et comment les caractéristiques de cette eau ont été mesurées. En utilisant une pompe submersible électrique déposée dans un réservoir situé sous le plancher, l'eau était pompée en continue dans le montage au débit désiré, ajusté à l'aide d'un robinet-valve installé sur la conduite d'amenée d'eau. Au bout de cette conduite (10 mètres), un point d'injection de suspension de kaolin (figure 28) a été installé. Une suspension mère était préparée dans un réservoir de plastique circulaire de 300 litres (figure 27). Les constituants ajoutés comprenaient du Kaolin (NatueroSources) et du bicarbonate de soude (Arm and Hammer) pour ajuster la turbidité et l'alcalinité de l'eau brute. Les caractéristiques de ces produits sont présentées à la section 4.1.6.

Afin de contrôler l'apport en solution mère injectée dans l'eau pompée, une pompe péristaltique a été installée entre la sortie située au bas du réservoir de la solution et le point d'injection (figure 28). Étant donné que le Kaolin a tendance à décanter très rapidement, ce qui rend la solution mère non-homogène, une autre pompe submersible a été installée à l'intérieur du réservoir de plastique (300 litres). À l'aide d'un tuyau de plastique flexible, cette pompe servait à amener l'eau du fond du bassin (plus concentré) vers le haut du bassin (moins concentré) tout en créant un mouvement de brassage circulaire dans le réservoir pour garder la solution homogène (figure 27). Tout juste après le point d'injection de la suspension de kaolin, un mélangeur statique en ligne assurait le mélange de la solution mère pompée dans la conduite d'amenée d'eau brute (figure 29).



Figure 27: Réservoir contenant la suspension de Kaolin



Figure 28: Pompage de la suspension de Kaolin dans l'eau brute



Figure 29: Mélangeur en ligne

Afin de mesurer la qualité de l'eau brute obtenue, une conduite de dérivation a été installée après le mélangeur en ligne. Un tuyau de silicone était utilisé pour récupérer une partie du débit et ainsi en mesurer la turbidité, l'alcalinité et le pH. Lors des tests, la turbidité était donc mesurée en continu à l'aide d'un capteur de turbidité 6136 connecté à une sonde YSI déposée dans un sceau dans lequel le tuyau de silicone déversait une partie du débit de l'eau brute. Pour les mesures d'alcalinité et de pH, des échantillons étaient prélevés dans le sceau avant d'être analysés avec le kit d'alcalinité (Hach alkalinity test kit model AL-DT) et le pH mètre (Hach HQ 40d). Des mesures de turbidité étaient également prises à l'aide d'un turbidimètre afin de vérifier les mesures de la sonde. Après la dérivation, un rotamètre a été installé pour être en mesure de mesurer le débit d'eau brute pompé dans le système de traitement.

4.1.2. Coagulation

La partie (d) de la figure 26 montre comment l'ajout du coagulant était effectué à un 2^e point d'injection (figure 30). En connectant le tuyau de la pompe d'injection (pompe péristaltique) à un cylindre gradué rempli d'une solution commerciale d'alun (Laboratoire MAG Québec), il était possible de connaître le dosage moyen entre deux prises de mesure selon la quantité pompée et le temps écoulé. Encore une fois, un mélangeur en ligne assurait le mélange après l'ajout d'alun avant que l'eau n'atteigne l'étape de floculation. Les caractéristiques de l'alun utilisé sont présentées à la section 4.1.6 et en annexe (section 13.3).

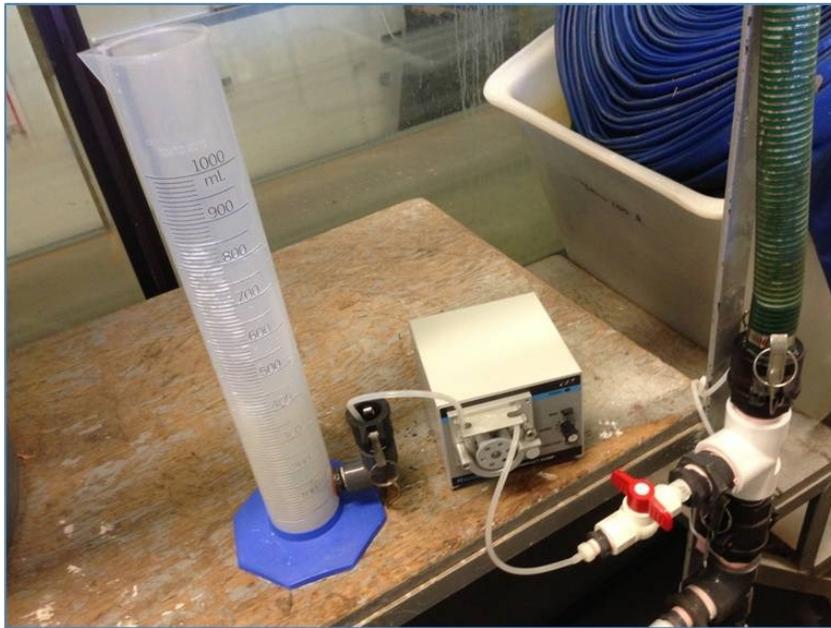


Figure 30: Ajout du coagulant

Pour connaître le dosage optimal de coagulant pour l'essai en cours, un jar test était effectué au début de chaque essai à l'aide de béciers d'un litre, d'une console programmable «flocculator 2000» et de têtes rotatives. Chacun des béciers était rempli d'eau brute et le test comprenait un brassage rapide, un brassage lent et une sédimentation simulant les conditions de traitement dans le montage. La figure 31 présente ces éléments.



Figure 31: Jar test

Étant donné qu'il s'agit d'un système de traitement pour les situations d'urgence, les jar tests effectués sont habituellement des jar tests terrain (voir section 2.5). Cette technique a d'ailleurs été utilisée pour les phases I et II du projet. Cependant, pour les essais effectués à l'Université Laval, l'évaluation de la dose optimale a été effectuée à l'aide de jar tests laboratoire. Sachant aussi que les essais de recherche et les essais terrains des phases suivantes (IV et V) seront également effectués à l'aide de jar tests terrain, il est intéressant d'étudier la différence entre la dose optimale évaluée avec les deux techniques. C'est en partie pourquoi des séries de jar tests ont également été effectués durant le projet et font l'objet de l'annexe A (section 8).

D'un côté pratique, ces essais ont montrés que la technique laboratoire effectuée à l'aide d'une rampe de jar tests est beaucoup plus constante grâce à l'utilisation de têtes rotatives. En effet, lors des essais avec la technique terrain, le rythme de brassage est sujet à des variations d'un essai à l'autre et d'un béccher à l'autre à cause de la fatigue et de la différence de force et de dextérité dans chaque main. Également, l'utilisation d'un turbidimètre aide considérablement l'opérateur à choisir la dose optimale, ce qui n'est pas le cas avec la technique terrain où cette dose doit être déterminée en évaluant la diminution de turbidité des bécchers à l'œil.

La technique laboratoire s'est avérée plus efficace, en général, à réduire la turbidité. En effet les abaissements (%) étaient plus importants pour cette technique que pour la technique terrain. La technique laboratoire indiquerait donc mieux l'efficacité potentielle de la coagulation et donc des résultats pouvant être attendus du système de traitement. Globalement et selon une analyse statistique simple, les deux techniques semblent équivalentes pour trouver la dose d'alun optimale (section 8).

4.1.3. Flocculateur

La partie (e) de la figure 26 désigne l'élément de floculation du montage. Des conduites de 1,5 et 2 po (3,81 et 5,08 cm) d'une longueur permettant d'avoir un temps de rétention de 5 minutes ont été testées comme étape de floculation ce qui représente des longueurs de 150 et 100 mètres respectivement. Un flocculateur hydraulique à chicanes a ensuite été construit en utilisant un réservoir fermé en plastique de 1m³ qui a été coupé dans le haut (figure 32) et du bois pour fabriquer les séparateurs et les déflecteurs (figure 33) à l'intérieur du bassin.



Figure 32: Bassin de floculation



Figure 33: Structure de bois dans le flocculateur

Le but étant de tester différents niveaux de brassage dans le flocculateur pour en mesurer son influence sur le traitement, cet élément devait offrir la flexibilité de changer la configuration des déflecteurs. D'abord, quatre séparateurs de trois quarts de pouce (1,91cm) ont été construits et fixés sur un plancher afin d'obtenir trois corridors d'écoulement et un fond plat dans le flocculateur. La largeur de chacun des corridors était généralement la même avec une mesure de 28 cm. Ensuite, des lattes de 25 mm de large ont été fixées aux séparateurs avec un espacement de 10 mm entre chacune d'elles permettant de glisser des déflecteurs d'une épaisseur d'un quart de pouce (6,35 mm) perpendiculairement entre les séparateurs (figure 33).

Ceci a donc permis une certaine flexibilité en termes de type de flocculateur hydraulique à chicanes testé (chapitre 3: « autour de l'extrémité » ou « par-dessus, par-dessous ») et en termes

d'espacement entre les déflecteurs. Ainsi, avec des déflecteurs dans tous les espaces, la distance entre ceux-ci était de 29 mm, avec un déflecteur à tous les deux espaces cette distance était de 64 mm et elle était de 99 mm avec des déflecteurs à tous les trois espaces, et ce, autant pour une configuration « autour de l'extrémité » que « par-dessus, par-dessous ». Afin de respecter le rapport entre la distance entre 2 déflecteurs (B : figure 34) et la distance entre l'extrémité du déflecteur et le séparateur (pB) qui a été fixée à 1 ($p = 1$) (Haarhoff, 1998), plusieurs séries de déflecteurs ont été construites pour les configurations désirées. Cette construction a également permis de tester des niveaux de brassage évoluant de l'entrée à la sortie du floculateur en utilisant chacun des trois corridors selon un espacement de plaques différent. Généralement, ce niveau de brassage commence à un niveau plus élevé et diminue dans le temps afin de permettre la formation de floes de plus en plus gros sans qu'ils ne se brisent. Les schémas et photo de la figure 34 à la figure 36, illustrent respectivement la règle de dimensionnement des déflecteurs (Haarhoff, 1998), les distances testées selon les plaques utilisées et le floculateur une fois construit, connecté au décanteur et rempli.

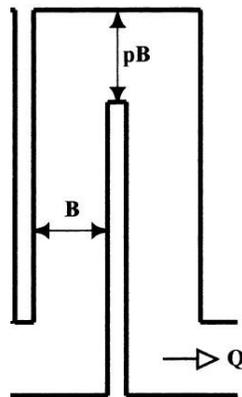


Figure 34: Rapport de l'espacement entre les déflecteurs et celui au bout d'un déflecteur (Haarhoff, 1998)

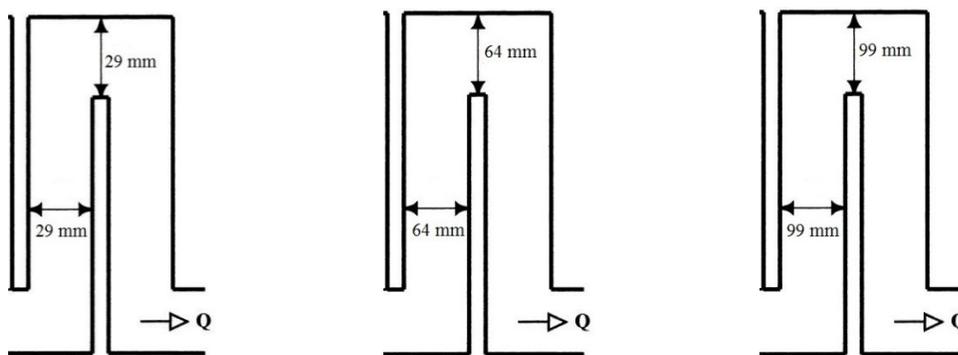


Figure 35: Configurations des déflecteurs testées à l'intérieur du floculateur hydraulique



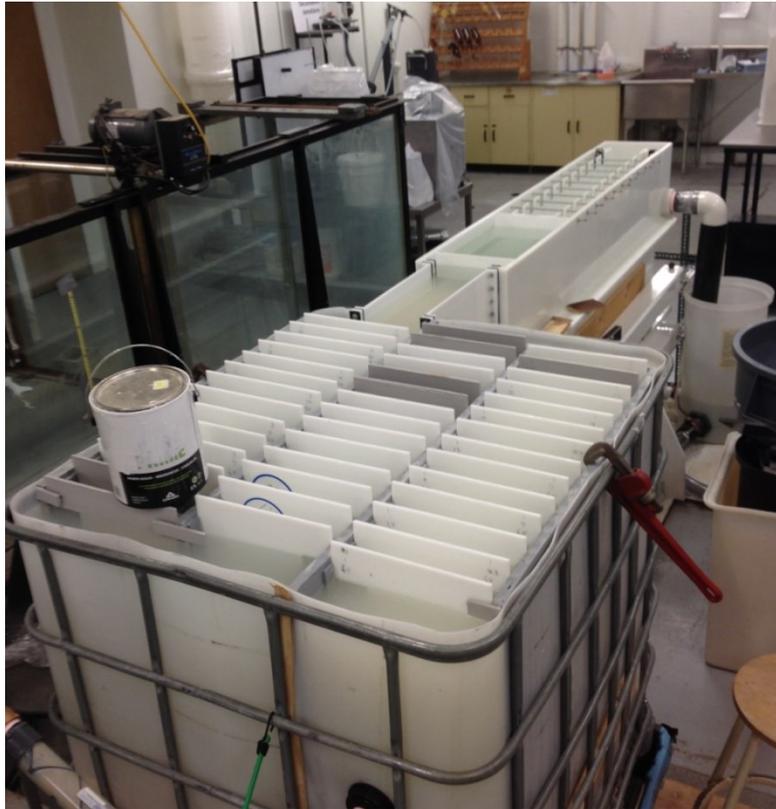


Figure 36: Assemblage du flocculateur et du décanteur durant un essai

Trois entrées ont été installées sur le flocculateur afin d'être en mesure de tester différents temps de mélange en utilisant un, deux ou trois corridors de brassage. Une autre façon de modifier le temps de floculation pour certains essais a été d'installer la structure intérieure du flocculateur (plancher et corridors) à différentes hauteurs dans le bassin ce qui change le volume du bassin utilisé pour la floculation. La sortie a été construite dans le haut du bassin à la fin du troisième corridor pour pouvoir connecter le pont d'amenée de l'eau vers le décanteur. Également, afin de mesurer la perte de charge réelle dans le flocculateur, quatre petits tuyaux de silicone ont été connectés au flocculateur à l'entrée et à la fin de chacun des trois corridors d'écoulement de l'eau. Une fois les extrémités de ces tuyaux ramenés ensemble, la hauteur d'eau à différents endroits dans le flocculateur pouvait être observée et mesurée, ce qui indique également la perte de charge.

4.1.4. Décanteur

La première étape de la construction du décanteur a été de revoir sa conception en vue de sa construction en polyéthylène. Afin de respecter l'échelle d'un tiers de débit tout en gardant l'écoulement tel qu'il est retrouvé longitudinalement dans le prototype précédent, seule la largeur

du décanteur a été réduite d'un tiers et arrondie, passant de 80 à 27 cm. L'angle des plaques a été augmentée de 55 à 60 degrés par rapport à l'horizontal pour améliorer l'évacuation des floccs sur le bas des lamelles tel que recommandé par Crittenden (2012). La longueur des plaques (750 mm) a été gardée intacte et l'espacement entre celles-ci a été calculé à l'aide de l'équation 7. En gardant le compte de 36 plaques comme sur le précédent prototype, la vitesse critique de décantation avec un débit de 2 m³/h est de 0,52 m/h, ce qui correspond à de très petits floccs d'alun et donc ce qui est très conservateur. Les critères de conception tirés du manuel de Crittenden (2012) sont présentés au tableau 6 ainsi que les résultats de la conception.

Tableau 6: Éléments de conception du décanteur

Éléments de conception (pour une eau à 18°C)	Critères de conception (Crittenden)	Conception du modèle du décanteur lamellaire transportable
Vitesse de sédimentation (m/h)	2-4,5 (petits floccs d'alun)	0,52
Taux de débordement (avant l'ajout des plaques) (m/h)	2,5-6,5	4,4
Diamètre hydraulique entre les plaques (mm)	50-80	47
Vitesse d'écoulement de l'eau entre les plaques (m/min)	Maximum : 0,15	0,136
Temps de séjour moyen dans le décanteur (min)	15-25	17,6
Angle des plaques (°)	60	60

Sur le précédent prototype, la zone d'accumulation des boues était d'une hauteur de 0,3 m et a été augmentée à 0,45 m en vue d'effectuer des tests d'accumulation sur de longues périodes d'essais (ex : 8 heures). Également, l'entrée du décanteur a été installée dans le haut du décanteur et un «pont» d'amenée d'eau a également été construit avec le décanteur dans le but de faire passer l'eau du flocculateur à chicanes vers le décanteur à pression atmosphérique. Une deuxième entrée a été ajoutée dans le bas du décanteur pour y tester une entrée de l'eau par conduite circulaire. Dans le but d'étudier l'influence de la grande zone triangulaire à l'entrée du décanteur sur le traitement, une plaque amovible verticale a été installée verticalement du haut du décanteur jusqu'au bas de la plaque à 60° séparant la zone d'entrée d'eau d'avec la zone de sédimentation. Ceci permet donc

d'isoler cette partie triangulaire et ainsi obtenir un corridor d'écoulement vertical de l'entrée au haut du décanteur vers le bas avant d'entrer dans la zone de décantation. Des fentes ont été creusées de chaque côté, à l'intérieur du décanteur afin d'y insérer les plaques. Les images de la figure 37 à la figure 39 illustrent ces éléments sur les plans de construction ainsi que d'autres dimensions du décanteur.

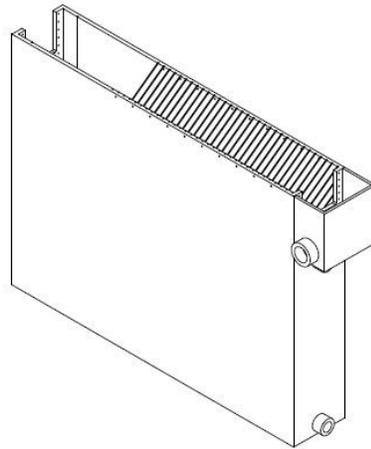


Figure 37: Plan du modèle du décanteur lamellaire

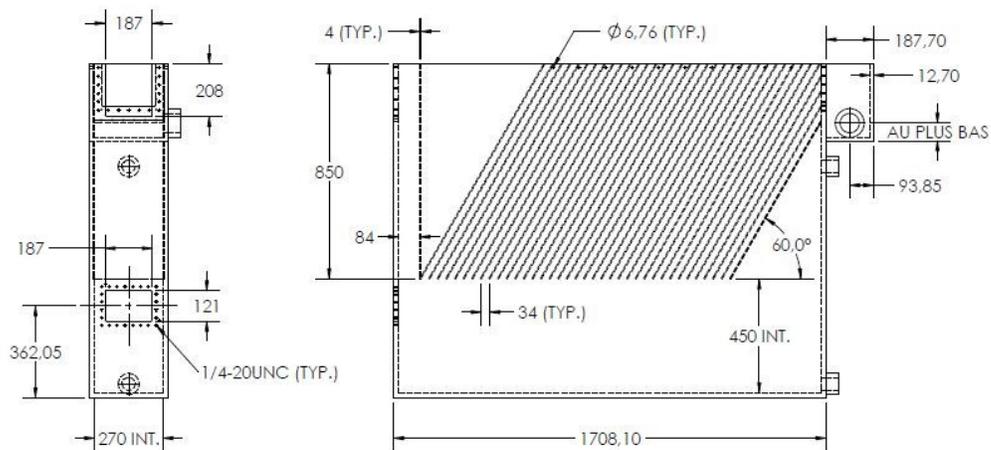


Figure 38: Décanteur lamellaire, vues de côté et de face

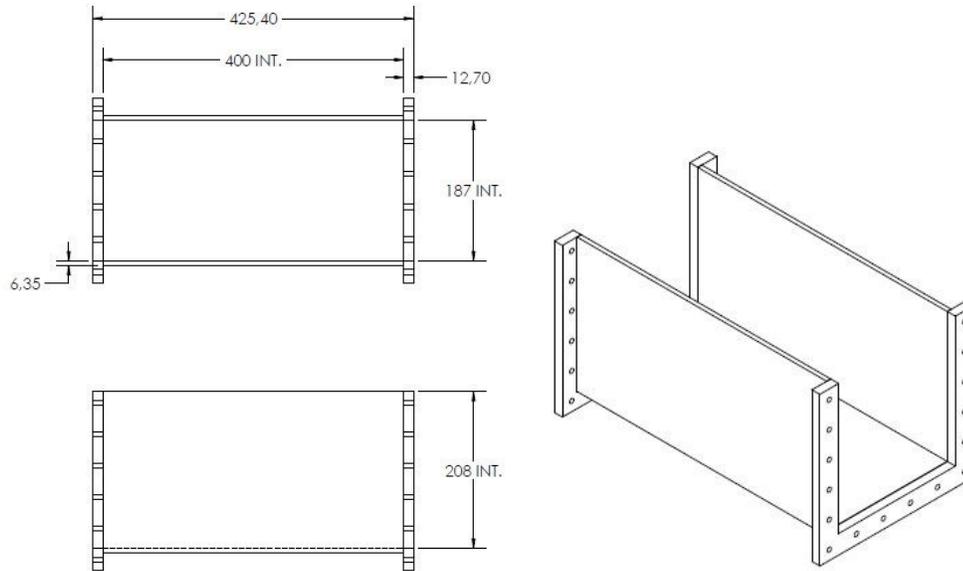


Figure 39: Connecteur entre le flocculateur et le décanteur

Afin d'étudier l'influence du déversoir longitudinal sur l'écoulement dans le décanteur et sur le traitement, cinq différents déversoirs amovibles ont été construits, soient quatre déversoirs en largeur installables à la sortie du décanteur comme sur le premier prototype (phase 1) (Bourgeault, 2012) et un déversoir longitudinal comme sur le dernier prototype utilisé (phase 2) (Boulay, 2013). La figure 41 illustre ces déversoirs. Les quatre premiers déversoirs permettaient d'avoir une hauteur d'eau au-dessus du haut des plaques de décantation de 60, 100, 125 et 160 mm. Le déversoir longitudinal était constitué de 21 espaces rectangulaires. En considérant chacun de ces espaces comme de petits déversoirs rectangulaires et à l'aide de la formule présentée à l'équation 14, il est possible de connaître la hauteur maximale que l'eau atteindra à l'amont d'un des petits déversoirs rectangulaires et ainsi déterminer quelle hauteur ces petits déversoirs doivent avoir pour éviter un débordement du décanteur (Robert, 2010) :

Équation 14: Déversoir

$$Q = K_s \sqrt{2g} L_s (y - H_s)^{3/2}$$

Où Q est le débit passant par le déversoir (m^3/s), K_s est un coefficient de débit, g est la constante gravitationnelle ($9,81m/s^2$), L_s est la largeur effective du déversoir (m), y est la profondeur d'eau maximale à l'amont du déversoir (m), H_s est la hauteur du déversoir (m). La figure 40 illustre la mesure de y et H_s et les équations permettant de calculer la constante K_s et la largeur effective L_s sont les suivantes (Robert, J.-L., 2010) :

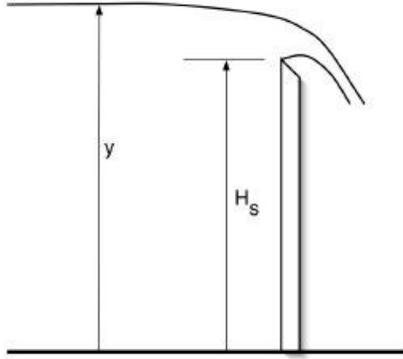


Figure 40: Schéma d'un déversoir (Robert, 2010)

Équation 15: Coefficient de débit d'un déversoir

$$K_s = 0,4 + 0,05 \frac{(y - H_s)}{H_s}$$

Équation 16: Largeur effective d'un déversoir

$$L_s = L - 0,2(y - H_s)$$

Où L est la largeur du déversoir (m). En construisant 21 déversoirs de 50 mm de large (10 de chaque côté et un à l'extrémité), la hauteur d'eau maximale à l'amont des déversoirs est de 4 mm au-dessus des déversoirs pour le débit de 2 m³/h. La hauteur des déversoirs a été fixée à 50 mm en-dessous du haut du décanteur à des fins pratiques. Afin de garder ce déversoir longitudinal à niveau, des trous ont été percés dans le haut du déversoir et du décanteur à intervalles réguliers permettant de passer des tiges de métal filetées gardées en place à l'aide d'écrous de chaque côté du décanteur à l'extérieur. La figure 41 illustre et numérote (pour référence ultérieure) les cinq déversoirs amovibles du décanteur sur les plans de construction :

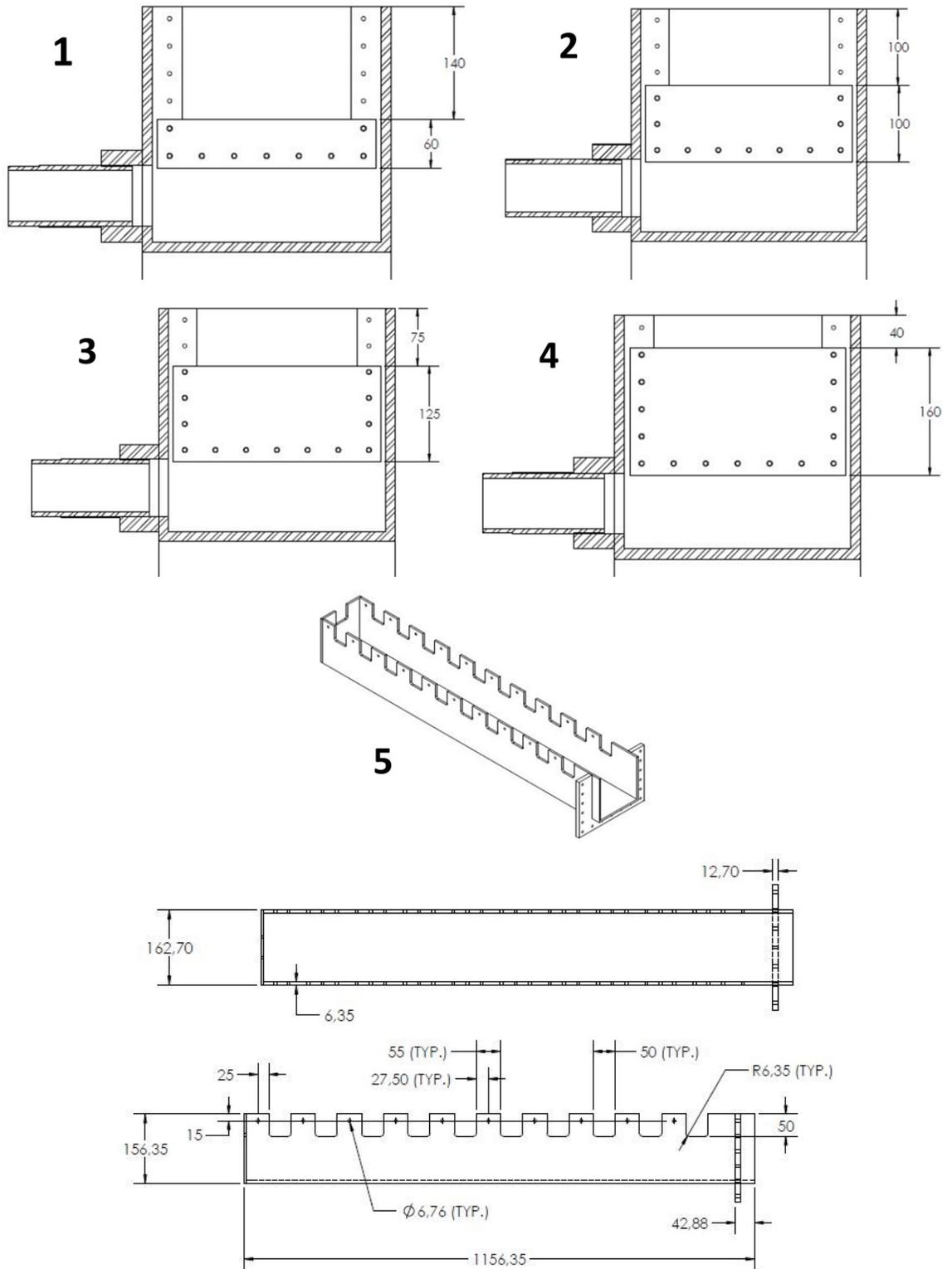


Figure 41: Configurations des déversoirs testés

Un compartiment de récolte de l'eau a aussi été ajouté à la sortie du décanteur pour récolter l'eau traitée à l'aide d'une sortie circulaire de 3 pouces (7,62 cm; partie (g) de la figure 26). Également, deux sorties circulaires de 2 pouces (5,08 cm) ont été ajoutées, une sous le compartiment de récolte et une au bas du décanteur du côté de la sortie. Après l'installation d'une valve sur chacune d'elles, ces sorties servaient respectivement à évacuer l'air emprisonné sous la dernière plaque pendant le remplissage du décanteur (puisque cette plaque est soudée) et à effectuer la vidange complète du décanteur. La figure 42 illustre ces éléments.

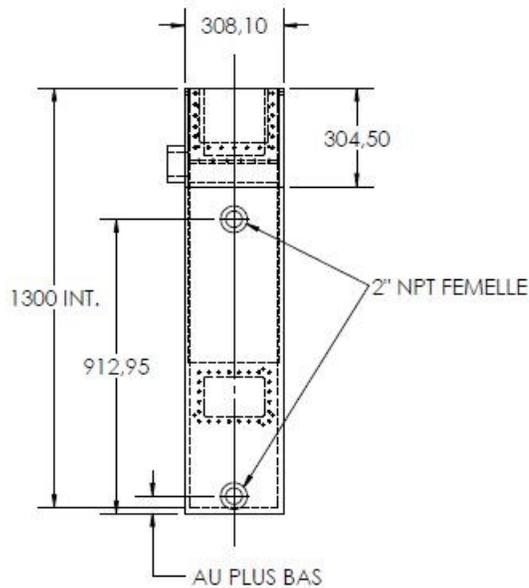


Figure 42: Décanteur lamellaire et valves de vidange

Finalement, afin d'éviter la déformation du décanteur lors de son remplissage, 3 renforcements de plastiques ont été installés autour du décanteur comme l'illustre la figure 43. Cependant, lors des premiers remplissages effectués, ces renforcements se sont montrés insuffisants pour empêcher une trop grande déformation, ce qui permettait aux plaques de sortir de leurs fentes et flotter à la surface de l'eau. Afin de remédier à ce problème, quatre poutres de métal de section carrée de quatre pouces de côté ont par la suite été installées de chaque côté du décanteur entre les renforcements de plastique à l'aide d'un support métallique comme le montre la figure 44.

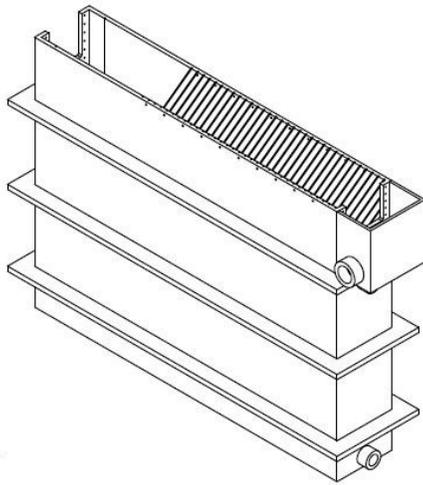


Figure 43: Décanteur lamellaire avec renforts



Figure 44: Poutres de renforcement de métal

Deux autres éléments du décanteur ont été fabriqués sur place à l'Université Laval. Une plaque de déflection trouée (*ported baffle*) a été découpée dans une feuille de plexiglas et percée de 250 trous d'un diamètre de 6 mm, suivant le patron d'espacement des plaques. Afin d'effectuer les essais au

traceur, un dispositif de vidange par gravité a été fabriqué à l'aide d'un tuyau de plastique flexible (1 ¼"; 3,18cm), une valve (1 ¼"; 3,18 cm) et deux supports de métal. Il a ensuite été installé au-dessus de l'entrée du décanteur. Ceci permettait de faire les ajouts de solution du traceur par gravité lors des essais comme montré à la figure 47. Également, une plaque permettant de connecter directement l'alimentation en eau sur le décanteur a été construite (figure 45) pour remplacer le pont d'amenée d'eau lorsqu'une alimentation directe au décanteur était nécessaire, c'est-à-dire pour les essais au traceur et les essais de traitement d'eau sans étape de floculation. Les images de la figure 46 et de la figure 47 montrent respectivement la plaque de déflexion trouée dans le décanteur sous le déversoir longitudinal et le dispositif de vidange par gravité.

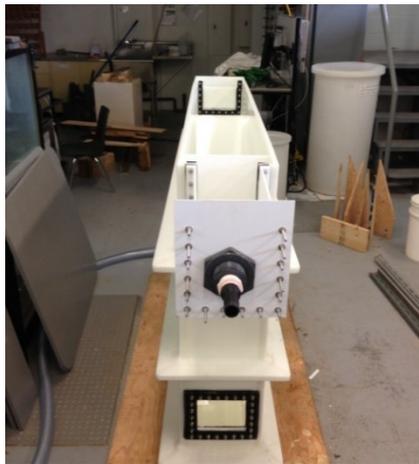


Figure 45: Entrée du décanteur lorsqu'utilisé sans flocculateur à chicanes

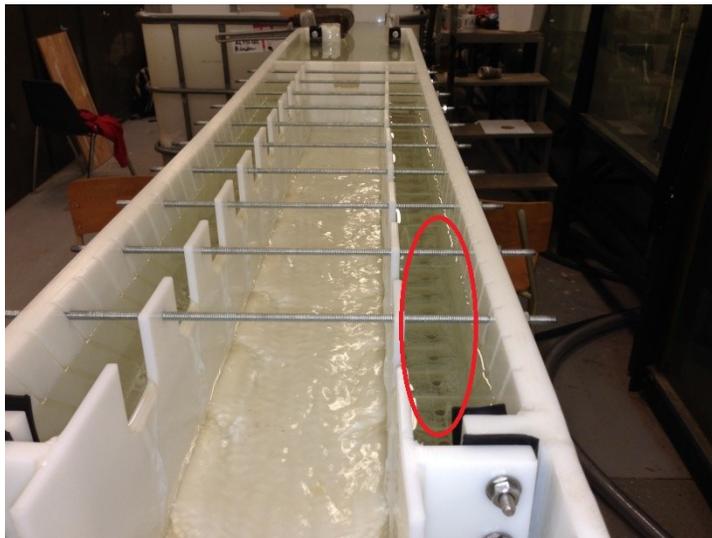


Figure 46: Plaque de déflexion trouée sous le déversoir longitudinal



Figure 47: Dispositif de vidange de la solution de traceur

4.1.5. Eaux traitées

Afin de récolter les eaux traitées (partie (g) de la figure 26), un réservoir cylindrique en plastique de 50 litres a été installé sous la sortie du décanteur. Pour connaître la turbidité de l'eau traitée, une autre sonde YSI munie d'un capteur de turbidité 6136 a été installée à l'intérieur de ce réservoir cylindrique. Il était aussi possible d'y prélever des échantillons pour faire des mesures de turbidité avec le turbidimètre, des mesures de pH et des mesures d'alcalinité.

4.1.6. Consommables et autres

Le traceur utilisé pour les essais au traceur était le Negrosin, un produit de marque Sigma-Aldrich de couleur violette-noire ayant une absorbance maximale à la longueur d'onde 570 nanomètres. La solution utilisée avait une concentration de 10g/L en poudre de Negrosin (figure 48). Pour la prise des échantillons, des contenants de plastique de 50 ml ont été utilisés et l'appareil servant à mesurer la concentration en traceur est un spectrophotomètre (Hach DR-5000: figure 48). Cet appareil permet de mesurer l'absorbance d'une eau pour une certaine longueur d'onde. En réglant le spectrophotomètre à celle correspondant à la longueur d'onde d'absorbance maximale du traceur (570 nm pour le negrosin) et en faisant une courbe de calibration, il est possible de connaître la concentration en traceur d'un échantillon.



Figure 48: Traceur (Negrosin) et spectrophotomètre (Hach DR-5000) utilisés pour les essais au traceur

Pour la préparation de l'eau brute lors des essais de traitement d'eau, la solution mère injectée en ligne avait une concentration de 10g/L en Kaolin et entre 3,3 et 5 g/L en bicarbonate de soude selon les besoins pour l'essai en cours. Le Kaolin utilisé provenait de la compagnie *NaturoSources* (produits cosmétiques) et le bicarbonate de sodium était un produit d'alimentation de marque *Arm and Hammer*. La figure 49 et la figure 50 montrent respectivement la courbe de calibration de la turbidité selon la concentration en Kaolin et la courbe de calibration de l'alcalinité selon la concentration en bicarbonate de soude ajoutées à l'eau du robinet.

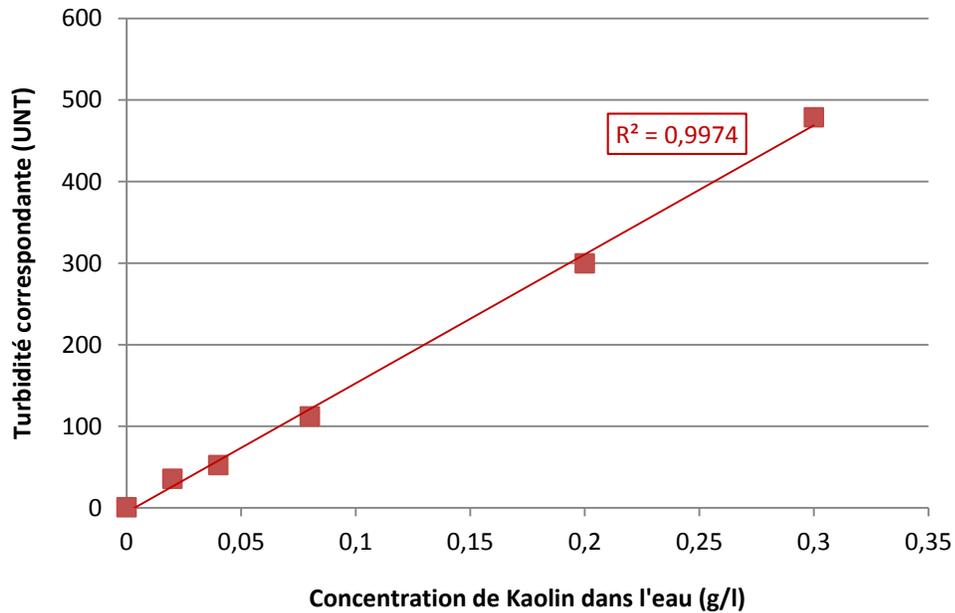


Figure 49: Courbe de calibration de la turbidité avec le Kaolin de marque NaturoSources

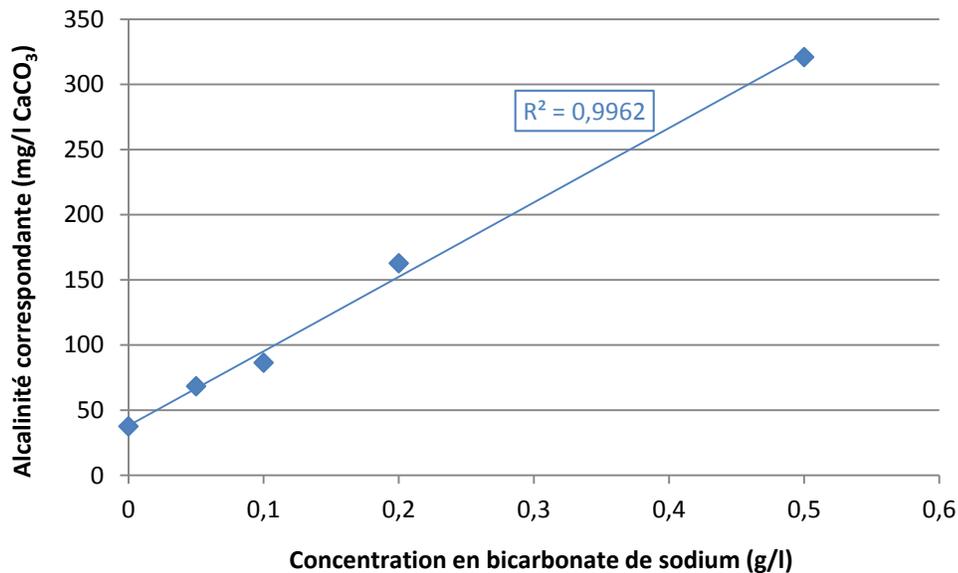


Figure 50: Courbe de calibration de l'alcalinité avec le bicarbonate de soude de Arm and Hammer

La solution d'alun utilisée pour les essais a été achetée au *Laboratoire MAG Québec* et présentait une concentration de 786 g/L de sulfate d'aluminium selon une analyse des laboratoires du Service d'environnement de la Ville de Québec et sa fiche technique est présentée en annexe (section 13.3). Également, un polymère (Hydrex 3613) dont les caractéristiques sont aussi présentées en annexe

(section 13.4) a été utilisé lors d'un essai à des fins de comparaison avec le traitement sans polymère.

4.2. Protocoles

4.2.1. Essais au traceur

La procédure pour effectuer un essai au traceur comprenait les étapes suivantes:

- 1- Connecter l'alimentation en eau directement au décanteur.
- 2- Démarrer la pompe d'eau jusqu'à ce que le décanteur soit rempli et que l'eau en sorte.
- 3- Ajuster le débit à 2000l/h à l'aide du rotamètre et du robinet-valve.
- 4- Vérifier ce débit en utilisant le réservoir cylindrique de 50 litres à la sortie du décanteur en fermant sa valve de sortie et en chronométrant son temps de remplissage.
- 5- Prélever un échantillon d'eau à la sortie du décanteur pour avoir une valeur de référence avec l'eau sans le traceur.
- 6- À l'aide du dispositif de vidange de la solution de traceur, ajouter le traceur à l'entrée du décanteur (ajout ponctuel) tout en démarrant le chronomètre.
- 7- Selon une cédule prédéterminée, prélever des échantillons à la sortie du décanteur en utilisant les contenants de plastique de 50 mL et en les rangeant à l'abri de la lumière une fois remplis.
- 8- Entre certains prélèvements d'échantillons, s'assurer que le débit est toujours constant à la lecture sur le rotamètre et en utilisant le réservoir cylindrique à la sortie du décanteur.
- 9- Une fois les échantillons pris, arrêter l'alimentation en eau et vider le décanteur.
- 10- Mesurer les concentrations en traceurs des échantillons à l'aide du spectrophotomètre (Hach DR-5000).

4.2.2. Essais de traitement d'eau

La procédure pour effectuer un essai de traitement d'eau comprenait les étapes suivantes :

- 1- Remplir le réservoir de plastique de 300 litres et y ajouter la quantité voulue de Kaolin et de bicarbonate de soude. Démarrer la pompe de brassage dans ce réservoir.
- 2- Remplir le cylindre gradué de solution d'alun.
- 3- Démarrer la pompe d'alimentation et remplir le système. Une fois rempli, ajuster le robinet-valve pour obtenir une lecture de débit de 2000l/h sur le rotamètre.
- 4- Démarrer la pompe péristaltique pour le dosage de la solution de Kaolin et de bicarbonate de soude.
- 5- Allumer la sonde de mesure de turbidité à la sortie du décanteur.

- 6- Allumer la sonde de mesure de turbidité de l'eau brute et ajuster la pompe péristaltique pour obtenir la turbidité d'eau brute voulue selon les lectures de la sonde YSI.
- 7- Remplir les béciers d'un litre de la rampe de jar test et effectuer un jar test pour connaître le dosage optimal d'alun.
- 8- Une fois que de l'eau brute commence à sortir du système, démarrer et ajuster la pompe péristaltique de la dose d'alun afin d'obtenir le dosage désiré (selon le jar test) et commencer à prendre des mesures de turbidité à la sortie à l'aide du turbidimètre à tous les 5 à 10 minutes pour suivre la réduction de turbidité.
- 9- Laisser le système se stabiliser. Le système est stable lorsque la turbidité à la sortie cesse de diminuer, c'est-à-dire lorsque la turbidité à la sortie varie environ de 10% ou moins entre deux mesures.
- 10- Démarrer l'enregistrement des mesures sur les deux sondes pour une période de 3 heures à 3 heures et demi. Durant la période de prises de mesures, les actions suivantes devaient être exécutées :
 - a. Mesurer la température de l'eau (2 fois)
 - b. À chaque 30 minutes, mesurer la turbidité à l'entrée et à la sortie à l'aide du turbidimètre (Hach 2100Q) pour vérifier la calibration des sondes YSI.
 - c. À chaque 30 minutes, mesurer la quantité de solution d'alun consommée pour vérifier le dosage injecté et ajuster le dosage à celui trouvé comme optimal lors du jar test.
 - d. 15 minutes après le commencement et 15 minutes avant la fin du test, prélever des échantillons d'eau brute et d'eau traitée dans les réservoir prévus à cette fin pour en mesurer l'alcalinité et le pH.
 - e. Mesurer la perte de charge dans le flocculateur selon les hauteurs d'eau à son entrée et à sa sortie.
 - f. Une fois durant l'essai, récolter un litre d'eau brute après l'ajout du coagulant (à l'entrée du flocculateur ou du décanteur selon l'essai) et utiliser la console «floculator 2000» pour tester l'abaissement de turbidité maximal théorique atteignable par le traitement.
 - g. Une fois durant l'essai, récolter un litre d'eau à différents points dans le flocculateur et les laisser décanter pour mesurer l'évolution de la décantabilité de l'eau dans le flocculateur.

Une fois le test terminé, arrêter les prises de mesures des sondes, arrêter l'alimentation en eau, vider le système et nettoyer les composantes du système (décanteur, flocculateur, réservoir de solution mère de kaolin et de bicarbonate de soude, réservoir d'alun, etc).

4.3. Plan expérimental

4.3.1. Essais au traceur

4.3.1.1. *Variables et gammes de variation*

Les résultats obtenus pour les essais au traceur étaient des concentrations en traceur (variable dépendante). Avec ces résultats, il est possible de calculer les indicateurs de la répartition du courant dans le décanteur (temps de séjour moyen expérimental, indice de zones mortes, indice de Morril). Ainsi, pour une configuration du décanteur donnée, la quantité de traceur injecté, le temps écoulé depuis l'ajout du traceur lors de la prise de l'échantillon à la sortie et la température de l'eau influencent ce résultat (variables indépendantes). Comme mentionné précédemment, la quantité de traceur injectée à chaque test était de 3 g (300 mL à une concentration de 10g/L) et les temps de prises d'échantillons variaient de 2 à 150 minutes (conditions d'opération fixes).

4.3.1.2. *Détermination des essais à effectuer*

Afin d'étudier l'écoulement dans le décanteur lamellaire, huit essais au traceur ont été effectués. Ceux-ci incluent six essais avec une configuration sans plaque de déflexion trouée (ported baffle). De ces six essais, deux essais ont été effectués avec la plaque verticale à l'entrée du décanteur en testant avec deux hauteurs de déversoir en largeur (60 et 160 mm qui correspondent aux déversoirs #1 et #4 de la figure 41). Deux essais avec les mêmes déversoirs mais sans la plaque verticale ont aussi été effectués pour étudier son influence sur l'écoulement dans le décanteur. Deux autres essais ont été effectués avec le déversoir longitudinal (déversoir #5 de la figure 41) avec et sans la plaque verticale à l'entrée. Finalement, deux autres essais ont été effectués avec le déversoir longitudinal en ajoutant la plaque de déflexion trouée, l'un avec et l'autre sans la plaque verticale à l'entrée. Le tableau 7 présente un résumé des configurations testées.

Tableau 7: Résumé des configurations testées lors des essais au traceur

Éléments de configuration (variables indépendantes)		# Essai							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Déversoir	60 mm (# 1)	X		X					
	160 mm (#4)		X		X				
	Longitudinal (#5)					X	X	X	X
Plaque verticale à l'entrée	Avec	X	X				X		X
	Sans			X	X	X		X	
Plaque de déflexion trouée	Avec							X	X
	Sans	X	X	X	X	X	X		

4.3.2. Essais de traitement d'eau

4.3.2.1. Variables et gammes de variation

Les résultats des tests de traitement d'eau étaient représentés par la turbidité après le traitement (variable dépendante) à la sortie du décanteur. L'objectif à atteindre était donc de trouver les configurations permettant d'atteindre les standards de traitement du *Sphere Project* pour le traitement des eaux en situation d'urgence et de déterminer laquelle de ces configurations serait la plus appropriée pour la conception du nouveau décanteur lamellaire transportable. Afin de trouver les configurations (floculateur et décanteur) permettant d'atteindre la cible de 5 UTN de turbidité d'eaux traitées pour un grand éventail d'eaux brutes, le niveau de brassage théorique, le niveau de brassage mesuré (perte de charge), le type de brassage, la température de l'eau, la turbidité et l'alcalinité, le pH de l'eau brute ont été considérés (variables indépendantes). Les turbidités initiales des eaux brutes étudiées sont de 50, 300 et 675 UTN (moyenne de toutes les mesures prises à l'aide du turbidimètre pendant l'essai) et les concentrations en alcalinité sont de 50, 100 et 130 mg/l éq. CaCO₃. Ces valeurs ont été choisies afin de représenter un grand éventail d'eaux brutes possiblement rencontrées sur le terrain. La turbidité moyenne à la sortie du décanteur de toutes les données prises pendant un essai devait donc respecter l'objectif de 5 UTN pour être satisfaisante. La durée d'un test (3h-3h30) représentait presque une demi-journée de production d'eau en situation d'urgence (7-8 heures) (conditions d'opération fixes).

4.3.2.2. Détermination des essais à effectuer

Un total de 46 essais ont été effectués pour l'étude de traitement d'eau et sont répartis selon 9 séries (groupes) d'essais. Les caractéristiques choisies pour chaque série d'essais étaient déterminés au long de la phase expérimentale selon les résultats recueillis durant les essais des séries précédentes. La figure 51 montre l'algorithme suivi afin de trouver une configuration optimale pour la conception finale du système qui permettrait de traiter des eaux d'une turbidité variant de 50 à 300 UTN.

La première série d'essais de traitement (essais #3 à 7) effectuée avec une eau brute ayant une turbidité de 300 UTN avait comme objectif d'établir une référence quant à la capacité du décanteur, lorsqu'utilisé seul, à abaisser la turbidité d'une eau sans élément de floculation et selon ses configurations possibles tels que présentés dans les essais au traceur.

L'objectif de la **deuxième série d'essais** (essais #12 et 13) a ensuite été de reprendre la configuration la plus performante (meilleur abaissement de turbidité) de la première série en y ajoutant une étape de floculation en conduite afin d'observer si celle-ci permettait d'améliorer la performance en termes d'abaissement de turbidité.

Pour la **troisième série d'essais** (essais #8, 10, 14) l'étape de floculation en conduite a été remplacée par un flocculateur hydraulique à chicanes de type « autour de l'extrémité ». L'objectif était donc d'observer l'amélioration du traitement (abaissement de turbidité) par rapport aux deux séries précédentes.

Les **quatrième et cinquième séries d'essais** (essais #16, 17, 18 et 24 et essais #19 à 23) ont eu comme objectif de tester un hybride de floculation en conduite et du flocculateur à chicanes selon des configurations de type « autour de l'extrémité » et « par-dessus, par-dessous » respectivement.

En général les séries 2 à 5 ont permis de déterminer quel type de floculation était le plus efficace pour réduire la turbidité (pour un même gradient de vitesse et un même temps de floculation). Comme le montre la figure 51, une fois le type de floculation optimal trouvé, le gradient de vitesse était varié jusqu'à l'obtention de gradients de vitesses permettant d'atteindre la cible de traitement.

La **sixième série d'essais** (essais #26 à 33 et 39) a donc été comme la troisième série (flocculateur hydraulique à chicanes de type « autour de l'extrémité ») mais avec des niveaux de brassage plus élevés. Des temps de mélange de plus en plus faibles ont ensuite été testés en ayant comme objectif de voir s'il était possible d'abaisser ce temps à 5 minutes tout en atteignant l'objectif de traitement visé. Ceci était fait afin d'obtenir une configuration finale requérant un volume de floculation minimal permettant une conception finale la moins volumineuse possible.

Une fois les configurations satisfaisant l'objectif de traitement trouvées, deux autres séries d'essais ont été effectuées pour vérifier quelles configurations pourraient également traiter des eaux brutes de 50 UTN et de 50 mg/L d'alcalinité en CaCO_3 et pour vérifier si le temps de floculation pourrait être réduit. La **septième série d'essais** (essais #34 à 38) retrace les configurations des séries précédentes permettant d'atteindre l'objectif de traitement en la testant avec une eau de 50 UTN et de 50 mg/L d'alcalinité en équivalent de CaCO_3 . L'objectif était de vérifier que ces configurations étaient bien en mesure de traiter une eau à turbidité et alcalinité faibles.

La **huitième série** (essais # 40 et 41) retrace les mêmes caractéristiques de l'eau et sensiblement le même niveau de mélange que la série précédente mais avec un temps de mélange réduit pour voir s'il était encore possible de diminuer le temps de floculation (moins de 5 minutes). Une configuration optimale fut alors choisie pour la conception du système.

Finalement, une **neuvième série** (essais 43, 44 et 46) a servi à effectuer certaines vérifications sur la configuration optimale trouvée, comme la performance au traitement d'une eau brute à 675 UTN (turbidité élevée) et à alcalinité de 130 mg/L en équivalent de CaCO_3 (alcalinité élevée), la nécessité du système d'utiliser toutes les plaques présentes dans le décanteur en effectuant un test ne comprenant que 75% des plaques et l'amélioration du traitement par l'ajout de polymères.

Le tableau 8 résume les caractéristiques du système et les conditions dans lesquelles les essais ont été effectués selon les séries. Ceci inclut la configuration du flocculateur, la température, la turbidité, le pH et l'alcalinité de l'eau brute. Ce tableau indique également lesquelles de ces variables indépendantes étaient contrôlées, c'est-à-dire que ces variables devaient être réglées avant ou durant l'essai afin de respecter certaines conditions et lesquelles étaient des variables non contrôlées, c'est-à-dire qu'elles ont été mesurées mais n'avaient pas à être ajustées pour les essais. L'alcalinité est identifiée comme une variable semi contrôlée parce que ce qui était contrôlé était la quantité de bicarbonate de soude ajouté à la solution mère mais que l'injection de solution mère était faite selon la turbidité voulue. L'alcalinité était donc partiellement contrôlée mais pas directement imposée comme la turbidité. Le débit de traitement est une variable qui a été fixée pour la totalité des essais (2000 L/h) ainsi que la configuration du décanteur (à l'exception de l'essai 16).

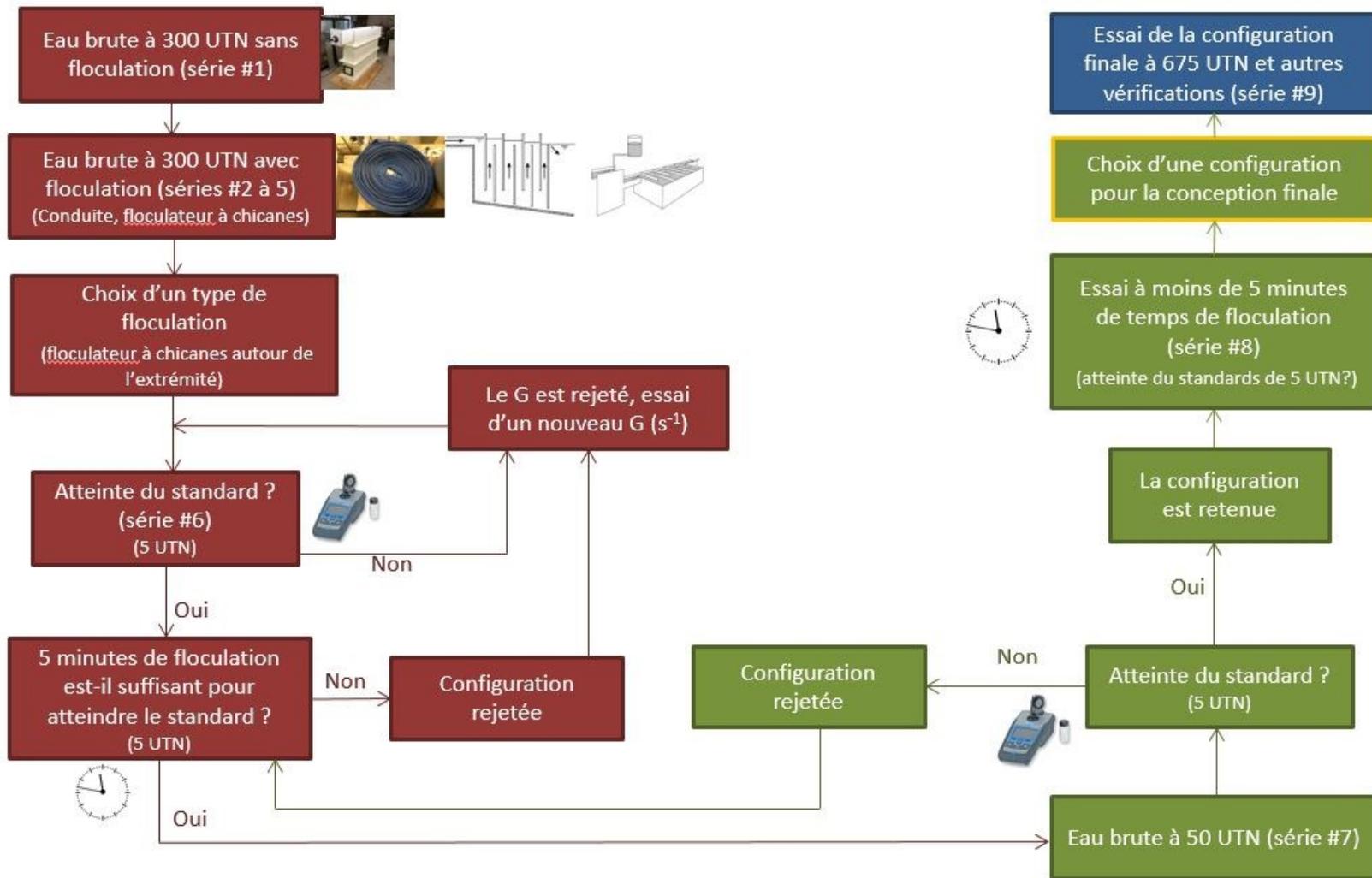


Figure 51: Algorithme de sélection des essais de traitement d'eau

Tableau 8: Conditions des essais de traitement d'eau selon les séries

Conditions: Variables indépendantes (Contrôlée ou non contrôlée)	# Série	1	2	3	4		5	
	# Essais	3-7	12 et 13	8, 10 et 14	16 et 24	17, 18	19 à 21	22 et 23
Turbidité de l'eau brute moyenne(UTN) (Variable contrôlée)		250-259	250-252	244-264	262-287	248-262	248-273	225-276
pH moyen de l'eau brute pendant l'essai (Variable non contrôlée)		7,9	X	7,8	7,8-7,9	7,7-7,9	7,8-7,9	7,8-7,9
Alcalinité moyenne de l'eau brute pendant l'essai (mg/L CaCO ₃) (Variable semi-contrôlée)		X	X	83	87-89	61-84	70-88	78-90
Température moyenne de l'eau pendant l'essai (Variable non contrôlée)		X	X	16	16-17	7-9	11-13	14
Type de floculation (dans le flocculateur) (Variable contrôlée)		Aucune	Aucune	Autour de l'extrémité	Autour de l'extrémité	Autour de l'extrémité	Par-dessus, par-dessous	Par-dessus, par-dessous
Gradients de vitesse (dans le flocculateur) (s ⁻¹) (Variable contrôlée)		-	-	4 - 10	11 - 16	6 - 8	7 - 19	5 - 10
Temps de floculation (dans le flocculateur: min) (Variable contrôlée)		-	-	14 - 15,9	5 - 8,5	3 - 3,4	5,2 - 5,7	5,6- 5,8
Présence de floculation en conduite (5 minutes) (Variable contrôlée)		Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

X: Absence de mesure

Tableau 8: Conditions des essais de traitement d'eau selon les séries (suite)

Conditions: Variables indépendantes (Contrôlée ou non contrôlée)	# Série	6		7	8	9	
	# Essais	26 à 28	29 à 33 et 39	34 à 38	40 et 41	43	44 et 46
Turbidité de l'eau brute moyenne(UTN) (Variable contrôlée)		291-299	285-316	50-53	50 -51	675	52
pH moyen de l'eau brute pendant l'essai (Variable non contrôlée)		8,2 - 8,4	7,5 - 8,0	7,3-7,5	7,4	7,5	7,3 - 7,5
Alcalinité moyenne de l'eau brute pendant l'essai (mg/L CaCO ₃) (Variable non contrôlée)		97 - 102	102-111	50 - 55	54 - 55	124	58
Température moyenne de l'eau pendant l'essai (Variable non contrôlée)		17-18	16-18	17	14-15	16	16 - 17
Type de floculation (dans le flocculateur) (Variable contrôlé)		Autour de l'extrémité					
Gradients de vitesse (dans le flocculateur) (s ⁻¹) (Variable contrôlée)		8 - 14	15 - 39	15 - 40	19 - 37	31	31 - 32
Temps de floculation (dans le flocculateur: min) (Variable contrôlée)		10 - 10,5	5,3 - 6,1	5,3 - 5,9	3,3 - 3,6	5,5	5,5
Présence de floculation en conduite (5 minutes) (Variable contrôlée)		Non	Non	Non	Non	Non	Non

5. Résultats et discussion

Cette section présente les résultats des essais au traceur et des essais de traitement d'eau en plus de l'analyse des résultats de ces essais. Les essais au traceur ayant été effectués en premier lieu afin de trouver la meilleure configuration du décanteur, ces résultats et leur analyse sont présentés en premier, suivis des résultats et de l'analyse des essais de traitement d'eau.

5.1. Essais au traceur

Tous les résultats bruts des essais au traceur sont présentés en annexe (section 11). Le graphique de la figure 52 illustre la concentration en traceur à la sortie du décanteur pour 4 des 8 essais effectués (#1,5,6 et 7). Ce graphique donne une idée générale de la distribution des temps de séjour lors des essais et montre comment l'ajout du déversoir longitudinal, l'enlèvement de la plaque verticale à l'entrée et l'ajout de la plaque de déflexion trouée permettent d'obtenir une meilleure distribution du débit.

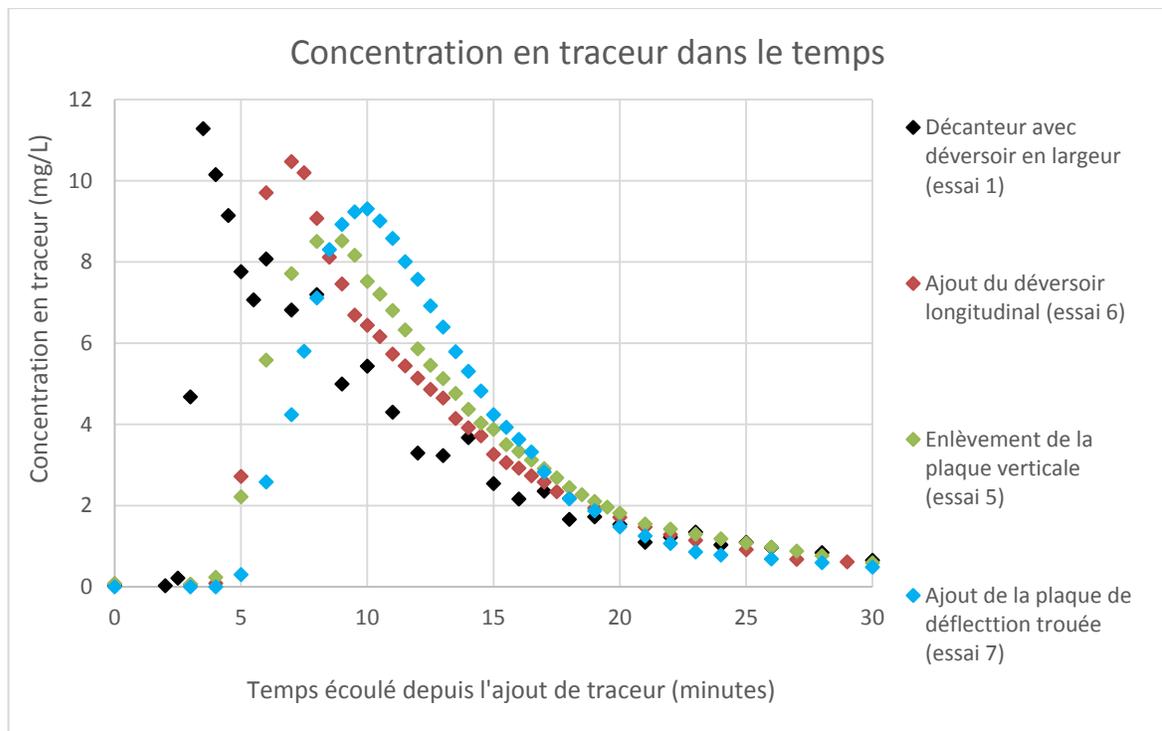


Figure 52: Graphique de la concentration en traceur à la sortie du décanteur pour les essais 1, 5, 6 et 7

Le tableau 9 présente un résumé des résultats des huit essais. Les quatre premiers essais montrent que l'utilisation d'un déversoir en largeur au bout du décanteur empêche une bonne répartition du courant à travers les plaques. En effet l'eau a tendance à court-circuiter la majorité des plaques en

passant sous celles-ci et en sortant seulement à travers les dernières plaques, ce qui explique les indices de court-circuitage élevés. La figure 53 montre quatre photos prises lors de l'essai 2 et illustre bien ce court-circuitage. Les temps de prise de ces photos après l'ajout du traceur sont de 7 minutes (en haut à gauche), 13 minutes (en haut à droite), 20 minutes (en bas à gauche) et 49 minutes (en bas à droite).

Tableau 9: Résultats des essais au traceur

# Essai	1	2	3	4
Déversoir	Déversoir largeur 60 mm (#1)	Déversoir largeur 160 mm (#4)	Déversoir largeur 60 mm (#1)	Déversoir largeur 160 mm (#4)
Panneau vertical à l'entrée	Avec panneau vertical	Avec panneau vertical	Sans panneau vertical	Sans panneau vertical
Plaque de déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée
Temps de rétention théorique Θ_H (min)	13,5	14,5	14,7	16,5
Temps de séjour expérimental τ (min)	18,9	29,1	26,9	31,8
Indice de court-circuitage	0,82	0,83	0,83	0,81
Indice de zones mortes (%)	-40,4	-101,0	-82,2	-92,2
Indice de Morril	10,3	15,9	17,2	16,4
n RCMC	1	1	1	1
Masse réc (mg)/Durée (min)	3672/150	3812/150	3972/150	3996/150

Tableau 11: Résultats des essais au traceur (suite)

# Essai	5	6	7	8
Déversoir	Déversoir longitudinal (#5)	Déversoir longitudinal (#5)	Déversoir longitudinal (#5)	Déversoir longitudinal (#5)
Panneau vertical	Sans panneau vertical	Avec panneau vertical	Sans panneau vertical	Avec panneau vertical
Plaque de déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Avec plaque déflexion trouée	Avec plaque déflexion trouée
Temps de rétention théorique Θ_H (min)	15,8	14,6	14,3	15,6
Temps de séjour expérimental τ (min)	15,3	14,2	14,7	15,5
Indice de court-circuitage	0,41	0,51	0,32	0,40
Indice de zones mortes (%)	2,9	2,6	-2,8	0,3
Indice de Morrill	4,6	5,1	3,2	3,6
n RCMC	2	2	3	2
Masse réc (mg)/Durée (min)	3295/95	3266/90	2987/90	3198/90

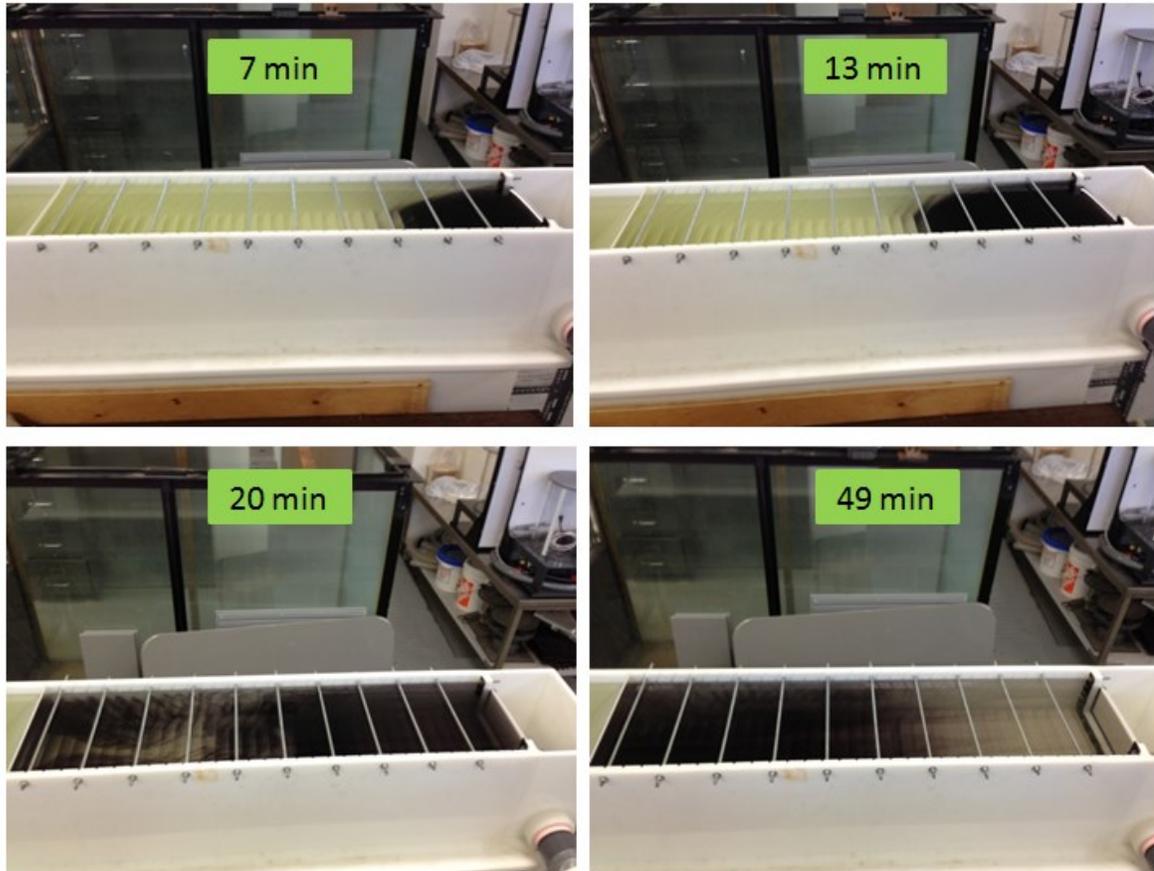


Figure 53: Essai au traceur #2

Cette figure permet également d'expliquer les résultats des indices de zones mortes négatifs. Selon l'équation 10, l'indice de zone morte représente la fraction d'eau considérée dans le calcul du temps de rétention théorique (Θ_H) ne participant pas au volume actif d'eau passant de l'entrée à la sortie du décanteur (zones à travers lesquelles le débit d'eau ne transite pas). Cependant, puisqu'une partie du courant avait tendance à passer très lentement à travers les premières plaques, une fraction du traceur restait très longtemps à l'intérieur du décanteur (ex : 150 minutes pour l'essai 2) ce qui cause un temps de séjour expérimental moyen plus élevé que le temps de rétention théorique. Selon Houzelot (2013), un temps de séjour expérimental inférieur au temps de séjour théorique indique la présence de zones mortes tandis que l'inverse, comme observé ici, indique la présence de court-circuits. Les indices de court-circuitage et la figure 53 confirment cette analyse, et les indices de Morril de ces quatre premiers essais indiquent également une répartition des temps de séjour très hétérogène.

Il faut cependant considérer dans cette analyse la masse de traceur récupérée supérieure à celle ajoutée à l'entrée du décanteur tel qu'observé à la dernière ligne du tableau 9. En effet, cette ligne

présente la masse de traceur récupérée à la fin de l'essai ainsi que le temps de la dernière prise d'échantillon. Pour les quatre premiers essais, cette masse récupérée est de 22 à 33% supérieure à celle ajoutée ce qui est considérable et anormalement élevé. Cette anomalie peut-être expliquée par une surévaluation de la concentration en traceur dans les échantillons avec la mesure d'absorption à l'aide du spectrophotomètre. Cette imprécision combinée à de longs temps de séjour (150 minutes pour les essais 1 à 4 comparativement à 90 pour les essais 5 à 8) peut influencer la mesure de traceur récupérée de manière significative. Les calculs des indices de zones mortes peuvent donc également avoir été influencés par cette imprécision de mesure de masse récupérée. De manière générale cependant, les photos prises (figure 53) montrent bel et bien un court-circuit.

Les essais 5 et 6 montrent une forte amélioration des trois indices de répartitions étudiés par rapport aux essais 1 à 4, ce qui démontre bien à quel point le déversoir longitudinal est un ajout important pour assurer une répartition égale du courant à travers toutes les plaques du décanteur. La figure 54 montre quatre photos prises lors de l'essai 5 et illustrent l'évolution de la concentration en traceur dans le temps au niveau du déversoir et qui indique bel et bien l'amélioration de la répartition du débit en comparaison avec la figure 53. Les temps de prise de ces photos après l'ajout du traceur sont de 1 minute (en haut à gauche), 9 minutes (en haut à droite), 18 minutes (en bas à gauche) et 45 minutes (en bas à droite). Ces observations sont cohérentes avec les courbes de la figure 52 où peut être observée une amélioration de la répartition des temps de séjour pour les essais 5 et 6 par rapport à l'essai 1.

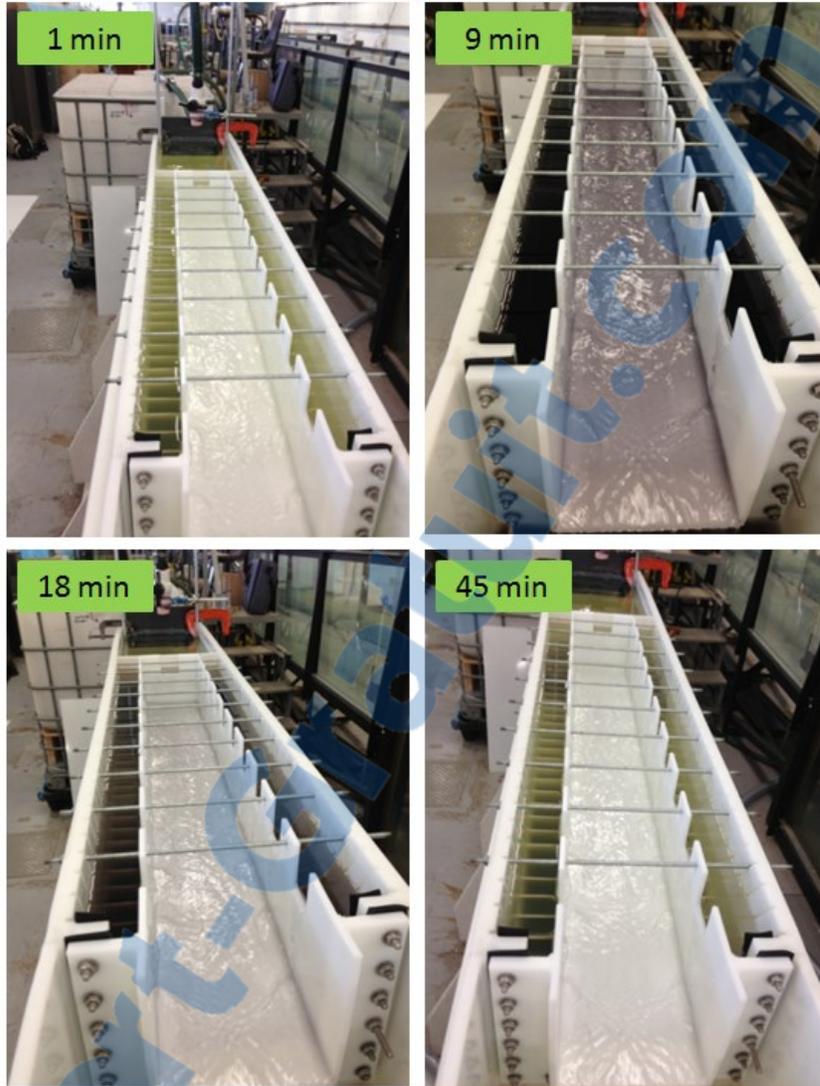


Figure 54: Essai au traceur #5

Finalement, l'ajout de la plaque de déflexion trouée (essais 7 et 8) montre également une amélioration par rapport aux essais équivalents sans la plaque (essais 5 et 6). La figure 55 montre trois photos prises lors de l'essai 8 et illustre l'évolution de la concentration en traceur dans le temps. Les temps de prise de ces photos après l'ajout du traceur sont de 5 minutes (à gauche), 7 minutes (au centre), et 36 minutes (à droite).

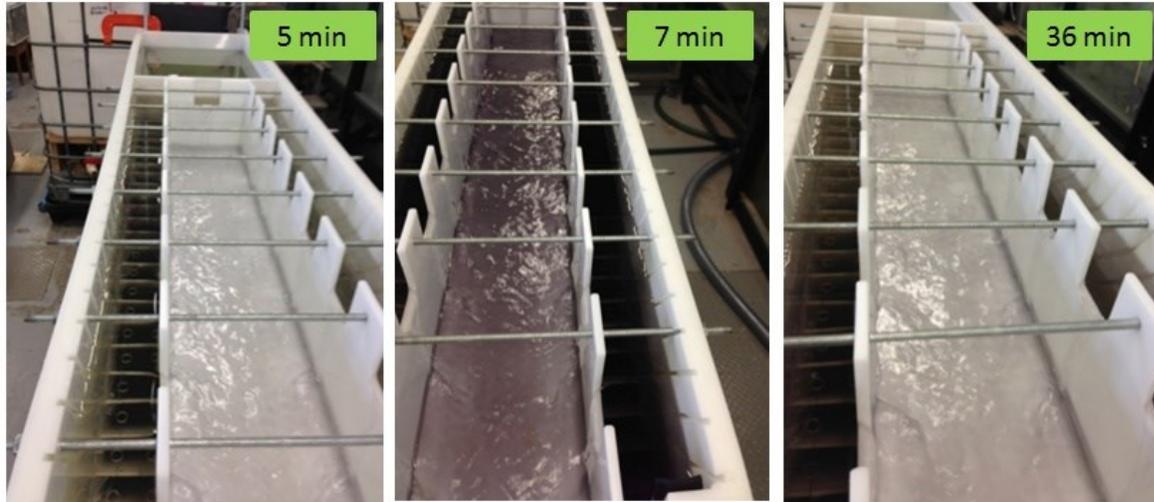


Figure 55: Essai au traceur # 8

L'indice de court-circuitage variant de 0 (écoulement piston) à 1 (réacteur complètement mélangé) dans le cas d'un ajout ponctuel, les valeurs de 0,32 de l'essai 7 et de 0,4 pour l'essai 8 représentent un écoulement près de l'écoulement piston. Même chose pour l'indice de Morrill qui se situe à 3,2 pour l'essai 7 et 3,6 pour l'essai 8. Cet indice varie de 1 à 22 et une valeur de 1 indique l'écoulement piston et 22 correspond à un réacteur complètement mélangé. Enfin, l'indice de zone morte se rapprochant de la valeur nulle pour les deux essais montre que presque la totalité du volume du décanteur participe à l'écoulement, ce qui indique que les plaques sont utilisées de manière équivalente. Ainsi, la configuration de l'essai 7 a été retenue comme étant celle à utiliser pour les essais de traitement d'eau. Celle-ci représente également la configuration correspondant au plus grand nombre de réacteurs complètement mélangés en continu avec un n d'une valeur de 3, ce qui indique également une meilleure répartition du débit tel qu'observé à la figure 52.

5.2. Essais de traitement d'eau

Tous les résultats bruts des essais de traitement d'eau sont présentés en annexe (section 12) et les conditions de traitement concernant le pH, l'alcalinité, la dose de coagulant et la température de l'eau sont présentées à la section 5.2.6. La figure 56 présente un résumé des résultats des essais où le pourcentage de réduction de turbidité est calculé avec les turbidités moyennes de l'eau brute et de l'eau traitée sur toute la durée de l'essai. La ligne en trait pointillé sur cette figure présente la réduction minimale nécessaire afin d'atteindre le standard de 5 NTU pour des eaux brutes variant de 5 à 350 UTN ainsi que les résultats obtenus lors des essais. Les points présentés en dessous de la ligne pointillée représentent donc les essais où le standard n'a pas été atteint et les points au-dessus de cette ligne représentent les essais ayant atteint ce standard (2 essais à 50 UTN et 6 essais à 300 UTN) ce qui a permis de choisir une configuration finale du système de décantation lamellaire.

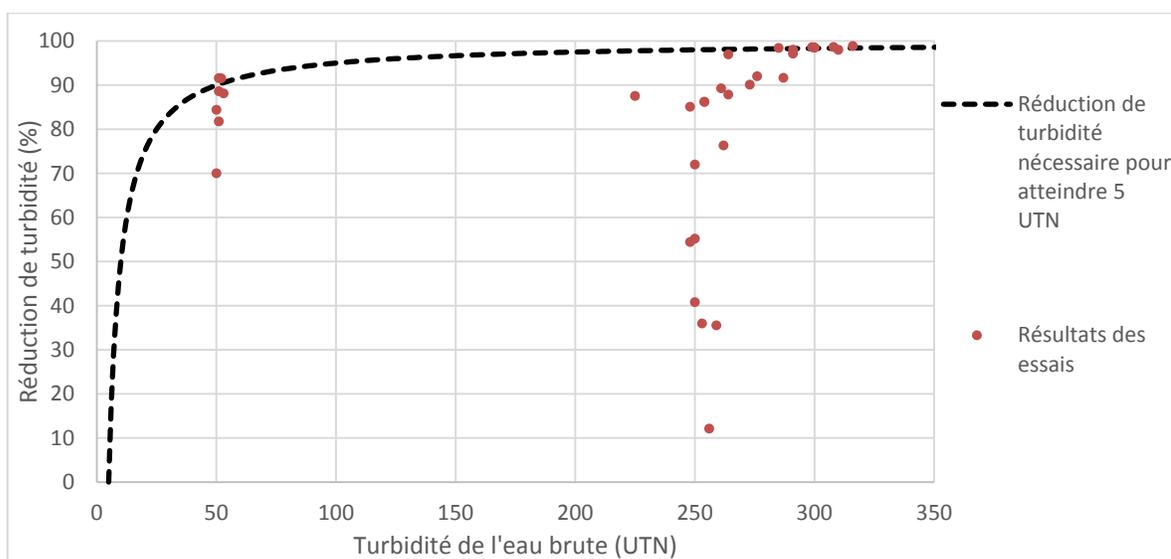


Figure 56: Résumé des résultats des essais de traitement d'eau

5.2.1. Perte de charge et gradient de vitesse

La figure 57 montre la perte de charge dans le flocculateur à chicanes en configuration « autour de l'extrémité » et « par-dessus, par-dessous » calculée respectivement selon l'équation 3 et l'équation 4 en comparaison avec la perte de charge mesurée sur ce flocculateur. Ceci permet de vérifier si la configuration du flocculateur testée correspond bien au gradient de vitesse théorique calculé. La droite rouge représentant une correspondance parfaite, soit une perte de charge mesurée égale à celle attendue en théorie. Il est assez clair selon cette figure que la perte de charge retrouvée sur le montage était globalement assez proche de celle recherchée sauf pour quelques expériences avec de faibles pertes de charge.

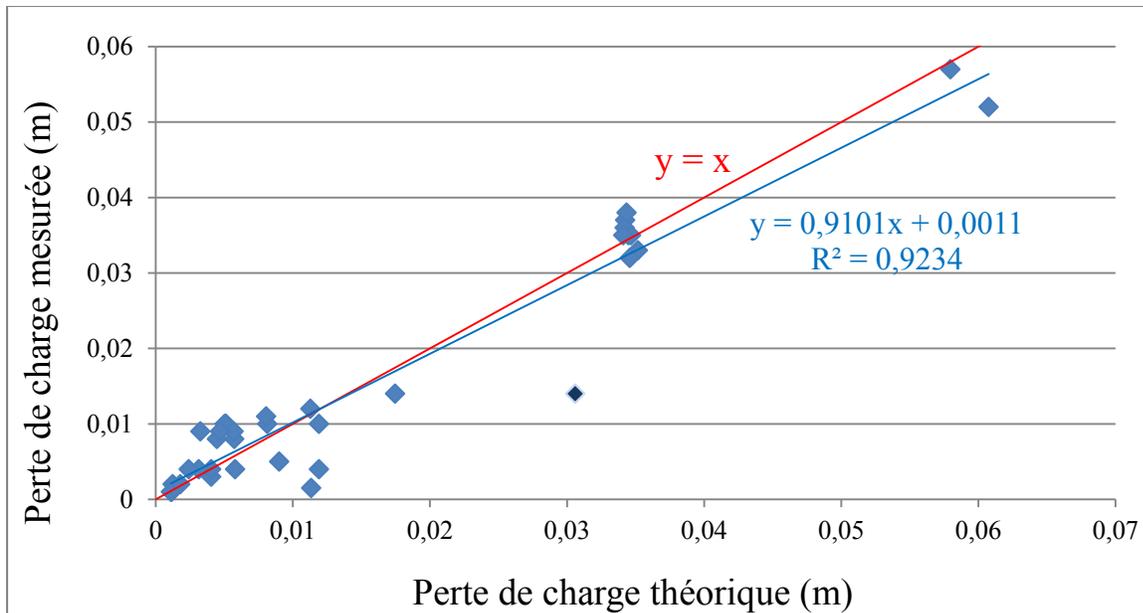


Figure 57: Graphique des pertes de charge théorique et mesurées du flocculateur à chicanes

La formule de la courbe de tendance ($y = 0,9191x + 0,0011$) montre qu'en général, la perte de charge mesurée est inférieure à celle attendue. Ceci semble logique puisque le flocculateur à chicanes a été construit à l'aide de pièces amovibles (le plancher et les séparateurs de la structure intérieure et les déflecteurs) et que ceci a entraîné des difficultés au niveau de l'étanchéité à l'intérieur du flocculateur. Il est donc possible de supposer qu'il restait parfois certains espaces de court-circuitage, ce qui diminue la perte de charge.

5.2.2. Décanteur seul et choix du type de floculation

5.2.2.1. Série #1 : Configuration du décanteur

Comme mentionné précédemment, la première série d'essais (#3 à 7) a servi à mesurer la capacité du décanteur lamellaire à abaisser la turbidité sans étape de floculation pour aider à la formation des floes. Dans cette configuration, directement après l'ajout du coagulant, l'eau brute entrait dans le décanteur tel qu'illustré à la figure 45. Ces cinq essais représentent différentes configurations du décanteur (tableau 7) testées avec une eau brute d'une turbidité variant de 250 à 300 UTN. L'essai #3 représente la configuration du décanteur avec un déversoir en largeur d'une hauteur de 60 millimètres (déversoir #1 de la figure 41) sans la plaque verticale à l'entrée et sans plaque de déflection trouée. Les essais 4 à 7 représentent la configuration avec le déversoir longitudinal (déversoir #5 de la figure 41). Pour les essais 4 et 6, la plaque verticale à l'entrée du décanteur a été retirée contrairement aux essais 5 et 7. Finalement, les essais 4 et 5 n'incluaient pas la plaque de déflection trouée alors que les essais 6 et 7 l'incluaient (tableau 10).

Le tableau 10 montre les résultats des essais de cette série. Comme prévu avec les résultats des essais au traceur, c'est la configuration sans la plaque verticale à l'entrée, avec le déversoir longitudinal et avec la plaque de déflexion trouée que le décanteur a le mieux performé (essai 6). En effet, puisque la répartition du débit est meilleure avec cette configuration, il est logique de s'attendre à une meilleure performance d'enlèvement de turbidité puisque le courant est mieux réparti entre les plaques de décantation ce qui permet une optimisation de l'utilisation de la surface de décantation. Cependant, les résultats montrent une différence de performance très faible entre les essais 4 et 6 ce qui montre que la plaque de déflexion trouée n'a pas fait améliorer la performance de manière considérable. Cet élément avait cependant été identifié comme important pour la répartition du débit lors des essais au traceur (section 5.1) et c'est pourquoi la configuration de l'essai 6 a été retenue. Pour expliquer la faible différence de performance durant les essais de traitement d'eau, l'hypothèse proposée serait de voir le manque de floculation comme un facteur limitant de la performance. Par exemple, si une partie de la matière en suspension de l'eau traitée n'a pas du tout formé de floc ou a seulement formé de très petits floes, cette matière ne pourra pas être décantée et ce même si la répartition du débit est un peu meilleure pour une configuration que pour une autre.

Il est également intéressant de voir que le déversoir longitudinal n'a presque rien changé (différence entre les essais 3 et 4) alors que l'enlèvement de la plaque verticale a fait une grande différence (essais 4 et 5). La figure 58 présente le graphique des mesures de turbidité dans le temps pour l'essai #6 en comparaison avec la cible de traitement (eau traitée d'une turbidité de 5 UTN : *Sphere Project*). Le décanteur permet donc de réduire la turbidité de l'eau de 300 UTN à environ 150 UTN en moyenne.

Cette première série a donc permis de choisir la configuration du décanteur de l'essai 6 comme la configuration à garder pour la suite des essais et la conception finale, soit une configuration comprenant un déversoir longitudinal (#5), une plaque de déflexion trouée et ne comprenant pas la plaque verticale à l'entrée du décanteur.

Tableau 10: Série #1 des essais de traitement d'eau

# Essai	3	4	5	6	7
Déversoir	Déversoir largeur 60 mm	Déversoir longitudinal	Déversoir longitudinal	Déversoir longitudinal	Déversoir longitudinal
Panneau vertical à l'entrée	Sans panneau vertical	Sans panneau vertical	Avec panneau vertical	Sans panneau vertical	Avec panneau vertical
Plaque de déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Sans plaque déflexion trouée	Avec plaque déflexion trouée	Avec plaque déflexion trouée
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	259	253	256	250	253
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	167	162	225	148	204
Réduction de turbidité (%)	36	36	12	41	19

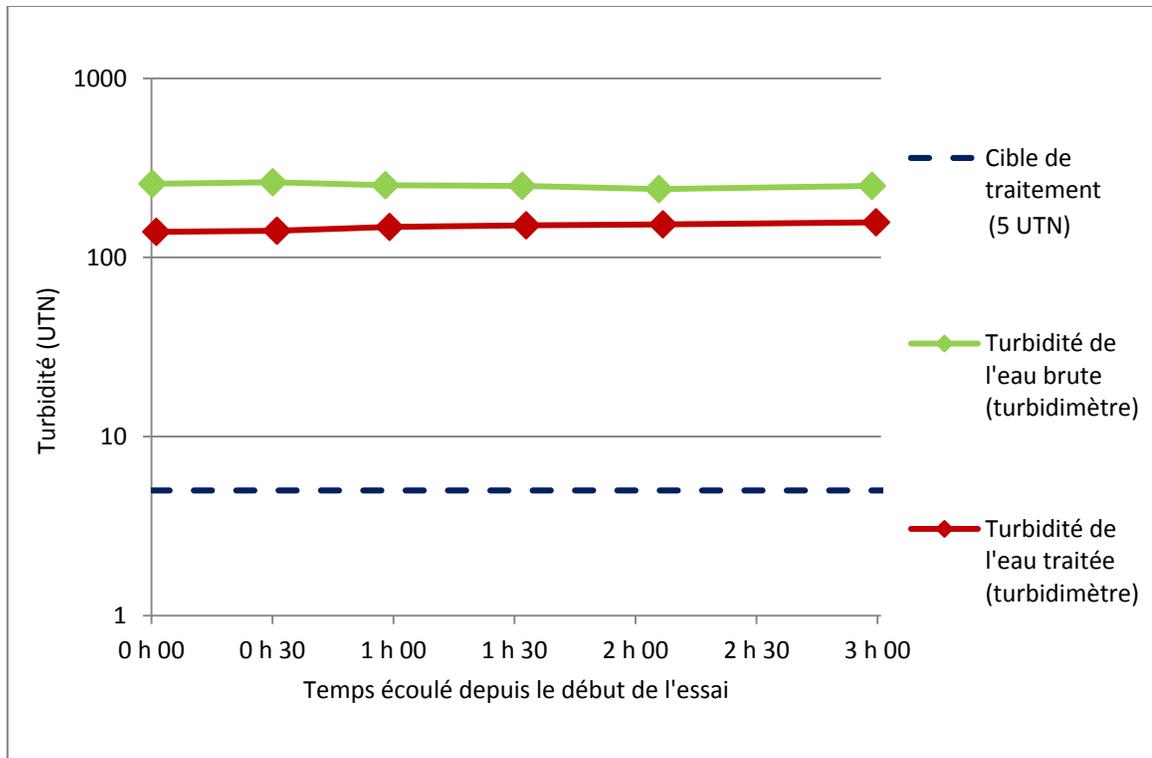


Figure 58: Graphique des mesures de turbidité de l'essai #6 : décanteur seul

5.2.2.2. Série #2 : Flocculation en conduite

Le tableau 11 présente les résultats de la deuxième série d'essais (#12 et 13), c'est-à-dire les essais avec une conduite comme élément de flocculation. Les résultats de l'essai 6 (série #1) ont également été ajoutés afin de montrer l'effet de l'ajout de la flocculation sur le traitement. À noter qu'à partir de cette série, la configuration utilisée pour tous les essais est celle de l'essai 6 sauf pour l'essai 16 qui permet de vérifier une fois de plus l'influence de la plaque verticale à l'entrée (16a, 16b). L'ajout d'une étape de flocculation montre tout d'abord une amélioration marquée de la performance comparativement à l'essai 6. Aussi, la conduite de 2 pouces (5,08 cm) de diamètre ayant donné de meilleurs résultats, il semble qu'un gradient de vitesse de 240 s^{-1} (équation 5) de l'essai avec une conduite 1,5 pouce (3,81 cm) de diamètre soit trop élevé. Ce gradient est cependant bien au-delà de la gamme de valeurs visée (20 à 70 s^{-1}). Le gradient de vitesse de 80 s^{-1} de l'essai 12 montre en effet de meilleurs résultats mais l'abaissement de turbidité de seulement 72% semble indiquer que ce gradient soit toujours trop élevé pour la formation de floccs d'une grosseur suffisante.

Cette deuxième série a permis de déterminer que le gradient de vitesse devrait être inférieur à 80 s^{-1} pour les autres types de flocculation et que la flocculation en conduite seule n'était pas suffisante dans le présent contexte.

Tableau 11: Série #2 des essais de traitement d'eau

# Essai	12	13	6
Diamètre de la conduite de floculation en pouces (cm)	2 (5,08)	1,5 (3,81)	-
Gradient de vitesse théorique dans la conduite (s ⁻¹)	80	240	-
Temps de floculation théorique dans la conduite (s)	367	313	-
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	250	250	250
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	70	112	148
Réduction de turbidité (%)	72	55	41

5.2.2.3. Série #3 : Flocculateur à chicanes : « autour de l'extrémité »

Le tableau 12 contient les résultats de la troisième série où la conduite a été remplacée par le flocculateur à chicanes en configuration « autour de l'extrémité » avec des gradients de vitesse faibles (11 s^{-1} et moins) calculés selon l'équation 3. Ces trois essais ont été effectués avec la totalité du volume du bassin de floculation (3 corridors d'écoulement à pleine hauteur). Deux des essais (#8 et #14) ont été effectués avec un gradient de vitesse constant et l'autre (#10) avec un gradient de vitesse évoluant d'un couloir d'écoulement à l'autre dans le flocculateur. Cet aspect ne semble pas avoir un grand impact sur les résultats lorsque l'on compare l'essai 8 et l'essai 10 mais le gradient de vitesse légèrement plus élevé semble montrer qu'il devrait être un peu plus élevé que 11 secondes^{-1} , ce qui concorde encore une fois avec les données retrouvées dans la littérature (20 à 70 s^{-1}).

Cette troisième série d'essais a permis de déterminer que le gradient de vitesse devrait être supérieur à 11 secondes^{-1} et que l'utilisation d'un flocculateur à chicanes en configuration « autour de l'extrémité » avec un gradient de vitesse situé entre 3 et 11 s^{-1} a donné de meilleurs résultats de diminution de turbidité que la floculation en conduite ayant un gradient de vitesse égal à 80 s^{-1} .

Tableau 12: Série #3 des essais de traitement d'eau

# Essai	8	10			14
Type de flocculateur à chicanes	Autour de l'extrémité	Autour de l'extrémité			Autour de l'extrémité
Gradient de vitesse moyen selon la perte de charge mesurée (flocculateur à chicanes) (s ⁻¹)	4,3	8,7			10
Gradient de vitesse théorique (s ⁻¹)	3,4	5,5			11
		1,7	3,5	11,3	
Temps théorique de floculation dans le flocculateur (s)	951	272	304	349	839
		925			
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	254	254			264
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	35	35			32
Réduction de turbidité (%)	86	86			88

5.2.2.4. Série #4 : Floculation hybride (floculateur à chicanes « autour de l'extrémité »)

Pour la quatrième série (#16, 17, 18 et 24 : résultats présentés au tableau 13), la floculation en conduite a été ajoutée au floculateur hydraulique, toujours en configuration « autour de l'extrémité » afin d'obtenir une floculation hybride. Un seul corridor d'écoulement dans le floculateur a été utilisé pour les essais 16, 17 et 18 avec la pleine hauteur à l'essai 16 et la demi-hauteur pour les essais 17 et 18 afin de changer le temps de floculation. Comme mentionné précédemment, l'essai 16 a été effectué partiellement sans et avec la plaque verticale à l'entrée (figure 38) ce qui correspond respectivement aux essais 16a et 16b. Cette fois la différence de performance est très faible ce qui ne permet pas de conclure sur l'influence de cette plaque sur le traitement. Pour la suite des essais, la configuration du décanteur sans la plaque verticale à l'entrée a été gardée à cause des résultats obtenus durant la première série d'essai montrant de meilleures réductions de turbidité lors des essais sans cette plaque verticale (tableau 10).

Avant les essais 17 et 18, des travaux de maintenance ont été effectués sur le grand réservoir du laboratoire 0904 qui constituait la source d'eau du système et, pour cette raison, ce réservoir a été vidé et rempli. Étant donné que ces travaux ont été effectués durant l'hiver, l'eau servant à remplir le bassin était très froide (7 à 9°C comparativement à 11 à 18° pour les autres essais, voir la section 5.2.6) pour ces deux essais. Bien que ces essais aient un temps de floculation moins grand que l'essai 16 et que cet aspect peut partiellement expliquer la performance, il faut rappeler que la température de l'eau a une influence sur la sédimentation. D'une part, la densité de l'eau augmente avec l'abaissement de sa température (jusqu'à 4°C). Ceci diminue la différence de densité entre le floc et l'eau qui permet la sédimentation. D'autre part et de manière plus significative, la viscosité de l'eau augmente aussi avec l'abaissement de la température, ce qui a également pour effet de diminuer la vitesse de sédimentation des floes. Ces essais semblent toutefois indiquer une même tendance qu'avec les essais précédents, c'est-à-dire que le gradient de vitesse devrait être comparable aux données trouvées dans la littérature (20 s⁻¹), cependant, il est important de noter que cette analyse n'est que théorique puisqu'aucune mesure de perte de charge n'a été prise pour ces essais.

La performance de l'essai 24 semble difficile à expliquer car en ayant des conditions de traitement semblables à l'essai 16 et avec un temps de floculation plus élevé, les résultats obtenus sont beaucoup moins satisfaisants en termes de diminution de turbidité. Il est important de constater l'écart entre le gradient de vitesse théorique qui est moins que la moitié de celui relié à la perte de charge mesurée (point bleu foncé à 0,031 mètre de perte de charge théorique sur la figure 57). Ceci pourrait indiquer un problème avec le floculateur à chicanes, possiblement un problème d'étanchéité dans les corridors d'écoulement (ayant parfois été observé dans certains essais), ce qui entraîne des

courts-circuits, une perte de charge inférieure à la théorie et possiblement des bris de floccs passant par ces courts-circuits.

La quatrième série d'essai a donc permis d'améliorer la capacité du système à réduire la turbidité en utilisant deux étapes de floculation soit une en conduite et une dans un floculateur à chicanes en configuration « autour de l'extrémité ».

5.2.2.5. *Série #5 : Floculation hybride (floculateur à chicanes « par-dessus, par-dessous »)*

Le tableau 14 montre les résultats de la cinquième série (#19 à 23) qui comprend les essais effectués avec la floculation en conduite suivie d'une floculation hydraulique en configuration « par-dessus, par-dessous ». Tous ces essais ont été effectués avec la pleine hauteur d'un seul corridor d'écoulement dans le floculateur à chicanes. Afin de comparer la performance des deux types de floculateur à chicanes testés, les essais avec un gradient de vitesse et un temps de floculation semblables (essais #21 et 22) peuvent être comparés à l'essai 16. Bien que les températures d'eaux traitées étaient légèrement différentes (17°C à l'essai 16, 13°C à l'essai 21 et 14°C à l'essai 22, voir la section 5.2.6), cette série indique que pour un même gradient de vitesse, (10-11 s⁻¹) et un même temps de floculation (~5 minutes), la performance d'abaissement de turbidité avec la configuration « autour de l'extrémité » est meilleure.

L'hypothèse suivante peut être posée pour expliquer ce phénomène. En considérant une même hauteur de corridor d'écoulement dans le floculateur à chicanes (ex: 65 cm pour les essais 16, 21 et 22), une même largeur du corridor (ex: 28 cm pour ces essais), et un même espacement entre les déflecteurs, la vitesse d'écoulement de l'eau est plus rapide avec la configuration « par-dessus, par-dessous » à cause de la surface d'écoulement plus faible ce qui donne un brassage plus intense dans les virages. La raison pour laquelle le gradient de vitesse reste semblable entre les deux configurations est principalement que l'eau passe proportionnellement plus de temps sans brassage (ligne droite correspondant au temps entre deux virages) que dans les virages dans une configuration « par-dessus, par-dessous » que dans une configuration « autour de l'extrémité » comme l'illustre la figure 59. Le brassage dans cette dernière configuration serait donc plus constant que dans la première, ce qui permettrait une meilleure formation de floccs.

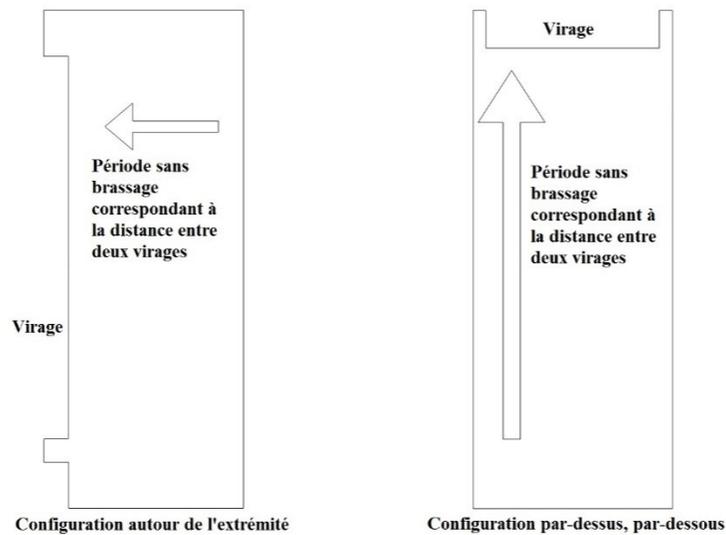


Figure 59: Comparaison du brassage selon le type de flocculateur à chicanes

D'un côté plus pratique, étant donné qu'il s'agit de la conception d'un système transportable qui doit être facile à vider, une configuration « autour de l'extrémité » est plus appropriée car un flocculateur à chicanes « par-dessus, par-dessous » ne peut être vidé par gravité à cause des plaques fixées au bas du flocculateur. C'est principalement pour cette raison, appuyé par des résultats satisfaisants, que la configuration « autour de l'extrémité » a été retenue pour la suite des essais et la conception finale du système. La cinquième série a donc permis de choisir la configuration « autour de l'extrémité » pour la conception finale du flocculateur.

Tableau 13: Série #4 des essais de traitement d'eau

# Essai	16a	16b	24	17	18
Gradient de vitesse théorique dans la conduite (s^{-1})	90		88	80	78
Temps de floculation théorique dans la conduite (s)	367		367	367	367
Type de flocculateur à chicanes	Autour de l'extrémité		Autour de l'extrémité	Autour de l'extrémité	Autour de l'extrémité
Gradient de vitesse moyen selon la perte de charge mesurée (flocculateur à chicanes) (s^{-1})	11		15	*	*
Gradient de vitesse théorique (s^{-1})	11		33	21	6,3
Temps théorique de floculation dans le flocculateur (s)	298		524	178	203
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	264	262	287	262	248
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	8,0	9,1	24	62	113
Réduction de turbidité (%)	97,0	96,5	91,5	76	54

Tableau 14: Série #5 des essais de traitement d'eau

# Essai	19	20	21	22	23				
Gradient de vitesse théorique dans la conduite (s^{-1})	83	85	85	86	86				
Temps de floculation théorique dans la conduite (s)	367	367	367	367	367				
Type de flocculateur à chicanes	Par-dessus, par-dessous								
Gradient de vitesse moyen selon la perte de charge mesurée (flocculateur à chicanes) (s^{-1})	19	7	11	10	4,9				
Gradient de vitesse théorique (s^{-1})	22	10	20		14			7,6	
			34	10	34	10	5,3	10	5,3
Temps théorique de floculation dans le flocculateur (s)	311	341	141	187	83	114	139	159	187
			328		336			346	
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	248	261	273	276	225				
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	37	28	27	22	28				
Réduction de turbidité (%)	85	89	90,3	92,1	88				

5.2.3. Configuration optimale pour des eaux brutes de 300 UTN

5.2.3.1. Série #6 : Gradient de vitesse et temps de floculation

Les résultats des essais de la série 6 (#26 à 33 et 39) présentés au tableau 15 montrent les neuf derniers essais effectués avec des eaux brutes à 300 UTN. À noter qu'à partir de cette série, la floculation en conduite a été enlevée mais une conduite de 2 pouces (5,08 cm) ayant un temps de rétention de 45 secondes et quatre singularités en angle à 90° a été gardée en guise de mélange rapide avant la floculation ($G=94\text{ s}^{-1}$).

Les essais 26 à 28 présentent des temps de floculation d'environ 10 minutes et les autres d'environ 5 minutes et demi. Ces temps ont été obtenus en utilisant les 3 corridors d'écoulement en installant le plancher au 2/3 et au 1/3 de la hauteur (à partir du haut) du flocculateur respectivement. Les résultats montrent qu'un gradient de vitesse se situant entre 13 et 30 s^{-1} est approprié pour atteindre les résultats voulus (turbidité moyenne de l'eau traitée de moins de 5 UTN) et ce avec seulement 5 minutes et demi de temps de floculation. La figure 60 montre les données récoltées pendant l'essai #31 en les comparant avec la performance moyenne du décanteur seul (essai #6) et la cible de traitement.

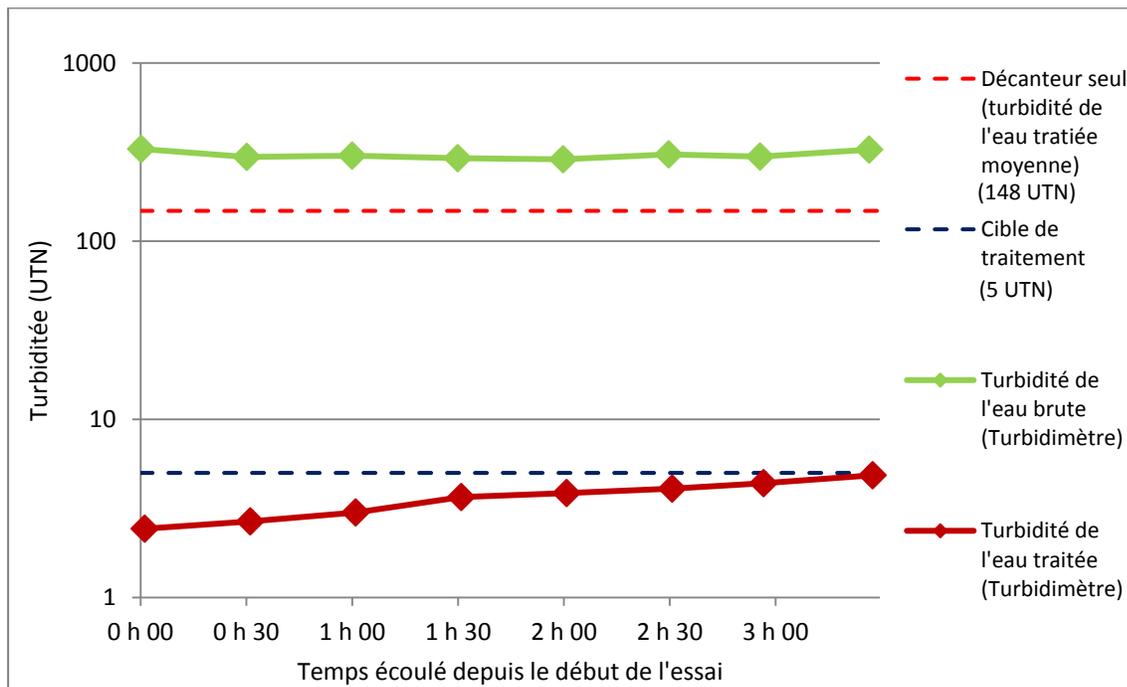


Figure 60: Graphique des mesures de turbidité de l'essai #31

Cette figure illustre bien l'amélioration de la performance du système avec l'ajout du flocculateur en comparaison avec la figure 58 (essai #6). L'allure de la courbe des mesures de turbidité de l'eau

traitée amène cependant quelques questions. En effet, en observant que ces mesures passent d'environ 2,5 à près de 5 UTN du début à la fin de l'essai, il serait légitime de se demander pourquoi la performance se détériore avec le temps et ce qu'il serait arrivé si l'essai avait continué plus longtemps surtout en sachant qu'une journée de traitement complète en situation d'urgence durerait beaucoup plus que 3h30 (environ 7-8h). Cette variation dans le temps a d'ailleurs été observée lors de tous les essais avec une amplitude variable (variation de 2 UTN à 10 UTN). Une possible explication est que cette diminution de performance serait due à un changement de la qualité de l'eau brute, principalement au niveau de l'alcalinité. Ceci qui aurait pour conséquence que la dose d'alun injectée et déterminée au début de l'essai à l'aide du jar test ne serait plus tout à fait adaptée à l'eau brute utilisée à cause de ce changement dans la qualité de l'eau, ce qui viendrait modifier la dose optimale.(voir section 5.2.6.). Pour la suite, les configurations des essais 30 à 33 et 39 ont donc été retenues pour les essais avec une eau d'une turbidité de 50 UTN.

Cette sixième série a donc permis de montrer qu'un temps de floculation de 5 minutes et demi est suffisant pour traiter des eaux brutes d'une turbidité de 300 UTN en utilisant un flocculateur à chicanes « autour de l'extrémité » avec des configurations permettant d'obtenir des gradients de vitesse se situant entre 14 et 30 secondes⁻¹.

Tableau 15: Série #6 des essais de traitement d'eau

# Essai	26	27		28			29	30		31		32			33			39	
Gradient de vitesse moyen selon la perte de charge mesurée (floculateur à chicanes) (s ⁻¹)	7,8	7,6		13,6			15,2	14,6		16,4		29,8			16,1			38,7	
Gradient de vitesse théorique (s ⁻¹)	6,9	5,6		10,3			9,1	11,7		14,2		24,5			10,5			38,4	
		7,0	3,4	23	7,2	3,5		18	9,0	18	8,9	53	18	8,8	17	9,2	5,9	50,7	17
Temps théorique de floculation dans le floculateur (s)	597	383	245	171	189	239	363	105	244	210	128	98	103	128	105	115	120	205	114
		628		599				349		337		329			340			315	
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	291	291		299			300	308		316		300			285			310	
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	8,3	5,7		4,1			4,6	4,2		3,6		4,4			4,5			6,2	
Réduction de turbidité (%)	97,1	98,0		98,6			98,5	98,6		98,9		98,5			98,4			98,0	

5.2.4. Configuration optimale pour des eaux brutes de 50 à 300 UTN

5.2.4.1. Série #7 : *Gradient de vitesse optimal*

Le tableau 16 présente les résultats des septième et huitième séries d'essais. Les essais 34 à 38 (série #7) représentent les configurations retenues précédemment (essais à 300 UTN) en testant avec une eau brute à 50 UTN. Ces résultats montrent une réduction de turbidité adéquate pour des gradients de vitesse un peu plus élevé que pour l'eau à 300 UTN soit entre 30 et 40 s⁻¹. Ceci montre donc qu'une configuration permettant d'avoir un système capable de traiter des eaux brutes variant de 50 à 300 UTN devrait avoir un gradient de vitesse d'environ 30 s⁻¹. La configuration optimale choisie est donc celle des essais #32 et 35. Le fait que le temps de floculation nécessaire soit de 5,5 minutes (329-332 secondes) suggère qu'il serait possible, pour la conception du système final, de ne faire qu'un seul bassin contenant le flocculateur et le décanteur tout en gardant un format permettant toujours d'être transporté dans la boîte d'une camionnette (section 2.2.6). En effet, le volume correspondant à un temps de rétention de 330 secondes pour un débit de traitement de 6 m³/h est de 550 litres, ce qui représente une augmentation du volume du bassin de 43% par rapport au volume du prototype de décanteur de la phase I (1280 litres), ce qui semble faisable tout en respectant le critère de transportabilité.

La septième série a donc permis de montrer qu'un temps de floculation de 5 minutes et demi est suffisant pour traiter des eaux brutes d'une turbidité de 50 à 300 UTN en utilisant un flocculateur à chicanes « autour de l'extrémité » avec une configuration permettant d'obtenir un gradient de vitesse de 30 secondes⁻¹.

5.2.4.2. Série #8 : *Temps de floculation minimal*

La huitième série (#40 et 41) représente des essais avec un temps de floculation réduit, c'est à dire moins de 5 minutes. Ces temps ont été obtenus en utilisant seulement 2 corridors d'écoulement dans le flocculateur à chicanes (toujours avec le plancher au tiers de la hauteur à partir du haut). Ces essais montrent une diminution considérable de la performance du système ce qui a permis de conclure qu'un temps de floculation d'au moins 5 minutes et demi est nécessaire.

Tableau 16: Séries # 7 et #8 des essais de traitement d'eau

# Essai	34			35			36		37		38		40		41	
Gradient de vitesse moyen selon la perte de charge mesurée (floculateur à chicanes) (s ⁻¹)	16			32			17		15		40		37		19	
Gradient de vitesse théorique (s ⁻¹)	10			24			14		11		37		34		13	
	17	9,1	5,8	52	18	8,9	17	8,9	17	9,0	49	17	52	18	17	9,2
Temps théorique de floculation dans le floculateur (s)	105	117	123	99	104	129	210	129	105	246	206	114	97	101	104	114
	345			332			339		351		320		198		218	
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	50			52			53		51		51		51		50	
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	7,8			4,4			6,3		5,8		4,3		9,3		15	
Réduction de turbidité (%)	84			91,6			88		89		91,5		82		70	

5.2.5. Vérifications supplémentaires et analyse générale

5.2.5.1. Série #9 : Vérifications supplémentaires

Le tableau 17 montre les résultats de la neuvième et dernière série d'essai qui a servi à effectuer quelques vérifications supplémentaires. Ces trois essais ont repris la configuration de l'essai #35 en changeant un élément à la fois. Par exemple, l'essai 43 montre la capacité du système à diminuer la turbidité d'une eau très turbide (675 UTN). Bien que cet essai montre que le standard de 5 UTN n'a pas été atteint avec une telle eau brute, une diminution de la turbidité à moins de 10 UTN représente un résultat plutôt satisfaisant considérant la turbidité de l'eau brute qui représenterait un cas extrême sur le terrain et sachant que la différence entre une eau de 5 UTN et une eau de 10 UTN a peu d'influence sur le critère esthétique et sur la santé des consommateurs (voir section 5.2.5.2). Lors de l'essai 44, seulement le trois quart des plaques (27/36) ont été utilisées afin de vérifier la nécessité d'avoir 36 plaques dans le décanteur pour atteindre les résultats voulus. Pour ce faire, le quart de la surface dans le haut des plaques (sous le déversoir longitudinal) a été bouché à l'aide d'une plaque horizontale fixée et scellée. Ainsi, la totalité du débit ne passait qu'à travers 75% des plaques de décantation. Les résultats montrent que la totalité des plaques doit être utilisée pour atteindre le standard de traitement. Finalement, l'essai 46 montre l'amélioration de la performance avec l'ajout du polymère (Hydrex 3613) présenté en annexe (section 13.4).

Tableau 17: Série #9 des essais de traitement d'eau

# Essai	43			44			46		
Vérification	Essai en condition de turbidité très élevée			Diminution du nombre de plaque dans le décanteur			Ajout de polymères		
Gradient de vitesse moyen selon la perte de charge mesurée (floculateur à chicanes) (s ⁻¹)	31			32			31		
Gradient de vitesse théorique (s ⁻¹)	24			24			24		
	51	17	8,7	52	17	8,7	52	18	8,8
Temps théorique de floculation dans le floculateur (s)	99	104	129	99	104	129	99	104	129
	332			332			332		
Turbidité moyenne de l'eau brute (UTN)	675			52			52		
Turbidité moyenne de l'eau traitée (UTN)	9,2			6,9			3,8		
Réduction de turbidité (%)	98,6			87			92,7		

5.2.5.2. Analyse générale

La figure 61 montre un résumé graphique des résultats des essais de traitement d'eau en mettant en relation la turbidité de l'eau traitée en fonction du gradient de vitesse mesuré à partir des mesures de perte de charge à l'intérieur du flocculateur à chicanes pour les huit premières séries. Cela montre que l'augmentation du gradient de vitesse de 0 s^{-1} à environ 15 s^{-1} permet de passer d'un très faible enlèvement de la turbidité à un enlèvement suffisant dépendamment du type de floculation choisi et de l'eau brute traitée. Au-delà de 20 s^{-1} le standard de traitement recherché est atteint (en accord avec d'autres travaux; Haarhoff, 1998, Crittenden, 2012, Cornell, 2009) concernant la plage de gradient de vitesse idéale se trouvant entre 20 et 70 s^{-1} .

La figure 62 montre un "zoom" de la partie inférieure du graphique de la figure 61 avec l'ajout de l'essai à 675 UTN. Ce nouveau graphique permet de bien voir comment l'eau brute à 300 UTN requiert un gradient de vitesse inférieur (15 à 30 s^{-1}) à l'eau brute à 50 UTN (30 à 40 s^{-1}) en moyenne. Ceci est cohérent avec la théorie puisque, plus une eau est chargée en floes, et moins le gradient de vitesse doit être intense pour occasionner des collisions permettant de faire grossir les floes. De la même manière, moins une eau est chargée en floes, moins grandes sont les chances qu'un brassage plus intense occasionne des bris de floes. Aussi, les points rouges de la figure montrent la diminution de la performance lorsque le temps de floculation est diminué sous la barre des 5 minutes. Finalement, le point vert permet d'avoir une idée de la performance du système avec une eau brute à 675 UTN en comparaison avec les autres eaux brutes et avec la cible de traitement.

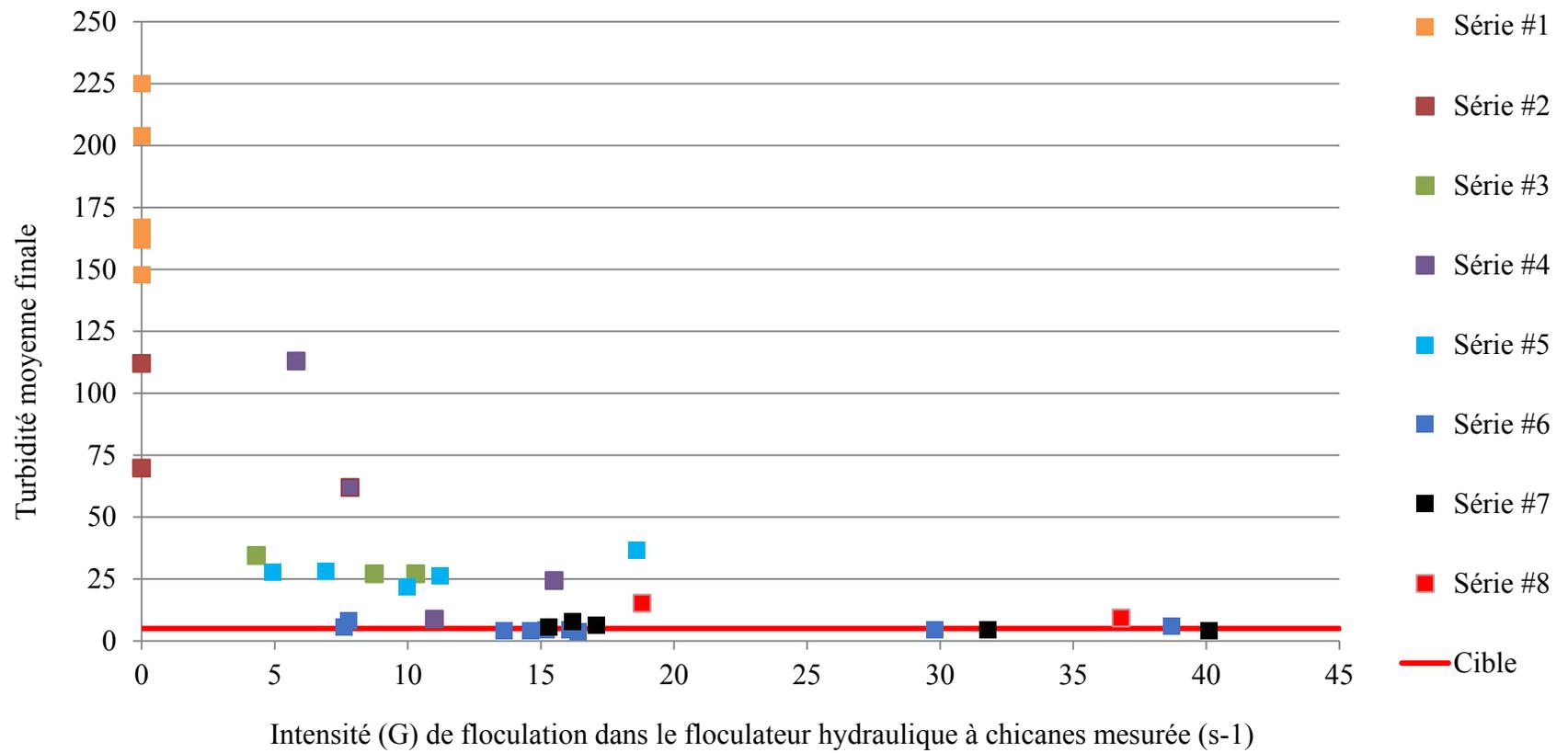


Figure 61: Effet du gradient de vitesse (G) sur la diminution de la turbidité

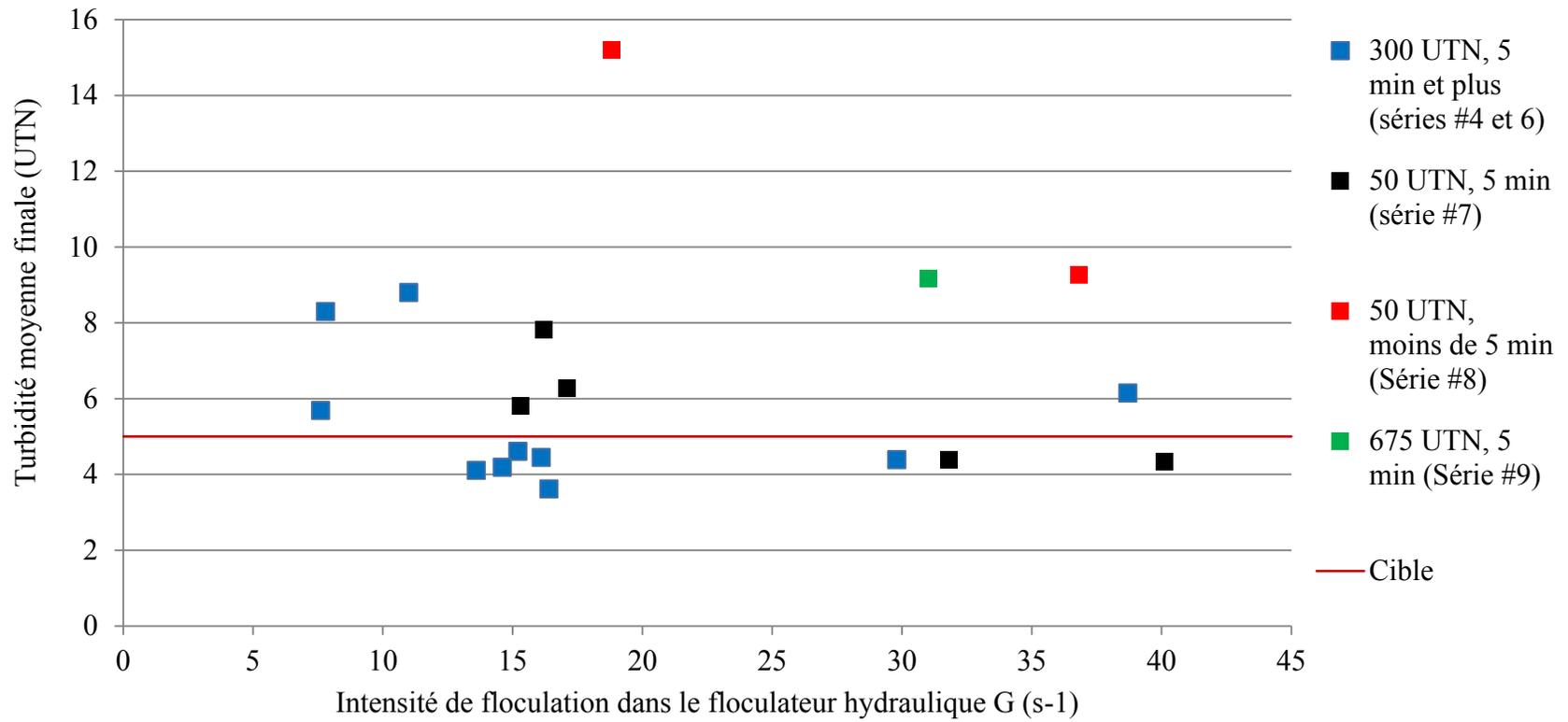


Figure 62: Effet du gradient de vitesse sur la diminution de turbidité (2)

La figure 63 permet de comparer les apparences d'eaux de différentes turbidités. Comme mentionné précédemment, le critère de turbidité de l'eau traitée à 5 UTN est en partie un critère esthétique c'est-à-dire que l'eau doit avoir une apparence acceptable pour les populations la consommant. Cette figure permet donc de voir que la différence entre une eau à 5 UTN et 10 UTN n'est visuellement pas très importante. Également, la turbidité joue un rôle dans l'efficacité de la désinfection (effectuée après la réduction de turbidité, section 2.2.4) qui est habituellement effectuée par une chloration de l'eau traitée en situation d'urgence. Selon des essais effectués par LeChevallier (1981), la demande en chlore augmente considérablement pour des eaux d'une turbidité de 10 UTN (demande en chlore de 1,2 mg/L) comparativement à des eaux d'une turbidité de 5 UTN (0,8 mg/L). Ces niveaux de demande en chlore représentent cependant des valeurs assez faibles (LeChevallier, 1981). Ce qui est important ici, c'est de diminuer la turbidité afin d'obtenir une désinfection efficace puisque celle-ci est difficile pour des eaux très turbides (ex: 50 UTN et plus) et facile pour des eaux à 5 UTN. Pour des eaux avoisinant les 10 UTN par exemple, une augmentation de la dose de chlore (comparativement à l'eau de 5 UTN) peut toujours permettre une désinfection efficace. C'est pourquoi la valeur de 5 UTN (*Sphere standard*) représente plus une ligne directrice qu'une règle rigide en situation d'urgence. L'important est d'améliorer la qualité de l'eau suffisamment pour arrêter la prolifération des maladies fécales-orales. Sachant également qu'une telle différence dans les demandes en chlore ne représente pas nécessairement de problème concernant la santé des consommateurs, cela démontre aussi que les résultats du graphique de la figure 62 sont assez satisfaisants, même dans le cas où le standard de 5 UTN n'est pas tout à fait atteint. Par exemple, pour un système ayant un gradient de vitesse avoisinant les 15 s^{-1} , la différence entre la performance pour une eau brute à 300 ou 50 UTN est très faible considérant les objectifs de traitement dans le contexte des situations d'urgence et la performance du système choisi pour une eau à turbidité très élevée (675 UTN) est acceptable.

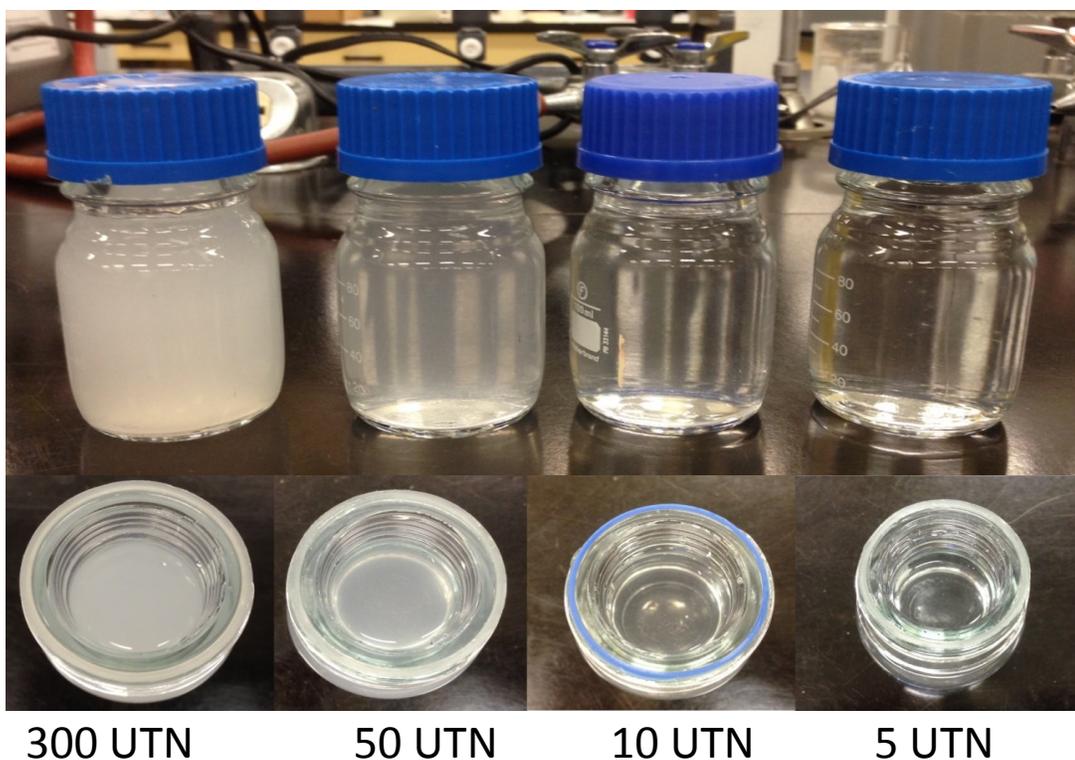


Figure 63: Comparaison visuelle d'eaux de différentes turbidités

5.2.6. pH, alcalinité, alun et température

Tous les résultats des mesures de pH, d'alcalinité, des doses d'alun et de la température des eaux durant les essais sont présentés en annexe (section 12). La figure 64 présente les mesures de pH des eaux brutes et des eaux traitées au début des essais (15 minutes après le début des prises de mesures de turbidité) et à la fin des essais (15 minutes avant l'arrêt des prises de mesures) pour les cas où toutes ces valeurs ont été mesurées.

Pour les essais des séries 1 à 5, le pH moyen de l'eau brute durant un essai a varié entre 7,8 et 7,9 (tableau 8) et le pH de l'eau traitée a varié entre 6,1 et 6,6 (section 12). Tel qu'expliqué à la section 2.3.1, ce pH de coagulation se trouve dans la plage de coagulation optimal pour l'alun (entre 5,5 et 7,7) et devrait, pour un dosage entre 50 et 200 mg/L d'alun ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), donner lieu au mécanisme de précipitation et emprisonnement (figure 8). Pour les essais de la sixième série, le pH moyen de l'eau brute a varié de manière plus prononcée entre 7,5 et 8,4 alors que celui de l'eau traitée a été légèrement inférieur à celui des séries 1 à 5 avec des valeurs variant de 5,8 à 6,4. Ceci est assez surprenant compte tenu de l'alcalinité plus élevée pour les essais de cette série (tableau 8: 61 à 90 mg/L comparativement à 97 à 111 mg/L pour la sixième série). En effet, il semble bien que l'augmentation de la concentration en alcalinité a eu pour effet d'augmenter le pH de l'eau brute

mais devrait pourtant montrer une diminution moins importante du pH du à la consommation d'alun par cette alcalinité. Finalement, pour les séries d'essais 7 à 9, le pH moyen de l'eau brute au long d'un essai a varié entre 7,3 et 7,5 et celui de l'eau traitée entre 5,6 et 6,3. Il est donc possible de noter une fois de plus une diminution du pH de l'eau traitée qui semble cette fois-ci plus logique à cause de l'alcalinité généralement plus faible durant ces essais (50 à 58 mg/L sauf pour l'essai 43).

De manière générale, ces gammes de pH ne semble pas être un obstacle à la coagulation puisqu'ils se situent à l'intérieur de la plage optimale. Toujours selon la figure 8, il est cependant possible d'observer que le mécanisme de coagulation n'a pas nécessairement toujours été le même (emprisonnement et neutralisation de charge).

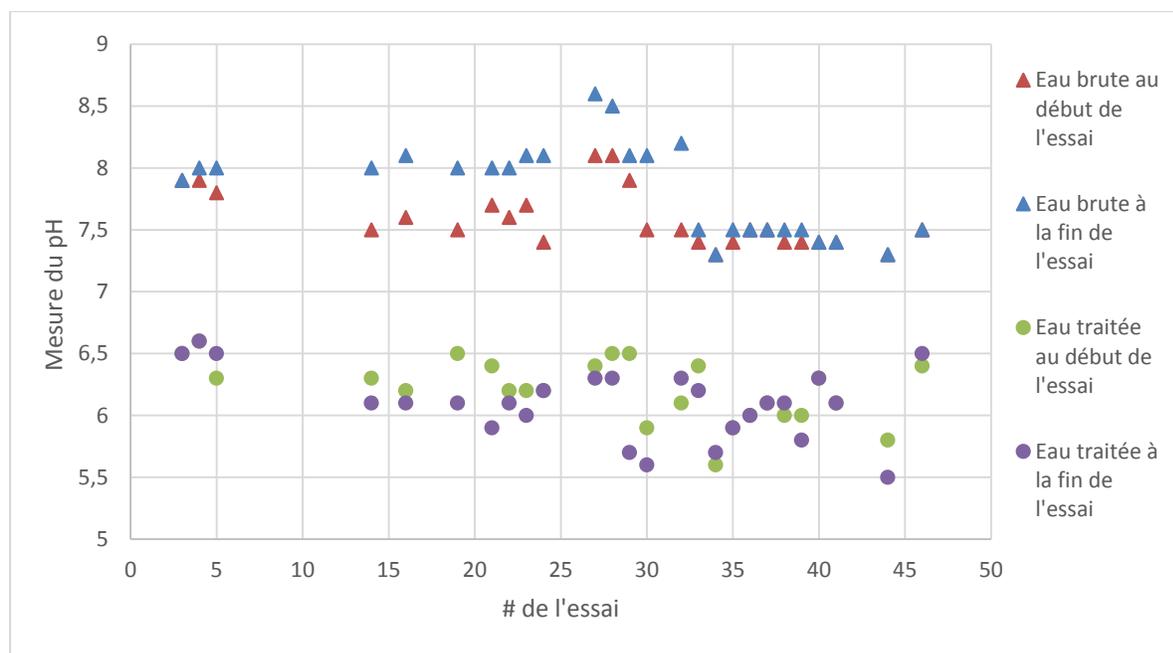


Figure 64: Mesures de pH des essais de traitement d'eau

La figure 65 présente les mesures d'alcalinité des mêmes échantillons, encore une fois pour les cas où toutes ces valeurs ont été mesurées.

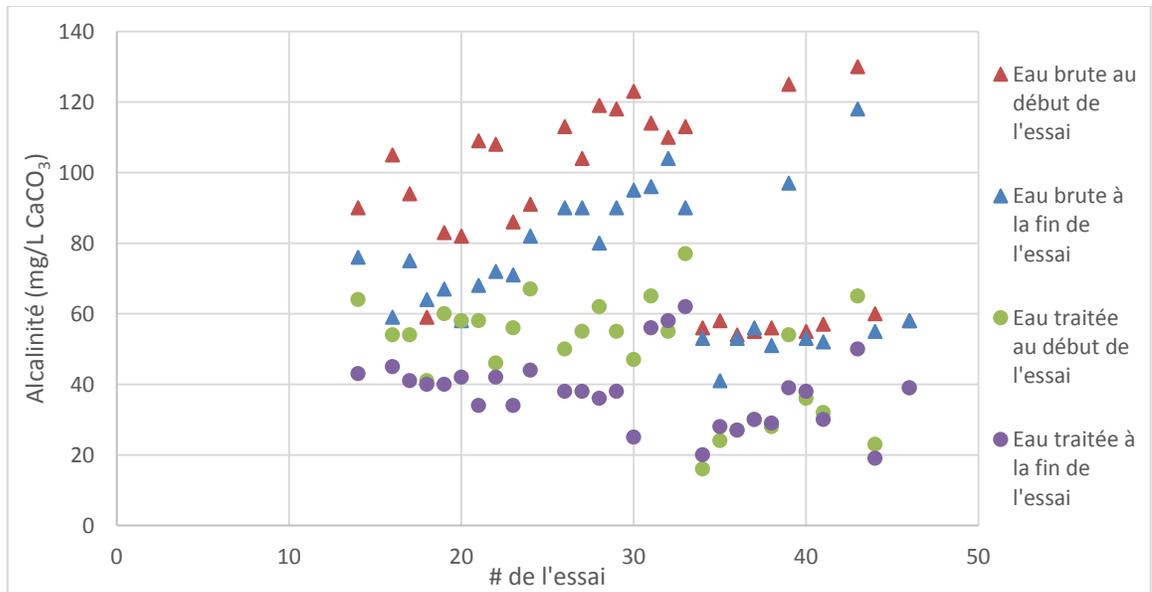


Figure 65: Mesures d'alcalinité des essais de traitement d'eau

En observant la figure 65, il est possible de remarquer que l'alcalinité de l'eau brute a tendance à diminuer au long des essais ce qui montre un certain changement dans la qualité de l'eau et pourrait expliquer la diminution de la performance du système observée au long des essais (comme illustré sur la figure 60 et expliqué à la section 5.2.3.1). Cette diminution peut être expliquée par la forte aération de la solution mère de kaolin et de bicarbonate de soude ce qui entraîne une perte importante de $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ (présent en grande quantité dans la solution mère à cause de l'ajout de bicarbonate de soude). Ceci entraîne également une diminution de la concentration en acide carbonique H_2CO_3 pour respecter les équations d'équilibre comme le montre la figure 66. Ceci implique donc une diminution de l'alcalinité de l'eau et, en changeant la qualité de l'eau, peut avoir pour conséquence que la dose d'alun déterminée au début de l'essai n'est plus tout à fait appropriée pour le traitement adéquat de l'eau. En effet, sachant que l'alcalinité joue un rôle important dans le dosage de l'alun en étant consommé par ce coagulant, un changement dans sa concentration peut bel et bien changer la quantité optimale requise d'alun pour la coagulation.

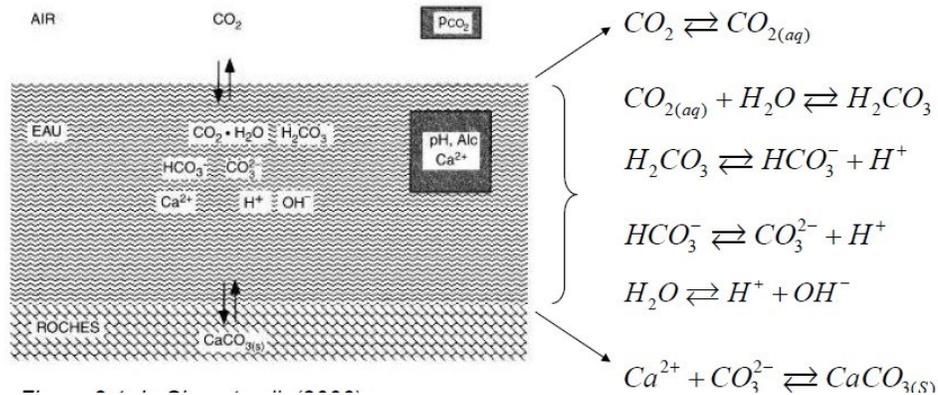


Figure 66: Système calco-carbonique (Sigg et al., 2006)

Comme attendu, l'ajout d'alun amène une baisse de pH et une consommation d'alcalinité. La figure 67 illustre la relation entre la dose d'alun et la consommation d'alcalinité aux essais pour lesquels ces données sont disponibles. Ainsi, pour 1 mg/L d'alun ajouté, environ 0,42 mg/L de $CaCO_3$ d'alcalinité est consommé. En comparaison, Crittendren (2012) stipule qu'un équivalent d'alun consomme un équivalent d'alcalinité. En termes de $CaCO_3$, cela représente une consommation de 0,5 mg/L de $CaCO_3$ par mg/L d'alun ajouté.

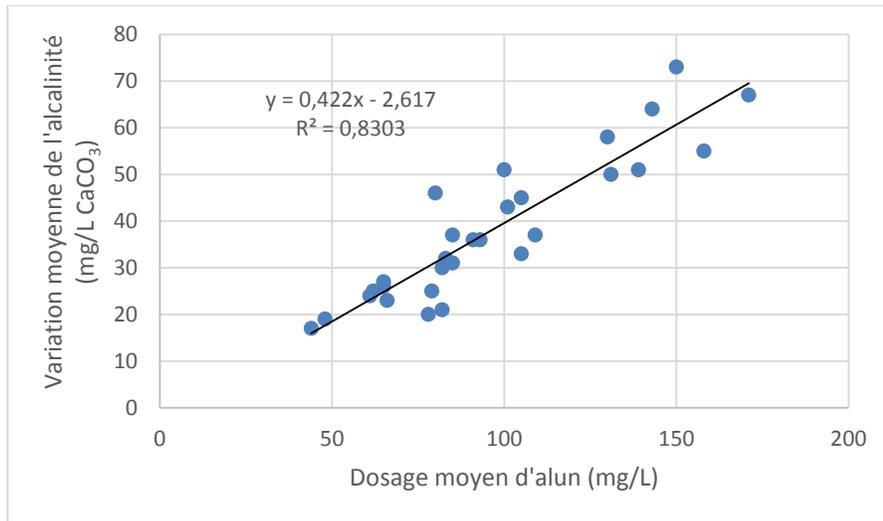


Figure 67: Relation entre la dose d'alun et la consommation d'alcalinité

Finalement, la figure 68 présente la température de l'eau traitée pour les essais où la température a été mesurée. De manière générale, la température de l'eau utilisée est semblable d'un essai à l'autre excepté au moment du remplissage du réservoir durant le mois de janvier tel que discuté aux sections 5.2.2.4 et 5.2.2.5.

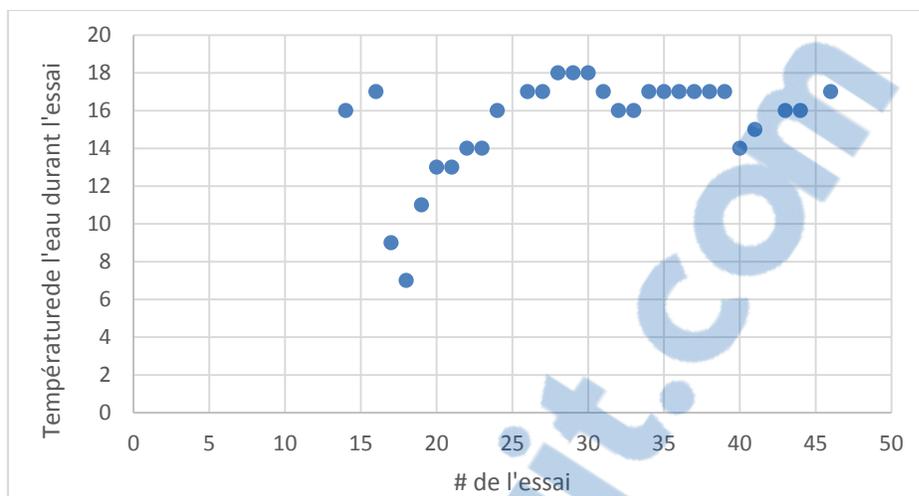


Figure 68: Températures de l'eau lors des essais de traitement d'eau

5.3. Phase IV

5.3.1. Inde 2014

Pour la quatrième phase du projet, la construction du système final a commencée à Pune en Inde à l'été 2014. Plusieurs raisons motivent le choix de retourner en Inde pour la suite du projet. Tout d'abord, ce projet est effectué en partenariat avec l'ONG: *Registered Engineers for Disaster Relief* (RedR India) qui est un organisme indien faisant de la formation sur l'intervention humanitaire et qui a déjà plusieurs contacts avec d'éventuels organismes intéressés par le système de décantation lamellaire. Également, l'entreprise indienne *Aquaplus*, qui est déjà un fabricant reconnu de systèmes de traitement pour les situations d'urgence a participé depuis le début du projet à fournir des espaces de travail et de la main d'œuvre lors des deux premières phases. Finalement, la construction d'un tel système est beaucoup moins dispendieuse en Inde qu'au Canada. C'est donc en mai 2014 que cette phase IV a débuté à Pune dans le but d'obtenir un produit final prêt à être déployé. Pour ce faire, des recherches ont été effectuées dans le but de trouver le meilleur matériel pour le bassin de floculation et décantation, trouver le meilleur matériel disponible pour les plaques de décantation, trouver un manufacturier capable d'en effectuer la construction et acheter tous les éléments permettant de compléter le *kit* du système de décantation lamellaire.

5.3.2. Conception

Pour la conception finale du système, l'ajout du nouvel élément de floculation au bassin de décantation a eu pour effet de forcer la révision de la conception de ce bassin. Comme mentionné précédemment, l'idée est d'inclure le floculateur à l'intérieur du même bassin que le décanteur comme le montre les images de la figure 69 à la figure 73. À des fins pratiques, ceci permet d'éviter

d'ajouter un élément (floculateur) au système devant être attaché au décanteur ce qui nécessite du temps et qui rendrait plus complexe l'installation du système en cas d'urgence. En construisant le floculateur au bas du décanteur, un seul bassin transportable est obtenu, la conduite d'amenée d'eau est donc connectée au floculateur au bas du bassin (figure 72).

En entrant dans le floculateur, l'eau passe tout d'abord dans le corridor central du floculateur et se sépare en deux débits théoriquement égaux ($3 \text{ m}^3/\text{h}$) et passe à travers les deux autres corridors d'écoulement comme le montre la figure 71. Les espacements ont été calculés à l'aide de l'équation 3 afin d'obtenir les mêmes gradients de vitesse que lors des essais de la phase III (essais #32 et 35, $G: 50, 18, 9 \text{ s}^{-1}$) avec une hauteur de floculateur de 410 millimètres et une largeur des couloirs d'écoulement de 300 millimètres. Au bout de ces deux derniers corridors, l'eau est libre de monter vers le décanteur comme le montre la figure 70.

Pour la partie du décanteur, le même nombre de plaques que sur les précédents prototypes et modèle pilote est utilisé soit de 36 et ces plaques sont de la même longueur, soit de 750 millimètres de long. Cependant, pour obtenir la largeur nécessaire dans les corridors d'écoulement du floculateur, la largeur du bassin est augmentée à 950 millimètre (800 millimètres sur le dernier prototype) ce qui devrait représenter un gain au niveau de la performance de traitement à cause de l'augmentation de la surface de décantation due à l'augmentation de la largeur des plaques (la figure 72 montre la zone de décantation sans les plaques). De plus, la hauteur de la zone d'accumulation des boues située au bas du décanteur et au-dessus du floculateur a dû être rétrécie à 200 millimètres de haut, comparativement à 450 millimètres sur le modèle utilisé en laboratoire et 300 millimètres sur le prototype de la phase II. Cet ajustement a été fait à des fins pratiques pour garder la hauteur du décanteur à un niveau acceptable (1,5 mètre). Le plancher de cette zone d'accumulation a été conçu avec un angle de 1° afin d'amener les boues vers la valve de vidange du décanteur. Les dimensions internes finales du bassin sont donc de 0,95 mètres de large, 1,45 mètre de haut et 1,7 mètre de long.

Les images de la figure 69 à la figure 73 présentent les plans de construction et le tableau 18 présente certains éléments de cette conception en plus de certains éléments du premier prototype (phase I) en comparaison avec les critères de conception tirés du manuel de Crittenden (2012) et de l'article de Haarhoff (1998).

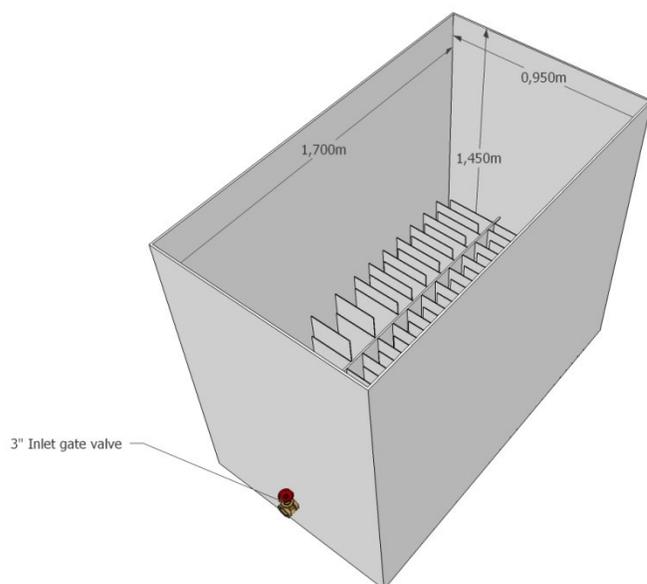


Figure 69: Conception finale: Ajout des déflecteurs du flocculateur dans le bassin

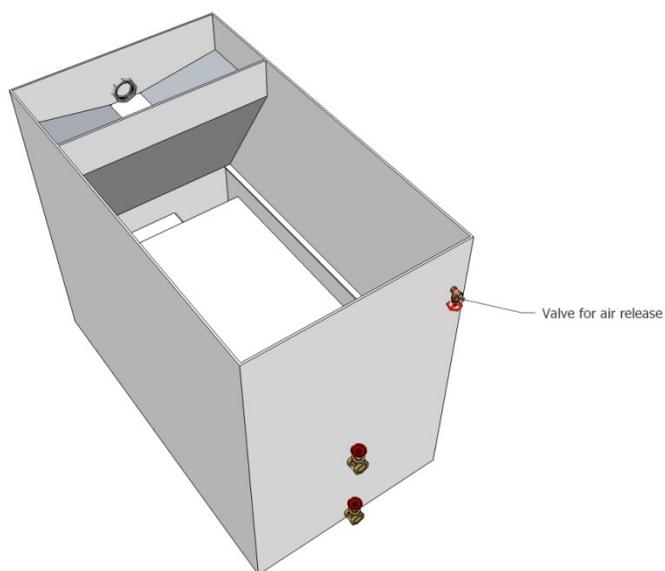


Figure 70: Conception finale: vue d'ensemble une fois le flocculateur fermé



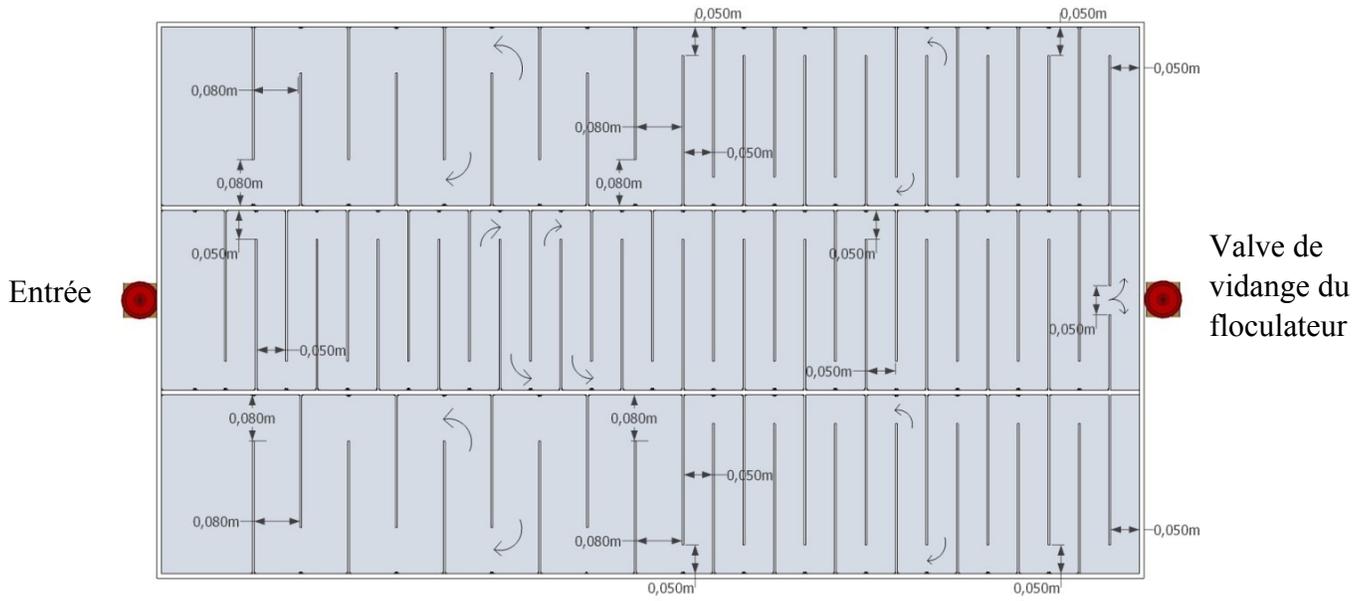


Figure 71: Conception finale: flocculateur en plan

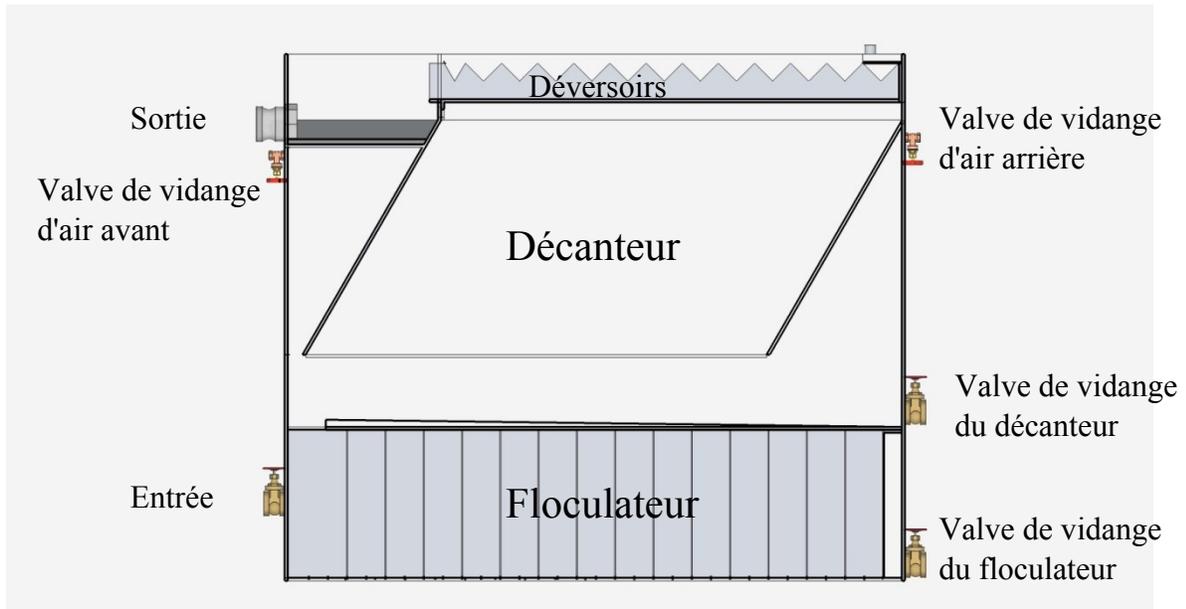


Figure 72: Conception finale, vue de côté

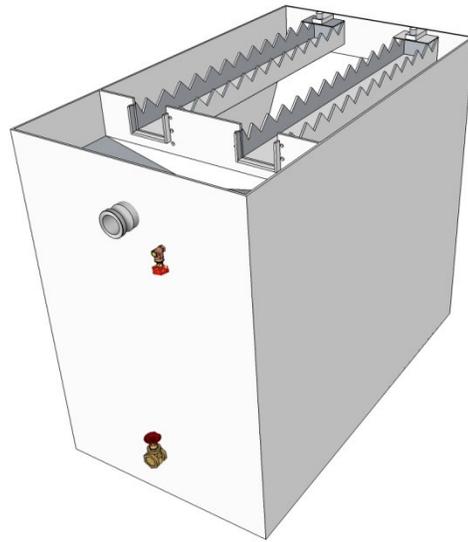


Figure 73: Conception finale: Vue d'ensemble du produit final

Tableau 18: Éléments de conception du bassin de floculation et décantation

Éléments de conception du décanteur (pour une eau à 18°C)	Critères de conception (Crittenden)	Conception du décanteur lamellaire			Conception initiale du décanteur (phase I)
Vitesse critique de sédimentation(m/h, équation 7)	2-4,5 (petits floccs d'alun)	0,45			0,53
Taux de débordement (avant l'ajout des plaques) (m/h)	2,5-6,5	3,7			3,8
Diamètre hydraulique entre les plaques (mm)	50-80	51			48
Vitesse d'écoulement de l'eau entre les plaques (m/min)	Maximum : 0,15	0,097			0,137
Temps de séjour moyen dans le décanteur (min)	15-25	17			13
Angle des plaques (°)	60	60			55
Élément de conception du flocculateur (pour une eau à 18°C)	Critère de conception (Haarhoff : flocculateur hydraulique)	Conception du flocculateur hydraulique à chicanes			Floculation en conduite 3 pouces d'une longueur de 90 mètres
Gradient de vitesse théorique (s ⁻¹)	20 - 70	26			Dépend de la configuration de la conduite au sol (singularités)
		51	18	8,9	

Ce tableau montre bien comment la nouvelle conception du système respecte les critères de conception donnés et l'amélioration par rapport au premier prototype construit lors de la première phase du projet.

5.3.3. Matériaux et manufacturier

À la suite de la conception finale, les matériaux de construction ont été choisis. Le matériel utilisé pour construire le bassin devait être le plus léger possible tout en étant assez résistant pour ne pas permettre de grandes déformations dues aux pressions d'eau sur les parois lorsque celui-ci est rempli. Pour cette raison, le plastique renforcé à la fibre de verre a été choisi (FRP: fiber reinforced plastic) tout en ajoutant des renforcements de métal autour du bassin. Pour ce qui est des lamelles, le plastique ondulé (corrugated plastic) montré à la figure 74 a été choisi principalement pour sa légèreté et sa facilité de manipulation. Ce matériel n'étant cependant pas très rigide, l'idée est de construire des modules de lamelles retenues les unes aux autres en utilisant une partie des feuilles de plastique transversalement comme illustré à la figure 75. Cet ajustement a pour conséquence d'obtenir des tubes de décantation rectangulaire au lieu de plaques simples.

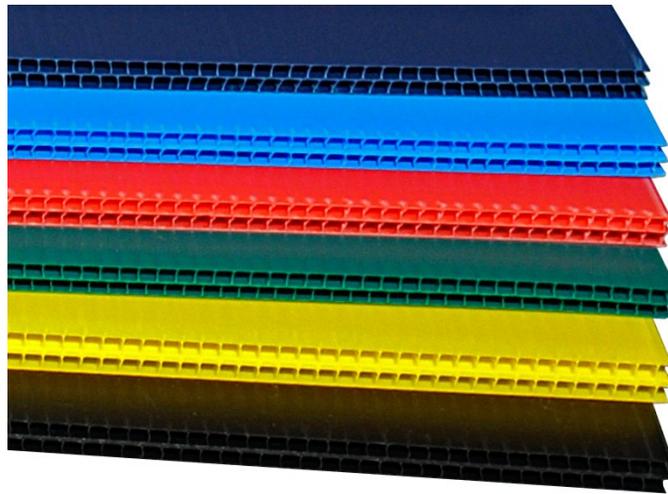


Figure 74: Plastique ondulé

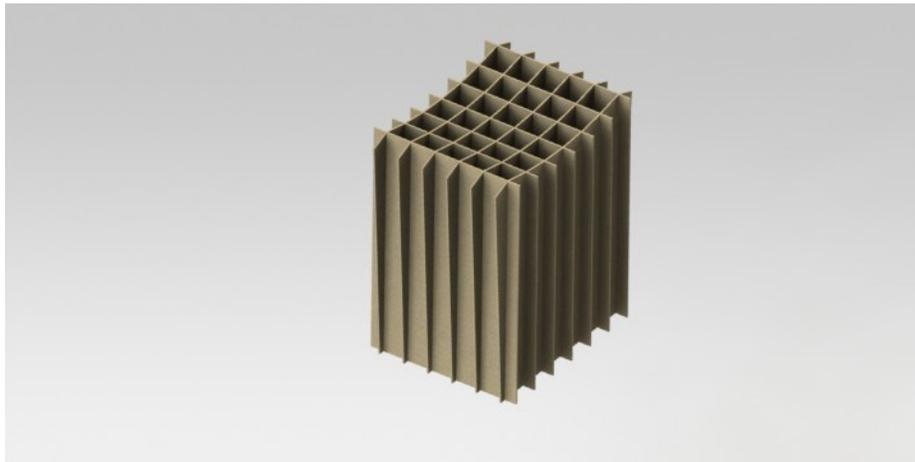


Figure 75: Modules de plaques

Le manufacturier choisi à Pune pour la construction du bassin est K.S. Industries, une compagnie spécialisée dans la fabrication de produit en plastique renforcé à la fibre de verre. Les figures suivantes montrent l'avancement de la construction. La figure 76 montre des renforcements de métal qui ont été ajoutés autour du bassin afin d'ajouter de la résistance et ainsi prévenir la déformation du bassin et la figure 77 montre les plaques de déflexion pour le flocculateur. Au final, ce dernier devrait avoir une masse variant de 350 à 400 kilogrammes. À titre comparatif, le précédent prototype de décanteur était fait d'acier et pesait environ 1000 kilogrammes.



Figure 76: Produit final: Le bassin

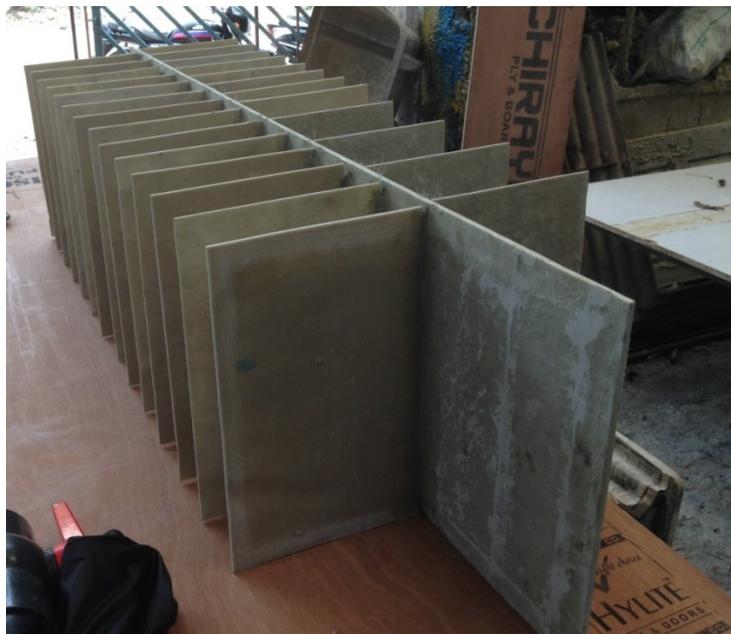


Figure 77: Produit final: Structure du flocculateur (hors du bassin)



Figure 78: Produit final: Le flocculateur dans le bassin

5.3.4. Suite et fin du projet

La construction du bassin n'ayant pas été complétée à la fin de la phase IV (août 2014), celle-ci a dû être finalisée dans une cinquième phase qui a eu lieu à partir du mois de février 2015. Outre la finalisation de la construction, les tâches restantes comprenaient l'achat des éléments restants pour compléter le *kit* de traitement d'eau, la rédaction du manuel d'instruction pour l'utilisation du système de décantation lamellaire ainsi qu'effectuer des essais avec le système final pour en vérifier les performances. La figure 79 montre le schéma du système de décantation lamellaire avec toutes les composantes. Tout d'abord, une passoire est utilisée au bout de la conduite aspirant l'eau de la source afin d'empêcher les plus gros débris d'entrer dans le système. Le dosage d'alun se fait ensuite à l'entrée de la pompe à l'aide d'un tuyau flexible de plastique connecté à un réservoir de solution d'alun (100 L). À la sortie de la pompe, un rotamètre est installé sur la conduite amenant l'eau vers le bassin de décantation et floculation et une valve à soupape permet de régler le débit. Finalement, l'eau traitée est récoltée dans un réservoir dans lequel la chloration en batch est effectuée. Une autre conduite permet de vider le décanteur des boues accumulées pendant le traitement.

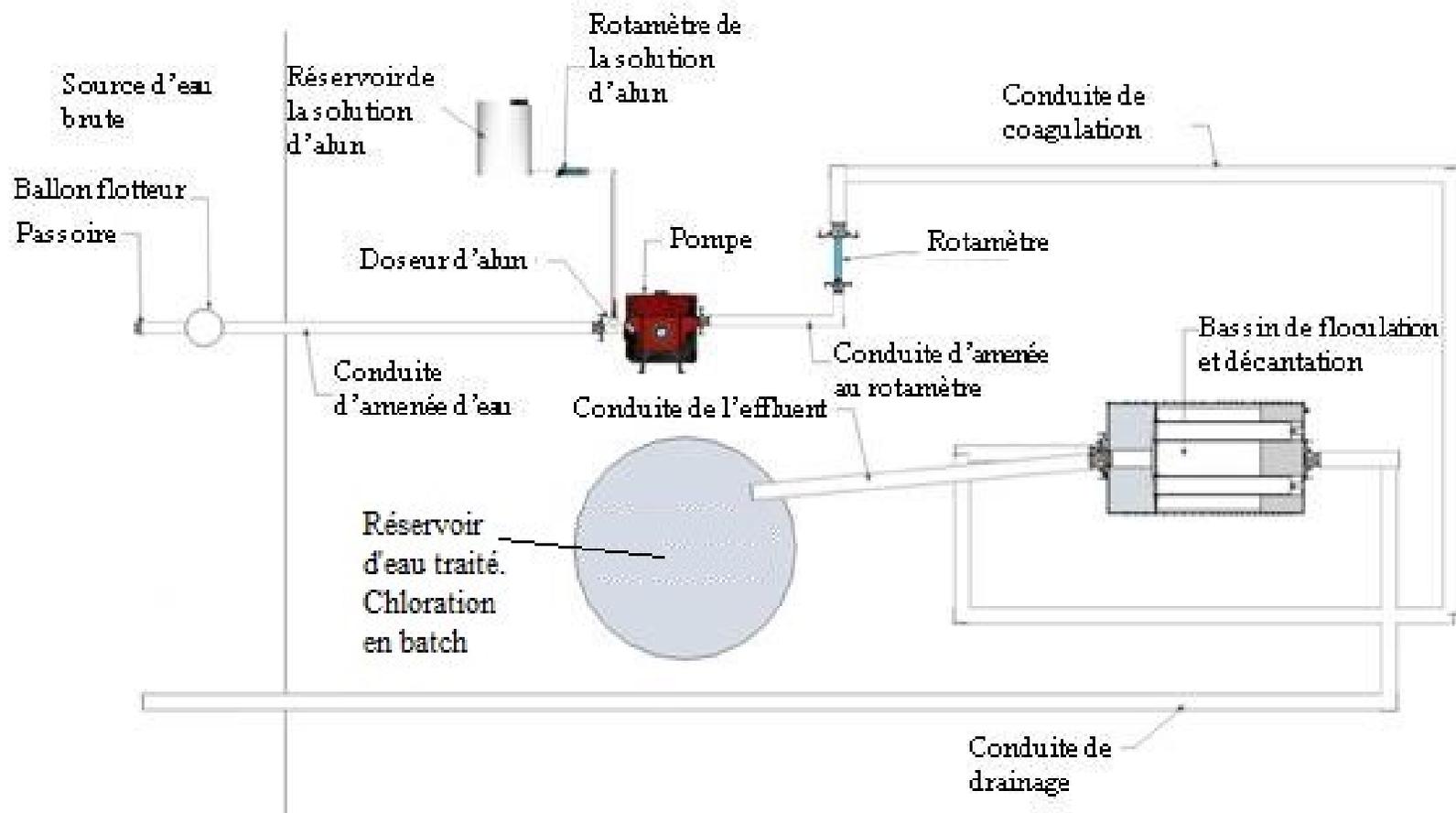


Figure 79: Schéma du système de décantation lamellaire

Finalement, il est important de vérifier si le nouveau système inclut les éléments à considérer pour un système de traitement transportable pour les situations d'urgence dans les pays en voie de développement (section 2.2.6), le tableau 19 reprend chacun des éléments en les comparant avec la nouvelle conception.

Tableau 19: Comparaison des éléments à respecter avec la version finale du système

Éléments	Nouvelle conception
Traitement basé sur la clarification continue	Décantation lamellaire
Système relativement compact et transportable à l'aide d'un camion pick-up (1,22m x 1,68m)	Dimensions finales incluant le renforcement de métal, les poignées et les valves : 1,10m x 1,9m (peut dépasser légèrement à l'arrière)
Système pouvant produire jusqu'à 6 m ³ /h	Atteint, tel que démontré dans la phase III
Coagulation faite à l'aide d'alun	Oui
Respecte les standards du «Sphere Project»	Standard de 5 UTN atteint pour des eaux brutes entre 50 et 300 UTN atteint tel que démontré dans la phase III
Facile et rapide à déployer	Système démontable en pièce. Le bassin de floculation et décantation a une masse finale d'environ 400 kg et peut être transporté grâce aux poignées ajoutées sur l'extérieur du bassin à l'aide d'une dizaine de personnes.
Faible coût (~1000\$/m ³ /h)	À finaliser selon l'achat du reste de l'équipement

6. Conclusion et recommandations

6.1. Conclusion

L'objectif de cette maîtrise était d'optimiser un système de décantation lamellaire transportable pour les situations d'urgence humanitaire, notamment au niveau de la floculation. Les objectifs spécifiques (section 3.4) incluaient la conception d'un décanteur pilote basé sur le précédent prototype pour en vérifier le potentiel et pour y apporter quelques ajustements, la construction du décanteur pilote en plastique à une échelle d'un tiers par rapport au système prototype et l'installation d'un système de production d'eau brute pour tester la capacité du décanteur à traiter des eaux en abaissant leur turbidité. Afin d'améliorer la performance du système, la construction d'un flocculateur hydraulique permettant de tester différents niveaux de brassage avant la décantation pour en mesurer l'influence sur le traitement devait être complétée et la conception du système de décantation devait être effectuée selon les résultats des essais. Également, des jar tests comparatifs afin d'évaluer l'influence de la technique utilisée sur le terrain dans les situations d'urgence sur le choix de la dose de coagulant ont été réalisés (annexe A, section 8).

Un système de décantation lamellaire pilote a donc été mis sur pied à l'Université Laval. Le premier élément de ce système ayant été construit a été un modèle du décanteur prototype donnant la possibilité d'effectuer des essais au tiers du débit tout en permettant de transposer les résultats obtenus sur le prototype à pleine échelle. Des essais au traceur ont été effectués sur ce modèle afin d'étudier l'écoulement à travers celui-ci et ont révélé que l'ajout d'un déversoir longitudinal et d'une plaque de déflexion trouée au-dessus des plaques de décantation améliore la répartition de l'écoulement à travers ces plaques.

Un système d'alimentation en eau brute a été installé en utilisant une suspension mère de Kaolin dans un réservoir isolé. Cette suspension était injectée à l'eau à traiter en conduite à l'aide d'une pompe péristaltique, ce qui permettait d'obtenir la turbidité initiale voulue. Ensuite, afin d'améliorer la performance du système, un flocculateur hydraulique à chicanes a été construit et son influence sur la qualité du traitement a été mesurée en effectuant des séries d'essais de traitement d'eau. En faisant varier le temps de rétention dans le flocculateur et la distance entre les plaques de déflexion, une configuration optimale permettant de rehausser les performances du décanteur afin d'atteindre les standards demandés en situation d'urgence (*Sphere Project*) pour des eaux brutes dont la turbidité varie entre 50 et 300 UTN a été trouvée. Cette configuration comprend un gradient de vitesse moyen théorique de 26 s^{-1} évoluant en trois étapes de temps relativement égal de 50, 18 et 9 s^{-1} ainsi qu'un temps de rétention total de 5 minutes et demi.

Principalement à cause d'un manque de temps, certains éléments ayant initialement été identifiés comme faisant parti de l'étude du système de décantation lamellaire ont dû être mis de côté. Certains d'entre eux sont issus des recommandations faites à la suite de la deuxième phase du projet (Boulay, 2013) et d'autres ont été identifiés en cours de travail lors du projet de maîtrise. Principalement, les tests d'accumulation dans la zone de boues du bassin n'ont pas été faits. Le temps de traitement nécessaire au remplissage de la zone d'accumulation des boues est donc toujours inconnu. Aussi, la deuxième entrée au bas du bassin n'a jamais été utilisée sur le modèle (phase III, section 4.1.4) et, compte tenu que l'alimentation se fait maintenant par le bas du décanteur (sortie du flocculateur), il aurait été intéressant d'effectuer des essais en utilisant cette deuxième entrée. Finalement, l'influence du pH n'a pas non plus été étudiée et il est possible que le procédé de traitement éprouve certains problèmes dans le cas où l'eau brute utilisée serait acide (pH inférieur à 6) ou très peu alcaline, ne permettant pas de limiter la baisse de pH causée par l'ajout du coagulant.

Par la suite, la conception finale du système de décantation lamellaire a été effectuée dans le but de construire la version finale du système. Cette construction a également débuté à Pune en Inde, où un manufacturier spécialisé en plastique renforcé à la fibre de verre a été trouvé et a été finalisée au début de l'année 2015. Ce nouveau design comprend la jonction du flocculateur et du décanteur à l'intérieur d'un même bassin. Ceci marquera donc la fin de la partie de recherche et développement et le début des essais terrain (déploiement) en situation d'urgence.

Bien que le projet en soit à cette étape, quelques questions restent en suspens. En effet, même si le produit final représente une adaptation du montage étudié pendant ce projet de maîtrise, certains ajustements ont dû être faits sur la conception finale dont l'influence n'a pas encore été étudiée jusqu'à maintenant. Comme mentionné précédemment, la question du contrôle du pH est importante et n'a jamais été étudiée et l'autonomie du système liée à l'accumulation des boues dans le système devrait être étudiée d'autant plus que la zone des boues ait été réduite dans la conception finale. Également, bien que la masse finale du bassin de floculation et décantation soit de 400 kg et assez aisément transportable avec dix personnes, il serait intéressant de trouver un moyen de réduire cette masse afin de faciliter ce transport ou diminuer le nombre de personnes nécessaires à son exécution.

En résumé :

- Un système de décantation lamellaire pilote a été construit à l'Université Laval afin de permettre d'effectuer des essais de traitement d'eau et améliorer la conception du prototype.
- Des essais au traceur ont révélé que l'ajout d'un déversoir longitudinal et d'une plaque de déflexion trouée améliorent l'écoulement à l'intérieur du décanteur.
- Le développement d'un flocculateur hydraulique à chicanes de type « autour de l'extrémité » avec un temps de rétention de 5 minutes et demi a permis d'améliorer la floculation du système et ainsi atteindre l'objectif de traitement en obtenant une eau traitée à 5 UTN ou moins pour des eaux brutes variant de 50 à 300 UTN.
- Le système de décantation dans sa version finale a été construit en plastique renforcé à la fibre de verre et inclut la jonction du décanteur et du flocculateur dans un même bassin.
- Le premier déploiement du système sera effectué en 2015.

6.2. Recommandations

Pour d'éventuelles améliorations, la hauteur libre entre le niveau de l'eau dans le bassin et le haut du bassin pourrait être étudiée afin d'optimiser la hauteur du bassin tout en considérant que, sur le terrain, le bassin peut ne pas tout à fait être à niveau ce qui occasionne une différente hauteur d'eau aux quatre coins du bassin. Des éléments pour mettre le bassin de traitement à niveau (ex: cales) pourraient être ajoutés. Sachant également que les rotamètres sont des outils relativement peu précis pour la mesure du débit et assez difficile à bien installer sur le terrain étant donné la nécessité d'utiliser un support pour celui-ci, un autre élément de mesure pourrait être considéré comme par exemple un débitmètre électrique à batteries. Finalement, les dimensions optimales des éléments du bassin de traitement devraient être étudiées afin de diminuer ces dimensions et alléger le bassin.

7. Bibliographie

AguaClara Pilot Plant Spring '08 Sub-Team, (2009). *Pilot Plant - Tapered Flocculation*. Récupéré le 30 novembre 2014 du site: <https://confluence.cornell.edu/display/AGUACLARA/Pilot+Plant+-+Flocculator+Research>.

Armée canadienne, (2007). *REVERSE OSMOSIS WATER PURIFICATION UNIT (ROWPU)*. Récupéré le 29 mars 2015 du site : [https://army.ca/wiki/index.php/REVERSE_OSMOSIS_WATER_PURIFICATION_UNIT_\(ROWPU\)](https://army.ca/wiki/index.php/REVERSE_OSMOSIS_WATER_PURIFICATION_UNIT_(ROWPU))

Bouchard, C. (2012). *Diapositives de cours: GEX-1000 Dispersion des polluants, A2012: Chapitre 8: Modélisation des réacteurs*, Université Laval, Département de génie civil et génie des eaux

Bouchard, C. (2012). *Diapositives de cours: GEX-2003 Production d'eau potable, A2012: Chapitre 2: Qualité Physicochimique des eaux*, Université Laval, Département de génie civil et génie des eaux

Bouchard, C. (2012). *Diapositives de cours: GEX-2003 Production d'eau potable, A2012: Chapitre 3: Qualité microbiologique des eaux*, Université Laval, Département de génie civil et génie des eaux

Bouchard, C. (2012). *Diapositives de cours: GEX-2003 Production d'eau potable, A2012: Chapitre 9: Coagulation et floculation*, Université Laval, Département de génie civil et génie des eaux

Boulay-Cote F. (2013). Development of a novel water treatment kit based on plate settler technologies for emergency response.

Bourgault C. & Pethe S. (2012). Development of a novel water treatment kit based on plate settler technology for emergency response.

Brown J., Cavill S., Cumming O. & Jeandron A. (2012). Water, sanitation and hygiene in emergencies: summary review and recommendations for further research. *Waterlines Vol. 31* Nos. 1&2.

Camp T.R. & Stein P.C. (1943). Velocity gradients and internal work in fluid motion. *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, 85. 219-237

Checkley M., & Checkley W. (2008). Drinking Water and Sanitation. *The Johns Hopkins University Baltimore, USA, International Encyclopedia of Public Health*. 234-244.

CHEM-SULT., INC. *About CHEM-SULT*. Récupéré le 29 mars 2015 du site: http://chemsult.com/?page_id=50

Clarke B.A., Crompton J.L. & Luff R. (2004). A physico-chemical water treatment system for relief agencies. *Proceedings of the ICE - Water Management, Volume 157, Issue 4*. 211-216.

Clarke B.A. & Steele A. (2009). Water treatment systems for relief agencies: The on-going search for the 'Silver Bullet'. *Desalination, Volume 248, Issues 1-3*. 64-71.

Clasen T., Parra G.G., Boisson S & Collin S (2005). Household-based ceramic water filters for the prevention of diarrhea: A randomized, controlled trial of a pilot program in Colombia. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene, Am. J. Trop. Med. Hyg, Volume 73, Issue 4.* 790-795.

Clasen T., Smith L., Albert J., Bastable A. & Fesselet J-F.(2006). The drinking water response to the Indian Ocean tsunami, including the role of household water treatment. *Disaster Prevention and Management. Volume 15, Issue 1.*190-201.

Cohen J.M.(1957). Improved Jar Test Procedure, *American Water Works Association Journal, Volume 49, No. 11.*1425-1431.

Connolly M.A., Gayer M., Ryan M., Salama P., Spiegel P. & Heymann.(2004). Communicable diseases in complex emergencies: impact and challenges, *World Health Organization, Lancet, Volume 364,* 1974-1983.

Crittenden C.J., Trussell R.R., Hand D.W., Howe K.J. & Tchobanoglous G.(2012). *MWH's Water treatment: Principles and Design, Third edition.* John Wiley and Sons, Inc.

Doocy S. & Burnham G.(2006). Point-of-use water treatment and diarrhoea reduction in the emergency context: an effectiveness trial in Liberia, *Tropical Medicine & International Health, Volume 11, Issue 10.* 1542-1552.

Dorea C.C. & Bourgault C., (2012).Towards a cost-effective humanitarian emergency water treatment system, 2012 *American Water Works Association Water Quality & Technology Conference,* Toronto, Canada.

Dorea C.C., Bertrand S. & Clarke B.A.(2006). Particle separation options for emergency water treatment, *Water Science & Technology, Volume 53, No. 7,*253-250.

Dorea C.C. & Clarke B.A. (2006).Performance of a water clarifier in Gonaives, Haiti, *Waterlines, Vol. 24, No.3,* 22-24.

Dorea C.C.(2007). Simple improvements for emergency batch water treatment, *Waterlines, Volume 26, No.1,* 17-19.

Dorea C.C., Luff R., Bastable A. & Clarke B.A.. (2008). Up-flow Clarifier for emergency water treatment, *Water and Environment Journal, Volume 23, Issue 4,*293-299.

Dorea C.C.(2009). Aluminium residuals in emergency water treatment: What you wanted to know, but never asked, *Waterlines, Volume 28,*161-173.

Dorea C.C.(2009). Coagulant-based emergency water treatment, *Desalination, Volume 248, Issues 1-3,*83-90

Dorea C.C. (2012). Le traitement des eaux en situation d'urgence humanitaire,*Liaison énergie-francophonie, Eau et Assainissement.* 65-68.

- Esrey S.A., Feachem R.G. & Hughes J.M., (1985). Interventions for the control of diarrhoeal diseases among young children: improving water supplies and excreta disposal facilities, *Bulletin of the World Health Organization*, Volume 63, Issue 4. 757-772.
- Fewtrell L., Kaufmann R.B., Kay D., Enanoria W., Haller L & Colford J.M. Jr (2005). Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis, *Lancet Infect Dis* 2005; 5. 42-52.
- Gijer W. (2008). *Systems Analysis for Water Technology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Haarhoff .J. (1998). Design of around-the-end hydraulic flocculators, *IWSA, J Water SRT, Aqua* 47, 142-152.
- Hazra A.(2012). Challenges in setting up a potable water supply system in a United Nations peacekeeping mission: The South Soudan experience, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* Volume 216, Issue 1,88-90.
- Hendricks D. (2010). *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical and Biological, Sedimentation*, CRC Press.
- House S. & Reed B. (2004). Emergency Water sources: Guidelines for Selection and Treatment, *WEDC, Loughborough University*.
- Houzelot, J.-L. (2013). Distribution des temps de séjour et efficacité des réacteurs chimiques, *Techniques de l'ingénieur, Université de Lorraine, École nationale supérieure des industries chimiques Nancy*. Ressources documentaires formation conseil.
- Jiang J-Q. & Wang H-Y. (2009). Comparative Coagulant Demand of Polyferric Chloride and Ferric Chloride for the Removal of Humic Acid, *Separation Science and Technology*, Volume 44, Issue 2,386-397.
- King, K., Pethe S. & Aquaplan (2010). WATER TREATMENT SYSTEM, *Operation and Maintenance Manual: P4000 CL*
- LeChevallier, M. W., Evans, T. M. & Seidler R. J., (1981). Effect of Turbidity on Chlorination Efficiency and Bacterial Persistence in Drinking Water, *Applied and Environmental Microbiology*, Volume 42, Issue 1, 159-167
- Lepage, S., (2012). *Développement d'outils d'aide à l'opération du système de coagulation-floculation-décantation de l'usine de traitement des eaux de ste-foy*, (mémoire de maîtrise). Université Laval, Canada.
- Loo S-L., Fane A.G., Krantz W.B. & Lim T-T.(2012). Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria, *Water research*, Volume 46, Issue 10, 3125-315.
- Luff R., 2004. Paying too much for purity? Development of more appropriate emergency water treatment methods, *Conference Paper, 30th WEDS International Conference, Vientiane, Lao PDR*.
- Luff R., Dorea C.C., 2012. Bulk water treatment unit performance: For the cameras or the community?, *Waterlines*, Volume 31, No. 1-2, 53-66.

Mara D. & Feachem R.(1999).Water- and Excreta-Related Diseases: Unitary Environmental Classification,*Journal of Environmental Engineering, Volume 125, Issue 4*, 334-339.

Mintz E.D., Reiff F.M. & Tauxe R.V.(1995).Safe Water Treatment and Storage in the Home.A Practical New Strategy to Prevent Waterborne Disease, *Journal of the American Medical Association, Volume 273, No. 12*, 948-953.

Nothomb C. (1995). Portable water treatment units for emergency situations. *Water, Engineering and Development Centre (WEDC)*. MSc thesis, Loughborough University, Loughborough, UK.

O'Keefe P. & Rose J., (2008). Relief Operations, *International Encyclopedia of Public Health*,506-513.

Oxfam Humanitarian Department (2001). *Oxfam Guidelines for Water Treatment in Emergencies*.

Paul Z., (2011). Optimisation of Water Treatment in Humanitarian Emergencies, (Dissertation) University of Glasgow, school of engineering, Scotland.

Pisarenko V.F. & Rodkin M.V. (2006). Natural disasters: Statistics and forecasts, *Herald of the Russian Academy of Sciences, Volume 76, Issue 6*,542-548.

Robert, J.-L. (2010). Manuel de cours : *Systèmes hydrauliques version 1.4.1*

SAS Americas, *The Design and Analysis of D-optimal Split-Plot Designs Using JMP Version 6 Software*; SAS Institute Inc. 2009. *Base SAS 9,2 Procedures Guide*. Cary, NC : SAS Institute Inc.

Sigg L., Behra P. & Stumm W. (2006).*Chimie des milieux aquatiques: chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement*, Sciences Sup, Dunod.

Smith M. & Reed R.(1991).Water and sanitation for disasters, *Tropical Doctor, 21 (suppl. 1)*,30-37.

Sobsey M.D., Stauber C.E., Casanova L.M., Brown J.M. & Elliott M.A. (2008). Point of use household drinking water filtration: A practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world, *Environmental Science and Technology, Volume 42, Issue 12*,4261-4267.

Sommer B., Marino A., Solarte Y., Salas M.L., Dierolf C., Valiente C., Mora D., Rechsteiner R., Stter P., Wirojanagud W., Ajarmeh H., Al-Hassan A. & Wegelin M. (1997). SODIS - an emergency water treatment process, *J Water SRT -Aqua 46, No. 3*,127-137.

Steele A. & Clarke B.(2008).Problems of treatment process selection for relief agency water supplies in an emergency, *IWA, Journal of Water and Health, 06, 4*, 483-489.

The Sphere Project.(2011). *The Sphere project handbook*.

Waring S.C. & Brown B.J.(2005). The Threat of Communicable Diseases Following Natural Disasters: Apublic Health Response, *Disaster Management & Response, Volume 3, Issue 2*, 41-47.

Welle K. & Walnycki A.(2012).Water supply and Sanitation, *International Encyclopedia of Housing and Home*, 255-260.

Williams, J.(2011). Evaluation and review of humanitarian water treatment kit,(Dissertation)
University of Glasgow, school of engineering, Scotland.

Rapport-Gratuit.com

ANNEXES

8. Annexe A: Essais de Jar Tests

8.1. Introduction

La coagulation est une réaction chimique qui dépend de son dosage pour être efficace et ce dosage est habituellement évalué à l'aide du jar test pour simuler les conditions présentes dans la partie de la chaîne de traitement requérant l'utilisation du coagulant. En laboratoire, ce test est effectué à l'aide d'une rampe alimentée électriquement qui permet de programmer les différentes étapes du jar test (durées et vitesses des mélanges rapides et lent et la durée de la décantation). Cette rampe assure donc l'uniformité du test d'un béccher à l'autre et d'un essai à l'autre en plus de simuler des conditions semblables à celles retrouvées pendant le traitement. La mesure de turbidité finale est ensuite effectuée à l'aide d'un turbidimètre pour chaque béccher. La figure 80 tirée de Crittenden, 2012 montre une telle rampe de jar test ainsi que les bécchers de verre utilisés.



Figure 80: Rampe de jar test en laboratoire

Lors de situations d'urgence dans les pays en voie de développement, certains procédés de traitement requièrent également l'utilisation d'un coagulant et le jar test est aussi utilisé pour évaluer la dose optimale mais les ressources disponibles pour l'effectuer sont limitées. Des modifications doivent donc être apportées au test. Les tests sont effectués à l'aide de matériel retrouvé localement tels que des fourchettes ou cuillères pour le brassage, des seringues pour l'ajout du coagulant et des pots de plastique. Les brassages rapides et lents se font donc à la main par un opérateur unique effectuant les brassages un ou deux bécchers à la fois ou par plusieurs opérateurs en même temps. Les temps de brassage sont habituellement très courts comparativement aux jar tests en laboratoire puisque les étapes du test doivent être effectuées à répétition et qu'il est surtout

important d'être cohérent d'un bécber à l'autre et d'un test à l'autre. Finalement, à la suite de la décantation, la dose optimale de coagulant est déterminée de façon visuelle puisqu'un turbidimètre n'est habituellement pas disponible non plus.

Il est donc très difficile dans ce contexte de reproduire les conditions de traitement du système utilisé dans le jar test. C'est pourquoi la dose choisie est plutôt considéré comme un estimé de la dose optimale réelle (Dorea, 2009). Il existe donc un écart potentiel entre la dose optimale réelle de coagulant pour traiter une eau et l'estimation de la dose optimale trouvée à l'aide du jar test terrain. Cet écart a été étudié en effectuant des jar tests suivant la technique utilisée en laboratoire et en comparant la dose optimale obtenue avec des jar test suivant la technique utilisée sur le terrain pour une eau ayant sensiblement les mêmes caractéristiques.

8.2. Méthodologie

La technique laboratoire a été définie comme suit : 6 bécbers de verre d'un litre dans lesquels différentes doses d'alun étaient ajoutées étaient remplis de l'eau brute synthétisée et brassées à l'aide de têtes rotatives connectées à une console programmable «floculator 2000». Le brassage rapide était fixé à 200 rotations par minute (G de $275s^{-1}$) pendant une minute, le brassage lent à 20 rotations par minutes (G de $9s^{-1}$) et le temps de décantation a été fixé à 15 minutes. Le calcul des gradients de vitesse a été fait selon l'équation 17 et l'équation 18 tirées de Crittenden, 2012 :

Équation 17: Calcul du gradient de vitesse dans un bécber de jar test (1) (Crittenden, 2012)

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \Delta V}}$$

Équation 18: Calcul du gradient de vitesse dans un bécber de jar test (2) (Crittenden, 2012)

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$$

où G correspond au gradient de vitesse (s^{-1}), μ est la viscosité dynamique de l'eau, V est le volume d'eau dans lequel le brassage est effectué, N_p est une constante de puissance (correspond à la configuration des pales), P est la puissance dissipée pendant le mélange (W), D est le diamètre des pales (m), ρ est la masse volumique de l'eau (mg/m^3) et N est la vitesse de rotation des pales (rev/min).

À la fin du temps de décantation, un échantillon de 60 millilitres était recueilli à l'aide d'une seringue de plastique à environ 3 centimètres de distance de la surface de l'eau. La mesure de turbidité finale était alors prise sur ces échantillons à l'aide d'un turbidimètre et la dose optimale de

coagulant était déterminée selon la turbidité finale la plus faible. **Ces méthodes de brassage et d'évaluation de la dose optimale correspondent donc à la technique laboratoire.**

La technique terrain a été définie comme suit : 6 béciers de plastique d'un litre dans lesquels différentes doses d'alun étaient ajoutées étaient remplis de l'eau brute synthétisée et brassées à la main à l'aide de cuillères de métal. Le brassage était effectué par une ou plusieurs personnes à un rythme d'environ 120 rotations par minute pendant 2 minutes et le temps de décantation a été fixé à 12 minutes. Au bout de ce temps, le ou les observateur(s) devait (aient) déterminer quel bécier semblait représenter la plus grande diminution de turbidité et la dose de coagulant correspondante au bécier choisi était considérée comme la dose optimale évaluée. Si, au bout des 12 minutes, il ne semblait pas évident de choisir la dose optimale, un peu de temps supplémentaire pouvait être ajouté afin d'avoir une meilleure idée de la dose optimale. **Ces méthodes de brassage et d'évaluation de la dose optimale correspondent donc à la technique terrain.**

Afin d'augmenter le nombre d'éléments de comparaison entre les deux techniques, les méthodes d'évaluation de la dose optimale ont été effectuées de manière croisée, c'est-à-dire qu'avant de mesurer la turbidité finale des échantillons des jar tests laboratoire à l'aide du turbidimètre le(s) observateur(s) sélectionnaient le bécier qui semblait visuellement correspondre au dosage optimal (selon la méthode d'évaluation de la dose optimale terrain). De la même manière, des échantillons étaient récupérés à la fin des 12 minutes de décantation des jar tests terrain pour en mesurer la turbidité finale à l'aide du turbidimètre (selon la méthode d'évaluation de la dose optimale laboratoire).

Les trois paramètres choisis pour la variation de la qualité de l'eau brute servant à représenter le plus grand éventail d'eaux brutes rencontrées sur le terrain possible étaient la turbidité, l'alcalinité et la concentration en matière organique initiales. La turbidité initiale joue évidemment un rôle important dans le dosage du coagulant pour son abaissement en vue d'obtenir une turbidité résiduelle finale inférieure. L'alcalinité de l'eau étant sa capacité à neutraliser les variations de pH d'une eau, elle a une grande influence sur l'efficacité de la coagulation puisque celle-ci dépend beaucoup du pH auquel elle est effectuée. Finalement, la concentration en matière organique, qui peut être évaluée par la mesure de l'absorbance (UV_{254}), peut avoir une grande influence sur la dose optimale de coagulant principalement à cause de sa fraction dissoute qui interagit avec le coagulant.

Pour chacun de ces paramètres, des valeurs minimale (-1), moyenne (0) et maximale (1) ont été déterminées pour représenter un grand éventail d'eaux brutes pouvant être rencontrées sur le terrain. Le tableau suivant montre les trois valeurs choisies pour chacun des trois paramètres :

Tableau 20: Variation des caractéristiques des eaux brutes testées

Paramètre	Turbidité (UTN)	Alcalinité (mg/L CaCO ₃)	Matière organique (abs UV ₂₅₄) (cm ⁻¹)
Valeur minimale (-1)	50	Sans ajout à l'eau du robinet (20-30)	Sans ajout à l'eau du robinet (0,02-0,05)
Valeur moyenne (0)	300	150	0,3
Valeur maximale (1)	800	300	0,7

Ces valeurs ont été déterminées sur la base de connaissances recueillies de professeurs (professeurs Caetano Dorea et Christian Bouchard de l'Université Laval), de manuels portant sur le sujet du traitement des eaux (Crittenden, 2012), ainsi que d'autres articles portant sur des essais semblables (Jiang & Wang, 2009; Paul Z., dissertation, 2011).

En ayant trois valeurs potentielles pour chacun des trois paramètres à faire varier pour les jars tests, 27 combinaisons étaient possibles. Il a été décidé que seulement 10 de ces combinaisons seraient testées. Pour déterminer lesquelles de ces combinaisons seraient choisies, le logiciel SAS (Statistical Analysis System) version 9,2 a été utilisé afin de produire un plan expérimental. En choisissant le critère d'optimisation «D-optimal» qui permet de réduire le nombre d'essais à effectuer tout en gardant une bonne représentation pour la comparaison des facteurs et en utilisant la méthode de recherche «Fedorov», ce logiciel a identifié les 10 essais suivants à effectuer (SAS Americas, 2009):

Tableau 21: Caractéristiques de l'eau des essais effectués

Essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Turbidité	1	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1
Alcalinité	1	0	-1	1	0	0	-1	1	0	-1
Matière organique	1	-1	0	-1	1	0	1	0	-1	1

* La valeur 1 correspond à la valeur maximale, 0 à la valeur moyenne et -1 à la valeur minimale

Chacun des 10 tests ont été réalisés selon la technique terrain et selon la technique laboratoire et ce, en duplicata, ce qui fait un total de 40 essais.

Pour le choix des doses de coagulant utilisées dans chacun des béchers, des tests préliminaires ont été effectués afin d'obtenir une idée générale de la dose optimale selon les caractéristiques des eaux. À la suite de ces essais, il a été décidé que les doses d'alun choisies seraient comprises entre 20 et 120 mg/L (incrément de 20 mg/L) pour tous les essais excepté pour les eaux ayant une alcalinité de 300 mg/L CaCO₃ où les doses choisies seraient comprises entre 140 et 340 mg/L (incrément de 40 mg/L).

8.3. Résultats et discussion

8.3.1. Observations qualitatives

La technique de jar test de laboratoire utilisée pour ces essais s'est avérée être très constante grâce à l'utilisation de l'équipement électrique. Une seule personne peut facilement effectuer le test en ajoutant les doses de coagulant et en démarrant l'agitation un bécher à la fois. À la fin du test, les échantillons pour la mesure de turbidité peuvent donc être pris dans le même ordre que pour le démarrage, ce qui assure le même temps de décantation pour chaque bécher. Le turbidimètre assure également une prise de mesure précise, ce qui facilite le choix de la dose optimale. Une légère déféctuosité a été remarquée sur l'une des têtes rotatives qui avait tendance à tourner un peu plus rapidement que les autres malgré la même programmation sur la console «floculator 2000».

La technique terrain s'est avérée simple et requérant peu de ressources. L'équipement nécessaire à son exécution peut facilement être trouvé et acheté à moindre coût. L'agitation à l'aide d'un ustensile (cuillère, fourchette, couteau) est facile à exécuter mais le niveau de brassage est sujet à des variations pendant le mélange. Aussi, la constance de mélange peut varier d'un bécher à l'autre

selon la personne effectuant le test et le nombre de brassages précédemment effectués par cette personne (fatigue). Un opérateur seul ne pouvant effectuer le brassage de plus de deux béciers à la fois, une rampe de six béciers nécessite un minimum de trois personnes pour obtenir un brassage simultané. Ceci assure que l'évaluation de la dose optimale à l'œil nu se fait après le même temps de décantation dans les béciers. Dans le cas où il n'est pas possible d'avoir trois personnes pour le test, le brassage doit être effectué deux béciers à la fois. L'évaluation à l'œil à la fin du test est donc plus difficile puisqu'il faut tenir compte des temps de décantation différents au moment de la prise de décision. Il a aussi été remarqué que plus les turbidités finales de l'eau dans les béciers sont faibles, plus il est difficile pour l'observateur de voir la différence à l'œil nu.

8.3.2. Résultats quantitatifs : Méthode de brassage

La comparaison des abaisséments de turbidité selon les deux méthodes de brassage est effectuée en considérant la mesure au turbidimètre comme étant la référence pour déterminer la dose optimale de coagulant. Les graphiques de la figure 81 à la figure 90 présentent tous les résultats des jars tests pour chacune des eaux testées. Les caractéristiques des eaux sont données selon trois chiffres (-1,0 et 1) représentant les valeurs minimales, moyennes et maximales de la turbidité, l'alcalinité et l'absorbance respectivement.

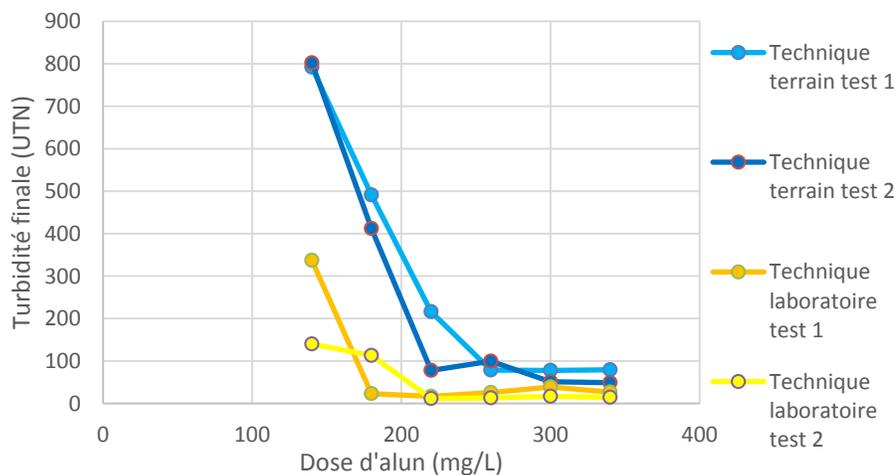


Figure 81: Turbidité finale des jar test de l'essai #1 (1,1,1) selon la méthode de brassage utilisée

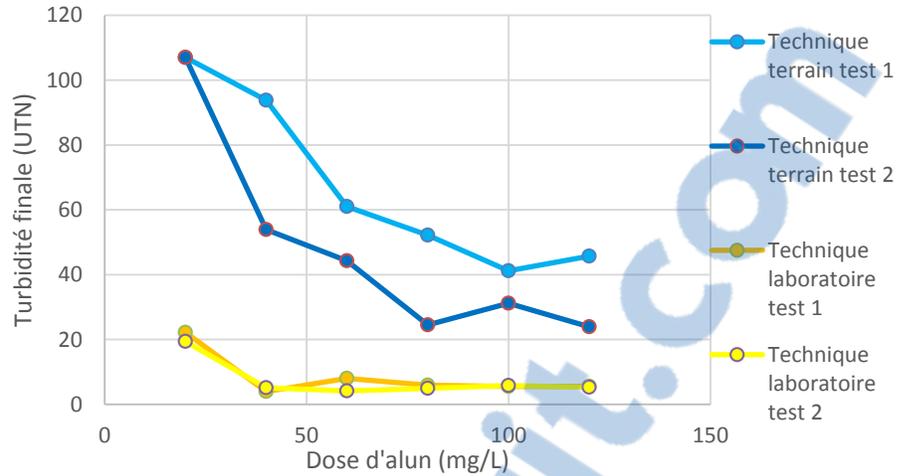


Figure 82: Turbidité finale des jar tests de l'essai #2 (1,0,-1) selon la méthode de brassage utilisée

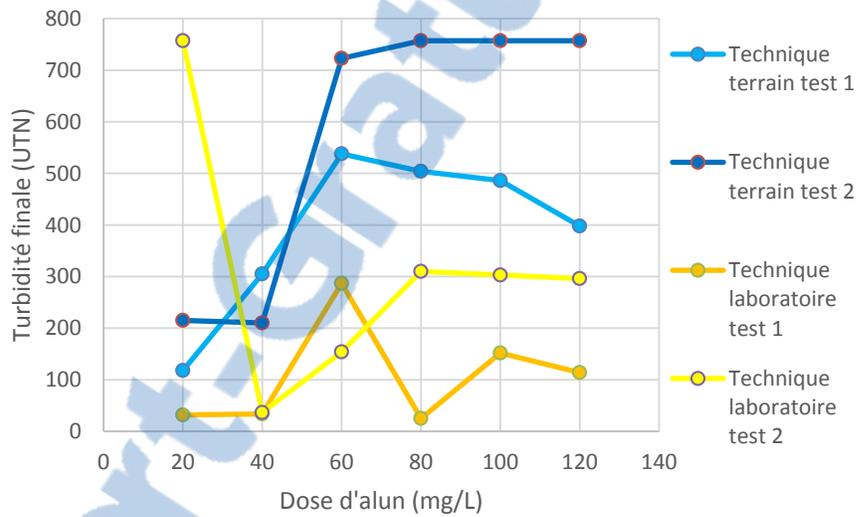


Figure 83: Turbidité finale des jar tests de l'essai #3 (1,-1,0) selon la méthode de brassage utilisée

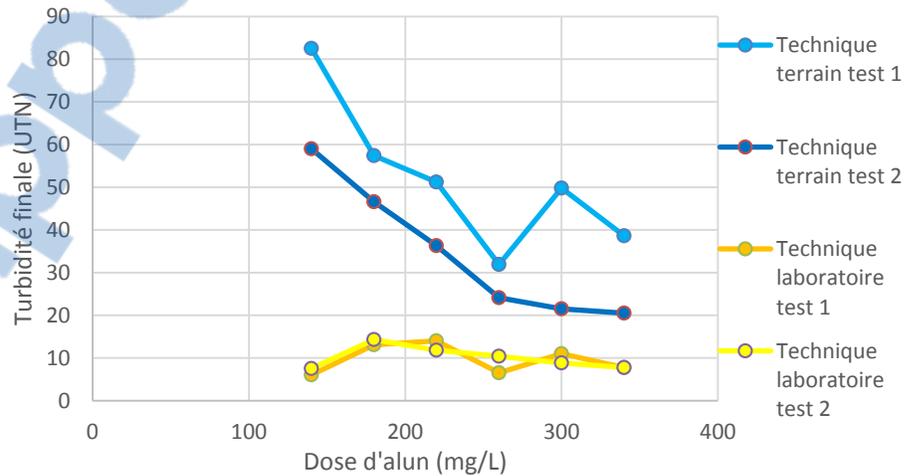


Figure 84: Turbidité finale des jar tests de l'essai #4 (0,1,-1) selon la méthode de brassage utilisée

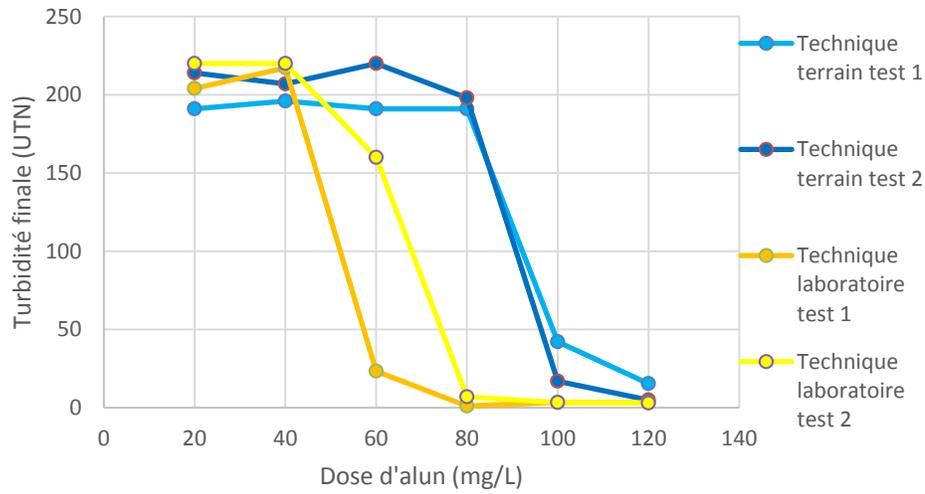


Figure 85: Turbidité finale des jar tests de l'essai #5 (0,0,1) selon la méthode de brassage utilisée

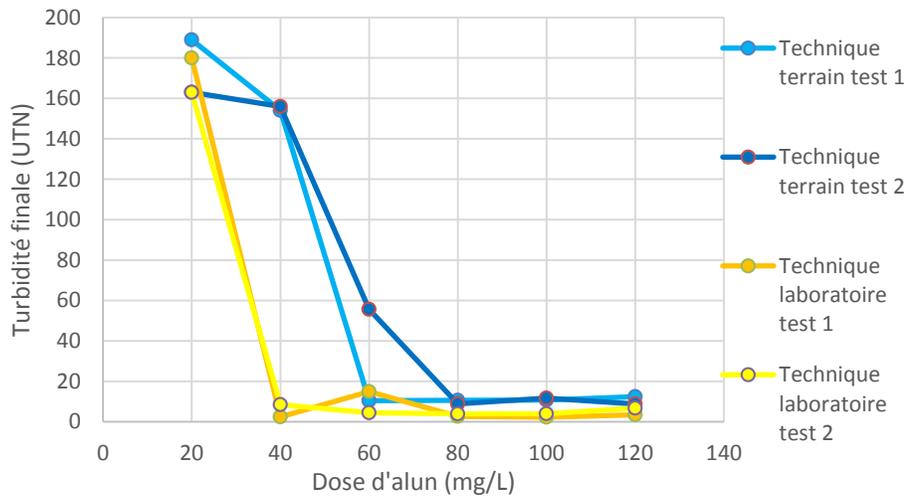


Figure 86: Turbidité finale des jar tests de l'essai #6 (0,0,0) selon la méthode de brassage utilisée

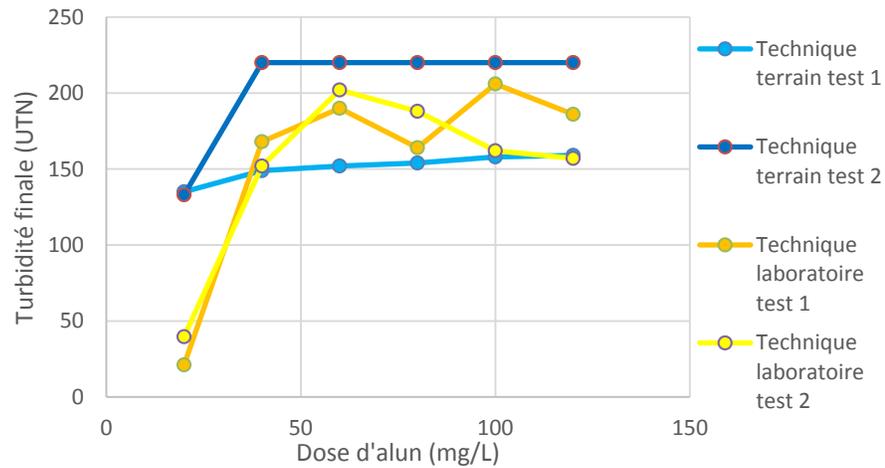


Figure 87: Turbidité finale des jar tests de l'essai #7 (0,-1,-1) selon la méthode de brassage utilisée

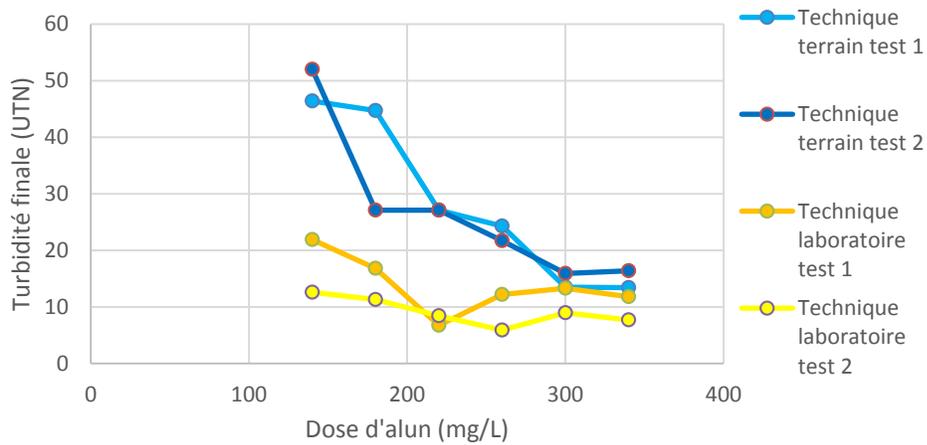


Figure 88: Turbidité finale des jar tests de l'essai #8 selon la méthode de brassage utilisée

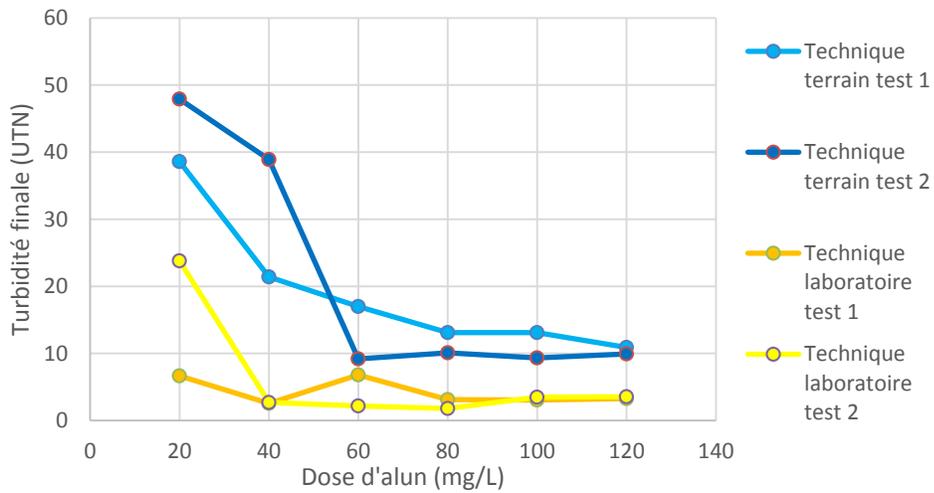


Figure 89: Turbidité finale des jar tests de l'essai #9 (-1,0,-1) selon la méthode de brassage utilisée

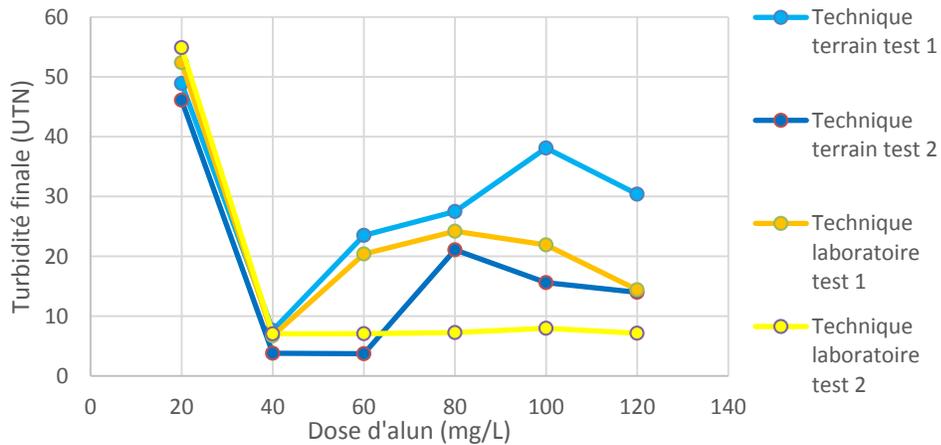


Figure 90: Turbidité finale des jar tests de l'essai #10 (-1,-1,1) selon la technique utilisée

Ces figures montrent tout d'abord que la méthode de brassage et sédimentation terrain s'avère, en général, moins efficace à réduire la turbidité. À quelques exceptions près (figure 83, figure 87 et figure 90), peu importe la qualité de l'eau brute et pour une dose de coagulant donnée, la technique de laboratoire a permis d'atteindre des turbidités finales inférieures à celles de la technique terrain. En effet, la moyenne d'enlèvement de turbidité de la technique laboratoire pour tous les essais effectués est de 76% comparativement à 54% pour la technique terrain.

8.3.3. Résultats quantitatifs : Méthode d'évaluation de la dose optimale

Sur les 40 essais effectués, les méthodes d'évaluation de la dose optimale de coagulant ont donné des résultats différents pour 12 d'entre eux. Le tableau 22 montre la comparaison entre les doses optimales choisies à l'aide de la méthode à l'œil et celle avec le turbidimètre. La différence de dose optimale est calculée en considérant la méthode avec le turbidimètre comme la mesure de référence. Des 12 essais ayant donné des résultats différents entre l'évaluation à l'œil et l'évaluation au turbidimètre, quatre d'entre eux sont survenus avec la méthode de brassage à la main et en trois occasions, il y a eu surévaluation de la dose optimale (i.e. la dose trouvée à l'œil est plus élevée que celle trouvée avec le turbidimètre) et une seule sous-évaluation (i.e. la dose trouvée à l'œil est moins élevée que celle trouvée avec le turbidimètre). Avec la méthode de brassage utilisant la rampe de jar test, 8 des 20 essais ont donné des résultats différents dont une est une surévaluation et 7 sont des sous-évaluations.

Tableau 22: Résumé des doses optimales d'alun

	Dose optimale au turbidimètre (mg/L)	Dose optimale à l'œil (mg/L)	Différence	
			Dose (mg/L)	%
Brassage à la main 1				
Cas 1 (1,1,1)	260	260	0	0
Cas 2 (1,0,-1)	100	100	0	0
Cas 3 (1,-1,0)	20	20	0	0
Cas 4 (0,1,-1)	260	340	80	31
Cas 5 (0,0,1)	120	120	0	0
Cas 6 (0,0,0)	60	60	0	0
Cas 7 (0,-1,-1)	20	20	0	0
Cas 8 (-1,1,0)	300	300	0	0
Cas 9 (-1,0,-1)	120	120	0	0
Cas 10 (-1,-1,1)	40	40	0	0

	Dose optimale au turbidimètre (mg/L)	Dose optimale à l'œil (mg/L)	Différence	
			Dose (mg/L)	%
Brassage à la main 2				
Cas 1 (1,1,1)	300	300	0	0
Cas 2 (1,0,-1)	80	80	0	0
Cas 3 (1,-1,0)	20	40	20	100
Cas 4 (0,1,-1)	300	340	40	13
Cas 5 (0,0,1)	120	120	0	0
Cas 6 (0,0,0)	80	80	0	0
Cas 7 (0,-1,-1)	20	20	0	0
Cas 8 (-1,1,0)	300	260	-40	-13
Cas 9 (-1,0,-1)	60	60	0	0
Cas 10 (-1,-1,1)	40	40	0	0
Brassage avec la rampe de Jar test 1				
Cas 1 (1,1,1)	220	180	-40	-18
Cas 2 (1,0,-1)	40	40	0	0
Cas 3 (1,-1,0)	80	40	-40	-50
Cas 4 (0,1,-1)	140	140	0	0
Cas 5 (0,0,1)	80	80	0	0
Cas 6 (0,0,0)	100	40	-60	-60
Cas 7 (0,-1,-1)	20	20	0	0
Cas 8 (-1,1,0)	220	340	120	55
Cas 9 (-1,0,-1)	40	20	-20	-50
Cas 10 (-1,-1,1)	40	40	0	0
Brassage avec la rampe de Jar test 2				
Cas 1 (1,1,1)	220	220	0	0
Cas 2 (1,0,-1)	60	60	0	0
Cas 3 (1,-1,0)	40	40	0	0
Cas 4 (0,1,-1)	140	140	0	0
Cas 5 (0,0,1)	120	120	0	0
Cas 6 (0,0,0)	80	40	-40	-50
Cas 7 (0,-1,-1)	20	20	0	0
Cas 8 (-1,1,0)	260	140	-120	-46
Cas 9 (-1,0,-1)	80	60	-20	-25
Cas 10 (-1,-1,1)	40	40	0	0

8.3.4. Résultats quantitatifs : Technique de jar test

Globalement, en comparant la technique terrain dans son entièreté (brassage à la main et évaluation à l'œil) avec la technique laboratoire dans son entièreté (brassage avec la rampe de jar test et évaluation à l'aide du turbidimètre), il est possible d'analyser l'influence de la technique terrain sur le choix de la dose optimale. Le tableau 23 inclut les moyennes des doses optimales pour les deux essais (duplicata) de chacune des deux techniques.

Tableau 23: doses optimales de coagulant moyenne selon la technique utilisée

	Dose optimale laboratoire (mg/L)	Dose optimale terrain (mg/L)	Différence	
			Dose (mg/L)	%
Cas 1 (1,1,1)	220	280	60	27,3
Cas 2 (1,0,-1)	50	90	40	80,0
Cas 3 (1,-1,0)	60	30	-30	-50,0
Cas 4 (0,1,-1)	220	340	120	55
Cas 5 (0,0,1)	95	120	-25	-26,3
Cas 6 (0,0,0)	70	70	0	0
Cas 7 (0,-1,-1)	20	20	0	0,0
Cas 8 (-1,1,0)	240	280	40	16,7
Cas 9 (-1,0,-1)	60	90	-30	-50,0
Cas 10 (-1,-1,1)	60	40	-20	-33,3
Moyenne :			1,97	

8.3.5. Résultats quantitatifs : analyse statistique

En utilisant les résultats obtenus au tableau 22 et en effectuant le test Kolmogorov-Smirnov pour vérifier la normalité des données, il est possible de vérifier que les données correspondent à des distributions normales autant pour les résultats obtenus par l'évaluation à l'œil nu ($D_n = 0,20$) et pour l'évaluation au turbidimètre ($D_n = 0,18$). De plus, un test t à deux échantillons ayant des variances égales afin de vérifier si la différence entre les résultats obtenus entre l'évaluation à l'œil et ceux obtenus à l'aide du turbidimètre est significative a été effectué. Les résultats montrent qu'aucune différence significative n'est présente ($p = 0.89$) indiquant que les deux méthodes sont équivalentes pour évaluer la dose d'alun.

9. Annexe B : Résultats bruts des Jar tests

Tableau 24: Résultats bruts des jar tests selon la technique terrain (1)

Cas	1	Date:	1	1					
Code	1								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	800	500	0,7						
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	732	450	0,712	8,3					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	140	1	732	7					
	180	2	491	6,9					
	220	3	216	6,8					
	260	4	78,5	6,7	320				
	300	5	77,7	6,6					
	340	6	79,1	6,5					

Cas	2	Date:	0	-1					
Code	1								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	800	150							
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	780	144	0,022	7,8					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	20	1	107	7,2					
	40	2	93,8	6,8					
	60	3	61	6,9					
	80	4	52,2	6,6					
	100	5	41,2	6,5					
	120	6	45,7	6,4	32,8				

Cas	3	Date:	-1	0					
Code	1								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	800		0,3						
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	750	24	0,298	6,9					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	20	1	118	6,6	13				
	40	2	305	5,9					
	60	3	538	4,8					
	80	4	504	4,5					
	100	5	486	4,4					
	120	6	398	4,3					

Cas	4	Date:	2014-04-18						
Code	0								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	200	500							
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	215	544	0,021	8,1					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale			
	140	1	82,5	7,05					
	180	2	57,4	6,87					
	220	3	51,2	6,77					
	260	4	31,9	6,66	456	0,017			
	300	5	49,8	6,57					
	340	6	38,6	6,5					

Cas	5	Date:	0	1					
Code	0								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	200	150	0,7						
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	191	152	0,698	8,47					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	20	1	191	7,73					
	40	2	196	7,34					
	60	3	191	7,15					
	80	4	191	7					
	100	5	42,1	6,89					
	120	6	15,4	6,76	100,8				

Cas	6	Date:	0	0					
Code	0								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	200	150	0,3						
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	192,6	145	0,334	8,4					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	20	1	189	7,6					
	40	2	154	7,3					
	60	3	10,4	7,4					
	80	4	10,6	7,1					
	100	5	10,7	7					
	120	6	12,4	6,8	88				

Cas	7	Date:	-1	-1					
Code	0								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	200								
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	180,2	23	0,037	7,6					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	20	1	135	6,3	12				
	40	2	149	5,6					
	60	3	152	4,7					
	80	4	154	4,5					
	100	5	158	4,5					
	120	6	159	4,4					

Cas	8	Date:	1	0					
Code	-1								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	50	500	0,3						
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	46,4	520	0,274	8,35					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	140	1	46,4						
	180	2	44,7						
	220	3	27,1						
	260	4	24,3						
	300	5	13,5		414				
	340	6	13,4						

Cas	9	Date:	0	-1					
Code	-1								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	50	150							
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	52,64	149	0,044	8					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	20	1	38,6	7,5					
	40	2	21,4	7,2					
	60	3	17	7					
	80	4	13,1	6,8					
	100	5	13,1	6,7					
	120	6	10,9	6,6	90				

Cas	10	Date:	-1	1					
Code	-1								
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs						
	50		0,7						
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pHinitial					
	50,98	25	0,696	7,1					
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale				
	20	1	48,9	6,6	17				
	40	2	7,64	6,1					
	60	3	23,5	5,5					
	80	4	27,5	4,8					
	100	5	38,1	4,3					
	120	6	30,4	4,3					

Tableau 25: Résultats bruts des jar tests selon la technique terrain (2)

Cas	1	Date:	2014-04-07						
Code	1	Alc.	1	Abs					
Théorie	Turbidité	Alc.	800	Abs	500				
Réalisé:	Turbidité	Alc.	802	Abs	512	pH	8		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	512	Turbidimètre (UTN)	0,735	pH final	8	Alcalinité finale	Abs finale
	140	1	802	-					
	180	2	412		6,92				
	220	3	77,7		6,84				
	260	4	99,6		6,74				
	300	5	51,1		6,65		360	0,044	
	340	6	49		6,6				

Cas	2	Date:	0	-1					
Code	1	Alc.	0	Abs	-1				
Théorie	Turbidité	Alc.	800	Abs	150	pH initial	8,33		
Réalisé:	Turbidité	Alc.	733	Abs	140	Turbidimètre	0,046		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	140	Turbidimètre (UTN)	0,046	pH final	8,33	Alcalinité finale	Abs finale
	20	1	107		7,62				
	40	2	53,9		7,32				
	60	3	44,3		7,13				
	80	4	24,5		6,95				
	100	5	31,2		6,84				
	120	6	23,9		6,72			81,2	

Cas	3	Date:	2014-04-10						
Code	1	Alc.	-1	Abs	0				
Théorie	Turbidité	Alc.	800	Abs	0,3	pH initial	6,34		
Réalisé:	Turbidité	Alc.	757	Abs	30,6	Turbidimètre (UTN)	0,309		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	30,6	Turbidimètre (UTN)	0,309	pH final	6,34	Alcalinité finale	Abs finale
	20	1	215		6,13				
	40	2	210		5,87		17,8	0,019	
	60	3	723		5,4				
	80	4	757		4,82				
	100	5	757		4,5				
	120	6	757		4,35				

Cas	4	Date:	2014-04-29						
Code	0	Alc.	1	Abs	-1				
Théorie	Turbidité	Alc.	200	Abs	500				
Réalisé:	Turbidité	Alc.	191	Abs	NA	pH	8,32		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	NA	Turbidimètre (UTN)	0,044	pH final	8,32	Alcalinité finale	Abs finale
	140	1	59		7,12				
	180	2	46,6		6,97				
	220	3	36,3		6,85				
	260	4	24,1		6,75				
	300	5	21,5		6,65				
	340	6	20,5		6,59	NA		0,021	

Cas	5	Date:	0	1					
Code	0	Alc.	0	Abs	1				
Théorie	Turbidité	Alc.	200	Abs	150				
Réalisé:	Turbidité	Alc.	220	Abs	135,2	pH initial	8,47		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	135,2	Turbidimètre (UTN)	0,662	pH final	8,47	Alcalinité finale	Abs finale
	20	1	214		7,6				
	40	2	207		7,35				
	60	3	220		7,11				
	80	4	198		6,96				
	100	5	16,9		6,83				
	120	6	4,89		6,69			78,4	

Cas	6	Date:	0	0					
Code	0	Alc.	0	Abs	0				
Théorie	Turbidité	Alc.	200	Abs	150	pH initial	8,37		
Réalisé:	Turbidité	Alc.	191	Abs	142	Turbidimètre (UTN)	0,313		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	142	Turbidimètre (UTN)	0,313	pH final	8,37	Alcalinité finale	Abs finale
	20	1	163		7,61				
	40	2	156		7,32				
	60	3	55,6		7,12				
	80	4	8,85		6,97				
	100	5	11,7		6,86				
	120	6	8,79		6,76			97,2	

Cas	7	Date:	2014-04-29						
Code	0	Alc.	-1	Abs	-1				
Théorie	Turbidité	Alc.	200	Abs	25				
Réalisé:	Turbidité	Alc.	220	Abs	NA	pH initial	6,82		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	NA	Turbidimètre (UTN)	0,034	pH final	6,82	Alcalinité finale	Abs finale
	20	1	133		5,86	NA		0,009	
	40	2	220		5,23				
	60	3	220		4,48				
	80	4	220		4,28				
	100	5	220		4,21				
	120	6	220		4,18				

Cas	8	Date:	1	0					
Code	-1	Alc.	1	Abs	0				
Théorie	Turbidité	Alc.	50	Abs	500				
Réalisé:	Turbidité	Alc.	52	Abs	528	pH	8		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	528	Turbidimètre (UTN)	0,278	pH final	8	Alcalinité finale	Abs finale
	140	1	52		6,95				
	180	2	27,1		6,84				
	220	3	27,1		6,79				
	260	4	21,7		6,67		386	0,037	
	300	5	15,9		6,62				
	340	6	16,4		6,55				

Cas	9	Date:	0	-1					
Code	-1	Alc.	0	Abs	-1				
Théorie	Turbidité	Alc.	50	Abs	150				
Réalisé:	Turbidité	Alc.	48,4	Abs	146	pH initial	8,32		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	146	Turbidimètre (UTN)	0,027	pH final	8,32	Alcalinité finale	Abs finale
	20	1	47,9		7,62				
	40	2	38,9		7,32				
	60	3	9,2		7,08				
	80	4	10,1		6,91				
	100	5	9,33		6,79				
	120	6	9,92		6,66			96	

Cas	10	Date:	-1	1					
Code	-1	Alc.	-1	Abs	1				
Théorie	Turbidité	Alc.	50	Abs	0,7				
Réalisé:	Turbidité	Alc.	48,1	Abs	26	pH initial	6,8		
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	26	Turbidimètre (UTN)	0,75	pH final	6,8	Alcalinité finale	Abs finale
	20	1	46,1		6,1			19	
	40	2	3,8		5,8				
	60	3	3,73		5,2				
	80	4	21,1		4,5				
	100	5	15,6		4,3				
	120	6	14		4,3				

Tableau 26: Résultats bruts des jar tests selon la technique laboratoire (1)

Cas Code	1	Date:	1	1				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	800	500	0,7					
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH				
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	140	1	337	7				
	180	2	23	6,9				
	220	3	16,5	6,8	348			
	260	4	25,6	6,7				
	300	5	38,7	6,6				
	340	6	26,8	6,6				

Cas Code	2	Date:	0	-1				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	800	150 min	0,021	7,6				
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	20	1	22,2	7,2				
	40	2	3,96	7,1				
	60	3	8,03	6,7				
	80	4	5,92	6,5				
	100	5	5,54	6,3				
	120	6	5,59	6,4	96			

Cas Code	3	Date:	-1	0				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	800 min	22	0,281	7				
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	20	1	32	6,4				
	40	2	33,8	5,8				
	60	3	287	4,7				
	80	4	25	4,4				
	100	5	152	4,3				
	120	6	114	4,3	13			

Cas Code	4	Date:	2014-04-18					
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	200	500 min	0,03	8,1				
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs final		
	140	1	6,03	7,01	464	0,021		
	180	2	13,1	6,89				
	220	3	14	6,78				
	260	4	6,53	6,66				
	300	5	11	6,59				
	340	6	7,76	6,52				

Cas Code	5	Date:	0	1				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	200	150	0,7	8,3				
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	20	1	204	7,6				
	40	2	217,25	7,3				
	60	3	23,3	7,3				
	80	4	1,02	7,1				
	100	5	3,34	7				
	120	6	3,12	6,8	92			

Cas Code	6	Date:	0	0				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	200	150	0,3	7,8				
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	20	1	180	7,3	146			
	40	2	2,4	7				
	60	3	14,9	6,7				
	80	4	2,6	6,8				
	100	5	2,18	6,5				
	120	6	3,39	6,3				

Cas Code	7	Date:	-1	-1				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	200	21	0,044	7,5				
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	20	1	21,1	6	11			
	40	2	168	5,8				
	60	3	190	4,7				
	80	4	164	4,5				
	100	5	206	4,4				
	120	6	186	4,3				

Cas Code	8	Date:	-1	0				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	50	500	0,3	8,48				
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	140	1	21,9	7,1				
	180	2	16,8	7				
	220	3	6,75	6,9	416			
	260	4	12,2	6,8				
	300	5	13,3	6,7				
	340	6	11,8	6,7				

Cas Code	9	Date:	0	-1				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	50	150 min	0,038	8,5				
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	20	1	6,66	7,7				
	40	2	2,56	7,3				
	60	3	6,8	7,1				
	80	4	3,12	6,8				
	100	5	3,04	6,8				
	120	6	3,27	6,7	92			

Cas Code	10	Date:	-1	1				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs					
Réalté:	50	25	0,7	7,3				
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale			
	20	1	52,4	6,49				
	40	2	6,72	5,96				
	60	3	20,4	5,05				
	80	4	24,2	4,83				
	100	5	21,9	4,86				
	120	6	14,4	4,72 min				

Tableau 27: Résultats bruts des jar tests selon la technique laboratoire (2)

<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>1</th> <th>Date:</th> <th>2014-04-07</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>800</td> <td>500</td> <td>0,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>802</td> <td>512</td> <td>0,735</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun (mg/L)</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td>Abs finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>140</td> <td>1</td> <td>140</td> <td>7,07</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>180</td> <td>2</td> <td>113</td> <td>6,94</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>220</td> <td>3</td> <td>11,3</td> <td>6,85</td> <td>346</td> <td>0,063</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>260</td> <td>4</td> <td>12,8</td> <td>6,76</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>300</td> <td>5</td> <td>16,5</td> <td>6,66</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>340</td> <td>6</td> <td>14,4</td> <td>6,61</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	1	Date:	2014-04-07							Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								800	500	0,7							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH							802	512	0,735	8						Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale					140	1	140	7,07							180	2	113	6,94							220	3	11,3	6,85	346	0,063					260	4	12,8	6,76							300	5	16,5	6,66							340	6	14,4	6,61						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>2</th> <th>Date:</th> <th>0</th> <th>-1</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>min</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>800</td> <td>150</td> <td>0,046</td> <td>8,33</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>756</td> <td>140</td> <td>0,046</td> <td>8,33</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>1</td> <td>19,4</td> <td>7,58</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>2</td> <td>5,12</td> <td>7,29</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>3</td> <td>4,13</td> <td>7,09</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>4</td> <td>4,94</td> <td>6,94</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>5</td> <td>5,82</td> <td>6,81</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>120</td> <td>6</td> <td>5,28</td> <td>6,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>79,2</td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	2	Date:	0	-1						Théorie	Turbidité	Alc.	Abs	min							800	150	0,046	8,33						Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH							756	140	0,046	8,33						Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale						20	1	19,4	7,58							40	2	5,12	7,29							60	3	4,13	7,09							80	4	4,94	6,94							100	5	5,82	6,81							120	6	5,28	6,7					79,2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>3</th> <th>Date:</th> <th>2014-04-14</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>800</td> <td>min</td> <td>0,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH initial</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>757</td> <td>30,5</td> <td>0,309</td> <td>6,94</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td>Abs finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>1</td> <td>757</td> <td>6,36</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>2</td> <td>36,6</td> <td>5,96</td> <td>16,9</td> <td>0,023</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>3</td> <td>154</td> <td>5,49</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>4</td> <td>310</td> <td>4,98</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>5</td> <td>303</td> <td>4,53</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>120</td> <td>6</td> <td>296</td> <td>4,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	3	Date:	2014-04-14							Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								800	min	0,3							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH initial							757	30,5	0,309	6,94						Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale					20	1	757	6,36							40	2	36,6	5,96	16,9	0,023					60	3	154	5,49							80	4	310	4,98							100	5	303	4,53							120	6	296	4,4																																																																																																																																							
Cas Code	1	Date:	2014-04-07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	800	500	0,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	802	512	0,735	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	140	1	140	7,07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	180	2	113	6,94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	220	3	11,3	6,85	346	0,063																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	260	4	12,8	6,76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	300	5	16,5	6,66																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	340	6	14,4	6,61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Cas Code	2	Date:	0	-1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs	min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	800	150	0,046	8,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	756	140	0,046	8,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	20	1	19,4	7,58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	40	2	5,12	7,29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	60	3	4,13	7,09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	80	4	4,94	6,94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	100	5	5,82	6,81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	120	6	5,28	6,7					79,2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Cas Code	3	Date:	2014-04-14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	800	min	0,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH initial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	757	30,5	0,309	6,94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	20	1	757	6,36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	40	2	36,6	5,96	16,9	0,023																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	60	3	154	5,49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	80	4	310	4,98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	100	5	303	4,53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	120	6	296	4,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>4</th> <th>Date:</th> <th>2014-04-29</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>200</td> <td>500</td> <td>min</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>191</td> <td>NA</td> <td>0,044</td> <td>8,32</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun (mg/L)</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td>Abs finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>140</td> <td>1</td> <td>7,52</td> <td>7,13</td> <td>NA</td> <td>0,028</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>180</td> <td>2</td> <td>14,3</td> <td>6,98</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>220</td> <td>3</td> <td>11,8</td> <td>6,87</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>260</td> <td>4</td> <td>10,4</td> <td>6,77</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>300</td> <td>5</td> <td>8,85</td> <td>6,69</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>340</td> <td>6</td> <td>7,75</td> <td>6,6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	4	Date:	2014-04-29							Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								200	500	min							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH							191	NA	0,044	8,32						Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale					140	1	7,52	7,13	NA	0,028					180	2	14,3	6,98							220	3	11,8	6,87							260	4	10,4	6,77							300	5	8,85	6,69							340	6	7,75	6,6						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>5</th> <th>Date:</th> <th>0</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>200</td> <td>150</td> <td>0,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>220</td> <td>135,2</td> <td>0,662</td> <td>8,47</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>1</td> <td>220</td> <td>7,6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>2</td> <td>220</td> <td>7,33</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>3</td> <td>160</td> <td>7,11</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>4</td> <td>6,92</td> <td>6,95</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>5</td> <td>3,3</td> <td>6,83</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>120</td> <td>6</td> <td>2,93</td> <td>6,69</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>79,6</td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	5	Date:	0	0	1					Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								200	150	0,7							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH							220	135,2	0,662	8,47						Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale						20	1	220	7,6							40	2	220	7,33							60	3	160	7,11							80	4	6,92	6,95							100	5	3,3	6,83							120	6	2,93	6,69					79,6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>6</th> <th>Date:</th> <th>2014-04-29</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>200</td> <td>150</td> <td>0,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH initial</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>182</td> <td>NA</td> <td>0,297</td> <td>7,72</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td>Abs finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>1</td> <td>163</td> <td>7,16</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>2</td> <td>8,44</td> <td>6,89</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>3</td> <td>4,44</td> <td>6,72</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>4</td> <td>3,86</td> <td>6,55</td> <td>NA</td> <td>0,021</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>5</td> <td>3,96</td> <td>6,42</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>120</td> <td>6</td> <td>6,71</td> <td>6,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	6	Date:	2014-04-29							Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								200	150	0,3							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH initial							182	NA	0,297	7,72						Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale					20	1	163	7,16							40	2	8,44	6,89							60	3	4,44	6,72							80	4	3,86	6,55	NA	0,021					100	5	3,96	6,42							120	6	6,71	6,3																																																																																																																																							
Cas Code	4	Date:	2014-04-29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	200	500	min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	191	NA	0,044	8,32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	140	1	7,52	7,13	NA	0,028																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	180	2	14,3	6,98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	220	3	11,8	6,87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	260	4	10,4	6,77																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	300	5	8,85	6,69																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	340	6	7,75	6,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Cas Code	5	Date:	0	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	200	150	0,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	220	135,2	0,662	8,47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	20	1	220	7,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	40	2	220	7,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	60	3	160	7,11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	80	4	6,92	6,95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	100	5	3,3	6,83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	120	6	2,93	6,69					79,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Cas Code	6	Date:	2014-04-29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	200	150	0,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH initial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	182	NA	0,297	7,72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	20	1	163	7,16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	40	2	8,44	6,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	60	3	4,44	6,72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	80	4	3,86	6,55	NA	0,021																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	100	5	3,96	6,42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	120	6	6,71	6,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>7</th> <th>Date:</th> <th>2014-08-14</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>200</td> <td>min</td> <td>min</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>196</td> <td>25,2</td> <td>0,040</td> <td>7,40</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun (mg/L)</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td>Abs finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>1</td> <td>39,6</td> <td>6,11</td> <td>14</td> <td>0,022</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>2</td> <td>152</td> <td>5,79</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>3</td> <td>202</td> <td>4,56</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>4</td> <td>188</td> <td>4,42</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>5</td> <td>162</td> <td>4,33</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>120</td> <td>6</td> <td>157</td> <td>4,28</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	7	Date:	2014-08-14							Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								200	min	min							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH							196	25,2	0,040	7,40						Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale					20	1	39,6	6,11	14	0,022					40	2	152	5,79							60	3	202	4,56							80	4	188	4,42							100	5	162	4,33							120	6	157	4,28						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>8</th> <th>Date:</th> <th>2014-04-10</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>50</td> <td>500</td> <td>0,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>52</td> <td>528</td> <td>0,278</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun (mg/L)</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td>Abs finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>140</td> <td>1</td> <td>12,6</td> <td>6,94</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>180</td> <td>2</td> <td>11,3</td> <td>6,83</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>220</td> <td>3</td> <td>8,42</td> <td>6,74</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>260</td> <td>4</td> <td>5,91</td> <td>6,62</td> <td>402</td> <td>0,037</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>300</td> <td>5</td> <td>8,96</td> <td>6,54</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>340</td> <td>6</td> <td>7,69</td> <td>6,48</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	8	Date:	2014-04-10							Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								50	500	0,3							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH							52	528	0,278	8						Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale					140	1	12,6	6,94							180	2	11,3	6,83							220	3	8,42	6,74							260	4	5,91	6,62	402	0,037					300	5	8,96	6,54							340	6	7,69	6,48						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>9</th> <th>Date:</th> <th>-1</th> <th>0</th> <th>-1</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>min</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>50</td> <td>150</td> <td>0,027</td> <td>8,32</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>52,5</td> <td>146</td> <td>0,027</td> <td>8,32</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>1</td> <td>23,8</td> <td>7,6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>2</td> <td>2,7</td> <td>7,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>3</td> <td>2,17</td> <td>7,1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>4</td> <td>1,78</td> <td>6,92</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>5</td> <td>3,47</td> <td>6,8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>120</td> <td>6</td> <td>3,55</td> <td>6,66</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>88</td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	9	Date:	-1	0	-1					Théorie	Turbidité	Alc.	Abs	min							50	150	0,027	8,32						Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH							52,5	146	0,027	8,32						Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale						20	1	23,8	7,6							40	2	2,7	7,3							60	3	2,17	7,1							80	4	1,78	6,92							100	5	3,47	6,8							120	6	3,55	6,66					88	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cas Code</th> <th>10</th> <th>Date:</th> <th>-1</th> <th>-1</th> <th>1</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Théorie</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>50</td> <td>min</td> <td>min</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Réalté:</td> <td>Turbidité</td> <td>Alc.</td> <td>Abs</td> <td>pH initial</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>55</td> <td>27</td> <td>0,704</td> <td>7,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Résultats:</td> <td>Concentration Alun</td> <td>Évaluation Œil</td> <td>Turbidimètre (UTN)</td> <td>pH final</td> <td>Alcalinité finale</td> <td>Abs finale</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>1</td> <td>54,9</td> <td>6,49</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>18</td> </tr> <tr> <td></td> <td>40</td> <td>2</td> <td>7,04</td> <td>5,32</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>3</td> <td>7,06</td> <td>5,09</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>4</td> <td>7,25</td> <td>4,89</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100</td> <td>5</td> <td>7,97</td> <td>4,79</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>120</td> <td>6</td> <td>7,16</td> <td>4,75</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Cas Code	10	Date:	-1	-1	1					Théorie	Turbidité	Alc.	Abs								50	min	min							Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH initial							55	27	0,704	7,5						Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale					20	1	54,9	6,49					18		40	2	7,04	5,32							60	3	7,06	5,09							80	4	7,25	4,89							100	5	7,97	4,79							120	6	7,16	4,75					
Cas Code	7	Date:	2014-08-14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	200	min	min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	196	25,2	0,040	7,40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	20	1	39,6	6,11	14	0,022																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	40	2	152	5,79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	60	3	202	4,56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	80	4	188	4,42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	100	5	162	4,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	120	6	157	4,28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Cas Code	8	Date:	2014-04-10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	50	500	0,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	52	528	0,278	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun (mg/L)	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	140	1	12,6	6,94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	180	2	11,3	6,83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	220	3	8,42	6,74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	260	4	5,91	6,62	402	0,037																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	300	5	8,96	6,54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	340	6	7,69	6,48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Cas Code	9	Date:	-1	0	-1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs	min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	50	150	0,027	8,32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	52,5	146	0,027	8,32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	20	1	23,8	7,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	40	2	2,7	7,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	60	3	2,17	7,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	80	4	1,78	6,92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	100	5	3,47	6,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	120	6	3,55	6,66					88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Cas Code	10	Date:	-1	-1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Théorie	Turbidité	Alc.	Abs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	50	min	min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Réalté:	Turbidité	Alc.	Abs	pH initial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	55	27	0,704	7,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Résultats:	Concentration Alun	Évaluation Œil	Turbidimètre (UTN)	pH final	Alcalinité finale	Abs finale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	20	1	54,9	6,49					18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	40	2	7,04	5,32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	60	3	7,06	5,09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	80	4	7,25	4,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	100	5	7,97	4,79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	120	6	7,16	4,75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

10. Annexe C : Résultats des essais de traitement d'eau des phases antérieures (I et II)

10.1. Résultats de la phase I (Juin-Décembre 2011):

Tableau 28: Résultats des essais (Phase I)

Test apparatus	Test Number	Turbidity (NTU)	Flow rate (m ³ /h)	Alum dosing (mg/l)	Duration (min)	Final NTU
60 m lay flat hoses of 3 " dia. +1.5 m ³ flocculation tank (Kaolin)	1	216	3-3.5	175-200	90	47
	2	222	2.5	160	127	26
60 m lay flat hoses of 3 " dia. + 0.3 m ³ flocculation tank (Kaolin)	3	203	2-2.5	160-200	85	30
	4	201	2	200	105	26
	5	202	2-2.5	160-200	141	31.3
60 m lay flat hoses of 3 "dia. (Kaolin)	6	40	1.5	150	36	10.5
	7		2		64	44
	8	85	3	100	57	29.4
	9	109	1.5	150	146	11.6
	10		2		50	12.8
	11	185	2	200	64	13
	12			300	54	14
	13	220	2	100	69	40.8
	14			200	50	12.7
	15	257	3	100	62	33.9
16	166			40	24	
120 m lay flat hoses of 3 " dia. (Mud)	17	48	1.5	150	81	6.5
	18		2	150	44	8.2

	19		3	150	36	11.4
	20		4	125	15	15.9
120 m lay flat hoses of 3 “ dia. (Mud) (Sameer)	21	68	2	150	90	12.3
	22	76	2	200	76	10.5
	23	68	1.5	350	80	4.27
	24	60	1.5	266	92	4.98

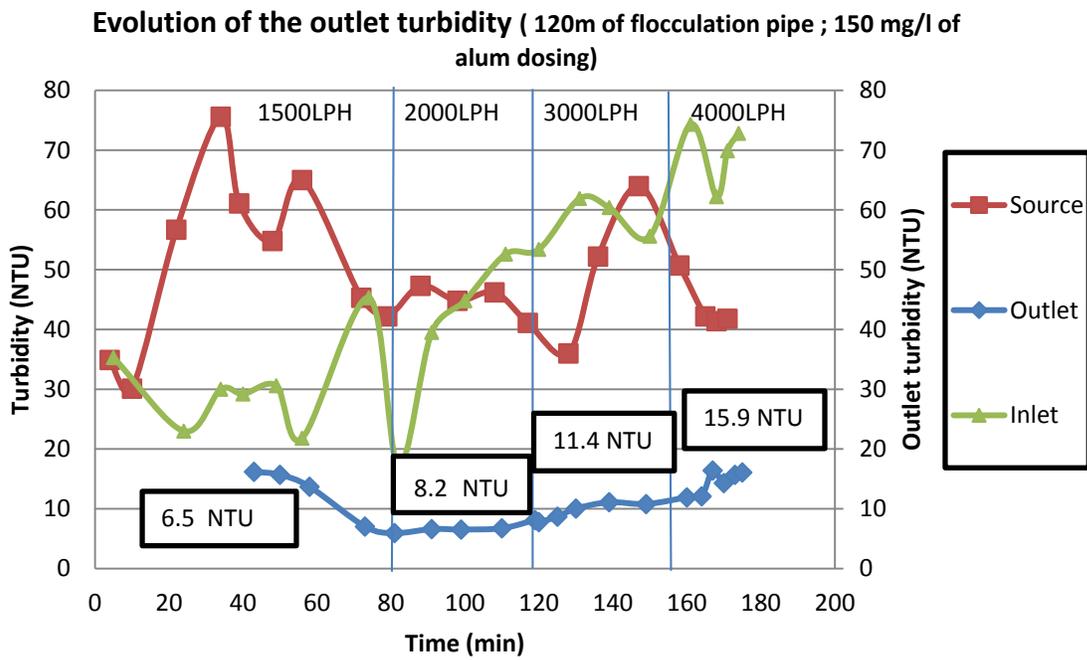


Figure 91: Meilleurs résultats obtenus (Phase I)

Tableau 29: Influence de la longueur de la conduite de flocculation sur la performance du système (Phase I)

Flocculation apparatus	Test Number	Flow rate (m ³ /h)	Final NTU
60 m.	6	1.5	10.5
120 m	17	2	6.5
60 m	7	1.5	44
120 m	18	2	8.2

10.2. Résultats de la phase II (Février – Juillet 2013) :

Tableau 30: Résultats des essais (Phase II) (1)

Test number	Prototype design	Flow rate	Source turbidity	Treated water turbidity
#	-	m ³ /h	NTU	NTU
1	Initial design	2	250	6.5
2	Initial design	2	250	8.0
3	Initial design	3	250	3.0
4	Initial design	4	250	4.6
5	Initial design	5	250	9.2
6	Initial design	5	250	13.4
7	Electrical mixer	5	250	9.6
8	Small baffled flocculator	5	250	11.9
9	Initial design	4	50	4.8
10	Initial design	5	50	11.4
11	Small baffled flocculator	4	50	3.6
12	Small baffled flocculator	5	50	10.4
13	Initial design	Varied	250	8.1
14	Initial design	Varied	250	7.4
15	Additional 100 m of pipe	5	250	12.9
16	Launders system and SBF ¹	5	250	6.5
17	Corrugated sheets	4	250	5.0
18	Corrugated sheets	5	250	18.7
19	Half plate settler and CS ²	5	250	14.5
20	Ported baffle, SBF and CS	5	250	9.9
21	Half plate settler, SBF, CS and PB ³	5	250	7.4
22	CS, PB, SBF and LS ⁴	5	250	3.5
23	CS, PB, SBF and LS	5	50	4.0
24	Extension	5	150	23.2
25	Ext ⁵ , 20 baffles 2 cm spacing	5	250	3.8

Tableau 31: Résultats des essais (Phase II) (2)

Test number	Prototype design	Flow rate	Source turbidity	Treated water turbidity
#	-	m ³ /h	NTU	NTU
26 ⁶	10 baffles, 2 cm spacing	5	250	4.2
27	Full extension, 6 cm spacing	5	250	5.8
28	Full extension, 10 cm spacing	5	250	19.5
29	2 cm spacing, ½ plates (front)	5	250	8.9
30	2 cm spacing, ½ plates (back)	5	250	12.3
31	2 cm spacing, ¾ plates	5	250	6.3
32	2 cm spacing, flat sheets	5	250	7.7
33	2 cm spacing, flat sheets and CS	5	250	7.8
34	2 cm spacing, flat sheets, high launders	5	250	11.9
35	2 cm spacing, flats sheets, higher water level	5	250	19.8
36	2 cm spacing, 10 baffles	5	250	4.8
37	2 cm spacing, 10 baffles, 3'' inch pipe launders	5	250	12.5
38	2 cm spacing, 10 baffles, 2'' inch pipe launders	5	250	10.3
39	Full extension, 2-4-6 cm spacing	5	250	5.4
40	Full extension, 2-4-6 cm spacing, ½ plates	5	250	8.1
41	Full extension, 2-4-6 cm spacing, ¾ plates	5	250	4.4
42	Full extension, 2-4 cm spacing, ¾ plates	5	250	9.9
43	Full extension, 2-4 cm spacing	6	250	8.3
44	2 cm spacing, 15 baffles	6	250	6.8
45	2 cm spacing, 21 baffles	6	50	5.6
46	2 cm spacing, 22 baffles	6	250	7.4
FT1	2 cm spacing, 21 baffles, no pH control	6	50	55.2
FT2	2 cm spacing, 21 baffles	6	50	9.9
FT3	2 cm spacing, 21 baffles	6	50	10

11. Annexe D : Résultats bruts des essais au traceur

Tableau 32 : Résultats bruts de l'essai au traceur 1 (D: 60mm, PV)

Temps (min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur		Somme (mg)
			(mg/L)	Masse traceur	
0	1	0,005	0,026	0,0	0
2	2	0,005	0,026	1,8	1,7777312
2,5	3	0,008	0,215	2,1	3,8282521
3	4	0,079	4,679	41,7	45,495614
3,5	5	0,184	11,282	135,9	181,38681
4	6	0,166	10,150	182,5	363,85457
4,5	7	0,15	9,144	164,3	528,12
5	8	0,128	7,760	143,9	672,04164
5,5	9	0,117	7,069	126,3	798,29631
6	10	0,133	8,075	128,9	927,22779
7	11	0,113	6,817	253,6	1180,8079
8	12	0,119	7,194	238,6	1419,3978
9	13	0,084	4,994	207,5	1626,9366
10	14	0,091	5,434	177,6	1804,4952
11	15	0,073	4,302	165,8	1970,2758
12	16	0,057	3,296	129,4	2099,6517
13	17	0,056	3,233	111,2	2210,8253
14	18	0,063	3,673	117,6	2328,4232
15	19	0,045	2,541	105,8	2434,2432
16	20	0,039	2,164	80,1	2514,3657
17	21	0,042	2,353	76,9	2591,2761
18	22	0,031	1,661	68,3	2659,6207
19	23	0,032	1,724	57,6	2717,258
20	24	0,029	1,535	55,5	2772,7539
21	25	0,022	1,095	44,8	2817,5425
22	26	0,024	1,221	39,4	2856,9774
23	27	0,026	1,347	43,7	2900,6953
24	28	0,021	1,032	40,5	2941,201
25	29	0,022	1,095	36,2	2977,4238
26	30	0,02	0,969	35,2	3012,5759
28	31	0,018	0,844	61,7	3074,3143
30	32	0,015	0,655	51,0	3125,3454
32	33	0,014	0,592	42,5	3167,8107
34	34	0,013	0,529	38,2	3205,9931
36	35	0,012	0,466	33,9	3239,8926
38	36	0,01	0,341	27,5	3267,3677
40	37	0,01	0,341	23,2	3290,5599
45	38	0,009	0,278	52,6	3343,1869
50	39	0,007	0,152	36,6	3379,753
55	40	0,008	0,215	31,2	3410,9655
60	41	0,007	0,152	31,2	3442,1779
70	42	0,006	0,089	41,0	3483,1884
80	43	0,006	0,089	30,3	3513,4915
90	44	0,005	0,026	19,6	3533,0874
110	45	0,006	0,089	39,2	3572,2792
130	46	0,006	0,089	60,6	3632,8856
150	47	0,005	0,026	39,2	3672,0774

Tableau 33: Résultats bruts de l'essai au traceur 2 (D:160mm, PV)

Temps(min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur (mg/L)	Masse traceur (mg)	Somme (mg)
0	1	0,006	0,089	0,0	0
2	2	0,007	0,152	8,2	8,1948674
3	3	0,007	0,152	5,2	13,362085
4	4	0,047	2,667	48,0	61,320637
5	5	0,147	8,355	197,7	259,04886
6	6	0,144	8,766	301,5	560,54608
7	7	0,121	7,320	273,7	834,22893
8	8	0,114	6,880	241,6	1075,8183
9	9	0,095	5,685	213,8	1289,5933
10	10	0,08	4,742	177,4	1466,9956
11	11	0,067	3,925	147,4	1614,444
12	12	0,062	3,610	128,2	1742,6363
13	13	0,054	3,107	114,3	1856,9214
14	14	0,051	2,919	102,5	1959,4389
15	15	0,04	2,227	87,5	2046,9795
16	16	0,039	2,164	74,7	2121,6826
17	17	0,039	2,164	73,6	2195,316
18	18	0,039	2,164	73,6	2268,9493
19	19	0,038	2,101	72,6	2341,5129
20	20	0,03	1,598	62,9	2404,4484
21	21	0,031	1,661	55,4	2459,8954
22	22	0,028	1,472	53,3	2513,2029
23	23	0,021	1,032	42,6	2555,8126
24	24	0,019	0,906	33,0	2588,7941
25	25	0,02	0,969	31,9	2620,7059
26	26	0,018	0,844	30,8	2651,548
27	27	0,017	0,781	27,6	2679,1806
28	28	0,017	0,781	26,6	2705,7435
29	29	0,018	0,844	27,6	2733,3762
30	30	0,018	0,844	28,7	2762,0786
32	31	0,017	0,781	55,3	2817,344
34	32	0,014	0,592	46,7	2864,051
36	33	0,013	0,529	38,1	2902,1998
38	34	0,013	0,529	36,0	2938,2091
40	35	0,012	0,466	33,9	2972,0787
42	36	0,012	0,466	31,7	3003,8088
44	37	0,011	0,403	29,6	3033,9994
46	38	0,011	0,403	27,5	3060,8504
48	39	0,011	0,403	27,5	3088,3013
50	40	0,01	0,341	25,3	3113,6127
55	41	0,01	0,341	57,9	3171,5423
60	42	0,009	0,278	52,6	3224,123
65	43	0,009	0,278	47,2	3271,3547
70	44	0,008	0,215	41,9	3313,2376
80	45	0,008	0,215	73,1	3386,3054
90	46	0,008	0,215	73,1	3459,3732
100	47	0,007	0,152	62,4	3521,7432
110	48	0,008	0,215	62,4	3584,1133
130	49	0,007	0,152	124,7	3708,8533
150	50	0,007	0,152	103,3	3812,1976

Tableau 34: Résultats bruts de l'essai au traceur 3 (D: 60mm)

Temps (min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur (mg/L)	Masse traceur	Somme (mg)
0	1	0,006	0,096	0,0	0
2	2	0,006	0,096	6,5	6,5203869
2,5	3	0,006	0,096	1,6	8,1504836
3	4	0,013	0,540	5,4	13,537267
3,5	5	0,059	3,456	33,8	47,367539
4	6	0,111	6,753	86,4	133,79143
4,5	7	0,131	8,021	125,1	258,85553
5	8	0,123	7,514	131,5	390,35967
5,5	9	0,125	7,641	128,3	518,64379
6	10	0,129	7,894	131,5	650,14793
6,5	11	0,128	7,831	133,1	783,26207
7	12	0,128	7,831	132,6	915,83955
8	13	0,122	7,450	258,7	1174,5545
9	14	0,112	6,816	241,5	1416,096
10	15	0,104	6,309	222,2	1638,3173
11	16	0,1	6,056	209,3	1847,6587
12	17	0,091	5,485	195,4	2043,0466
13	18	0,071	4,217	164,3	2207,3076
14	19	0,046	2,632	116,0	2323,2684
15	20	0,045	2,569	88,1	2411,3224
16	21	0,045	2,569	87,0	2498,3031
17	22	0,036	1,998	77,3	2575,6237
18	23	0,037	2,062	68,7	2644,3576
19	24	0,025	1,301	56,9	2701,2847
20	25	0,025	1,301	44,0	2745,3318
21	26	0,025	1,301	44,0	2789,3789
22	27	0,024	1,237	43,0	2832,3526
23	28	0,021	1,047	38,7	2871,033
24	29	0,027	1,428	41,9	2912,9334
25	30	0,023	1,174	44,0	2956,9805
26	31	0,025	1,301	41,9	2998,8809
28	32	0,018	0,857	73,1	3071,9483
30	33	0,016	0,730	53,7	3125,6956
32	34	0,012	0,477	40,9	3166,5629
34	35	0,011	0,413	30,1	3196,6967
36	36	0,009	0,286	23,7	3220,3905
38	37	0,009	0,286	19,4	3239,791
40	38	0,009	0,286	19,4	3259,1914
45	39	0,008	0,223	43,1	3302,3259
50	40	0,008	0,223	37,8	3340,0936
55	41	0,008	0,223	37,8	3377,8614
60	42	0,007	0,160	32,4	3410,2624
70	43	0,008	0,223	64,8	3475,0645
80	44	0,007	0,160	64,8	3539,8667
90	45	0,007	0,160	54,1	3593,9354
100	46	0,007	0,160	54,1	3648,0041
130	47	0,008	0,223	194,4	3842,4104
150	48	0,007	0,160	129,6	3972,0146

Tableau 35: Résultats bruts de l'essai au traceur 4 (D: 160mm)

Temps (min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur (mg/L)	Masse traceur	Somme (mg)
0	1	0,008	0,223	0,0	0
3,5	2	0,009	0,286	29,4	29,36879
4	3	0,045	2,569	23,5	52,878343
4,5	4	0,073	4,344	56,9	109,79592
5	5	0,115	7,007	93,5	203,25351
5,5	6	0,126	7,704	121,1	324,37713
6	7	0,143	8,782	135,7	460,11675
6,5	8	0,131	8,021	138,3	598,46637
7	9	0,127	7,767	130,0	728,46399
7,5	10	0,121	7,387	124,8	853,24161
8	11	0,115	7,007	118,5	971,75522
9	12	0,106	6,436	221,4	1193,1224
10	13	0,093	5,612	198,4	1391,5216
11	14	0,086	5,168	177,5	1569,0408
12	15	0,075	4,471	158,7	1727,768
13	16	0,064	3,773	135,8	1863,5272
14	17	0,05	2,886	109,7	1973,1863
15	18	0,046	2,632	90,9	2064,0534
16	19	0,039	2,188	79,4	2143,4366
17	20	0,035	1,935	67,9	2211,3357
18	21	0,03	1,618	58,5	2269,8388
19	22	0,032	1,745	55,4	2325,2099
20	23	0,033	1,808	58,5	2383,713
21	24	0,031	1,681	57,5	2441,1721
22	25	0,033	1,808	57,5	2498,6312
23	26	0,029	1,554	55,4	2554,0024
24	27	0,027	1,428	49,1	2603,1095
25	28	0,021	1,047	40,8	2643,8646
26	29	0,019	0,920	32,4	2676,2677
28	30	0,021	1,047	64,8	2741,0739
30	31	0,018	0,857	62,7	2803,7921
32	32	0,016	0,730	52,3	2856,0702
34	33	0,013	0,540	41,8	2897,9084
36	34	0,012	0,477	33,5	2931,3946
38	35	0,013	0,540	33,5	2964,8808
40	36	0,013	0,540	35,6	3000,4549
45	37	0,012	0,477	83,7	3084,1704
50	38	0,011	0,413	73,3	3157,4458
55	39	0,01	0,350	62,8	3220,2813
60	40	0,009	0,286	52,4	3272,6767
70	41	0,009	0,286	94,4	3367,0275
80	42	0,009	0,286	94,4	3461,3783
90	43	0,009	0,286	94,4	3555,7292
110	44	0,008	0,223	167,8	3723,5508
130	45	0,008	0,223	146,9	3870,4925
150	46	0,007	0,160	126,1	3996,5541

Tableau 36: Résultats bruts de l'essai au traceur 5 (D: Long)

Temps (min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur (mg/L)	Masse traceur	Somme (mg)
0	1	0,03	0,073	0,0	0
3	2	0,029	0,060	6,6	6,5770817
4	3	0,043	0,237	4,9	11,475799
5	4	0,2	2,216	40,5	51,973515
6	5	0,467	5,582	128,8	180,74009
7	6	0,636	7,712	219,5	400,27371
8	7	0,699	8,506	267,8	668,10538
9	8	0,7	8,519	281,2	949,26065
9,5	9	0,672	8,166	137,8	1087,0278
10	10	0,621	7,523	129,5	1216,5719
10,5	11	0,596	7,208	121,6	1338,205
11	12	0,564	6,804	115,7	1453,905
11,5	13	0,526	6,325	108,4	1562,3186
12	14	0,489	5,859	100,6	1662,9254
12,5	15	0,457	5,455	93,4	1756,35
13	16	0,431	5,128	87,4	1843,7373
13,5	17	0,402	4,762	81,7	1925,3997
14	18	0,371	4,371	75,4	2000,8166
14,5	19	0,344	4,031	69,4	2070,1962
15	20	0,332	3,880	65,3	2135,5163
15,5	21	0,302	3,502	60,9	2196,4646
16	22	0,289	3,338	56,5	2252,937
16,5	23	0,272	3,123	53,3	2306,2867
17	24	0,255	2,909	49,8	2356,0973
17,5	25	0,237	2,682	46,2	2402,2647
18	26	0,218	2,443	42,3	2444,5808
18,5	27	0,204	2,266	38,9	2483,4619
19	28	0,191	2,102	36,1	2519,5325
19,5	29	0,18	1,964	33,6	2553,105
20	30	0,168	1,812	31,2	2584,2834
21	31	0,147	1,548	55,5	2639,7701
22	32	0,137	1,422	49,0	2688,8033
23	33	0,127	1,295	44,9	2733,6728
24	34	0,118	1,182	40,9	2774,5869
25	35	0,11	1,081	37,4	2811,9619
26	36	0,102	0,980	34,0	2846,006
27	37	0,094	0,879	30,7	2876,7192
28	38	0,085	0,766	27,2	2903,8933
30	39	0,071	0,590	44,8	2948,6652
32	40	0,061	0,463	34,8	2983,4444
36	41	0,059	0,438	59,6	3043,01
40	42	0,047	0,287	47,9	3090,9175
45	43	0,04	0,199	40,1	3131,0247
50	44	0,036	0,148	28,7	3159,6819
60	45	0,033	0,110	42,7	3202,4237
70	46	0,031	0,085	32,3	3234,7563
95	47	0,029	0,060	60,0	3294,7699

Tableau 37: Résultats bruts de l'essai au traceur 6 (D: Long, PV)

Temps (min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur (mg/L)	Masse traceur	Somme (mg)
0	1	0,03	0,073	0,0	0
3	2	0,029	0,060	6,5	6,5025377
4	3	0,031	0,085	2,4	8,875872
5	4	0,24	2,720	45,8	54,6776
6	5	0,794	9,704	202,8	257,52134
7	6	0,855	10,473	329,4	586,94546
7,5	7	0,833	10,195	168,7	755,67105
8	8	0,744	9,073	157,3	912,97353
8,5	9	0,668	8,115	140,3	1053,2957
9	10	0,616	7,460	127,1	1180,4453
9,5	11	0,555	6,691	115,5	1295,966
10	12	0,535	6,439	107,2	1403,1508
10,5	13	0,513	6,161	102,9	1506,0135
11	14	0,479	5,733	97,1	1603,1131
11,5	15	0,456	5,443	91,2	1694,3468
12	16	0,432	5,140	86,4	1780,7436
12,5	17	0,41	4,863	81,7	1862,4066
13	18	0,393	4,649	77,6	1940,0561
13,5	19	0,353	4,144	71,8	2011,8396
14	20	0,335	3,918	65,8	2077,6543
14,5	21	0,319	3,716	62,3	2139,9701
15	22	0,283	3,262	57,0	2196,9344
15,5	23	0,267	3,060	51,6	2248,5474
16	24	0,256	2,922	48,8	2297,3818
16,5	25	0,241	2,733	46,2	2343,5406
17	26	0,229	2,581	43,4	2386,9207
17,5	27	0,21	2,342	40,2	2427,1106
18	28	0,197	2,178	36,9	2464,0073
19	29	0,178	1,938	67,2	2531,2145
20	30	0,16	1,711	59,6	2590,8063
21	31	0,141	1,472	52,0	2642,7827
22	32	0,126	1,283	45,0	2687,7611
23	33	0,115	1,144	39,6	2727,3882
25	34	0,097	0,917	67,3	2794,7047
27	35	0,078	0,678	52,1	2846,7904
29	36	0,073	0,615	42,2	2888,9966
31	37	0,064	0,501	36,4	2925,4398
33	38	0,064	0,501	32,7	2958,1782
35	39	0,056	0,400	29,4	2987,6235
40	40	0,045	0,262	54,1	3041,6836
45	41	0,04	0,199	37,6	3079,278
50	42	0,037	0,161	29,4	3108,6396
55	43	0,037	0,161	26,3	3134,9138
60	44	0,036	0,148	25,2	3160,1588
70	45	0,033	0,110	42,3	3202,4161
90	46	0,031	0,085	63,9	3266,3486

Tableau 38: Résultats bruts de l'essai au traceur 7 (D: Long, PDT)

Temps (min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur (mg/L)	Masse traceur	Somme (mg)
0	1	0,023	0,000	0,0	0
3	2	0,023	0,000	0,0	0
4	3	0,024	0,000	0,0	0
5	4	0,05	0,300	5,0	4,9829772
6	5	0,234	2,580	47,9	52,846949
7	6	0,368	4,240	113,4	166,20858
7,5	7	0,494	5,802	83,5	249,66517
8	8	0,6	7,115	107,3	357,01399
8,5	9	0,696	8,305	128,2	485,16553
9	10	0,746	8,925	143,2	628,35269
9,5	11	0,771	9,234	150,9	779,26363
10	12	0,777	9,309	154,1	933,36707
10,5	13	0,753	9,011	152,2	1085,6168
11	14	0,718	8,578	146,2	1231,7905
11,5	15	0,672	8,008	137,8	1369,6225
12	16	0,637	7,574	129,5	1499,1128
12,5	17	0,584	6,917	120,4	1619,5406
13	18	0,542	6,397	110,6	1730,1849
13,5	19	0,493	5,789	101,3	1831,4577
14	20	0,454	5,306	92,2	1923,6679
14,5	21	0,415	4,823	84,2	2007,8453
15	22	0,368	4,240	75,3	2083,1662
15,5	23	0,343	3,931	67,9	2151,0723
16	24	0,319	3,633	62,9	2213,9321
16,5	25	0,294	3,323	57,8	2271,7457
17	26	0,254	2,828	51,1	2322,8654
18	27	0,201	2,171	43,1	2405,9498
19	28	0,177	1,874	37,2	2473,1748
20	29	0,145	1,477	31,7	2528,8655
21	30	0,127	1,254	27,4	2574,2579
22	31	0,112	1,068	23,6	2612,8533
23	32	0,095	0,857	20,0	2644,8578
24	33	0,089	0,783	17,3	2672,125
26	34	0,081	0,684	14,8	2720,8924
28	35	0,074	0,597	12,6	2763,4807
30	36	0,065	0,486	10,6	2799,4781
35	37	0,049	0,287	6,4	2863,7256
40	38	0,041	0,188	3,9	2903,257
45	39	0,037	0,139	2,7	2930,4303
50	40	0,033	0,089	1,8	2949,3649
60	41	0,029	0,040	1,1	2970,7568
70	42	0,028	0,027	0,7	2981,8504
80	43	0,026	0,002	0,1	2986,7649
90	44	0,026	0,002	0,1	2987,56

Tableau 39: Résultats de l'essai au traceur 8 (D: Long, PV, PDT)

Temps (min)	No du tube	Lecture colorimètre	Concentration en traceur (mg/L)	Masse traceur	Somme (mg)
0	1	0,025	0,010	0,0	0
3	2	0,025	0,010	1,0	0,9624306
4	3	0,025	0,010	0,3	1,2832409
5	4	0,074	0,627	10,6	11,87154
6	5	0,193	2,127	45,8	57,66266
7	6	0,383	4,523	110,5	168,20183
7,5	7	0,589	7,119	96,8	264,96045
8	8	0,718	8,746	131,9	396,81712
8,5	9	0,788	9,628	152,7	549,52308
9	10	0,819	10,019	163,3	712,81084
9,5	11	0,819	10,019	166,5	879,34648
10	12	0,774	9,452	161,8	1041,1675
10,5	13	0,726	8,846	152,1	1193,2448
11	14	0,674	8,191	141,6	1334,8451
11,5	15	0,628	7,611	131,3	1466,1779
12	16	0,568	6,855	120,2	1586,4051
12,5	17	0,531	6,388	110,1	1696,4695
13	18	0,487	5,834	101,6	1798,0476
13,5	19	0,451	5,380	93,2	1891,244
14	20	0,408	4,838	84,9	1976,1636
14,5	21	0,372	4,384	76,6	2052,8063
15	22	0,336	3,930	69,1	2121,9056
15,5	23	0,31	3,602	62,6	2184,5091
16	24	0,278	3,199	56,5	2241,0359
16,5	25	0,261	2,985	51,4	2292,429
17	26	0,239	2,707	47,3	2339,736
18	27	0,215	2,405	85,0	2424,7112
19	28	0,183	2,001	73,2	2497,9522
20	29	0,171	1,850	64,0	2561,9733
21	30	0,167	1,800	60,7	2622,6418
22	31	0,158	1,686	57,9	2680,5863
23	32	0,138	1,434	51,9	2732,4541
24	33	0,114	1,132	42,6	2775,1021
26	34	0,086	0,779	63,5	2838,6059
28	35	0,084	0,753	50,9	2889,5373
30	36	0,077	0,665	47,2	2936,6969
35	37	0,05	0,325	82,3	3018,9741
40	38	0,048	0,300	51,9	3070,8679
45	39	0,037	0,161	38,3	3109,1416
50	40	0,034	0,123	23,6	3132,7474
60	41	0,03	0,073	32,5	3165,2912
70	42	0,027	0,035	17,9	3183,1671
80	43	0,026	0,022	9,5	3192,6614
90	44	0,025	0,010	5,3	3197,9649

12. Annexe E : Résultats bruts des essais de traitement d'eau (phase III)

Tableau 40: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 1 à 25 (1)

Configuration				#	Tests							
					Turbidité			Turbidité sortie potentielle	pH au début		pH à la fin	
Déversoir	Panneau vertical à l'entrée	Ported Baffle	Floculation	Turbidité moyenne entrée	Turbidité moyenne sortie	% réduction	Inlet		Oulet	Inlet	Oulet	
160mm	Sans	Sans	Aucune	1	406	168	58,6					
80mm	Sans	Sans	Aucune	3	259	167	35,5	1,77	7,9	6,5	7,9	6,5
Longitudinal	Sans	Sans	Aucune	4	253	162	36,0		7,9	6,6	8	6,6
Longitudinal	Avec	Sans	Aucune	5	256	225	12,1	4,95	7,8	6,3	8	6,5
Longitudinal	Sans	Avec	Aucune	6	250	148	40,8	3,6				
Longitudinal	Avec	Avec	Aucune	7	253	204	19,4	4,2				
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 6,4 cm (15min)	8	254	34,5	86,4	4,07				
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 6,4 cm (15 min)	8	249	38,5	84,5					
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)	9	254	27,1	89,3	3,03				
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)	9	251	31,7	87,4					
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,56,49,9 cm (15 min)	10	254	35,0	86,2	4,21				
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,56,49,9 cm (15 min)	10	244	42,3	82,7					
Longitudinal	Sans	Avec	ATE 2,52,56,4 cm (15 min)	11	249	38,5	84,5	4,08				
Longitudinal	Avec	Avec	ATE 2,52,56,4 cm (15 min)	11	246	39	84,1					
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat hose 2" (6 min)	12	250	69,8	72,1	2,52				
Longitudinal	Avec	Avec	Lay flat hose 2" (6 min)	12	250	73,3	70,7					
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat hose 1,5" (5 min)	13	250	112	55,2	3,76				
Longitudinal	Avec	Avec	Lay flat hose 1,5" (5 min)	13	252	125	50,4					
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)	14	264	32,1	87,8	4	7,5	6,3	8	6,1
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)	14	261	35	86,6					
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min)	15	265	35	86,8	4,28	7,6	6,1	8,1	6,1
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min)	15	268	47,3	82,4					
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	16	264	8	97,0	14,7	7,6	6,2	8,1	6
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	16	262	9,1	96,5					
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (2,5 min) + LFH 2" (6 min)	17	262	62	76,3	17	7,7	6,3		
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 6,4 cm (2,5 min) + LFH 2" (6 min)	18	248	113	54,4	28,4	7,9	6,3		
Longitudinal	Sans	Avec	DAU, 2,5 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	19	248	36,5	85,3	12,8	7,5	6,5	8	6,1
Longitudinal	Sans	Avec	DAU, 6,4 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	20	261	28,1	89,2	8,6	7,8	6,4		
Longitudinal	Sans	Avec	DAU 2,5 cm + 6,4 cm + LFH 2" (6 min)	21	273	26,5	90,3	25,9	7,7	6,4	8	5,9
Longitudinal	Sans	Avec	DAU 2,5 cm + 6,4 cm + 9,9 cm + LFH 2" (6 min)	22	276	21,7	92,1	13	7,6	6,2	8	6,1
Longitudinal	Sans	Avec	DAU 6,4 cm + 9,9 cm + LFH 2" (6 min)	23	225	27,7	87,7	4,24	7,7	6,2	8,1	6
Longitudinal	Sans	Avec	ATE 2,5 cm (7,5 min) + LFH 2" (6 min)	24	287	24,4	91,5	14,1	7,4	6,2	8,1	6,2
Longitudinal	Sans	Avec	ATE 2,5 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	25	292	33	88,7	8,31	7,6	6,4		

Tableau 41: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 1 à 25 (2)

Configuration				Tests								
Déversoir	Panneau vertical à l'entrée	Ported Baffle	Floculation	#	Alcalinité au début		Alcalinité à la fin		Dose d'alun moyenne (mg/l)	Température moyenne	Perte charge mesurée floculateur (cm)	Test bécber entrée décanteur
					Inlet	Outlet	Inlet	Outlet				
160mm	Sans	Sans	Aucune	1					58			
60mm	Sans	Sans	Aucune	3					60			
Longitudinal	Sans	Sans	Aucune	4					60			
Longitudinal	Avec	Sans	Aucune	5					73			
Longitudinal	Sans	Avec	Aucune	6					60			
Longitudinal	Avec	Avec	Aucune	7					62			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 6,4 cm (15min)						82			26,6
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 6,4 cm (15 min)	8					78			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)						78			24,2
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)	9					81			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,56,49,9 cm (15 min)						79			31,6
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,56,49,9 cm (15 min)	10					78			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE 2,52,56,4 cm (15 min)						73			
Longitudinal	Avec	Avec	ATE 2,52,56,4 cm (15 min)	11					102			
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat hose 2" (6 min)						80			
Longitudinal	Avec	Avec	Lay flat hose 2" (6 min)	12					79			
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat hose 1,5" (5 min)						79			
Longitudinal	Avec	Avec	Lay flat hose 1,5" (5 min)	13					81			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)		90,4	63,6	76	42,8	82	16,3	1	29,5
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (15 min)	14					79			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min)		85,2	54,4	76	42,4	86	16,5	0,3	39
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min)	15					81			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)		104,8	59,2	74	45,2	84,6	17	0,4	7,54
Longitudinal	Avec	Avec	ATE, 2,5 cm (5 min) +LFH 2" (6 min)	16					84			
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 2,5 cm (2,5 min) + LFH 2" (6 min)	17	93,6	53,6	75	41,2	109	9	0,15	17
Longitudinal	Sans	Avec	ATE, 6,4 cm (2,5 min) + LFH 2" (6 min)	18	59,2	41,2	63,6	40,4	82	6,5	0,1	169
Longitudinal	Sans	Avec	DAU, 2,5 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	19	82,8	60,4	67	40,4	79	10,5	1,4	31,2
Longitudinal	Sans	Avec	DAU, 6,4 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	20	82,4	58	58,4	42	78	12,5	0,2	31,1
Longitudinal	Sans	Avec	DAU 2,5 cm + 6,4 cm + LFH 2" (6 min)	21	108,8	58	68	33,6	101	12,5	0,5	25,5
Longitudinal	Sans	Avec	DAU 2,5 cm + 6,4 cm + 9,9 cm + LFH 2" (6 min)	22	108,4	46,4	72	42	80	13,5	0,4	17
Longitudinal	Sans	Avec	DAU 6,4 cm + 9,9 cm + LFH 2" (6 min)	23	85,6	56	71,2	34	105	13,5	0,1	36,6
Longitudinal	Sans	Avec	ATE 2,5 cm (7,5 min) + LFH 2" (6 min)	24	91,2	66,8	82	44	85	16	1,4	26,5
Longitudinal	Sans	Avec	ATE 2,5 cm (5 min) + LFH 2" (6 min)	25	80,8	64			104	17		45,6

Tableau 42: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 26 à 46 (1)

Configuration				#	Tests							
Déversoir	Panneau vertical à l'entrée	Ported Baffle	Floculation		Turbidité			pH au début		pH à la fin		
					Turbidité moyenne entrée	Turbidité moyenne sortie	% réduction	Turbidité sortie potentielle	Inlet	Oulet	Inlet	Oulet
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 10 min 6,4 cm	26	291	8,3	97,1	6,19	8,2	6,4		
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 10 min 6,4-6,4-9,9 (CP)	27	291	5,69	98,0	6,92	8,1	6,4	8,6	6,3
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 10 min 2,9-6,4-9,9 (CP)	28	299	4,11	98,6	4,26	8,1	6,5	8,5	6,3
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 9,9 cm (CP)	29	300	4,61	98,5	6,48	7,9	6,5	8,1	5,7
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-9,9 cm (CP)	30	308	4,19	98,6	7,57	7,5	5,9	8,1	5,6
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-6,4-9,9 cm (CP)	31	316	3,62	98,9	4,58	7,6	6,3		
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	32	300	4,39	98,5	10,1	7,5	6,1	8,2	6,3
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-12,8 cm (CP)	33	285	4,45	98,4	10,5	7,4	6,4	7,5	6,2
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-12,8 cm (CP)	34	50	7,81	84,4	8,61	7,3	5,6	7,3	5,7
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	35	52	4,39	91,6	6,53	7,4	5,9	7,5	5,9
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-6,4-9,9 cm (CP)	36	53	6,29	88,1	7,01	7,5	6	7,5	6
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-9,9 cm (CP)	37	51	5,82	88,6	7,89	7,5	6,1	7,5	6,1
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-2,9-6,4 cm (CP)	38	51	4,34	91,5	7,64	7,4	6	7,5	6,1
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-2,9-6,4 cm (CP)	39	310	6,15	98,0	15,2	7,4	6	7,5	5,8
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 3,6 min 2,9-6,4 cm (CP)	40	51	9,27	81,8	5,46	7,4	6,3	7,4	6,3
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 3,6 min 6,4-9,9 cm (CP)	41	50	15,2	69,6	5,82	7,4	6,1	7,4	6,1
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	42	53	6,46	87,8	5,86	7,4	6,1	7,2	5,9
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	43	675	9,17	98,6	14,6	7,5	6,2		
Longitudinal	Sans	Avec	Comme #35: 34 des plaques	44	52	6,95	86,6	4,07	7,3	5,8	7,3	5,5
Longitudinal	Sans	Avec	Comme #35: Dose d'alum comme #1-25	45	325	4,75	98,5	11	7,6	6,6	7,7	6,5
Longitudinal	Sans	Avec	Comme #35: Avec Polymères	46	52	3,87	92,6	2,76	7,5	6,4	7,5	6,5

Tableau 43: Résultats bruts des essais de traitement d'eau: essais 26 à 46 (2)

Configuration				#	Tests							
Déversoir	Panneau vertical à l'entrée	Ported Baffle	Floculation		Alcalinité au début		Alcalinité à la fin		Dose d'alun moyenne (mg/l)	Température moyenne	Perte charge mesurée floculateur (cm)	Test bécher entrée décanteur
					Inlet	Oulet	Inlet	Oulet				
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 10 min 6,4 cm	26	112,8	50	90,4	38	130	17	0,4	12,1
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 10 min 6,4-6,4-9,9 (CP)	27	104,4	54,8	89,6	37,6	139	17	0,4	7,46
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 10 min 2,9-6,4-9,9 (CP)	28	119,2	61,6	79,2	36	131	18	1,2	7,75
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 9,9 cm (CP)	29	118	66	89,6	32	158	18	0,9	6,48
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-9,9 cm (CP)	30	123,2	47,2	94,8	25,2	150	18	0,8	10,8
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-6,4-9,9 cm (CP)	31	114	65,2	96	55,6	105	17	1	9,02
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	32	110	54,8	103,6	57,6	100	16	3,3	16,7
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-12,8 cm (CP)	33	112,8	77,2	90,4	61,6	83	16	1	6,53
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-12,8 cm (CP)	34	56	16	52,8	20	91	17		11,2
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	35	58	24,4	41,2	28,4	66	17	3,7	8,28
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-6,4-9,9 cm (CP)	36	54	26,8	53,2	27,2	65	17	1,1	11,5
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 6,4-9,9-9,9 cm (CP)	37	55,2	29,6	56	30	65	17	0,9	6,95
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-2,9-6,4 cm (CP)	38	56	28	51,2	29,2	62	17	5,7	6,32
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-2,9-6,4 cm (CP)	39	124,8	54,4	96,8	38,8	143	17	5,2	31,8
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 3,6 min 2,9-6,4 cm (CP)	40	54,8	36,4	53,2	37,6	44	14	3,2	12,3
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 3,6 min 6,4-9,9 cm (CP)	41	57,2	32,4	52,4	29,6	61	14,5	0,9	21,4
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	42	44,9	20,5	44,4	20,1	59,2	16	3,5	12,5
Longitudinal	Sans	Avec	Lay flat coag. + ATE 6 min 2,9-6,4-9,9 cm (CP)	43	130	65	118	50	171	16	3,6	15,3
Longitudinal	Sans	Avec	Comme #35: 34 des plaques	44	59,6	22,8	55,2	19,2	93	16	3,8	9,41
Longitudinal	Sans	Avec	Comme #35: Dose d'alum comme #1-25	45	122	92	99,6	72	68	17	3,5	10,3
Longitudinal	Sans	Avec	Comme #35: Avec Polymères	46	58	39	58	39	48	17	3,8	4,24

13. Annexe F : Caractéristiques des consommables utilisés

13.1. Traceur

Fournisseur : Sigma-Aldrich

Nom du produit : Nigrosin

La figure suivante donne les détails de la feuille des caractéristiques du produit :

Specification Sheet		SIGMA-ALDRICH
Product Name	Nigrosin water soluble, powder, BioReagent, suitable for cell culture	
Product Number	N4763	
Product Brand	SIGMA	
CAS Number	8005-03-6	
TEST	SPECIFICATION	
APPEARANCE	BROWN TO BLACK POWDER	
SOLUBILITY	DARK BLUE TO DARK VIOLET SOLUTION AT 1MG/ML IN WATER	
ULTRAVIOLET/VISIBLE SPECTRUM	E1% = APPROX. 250 AT LAMBDA MAX APPROX. 575NM IN 50% ETHANOL	
CELL CULTURE TEST	PASS	

Figure 92: Caractéristiques du traceur utilisé (Nigrosin)

13.2. Kaolin

Fournisseur : NaturoSource

Nom du produit : Argile Kaolin Blanche Superfine

13.3. Coagulant (Alun)

Fournisseur 1 : Station de production d'eau potable de Charny

Nom du produit : Alun liquide

La figure suivante représente la première page de la fiche signalétique du produit et donne certaines caractéristiques :

NFPA		HMIS	PPE	Symbole (s)	
				 Réglementé	
Date de préparation : 21 Février 2013			Numéro de révision: 1		
1. IDENTIFICATION DU PRODUIT ET DE LA SOCIÉTÉ					
Nom du produit:	Alun Liquide				
Autre nom générique du produit:	Sulfate d'Aluminium en solution aqueuse, Alun, Alun 48, Sulfate d'Aluminium 48%				
Utilisation recommandée:	Traitement de l'eau. Diverses applications industrielles.				
Fabricant:	General Chemical, LLC 90 East Halsey Road Parsippany, NJ 07054 General Chemical Performance Products Ltd. 90 East Halsey Road Parsippany, NJ 07054				
Information supplémentaire:	Service à la clientèle ETATS-UNIS SEULEMENT: 800-631-8050 (Lundi - Vendredi 9:00AM – 4:30PM) Service à la clientèle CANADA SEULEMENT: 866-543-3896 (Lundi - Vendredi 9:00AM – 4:30PM)				
Numéro de téléphone d'appel d'urgence:	Etats-Unis seulement - Appeler CHEMTREC: 800-424-9300 (24h/Jour, 7 Jours/semaine) CANADA seulement - Appeler CANUTEC: 613-996-6666 (24 h/Jour, 7 Jours/semaine)				
2. IDENTIFICATION DES DANGERS					
Aperçu des premiers secours: Un liquide transparent, vert pâle ou ambre sans odeur. Peut irriter la peau et les yeux. N'est pas inflammable, mais peut dégager des vapeurs toxiques si décomposé dans un incendie					
Usage homologué par OSHA: Ce matériel est considéré dangereux par le standard de communication des dangers de l'OSHA (29 CFR 1910.1200)					
Effets potentiels sur la santé					
Peau:	Peut causer une irritation de la peau.				
Yeux:	Peut fortement irriter ou brûler les yeux.				
Inhalation:	Peut causer des irritations des voies respiratoires.				
Ingestion:	Peut irriter le tractus gastro-intestinal. Les solutions concentrées peuvent causer des brûlures de l'appareil digestif.				
Effets à long terme:	Inconnu.				
3. COMPOSITION/INFORMATION SUR LES COMPOSANTES					
Nom Chimique	No. CAS	% en poids			
Sulfate d'Aluminium	10043-01-3	~48.5 (base sèche)			
Eau	7732-18-5	Balance			

Figure 93: Fiche signalétique de l'alun fourni par la station de production d'eau potable de Charny (page 1)

Fournisseur 2 : Laboratoire Mag Québec

Nom du produit : Alun liquide

Les figures suivantes représentent les deux premières pages de la fiche signalétique du produit et donne certaines caractéristiques :


**LABORATOIRE
MAG QUÉBEC Inc.**
**FICHE SIGNALÉTIQUE
ALUN LIQUIDE**

**1. IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE OU DU MÉLANGE ET
IDENTIFICATION DU FOURNISSEUR**

LABORATOIRE MAG QUÉBEC INC. 1219, Vincent Massey Québec (Québec) Canada, G1N 1N2	☎ 418-681-5540 ou 1-800-475-8862 ☎ 418-681-1929 ✉ COURRIEL : info@laboratoiremagquebec.com
URGENCE : CANUTEC : 613-996-6666	CENTRE ANTI- POISON 1-800-463-5060
NOM DU PRODUIT :	ALUN LIQUIDE

Date de révision :	2011-11-23
Date d'entrée en vigueur :	2008-10-31
Date d'expiration :	2014-11-23

2. IDENTIFICATION DES DANGERS

ATTENTION !

Provoque une irritation des yeux et de la peau. Ne pas mettre en contact avec les yeux, la peau ou les vêtements. Éviter de respirer les vapeurs ou le brouillard. Conserver le récipient fermé. Utiliser uniquement dans un environnement bien aéré. Laver abondamment après usage.

Effets potentiels sur la santé

Voies d'exposition :

Contact avec les yeux, contact cutané, ingestion, inhalation.

Contact avec les yeux

Irritant pour les yeux.

Contact avec la peau

Irritant pour la peau. L'aluminium est très mal absorbé par la peau et il n'y a pas lieu de s'attendre à des effets toxiques suivant un court contact avec la peau. L'exposition prolongée et répétée à des solutions diluées peut causer une irritation, des rougeurs, de la douleur ainsi que l'assèchement et la gerçure de la peau.

Ingestion

Les brouillards et vapeurs causent une irritation plus ou moins prononcée du nez, de la gorge et des voies respiratoires.

Inhalation

Peut provoquer l'irritation du revêtement de l'estomac. L'ingestion n'est pas un élément courant de l'exposition professionnelle.

Condition médicale aggravée

L'irritation cutanée peut être aggravée chez les personnes ayant des lésions cutanées existantes. L'aspiration de vapeurs ou de gouttelettes (brouillards) peut aggraver l'asthme aigu ou chronique et une maladie pulmonaire chronique telle l'emphysème et la bronchite.

3. COMPOSITION ET INFORMATION SUR LES INGRÉDIENTS

NOM	No.-CAS	% EN POID
SULFATE D'ALUMINIUM	16828-12-9	45-55

Figure 94: Fiche signalétique de l'alun fourni par le laboratoire MAG Québec (page 1)

**FICHE SIGNALÉTIQUE
ALUN LIQUIDE**

La présente fiche signalétique est en vigueur pendant trois ans.

Date de révision : 2011-11-23
Date d'entrée en vigueur : 2008-10-31
Date d'expiration : 2014-11-23

Nom du produit :	Solution de sulfate d'aluminium
Nom chimique :	Sulfate d'aluminium hydraté
Synonyme :	Alun liquide; solution de sulfate d'aluminium; l'acide sulfurique; le sel d'aluminium.
Famille chimique :	Sulfate d'aluminium hydraté
Formule moléculaire :	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
Classification / Symbole SIMDUT :	

E: Liquide corrosif.



D-2B: Matières

causant d'autres



effets toxiques

Code du produit : 16828-12-9

Description d'utilisation du produit :

L'alun est utilisé comme agent coagulant dans le traitement des eaux des municipalités et des industries et/ou dans l'encollage du papier dans le secteur des produits forestiers. Le traitement de l'eau; le traitement de coulage

Ce produit est classé comme dangereux sous les lois de l'OSHA aux États-Unis et du SIMDUT au Canada.

Figure 95: Fiche signalétique de l'alun fourni par le laboratoire MAG Québec (page 2)

13.4. Flocculant (Polymère)

Hydrex

FICHE SIGNALÉTIQUE

1. Identification du produit et de l'entreprise

Identificateur du produit	Hydrex 3613
Version n°	01
Date de publication	29-juillet-2014
No CAS	Mélange
Usage du produit	Flocculant pour eau potable
Fabricant	
Fournisseur	VWS Canada
Adresse	2000 Argentinia Road, Plaza IV, Suite 430 Mississauga, ON L5N 1W1 Canada
Personne à contacter	Hydrex Product Specialist
Téléphone	(905) 286-4846
Télécopie	(905) 286-0488
courriel	vwsCanada.hydrEx@veoliawater.com
24 Hr Numéro de téléphone d'appel d'urgence	+1-760-476-3962 (Code:333239)

2. Identification des risques

Description générale des risques	DANGER Le matériau peut être glissant lorsque mouillé.
Effets potentiels sur la santé	
Voies d'exposition	Inhalation.
Yeux	Le contact avec les yeux peut provoquer une irritation. La poussière ou la poudre peuvent irriter le tissu oculaire.
Peau	Aucun effet irritant pour la peau.
Inhalation	Toute inhalation prolongée peut être nocive.
Ingestion	Ne pas ingérer. Aucun effet néfaste significatif n'est attendu de l'ingestion du produit.
Effets potentiels sur l'environnement	Les composants de ce produit sont dangereux pour la faune et la flore aquatiques. Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement.

3. Composition / Renseignements sur les ingrédients

Composants non dangereux	No CAS	Pour cent
ACIDE ADIPIQUE	124-04-9	3 - 7
Autres composés sous les niveaux déclarables		60 - 100

4. Mesures de premiers soins

Procédures de premiers soins	
Contact avec les yeux	Rincer avec de l'eau. Consulter un médecin si une irritation se développe et persiste.
Contact cutané	Rincer la peau à l'eau/se doucher. Consulter un médecin si une irritation se développe et persiste.
Inhalation	S'il y a une respiration difficile, retirez-vous à l'air frais et gardez-vous au repos dans une position confortable pour respirer. Appeler un médecin si les symptômes se développent ou s'ils persistent.
Ingestion	Rincer la bouche. En cas d'ingestion en grande quantité, appeler immédiatement un centre antipoison.
Conseils généraux	En cas de malaise, consulter un médecin (si possible lui montrer l'étiquette). Montrer cette fiche technique signalétique au médecin en consultation.

5. Mesures de lutte contre le feu

Indice d'inflammabilité	Non inflammable d'après les critères du SIMDUT.
-------------------------	-------------------------------------------------

Nom de la substance: Hydrex 3613
2641 Version n°: 01 Date de publication: 29-juillet-2014
MSDS Canada



1 / 5