



UNIVERSITÉ
LAVAL



Rapport de stage

Modélisation de l'unité de biofiltration de la station d'assainissement Est de Québec

Nicolas CALMEJANE
Rédigé le 23/10/2015



INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
TOULOUSE

Etablissement d'accueil :

Université Laval
Département Génie Civil et Génie
des Eaux
Chaire de Recherche modelEAU
Pavillon Adrien Pouliot 1065 Avenue de la
Médecine G1V 0A6, Québec, QC, Canada

École d'origine :

Institut National des Sciences
Appliquées Département de
Toulouse
Génie des Procédés et
Environnement
135, avenue de Rangueil 31077 Toulouse
Cedex 4, France

Tuteurs de stage :

M. Peter Vanrolleghem
M. Paul Lessard
Mme. Sovanna Tik

Tuteur référent INSA :

M. Mathieu Spérandio

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord au Professeur Vanrolleghem qui m'a permis de réaliser ce stage et qui m'a soutenu et tutoré pendant mon stage.

Je remercie également le Professeur Lessard et Mme Tik, alors étudiante au doctorat, pour m'avoir soutenu tout le long de ce projet et pour avoir su répondre à mes questions et débloquent des problèmes que je ne parvenais pas à résoudre.

M. Dufour travaillant à la station Est de Québec mérite également tous mes remerciements pour avoir répondu à toutes mes questions sur le fonctionnement du biofiltre, pour les données fournies et pour la visite privilégiée à laquelle j'ai eu droit.

Je tiens à remercier ensuite toute l'équipe modelEAU et en particulier Mme Leduc professionnelle de recherche qui m'a aidé dans mes démarches administratives et M Saing également professionnel de recherche qui m'a fait visiter les laboratoires du département de recherche et qui m'a fait passer la visite de sécurité.

Je remercie aussi tous les stagiaires qui m'ont accompagnés durant cette aventure et notamment Yumeng Zhao qui a réalisé son stage sur la même période.

Merci enfin à l'Université Laval et au département Génie des eaux pour son accueil ainsi qu'à la ville de Québec pour m'avoir permis de réaliser ce stage avec les données de la station de la ville.

Résumé

La modélisation de l'unité de biofiltration de la station d'épuration de la ville de Québec s'inscrit dans le cadre de la recherche d'un modèle dynamique global allant de la collecte des eaux usées de la ville de Québec jusqu'au rejet de ces eaux dans le Saint Laurent.

La modélisation concerne une unité de biofiltration composée de 30 modules biofiltres Biofor® développés par Degrémont Suez dans la station Est de la ville. Cette étape de biofiltration intervient dans le traitement des matières carbonées et des MES. La biofiltration Biodrof® consiste en la filtration de l'eau sale en courant descendant par aspiration forcée au travers d'un média filtrant. Ce dernier sert également de support à un biofilm dont le rôle va être de dégrader la matière organique. Le procédé de biofiltration de la station se situe dans le procédé de traitement après le dégrillage, le dessablage et après une opération de décantation primaire et il est suivi par une étape de traitement UV en période estivale. Un circuit secondaire d'eau de lavage permet de réaliser différents types de lavages de manière automatisée en se basant sur la perte de charge trans-filtre ou sur une période de temps pour régulièrement décolmater les modules de biofiltration.

Les données utilisées pour réaliser la modélisation sont directement fournies par la station et regroupent de nombreux paramètres dont les débits et les concentrations en MES à divers endroits de la station mais aussi la perte de charge ou encore le niveau d'eau dans les biofiltres. L'étude de ces données a permis de mieux situer le problème en déterminant les limites spatiales et temporelles du système que l'on souhaite modéliser. L'étude porte sur les données estivales et notamment sur les périodes sèches pour éviter les problèmes liés aux débits trop importants et pour éviter de se confronter au problème de formation de biofilm excessif sur les biofiltres, problème qui intervient à basse température. L'étude des données permet également de mettre en évidence certaines incohérences selon les méthodes de mesures notamment pour les mesures de MES. Elle montre aussi la nécessité de lisser certaines séries de données pour faire disparaître les valeurs aberrantes.

L'étude des données a permis d'envisager deux voies de modélisations. La première, basée sur l'étude de bilans matières en MES autour de la biofiltration, met en avant une tendance linéaire entre la charge en MES entrante dans les biofiltres et la charge captée par ces derniers. La deuxième concerne les lavages des biofiltres et parvient à mettre en évidence les différents événements de lavages qui interviennent au cours du temps.

Mots clefs : modélisation, biofiltration, Biodrof®, traitement de donnée, Matlab, assainissement, station de Québec, décolmatage, lavage, MES.

Sommaire

Remerciements	2
Résumé	3
Introduction	5
I. Objectif et contexte de travail	6
A. La Ville de Québec.....	6
B. Le traitement de l'eau dans la ville de Québec	6
C. La station d'assainissement Est de Québec	8
D. La Biofiltration et Les Biofiltres de la Station Est de Québec.....	8
1) Les technologies Biostyr™ par VEOLIA et Biofor® par DEGRÉMONT SUEZ.....	9
2) Le procédé de Biofiltration de la station Est de Québec	10
3) Les systèmes de lavages et décolmatages	11
4) Le circuit secondaire des eaux de lavage de la station	13
5) Les avantages de la biofiltration et les problèmes soulevés	13
E. Objectifs de l'étude	14
II. Collecte et analyse des données	15
A. Les paramètres à disposition pour la modélisation	15
1) Représentation schématique du système	15
2) liste des paramètres.....	16
B. Le choix de la période de travail et hypothèses simplificatrice	19
C. Extraction des données	20
D. Traitement des données.....	21
E. Incohérence de certaines données	22
III. Pistes Explorées pour la modélisation	24
A. Modélisation par l'étude des Charges en MES	24
1) Etude du système Biofiltres-secondaire-traitement UV	24
2) Etude du système Biofiltres seulement.....	26
B. Modélisation par l'étude des nettoyages	27
Conclusion	31
Table des illustrations	32
Bibliographie	34

Introduction

Ce rapport de stage s'inscrit dans le cycle de ma formation en génie des procédés à l'INSA (Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse). Je souhaite à travers ces quelques pages retranscrire mon travail et mon expérience. Ce rapport est en effet une trace écrite de mes trois mois de stage réalisés auprès de la chaire de Recherche modelEAU à l'université de Laval sous l'aile de M Vanrolleghem, de Mme Tik et de M Lessard.

Le but de ce rapport est de servir de base bibliographique quant à la biofiltration de la station Est de Québec tout comme l'a été pour moi le rapport de stage de Mme Oudoul (voir référence dans la bibliographie). Je souhaiterai que toute personne continuant sur le sujet de la modélisation de la biofiltration de la station de Québec puisse se servir de cet écrit. Ce rapport a également pour but de rendre compte dans le cadre d'une évaluation auprès de mon école et de mes encadrants de stage du travail que j'ai pu réaliser, des moyens mises en œuvres et des résultats obtenus. Enfin il s'agit d'un témoignage de ma participation à un projet qui a su me tenir à cœur et sur lequel j'aurais aimé aller plus loin.

Le rapport s'articulera sur une partie de mise en contexte puis d'exploitations des données, pour enfin déboucher sur des pistes pour une modélisation de la biofiltration de la station de Québec.

I. Objectif et contexte de travail

Pour comprendre les enjeux de ce projet il faut resituer le contexte d'étude et expliquer clairement les objectifs fixés. Dans cette partie sont fournies des informations générales sur la ville de Québec et son histoire vis-à-vis l'assainissement de l'eau. La station d'épuration Est est ensuite décrite de manière générale et la technologie de biofiltration qui est au centre de l'étude est vue plus en détail. Enfin l'objectif de l'étude ainsi que le rôle de ce projet sont explicités.

A. La Ville de Québec

La ville de Québec est à la fois un symbole historique de la région, vestige de ce qui fut la Nouvelle-France, et une capitale politique, accueillant notamment le parlement de la province du même nom. Mais Québec est aussi une ville dynamique tant par son tourisme, avec près de 88 000 visiteurs en 2011¹, que par le nombre d'étudiant qu'elle accueille, l'Université Laval compte en effet à elle seule plus de 48 000 étudiants dont 6600 sont d'origine étrangère². La ville comptait déjà en 2011 près de 520 000 habitants pour un territoire d'environ 460 km²³. Pour couvrir les besoins en assainissement d'eau d'un tel territoire la ville possède 2 stations d'épuration (Station Est et Ouest) qui traitent autour de 400 millions de litres d'eau chaque jour⁴. Dans le cadre de cette étude les résultats récupérés proviennent de la station Est qui est la plus importante puisqu'elle couvrait déjà en 2010 aux alentours de 270 000 personnes selon les sondages.



Figure 1 : Photo de la station Est de Québec (issue de : https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/docs/systeme_collecte_traitement_eaux_usees.pdf)

B. Le traitement de l'eau dans la ville de Québec

La ville de Québec nous fournit à travers une présentation : « *SYSTÈMES DE COLLECTE ET DETRAITEMENT DES EAUX USÉES* »⁵ un bref résumé de l'histoire de l'eau à Québec.

La ville accueille un système de distribution des eaux pour la première fois en 1885. Un projet d'assainissement de la ville de Québec est évoqué pour la première fois en 1929 et c'est à partir de 1937 que des plaintes sur la qualité des eaux alentours ont commencées à émerger. La pollution s'accumule alors à cause de la forme sinueuse de la rivière St Charles et de la contamination de cette dernière par les égouts. Cette pollution serait à l'époque un des facteurs de l'épidémie de tuberculose qui toucha la population. De 1954 à 1974 le redressement de la rivière St Charles et la création de canaux vont permettre un meilleur écoulement des eaux.

¹ <https://www.tourisme.gouv.qc.ca/publications/media/document/etudes-statistiques/recentes->

² <https://www2.ulaval.ca/notre-universite.html>

³ https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/portrait/quelques_chiffres/

⁴ https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/traitement_eaux_usees.aspx

⁵ https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/docs/systeme_collecte_traitement_eaux_usees.pdf



Figure 2 : Rivière Saint Charles avant et après son redressement (issue de : <http://www.quebecurbain.qc.ca/2008/02/29/quebec-a-vol-doiseau-en-1948/>)

Néanmoins le projet d'assainissement des eaux qui porte ses fruits encore aujourd'hui commence en 1968 avec la création du BAEQM (Bureau d'Assainissement des Eaux du Québec Métropolitain) qui est suivie par la mise en place de 1970 à 1975 de l'ensemble des collecteurs des eaux usées ainsi que celle de deux diffuseurs. Vers la fin des années 1970 les premières études sur la mise en place de station d'épuration commence sous l'égide de la CUQ (Communauté Urbaine de Québec) qui englobe désormais l'ancien BAEQM. Ces études sont reprises dans le cadre du PAEQ⁶ (Projet d'Assainissement des Eaux du Québec) qui concerne alors 970 municipalités soit 5 700 000 habitant dans la province du Québec. La construction par l'entreprise Lambert Somec⁷ et la mise en service des 2 stations d'épurations a finalement lieu en 1992. En 2002, après la fusion municipale les stations appartiennent désormais à la ville de Québec (Communauté Métropolitaine de Québec).

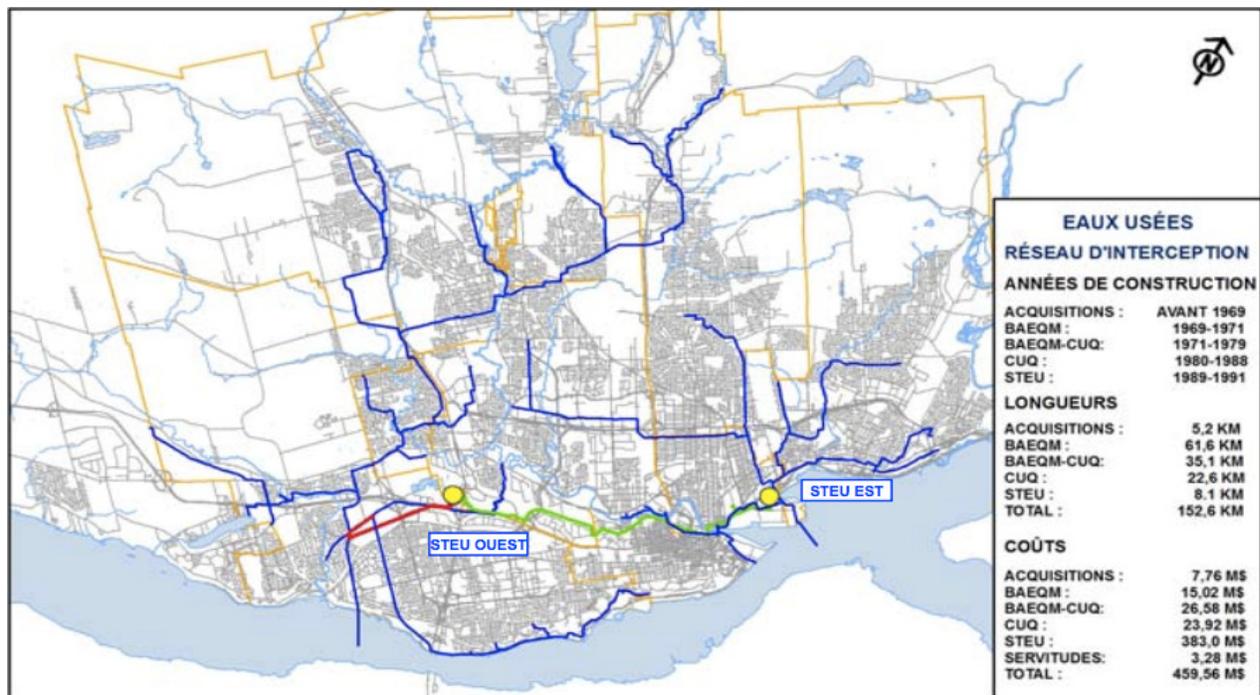


Figure 3 : Plan de la ville du réseau d'assainissement (issue de : https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/docs/systeme_collecte_traitement_eaux_usees.pdf)

Cette carte situe en jaune les station Est et Ouest de Québec et indique la chronologie des projets concernant l'assainissement des eaux de la ville, la longueur de réseaux construite pour chacun de ces projets et les coûts engendrés.

⁶ http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/industrielles/chapitre1_b.htm

⁷ <http://www.lambertsomec.com/index.php/fr/realisations/environnement/ft-0023-communaute-urbaine-de-quebec-c-u-q.html>

C. La station d'assainissement Est de Québec

Les stations Est et Ouest de Québec utilisent le même principe basé sur la technologie de filtre Biodrof®. La chaîne de traitement commence par une étape de dégrillage mécanique, suivie d'un dessablage-écumage, puis d'une décantation primaire qui constitue le circuit primaire. Le circuit secondaire est composé des biofiltres puis d'une désinfection UV. Des décanteurs secondaires sont employés pour nettoyer les eaux de lavages des biofiltres. Enfin l'eau assainie est relâchée dans le St Laurent. Il n'y a pas de traitement de l'azote et donc pas de circuit tertiaire dans la station. Le procédé est complété par une station de traitement des boues qui traite ces dernières pour les co-incinérer avec les ordures ménagères, les enfouir ou bien les valoriser pour l'agriculture.

Les différents organes de la station sont repérés en ANNEXE.

La station est pourvue de sept dérivations permettant de déplacer une partie du flux pour délester les installations en cas de forts débits. En effet certaines installations comme la décantation primaire ou la biofiltration ont une capacité limitée, il est donc parfois nécessaire de détourner une partie du débit directement à la sortie de la station.

Un document fourni par la station et qui prend pour année de référence l'année 2010 nous fournit quelques chiffres qui permettent de donner une idée des ordres de grandeur de ce qui est traité par la station Est.

Débit	
Débit journalier par temps sec moyen	2,67 m ³ /s
Débit journalier par temps sec max	4,10 m ³ /s
Pointe de débit par temps de pluie	8,34 m ³ /s Dégrilleurs/dessableur/écumeurs 4,34 m ³ /s à partir du décanteur primaire
Charge	
Charge journalière par temps sec moyen	27100 kgMES/jour 25600 kgDBO5/jour
Charge journalière par temps sec max	29700 kgMES/jour 28100kgDBO5/jour
Charge journalière par temps de pluie max	91300 kgMES/jour 74500 kgDBO5/jour

Sur ces chiffres très généraux on se rend bien compte de l'extrême variabilité de l'affluent en entrée. Selon les conditions climatiques on peut se retrouver avec des valeurs de débit en entrée de station qui passent du simple au double obligeant la dérivation d'une partie du flux pour ne pas aller au delà des capacités de conception des circuits primaire et secondaire. De même on peut noter que la quantité de MES et de DBO5 peut même tripler entre un temps sec et un temps pluvieux. Enfin le climat de la province de Québec fait que la station doit faire face jusqu'à fin mai au dégel et à la fonte des neiges qui s'accumule de manière importante pendant l'hiver. La fonte, tout comme les précipitations pluvieuses, entraîne une augmentation de débit et de charge en MES et DCO qu'il faut être capable de gérer à la station.

D. La Biofiltration et Les Biofiltres de la Station Est de Québec

La biofiltration est un procédé compact qui va à la fois jouer le rôle de filtration et de traitement biologique. De manière générale comme pour le traitement par boue activée, le biofiltre va employer des bactéries hétérotrophes pour réaliser la dégradation de la matière polluante. Cependant dans un biofiltre la biomasse n'est pas en suspension ou en flottaison dans un bain bouillonnant contrairement aux boues activées. Dans

ce type de procédé la biomasse colonise un média constitué de « grain », un média qui va en plus jouer le rôle de filtre. Le procédé consiste à envoyer l'eau que l'on souhaite traiter à travers le lit de « grains » colonisé par la biomasse en flux ascendant ou descendant pour filtrer les MES et laisser la biomasse réaliser la dégradation de la matière organique et/ou ammoniacal. De l'air peut être envoyé en même temps pour réduire le colmatage et alimenter les microorganismes (mais ce n'est pas toujours le cas notamment si l'on souhaite que le biofiltre participe à la dénitrification qui est anaérobie). Les biofiltres fonctionnent de manière semi-continue puisqu'ils nécessitent des opérations de nettoyage régulières pour faire face au colmatage.

Pour comprendre les mécanismes et enjeux de la biofiltration il est intéressant de s'intéresser à des constructeurs et des procédés existants pour pouvoir illustrer la biofiltration par des exemples. Enfin ce procédé présente de nombreux avantages cités par les constructeurs mais aussi certains désavantages.

1) Les technologies BiostyrTM par VEOLIA et Biofor[®] par DEGRÉMONT SUEZ

Dans le cas de VEOLIA⁸, le procédé de biofiltration se nomme BiostyrTM⁹ l'eau que l'on souhaite traiter est injectée dans le fond du bac de biofiltration en co-courant avec de l'air. Les grains qui constituent le média filtrant et le support de la biomasse sont en polystyrène et sont appelé BiostyrèneTM. Ce matériau plus léger que l'eau va être emporté par le courant ascendant et se bloquer contre la paroi supérieure du bac de filtration et se tasser améliorant le rôle de filtration des MES du média. L'eau filtrée est quant à elle récupérée via des crépines qui parsèment le plafond du bac. Le lavage du biofiltre se fait par arrêt de l'injection d'eau et d'air en bas du biofiltre et expansion du média filtrant par l'eau traité qui est renvoyé dans le bac par courant descendant.

Pour la technologie Biofor[®]¹⁰ de DEGRÉMONT SUEZ¹¹ le support pour le biofilm est composé de grains d'argile expansés et est appelé Biolyte[®]. Contraire à la BiostyrèneTM la biolyte est plus dense que l'eau c'est pourquoi elle est expansée et non tassé comme c'est le cas dans le procédé proposé par VEOLIA. Le principe de fonctionnement est cependant le même que pour VEOLIA. Il s'agit d'envoyer l'eau à traiter à la base du bac au travers de buses qui se chargent de répartir le flux entrant de manière homogène. De l'air peut être envoyé en co-courant dans le cas du traitement de la matière organique ou ammoniacal (par nitrification).

D'autres types de technologies ont aussi vu le jour ainsi il existe d'autres types de massifs filtrants pour la biofiltration. Marie Anne Oudoul cite dans son rapport de stage¹² l'utilisation de charbon plus ou moins activé, de schistes expansés BiodagèneTM ou de matière synthétique. On retrouve même des matériaux plus exotiques tels que des écailles de cacao comme étudié par Véronique Turcotte dans le cadre de la biofiltration d'effluents agroalimentaires¹³. Le matériau doit de manière générale avoir une macroporosité importante et une bonne résistance à l'usure mécanique. En effet les lavages et les flux d'eau et d'air entraînent des frottements plus ou moins importants sur le matériau filtrant et peut amener à la perte de la sphéricité, à la facettisation, ou encore à la modification du diamètre équivalent des grains qui constituent le média filtrant comme expliqué dans le sujet de thèse : « Comportement de la pollution particulaire et du biofilm en biofiltration : compréhension, modélisation et lutte contre le colmatage »¹⁴. Ces phénomènes peuvent alors entraîner à terme une modification non voulue de la granulométrie et favoriser le colmatage. La granulométrie et d'ailleurs un autre facteur. En effet le choix de la taille des grains (lorsqu'il s'agit de grain), entre 1 et 10mm de diamètre équivalent, dépend du choix de l'exploitant à favoriser un fonctionnement qui nécessite moins de lavage car est moins sensible au colmatage (grosse granulométrie)

8 <http://www.veoliawaterst.com/fr>

9 http://technomaps.veoliawaterst.com/biostyr/fr/precisions_techniques.htm

10 http://www.degremont-technologies.com/IMG/pdf/4p_BIOFOR-US-F.pdf

11 <http://www.degremont.fr/>

12 Rapport de stage Marie-Anne Oudoul

13 <http://espace.inrs.ca/2004/1/T000497.pdf>

14 Sujet de thèse : « Comportement de la pollution particulaire et du biofilm en biofiltration : compréhension, modélisation et lutte contre le colmatage »

ou au contraire un choix orienté vers la volonté de filtrer de manière plus fine en utilisant une granulométrie plus faible au risque de colmatage accru.

2) Le procédé de Biofiltration de la station Est de Québec

→ Dimensions :

La station Est dispose de deux séries de 15 modules biofiltres alimentés en parallèles qui constituent le cœur du traitement secondaire de la station. En effet l'installation de biofiltration représente près d'un quart de la station à elle toute seule soit 2500 m² sur les 10 000m² de la station.

→ Sécurité :

En outre il s'agit d'une zone de la station qui demande l'emploi d'une tenue de sécurité adaptée. Ainsi le port des équipements de sécurité individuel est obligatoire et cela passe par le port de bottes de sécurité renforcées et d'un masque muni d'un filtre adapté au visage de chaque individu. D'après le site « inforisque.info »¹⁵ ces équipements sont nécessaires pour se prémunir face aux micro-organismes et toxines produites par ces derniers qui peuvent se retrouver à la fois dans l'eau, à la surface des équipements et instruments mais aussi dans l'air sous forme de bioaérosols. Dans le système de biofiltration employé par la station, les eaux usées arrivent par dessus le biofiltre en étant acheminée par des gouttières. Contrairement aux procédés vus précédemment les eaux usées sont donc directement en contact avec l'air de la salle créant des mauvaises odeurs et obligeant ainsi le confinement intérieur et le port d'un masque et de lunettes pour contrer le risque de contamination ou intoxication par l'air.

→ Position dans la station :

Les biofiltres interviennent après le traitement primaire et avant le traitement au UV. Ils sont de plus reliés à un circuit de lavage qui permet de faire face au problème de colmatage. La décantation primaire élimine en moyenne près de 80% de la MES décantable, néanmoins une partie des MES non décantables et des MES décantables restantes sont retenues par le biofiltre.

→ Le procédé :

Les biofiltres des stations de Québec sont atypiques. Ils emploient en effet le procédé Biodrof® du groupe DEGRÉMONT-SUEZ mais seulement pour le traitement secondaire et n'interviennent pas dans le traitement tertiaire (autrement dit il n'y pas de traitement des composés azotés). Le rôle des biofiltres dans ce cas d'étude est donc principalement l'élimination de matières organiques et des matières en suspension (MES). En outre contrairement au procédé Biostyr™ et Biofor® vus précédemment, la biofiltration ne se fait pas en courant ascendant mais descendant.

L'eau issue des décanteurs primaires est acheminée en hauteur par des vis d'Archimède. L'eau s'écoule ensuite dans des gouttières et se déverse depuis la gouttière sur les différents modules de biofiltres comme représenté sur la photo ci-dessous :



L'eau se sépare en deux après les vis et rejoint 2 grandes gouttières qui elles même répartissent le débit dans des gouttières plus petites depuis lesquelles l'eau s'écoule, se brise sur une barre métallique, avant de se répartir sur les biofiltres en contrebas.

Figure 4: Photo des biofiltres depuis le dessus et représentation du cheminement des eaux sales. (photo prise à la station)

¹⁵ <http://www.inforisque.info/actualite-du-risque/article.php?id=4519>

Ainsi c'est par percolation que l'eau est filtrée et traitée dans le biofiltre. Cette percolation est accélérée et la biofiltration est aérée par un système de pompe à vide sous le biofiltre qui permet de maintenir un courant eau-air dans le massif filtrant de 1,5 à 1,6m de hauteur. Il ne s'agit là pas d'une filtration gravitaire mais forcée par la création d'un vide en dessous du biofiltre. Le biofiltre n'est ainsi jamais immergé (sauf en cas de lavages), voilà pourquoi on parle de biofiltres secs (dry).

L'eau traitée passe ensuite 3 couches de gravier de 7 cm d'épaisseur chacune et de granulométrie différente. Ces couches de gravier sont là pour empêcher le média filtrant de s'échapper vers le caisson de rétention et de venir endommager la pompe d'évacuation. L'eau passe par des buses fixées dans des dalles en béton elles même tenues par des piliers en béton aux quatre coins de chaque dalle. L'eau est ensuite récupérée dans la partie basse des modules de biofiltration, est acheminée vers un caisson de rétention puis évacuée à l'aide d'une pompe vers le traitement UV. Le tuyau d'évacuation est plongé dans l'eau pour former une garde hydraulique et permettre de garder le bas du biofiltre en dépression.

Ci-dessous un schéma illustrant un module de biofiltration :

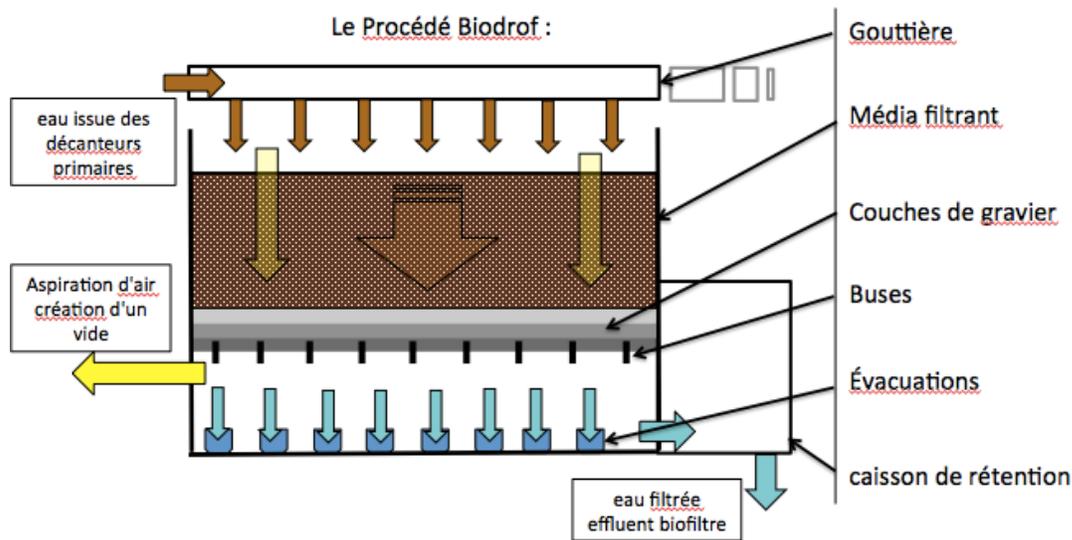


Figure 5 : Schéma simplifié d'un module de biofiltration en fonctionnement

3) Les systèmes de lavages et décolmatages

Le système de lavage des biofiltres est automatisé mais l'intervention humaine est possible et reste notamment envisagée pour préparer les biofiltres lorsqu'un épisode de pluie et donc de fort débit est prévu. Le lavage se décompose en trois différents mécanismes : les lavages, les mini-lavages et les décolmatages. Ces mécanismes fonctionnent selon un protocole précis géré par l'automate.

- Lavages et mini-lavages :

Leur fonctionnement est similaire. L'entrée et les sorties du biofiltre sont fermées par l'utilisation de vannes guillotines. L'entrée d'eau de lavage est ensuite ouverte au niveau du caisson de rétention et le module de biofiltration est totalement rempli jusqu'à atteindre une pression de 16 250 mmCE géodésique (on fixe un maximum pour protéger le plancher de béton). De l'air est ensuite insufflé et dans un même temps de l'eau de lavage continue à être injecté et récupérée en haut du bac contenant le média filtrant. L'eau et l'air sont injectés en courant ascendant pour mettre en suspension le média et décolmater le biofiltre. Le média récupéré avec les eaux de lavages est récupéré par vortex. Enfin on vidange l'ensemble du module avant de refermer le circuit de lavage et de rouvrir l'entrée et la sortie de biofiltration. La différence entre les mini-lavages et les lavages repose sur la durée de l'événement et sur les débits employés.

- Décolmatages :

Contrairement aux lavages et mini-lavages, le décolmatage se fait alors que le biofiltre est en fonctionnement (entrée et sortie du biofiltre restent ouvertes). Le décolmatage passe par une phase de remplissage avec de l'eau de lavages et d'injection d'air en courant ascendant. L'événement dure cependant moins longtemps.

Le tableau suivant récapitule les consignes de chaque événement de nettoyage :

Séquence de nettoyage (secondes)	Lavage		Mini-Lavage		Décolmatage	
PRÉPARATION	10		10			
AIR SEUL	5		5			
REPLISSAGE	320		320		140	
SOUFFLAGE 1	335		155		60	
SOUFFLAGE 2	330		0			
RINÇAGE	270		180			
FINITION					5	
CONSIGNES AIR/EAU (m3/h)	Air	Eau	Air	Eau	Air	Eau
AIR SEUL	165		165			
REPLISSAGE	165	2500	165	2500		3300
SOUFFLAGE 1	165	1700	165	2500	165	
SOUFFLAGE 2	165	2500	165	3100		
RINÇAGE		3100		3100		

(ces consignes peuvent être amenées à changer, il s'agit là des consignes en 2015)

- Préparation : fermeture des vannes d'entrée et sortie / ouverture de la vanne d'eau de lavage.
- Air seul : injection d'air seulement
- Remplissage : remplissage du biofiltre avec l'eau de lavage
- Soufflage 1 et 2 : injection d'air et d'eau de lavage en simultanée.
- Rinçage : injection d'eau de lavage seulement

Le déclenchement des lavages, mini-lavage et décolmatage peut se faire manuellement mais il est la plupart du temps lancé de manière automatique selon trois critères :

- Lorsque la perte de charge du biofiltre excède -5 kPa ou -7kPa pour le lavage
- Un bout de certain laps de temps (décrit dans le tableau suivant)
- Lavage, mini-lavage et décolmatage se suivent dans un ordre précis sur un biofiltre (décrit dans le tableau suivant)

	Mode Lavage Normal	Mode Double Mini-lavage
Δt max entre 2 lavages (h)	59	99
Δt max entre 2 mini-lavages (h)	13	13
Δt max entre 2 décolmatages (h)	8	8
Nbr de décolmatage avant chaque mini-lavage	2	2
Nbr de mini-lavages avant chaque lavage	6	∅
Δt min entre 2 nettoyages quelconques (min)	20	∅

(Ces consignes ont été fournies par la station)

Remarque : le mode mini lavage est un mode employé en cas de fort débit. En effet il n'est possible de réaliser qu'un seul lavage à la fois sur l'ensemble des biofiltres, on est en effet limité par la capacité des pompes du circuit secondaire. Pour pouvoir réaliser un décolmatage de plusieurs biofiltre en simultanée le mode mini-lavage remplace les lavages par des mini-lavages plus courts et moins consommateur d'eau de lavage et qui vont pouvoir être réalisés à deux en simultanée.

Lorsque le Δt max est atteint ou lorsque la perte de charge descend en dessous de -5kPa ou -7kPa un nettoyage se lance. Selon ces données fournies par la station les nettoyages suivent toujours cet ordre précis :

L → (D → D → ML) (x6) → D → D → L

Avec : Lavage (L), Mini-lavage (ML) et décolmatage (D).

Remarque : On verra par la suite que cet ordre n'est plus valable en été 2015 et que les consignes on s'en doute étaient modifiées.

4) Le circuit secondaire des eaux de lavage de la station

Les eaux de nettoyages utilisées pour le décolmatage des biofiltres empruntent un circuit annexe, le circuit secondaire. (ANNEXE)

Les eaux de lavages sont prises en sortie du traitement UV mais pas en sortie de station. On évite ainsi de prendre les eaux qui n'ont pu être traitées et qui ont été dérivées soit en amont des décanteurs primaires soit en amont de la biofiltration.

Les eaux de lavages rejoignent ensuite un bassin tampon. Lorsqu'un décolmatage est nécessaire sur au moins un biofiltre les eaux du bassin tampon sont utilisées pour venir nettoyer le biofiltre. Les débits observés sur les eaux de lavages témoignent de ce fonctionnement de type batch.

Après être passé par le biofiltre, les eaux de nettoyage rejoignent deux bassins tampons en parallèle de 375m² de capacité. On ajoute ensuite à l'eau des additifs chimiques (chlorure ferriques, polyélectrolytes) donc le rôle est d'accroître la coagulation et floculation pour améliorer l'efficacité des décanteurs secondaires placés après (2 décanteurs en parallèles). Finalement l'eau rejoint l'effluent de la biofiltration.

Remarque : théoriquement une partie de l'eau peut être redirigé aux décanteurs primaires mais dans les faits cette voie est employée seulement pour vérifier le fonctionnement de la vanne. Autrement dit on peut dire que pratiquement toute l'eau de lavage qui passe dans le secondaire est redirigée vers la sortie des biofiltres.

5) Les avantages de la biofiltration et les problèmes soulevés

Les constructeurs citent plusieurs avantages à ce procédé dont certains ne sont pas liés spécifiquement à la technologie Biostyr™ ou Biofor®. Ainsi de manière générale la biofiltration présente les avantages suivants:

- Tout d'abord elle a l'avantage d'être un **procédé compact**, bien plus compact qu'un traitement par boue activée par exemple, et avec une faible emprise au sol.

- Ensuite le principe même de la biofiltration fait que le procédé est capable de faire du 2 en 1 en réalisant **filtration de MES et traitement biologique**. Néanmoins la capacité à capturer les MES est limitée par un colmatage rapide.
- Le procédé est également **automatisable** comme on le verra dans le cas de la station de Québec.
- Généralement la biofiltration **fonctionne en modules** de biofiltres. La séparation en plusieurs modules n'est en fait pas vraiment un avantage mais une nécessité. Le lavage d'un biofiltre demande l'arrêt de sa fonction de traitement. En séparant en plusieurs modules on peut laver un module et continuer la biofiltration sur les autres modules puis alterner.

Parmi les désavantages notamment liés à la technologie biodrof® on peut citer :

- **Les odeurs et les bioaérosols** dues au système d'alimentation des biofiltres biodrof® qui contrairement aux technologies Biofor® et Biostyr™ sont alimentées en eau sale par dessus. Pour éviter la diffusion d'odeur le choix a donc été fait à la station de disposer ces biofiltres à l'intérieur du bâtiment de manière à confiner les odeurs. Cela représente donc des coûts supplémentaires.
- **La sensibilité des biofiltres aux MES décantables**. En effet, les biofiltres sont très dépendants des performances des décanteurs primaires en amonts. Les MES qui n'ont pas pu être décantées peuvent rapidement amener au colmatage des biofiltres si elles arrivent en trop grande quantité. Ce qui explique d'ailleurs la présence des décanteurs primaires.
- **La complexité du procédé**. En faisant à la fois intervenir des notions de filtration et de film biologique, le procédé devient difficile à modéliser. D'autant que la répartition en air et en substrat varie dans le média filtrant pouvant amener l'apparition de différentes sortes de population microbienne et différentes conditions physico-chimiques sur la hauteur du média.

E. Objectifs de l'étude

Ce projet de stage consiste en la modélisation d'un biofiltre du type de ceux rencontrés dans la station Est de Québec afin d'être capable de prédire la qualité de l'eau en sortie. Il s'agit de déterminer un modèle qui décrive au mieux les observations faites sur la station et de vérifier si ce modèle est significatif par l'emploi de tests statistiques. De ce fait la station fournie pour cette étude les relevés de plusieurs paramètres sur une certaine période en amont et en aval de l'unité de biofiltration, ces paramètres seront décrits plus loin dans ce rapport. Le modèle à déterminer utilise les valeurs mesurées en entrée de biofiltre sur la station et doit se rapprocher au mieux de ce qui est obtenu en sortie de procédé de manière à rendre compte du fonctionnement réel du biofiltre.

Cette étude sur le biofiltre s'inscrit dans une étude de plus grande envergure en collaboration avec la ville de Québec et menée par Mme Sovanna Tik. Cette étude porte sur la compréhension, la modélisation et finalement le contrôle de l'ensemble du système de traitement des eaux usées depuis la collecte jusqu'à l'ensemble de la station d'épuration.

Le sujet d'étude de ce stage passe donc dans un premier temps par la compréhension du procédé de biofiltration employé dans la station et par la compréhension des différents paramètres qui vont entrer en jeu dans le procédé. La qualité de l'effluent en sortie va immédiatement dépendre du nombre de biofiltre en fonctionnement qui dépend lui-même des fréquences de lavages, des débits traités, des charges entrantes et des phénomènes de colmatage qui interviennent sur les biofiltres et créent des pertes de charge supplémentaires. Les mesures portant sur une période particulière de l'année, l'établissement d'hypothèses simplificatrices pertinentes basées sur la compréhension des phénomènes durant cette période fait également partie intégrante du projet.

Il s'agit ensuite de traiter les données fournies par la station et comprendre les relations qui lient entrée et sortie de l'unité de biofiltration pour établir un modèle mathématique qui soit le plus proche possible de la réalité des mesures.

Le modèle est enfin vérifié par l'utilisation de tests statistiques qui nous permettent d'affirmer ou non de sa significativité avec un certain pourcentage de risque par comparaison des moyennes statistiques et des variances par exemples.

II. Collecte et analyse des données

Toute modélisation passe dans un premier temps par une étape de collecte et d'analyse des données. Il s'agit d'une première étape essentielle car c'est de la qualité des données et des relations entre les données en entrée et en sortie du système qu'un modèle va pouvoir être déterminé.

La lecture des données passe d'abord par la prise de connaissance du système d'étude, de l'ensemble des paramètres à dispositions et de la manière dont ces paramètres sont mesurés. Il s'agit ensuite de déterminer une période d'étude. Enfin, il faut analyser la qualité des données en comparant par exemple plusieurs méthodes de mesures et en éliminant les valeurs aberrantes ou bruits par des méthodes de lissages.

A. Les paramètres à disposition pour la modélisation

1) Représentation schématique du système

Comme expliqué précédemment le projet de modélisation de la biofiltration vient compléter un projet à plus grande échelle mené par Sovanna Tik qui possède actuellement un modèle qui s'étend de la collecte des eaux jusqu'à la sortie des décanteurs primaires de la station. Le sujet cible donc la biofiltration seulement car nous avons déjà connaissance de ce qui précède cette dernière. Il faut cependant se poser la question de l'importance de prendre en compte les dérivations ou bien encore le circuit de lavage qui ne sont pas pris en compte dans le modèle de Mme Tik.

Différents systèmes peuvent donc être ciblés. Sur le schéma ci-dessous sont représentés les différents organes du circuit de traitement des eaux de la station sous format simplifié de bloc. Les différents systèmes que l'on peut cibler sont définies par les rectangles de couleur.

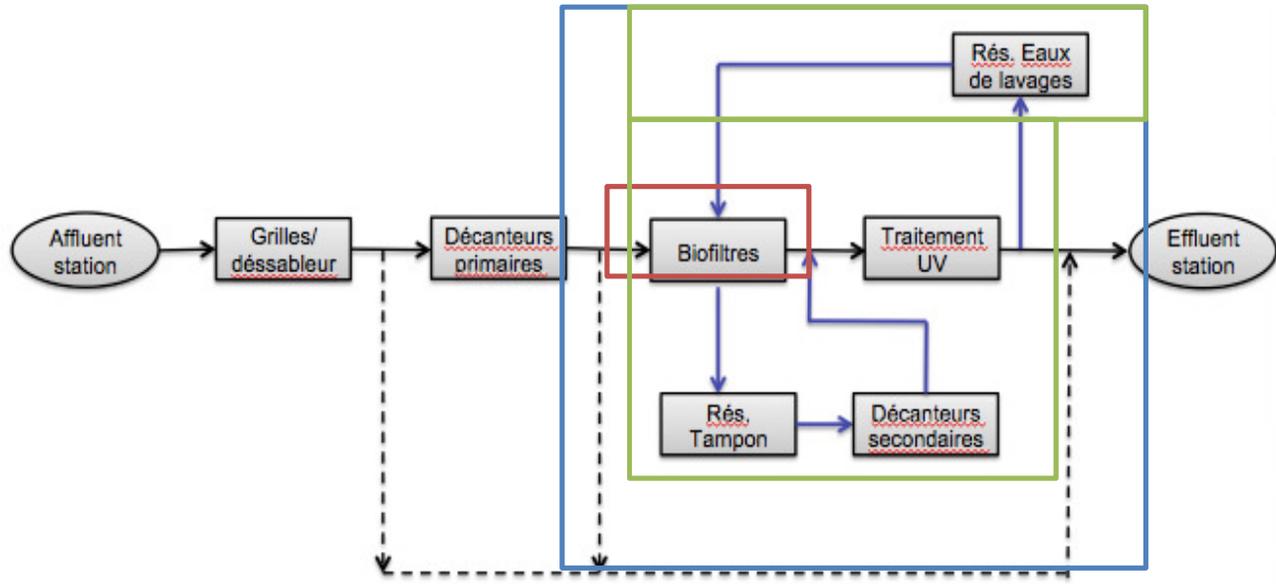


Figure 6 : Schéma bloc de la station, définition des systèmes d'études

3 systèmes sont définis sur la figure précédente :

- En rouge est représenté le système le plus simple que l'on puisse imaginer, il s'agit de prendre en compte seulement la partie biofiltration, ce qui entre et sort des biofiltres.
- En vert est délimité le système qui prend en compte le circuit secondaire de lavage en plus de la biofiltration ainsi que la partie de traitement UV.
- Enfin en bleu est délimité le système le plus général qui prend en compte à la fois le circuit secondaire mais aussi les entrées de dérivation.

2) liste des paramètres

Pour réaliser la modélisation de la biofiltration il faut sélectionner des paramètres pertinents. Dans ce cas d'étude on réalise une modélisation sur une installation réelle et on utilise donc les données réelles fournies par la station Est de Québec.

Deux types de mesures sont disponibles :

- Des mesures que l'on qualifiera de **dynamiques** qui sont effectuées toutes les 15 secondes. Ces mesures sont réalisées de manière automatique par des sondes calibrées ou sont indirectement calculées. Par exemple le débit à la sortie de la station n'est pas directement mesuré. Il est calculé et déduit d'autres mesures de débits.
- Des mesures **journalières** qui sont réalisées par échantillonnage. Ces mesures sont considérées plus précises car elles font appel à des méthodes normalisées approuvées pour fournir des données précises au gouvernement canadien.

En outre certains paramètres sont généraux et concernent l'ensemble du procédé de biofiltration comme c'est le cas pour la mesure de débit ou de concentration en MES en entrée et sortie par exemple. D'autres paramètres au contraire ne vont concerner qu'un seul biofiltre comme la perte de charge ou le niveau d'eau dans le caisson de rétention pour chaque biofiltre. Certains paramètres

ciblent un réseau de biofiltre (30 biofiltres répartis en 2 réseaux de 15). Enfin certains paramètres sont externes à la biofiltration comme le débit en sortie station par exemple.

La liste des paramètres est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Localisation	Détails
Débits d'eaux	Canaux Grilles	Les débits sont fournis en m ³ /h.
	Décanteurs Primaires	Les débits de la station ne sont pas tous mesurés. Il n'y a qu'un seul débit qui peut être considéré comme très fiable, il s'agit du débit en entrée de station c'est à dire au niveau des canaux-grille car seul ce débit est à fournir au gouvernement canadien. La plupart des autres débits sont calculés à l'aide de bilan et de corrélations.
	Biofiltration	
	Amont Traitement UV	
	Sortie Station	Le débit du circuit secondaire est mesuré ainsi que le débit du décanteur primaire (bien que la valeur de débit mesurée selon une hauteur d'eau en entrée des décanteurs puisse être corrigée en fonction du débit aux dégrilleurs). Le débit en sortie de station est totalement calculé par bilan à l'aide des autres débits.
	Eaux de Lavage	
	Décanteurs Secondaires	
	Dérivation en Amont du primaire	
	Dérivation en Amont de la Biofiltration	
Concentration en MES	Sortie décanteurs primaires	Les concentrations en MES sont mesurées à l'aide de turbidimètres étalonnés pour traduire directement la turbidité en concentration de MES en mg/l. Les mesures journalières sont quant à elles réalisées en laboratoire après échantillonnage. Plusieurs méthodes de mesures existent: _ méthode par filtration standard (méthode employé actuellement) ¹⁶ _ méthode néphélométrique ¹⁷ : Selon le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) il s'agit de mesurer « la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident. » Il s'agit donc d'une méthode proche de la mesure par turbidité mais réalisée en laboratoire _ méthode centrifuge (« centrifugal spin ») _ méthode gravimétrique ¹⁸
	Sortie décanteurs secondaires	
	Sortie station	
DCO, DBO5	Affluent Décanteurs Primaires	Parmi les données fournies par la station figure seulement la DBO5 et DCO journalière en mg/l. C'est à dire celle mesurée suite à la prise d'échantillons.
	Effluent Décanteurs Primaires	La mesure de la DCO peut se faire avec la méthode normalisée de « reflux en système fermé suivi d'un dosage par colorimétrie avec le bichromate de potassium » selon le CEAEQ ¹⁹
	Effluent Biofiltration	La mesure de DBO5 peut être réalisée par la méthode électrométrique décrite encore une fois par le CEAEQ ²⁰
Concentration	Affluent	De la même manière que pour la DCO et la DBO5 seul les

¹⁶ http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/VDM_M-CR-5.4-001_MES_MESV.PDF

¹⁷ <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA103Tur10.pdf>

¹⁸ <http://wef.org/TStoImproveProcessControl/>

¹⁹ <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA315DCO11.pdf>

²⁰ <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA315DBO11.pdf>

composées azotées (NH ₃ - NH ₄)	Décanteurs Primaires	mesures journalières de concentration en nitrate en mg/l nous ont été fournies par la station. La mesure en laboratoire peut être effectuée via la méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le N.E.D. ²¹
	Effluent Décanteurs Primaires	
	Effluent Biofiltration	
Pertes de charges	Sur chacun des 30 biofiltres	Exprimée en kPa. La mesure de perte de charge est réalisée de manière dynamique à l'aide d'une DP Cell qui mesure le vide dans les caissons sous les biofiltres. La DP cell est située juste avant la pompe à vide et la mesure de la pression fournit des valeurs relatives qui sont donc négatives en fonctionnement normal. La puissance délivrée par la pompe étant constante, une diminution de la pression sous le biofiltre témoigne d'une augmentation de la perte de charge du biofiltre.
Nombre de biofiltre actifs	Sur l'ensemble du procédé	Ce paramètre correspond au nombre de biofiltre en fonctionnement. Les biofiltres inactifs sont : <ul style="list-style-type: none"> • Les filtres dont la perte de charge est trop importante (colmatage limite à -17kPa) et qui sont en attente de lavage • Les filtres en lavage et mini-lavage • Les filtres en vidange ou à l'arrêt pour maintenance
Taux de filtration	Sur l'ensemble du procédé	Exprimé en m ³ /m ² .h il représente le débit traversant l'ensemble des biofiltres divisé par la section de biofiltration (somme des sections des biofiltres actifs).
Nombre de lavages	Sur chacun des deux réseaux de biofiltration	Ce paramètre cumule le nombre de lavage par jour. A la fin de la journée le décompte retombe à zéro. En prenant la dernière valeur de chaque jour on peut donc en déduire le nombre de lavage total sur le réseau dans la journée. (remarque le décompte se fait en réalité sur 1 journée et 15 secondes créant ainsi un léger décalage dans les mesures auquel il a fallu remédier dans l'extraction des données)
Nombre de Mini-lavages	Sur chacun des deux réseaux de biofiltration	Idem pour le nombre de mini-lavage pour chaque réseau.
Nombre de décolmatages	Sur chacun des deux réseaux de biofiltration	Idem pour le nombre de décolmatage pour chaque réseau.
Nombre d'heure d'un cycle de lavage	Sur chacun des deux réseaux de biofiltration	Donnée fournissant le nombre d'heure moyen entre deux lavages sur un réseau de biofiltres.
Températures	Extérieure, de l'air	Températures mesurées par des sondes températures et exprimés en °C
	Intérieur, de l'eau	
Précipitation	A l'extérieur de la station	Mesurée par un pluviomètre et exprimée en mm/h
Niveau d'eau dans les caissons de rétention	Sur Chacun des 30 biofiltres	Mesuré par une DP Cell on mesure en réalité une hauteur d'eau en mmCE géodésique. On utilise la référence

²¹ <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA300N0320.pdf>

		<p>géodésique (niveau de la mer) et non pas une référence par rapport au bâtiment car l'effluent de la station étant le Saint Laurent, la station est soumise aux marais de ce dernier et le niveau d'eau peut donc être amené à varier dans les différents organes de la station.</p> <p>Remarque: Comme le niveau d'eau est mesuré par différence de pression on ne mesure pas seulement le niveau d'eau lors des lavages mais également la résistance du biofiltre (sa perte de charge par colmatage) à se remplir. Il faut en effet une certaine force pour parvenir à remplir le biofiltre lorsque ce dernier est colmaté.</p>
--	--	---

B. Le choix de la période de travail et hypothèses simplificatrice

Le nombre de paramètre est important et les facteurs qui peuvent influencer les performances des biofiltres sont nombreux et différent selon les périodes de l'année. Pour réaliser la modélisation de biofiltre de la station Est de Québec on choisit volontairement de se placer dans un cas le plus simple possible dans un premier temps.

Le postulat de départ sur lequel se base le choix de la période est de dire que la performance de la biofiltration dépend du colmatage des biofiltres. En effet un biofiltre colmaté nécessite un lavage et ne peut donc pas jouer son rôle pendant un temps. Or le débit qui ne peut être traité par un biofiltre doit donc être reporté sur les autres biofiltres qui subissent donc un « stress » plus important. Le risque est que à terme le débit que l'on doit dériver pour éviter de surcharger la biofiltration ne soit trop important. Pour rappel les eaux dérivées ne sont pas traitées et influent donc sur la qualité de l'effluent en sortie. En outre il se peut que les biofiltres actifs en « stress » laissent passer une quantité de MES plus importante à cause des débits importants traités.

Le phénomène de colmatage serait principalement dû à deux facteurs. Le premier est l'accumulation des matières en suspension décantables (de diamètre supérieur à quelques microns) dans le média filtrant. Les matières en suspension viennent obstruer les passages possibles de l'eau améliorant certes le pouvoir filtrant du filtre mais diminuant sa capacité à recevoir des débits importants. Le second facteur est la formation d'un biofilm excessif qui augmente considérablement la perte de charge.

Le phénomène biologique de formation d'un biofilm excessif fait intervenir des paramètres supplémentaires à ceux vues précédemment (pH de l'eau, types de micro-organismes et métabolismes de ces derniers). Pour éviter d'avoir à traiter de front les deux problématiques à l'origine du colmatage on se place dans un période de l'année où l'influence du biofilm sur la perte de charge des biofiltres est négligeable.

La formation de ce biofilm excessif n'a lieu qu'en période hivernale pour des températures d'eau plus froide. L'étude menée par M Le Bihan et M Lessard dans « MONITORING BIOFILTER CLOGGING : BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE BIOMASS »²² montre que la quantité d'oxygène dissout à basse température est plus importante. Au delà de 15°C l'accès à l'oxygène devient plus difficile pour la couche du fond du biofiltre. En l'absence de cet oxygène qui sert à fournir l'énergie nécessaire au métabolisme des bactéries, ces dernières vont commencer par employer un métabolisme annexe moins couteux en énergie et conduisant à la production d'acides organiques qui viennent augmenter le pH du milieu. L'acidité ainsi générée vient aider au détachement des couches de biofilm et permet de garder un biofilm plus mince qui engendre peu de perte de charge. En dessous de 15°C l'accès à l'oxygène étant au contraire facilitée des populations de bactéries opercularia parviennent plus facilement à se développer Elles seront ensuite elles même colonisées par des

²² « MONITORING BIOFILTER CLOGGING : BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE BIOMASS » Ian Le Bihan, Paul Lessard

bactéries filamenteuses qui vont jouer le rôle de support à des bactéries bloc formers à l'origine de ce que l'on peut observer sur la photo suivante :



Figure 7 : échantillon de média filtrant avec biofilm excessif (photo fournie par la station)

Sur la photo on peut voir les billes de schiste marrons entièrement colonisées par les micro-organismes qui forme ce biofilm blanc épais. Il n'existe pas de moyen de mesure normalisé du biofilm sur la station. La mesure de l'encrassement par le biofilm est faite à l'œil et le biofilm est classé de 0 à 4 points en considérant qu'en dessous de 2 points le biofilm ne joue plus dans la perte de charge du biofiltre. Cette mesure est cependant très subjective et dépend énormément de l'opérateur.

En période estivale, lorsque la température excède les 15°C et que les débits d'eau arrivant à la station diminuent suite à la fonte des neiges du printemps, on se place dans un cas plus simple où le rôle du biofilm dans la perte de charge est négligeable. On choisira donc de travailler sur les mois de Juillet à Août (la température de 15°C est atteinte vers mi-juin, en mi-juillet cette température avoisine les 18°C).

En outre on travaille sur les données les plus récentes possible c'est à dire été 2014 et 2015, dans une optique de création d'un modèle qui se base sur les installations dans l'état actuel.

C. Extraction des données

Après avoir identifié les paramètres disponibles et la période de travail un premier travail est de les représenter en fonction du temps de manière à faire apparaître les données gênantes pour pouvoir les traiter. Pour l'ensemble du traitement des données le logiciel MATLAB est utilisé. Un premier programme nommé « extraction.m » a été créé dans le but d'extraire facilement des périodes de données précises dans les fichiers Excel fournis par la station. Ce programme est disponible en ANNEXE

Utilisation du programme d'extraction :

Le fichier Excel contenant les données doit comporter les paramètres cités ci-dessus, dans le bon ordre avec pour chaque page du fichier une nouvelle journée de mesure. L'utilisateur doit :

- Indiquer le nom du fichier Excel contenant les données dynamiques
- Indiquer le pas de mesure (dans notre cas toutes les 15 secondes)
- Indiquer en coordonnées Excel la position du tableau contenant toutes les données.
- Indiquer le numéro des pages de l'Excel qui l'intéresse (ce qui revient à choisir la période de mesure voulue)
- Indiquer au logiciel à quelles dates de début et de fin correspondent les pages de l'Excel sélectionnées.

D. Traitement des données

Pour chaque paramètre nous avons un grand nombre de données et la plupart de ces données sont brutes car directement issues des appareils de mesures de la station. On va ainsi être confronté à des problématiques de « bruit » et de valeurs aberrantes. Ce problème peut être lié à différents facteurs :

- Des interférences qui viennent gêner la mesure du paramètre et qui dépendent de la nature de la sonde ou du système de mesure en général.
- Un dysfonctionnement temporaire d'un appareil de mesure.
- Un phénomène physique inhérent au procédé qui vient troubler ponctuellement les mesures.

Voici un paramètre qui a nécessité un traitement de données :

Le graphique Bleu rend compte du débit en sortie de station tel qu'il est relevé dans le fichier de données. On

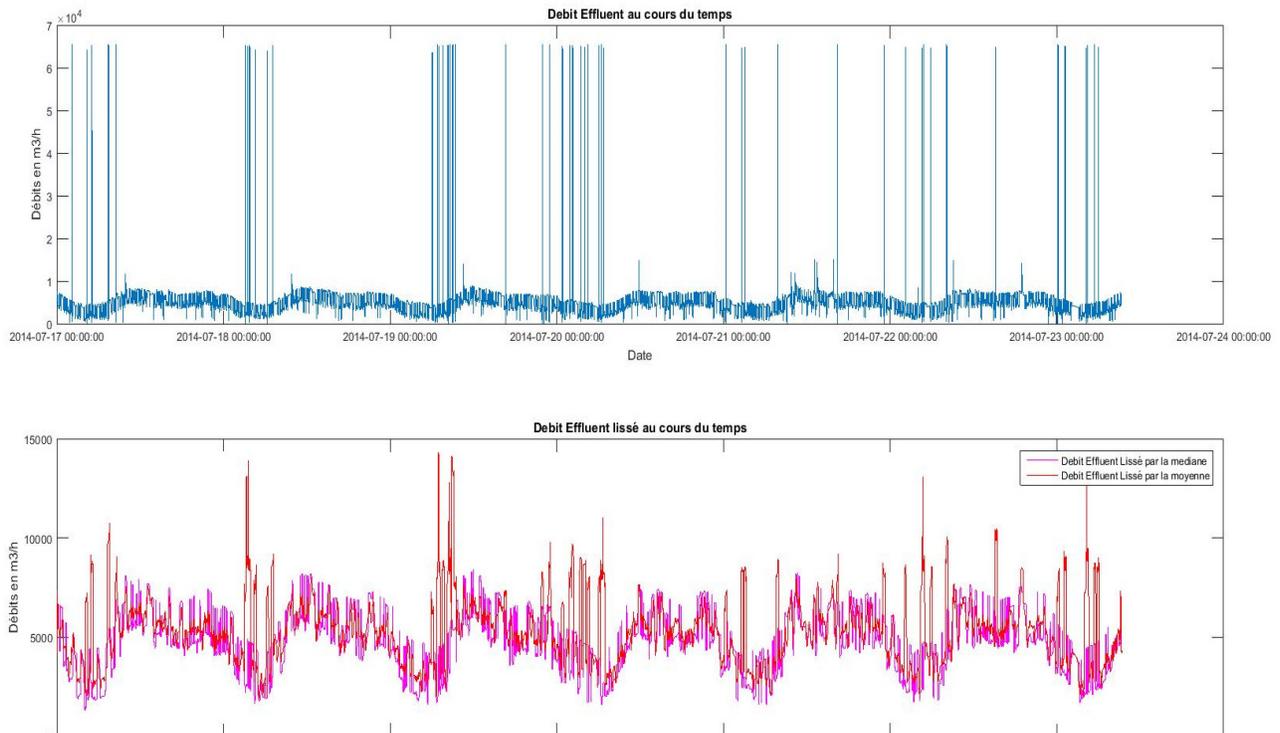


Figure 8 : Débit d'eau en sortie de station (m3/h) du 17 au 23 juillet 2014 (période sèche). Réalisé sous Matlab.

voit apparaître des pics de débit qui montent autour de 65 000m³ alors que la station n'atteint maximum qu'autour de 30 000m³/h par temps de pluie d'après des documents fournis par la station. Or sur cette période nous sommes de plus en période sèche (sans précipitation) et donc avec des débit d'eau plus faible. On peut donc légitimement éliminer ces pics. On utilise pour cela des méthodes de lissage simple. Le graphique du dessous représente ce même débit lissé par l'utilisation de deux méthodes :

- En rouge, un lissage par la moyenne mobile. Le principe de ce lissage simple consiste à prendre, pour une valeur à l'instant t, une fenêtre d'une taille n à définir et de remplacer la valeur à l'instant t par la moyenne des valeurs comprises entre l'instant t-n et t+n. Un tel lissage est cependant sensible aux valeurs aberrantes comme c'est le cas ici car elles sont prises en compte dans le calcul des

moyennes locales. On le voit sur le graphique avec la présence de pics rouge au même endroit que les valeurs aberrantes.

- En magenta, un lissage par la médiane mobile. Ce lissage fonctionne de la même manière mais au lieu de réaliser une moyenne locale sur une fenêtre à définir on détermine la médiane et on remplace la valeur à l'instant t par la médiane des valeurs comprises entre $t-n$ et $t+n$. La médiane mobile à l'avantage d'être moins sensible aux valeurs aberrantes. Et effectivement on note la disparition des pics sur la courbe en magenta.

Quelque soit le lissage il est important de définir la fenêtre de manière à faire disparaître seulement les valeurs ou la variation jugée dispensable. Dans notre cas la fenêtre choisie pour le lissage des débits est de 10 minutes (soit $40 * 15$ s sur le programme).

Le programme de lissage, de traitement de données et de traçage des graphiques pour chaque paramètre est disponible en Annexe sous la dénomination « Exploration_m ».

E. Incohérence de certaines données

Comme expliqué précédemment certaines données sont issues de différentes méthodes de mesure ou de calcul. Ainsi selon la méthode employée des disparités plus ou moins importantes peuvent constatées. C'est par exemple le cas pour les mesures de débits et les mesures de concentration de la matière en suspension comme l'illustre le graphique suivant.

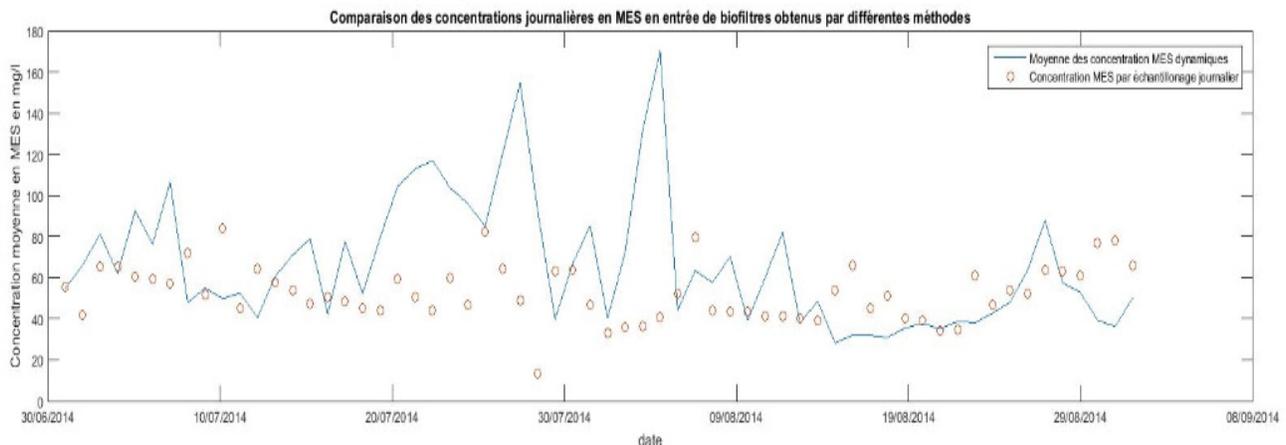


Figure 9 : Concentration journalière en MES en sortie station du 17 au 23 juillet 2014 selon deux méthodes de mesure. (Tracé sous Matlab)

Sur le graphique apparaît tracé en bleu la moyenne journalière des mesures prises par le turbidimètre de la station en entrée de biofiltration. En orange apparaissent les mesures de MES mesurées après échantillonnage selon les méthodes cités précédemment. On s'aperçoit que les mesures ne semble pas concorder. Plusieurs explications peuvent être données :

- Tout d'abord la nature des mesures diffère. En bleu est représentée la moyenne des valeurs dynamiques de la concentration mesurée par le turbidimètre. En orange est représenté une mesure de MES réalisée selon la méthode standard en laboratoire avec échantillonnage composite. Les échantillons ne sont pas prélevés de manière régulière dans le temps, ils sont prélevés lorsqu'un certain volume d'eau est passé (autrement dit un échantillon tous les x m³). De ce fait il y a plus d'échantillons lors des période de forts débit et inversement. Il faudrait donc pondérer la moyenne des valeurs prise par le turbidimètre de manière à donner plus de poids aux valeurs mesurées lors

de fort débit. La problématique est de savoir quelle pondération réaliser, il faudrait pour cela savoir tout les combien de mètres cubes un échantillonnage est réalisé.

- Une deuxième explication est basée sur le lieu de la prise de mesure. La prise d'échantillon pour la mesure de concentration en MES au biofiltres est réalisée après les vis d'archimède, juste à l'entrée des biofiltres alors que la mesure de concentration en MES par les turbidimètres est réalisée avant les vis d'archimède. Cette différence s'explique par la sensibilité des sondes de turbidité vis-à-vis des bulles et micro-bulles. Les vis d'archimèdes brassent l'eau et créent des micro-bulle qui créerait des interférence au niveau de la sonde de turbidité. Cette dernière est donc placée en amont des vis.
- Enfin une troisième explication vient du système de mesure par turbidimètre. On ne mesure par directement une concentration en MES mais bien une turbidité. La sonde est calibré pour traduire la turbidité observée directement en MES. Néanmoins certains éléments peuvent venir interférer. C'est le cas des micro-bulles par exemple, ou encore des colloïdes mais aussi des pigments d'oxyde de titane émis de temps par l'usine de production de papier à proximité de la station.

Le but de la modélisation étant à terme le contrôle et l'optimisation du système, le choix a été fait de garder pour base de donnée les valeurs dynamiques fournies par les capteurs. La mesure par échantillonnage est plus fiable mais n'est réalisée qu'une seule fois par jour.

III. Pistes Explorées pour la modélisation

Une fois les données comprises et analysées des pistes de modélisation peuvent être envisagées. Pour imaginer les paramètres qui pourraient au mieux rendre compte du processus de biofiltration il était également important de comprendre le procédé en lui même. Ainsi 2 pistes ont été principalement explorées. La première se base sur les bilans de matière en MES. La deuxième piste repose sur l'étude des lavages.

A. Modélisation par l'étude des Charges en MES

Comme expliqué précédemment la biofiltration Biodrof est essentiellement influencée en été par les MES décantables qui n'ont pas été entièrement traitées par la décantation primaire. Le problème posé quant à l'efficacité des biofiltres repose sur le colmatage de ces derniers. Un bilan de matière sur les MES permettrait de rendre compte du colmatage et de la capacité des biofiltres à capter une partie des MES.

1) Etude du système Biofiltres-secondaire-traitement UV

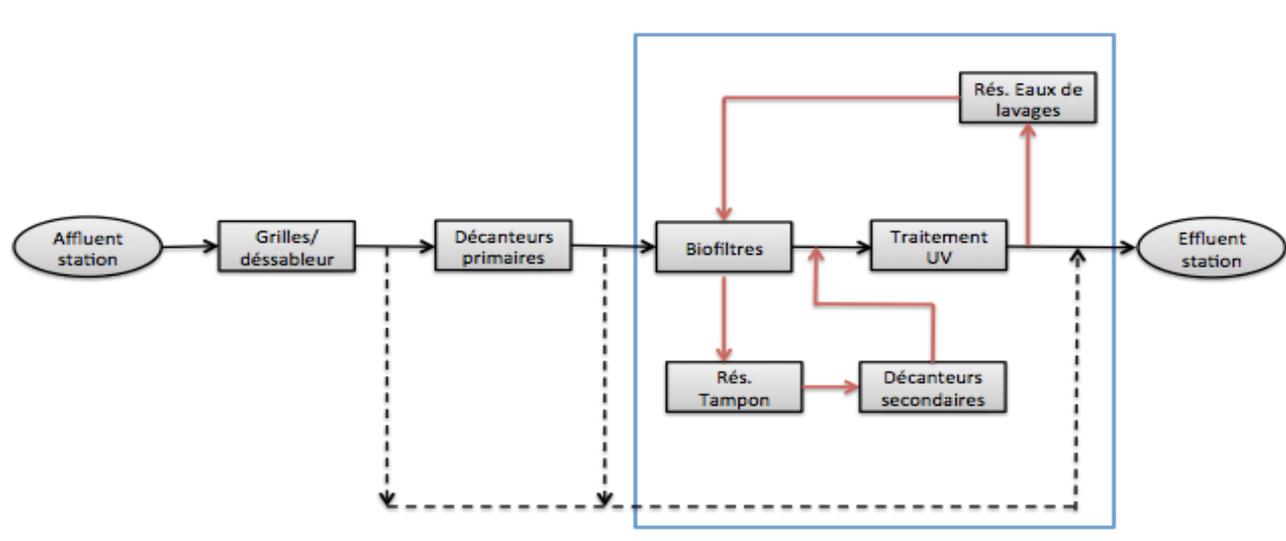


Figure 10 : système Biofiltres-Secondaire-Traitement UV

N'ayant pas à disposition la concentration en MES à la sortie des biofiltres, une première approche a été de s'intéresser à un système plus global dont les limites sont représentées sur la figure ci-dessus.

Les premières données qui ont été fournies par la station étaient les données mesurées toutes les 15 secondes par sonde de turbidité. La concentration en MES donnée en sortie des décanteurs primaires et en sortie de la station (effluent station) a permis de réaliser ce premier tracé :

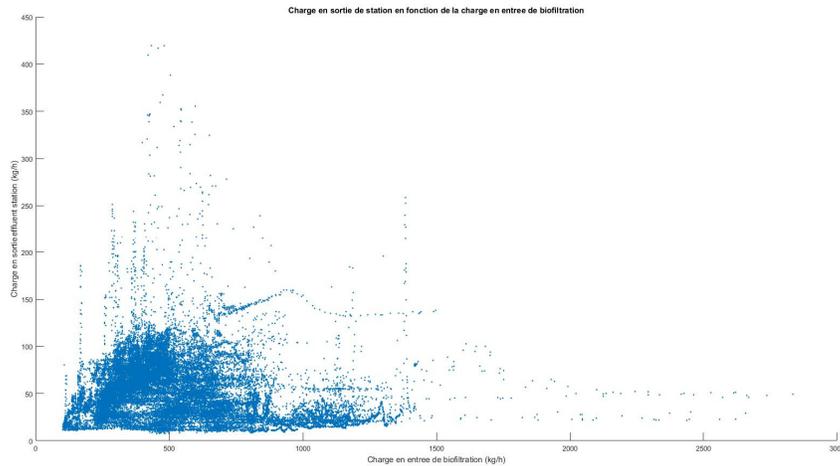


Figure 11 : Charge en sortie de station en fonction de la charge en entrée de biofiltration (en kg/h) sur la période du 17 au 23 juillet 2014

Le graphique représente l'ensemble des charges en MES en sortie de station en fonction des charges en entrée de biofiltration mesurées au même instant. La période choisie s'étale sur 6 jours sans pluie en 2014. On s'aperçoit qu' à priori aucune relation ne semble relier les deux paramètres. Néanmoins les résultats sur une période de 3 jours sans pluie en 2015 donne les résultats suivants :

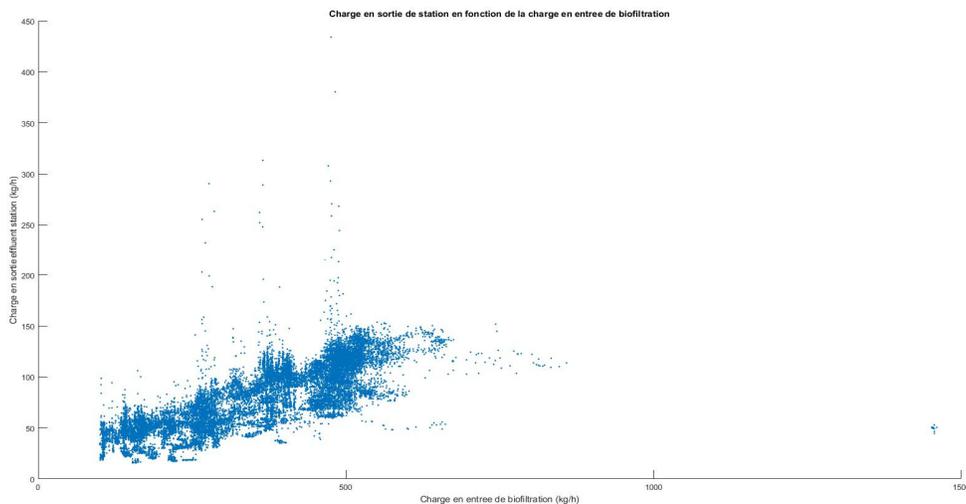


Figure 12 : Charge en sortie de station en fonction de la charge en entrée de biofiltration (en kg/h) sur la période du 27 au 29 juillet 2015

On voit ici apparaître une certaine linéarité bien que la dispersion reste encore importante. Cela s'explique par le fait que l'on ne prend pas en compte ici le temps de séjour qui sépare l'entrée de la biofiltration à la sortie de la station. Un test traceur permettrait de déterminer ce temps de séjour est donc de donner des résultats plus cohérents.

Ne connaissant pas le temps de séjour il serait possible de l'estimer cependant une autre méthode consiste à prendre les résultats journaliers. En étalant les temps entre chaque mesure à la journée on réduit l'influence du temps de séjour. Les résultats obtenus sont alors les suivants :

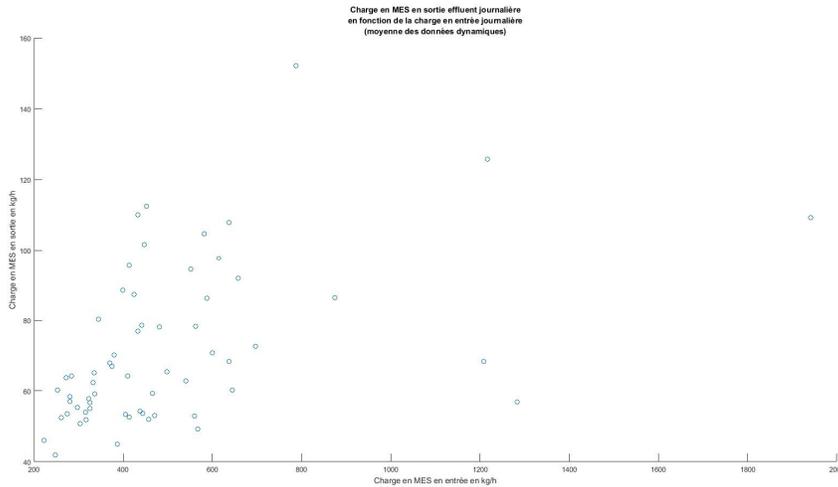


Figure 13 : Charge journalière en sortie de station en fonction de la charge journalière en entrée de biofiltration (en kg/h) sur l'été 2014

Cette fois la période d'étude s'étale sur tout le mois de juillet est le temps de séjour entre la biofiltration et la sortie de la station est négligeable puisque l'on prend des mesures journalières. On voit encore une fois apparaître une certaine tendance mais le r^2 reste bien trop imprécis pour permettre de déterminer une relation mathématique.

2) Etude du système Biofiltres seulement

La première voie envisagée avait été d'observer le bilan en MES sur une unité de biofiltration seulement pour avoir un modèle sur une unité de biofiltration. Mais l'absence de donnée quant à la concentration en MES en sortie directe des biofiltres nous a obligé à revoir le problème de manière générale sur le système vu précédemment. Il est néanmoins possible de déterminer de manière théorique le flux de MES en sortie directe des biofiltres en réalisant des bilans sur le reste de l'installation. On travaillera pour cela sur des périodes sans précipitation de manière à ce que les débits dans les dérivation soient nuls (faible débit à la station et donc pas besoin de dériver). Dans ce cas là on se retrouve dans la situation indiquée par le schéma bloc suivant :

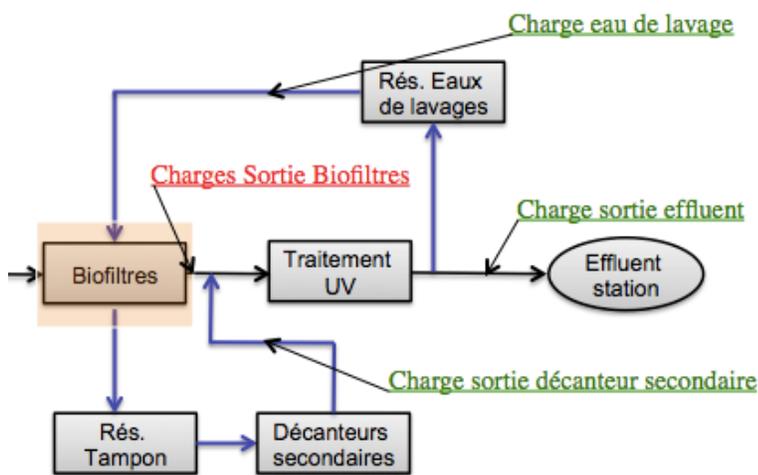


Figure 14 : schéma bloc bilan matière en période sèche

La concentration en MES est connue à la sortie de la station et à la sortie du décanteur primaire. Comme il n'y a pas de dérivation la concentration en MES sur le réseau d'eau de lavage et la même qu'en sortie de station. On peut alors déterminer la sortie directe de la biofiltration selon :

$$F_{\text{sortie Biofiltration}} = F_{\text{sortie effluent station}} + F_{\text{eaux de lavages}} - F_{\text{sortie décanteur secondaire}}$$

(F : flux de MES)

On peut ensuite en déduire la charge en MES captée par la biofiltration :

$$F_{\text{captée}} = F_{\text{entrée biofiltration}} - F_{\text{sortie biofiltration}}$$

(F : flux de MES)

Sur une période sans pluie on obtient alors le résultat suivant :

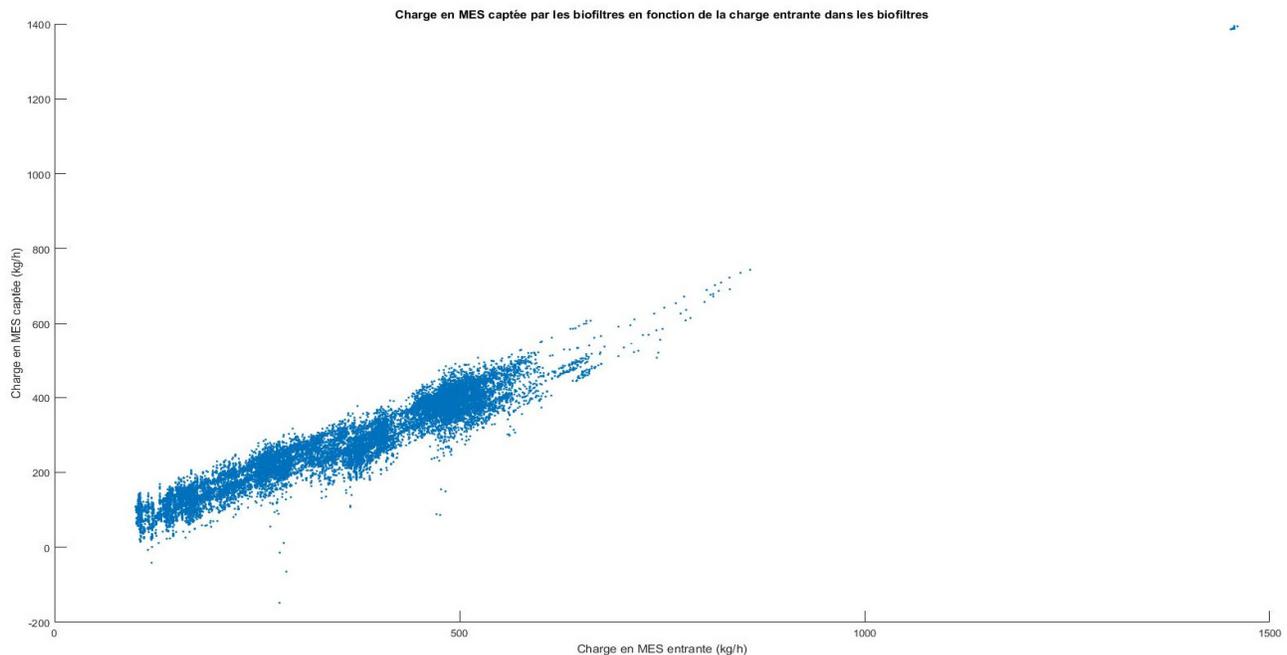


Figure 15 : Charge en MES captée en fonction de la charge en MES entrante (en kg/h) sur la période du 27 au 29 juillet 2015

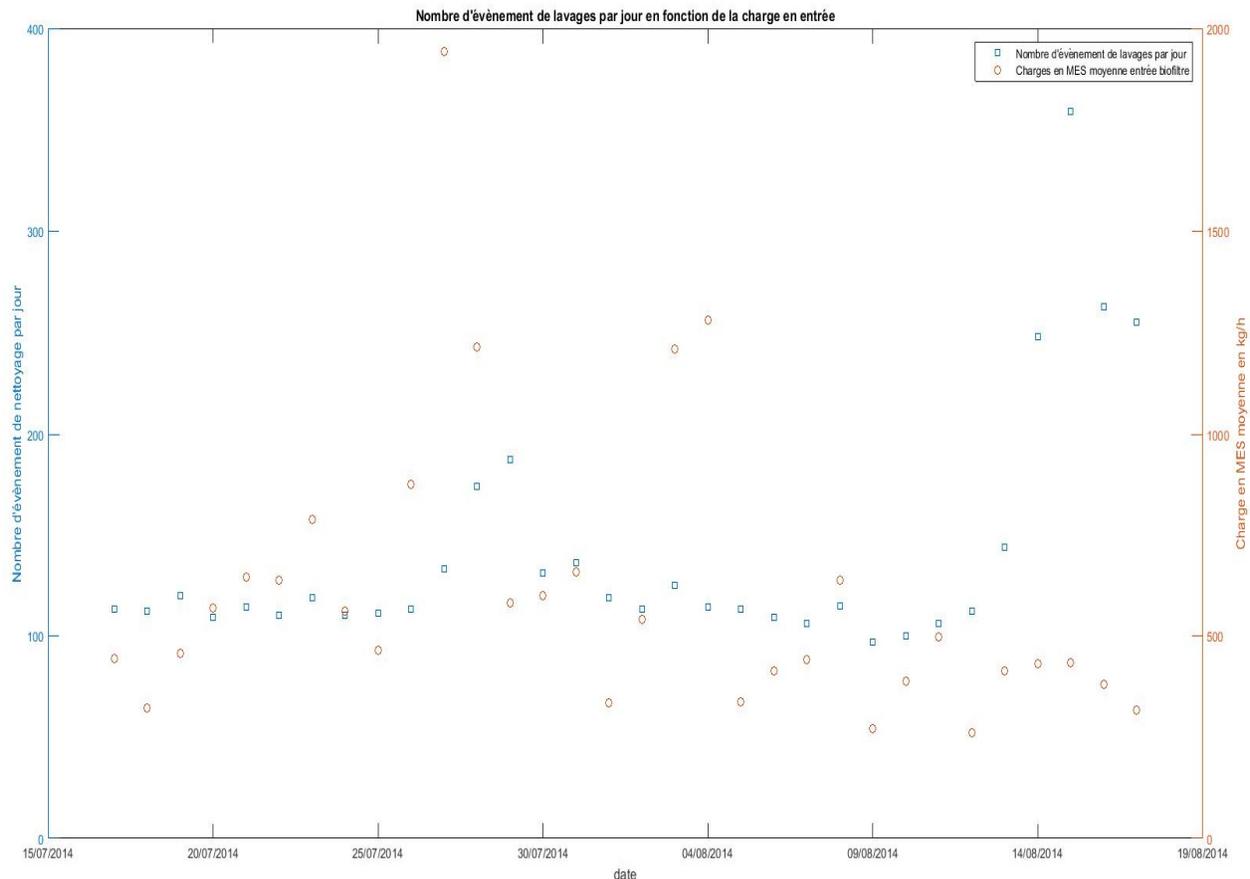
On voit apparaître une relation linéaire avec une pente autour de 0,9. Des résultats identiques sont observables pour la période sèche du 17 au 23 juillet 2014. Néanmoins ces résultats ne rendent compte que des biofiltres. Or le sujet de cette étude est la modélisation de la biofiltration pour compléter un modèle à plus grande échelle qui va de la collecte des eaux sales jusqu'à la sortie du décanteur primaire. Pour avoir un modèle qui aille jusqu'au rejet des eaux dans le Saint Laurent il faut prévoir de prendre en compte l'influence du circuit des eaux de lavages qui rejoignent l'effluent de la station après avoir lavé les biofiltres et avoir décanté dans les décanteurs secondaires.

B. Modélisation par l'étude des nettoyages

Si on se base encore une fois sur le phénomène de colmatage, comment rendre compte de ce phénomène d'une autre manière qu'en utilisant les bilans de matière sur les MES ? Comme expliquer précédemment les

biofiltres doivent régulièrement être lavés pour éliminer le colmatage et revenir à une perte de charge acceptable (c'est à dire autour de -5 kPa). Étant donné que les lavages se déclenchent au bout d'un certain laps de temps ou lorsqu'une certaine perte de charge est atteinte on peut imaginer relier les lavages à un certain « stress » subit par les biofiltres et rendre compte de leur comportement via ce biais.

Parmi les données fournies par la station figure le nombre de lavages, de mini-lavages et de décolmatages qui ont lieu chaque jour sur chacun des deux réseaux de biofiltre. En ramenant cela à la charge en MES qui entre dans les biofiltres on observe ceci :



En bleu est représenté le nombre d'événement de nettoyages à savoir le nombre de lavage, mini-lavage et décolmatages par jour sur l'ensemble des biofiltres. En orange est représentée la charge entrante en MES moyenne sur la journée. On s'aperçoit alors que le nombre de lavages est totalement décorrélé de la charge entrante. Ce résultat est aussi observé pour les décolmatages seulement, pour les mini lavages seulement et pour les lavages seulement. De plus, les observations sont identiques sur chacun des réseaux de biofiltre si on les prend séparément.

Une étude plus poussée au niveau d'un seul module de biofiltre est également possible et ce grâce aux paramètres de perte de charge et de niveau d'eau dans le caisson de rétention.

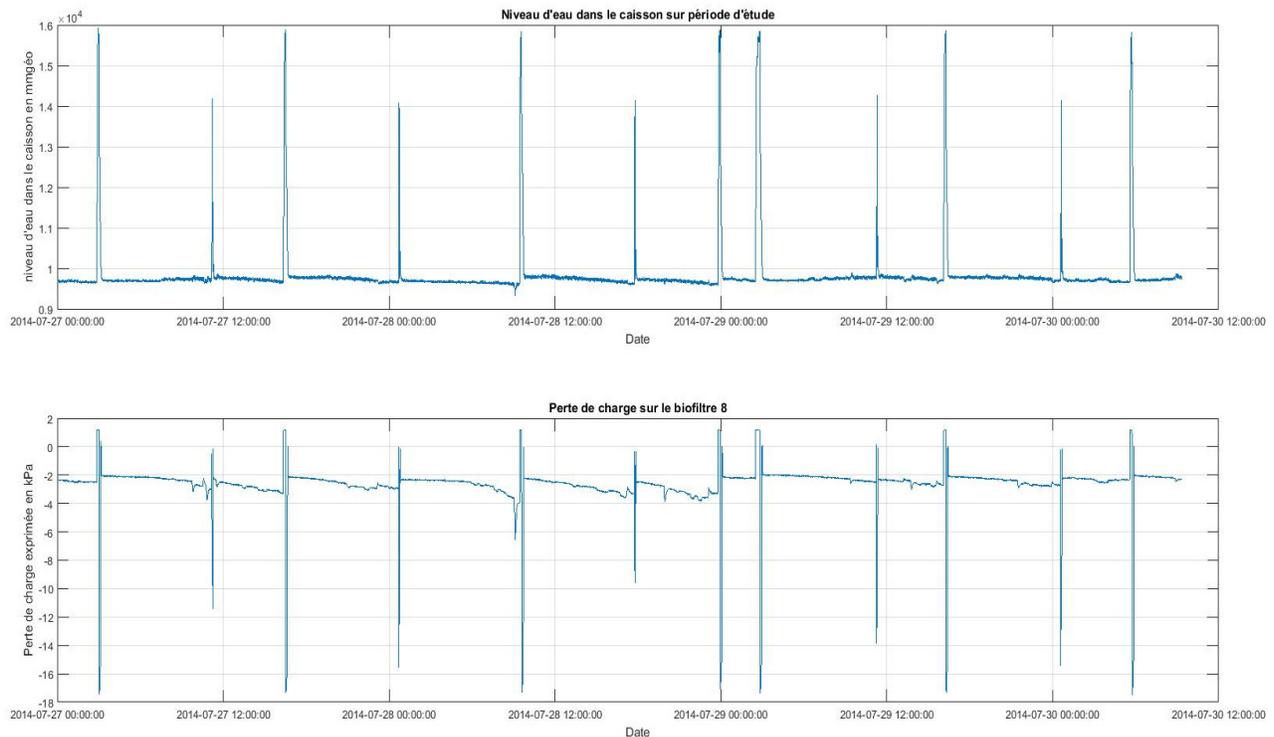


Figure 17 : niveau d'eau dans les caissons du biofiltre 8 (mmCE géo) et perte de charge dans le biofiltre 8 sur la période du 27 au 29 juillet 2015

Sur cet exemple de la période sèche de 27 au 29 juillet 2015 on peut voir la représentation de la perte de charge et du niveau d'eau du caisson du biofiltre 8. Le niveau d'eau (graphique du haut) témoigne des événements de lavages à chaque pic. En effet à chaque lavage, mini-lavage ou décolmatage le caisson se remplit d'eau de lavage et le niveau d'eau mesuré augmente brusquement. De même à chaque événement de lavage de l'air est insufflé à courant ascendant et la perte de charge mesurée fluctue alors rapidement. On voit effectivement que les pics de niveau d'eau et les fluctuations de perte de charge correspondent exactement.

Pour pouvoir analyser au mieux la fréquence des événements de lavages, il est intéressant de savoir à quel type d'événement de lavage correspond chaque pic. L'étude des données Excel directement par lecture fait apparaître des Δt plus ou moins long pour la durée des pics de niveau d'eau dans les caissons :

- 27minutes < Δt < 31 minutes => supposé pour les lavages
- 18 minutes < Δt < 23 minutes => supposé pour les mini-lavages
- $\Delta t \approx 5$ minutes pour les décolmatages

Ce critère de temps a permis de déterminer le type d'événement de lavage pour chaque pic :

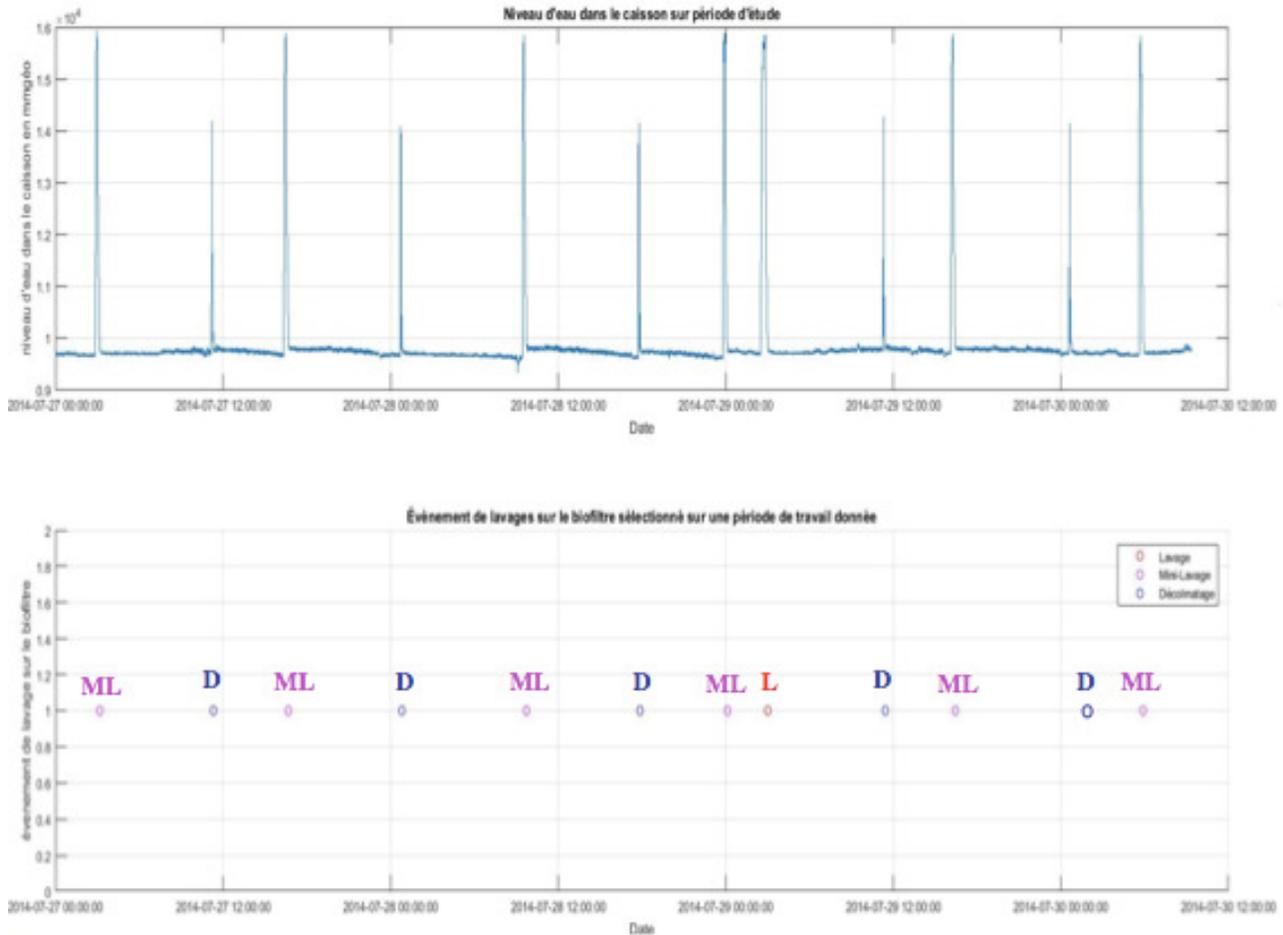


Figure 18 : Niveau d'eau (mmCE géo) et évènements de lavages sur la période du 27 au 29 juillet 2015

Le graphique ci-dessus refait apparaître le niveau d'eau dans le caisson du biofiltre 8 ainsi que les évènements auxquelles correspond chaque pic. On voit que l'ordre cité dans la première partie n'est pas le même ici. Il semble que l'on ait :

L → D → ML → D → ML → D → ML → D → L → ...

L'étude des évènements de lavages doit continuer par l'analyse de la fréquence de chacun de ces évènements de lavages. Il est possible que l'on puisse relier la fréquence à la performance directe de la biofiltration et de pouvoir ainsi en déterminer un modèle.

Conclusion

La modélisation est un outil puissant qui permet à moindre coût de prédire un comportement et à terme de contrôler ou optimiser un procédé. Dans le cadre de ce stage il m'a été permis d'avoir un aperçu de ce qu'est cet outil, mais en seulement trois mois de stage je n'ai pu mener l'étude suffisamment loin et les objectifs énoncés en première partie ne sont atteints qu'en partie.

Durant ce stage j'ai acquis une meilleure compréhension de la biofiltration de la station de Québec, que ce soit sur le procédé en lui-même, sur le système de lavage, sur les méthodes de mesures de la station et sur le fonctionnement général de cette dernière. J'ai également pu développer un programme Matlab permettant l'extraction des données pour la période voulue, permettant leur traitement et permettant enfin l'affichage de nombreuses représentations graphiques qui m'ont permis d'avoir une vue d'ensemble des possibilités disponibles pour une modélisation. Enfin, j'ai mis en évidence deux pistes possibles pour une modélisation à travers l'étude des MES et des cycles de lavages des biofiltres.

Mon principal regret est de n'avoir pas pu continuer à explorer ces deux pistes jusqu'à l'obtention d'un résultat mathématique concret qui aurait ensuite pu être vérifié par des tests statistiques et rentré dans un logiciel de simulation. Il serait également intéressant de pousser l'étude à d'autres périodes que la période estivale ou que les périodes sèches sans précipitation.

Table des illustrations

Figure 1 : Photo de la station Est de Québec (issue de : https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/docs/systeme_collecte_traitement_eaux_usees.pdf)	6
Figure 2 : Rivière Saint Charles avant et après son redressement (issue de : http://www.quebecurbain.qc.ca/2008/02/29/quebec-a-vol-doiseau-en-1948/)	7
Figure 3 : Plan de la ville du réseau d'assainissement (issue de : https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/docs/systeme_collecte_traitement_eaux_usees.pdf)	7
Figure 4: Photo des biofiltres depuis le dessus et représentation du cheminement des eaux sales. (photo prise à la station)	10
Figure 5 : Schéma simplifié d'un module de biofiltration en fonctionnement	11
Figure 6 : Schéma bloc de la station, définition des systèmes d'études	16
Figure 7 : échantillon de média filtrant avec biofilm excessif (photo fournie par la station)	20
Figure 8 : Débit d'eau en sortie de station (m ³ /h) du 17 au 23 juillet 2014 (période sèche). Réalisé sous Matlab.	21
Figure 9 : Concentration journalière en MES en sortie station du 17 au 23 juillet 2014 selon deux méthodes de mesure. (Tracé sous Matlab)	22
Figure 10 : système Biofiltres-Secondaire-Traitement UV	24
Figure 11 : Charge en sortie de station en fonction de la charge en entrée de biofiltration (en kg/h) sur la période du 17 au 23 juillet 2014	25
Figure 12 : Charge en sortie de station en fonction de la charge en entrée de biofiltration (en kg/h) sur la période du 27 au 29 juillet 2015	25
Figure 13 : Charge journalière en sortie de station en fonction de la charge journalière en entrée de biofiltration (en kg/h) sur l'été 2014	26
Figure 14 : schéma bloc bilan matière en période sèche	26
Figure 15 : Charge en MES captée en fonction de la charge en MES entrante (en kg/h) sur la période du 27 au 29 juillet 2015	27
Figure 16 : Nombre d'évènements de lavage et charge en MES entrante du 17 juillet au 17 août 2014	28

Figure 17 : niveau d'eau dans les caissons du biofiltre 8 (mmCE géo) et perte de charge dans le biofiltre 8 sur la période du 27 au 29 juillet 2015 _____ 29

Figure 18 : Niveau d'eau (mmCE géo) et évènements de lavages sur la période du 27 au 29 juillet 2015 _____ 30

Bibliographie

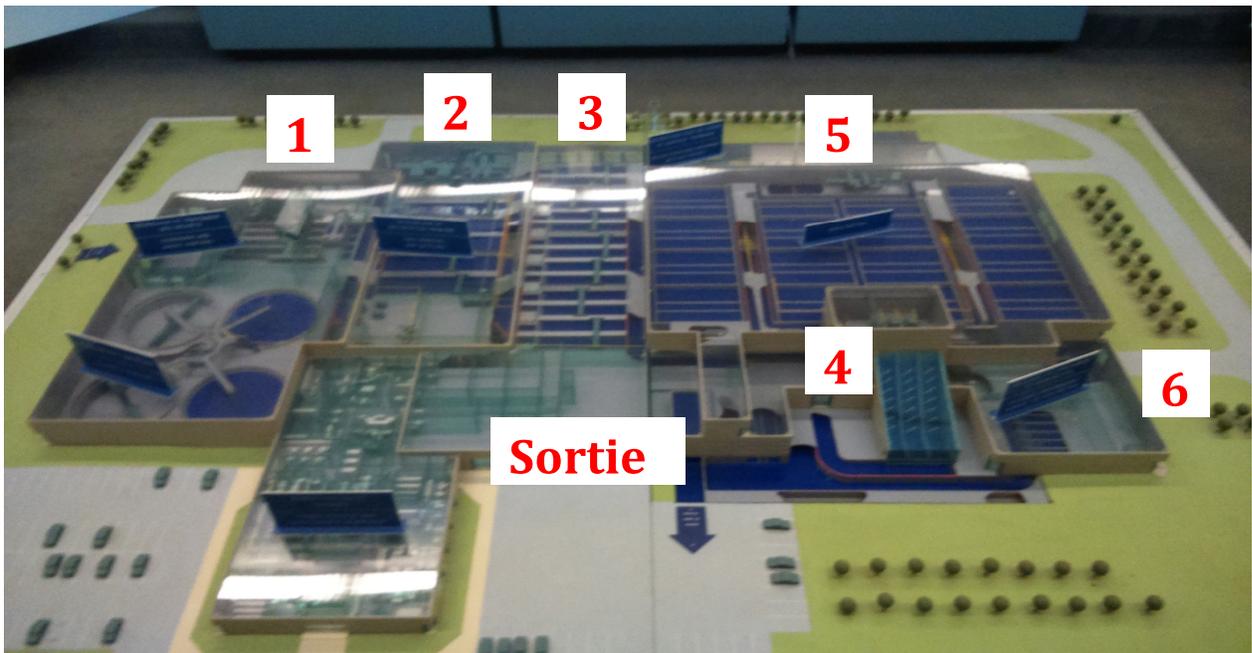
1. **MINISTÈRE DU TOURISME.** *Les plus récentes données sur le tourisme au Québec [en ligne]*. (mis à jour le 17 juin 2015) Disponible sur : <<http://www.tourisme.gouv.qc.ca/publications/media/document/etudes-statistiques/recentes-donnees-tour-qc.pdf>> (consulté le 22 juillet 2015).
2. **UNIVERSITÉ LAVAL.** *Notre université [en ligne]*. (mis à jour en 2015) Disponible sur : <<https://www2.ulaval.ca/notre-universite.html>> (consulté le 22 juillet 2015).
3. **VILLE DE QUÉBEC.** *Statistiques –ville. [en ligne]*. (mis à jour en 2015) Disponible sur : <https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/portrait/quelques_chiffres/> (consulté le 22 juillet 2015).
4. **VILLE DE QUÉBEC.** *Traitement des eaux. [en ligne]*. (mis à jour en 2015) Disponible sur : <https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/traitement_eaux_usees.aspx> (consulté le 22 juillet 2015).
5. **VILLE DE QUÉBEC.** *Système de collecte et de traitement des eaux usées. [en ligne]*. (créé le 7 avril 2011) Disponible sur : <https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/eau/docs/systeme_collecte_traitement_eaux_usees.pdf> (consulté le 24 juillet 2015).
6. **MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, ENVIRONNEMENT ET LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.** *25 ans d'assainissement des eaux usées industrielles au Québec : un bilan. [en ligne]* (mis à jour en 2015) Disponible sur : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/industrielles/chapitre1_b.htm> (consulté le 24 juillet 2015).
7. **LAMBERT SOMEC.** *Communauté Urbaine de Québec (C.U.Q). [en ligne]*. Disponible sur : <<http://www.lambertsomec.com/index.php/fr/realisations/environnement/ft-0023-communaute-urbaine-de-quebec-c-u-q.html>> (consulté le 27 juillet 2015).
8. **VEOLIA.** *Water technologies. [en ligne]*. (mis à jour en 2015) Disponible sur : <<http://www.veoliawaterst.com/fr>> (consulté le 27 juillet 2015).
9. **VEOLIA.** *Biostyr™. [en ligne]*. Disponible sur : <http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/biostyr/fr/precisions_techniques.htm> (consulté le 27 juillet 2015).
10. **DEGRÉMONT TECHNOLOGIES.** *Biofor®. [en ligne]*. (créé en 2009) Disponible sur : <http://www.degremont-technologies.com/IMG/pdf/4p_BIOFOR-US-F.pdf> (consulté le 27 juillet 2015).
11. **SUEZ ENVIRONNEMENT DEGRÉMONT.** *Accueil. [en ligne]*. (mis à jour en 2015) Disponible sur : <<http://www.degremont.fr/>> (consulté le 27 juillet 2015).
12. **OUDOUL Marie-Anne.** *Modélisation de la perte de charge dans un biofiltre.* Rapport de stage, traitement de l'eau. Québec : Université Laval, 2001, 50 p.
13. **TURCOTTE, Véronique.** *Utilisation d'écaillés de cacao comme matériau support pour la biofiltration d'effluents agroalimentaires. [en ligne]*. Master en Sciences domaine Chimie. Lieu de soutenance :

- Université du Québec, 2009, 107p. Disponible sur : <<http://espace.inrs.ca/2004/1/T000497.pdf>> (consulté le 30 juillet 2015).
14. IRESTEA. Proposition sujet de thèses. *Comportement de la pollution particulaire et du biofilm en biofiltration : compréhension, modélisation et lutte contre le colmatage*. 12p. (consulté de 30 juillet 2015)
 15. INFORISQUE.INFO. *Station d'épuration des eaux usées : Quelles mesures de prévention contre les risques biologiques*. **[en ligne]**. (rédigé le 27 septembre 2013) Disponible sur : <<http://www.inforisque.info/actualite-du-risque/article.php?id=4519>> (consulté le 30 juillet 2015).
 16. DIVISION DE L'EXPERTISE TECHNIQUE DE MONTRÉAL. *Détermination des matière en suspension et matières suspension volatiles dans l'eau*. **[en ligne]**. http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/VDM_M-CR-5.4-001_MES_MESV.PDF (consulté le 2 août 2015).
 17. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. *Méthode d'analyse détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique*. **[en ligne]**. (révisé le 23 juillet 2009). Disponible sur : <<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA103Tur10.pdf>> (Consulté le 2 août 2015).
 18. WATER ENVIRONNEMNT FEDERATION. Can yu trust your TSS to improve your process control ? [enregistré le 16 juillet 2014] **[enregistrement vidéo]**. In : WEF. *WEF.org*. [2 heures] Disponible sur : <<http://wef.org/TSSstoImproveProcessControl/>> (Conulté le 2 août 2015)
 19. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. *Détermination de la demande chimique en oxygène : méthode de reflux en système fermé suivi d'un dosage par colorimétrie avec le bichromate de potassium*. **[en ligne]**. (édité le 22 avril 2014). Disponible sur : <<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA315DCO11.pdf>> (Consulté le 2 août 2015).
 20. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. *Détermination de la demande biochimique en oxygène : méthode électrométrique*. **[en ligne]**. (édité le 12 juillet 2014). Disponible sur : <<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA315DBO11.pdf>> (Consulté le 2 août 2015).
 21. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. *Détermination des nitrates et des nitrites : méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le N.E.D.* **[en ligne]**. (édité le 12 juillet 2014). Disponible sur : <<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA300NO320.pdf>> (Consulté le 2 août 2015).
 22. LE BIHAN Ian, LESSARD Paul. *MONITORING BIOFILTER CLOGGING : BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE BIOMASS*. Étude, traitement de l'eau. Département génie civil, Université Laval, Québec. 19p.
 23. OUDOUL Marie-Anne. *Modélisation de la perte de charge dans un biofiltre*. Rapport de stage, traitement de l'eau. Université Laval, Québec. 2001, 50 p.

ANNEXES

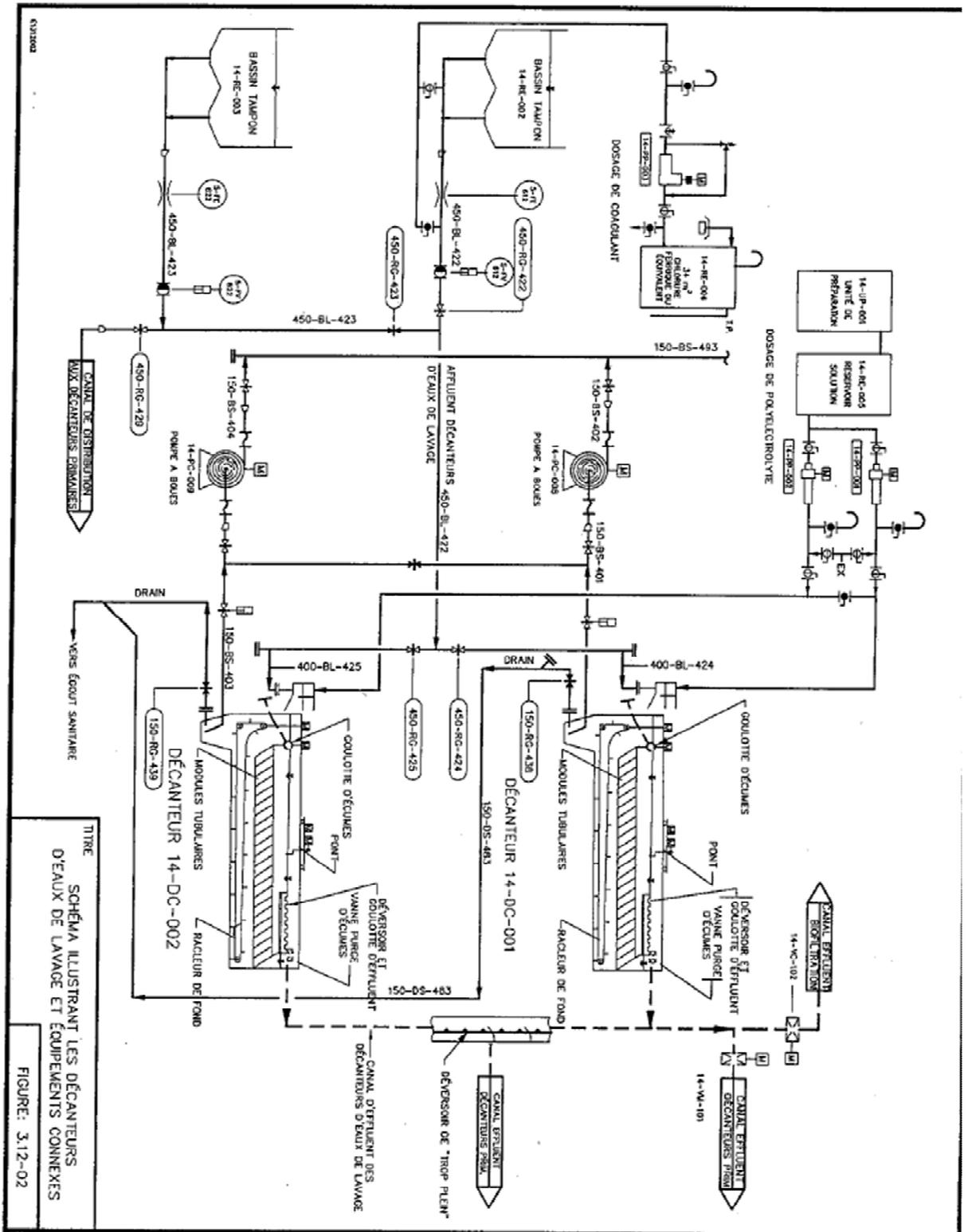
Annexe I : représentation maquette de la station	II
Annexe II : Flowsheet du circuit secondaire.....	III
Annexe III : Programme MATLAB d'extraction et d'exploration de données.....	IV
→ Programme « extraction » : servant à l'extraction de données	IV
→ Programme d'exploration des débits	VIII
→ Programme d'exploration des MES (concentration et charges)	XIV
→ Programme d'exploration des pertes de charge.....	XXII
→ Programme d'exploration des cycles de lavage.....	XXIV
→ Programme d'exploration des températures et précipitations.....	XXXI

Annexe I : représentation maquette de la station



1. **dégrilleurs** : Extrait les matières solides grossières, cela représente 500t de déchets annuellement. Le rôle des dégrilleurs est aussi de protéger les équipements en aval. Il y a 2 dégrilleurs composées de barres espacées de 1,9 cm avec nettoyage mécanique.
2. **dessableurs** : Utilisées pour éliminer les sables et les composés flottants par injection d'air dans les bassins. Cela permet d'évacuer 800t de flottants et 1500t de sable par an. Il y a 5 dessableurs aérés à la station Est qui éliminent 95% des grains de sables de 0,2mm.
3. **décanteurs primaires** : Leur rôle est d'extraire les MES et le reste des flottants. La station Est comporte 7 décanteurs qui sont constituées de plaques lamellaires inclinées de 55° et espacées de 10mm. L'opération permet d'éliminer 60% des MES.
4. **vis d'Archimède** : Ces vis permettent d'acheminer l'eau jusqu'aux biofiltres (7,5m de hauteur). Ils entraînent des investissements de départ importants mais nécessitent peu d'entretien et aèrent l'eau. Cela permet d'augmenter le taux d'oxygène dans l'eau pour ensuite alimenter le biofilm des biofiltres.
5. **biofiltres** : Les biofiltres éliminent les restes de MES et les composés organiques dissous. La station Est est composée de 30 biofiltres lavés régulièrement pour éviter le colmatage grâce à des eaux de lavage qui circulent dans un circuit secondaire et qui sont ensuite traitées dans des décanteurs.
6. **traitement UV** : uniquement en période estivale de juin à septembre, cette opération élimine 99,5% des coliformes fécaux.

Annexe II : Flowsheet du circuit secondaire



Annexe III : Programme MATLAB d'extraction et d'exploration de données

→ Programme « extraction » : servant à l'extraction de données

```
% Ce script a pour rôle d'extraire les données fournies par la station Est
% de Québec sous format Excel pour pouvoir les stocker dans des variables
% clairement définies sur Matlab. Il s'agit d'identifier les paramètres +
% disposition afin de pouvoir créer matrices et vecteurs contenant les
% données d'intérêt pour une période choisie. Les variables seront
% sauvegardées sur Matlab. Il suffira ensuite de recharger les données via
% la fonction "load" pour pouvoir les utiliser. Cette opération est
% réalisée pour éviter de surcharger le programme en variable.
%
% Récupération des données dynamique de la station
% depuis un fichier excel. Le fichier Excel en question doit être constitué
% des variables situées ci-dessous et dans le même ordre (vérifier sur
% le fichier Excel). Chaque page du fichier Excel doit contenir une journée
% (voir un peu plus).
%
% IMPORTANT :
% A chaque fois que l'utilisateur souhaite changer de période de travail il
% devra CHANGER OU VÉRIFIER LES VARIABLES SUIVANTES SEULEMENT :
% 'Fichier', 'DebutPeriode', 'FinPeriode', 'Localisation', 'VecNoms',
% 'Pas', 'Dateini', 'Datefin'.
%
%-----%
%-----%
%
% Organisation du programme :
%
% Partie 1 : Extraction du fichier Excel
% Partie 2 : Création du vecteur 'Date'
% Partie 3 : Création de la matrice des débits
% Partie 4 : Création du vecteur du taux de filtration
% Partie 5 : Création des vecteurs des biofiltres actifs et inactifs
% Partie 6 : Création de la matrice des pertes de charges pour chaque biofiltre
% Partie 7 : Création de la matrice des concentrations en MES
% Partie 8 : Création des vecteurs températures
% Partie 9 : Création du vecteur précipitation
% Partie 10 : Création des vecteurs du nombre d'heure moyen d'un cycle de lavage
% Partie 11 : Création de la matrice du nombre d'événements de lavage
% journaliers
% Partie 12 : Création de la matrice des niveaux d'eau dans les caissons de
% biofiltration
%
%-----%
% Partie 1 : Extraction du fichier Excel

clear all
clf;
% mettre le nom du fichier Excel contenant les données
Fichier = 'Modélisation intégrée-donnees selectionnees juillet-aout 2015';

% Pour travailler sur une période donnée il faut être capable de
% sélectionner les pages de données qui constituent la période voulue.
% Les pages du fichier Excel doivent toutes avoir le même nom avec une
% numérotation.
% Ex : sheet1 (1), sheet1 (2), ... sheet1 (50) ...
% ou Feuil1, Feuil2, ... Feuil50, ...

% On entre d'abord le numéro de la page du début de la période et le
% numéro de la page de la fin de la période sur laquelle on souhaite
% travailler.

DebutPeriode = 27; % numéro de la page Excel du début de la période
FinPeriode = 29; % numéro de la page Excel de la fin de la période
```

```

% Pour indiquer la partie de l'excel que Matlab devra lire il faut lui
% préciser la localisation du tableau de données en fournissant les
% coordonnées du tableau au format Excel.
% Ex : 'C5:BI8004' pour le tableau s'étendant de la case C5 à BI8004.
Localisation = 'C5:BI8004'; % Préciser les coordonnées
% Remarque la colonne des date de mesure n'est pas à prendre en compte.

% Création d'un vecteur contenant le nom des pages Excel de la période
% voulue pour la lecture par 'xlsread'.

% Rentrer dans la variable tableau VecNom le nom des pages du fichier de
% données Excel. On ajoute le numéro de la page par la fonction 'strcat'.
% Ex: strcat('Sheet1 ',num2str(k),'') pour avoir le nom 'Sheet (k)'
% ou strcat('Feuil',num2str(k)) pour avoir le nom 'Feuilk'

MatNouvelle=[]; % Matrice qui stocke les données sur une itération (1 page de
l'excel)
MatDonnees=[]; % Matrice qui stocke l'ensemble des données cumulées après
chaque itération et sans redondance de données
for k = DebutPeriode:FinPeriode
    VecNoms{k} = strcat('Feuil',num2str(k)); % à modifier éventuellement
    MatNouvelle = xlsread (Fichier, VecNoms {k},Localisation);
    MatDonnees = [MatDonnees;MatNouvelle];
end
MatDonnees = unique (MatDonnees,'rows','stable');

% Il semble que la fonction datenum
% ne fonctionne pas normalement selon la version de matlab ou d'autres
% conditions tel que le nombre de variable en jeux. Une deuxième tentative
% de création du vecteur Date alors que l'ensemble des variables avaient
% été nettoyé. Il se peut donc que des problèmes soient rencontrés avec cette
% partie du programme.

% % Programme original (fonctionne selon les versions de Matlab)
% FormatDate = 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS';
% MatTemps = datenum('MatTemps',FormatDate);

% % Programme subsidiaire (fonctionne selon les versions de Matlab)
% for k = 1 : length (MatTemps)
%     MatTemps{k} = datenum(MatTemps{k},'yyyy-mm-dd HH:MM:SS');
% end

% MatTemps = unique (MatTemps,'stable');

% _____%

% % modifier noms/tailles/types de variables selon le fichier traité
% % mettre en commentaire les unités et informations utiles sur la variable

% _____%
% Partie 2 : Création du vecteur 'Date'

% Ecriture du vecteur "Date" qui contient les dates de mesures sur la
% période de travail

% Préciser ici le pas de temps entre chaque mesure
Pas = 15; % pas de prise de mesure en seconde

DateExcel = 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS'; % format de date souhaité
Dateini = datenum('2014-07-27 00:00:00',DateExcel); % date de la première
mesure de la période
Datefin = datenum('2014-07-30 09:19:45',DateExcel); % date de la dernière
mesure de la période

Date = [Dateini : abs(Dateini-Datefin)/(length(MatDonnees(:,1))-1) : Datefin]';
save ('Date','DateExcel','Date','Pas')

```

```

% % Vecteur temps qui décrit la période de mesure
% % en seconde, pas de x secondes entre chaque valeur. REMARQUE IMPORTANTE
% % ce vecteur ne contient pas les date de prise de mesure mais seulement
% % une echelle de temps allant de 0 a n avec un pas de x secondes. ce
% % vecteur sera employe pour le tracé des figures qui n'acceptent pas de
% % de variables de type string en abscisse étant donné que la fonction
% % 'datenum' ne fonctionnent pas sur un trop grand nombre de variables.

%
% ----- %
% Partie 3 : CrÉation de la matrice des dÉbits

Debits = MatDonnees(:,1:9);
% % Matrice contenant  $\ddagger$  chaque colonne un dÉbit mesurÉ  $\ddagger$  diffÉrent endroits
% % de la station.
% % DÉbits exprimÉs en m3/h
% % les vecteurs suivant indiquent le nom des dÉbits stockÉs dans chaque
% % colonne de la matrice.
Debit_CanauxGrille = Debits(:,1);
Debit_DecPrimaire = Debits(:,2);
Debit_DerivAmontDecPrimaire = Debits(:,3);
Debit_Biofiltr = Debits(:,4);
Debit_DerivAmontBiofiltr = Debits(:,5);
Debit_DecSecondaire = Debits(:,6);
Debit_EauxLavages = Debits(:,7);
Debit_AmontDesinfection = Debits(:,8);
Debit_Effluent = Debits(:,9);
save('Debits', 'Debits', 'Debit_CanauxGrille', 'Debit_DecPrimaire', 'Debit_DerivAmontDecPrimaire', 'Debit_Biofiltr', 'Debit_DerivAmontBiofiltr', 'Debit_DecSecondaire', 'Debit_EauxLavages', 'Debit_AmontDesinfection', 'Debit_Effluent');

%
% ----- %
% Partie 4 : CrÉation du vecteur du taux de filtration

TxFiltr = MatDonnees(:,10);
% % Vecteur du taux de filtration rÉel en m/h
% % Le taux de filtration reprÉsente :
% % TxFiltr = DÉbit / (Surface d'un biofiltre * Nombre de biofiltre actif)
save ('taux de filtration', 'TxFiltr');

%
% ----- %
% Partie 5 : CrÉation des vecteurs des biofiltres actifs et inactifs

NbrFiltr = 30;
NbrFiltr_actif = MatDonnees(:,11);
NbrFiltr_inactif = NbrFiltr - NbrFiltr_actif;
% % Nombre de filtre de la station, nombre de filtre en activitÉ et nombre de
% % filtre  $\ddagger$  l'arrÍt
save ('Nombre de biofiltre', 'NbrFiltr', 'NbrFiltr_actif', 'NbrFiltr_inactif');

%
% ----- %
% Partie 6 : CrÉation de la matrice des pertes de charges pour chaque biofiltre

PdC = MatDonnees(:,12:41);
% % Matrice contenant  $\ddagger$  chaque colonne les pertes de charge au niveau de
% % chacun des biofiltres numÉrotÉs de 1  $\ddagger$  30. La perte de charge est
% % exprimÉe en kPa
% % ex : pour avoir la perte de charge du biofiltre no5 => PdC(:,5)
save ('Perte de charge', 'PdC');

%
% ----- %
% Partie 7 : CrÉation de la matrice des concentration en MES

MES = MatDonnees(:,42:44);
% % Matrice contenant les diffÉrentes mesures de MES rÉalisÉes pour l'Étude.
% % Chaque colonne reprÉsente un point de mesure diffÉrent. Les MES sont
% % mesurÉes en (mg/l). Les points de mesure sont explicitÉs dans les
% % variables suivantes :
MES_SortieSecondaire = MES(:,1);
MES_SortiePrimaire = MES(:,2);
MES_Effluentstation = MES(:,3);

```

```

save ('Concentration en
MES', 'MES', 'MES_Sortiesecondaire', 'MES_Sortieprimaire', 'MES_Effluentstation');

%
% -----
% Partie 8 : CrÉation des vecteurs tempÉratures

Temp = MatDonnees(:,45:46);
% % Matrice de 2 colonnes la premiÈre pour la tempÉrature dans le systÈme et
% % la deuxiÈme pour la tempÉrature extÉrieur de la station. ExprimÉes en °C.
save ('tempÉratures', 'Temp');

%
% -----
% Partie 9 : CrÉation du vecteur prÉcipitation

Precipitation = MatDonnees(:,47);
% % Donne le vecteur des prÉcipitations enregistrÉes par le pluviomÈtre en
% % mm/h
save ('PrÉcipitation', 'Precipitation');

%
% -----
% Partie 10 : CrÉation des vecteur du nombre d'heure moyen d'un cycle de lavage

NbrHrCycle = MatDonnees(:,48:49);
% % Matrice donnant dans les colonnes 1 et 2 le nombre d'heure moyen entre
% % chaque lavage pour l'ensemble des biofiltres respectivement pour les
% % rÉseaux 1 et 2. exprimÉes en heures.
save ('duree moyenne d'un cycle', 'NbrHrCycle');

%
% -----
% Partie 11 : CrÉation de la matrice du nombre d'ÉvÈnements de lavage
journaliers

% % Cette matrice regroupe l'ensemble des ÉvÈnements de nettoyage des
% % biofiltres (lavages, mini-lavages et dÉcolmatages). Les deux premiÈres
% % colonnes correspondent au nombre de lavage pour les deux rÉseaux
% % respectivement. Les colonnes 3 et 4 correspondent au nombre de
% % mini-lavage respectivement pour les rÉseaux 1 et 2.
% % Enfin les colonnes 5 et 6 correspondent aux dÉcolmatages respectivement
% % pour les rÉseaux 1 et 2.
% % Les variables suivant sÉparent les nombres de lavages, de mini-lavage et
% % de dÉcolmatages
NbrLavage = MatDonnees(:,50:51);
NbrMini = MatDonnees(:,52:53);
NbrDecol = MatDonnees(:,54:55);
save ('ÉvÈnements de nettoyage', 'NbrLavage', 'NbrMini', 'NbrDecol');

%
% -----
% Partie 12 : CrÉation de la matrice des niveau 'eau dans les caisson de
biofiltration

% % Cette matrice contient les donnÉes sur le niveau d'eau dans les
% % caissons des biofiltres 8, 15, 22 et 30 respectivement. Ces biofiltres
% % sont les biofiltres de fin de sÉrie. Ils ont ÉtÉ sÉlectionnÉs car les
% % donnÉes disponibles sur la perte de charge sont plus prÉcises pour ces
% % biofiltres. On pourra donc si nÉcessaire comparer les pertes de charges
% % au niveau d'eau dans les caissons.
% % Le niveau d'eau dans les caisson est exprimÉ en mmGÈo (millimÈtre de
% % colonne d'eau gÈodÉsique, c'est a dire par rapport au niveau de la mer)

NivEau = MatDonnees(:,56:59);
NivEau8 = NivEau (:,1);
NivEau15 = NivEau (:,2);
NivEau22 = NivEau (:,3);
NivEau30 = NivEau (:,4);

save ('Niveau d'eau
caissons', 'NivEau', 'NivEau8', 'NivEau15', 'NivEau22', 'NivEau30');
% % ATTENTION le niveau d'eau est mesurÉ par diffÉrence de pression. Ainsi
% % la mesure prend en compte + la fois le niveau d'eau ainsi que la perte
% % de charge transfiltre (pression nÉcessaire pour compenser le colmatage

```

```
% % du filtre.
```

→ Programme d'exploration des débits

```
% Ce programme est consacré à l'étude des débits fournis par la station
% EST de Québec. Le programme emploie des données crées et sauvegardées
% grâce au programme "Extraction". Le but est de tracer les évolutions de
% débits pour permettre une analyse. La partie consacrée à l'étude des
% débits journaliers demande d'extraire des données issues d'un autre
% fichier Excel de la station contenant des données journalières pour
% pouvoir les comparer aux données obtenues en moyennant les mesures
% dynamiques.
%
% De nouvelles variables seront créées dans ce programme, il s'agit de :
% "Débits lissés" qui réunissent tous les débits lissés
% "Débits journaliers" qui réunissent les débits journaliers issus des données
% journalières et les débits journaliers obtenus par la moyenne journalière
% des données dynamiques.
%
% IMPORTANT
% La partie étude journalière ne fonctionne que sur des périodes de plus de
% 10 jours. Si la période d'étude est inférieure alors passer la partie 3
% sur l'étude journalière en commentaire.
% En cas d'utilisation de la partie 3 sur les données journalières, il faut
% sélectionner dans l'Excel des données journalières la période d'étude
% souhaitée. Ainsi les variables DateJ et les variables non dynamiques peuvent
% être modifiées.

%-----%
%-----%

% Organisation du programme :
%
% Partie 1 : Récupération des variables d'intérêt
% Partie 2 : Tracer des débits fonction du temps et lissage des courbes
% Partie 3 : Étude des débits journaliers

%-----%
% Partie 1 : Récupération des variables d'intérêt
clear all
clf
load ('Date.mat');
load ('Debits.mat');
figure(1)
plot(Date,Debits);
title ('Débits au cours du temps')
legend ('Debit CanauxGrille','Debit DecPrimaire','Debit
DerivAmontDecPrimaire','Debit Biofiltr','Debit DerivAmontBiofiltr','Debit
DecSecondaire','Debit EauxLavages','Debit AmontDesinfection','Debit Eflluent');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Débits en m3/h');
%-----%
% Partie 2 : Tracer des débits fonction du temps et lissage des courbes

% On créera dans cette partie la matrice des débits lissés par la méthode
% de la médiane mobile et de la moyenne mobile sur un intervalle "fenêtre"
% à définir. Tous les débits n'ont pas forcément besoin d'être lissés et
% d'autres méthodes de lissage peuvent être employées (fonction "filter",
% moyenne mobile pondérée, etc...).

% Lissage
```

```

fenetre = 40; % choix de la taille de la fenetre mobile

% lissage par la mediane

Debit_CanauxGrille_Lisse = Debit_CanauxGrille;
for i= fenetre+1: (length (Debit_CanauxGrille)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_CanauxGrille(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_CanauxGrille_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_DecPrimaire_Lisse = Debit_DecPrimaire;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DecPrimaire)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_DecPrimaire(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DecPrimaire_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_DerivAmontDecPrimaire_Lisse = Debit_DerivAmontDecPrimaire;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DerivAmontDecPrimaire)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_DerivAmontDecPrimaire(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DerivAmontDecPrimaire_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_Biofiltr_Lisse = Debit_Biofiltr;
for i= fenetre+1: (length (Debit_Biofiltr)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_Biofiltr(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_Biofiltr_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_DerivAmontBiofiltr_Lisse = Debit_DerivAmontBiofiltr;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DerivAmontBiofiltr)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_DerivAmontBiofiltr(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DerivAmontBiofiltr_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_DecSecondaire_Lisse = Debit_DecSecondaire;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DecSecondaire)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_DecSecondaire(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DecSecondaire_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_EauxLavages_Lisse = Debit_EauxLavages;
for i= fenetre+1: (length (Debit_EauxLavages)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_EauxLavages(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_EauxLavages_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_AmontDesinfection_Lisse = Debit_AmontDesinfection;
for i= fenetre+1: (length (Debit_AmontDesinfection)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_AmontDesinfection(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_AmontDesinfection_Lisse(i) = median_i;
end
Debit_Effluent_Lisse = Debit_Effluent;
for i= fenetre+1: (length (Debit_Effluent)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_Effluent(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_Effluent_Lisse(i) = median_i;
end

% lissage par la moyenne

Debit_CanauxGrille_Lisse2 = Debit_CanauxGrille;
for i= fenetre+1: (length (Debit_CanauxGrille)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_CanauxGrille(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_CanauxGrille_Lisse2(i) = mean_i;
end
Debit_DecPrimaire_Lisse2 = Debit_DecPrimaire;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DecPrimaire)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_DecPrimaire(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DecPrimaire_Lisse2(i) = mean_i;
end
Debit_DerivAmontDecPrimaire_Lisse2 = Debit_DerivAmontDecPrimaire;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DerivAmontDecPrimaire)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_DerivAmontDecPrimaire(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DerivAmontDecPrimaire_Lisse2(i) = mean_i;
end
Debit_Biofiltr_Lisse2 = Debit_Biofiltr;
for i= fenetre+1: (length (Debit_Biofiltr)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_Biofiltr(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_Biofiltr_Lisse2(i) = mean_i;
end

```

```

Debit_DerivAmontBiofiltr_Lisse2 = Debit_DerivAmontBiofiltr;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DerivAmontBiofiltr)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_DerivAmontBiofiltr(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DerivAmontBiofiltr_Lisse2(i) = mean_i;
end
Debit_DecSecondaire_Lisse2 = Debit_DecSecondaire;
for i= fenetre+1: (length (Debit_DecSecondaire)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_DecSecondaire(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_DecSecondaire_Lisse2(i) = mean_i;
end
Debit_EauxLavages_Lisse2 = Debit_EauxLavages;
for i= fenetre+1: (length (Debit_EauxLavages)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_EauxLavages(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_EauxLavages_Lisse2(i) = mean_i;
end
Debit_AmontDesinfection_Lisse2 = Debit_AmontDesinfection;
for i= fenetre+1: (length (Debit_AmontDesinfection)-(fenetre+1));
    median_i = median (Debit_AmontDesinfection(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_AmontDesinfection_Lisse2(i) = median_i;
end
Debit_Effluent_Lisse2 = Debit_Effluent;
for i= fenetre+1: (length (Debit_Effluent)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Debit_Effluent(i-fenetre:i+fenetre));
    Debit_Effluent_Lisse2(i) = mean_i;
end

save('DÈbits
lissÈs','Debit_CanauxGrille_Lisse','Debit_DecPrimaire_Lisse','Debit_DerivAmontD
ecPrimaire_Lisse','Debit_Biofiltr_Lisse','Debit_DerivAmontBiofiltr_Lisse','Debi
t_DecSecondaire_Lisse','Debit_EauxLavages_Lisse','Debit_AmontDesinfection_Lisse
','Debit_Effluent_Lisse','Debit_CanauxGrille_Lisse2','Debit_DecPrimaire_Lisse2'
,'Debit_DerivAmontDecPrimaire_Lisse2','Debit_Biofiltr_Lisse2','Debit_DerivAmont
Biofiltr_Lisse2','Debit_DecSecondaire_Lisse2','Debit_EauxLavages_Lisse2','Debit
_AmontDesinfection_Lisse2','Debit_Effluent_Lisse2');

% REMARQUE :
% mettre en commentaire les dÈbits lissÈs si ces derniers ne sont pas
% utiles dans la reprÈsentation graphique
figure (2)
plot(Date,Debit_CanauxGrille);
% hold on
% plot(Date,Debit_CanauxGrille_Lisse);
title ('DÈbit canaux grilles au cours du temps');
% legend ('Debit CanauxGrille','Debit CanauxGrille Lisse');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('DÈbits en m3/h');
% hold off

figure (3)
subplot (2,1,1)
plot(Date,Debit_DecPrimaire);
title ('DÈbit aux DÈcanteurs Primaires au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('DÈbits en m3/h');
subplot (2,1,2)
plot(Date,Debit_DecPrimaire_Lisse);xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('DÈbits en m3/h');
title ('DÈbit lissÈe par la mÈdiane mobile aux DÈcanteurs Primaires au cours du
temps');

figure (4)
plot(Date,Debit_DerivAmontDecPrimaire);
title ({'DÈbit de la DÈrivation','en Amont des DÈcanteurs Primaires au cours du
temps'});
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('DÈbits en m3/h');

```

```

figure (5)
subplot(2,1,1)
plot(Date,Debit_Biofiltr);
title ('DÉbit des Biofiltres au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');
subplot(2,1,2)
plot(Date,Debit_Biofiltr_Lisse);
title ('DÉbit lissÉ par la mÉdiane des Biofiltres au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');

figure (6)
plot(Date,Debit_DerivAmontBiofiltr);
title ({'DÉbit de la DÉRivation', ' en Amont des Biofiltres au cours du
temps'});
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');

figure (7)
plot(Date,Debit_DecSecondaire);
title ('DÉbit aux DÈcanteurs Secondaires au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');

figure (8)
plot(Date,Debit_EauxLavages);
title ('Debit EauxLavages au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');

figure (9)
subplot (2,1,1)
plot(Date,Debit_AmontDesinfection);
title ('DÉbit en Amont de la DÈsinfection au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');
subplot (2,1,2)
plot(Date,Debit_AmontDesinfection_Lisse);
title ('DÉbit lissÉ en Amont de la DÈsinfection au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');

figure (10)
subplot (2,1,1);
plot(Date,Debit_Effluent);
title ('Debit Effluent au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('DÉbits en m3/h');
subplot (2,1,2);
plot(Date,Debit_Effluent_Lisse,'m');
hold on
plot(Date,Debit_Effluent_Lisse2,'r');
title ('Debit Effluent lissÉ au cours du temps');
legend ('Debit Effluent LissÉ par la mediane','Debit Effluent LissÉ par la
moyenne');

```

```

xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','keep_ticks');
ylabel ('DÈbits en m3/h');
hold off

figure (13)
plot(Date,(Debit_DerivAmontBiofiltr+Debit_DerivAmontDecPrimaire+Debit_AmontDesi
nfection-Debit_EauxLavages_Lisse));
hold on
plot(Date,Debit_Effluent_Lisse);
title ('DÈbit amont desinfection + derivations - dÈbits de lavage et debit
effluent de la station au cours du temps');
legend ('DÈbit amont desinfection+derivations-dÈbits de lavage','DÈbit effluent
de la station');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','keep_ticks');
ylabel ('DÈbits en m3/h');
hold off

% _____%
% Partie 3 : Etude des dÈbits journaliers
% % A echelle quotidienne : on observe les donnÈes issues de deux sources
% diffÈrentes.

% % Pour avoir des moyennes quotidiennes sur les debits des biofiltres, de
% l'effluent en sortie.

NbrJ=24*3600/Pas; % nombre de mesure par jour avec le Pas de mesure en seconde
Debit_BiofiltrJ=zeros (cast (length (Debit_Biofiltr)/NbrJ, 'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (Debit_BiofiltrJ)
    Debit_BiofiltrJ (i) = nanmean (Debit_Biofiltr (k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

Debit_EffluentJ=zeros (cast (length (Debit_Effluent)/NbrJ, 'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (Debit_EffluentJ)
    Debit_EffluentJ (i) = nanmean (Debit_Effluent (k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

Debit_AmontDesinfectionJ=zeros (cast (length (Debit_AmontDesinfection)/NbrJ,
'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (Debit_AmontDesinfectionJ)
    Debit_AmontDesinfectionJ (i) =
nanmean (Debit_AmontDesinfection (k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

Debit_EauxLavagesJ=zeros (cast (length (Debit_EauxLavages)/NbrJ, 'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (Debit_EauxLavagesJ)
    Debit_EauxLavagesJ (i) = nanmean (Debit_EauxLavages (k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

Debit_DecSecondaireJ=zeros (cast (length (Debit_DecSecondaire)/NbrJ, 'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (Debit_DecSecondaireJ)
    Debit_DecSecondaireJ (i) = nanmean (Debit_DecSecondaire (k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end
% Les donnÈes journaliÈre de dÈbits sont fournies directement par fichier
% Excel. On appellera ces variables "nondynamique" car issues d'un fichier
% diffÈrent de celui des variables dynamiques.

% PrÈciser + la fonction xlsread l'emplacement des donnÈes : Fichier, Page,
% CoordonnÈes respectivement.
Debit_BiofiltrJ_nondynamique = xlsread ('DÈbit_Est_14','DÈbit','AK195:AK256');

```

```

Debit_EffluentJ_nondynamique = xlsread ('DÈbit_Est_14','DÈbit','AW195:AW256');
Debit_AmontDesinfectionJ_nondynamique = xlsread
('DÈbit_Est_14','DÈbit','AU195:AU256');
Debit_EauxLavages_nondynamique = xlsread
('DÈbit_Est_14','DÈbit','AM195:AM256');
Debit_DecSecondaireJ_nondynamique = Debit_AmontDesinfectionJ_nondynamique -
Debit_BiofiltrJ_nondynamique;
% VÈrifier que les donnÈes sont selectionnÈes dans le bon fichier Excel,
% sur la bonne page et sur la bonne pÈriode (plage de cellules)

% Le vecteur temps en jour : A dÈfinir selon la pÈriode de travail
% d'intÈrêt
Formatdate = 'dd/mm/yyyy';
DateJini = datenum('01/07/2014',Formatdate);
DateJfin = datenum('01/09/2014',Formatdate);
% VÈrifier que le vecteur DateJ dÈfinisse la bonne pÈriode

DateJ = [DateJini : abs(DateJini-DateJfin)/(length(Debit_EffluentJ)-1):
DateJfin]';
save ('DateJ','NbrJ','Formatdate','DateJ')

% tracer de comparaison des dÈbits obtenus
figure (14)
plot (DateJ, Debit_BiofiltrJ);
hold on
plot (DateJ, Debit_BiofiltrJ_nondynamique,'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keplimits','kepticks');
ylabel ('dÈbit moyen en m3/h');
legend ('DÈbit moyenne des mesures en dynamique','dÈbit biofiltre donnÈ par les
relevÈs journaliers');
hold off
title ('Comparaison des dÈbits journaliers aux biofiltres obtenus par
diffÈrentes mÈthodes');

figure (15)
plot (DateJ, Debit_EffluentJ);
hold on
plot (DateJ, Debit_EffluentJ_nondynamique,'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keplimits','kepticks');
ylabel ('dÈbit moyen en m3/h');
legend ('DÈbit moyenne des mesures en dynamique','dÈbit effluent station donnÈ
par les relevÈs journaliers');
hold off
title ('Comparaison des dÈbits journaliers + l''effluent station obtenus par
diffÈrentes mÈthodes');

figure (16)
plot (DateJ, Debit_AmontDesinfectionJ);
hold on
plot (DateJ, Debit_AmontDesinfectionJ_nondynamique,'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keplimits','kepticks');
ylabel ('dÈbit moyen en m3/h');
legend ('DÈbit moyenne des mesures en dynamique','dÈbit amont dÈsinfection
donnÈ par les relevÈs journaliers');
hold off
title ('Comparaison des dÈbits journaliers en amont dÈsinfection obtenus par
diffÈrentes mÈthodes');

figure (17)
plot (DateJ, Debit_EauxLavagesJ);
hold on
plot (DateJ, Debit_EauxLavages_nondynamique,'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keplimits','kepticks');
ylabel ('dÈbit moyen en m3/h');
legend ('DÈbit moyenne des mesures en dynamique','dÈbit eaux de lavage donnÈ
par les relevÈs journaliers');
hold off

```

```

title ('Comparaison des dÈbits journaliers des eaux de lavages obtenus par
diffÈrentes mÈthodes');

figure (18)
plot (DateJ, Debit_DecSecondaireJ);
hold on
plot (DateJ, Debit_DecSecondaireJ_nondynamique, 'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate, 'keeplimits', 'keepticks');
ylabel ('dÈbit moyen en m3/h');
legend ('DÈbit moyenne des mesures en dynamique', 'dÈbit du secondaire donnÈ par
les relevÈs journalier');
hold off
title ('Comparaison des dÈbits journaliers du secondaire obtenus par
diffÈrentes mÈthodes');

save ('DÈbits
journaliers', 'Debit_EffluentJ', 'Debit_BiofiltrJ', 'Debit_AmontDesinfectionJ', 'De
bit_EauxLavagesJ', 'Debit_DecSecondaireJ', 'Debit_BiofiltrJ_nondynamique', 'Debit_
EffluentJ_nondynamique', 'Debit_AmontDesinfectionJ_nondynamique', 'Debit_EauxLava
ges_nondynamique', 'Debit_DecSecondaireJ_nondynamique');
%
%
%

```

→ Programme d'exploration des MES (concentration et charges)

```

% Ce programme est destinÈ à l'Ètude des concentrations et des charges en
% MES mesurÈes. Les donnÈes des mesures dynamiques sont extraites par le
% programme Extraction. Les donnÈes journaliÈres seront rÈcupÈrÈes plus loin
% dans ce programme.
%
% De nouvelles variables seront crÈÈes dans ce programme, il s'agit de :
%
% "Concentration en MES lissÈes" Qui rÈunit les concentrations en MES
% lissÈes par la moyenne
%
% "Charge en MES" qui rÈunit la charge en MES en entrÈe de biofiltration
% calculÈe de 2 maniÈres diffÈrentes en sortie de secondaire et en sortie de
% station.
%
% "Charge en MES JournaliÈre" charges journaliÈres
%
% "Bilans" Contient les charges et concentrations calculÈes par bilan. Cela
% englobe la sortie thÈorique du biofiltre et la charge captÈe.
%
% "Rendements" qui rÈunit le rendement global (Biofiltre-secondaire-UV) et
% le rendement sur le biofiltre seulement.
%
%
%
% Organisation du programme :
%
% Partie 1 : RÈcupÈration des variables d'intÈrêt
% Partie 2 : Etude des concentrations en MES et lissage
% Partie 3 : Etude des charges en MES
% Partie 4 : Influence de la sortie du secondaire sur la sortie station
% Partie 5 : Calcul d'une sortie biofiltre et charge captÈe thÈorique
% Partie 6 : Comparaison des valeurs ÈchantillonnÈes aux valeurs dynamiques
%
%
% Partie 1 : RÈcupÈration des variables d'intÈrêt
clear all
clf
load ('Date.mat');
load ('Debits.mat');
load ('Concentration en MES.mat');
load ('dÈbits lissÈs.mat')

figure (1)

```

```

plot (Date,MES);
title ('variation de la concentration en MES au cours du temps');
legend ('MES sortie des décanteurs secondaires','MES sortie du décanteurs
primaires','MES sortie effluent station')
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Concentration en MES donn e mg/l');

%
% ----- %
% Partie 2 : Etude des concentrations en MES et lissage
% L'observation de la concentration en MES peut donner un signal très
% bruit  en fonction de la méthode de mesure. (ex : turbidimètre influenc 
% par l'encrassement. Avant d'exploiter le bruit il sera pertinent de ce
% demander si le lissage est justifié et si oui de déterminer la fenêtre
% de lissage. Ici la moyenne mobile est employ e mais un lissage par
% moyenne mobile pondéré ou non ou par la m diane peut aussi être
% employé.

fenetre = 40;
MES_Sortiesecondaire_Lisse = MES_Sortiesecondaire;
for i= fenetre+1: (length (MES_Sortiesecondaire)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (MES_Sortiesecondaire(i-fenetre:i+fenetre));
    MES_Sortiesecondaire_Lisse(i) = mean_i;
end
MES_Sortieprimaire_Lisse = MES_Sortieprimaire;
for i= fenetre+1: (length (MES_Sortieprimaire)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (MES_Sortieprimaire(i-fenetre:i+fenetre));
    MES_Sortieprimaire_Lisse(i) = mean_i;
end
MES_Effluentstation_Lisse = MES_Effluentstation;
for i= fenetre+1: (length (MES_Effluentstation)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (MES_Effluentstation(i-fenetre:i+fenetre));
    MES_Effluentstation_Lisse(i) = mean_i;
end
save ('Concentration en MES
liss es','MES_Sortiesecondaire_Lisse','MES_Sortieprimaire_Lisse','MES_Effluents
tation_Lisse')

figure (2)
subplot(2,1,1)
plot (Date,MES_Sortiesecondaire);
title ('variation de la concentration en MES en sortie du d caneur secondaire
au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Concentration en MES donn e mg/l');
subplot(2,1,2)
plot (Date,MES_Sortiesecondaire_Lisse);
title ('variation de la concentration liss e en MES en sortie du d caneur
secondaire au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Concentration en MES donn e mg/l');

figure (3)
subplot(2,1,1)
plot (Date,MES_Sortieprimaire);
title ('variation de la concentration en MES en sortie du d caneur primaire au
cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Concentration en MES donn e mg/l');
subplot(2,1,2)
plot (Date,MES_Sortieprimaire_Lisse);
title ('variation de la concentration liss e en MES en sortie du d caneur
primaire au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Concentration en MES donn e mg/l');

```

```

figure (4)
subplot(2,1,1)
plot (Date,MES_Effluentstation);
title ('variation de la concentration en MES en sortie effluent station au
cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Concentration en MES donnÈe mg/l');
subplot(2,1,2)
plot (Date,MES_Effluentstation_Lisse);
title ('variation de la concentration lissÈe en MES en sortie effluent station
au cours du temps');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Concentration en MES donnÈe mg/l');
%
%
% Partie 3 : Etude des charges en MES
% La charge est calculÈe connaissant dÈbits et concentrations.

% En entrÈe le biofiltre recoit une charge de MES issue du dÈcanteur
% primaire + laquelle il faut soustraire la charge qui a put Être derivÈe en
% amont du
% biofiltre. Les charges seront exprimÈes en unite usuelles kg/h.
ChargeMES_EntreeBiofiltr1 = (MES_Sortieprimaire.*Debit_DecPrimaire)-
(MES_Sortieprimaire.*Debit_DerivAmontBiofiltr)/1000;

figure (5)
plot (Date,ChargeMES_EntreeBiofiltr1);
hold on
% en entrÈe du biofiltre nous avons Ègalement une charge qui peut Être
% calculÈe de la maniÈre suivante :
ChargeMES_EntreeBiofiltr2 = (MES_Sortieprimaire.*Debit_Biofiltr)/1000;
plot (Date, ChargeMES_EntreeBiofiltr2, 'g');
grid;
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel('Charge en MES en kg/h');
title ('comparaison des debits d'entrees calcules selon differentes
methodes');
legend ('Charge en MES entrante calculee','Charge en MES entrante directement
mesuree');
hold off

% Charge en sortie de station
% Nous ne disposons pas de la concentration en
% MES a la sortie des biofiltres mais seulement a la sortie de la station
% ou des dÈcanteurs secondaire. On peut donc avoir la charge de la sortie
% du systeme biofiltre+traitement UV. La Charge est exprimÈe ici en kg/h.
ChargeMES_SortieEffluent = (MES_Effluentstation.*Debit_Effluent_Lisse)/1000;
figure (6)
plot (Date, ChargeMES_EntreeBiofiltr2, 'g');
hold on
plot (Date, ChargeMES_SortieEffluent, 'r');
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel('Charge en MES en kg/h');
title ('comparaison des charges entrant et sortant (sortie station)');
legend ('Charge en MES entrante directement mesuree','Charge en MES sortante
directement mesuree');
hold off

% Si on s'interÈsse + un systeme boÓte noire en prenant seulement entrÈe et
% sortie et en comparant les deux on obtient :

figure (7)
scatter (MES_Sortieprimaire, MES_Effluentstation, '.');
xlabel('concentration en MES en entree de biofiltration (mg/l)');
ylabel('Concentration en MES en sortie effluent station (mg/l)');
title ('Concentration en MES en sortie de station en fonction de la
concentration en entree de biofiltration');

```

```

figure (8)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2, ChargeMES_SortieEffluent, '.');
xlabel('Charge en entree de biofiltration (kg/h)');
ylabel('Charge en sortie effluent station (kg/h)');
title ('Charge en sortie de station en fonction de la charge en entree de
biofiltration');

%
% -----
% Partie 4 : Influence de la sortie du secondaire sur la sortie station

% Le dÈcanteur secondaire, dont le rÙle est d'Èliminer les MES des eaux de
% lavages, relargue l'essentiel de son contenu directement + l'effluent de
% la biofiltration. Il peut Être intÈressant d'observer son influence sur
% la concentration en MES a la sortie de la station.

ChargeMES_SortieSecondaire = (MES_Sortiesecondaire.*Debit_DecSecondaire)./1000;
figure (30)
subplot (2,1,1)
scatter (MES_Sortiesecondaire,MES_Effluentstation, '.');
xlabel('concentration en MES + la sortie du secondaire (mg/l)');
ylabel('concentration en MES a l''effluent station (mg/l)');
title ('influence de la sortie du dÈcanteur secondaire sur l''effluent de la
station');
subplot (2,1,2)
scatter (ChargeMES_SortieSecondaire,ChargeMES_SortieEffluent, '.');
xlabel('charge en MES + la sortie du secondaire (kg/h)');
ylabel('charge en MES a l''effluent station (kg/h)');
title ('influence de la sortie du dÈcanteur secondaire sur l''effluent de la
station');

% Si on dÈfinie maintenant une sorte de rendement global sur le systÈme
% biofiltre-secondaire-traitement UV on a :
Rendement_Global = ((ChargeMES_EntreeBiofiltr2-
ChargeMES_SortieEffluent)./ChargeMES_EntreeBiofiltr2).*100;
% Attention ce rendement ne prend pas en compte les dÈrivations ou les temps
% de rÈtention!
fenetre = 40;
Rendement_Global_Lisse = Rendement_Global;
for i= fenetre+1: (length (Rendement_Global)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Rendement_Global(i-fenetre:i+fenetre));
    Rendement_Global_Lisse(i) = mean_i;
end

figure(31)
subplot (2,1,1)
scatter (MES_Sortiesecondaire,Rendement_Global, '.');
xlabel('concentration en MES + la sortie du secondaire (mg/l)');
ylabel('Rendement simplifiÈ (%)');
title ('influence de la sortie du dÈcanteur secondaire sur la performance
global du systÈme biofiltre-secondaire-UV');
subplot (2,1,2)
boxplot (Rendement_Global, 'Labels', 'rendement');
ylabel ('%')
title ('diagramme boÙte du rendement global sur toute la plage de valeur de
charge entrante sur la pÈriode de travail');
hold on
Rendementprop= {};
Rendementprop {1,1} = 'minimum';
Rendementprop {2,1} = '1er Quartile';
Rendementprop {3,1} = 'MÈdiane';
Rendementprop {4,1} = '3Ème Quartile';
Rendementprop {5,1} = 'interquartile';
Rendementprop {6,1} = 'maximum';
Rendementprop {7,1} = 'Moyenne';
Rendementprop {1,2} = min(Rendement_Global);
Rendementprop {2,2} = quantile(Rendement_Global,0.25);
Rendementprop {3,2} = quantile(Rendement_Global,0.5);
Rendementprop {4,2} = quantile(Rendement_Global,0.75);
Rendementprop {5,2} = iqr(Rendement_Global);
Rendementprop {6,2} = max(Rendement_Global);

```

```

Rendementprop {7,2} = mean (Rendement_Global);
uitable ('data',Rendementprop);
hold off

figure (32)
subplot (2,1,1)
plot ( Date, Rendement_Global)
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keeplimits', 'keepticks');
ylabel('Rendement en %')
title ('Rendement Global au cours de la pÈriode');
subplot (2,1,2)
plot ( Date, Rendement_Global_Lisse)
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keeplimits', 'keepticks');
ylabel('Rendement en %')
title ('Rendement Global au cours de la pÈriode');

save ('Charge en MES', 'ChargeMES_EntreeBiofiltr1',
'ChargeMES_EntreeBiofiltr2', 'ChargeMES_SortieSecondaire', 'ChargeMES_SortieEffluent');
%
% _____%
% Partie 5 : Calcul d'une sortie biofiltre et charge captÈe thÈorique

% Les donnÈees fournies par la station ne comprennent pas, de maniÈre
% journaliÈre ou dynamique, la concentration en MES a la sortie des
% biofiltres seulement. Nous allons donc essayer de calculer un effluent
% thÈorique à partir des donnÈes disponibles pour avoir directement la
% sortie du biofiltre et en dÈduire la charge captÈe par les biofiltres puis
% voir l'influence des entrÈes sur cette charge captÈe.

% Cet effluent thÈorique sera calculÈ de deux maniÈres. Avec les donnÈes
% dynamiques et avec les donnÈes journaliÈres par Èchantillonnage.

% Une remarque importante, dans le calcul de cet effluent thÈorique on
% considÈre la charge des dÈrivations nulle. Il faut donc prendre une
% pÈriode relativement sÈche ou avec suffisamment peu de prÈcipitation pour
% que le dÈbit au niveau des dÈrivations soit nul ou nÈgligeable.

ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo = ChargeMES_SortieEffluent-
ChargeMES_SortieSecondaire + ((MES_Effluentstation.*Debit_EauxLavages)./1000) ;
MES_SortieBiofiltr_Theo = ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo./Debit_Biofiltr.*1000;
ChargeMES_Captee_Theo = ChargeMES_EntreeBiofiltr2 -
ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo;

figure (40)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2, ChargeMES_Captee_Theo, '.');
title ('Charge en MES captÈe par les biofiltres en fonction de la charge
entrante dans les biofiltres');
xlabel ('Charge en MES entrante (kg/h)');
ylabel ('Charge en MES captÈe (kg/h)');

% Cette sÈrie prend les mesures dynamiques prises toutes les 15 secondes et
% est donc sensible au variation du capteur. Pour rÈduire cette sensibilitÈ
% on peut essayer de prendre les valeurs lissÈes par une mÈdiane mobiles.

ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo_lisse = zeros(length
(ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo),1);
ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse = zeros(length (ChargeMES_EntreeBiofiltr2),1);

fenetre = 40;

for i= fenetre+1: (length (ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo)-(fenetre+1));
    median_i = median (ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo(i-fenetre:i+fenetre));
    ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo_lisse(i) = median_i;
end

for i= fenetre+1: (length (ChargeMES_EntreeBiofiltr2)-(fenetre+1));
    median_i = median (ChargeMES_EntreeBiofiltr2(i-fenetre:i+fenetre));

```

```

        ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse(i) = median_i;
end

ChargeMES_Captee_Theo_lisse = ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse -
ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo_lisse;

figure (41)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse, ChargeMES_Captee_Theo_lisse, '.');
title ({'Charge en MES captÉE par les biofiltres lissÉE', 'en fonction de la
charge entrante lissÉE dans les biofiltres', '(lissage par la mediane
mobile)'});
xlabel ('Charge en MES entrante (kg/h)');
ylabel ('Charge en MES captÉE (kg/h)');

ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo_lisse2 = zeros(length
(ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo),1);
ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse2 = zeros(length (ChargeMES_EntreeBiofiltr2),1);

fenetre2 = 40;

for i= fenetre2+1: (length (ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo)-(fenetre2+1));
    mean_i = mean (ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo(i-fenetre2:i+fenetre2));
    ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo_lisse2(i) = mean_i;
end

for i= fenetre2+1: (length (ChargeMES_EntreeBiofiltr2)-(fenetre2+1));
    mean_i = mean (ChargeMES_EntreeBiofiltr2(i-fenetre2:i+fenetre2));
    ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse2(i) = mean_i;
end

ChargeMES_Captee_Theo_lisse2 = ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse2 -
ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo_lisse2;

figure (42)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2_lisse2, ChargeMES_Captee_Theo_lisse2, '.');
title ({'Charge en MES captÉE par les biofiltres lissÉE', 'en fonction de la
charge entrante lissÉE dans les biofiltres', '(lissage par la moyenne
mobile)'});
xlabel ('Charge en MES entrante (kg/h)');
ylabel ('Charge en MES captÉE (kg/h)');

% On peut dÉfinir un nouveau rendement par rapport à cette charge en sortie
% de biofiltre thÉorique :
Rendement_Biofiltr = ((ChargeMES_EntreeBiofiltr2-
ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo)./ChargeMES_EntreeBiofiltr2.*100);
% lissage
fenetre = 40;
Rendement_Biofiltr_Lisse = Rendement_Biofiltr;
for i= fenetre+1: (length (Rendement_Biofiltr)-(fenetre+1));
    mean_i = mean (Rendement_Biofiltr(i-fenetre:i+fenetre));
    Rendement_Biofiltr_Lisse(i) = mean_i;
end

figure (43)
boxplot (Rendement_Biofiltr, 'Labels', 'rendement');
ylabel ('%')
title ('diagramme boÓte du rendement biofiltre sur toute la plage de valeur de
charge entrante sur la pÉriode de travail');
hold on
Rendementprop= {};
Rendementprop {1,1} = 'minimum';
Rendementprop {2,1} = '1er Quartile';
Rendementprop {3,1} = 'MÉdiane';
Rendementprop {4,1} = '3Ème Quartile';
Rendementprop {5,1} = 'interquartile';
Rendementprop {6,1} = 'maximum';
Rendementprop {7,1} = 'Moyenne';
Rendementprop {1,2} = min(Rendement_Biofiltr);
Rendementprop {2,2} = quantile(Rendement_Biofiltr,0.25);
Rendementprop {3,2} = quantile(Rendement_Biofiltr,0.5);

```

```

Rendementprop {4,2} = quantile(Rendement_Biofiltr,0.75);
Rendementprop {5,2} = iqr(Rendement_Biofiltr);
Rendementprop {6,2} = max(Rendement_Biofiltr);
Rendementprop {7,2} = nanmean (Rendement_Biofiltr);
uitable ('data',Rendementprop);
hold off

figure (44)
boxplot (Rendement_Global, 'Labels', 'rendement');
ylabel ('%')
title ('diagramme boîte du rendement global sur toute la plage de valeur de
charge entrante sur la période de travail');
hold on
Rendementprop= {};
Rendementprop {1,1} = 'minimum';
Rendementprop {2,1} = '1er Quartile';
Rendementprop {3,1} = 'MÉdiane';
Rendementprop {4,1} = '3Ème Quartile';
Rendementprop {5,1} = 'interquartile';
Rendementprop {6,1} = 'maximum';
Rendementprop {7,1} = 'Moyenne';
Rendementprop {1,2} = min(Rendement_Global);
Rendementprop {2,2} = quantile(Rendement_Global,0.25);
Rendementprop {3,2} = quantile(Rendement_Global,0.5);
Rendementprop {4,2} = quantile(Rendement_Global,0.75);
Rendementprop {5,2} = iqr(Rendement_Global);
Rendementprop {6,2} = max(Rendement_Global);
Rendementprop {7,2} = nanmean (Rendement_Global);
uitable ('data',Rendementprop);
hold off

figure (45)
subplot (2,1,1)
plot ( Date, Rendement_Biofiltr)
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keplimits', 'kepticks');
ylabel('Rendement en %')
title ('Rendement Biofiltre au cours de la période');
subplot (2,1,2)
plot (Date, Rendement_Biofiltr_Lisse)
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keplimits', 'kepticks');
ylabel('Rendement en %')
title ('Rendement lissÉ Biofiltre au cours de la période');

figure (46)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2, ChargeMES_Captee_Theo, '.');
title ('Charge en MES en sortie des biofiltres thÉorique en fonction de la
charge entrante dans les biofiltres');
xlabel ('Charge en MES entrante (kg/h)');
ylabel ('Charge en MES captÉe (kg/h)');

save ('Bilans', 'ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo', 'MES_SortieBiofiltre_Theo',
'ChargeMES_Captee_Theo', 'ChargeMES_SortieBiofiltr_Theo_lisse',
'ChargeMES_Captee_Theo_lisse2')
save ('Rendements', 'Rendement_Global',
'Rendement_Biofiltr', 'Rendement_Global_Lisse', 'Rendement_Biofiltr_Lisse')
%
% Partie 6 : Comparaison des valeurs ÉchantillonnÉes aux valeurs dynamiques

% On peut observer la fluctuation des concentration en MES et de la charge
% de maniÈre journaliÈre en prenant la moyenne des mesures dynamiques ou
% bien en prenant les relevÉs par Échantillonnage effectuÉS chaque jour.
% Les relevÉS par Échantillonnage quotidien sont extrait d'un autre fichier
% excel.
load ('DÉbits journaliers.mat');
% Moyenne des valeurs dynamiques de chaque jour sur la période dEsirÉe

NbrJ=24*3600/Pas; % nombre de mesure par jour avec Pas en seconde
MES_SortiessecondaireJ=zeros(cast(length(MES_Sortiessecondaire)/NbrJ,
'uint8'),1);

```

```

k=0;
for i = 1:length (MES_SortiesecondaireJ)
    MES_SortiesecondaireJ (i) = nanmean(MES_Sortiesecondaire(k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

MES_SortieprimaireJ=zeros(cast(length(MES_Sortieprimaire)/NbrJ, 'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (MES_SortieprimaireJ)
    MES_SortieprimaireJ (i) = nanmean(MES_Sortieprimaire(k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

MES_EffluentstationJ=zeros(cast(length(MES_Effluentstation)/NbrJ, 'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (MES_EffluentstationJ)
    MES_EffluentstationJ (i) = nanmean(MES_Effluentstation(k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

ChargeMES_EntreeBiofiltr1J=zeros(cast(length(ChargeMES_EntreeBiofiltr1)/NbrJ,
'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (ChargeMES_EntreeBiofiltr1J)
    ChargeMES_EntreeBiofiltr1J (i) =
nanmean(ChargeMES_EntreeBiofiltr1(k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

ChargeMES_EntreeBiofiltr2J=zeros(cast(length(ChargeMES_EntreeBiofiltr2)/NbrJ,
'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (ChargeMES_EntreeBiofiltr2J)
    ChargeMES_EntreeBiofiltr2J (i) =
nanmean(ChargeMES_EntreeBiofiltr2(k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

ChargeMES_SortieEffluentJ=zeros(cast(length(ChargeMES_SortieEffluent)/NbrJ,
'uint8'),1);
k=0;
for i = 1:length (ChargeMES_SortieEffluentJ)
    ChargeMES_SortieEffluentJ (i) =
nanmean(ChargeMES_SortieEffluent(k+1:k+NbrJ));
k=k+NbrJ;
end

% Mesure par Échantillonnage chaque jour sur la période désirée
% Les données journalières des mesures par prises d'échantillons sont
% fournies dans un autre fichier Excel. Il faut donc extraire ces données
% pour pouvoir les exploiter.

% Préciser la fonction xlsread l'emplacement des données : Fichier, Page,
% Coordonnées.
% MES_SortiesecondaireJ_echantillonnage = xlsread ('','','');
% Non disponible
MES_SortieprimaireJ_echantillonnage = xlsread
('Résultats_Est_14','PROC...D...','Q195:Q256');
MES_EffluentstationJ_echantillonnage = xlsread
('Débit_Est_14','Charges','AW195:AW256');
ChargeMES_EntreeBiofiltrJ_echantillonnage =
Debit_BiofiltrJ_nondynamique.*MES_SortieprimaireJ_echantillonnage./1000;
ChargeMES_SortieEffluentJ_echantillonnage =
Debit_EffluentJ_nondynamique.*MES_EffluentstationJ_echantillonnage./1000;

% Le vecteur temps en jour : A définir selon la période de travail
% d'intérêt dans "Exploration_Debit.m".
load ('DateJ.mat');

% tracer de comparaison des debits obtenus
figure (20)

```

```

subplot (2,1,1)
plot (DateJ, MES_SortieprimaireJ);
hold on
plot (DateJ, MES_SortieprimaireJ_echantillonnage, 'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Concentration moyenne en MES en mg/l');
legend ('Moyenne des concentration MES dynamiques','Concentration MES par
Échantillonnage journalier');
hold off
title ('Comparaison des concentrations journaliÈres en MES en entrÈe de
biofiltres obtenus par diffÈrentes mÈthodes');
subplot (2,1,2)
plot (DateJ, MES_EffluentstationJ);
hold on
plot (DateJ, MES_EffluentstationJ_echantillonnage, 'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Concentration moyenne en MES en mg/l');
legend ('Moyenne des concentration MES dynamiques','Concentration MES par
Échantillonnage journalier');
hold off
title ('Comparaison des concentrations journaliÈres en MES en sortie station
obtenus par diffÈrentes mÈthodes');

figure (21)
subplot (2,1,1)
plot (DateJ, ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
hold on
plot (DateJ, ChargeMES_EntreeBiofiltrJ_echantillonnage, 'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Charge moyenne en MES en kg/h');
legend ('Moyenne des Charges MES dynamiques ','Charge MES par Échantillonnage
journalier');
hold off
title ('Comparaison des charges journaliÈres en MES en entrÈe de biofiltres
obtenus par diffÈrentes mÈthodes');
subplot (2,1,2)
plot (DateJ, ChargeMES_SortieEffluentJ);
hold on
plot (DateJ, ChargeMES_SortieEffluentJ_echantillonnage, 'o');
xlabel ('date');
datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Charge moyenne en MES en kg/h');
legend ('Moyenne des Charges MES dynamiques','Charge MES par Échantillonnage
journalier');
hold off
title ('Comparaison des charges journaliÈres en MES en sortie station obtenus
par diffÈrentes mÈthodes');

figure (22)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2J,ChargeMES_SortieEffluentJ)
title({'Charge en MES en sortie effluent journaliÈre','en fonction de la charge
en entrÈe journaliÈre','(moyenne des donnÈes dynamiques)'})
xlabel ('Charge en MES en entrÈe en kg/h')
ylabel ('Charge en MES en sortie en kg/h')
save ('Charge en MES JournaliÈre','ChargeMES_EntreeBiofiltr1J',
'ChargeMES_EntreeBiofiltr2J', 'ChargeMES_EntreeBiofiltrJ_echantillonnage',
'ChargeMES_SortieEffluentJ', 'ChargeMES_SortieEffluentJ_echantillonnage');
%_____

```

→ Programme d'exploration des pertes de charge

```

% Les pertes de charges seront ÉtudiÈes dans ce programme. Les pertes de
% charges sont suppoÈe Être fonction des charges et concentrations
% entrantes et leur augmentation est supposÈ avoir une influence sur la
% performance global des biofiltres.
%_____

```

```

clear all
clf
load ('Date.mat');
load ('Debits.mat');
load ('Concentration en MES.mat');
load ('DÉbits journaliers.mat');
load ('Charge en MES.mat');
load ('Perte de charge.mat');

% indiquer ici le numÈro du biofiltre sur lequel on souhaite travailler
Num= 8;% compris entre 1 et 30

figure (1)
subplot (2,1,1)
plot (Date, PdC(:,Num));
grid;
title (['Perte de charge sur le biofiltre ',int2str(Num)]);
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Perte de charge exprimÈe en kPa');
subplot (2,1,2)
plot (Date,MES_Sortieprimaire);
grid;
title ('Concentration en MES en sortie du primaire');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('concentration en MES mg/l');

figure (2)
subplot (2,1,1)
plot (Date, PdC(:,Num));
grid;
title (['Perte de charge sur le biofiltre ',int2str(Num)]);
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Perte de charge exprimÈe en kPa');
subplot (2,1,2)
plot (Date,ChargeMES_EntreeBiofiltr2);
grid;
title ('Charge en MES en entrÈe de biofiltre');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('concentration en MES kg/h');

% Par rapport au rendement:
load ('Rendements')

figure (3)
subplot (2,1,1)
plot (Date, PdC(:,Num));
grid;
title (['Perte de charge sur le biofiltre ',int2str(Num)]);
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Perte de charge exprimÈe en kPa');
subplot (2,1,2)
plot (Date,Rendement_Biofiltr_Lisse);
grid;
title ({'Rendement biofiltre'});
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('Rendement en %');

```

→ Programme d'exploration des cycles de lavage

```
% Ce programme est destinÈ # l'Ètude des lavages. Cela englobe les
% ÈvÈnements de lavages, le nombre de biofiltre actifs, le taux de
% filtration et le dÈbits des eaux de lavages.
%
%
% Organisation du programme :
%
% Partie 1 : RÈcupÈration des variables d'intÈrÈt
% Partie 2 : Etudes du nombre d'ÈvÈnement de lavages journalier
% Partie 3 : Le nombre de filtre actif en comparaison avec la perte de charge
% Partie 4 : Le taux de filtration est fonction du nombre de biofiltres actif
% Partie 5 : Etude du debit de lavage en tant que possible paramÈtre d'une
modÈlisation du biofiltre.
%
%
% Partie 1 : RÈcupÈration des variables d'intÈrÈt

clear all
clf
load ('Date.mat');
load ('ÈvÈnements de nettoyage.mat');
load ('duree moyenne d'un cycle');
load ('Debits.mat')
%
%
% % Partie 2 : Etudes du nombre d'ÈvÈnement de lavages journalier
%
% % Les charges et concentrations journaliÈre sont calculÈe dans
% % "Exploration_MES.m"
% load ('Charge en MES journaliÈre.mat')
%
% % Le vecteur temps en jour : A definir selon la pÈriode de travail
% % d'interÈt dans "Exploration_Debit.m".
% load ('DateJ.mat');
%
% % Nombre d'ÈvÈnement de nettoyage par jour :
%
% % Les donnÈes fournie par la sation donne le nombre de lavages,
% % mini-lavages et dÈcolmatages tous les jour plus 15 secondes. A cause de
% % ce leger dÈcalage de 15 secondes il faut redÈterminer le debuts de chaque
% % cycle jour. Chaque cycle commencera # la position "indice=1" des vecteurs
% % NbrLavage, NbrMini, NbrDecol.
%
%
% k=0;
% indice = zeros(length(NbrLavage(:,1)),1);
% for i = 1:(length(NbrLavage(:,1))-1)
%     if NbrLavage (i,1)~=0 && NbrLavage (i+1,1)==0
%         indice(i)=1;
%     else
%         indice(i)=0;
%     end
% end
%
% NbrLavageJ1=zeros(cast(length(NbrLavage(:,1))/NbrJ, 'uint8'),1);
% NbrLavageJ2=zeros(cast(length(NbrLavage(:,2))/NbrJ, 'uint8'),1);
% NbrMiniJ1=zeros(cast(length(NbrMini(:,1))/NbrJ, 'uint8'),1);
% NbrMiniJ2=zeros(cast(length(NbrMini(:,1))/NbrJ, 'uint8'),1);
% NbrDecolJ1=zeros(cast(length(NbrDecol(:,1))/NbrJ, 'uint8'),1);
% NbrDecolJ2=zeros(cast(length(NbrDecol(:,1))/NbrJ, 'uint8'),1);
%
% for i = 1:length(NbrLavage(:,1))
%     if indice(i)==1
%         NbrLavageJ1(i)=NbrLavage(i,1);
%         NbrLavageJ2(i)=NbrLavage(i,2);
%         NbrMiniJ1(i)=NbrMini(i,1);
%         NbrMiniJ2(i)=NbrMini(i,2);
%         NbrDecolJ1(i)=NbrDecol(i,1);
%         NbrDecolJ2(i)=NbrDecol(i,2);
%     end
% end
```

```

%     else
%         NbrLavageJ1(i)=nan;
%         NbrMiniJ1(i)=nan;
%         NbrDecolJ1(i)=nan;
%         NbrLavageJ2(i)=nan;
%         NbrMiniJ2(i)=nan;
%         NbrDecolJ2(i)=nan;
%     end
% end
%
% NbrLavageJ1 (isnan(NbrLavageJ1))=[];
% NbrMiniJ1 (isnan(NbrMiniJ1))=[];
% NbrDecolJ1 (isnan(NbrDecolJ1))=[];
% NbrLavageJ2 (isnan(NbrLavageJ2))=[];
% NbrMiniJ2 (isnan(NbrMiniJ2))=[];
% NbrDecolJ2 (isnan(NbrDecolJ2))=[];
%
% figure (1)
% [graph1, p1, p2] = plotyy
(DateJ,NbrLavageJ1,DateJ,ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
% set (p1,'linestyle','none','marker','square');
% set (p2,'linestyle','none','marker','o');
% xlabel ('date');
% ylabel (graph1(1),'Nombre de lavages par jour');
% ylabel (graph1(2),'Charge en MES moyenne en kg/h');
% datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','kepticks');
% legend ('Nombre de lavages par jour','Charges en MES moyenne entrÈe
biofiltre');
% title ({'Nombre de lavages par jour en fonction de la charge en
entrÈe','rÈseau 1'})
%
% figure (2)
% [graph1, p1, p2] = plotyy
(DateJ,NbrLavageJ2,DateJ,ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
% set (p1,'linestyle','none','marker','square');
% set (p2,'linestyle','none','marker','o');
% xlabel ('date');
% ylabel (graph1(1),'Nombre de lavages par jour');
% ylabel (graph1(2),'Charge en MES moyenne en kg/h');
% datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','kepticks');
% legend ('Nombre de lavages par jour','Charges en MES moyenne entrÈe
biofiltre');
% title ({'Nombre de lavages par jour en fonction de la charge en
entrÈe','rÈseau 2'})
%
% figure (3)
% [graph2, p1, p2] = plotyy (DateJ,NbrMiniJ1,DateJ,ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
% set (p1,'linestyle','none','marker','square');
% set (p2,'linestyle','none','marker','o');
% xlabel ('date');
% ylabel (graph2(1),'Nombre de mini-lavages par jour');
% ylabel (graph2(2),'Charge en MES moyenne en kg/h');
% datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','kepticks');
% legend ('Nombre de mini-lavages par jour','Charges en MES moyenne entrÈe
biofiltre');
% title ({'Nombre de mini-lavages par jour en fonction de la charge en
entrÈe','rÈseau 1'})
%
% figure (4)
% [graph2, p1, p2] = plotyy (DateJ,NbrMiniJ2,DateJ,ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
% set (p1,'linestyle','none','marker','square');
% set (p2,'linestyle','none','marker','o');
% xlabel ('date');
% ylabel (graph2(1),'Nombre de mini-lavages par jour');
% ylabel (graph2(2),'Charge en MES moyenne en kg/h');
% datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','kepticks');
% legend ('Nombre de mini-lavages par jour','Charges en MES moyenne entrÈe
biofiltre');
% title ({'Nombre de mini-lavages par jour en fonction de la charge en
entrÈe','rÈseau 2'})
%
% figure (5)

```

```

% [graph3, p1, p2] = plotyy
(DateJ,NbrDecolJ1,DateJ,ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
% set (p1,'linestyle','none','marker','square');
% set (p2,'linestyle','none','marker','o');
% xlabel ('date');
% ylabel (graph3(1),'Nombre de dÈcolmatages par jour');
% ylabel (graph3(2),'Charge en MES moyenne en kg/h');
% datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','kepticks');
% legend ('Nombre de dÈcolmatages par jour','Charges en MES moyenne entrÈe
biofiltre');
% title ({'Nombre de dÈcolmatages par jour en fonction de la charge en
entrÈe','rÈseau 1'})
%
% figure (6)
% [graph3, p1, p2] = plotyy
(DateJ,NbrDecolJ2,DateJ,ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
% set (p1,'linestyle','none','marker','square');
% set (p2,'linestyle','none','marker','o');
% xlabel ('date');
% ylabel (graph3(1),'Nombre de dÈcolmatages par jour');
% ylabel (graph3(2),'Charge en MES moyenne en kg/h');
% datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','kepticks');
% legend ('Nombre de dÈcolmatages par jour','Charges en MES moyenne entrÈe
biofiltre');
% title ({'Nombre de dÈcolmatages par jour en fonction de la charge en
entrÈe','rÈseau 2'})
%
% figure (7)
% [graph4, p1, p2] = plotyy
(DateJ,(NbrLavageJ1+NbrLavageJ2+NbrMiniJ1+NbrMiniJ2+NbrDecolJ1+NbrDecolJ2
),DateJ,ChargeMES_EntreeBiofiltr2J);
% set (p1,'linestyle','none','marker','square');
% set (p2,'linestyle','none','marker','o');
% xlabel ('date');
% datetick ('x',Formatdate,'keeplimits','kepticks');
% ylabel (graph4(1),'Nombre d'ÈvÈnement de nettoyage par jour');
% ylabel (graph4(2),'Charge en MES moyenne en kg/h');
% legend ('Nombre d'ÈvÈnement de lavages par jour','Charges en MES moyenne
entrÈe biofiltre');
% title ('Nombre d'ÈvÈnement de lavages par jour en fonction de la charge en
entrÈe sur les deux rÈseaux')

%_____

% Partie 3 : Le nombre de filtre actif en comparaison avec la perte de charge

load ('Nombre de biofiltre.mat');
load ('Charge en MES.mat');

figure (10)
subplot (2,1,1)
plot (Date, NbrFiltr_inactif, '.');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('Nombre de biofiltre inactifs');
title ('Nombre de biofiltre actifs au cours du temps');
subplot(2,1,2)
plot (Date, ChargeMES_EntreeBiofiltr2);
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','kepticks');
ylabel ('Charge en kg/h');
title ('Charge en MES en entrÈe des biofiltres');

figure (11)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2, NbrFiltr_inactif, '.')
title ('Nombre de biofiltre inactifs en fonction de la charge en MES en entrÈe
des biofiltres');
xlabel ('Charge en kg/h');
ylabel ('Nombre de biofiltre inactifs');

load ('Concentration en MES.mat')

```

```

figure (12)
scatter (MES_Sortieprimaire, NbrFiltr_inactif, '.')
title ('Nombre de biofiltre inactifs en fonction de la concentration en MES en
sortie du primaire');
xlabel ('concentration en MES en mg/l');
ylabel ('Nombre de biofiltre inactifs');

%
%
% Partie 4 : Le taux de filtration est fonction du nombre de biofiltres actif

load('taux de filtration.mat')

figure (20)
subplot (2,1,1)
plot (Date, TxFiltr);
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keeplimits', 'keepticks');
ylabel ('Taux de filtration m/h');
title ('Taux de filtration au cours du temps');
subplot(2,1,2)
plot (Date, ChargeMES_EntreeBiofiltr2);
xlabel('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keeplimits', 'keepticks');
ylabel ('Charge en kg/h');
title ('Charge en MES en entrÈe des biofiltres');

figure (21)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2, TxFiltr, '.')
title ('Taux de filtration en fonction de la charge en MES en entrÈe des
biofiltres');
xlabel ('Charge en kg/h');
ylabel ('Taux de filtration m/h');

figure (22)
scatter (MES_Sortieprimaire, TxFiltr, '.')
title ('Tx de filtration en fonction de la concentration en MES en sortie du
primaire');
xlabel ('concentration en MES en mg/l');
ylabel ('Taux de filtration m/h');

figure (23)
scatter (TxFiltr, MES_Effluentstation, '.')
title ('Tx de filtration en fonction de la concentration en MES en sortie de
station');
xlabel ('concentration en MES en mg/l');
ylabel ('Taux de filtration m/h');
%
%
% Partie 5 : Etude du debit de lavage en tant que possible paramÈtre d'une
modÈlisation du biofiltre.

% Par rapport à l'entrÈe

figure (30)
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2, Debit_EauxLavages, '.');
xlabel('Charge en MES (kg/h)');
ylabel('DÈbit (m3/h)');
title('DÈbit des eaux de lavages en fonction de la charge en entrÈe');

% Par rapport au rendement

load ('Rendements.mat')

figure (31)
scatter (Debit_EauxLavages, Rendement_Global, '.');
xlabel('DÈbit (m3/h)');
ylabel('pourcentage (%)');
title('Rendement en fonction du dÈbit d'eau de lavage');

```

- Programme d'exploration du niveau d'eau des caissons et des différents événements de nettoyage

```

% Ce programme Étudie le niveau d'eau dans les caissons de rÈtention des
% biofiltres. Il permet de mettre en Èvidence les ÈvÈnement de lavage sur
% un biofiltre particulier et d'observer une Èventuelle relation entre les
% ÈvÈnements de lavage et l'entrÈe du biofiltre, la sortie du biofiltre ou
% son rendement.

clear all
clf
load ('Date.mat');
load ('Niveau d'eau caissons.mat');
load ('Perte de charge.mat');
load ('Charge en MES.mat');
load ('Nombre de biofiltre.mat');
load ('Bilans.mat');
load ('Rendements.mat');

figure (1)
subplot (2,1,1)
plot (Date, NivEau8);
title ('Niveau d'eau dans le caisson sur pÈriode d'Ètude');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('niveau d'eau dans le caisson en mmgÈo');
grid;
subplot (2,1,2)
plot (Date, PdC(:,8));
title (['Perte de charge sur le biofiltre ',int2str(8)]);
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keplimits','kepticks');
ylabel ('Perte de charge exprimÈe en kPa');
grid;

Position=0;
DureeEven=0;
DureeEntreEven=0;
fenetreEntreEvenMin = 1200; % Delta t mininum entre deux ÈvÈnements de lavages
en seconde
fenetreEntreEvenMax = 216000; % Delta t maximum entre deux ÈvÈnements de
lavages en seconde

Evenement = zeros (length (NivEau(:,1)),3);
for i= 1 : length(NivEau(:,1))
    if NivEau8 (i) >9900
        Position=1;
        Evenement (i,1)= Position;
        DureeEven = DureeEven+Pas;
        Evenement (i,2)= DureeEven;
        DureeEntreEven=0;
        Evenement (i,3)= DureeEntreEven;
    else
        Position=1;
        Evenement (i,1)= Position;
        DureeEven = 0;
        Evenement (i,2)= DureeEven;
        DureeEntreEven=DureeEntreEven+Pas;
        Evenement (i,3)= DureeEntreEven;
        if DureeEntreEven > fenetreEntreEvenMin
            Position=0;
            for k= i+1-(DureeEntreEven/Pas):i
                Evenement (k,1)= Position;
            end
        % Cette condition est nÈcessaire au vu des observations sur les
        % donnÈes Excel. Il y a parfois une chute dans la mesure du niveau
        % d'eau pendant 15 ± 45 secondes durant le dÈcolmatage, lavage ou
        % mini-lavage. Pour ne pas comptabilisÈ cette chute puis remontÈe
        % brusque de niveau comme un nouvel ÈvÈnement de lavage il faut

```

```

        % imposer une condition supplémentaire. On impose alors la condition
        % de délai minimum entre 2 ÉvÈnement de lavage fixÈe par la station
        % et † vÈrifier selon les pÈriodes de mesure.
    end
end
end

figure (2)
scatter (Date, Evenement(:,2)./60)
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keepslimits','keeps_ticks');
ylabel ('duree d'un ÈvÈnement en minute')
title('Ètude de la durÈe des ÈvÈnements de lavages')
% En se basant sur ce graphe on peut dÈterminer la durÈe minimale de chaque
ÈvÈnement

fenetreLavage=1600; % Delta t minimum d'un lavage † estimer selon les donnÈes
Excel en seconde
fenetreMinilav=1000; % Delta t minimum d'un mini-lavage † estimer selon les
donnÈes Excel en seconde
fenetreDecol=100; %Delta t minimum d'un dÈcolmatage † estimer selon les donnÈes
Excel en seconde

Lavage = zeros (length (NivEau(:,1)),1);
Minilav = zeros (length (NivEau(:,1)),1);
Decol = zeros (length (NivEau(:,1)),1);
for i= 1 : length(NivEau(:,1))-1
    if Evenement (i,1)==1 && Evenement (i+1,1)~=1
        if Evenement (i,2)>fenetreLavage
            Lavage (i)=1;
        elseif Evenement (i,2)>fenetreMinilav
            Minilav (i)=1;
        elseif Evenement (i,2)>fenetreDecol
            Decol (i)=1;
        else
            Lavage (i) = 0;
            Minilav (i) = 0;
            Decol (i) = 0;
        end
    else
        Lavage (i) = 0;
        Minilav (i) = 0;
        Decol (i) = 0;
    end
end
end

for i= 1 : length(NivEau(:,1))
    if Lavage (i) == 0
        Lavage (i) = nan;
    end
    if Minilav (i) == 0
        Minilav (i) = nan;
    end
    if Decol (i) == 0
        Decol (i) = nan;
    end
end
end

figure (3)
subplot (2,1,1)
plot (Date, NivEau8);
title ('Niveau d'eau dans le caisson sur pÈriode d'Ètude');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keepslimits','keeps_ticks');
ylabel ('niveau d'eau dans le caisson en mmgÈo');
grid;
subplot (2,1,2)
scatter (Date, Lavage, 'r')
hold on
scatter (Date, Minilav, 'm')
hold on

```

```

scatter (Date, Decol, 'b')
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keeplimits', 'keepticks');
ylabel ('ÉvÈnement de lavage sur le biofiltre');
legend ('Lavage', 'Mini-Lavage', 'DÈcolmatage');
title ('...vÈnement de lavages sur le biofiltre sÈlectionnÈ sur une pÈriode de
travail donnÈe');
grid;
hold off

% Partie : La frÈquence des lavages, mini-lavages et dÈcolmatages est elle
influencÈ et influence t elle les performances du biofiltre?

% La durÈe entre deux ÈvÈnement de lavage est donnÈe par la troisiÈme
% composante de la variable "Evenement".

DureeEntreEven = Evenement (:,3);

for i= 1:length (NivEau (:,1))-1
    if DureeEntreEven(i)< DureeEntreEven(i+1)
        DureeEntreEven (i)=nan;
    elseif DureeEntreEven (i) < fenetreEntreEvenMin
        DureeEntreEven (i) =nan;
    elseif DureeEntreEven (i) > fenetreEntreEvenMax
        DureeEntreEven (i) =nan;
    end
end

figure (4) % Par rapport au temps
scatter (Date, DureeEntreEven)
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel, 'keeplimits', 'keepticks');
ylabel ('Duree entre deux ÈvÈnement en seconde');
title ('DurÈe entre les ÈvÈnements de lavages sur le biofiltre sÈlectionnÈ sur
une pÈriode de travail donnÈe');
grid;

figure (5) % Parrapport # l'entrÈe en MES du biofiltre
scatter (ChargeMES_EntreeBiofiltr2./NbrFiltr_actif, DureeEntreEven)
xlabel ({'Charge en MES en entrÈe du biofiltre', 'en faisant l''hypothÈse d''une
rÈpartition Èquitable du flux entrant entre les biofiltres'});
ylabel ('Duree entre deux ÈvÈnement en seconde');
title ('DurÈe entre les ÈvÈnements de lavages sur le biofiltre sÈlectionnÈ par
rapport # la charge en MES entrante');
grid;

figure (6) % Par rapport aux MES captÈe
scatter (ChargeMES_Captee_Theo_lisse2./NbrFiltr_actif, DureeEntreEven)
xlabel ({'Charge en MES captÈe thÈoriquement par le biofiltre', 'en faisant
l''hypothÈse d''une rÈpartition Èquitable du flux entrant entre les
biofiltres'});
ylabel ('Duree entre deux ÈvÈnement en seconde');
title ('DurÈe entre les ÈvÈnements de lavages sur le biofiltre sÈlectionnÈ par
rapport # la charge captÈe thÈorique');
grid;

figure (7) % Par rapport au Rendement
scatter (Rendement_Biofiltr, DureeEntreEven)
xlabel ({'Rendement du biofiltre', 'en faisant l''hypothÈse d''une rÈpartition
Èquitable du flux entrant entre les biofiltres'});
ylabel ('Duree entre deux ÈvÈnement en seconde');
title ('DurÈe entre les ÈvÈnements de lavages sur le biofiltre sÈlectionnÈ par
rapport au rendement du biofiltre');
grid;

```

→ Programme d'exploration des températures et précipitations

```
% Ce programme est destinÈ a mettre en Èvidence les prÈcipitations et
% variations de tempÈrature de maniÈre ‡ pouvoir les mettre en parallÈle
% avec ce qui est observÈ en terme de performance sur la station.

%_____

clear all
clf
load ('Date.mat');
load ('PrÈcipitation.mat');
load ('tempÈratures.mat');

figure (1)
plot(Date,Precipitation);
title ('Precipitations sur la pÈriode d''Ètude');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('PrÈcipitations en mm/h');

figure (2)
plot(Date,Temp);
title ('TempÈratures sur la pÈriode d''Ètude');
legend ('tempÈrature de l''eau','tempÈrature extÈrieure');
xlabel ('Date');
datetick ('x',DateExcel,'keeplimits','keepticks');
ylabel ('TempÈrature en ∞C');
```

