

مهورية الجـ زائرية

الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
الجمهورية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
الجامعة الوطنية للدراسات العليا والبحث العلمي

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –



كلية التكنولوجيا



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master

En Hydraulique

Spécialité : *Hydro Informatique*

Thème

Contribution à l'étude de la sûreté de  
fonctionnement d'une station d'épuration- cas de  
la station d'épuration de Ain El Houtz- Tlemcen.

Présenté Par : **TOUATI Tawfiq**

Soutenu le : 21 / 09 / 2017, devant le jury composé de :

Mr CHIBOUB FELLAH .A  
Mr BOUMEDIENE MAAMAR  
Mr ROUISSAT BOUCHRIT  
Meme BOUKLI HACENE .C  
Mr BESSEDIK MADANI

Président  
Examineur  
Examineur  
Encadreur  
Co- encadreur

2016 – 2017



# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes très chers parents qui m'ont toujours encouragé.  
Que Allah les protège.*

*Mes très chers frères*

*Toutes mes amis*

*Toute la promotion 2016-2017 en Hydraulique*

*A ma patrie*

*Tawfiq*

# Remerciements

Merci à ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la Science.

Je tiens tous d'abord à remercier mes encadreurs : Mme Mm BOUKLI HQCENE .C et Mr BESSEDIK MADANI, Maitres de conférences A à l'Université de Tlemcen pour m'avoir donné goût à la recherche scientifique et qui ont suivi et veillé rigoureusement sur le bon déroulement de ce travail avec critiques constructives et leurs surveillance étroite des résultats obtenus ; c'était un grand honneur et un privilège pour moi de travailler et de continuer à travailler avec eux.

J'adresse ma profonde reconnaissance à toutes les personnes ayant participé d'une façon ou d'une autre, de loin ou de près à la réalisation de cette thèse.

# Liste des Figures

- Fig. I.1 Types de fiabilité
- Fig. I.2 schéma représentant les différents facteurs de la sureté de fonctionnement.
- Fig. I.3 courbe en baignoire
- Fig. I.4 disponibilité en fonction du temps
- Fig. I.5 Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence.
- Fig. I.6 les composantes de la sûreté
- Fig. I.7 panne sûre : disponibilité ! Panne dangereuse : sécurité!
- Fig. I.8 Exemple d'une représentation graphique du risque de mortalité annuelle par accident.
- Fig. I.9 Diagramme de Pareto (Méthode ABC)Diagramme de Pareto (Méthode ABC)
- Fig.I.10 Exemple de défaillance
- Fig.II.1 STEP de Ain El Tolba le 24/03/2015 problème de colmatage à l'entrée du STEP
- Fig.II.2 Dysfonctionnements biologiques
- Fig.III.1 Photos satellitaires de la STEP de Ain El Houtz-Tlemcen
- Fig.III.2 Photo panoramique de la STEP de Ain El Houtz
- Fig.III.3 Photo déversoir d'orage
- Fig.III.4 Grille grossière manuelle
- Fig.III.5 Grille mécanisée
- Fig.III.6 Déssableur-déshuileur
- Fig.III.7 Bassins d'aérations
- Fig.III.8 Schéma d'un décanteur primaire
- Fig.III.9 Clarificateur
- Fig.III.10 Bassin de chloration
- Fig.III.11 Vis de relevage des boues
- Fig.III.12 Epaisseur

- Fig.III.13 Lits de séchage+Air de stockage
- Fig.III.14 Construction de SysML à partir d'un UML2
- Fig.III.15 La relation entre UML, SysML, et SafeML
- Fig. III. 16 Capture d'écran du l'outil MagicDraw
- Fig.III.17 Diagramme des exigences du système STEP de Ain El Houtz  
Tlemcen
- Fig. III.18 Diagramme des cas d'utilisation du système STEP de Ain El Houtz  
Tlemcen
- Fig.III.19 Diagramme de définition de blocs du système STEP Ain El Houtz
- Fig.III.20 Exemple Diagramme de SafeML
- Fig. IV.1 Matrice de criticité
- Fig.IV.2 Extrait de la base de données créée
- Fig.IV.3 Extrait de la base de données préparée
- Fig IV.4 L'évaluation du dépassement des MES par rapport au temps
- Fig. IV.5 L'évaluation du dépassement de DBO<sub>5</sub> par rapport au temps
- Fig. IV.6 L'évaluation du dépassement de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> par rapport au temps
- Fig. IV.7 L'évaluation du dépassement de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par rapport au temps
- Fig. IV.8 L'évaluation du dépassement d'O<sub>2diss</sub> par rapport au temps
- Fig.IV.9 Diagrammes en bâtons
- Fig. IV.10 Diagrammes en secteurs
- Fig. IV.11 Matrice de graphiques de nuages de points  
Matrice de corrélation (Pearson)
- Fig. IV.12 Corrélation de rang de Spearman
- Fig.IV.13 Matrice graphiques nuage de points (Spearman)
- Fig.IV.14 Palette des couleurs sur les corrélations
- Fig.IV.14 Le cercle de corrélation des individus
- Fig.IV.15 Ajustement bivarié de MES% par TUR%

- Fig. IV.16 Ajustement bivarié de O2 diss % par N-NO3%
- Fig.IV.17 Visualisation en 3D les corrélation entre le DBO5, DCO.et NH4+
- Fig.IV.18 Les dépassements de MES et TUR marqués dans la série de données
- Fig.IV.19 Les dépassements de DBO5/DCO/NH4+ marqués dans la série de données
- Fig.IV.20 Diagramme de Pareto en bâtons
- Fig.IV.21 Diagramme de Pareto en secteurs
- Fig.IV.22 Diagramme de criticité

# Liste des tableaux

Tableau I.1	Paramètre de sureté de fonctionnement
Tableau I.2	Les facteurs de la maintenabilité
Tableau I.3	Les représentations des événements
Tableau I.4	Exemple de structure d'un tableau d'AMDEC
Tableau I.3	Les portes logiques
Tableau I.3	Les représentations des événements
Tableau I.4	Exemple de structure d'un tableau AMDEC
Tableau III.1	Base de données de dimensionnement de la step de Ain El Houtz
Tableau III.2	Normes du rejet garanti par la step d'Ain El Houtz
Tableau IV.1	Les types de défaillances selon les degrés de dépassement des valeurs par rapport aux normes
Tableau IV.2	Table des données de la méthode de Pareto
Tableau IV.3	Table de données de la méthode ABC classé par score pondéré
Tableau IV.4	Table des corrélations (Spearman) classé par la probabilité de corrélation
Tableau IV.5	Table des composantes principales pour l'analyse ACP
Tableau VI.6	Table des données pour la méthode de Pareto
Tableau.IV.7	Table des données pour le diagramme de criticité

# Liste des Abréviations :

<b>ACP :</b>	Analyse en composantes principales
<b>AMDEC :</b>	Analyse de modes de défaillances de leurs effets et leurs criticités
<b>C :</b>	Criticité
<b>DBO<sub>5</sub> :</b>	Demande biochimique en oxygène
<b>DCO :</b>	Demande chimique en oxygène
<b>F :</b>	Fréquence
<b>G :</b>	Gravité
<b>MES :</b>	Les matières en suspension
<b>ONA :</b>	Office national d'assainissement
<b>O<sub>2</sub> diss :</b>	Oxygène dissous
<b>SDF :</b>	La sureté de fonctionnement
<b>STEP :</b>	Station d'épuration
<b>SysML :</b>	System modeling langage
<b>TUR :</b>	La turbidité
<b>UML :</b>	Unified modeling langage

# Table des Matières

Introduction Générale .....	1
-----------------------------	---

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

I. Introduction .....	3
II. Les Grandeurs De La Surete De Fonctionnement .....	3
II.1 Fiabilité .....	3
II.2. Maintenabilité .....	4
II.3. Taux de défaillance .....	6
II.4. Disponibilité .....	7
II.5. Sécurité .....	7
III. Relations Entre Les Grandeurs De La Surete .....	8
IV. Les Etats De Fonctionnement D'un Systeme .....	9
V. Notion De Risque .....	10
VI. Les outils d'analyse des defaillances .....	10
VI.1. Méthode ABC (Diagramme Pareto) .....	11
VI.2. Arbre de défaillances .....	12
VI.3. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) .....	14
VII. Les Enjeux .....	15
VIII. L'importance de la sûreté de fonctionnement dans une step .....	15
IX. Conclusion .....	15

## CHAPITRE II : L'ANALYSE DES DYSFONCTIONNEMENTS DANS LES STATIONS D'EPURATION A BOUES ACTIVEES\

I. Introduction .....	17
II. Les Facteurs Susceptibles D'affecter Le Fonctionnement D'une Step A Boues Activees ..	17
II.1. La Nature De L'eau Usee Et Le Reseau .....	17
II.2. La Conception De La Station .....	18

II.2.1. La décantation primaire .....	18
II.2.2. Les bassins biologiques .....	18
II.3. L'exploitation de la station.....	18
III-Conclusion.....	22

### **CHAPITRE III : DESCRIPTION ET MODELISATION DE LA STATION D'EPURATION D'AIN EL HOUTZ -TLEMCEN**

I. Introduction .....	24
II. La Situation Geographique De La Station .....	24
III. La Description Technique De La Station .....	24
III.1. Description Des Installations .....	25
III.2. Données de base .....	30
IV. MODELISATION SYSML DE LA STEP DE AIN EL HOUTZ .....	33
IV.1.Presentation du langage Sysml .....	33
IV.2. Présentation de l'outil Magicdraw ) .....	33
IV.3. Model Sysml du système STEP Aine El Houtz Tlemcen .....	33
IV.3.1- Diagramme des exigences .....	34
IV.3.2- Diagramme des cas d'utilisation .....	34
IV.3.3- Diagramme de définition de blocs .....	34
IV.3.2- Diagramme des cas d'utilisation .....	34
IV.3.3- Diagramme de définition de blocs .....	34
IV.3.4- le profile SafeML.....	34
V. Conclusion .....	40

### **Chapitre IV : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION D'AIN EL HOUTZ -TLEMCEN**

I. Introduction .....	41
II. PRINCIPE DE LA METHODE .....	41
III. ETAPE 1 : CREATION ET PREPARATION DE LA BASE DE DONNEES .....	41
III-1. Création de la base de données .....	41
III-2. Préparation de la base de données.....	41

III-3. Analyse sur les valeurs du Matières en suspension MES .....	42
III-4. Analyse sur les valeurs de la demande biochimique en oxygène DBO <sub>5</sub> .....	43
III-5. Analyse sur les valeurs de l'ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	44
III-7. Analyse sur les valeurs du Nitrat N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	45
III -8 Analyse sur les valeurs l'Oxygène dissous O <sub>2</sub> Diss .....	47
III-9. Classement des défaillances selon leurs ordres d'importance avec la méthode abc.....	48
IV. Analyse multi variables .....	50
IV.1.corrélation entre les paramètres.....	50
IV.1.1.Analyse plusieurs variables .....	50
IV.1.2 corrélation non paramétrique .....	50
IV.1.3 Analyse en composante principale (ACP) .....	50
IV.1.4 .vérification de la fiabilité des résultats .....	56
IV.1.5..Analyse temporelle.....	59
IV.2.Clasement des défaillance selon leurs ordres d'importance .....	66
IV.3.Diagramme de criticité .....	71
VI. ETAPE 3 : ANALYSE PREVISIONNELLE DES DEFAILLANCES (AMDEC) .....	73
V. ETAPE 4 :ANALYSE QUALITATIVE DES DEFAILLANCES (ARBRE DE DEFAILLANCE .....	70
VI. Conclusion.....	76
Conclusion générale.....	77
Références bibliographique.....	78

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

Une étude de sûreté de fonctionnement est nécessaire pour assurer le respect des exigences d'un système complexe et prévoir les principales défaillances qui nuisent le bon fonctionnement de ce système.

La sûreté de fonctionnement est déployée historiquement dans les domaines d'aéronautique, aérospatiale, nucléaire, ferroviaire, connaît maintenant un fort développement dans tous les milieux industriels stratégiques notamment l'informatique, l'électronique, énergie...

La station d'épuration de Aine El Houtz est une entité stratégique dans le système hydrologique et écologique de bassin hydrologique de Tafna vu son rôle vitale d'épurer les eaux usées de la ville de Tlemcen, d'où l'importance d'apporter une étude de sûreté de fonctionnement pour ce système car les pannes de cette station sont moins au moins tolérables.

Mon travail consiste à contribuer à l'étude de sûreté de fonctionnement de la station d'épuration de Ain El Houtz de la ville de Tlemcen en cherchant les risques qui peuvent gêner le bon fonctionnement de ce système d'élaborer un diagramme de criticité pour définir quel est la zone du risques tolérables et la zone des risques intolérables.

La méthodologie utilisée pour cette étude est basée sur l'analyse d'une base de données des valeurs des paramètres d'analyses journalières de l'eau de sortie de la STEP collectées durant les travaux des projets de fin d'étude durant la période de 02/11/2011 jusqu'à 25/02/2016 au niveaux de département d'hydraulique de l'université de Tlemcen.

Outre l'introduction et la conclusion, mon travail est subdivisé en chapitres :

- Le premier chapitre traitera une généralité sur les notions de la sûreté de fonctionnement.
- Le second chapitre présentera une analyse des dysfonctionnements dans les stations d'épuration à boues activées.
- Le troisième chapitre s'articulera autour de la présentation et description de la STEP de AIN El Houtz avec une modélisation SysML pour faire une analyse structurelle et fonctionnelle de la STEP.
- Le quatrième chapitre s'attellera sur l'analyse de dysfonctionnement de la STEP en appliquant les méthodes analyse statistiques multi variables avec les analyses en

composantes principales ACP et la méthode de Pareto pour classer les principales défaillances selon leurs nombres d'occurrence et leurs degrés de gravité et puis établir un diagramme de criticité et les méthodes de sureté de fonctionnement (AMDEC & Arbre de défaillance).

**Chapitre I**  
**GENERALITES SUR LA SURETE DE**  
**FONCTIONNEMENT**

## I. INTRODUCTION :

Un système qui a un fonctionnement sûr est un système qui réalise ce pourquoi il a été conçu, sans incident mettant sa rentabilité en question et sans accident mettant la sécurité en jeu. Dans ce chapitre on va aborder les différents concepts liés au terme « sureté de fonctionnement », ainsi les enjeux et l'importance d'appliquer cette approche dans le domaine de l'hydraulique voir les stations d'épuration.

## II. LES GRANDEURS DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT :

La sureté de fonctionnement est fondée sur les quatre grandeurs suivantes : Fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité.

Les quatre grandeurs et d'autres paramètres de sûreté de fonctionnement sont illustrés dans le tableau suivant [Megdiche, 2004] :

**Tableau.I.1.** Paramètres de sûreté de fonctionnement

Paramètre	Désignation	Définition
La fiabilité	$R(t)$	probabilité qu'une entité fonctionne entre l'instant 0 et t
La disponibilité	$A(t)$	probabilité qu'une entité fonctionne à l'instant t
La maintenabilité	$M(t)$	probabilité qu'une entité soit réparée entre l'instant 0 et t
La sécurité	$S(t)$	probabilité qu'une entité n'ait aucune défaillance catastrophique entre l'instant 0 et t
Le taux de défaillance	$(t)$	La probabilité qu'une défaillance d'un composant apparaisse entre t et t + dt, sachant que le composant a fonctionné entre 0 et t
Le taux de réparation	$(t)$	La probabilité qu'un composant soit réparé entre t et dt sachant qu'il était défaillant entre 0 et t
Le taux de défaillance a la sollicitation	$(t)$	la probabilité que le composant tombe en panne au moment où il est sollicité

### II.1 Fiabilité :

la fiabilité est la probabilité pour qu'une entité puisse accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné  $[t_1, t_2]$  ; que l'on écrit:  $R(t_1, t_2)$ . [CABOU.E, 1999]

Plusieurs notions sont fondamentales dans cette définition :

)} **Fonction** : la fiabilité est caractéristique de la fonction attribuée au système. La connaissance de son architecture matérielle est souvent insuffisante et il faut utiliser des méthodes d'analyse fonctionnelle.

)} **Conditions** : le rôle de l'environnement est primordial en fiabilité, il faut aussi connaître les conditions d'utilisation. La connaissance du matériel n'est pas suffisante.

**Intervalle** : on s'intéresse à une durée et pas à un instant. Par hypothèse le système fonctionne à l'instant initial, le problème est de savoir pour combien de temps. En général  $t_1 = 0$  et on note  $R(t)$  la fiabilité. [CABOU.E,1999]

On a plusieurs types de fiabilité : fiabilité de conception et de réalisation et fiabilité d'utilisation, ils sont tous représentés dans la figure I.1

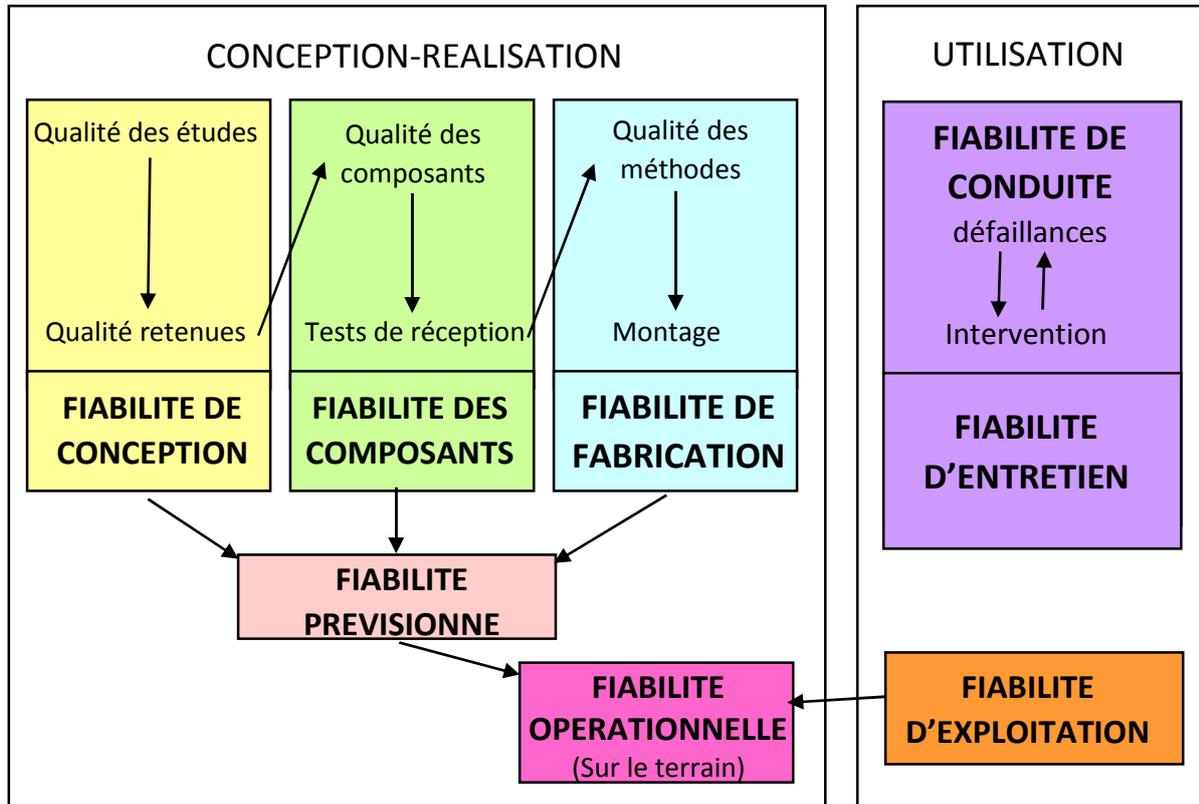
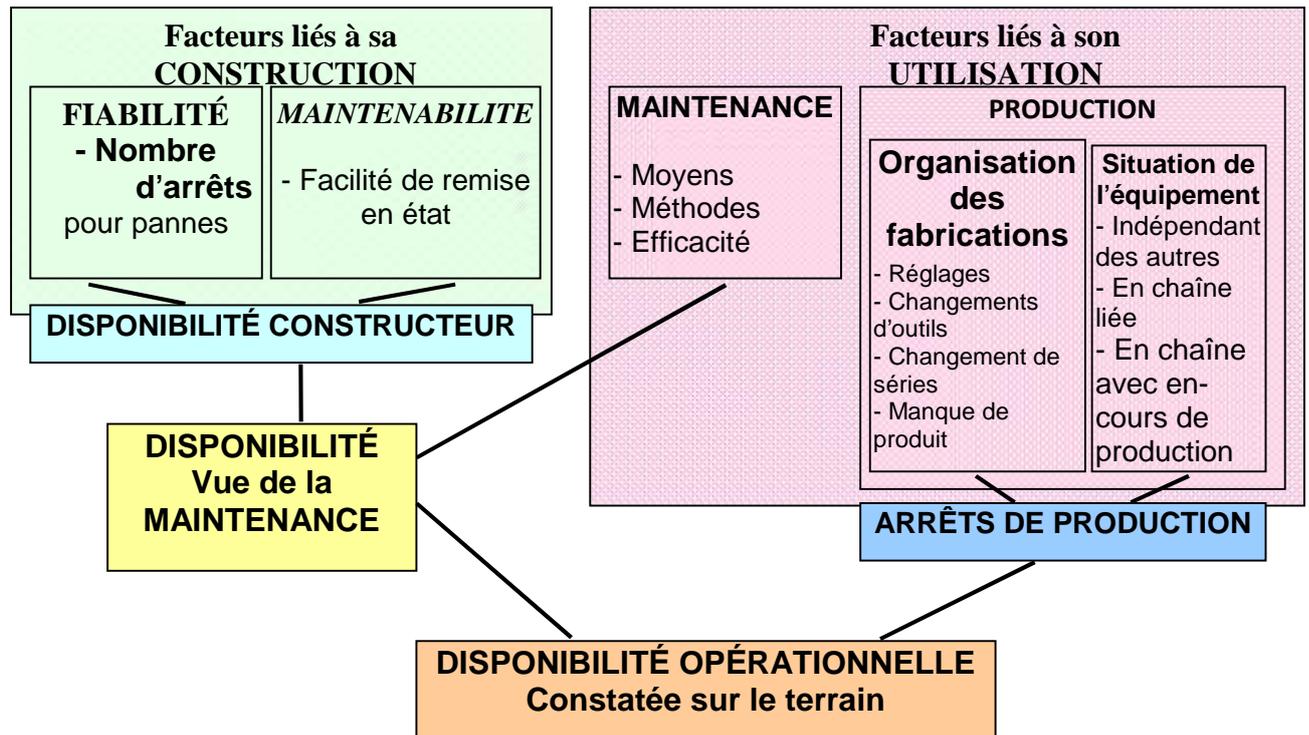


Figure I.1 : Types de fiabilité. [CURELY.V, 2014]

## II.2 La maintenabilité :

La maintenabilité est la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donné  $[t_1, t_2]$  ; que l'on écrit :  $M(t_1, t_2)$ .



**Figure I.2 :** schéma représentant les différents facteurs de la sureté de fonctionnement. [CURELY.V, 2014]

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs nous citons ces facteurs dans le tableau I.2 :

**Tableau I.2 :** les facteurs de la maintenabilité. [CURELY.V, 2014]

Facteurs liés à l' <b>EQUIPEMENT</b>	Facteurs liés au <b>CONSTRUCTEUR</b>	Facteurs liés à la <b>MAINTENANCE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- documentation</li> <li>- aptitude au démontage</li> <li>- facilité d'utilisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- conception</li> <li>- <b>qualité du service après-vente</b></li> <li>- facilité d'obtention des pièces de rechange</li> <li>- coût des pièces de rechange</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- préparation et formation des personnels</li> <li>- moyens adéquats</li> <li>- études d'améliorations (maintenance méliorative)</li> </ul>

**Remarques :** on peut améliorer la maintenabilité en :

- 🔧 Développant les documents d'aide à l'intervention
- 🔧 Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)
- 🔧 Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

### II.3 Taux de défaillance

Le taux de défaillance à l'instant  $t$ , noté  $\lambda(t)$ , mesure la probabilité qu'un composant d'un système est tombé en panne intempestivement dans l'intervalle  $[t, t + \Delta t]$  sachant qu'il est resté en fonction jusqu'à l'instant  $t$ . Le taux de défaillance est un taux horaire qui est homogène à l'inverse d'un temps.

L'écriture mathématique [I. 1] est la suivante [CABOU.E,1999] :

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right) \\ &= \frac{-1}{R(t)} \cdot \frac{d R(t)}{d t} \quad \text{[I. 1]} \end{aligned}$$

Si on représente  $\lambda(t)$  en fonction de temps on obtient alors une courbe qui est celle de la figure 1.3

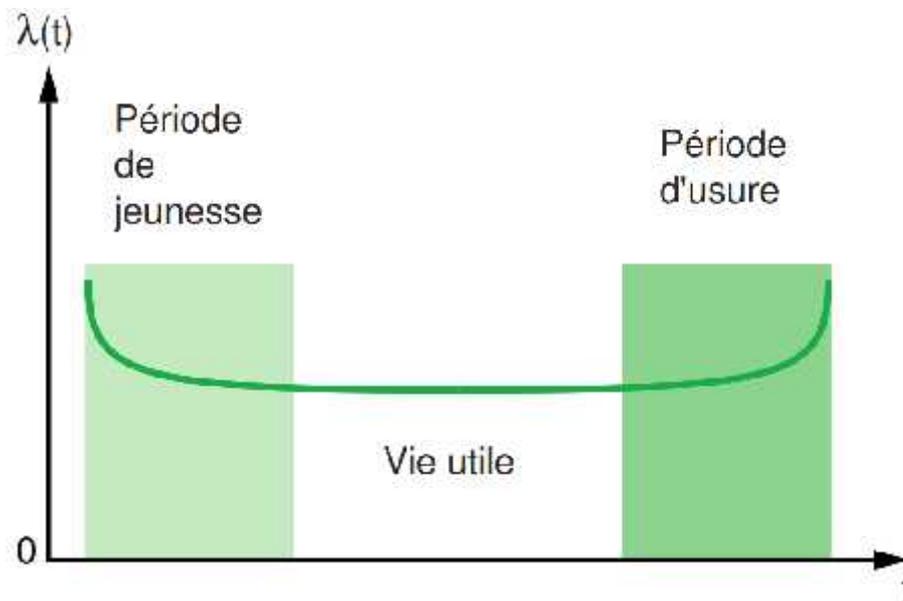


Figure I.3 : courbe en baignoire. [CABOU.E,1999]

#### ➤ Période de jeunesse :

Le taux de défaillance diminue. Ceci s'explique par le fait que certains composants sont mis en fonctionnement alors qu'ils sont viciés au départ (en général à cause de malfaçons en fabrication). A titre préventif, on pratique des contrôles renforcés (contrôles non destructifs) ou on procède à des déverminages (mise en fonctionnement pendant un certain temps des composants à livrer au client). Ceci a pour effet d'éliminer ceux qui présentent des faiblesses ; et ainsi ramener le taux de défaillance au niveau de celui de la période de maturité. Dans le domaine particulier de la mécanique automobile, cette opération est le rodage. Seule la maintenance corrective est applicable.

#### ➤ Période de maturité :

Le taux est constant pour les matériels électroniques dont les défaillances sont de type catalectique : seule la maintenance corrective est possible. Pour les matériels mécaniques, le taux est légèrement croissant : une maintenance préventive systématique ou conditionnelle est applicable.

➤ **Période de vieillesse :**

Il se produit d'importants phénomènes de dégradation. Le taux redevient fortement croissant : il faut donc surveiller le matériel. Cette dégradation accélérée correspond à des phénomènes de fatigue et d'usure en mécanique ou à des problèmes liés au vieillissement des composants électroniques : une maintenance préventive conditionnelle peut être mise en place. [CABOU.E,1999]

## II.4 Disponibilité :

La disponibilité est la probabilité pour qu'une entité soit en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné  $t$ , en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. On la note :  $D(t)$ .

Cette définition de la CEI est calquée sur celle de la fiabilité mais l'aspect temporel est fondamentalement différent puisqu'on s'intéresse à un état à un instant donné et pas à une durée.

On peut tracer la courbe donnant la disponibilité en fonction du temps d'un élément réparable dans le cas de lois exponentielles pour les défaillances et les réparations (figure I.4). [CABOU.E,1999]

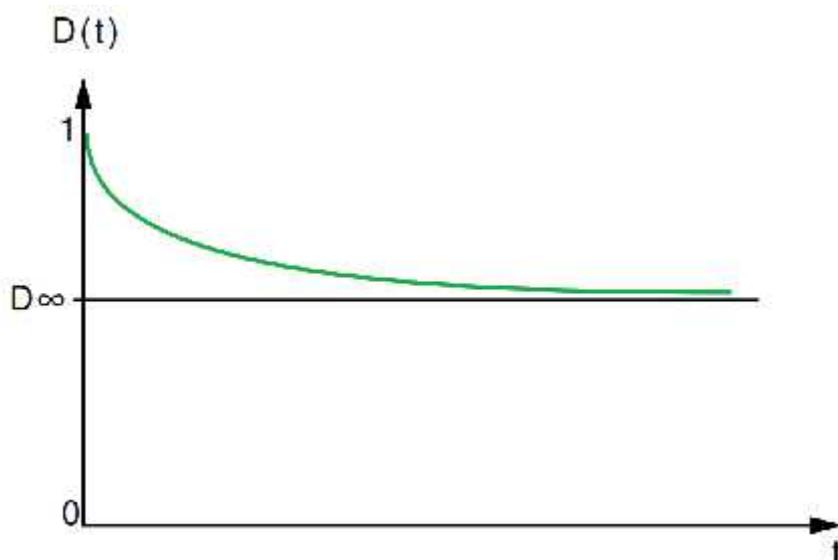
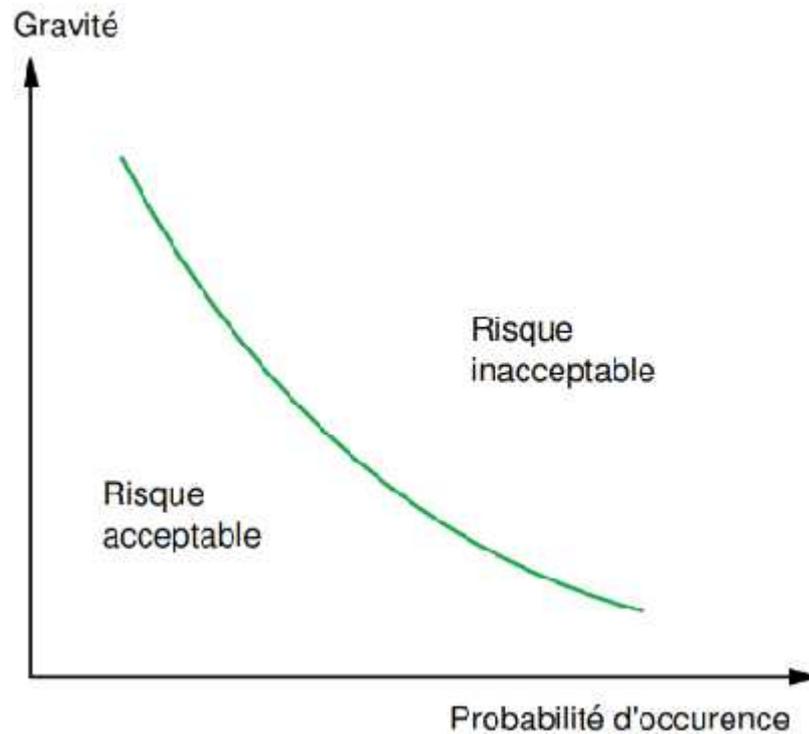


Figure I.4 : disponibilité en fonction du temps. [CABOU.E,1999]

## II.5 Sécurité :

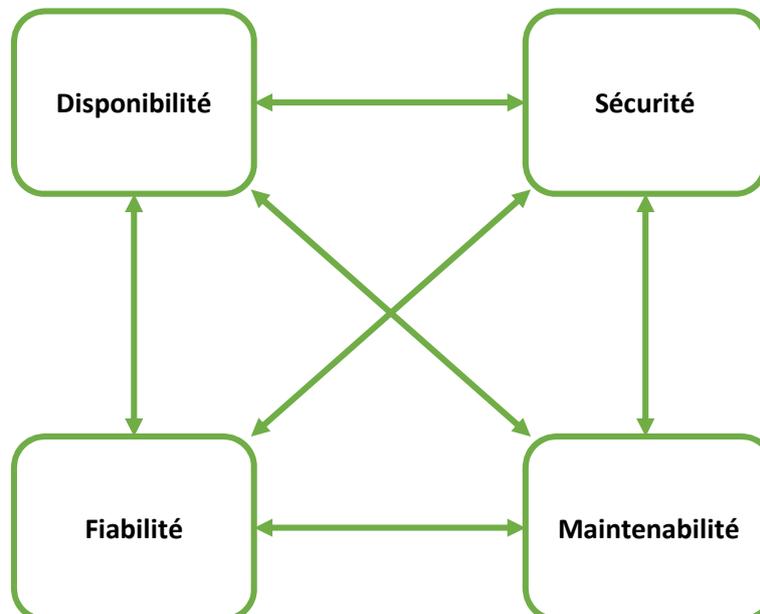
La sécurité est la probabilité d'éviter un événement dangereux. La notion de sécurité est étroitement liée à celle du risque qui lui-même dépend non seulement de la probabilité d'occurrence mais aussi de la gravité de l'événement. [CABOU.E,1999]

La courbe de la figure I.6 illustre le concept de risque acceptable.



**Figure I.5 :** le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence.  
[CABOU.E,1999]

### III. RELATIONS ENTRE LES GRANDEURS DE LA SURETE :



**Figure I.6 :** les composantes de la sûreté.

A travers ces quelques exemples on voit que la SURETE est un concept qui se décline en 4 grandeurs chiffrables ; elles dépendent les unes des autres (fig I.7). Ces quatre grandeurs sont à prendre en compte pour toute étude de sûreté. [MORTUREUX.Y, 2001]

On désigne parfois la sûreté par les initiales de ses quatre grandeurs caractéristiques, FMDS :

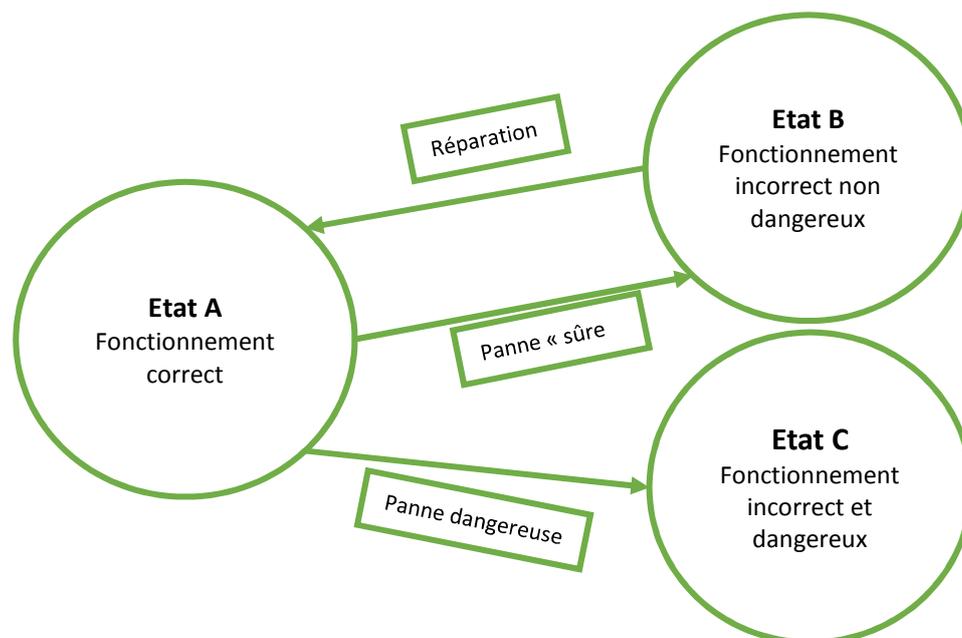
- **F**iability : probabilité que le système soit non défaillant sur  $[0,t]$ .
- **M**aintenabilité : probabilité que le système soit réparé sur  $[0,t]$ .
- **D**isponibilité : probabilité que le système fonctionne à l'instant  $t$ .
- **S**écurité : probabilité d'éviter un évènement catastrophique.

La correspondance avec la terminologie anglaise est la suivante : [MORTUREUX.Y, 2001]

- ) Fiabilité : Reliability.
- ) Maintenabilité : Maintainability.
- ) Disponibilité : Availability.
- ) Sécurité : Safety.
- ) Sûreté de fonctionnement : Dependability.

#### IV. LES ETATS DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME :

Un système peut occuper trois états, (cf. figure 7). Outre l'état de fonctionnement normal on considère deux états de panne : l'un dangereux et l'autre pas. Dans un but de simplification les états de panne incluent tous les fonctionnements dégradés, d'où la désignation «fonctionnement incorrect ». [MORTUREUX.Y, 2001]



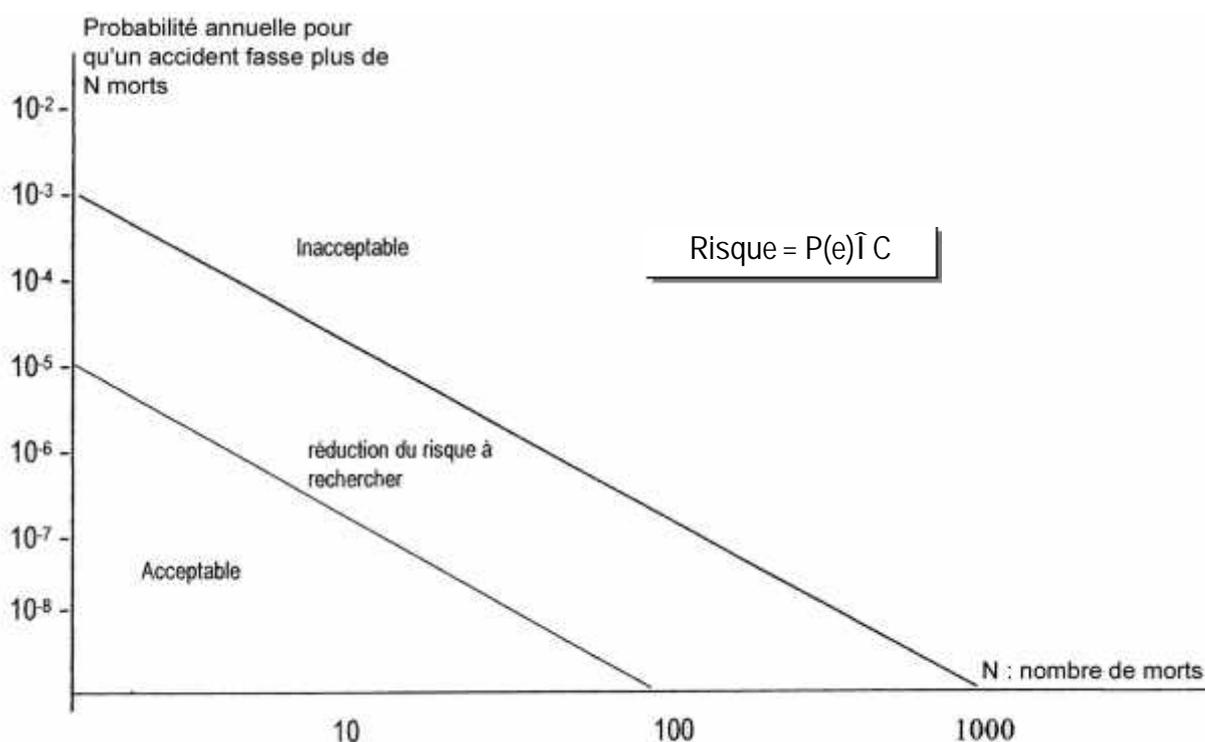
**Figure I.7** : panne sûre : disponibilité ! Panne dangereuse : sécurité

## V. NOTION DE RISQUE :

Toute situation de travail ou de la vie quotidienne présente des risques : risques technologiques, économiques, dans les transports, écologiques, sanitaires, naturels, etc. Le risque est l'évaluation d'un DANGER et est une notion intuitive et subjective. Le risque a 2 dimensions :

- La probabilité d'occurrence d'un évènement :  $P(e)$
- Les conséquences ou les dommages de l'évènement :  $C$ . Un dommage est un préjudice et / ou un dégât direct causé aux personnes et aux biens. [LANDY.G, 2007]

La figure I.8 suivante est un exemple d'une représentation graphique du risque de mortalité annuelle par accident.



**Figure I.8** : exemple d'une représentation graphique du risque de mortalité annuelle par accident [LANDY.G, 2007]

## VI. LES OUTILS D'ANALYSE DES DEFAILLANCES

### VI.1 Méthode d'analyse multi variables :

La statistique descriptive multi variée en général est un domaine très vaste. La première étape consiste à étudier la corrélation entre les différents variables ensuite les représentations graphiques des résultats

Parmi ces méthodes utilisées dans ce projet on cite :

- ) Analyse plusieurs variables (régression simple et multiple) avec les coefficients de Pearson et Spearman représentés par les matrices graphiques de nuages de points et les matrices de corrélation de types Hit map
- ) Analyse en composantes principales ACP qui a pour but de réduire le nombre de variables en perdant le moins d'information possible, c'est à dire en gardant le maximum de la variabilité totale. Pratiquement, cela revient à projeter les données des variables pour les individus sur un espace de dimension inférieure en maximisant la variabilité totale des nouvelles variables. On impose que l'espace sur lequel on projette soit orthogonal (pour ne pas avoir une vision déformée des données). [BEATRICE.D.T, 2009]

## VI.2 Méthode ABC (Diagramme Pareto) :

Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorées en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, en particulier en terme de coûts d'indisponibilité. La difficulté réside dans le fait que ce qui « est important » et que ce qu'il « l'est moins » ne se distinguent pas toujours de façon claire. [GUILLERM.R, 2011]

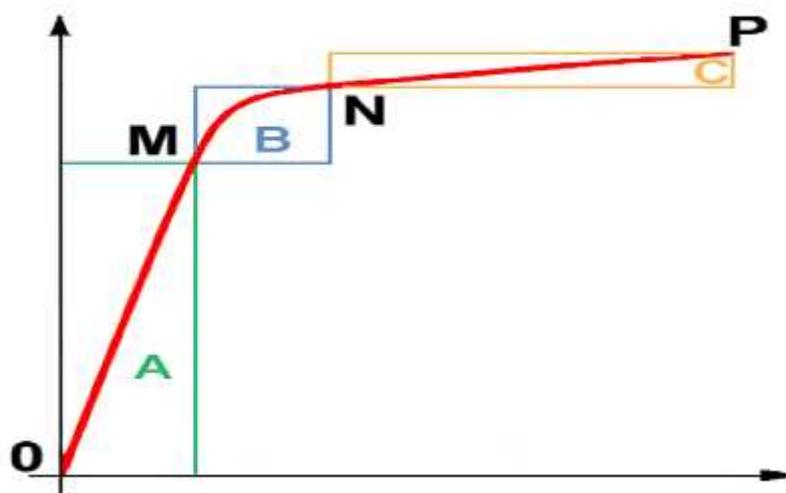


Figure I.9 : Diagramme de Pareto (Méthode ABC) [GUILLERM.R, 2011]

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc..), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur la figure I.9, on observe trois zones.

1. **Zone A** : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts ;
2. **Zone B** : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;
3. **Zone C** : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

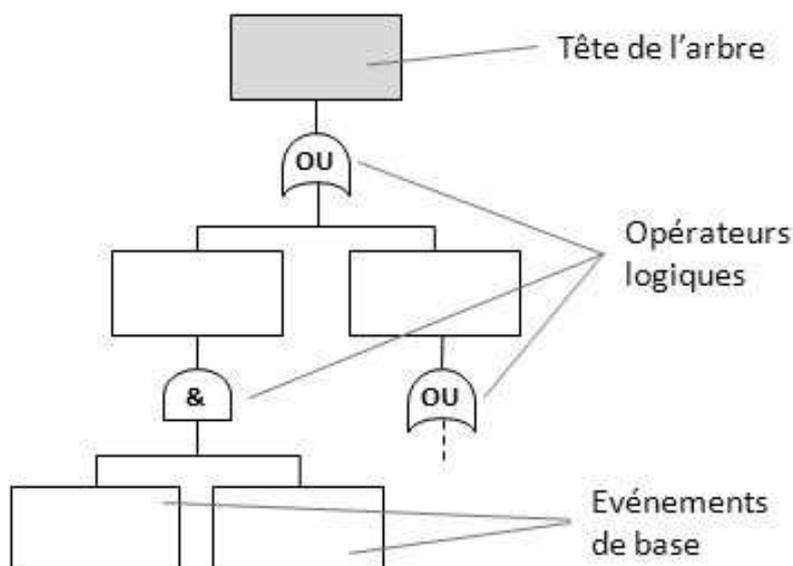
Il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A. [GUILLERM.R, 2011]

### VI.3 Arbre de défaillances :

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne.

L'analyse par arbre de défaillance est largement répandue dans les études de sûreté de fonctionnement car elle caractérise de façon très claire les liens de dépendance, du point de vue du dysfonctionnement, entre les différents constituants d'un système. Cette technique est capable de gérer des combinaisons complexes de défaillances. Elle est donc bien adaptée à l'étude des défaillances multiples, même si elle ne s'intéresse pas à l'impact que peut avoir l'ordre dans lequel les événements sont considérés.

La méthode de l'arbre de défaillances part d'un événement indésirable et cherche à en connaître les causes possibles. L'objectif de la méthode est de déterminer les diverses combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation d'un événement indésirable donné. Le résultat est formé d'une représentation graphique des combinaisons au moyen d'une structure arborescente, comme celle montrée en Figure 6. Un arbre de défaillances fourni alors une vue synthétique qui représente des interactions entre les composants d'un système du point de vue de la sûreté de fonctionnement. [GUILLERM.R, 2011]



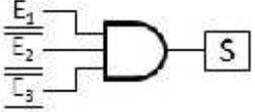
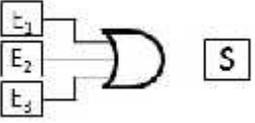
**Figure I.10** : exemple d'arbre de défaillance [GUILLERM.R, 2011]

La tête de l'arbre de défaillance (qui, par analogie, correspond à la racine) représente la plupart du temps un événement unique mettant sérieusement en question la sécurité du système étudié. Afin de faciliter l'analyse, cet événement indésirable (top event) doit être précisément défini. L'arbre de défaillance lui-même est alors formé de niveaux successifs d'événements tels que chaque événement est généré à partir des événements du niveau inférieur par

l'intermédiaire de divers opérateurs (ou portes) logiques. Ce processus déductif est poursuivi jusqu'à ce que l'on obtienne des événements dits événements de base : les feuilles de l'arbre.

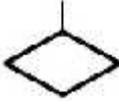
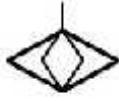
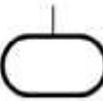
Le tableau I.3 représente les deux portes logiques « ET » et « OU » et leurs significations.

**Tableau I.3** : les portes logiques [GUILLERM.R, 2011]

Symbole	Nom	Signification
	porte ET	L'événement de sortie (S) de la porte ET est généré si tous les événements d'entrée ( $E_1, E_2, \dots, E_n$ ) sont réalisés simultanément.
	porte OU	L'événement de sortie (S) de la porte OU est généré si au moins un des événements d'entrée ( $E_1, E_2, \dots, E_n$ ) est réalisé (OU INCLUSIF).

Concernant la représentation des événements, il existe en fait toute une série de représentations possibles, qui ont chacune leur propre signification. Le tableau I.3 en répertorie un certain nombre.

**Tableau I.3** : Les représentations des événements [GUILLERM.R, 2011]

Symbole	Nom	Signification
	Rectangle	Événement (intermédiaire) résultant de la combinaison d'autres événements par l'intermédiaire d'une porte logique
	Losange	Événement qui ne peut être considéré comme élémentaire mais dont les causes ne seront pas développées (temps, moyens limités, etc.)
	Double losange	Événement dont les causes ne sont pas encore développées mais le seront ultérieurement (analyse en cours)
	Cercle	Événement élémentaire qui ne nécessite pas d'être développé plus avant.
	Maison	Événement de base qui se produit normalement pendant le fonctionnement du système.
	Ovale	Événement conditionnel ; utilisé avec certaines portes logiques.

## VI.4 Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités)

[Buzzatto, 1999], [Faucher, 2004], [Landy, 2007], [Faucher, 2009] est une analyse inductive de recherche des effets des pannes des composants sur les sous-systèmes et le système. C'est un procédé systématique pour identifier les modes potentiels de défaillances avant qu'elles ne surviennent, avec l'intention de les éliminer ou de minimiser les risques associés.

**Tableau I.4 :** Exemple de structure d'un tableau d'AMDEC [GUILLERM.R, 2011]

Système	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Criticité/ Classification	Actions Correctives
1	2	3	4	5	6	7

Historiquement, l'AMDEC fut développée dans le secteur aéronautique par l'armée américaine en 1949. Elle fut utilisée pour la première fois dans les années 60 pour des analyses de sécurité des avions et elle prit son essor en Europe au cours des années 70 dans les secteurs automobile, chimique et nucléaire. Initialement, la méthode était appelée AMDE (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets). Aujourd'hui, elle a ajouté l'estimation de la criticité des risques, d'où son nom : AMDEC. [FAUCHER. J, 2009]

Finalement, cette méthode spécifique à la sûreté de fonctionnement des systèmes permet de prioriser les interventions afin de réduire les risques les plus grands, mais aussi de formaliser la documentation. Elle aide à « prévoir » pour ne pas être obligé de « revoir ».

Elle peut être utilisée pour un objet, un procédé de fabrication ou encore un processus de production. On parle alors respectivement d'AMDEC Produit, d'AMDEC Processus ou d'AMDEC Moyen.

Classiquement, les résultats d'une AMDEC sont consignés dans un tableau semblable à celui de Tableau 4.

Réalisée sur un système donné (colonne n°1), l'AMDEC répertorie pour chaque fonction du système (colonne n°2) tous les modes de défaillance (colonne n°3). Puis il s'agit d'identifier les causes possibles de ces modes de défaillance (colonne n°4), sachant que plusieurs causes différentes peuvent être à l'origine d'un même mode de défaillance.

Ensuite, les effets des modes de défaillances doivent être identifiés (colonne n°5). Après, une classification de chaque couple {cause + effet} de tous les modes de défaillance doit être effectuée (colonne n°6). Souvent, il s'agit de choisir une criticité parmi les 5 classes : catastrophique, hasardeux, majeur, mineur ou sans importance. A ce stade, l'analyse proprement dite est en principe finie. Mais une ultime étape est ajoutée. Il s'agit, pour finir, de

définir les actions correctives à mettre en œuvre pour rendre les risques acceptables (colonne n°7).

## VII. LES ENJEUX

La découverte tardive d'une erreur de conception peut induire un risque technique lourd de conséquences, et entraîner des surcoûts et des retards parfois importants pour le projet. L'apparition du risque peut aussi conduire à la mise en cause de la sécurité des personnes et des équipements, à la dégradation de l'environnement, à la perte de fonctions ou tout simplement à la dégradation de l'image de marque.

Il faut donc **identifier** les risques **au plus tôt**, dès les revues d'opportunité, dans le cycle de vie de la conception de système.

## VIII. L'IMPORTANCE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DANS UNE STEP :

Le système station d'épuration est une reconstitution " industrielle " du phénomène d'autoépuration naturelle. Elle en diffère par une plus grande vitesse de réaction due à une forte concentration en micro-organismes. Il est donc stratégique de le maintenir en bon fonctionnement le long de son cycle de vie. L'importance et la complexité de ce système ne peut admettre de pertes en aucun cas les étapes de ces processus de traitement et d'épuration ; il est donc primordiale de rechercher la meilleure :

- fiabilité de ses systèmes,
- disponibilité de ses machines et ses ouvrages et leurs pièces de recharges,
- maintenabilité des outils d'épuration,
- sécurité des personnes et du capital industriel.

Ces valeurs que l'on regroupe sous le concept de SURETE DE FONCTIONNEMENT (être sûr) font appel à la notion de confiance. Elles se quantifient en termes d'objectif, se calculent en termes de probabilité, se réalisent en terme d'architecture et de choix de composants, se vérifient par les tests ou l'expérience.

## IX. CONCLUSION :

Le chapitre 1 nous a donné un aperçu sur les différents termes de la sureté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité...), la relation entre ces grandeurs et les enjeux d'application de cette approche, ainsi une définition de la méthode appliqué à la détermination des risques.

En fonction de ce que nous avons vue dans ce chapitre nous utiliserons ultérieurement dans le chapitre 4 les trois méthodes d'analyse de sureté de fonctionnement : les analyses multi variables des données, Diagramme de Pareto, Arbre de défaillance et l'AMDEC.

## **Chapitre II**

# **L'ANALYSE DES DYSFONCTIONNEMENTS DANS LES STATIONS D'EPURATION A BOUES ACTIVEES**

## **I. INTRODUCTION :**

Les stations d'épuration, notamment celles utilisant le procédé des boues activées, peuvent être sujettes à des défaillances qui limitent la fiabilité des performances épuratoires.

Ces problèmes sont apparus très tôt avec le développement des boues activées mais leur fréquence s'est accrue avec l'introduction des procédés conçus pour l'élimination de l'azote et du phosphore.

## **II. LES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'AFPECTER LE FONCTIONNEMENT D'UNE STEP A BOUES ACTIVEES :**

### **II.1 LA NATURE DE L'EAU USEE ET LE RESEAU :**

Les rejets doivent être contrôlés elles doivent être de nature domestique et non les rejets industrielles qui comportent de graisses, saumure, métaux lourds, toxiques (phénols, cyanures,...).

La septicité des eaux est fréquente sur les réseaux longs à faible pente. Pour éviter des fermentations, il faut assurer une vitesse supérieure à 1m/s.

La concentration en sulfure de l'effluent d'entrée doit être inférieure à 1-2 mg/L. Un curage régulier du réseau est un gage de bon fonctionnement. [DEGREMONT SUEZ, 2005]

### **II.2 LA CONCEPTION DE LA STATION :**

- Bassin d'orage et Bassin tampon : prévoir une restitution rapide, prévoir une agitation pour éviter les dépôts
- Prétraitement : vitesse réaliste dans le dessableur, zone calme en sortie du dégraisseur afin de favoriser la concentration et la reprise des graisses. [DEGREMONT SUEZ, 2005]

#### **II.2.1 La décantation primaire :**

Le surdimensionnement est à éviter afin de limiter le temps de séjour à 2 heures. Les boues doivent être extraites le plus régulièrement possible et à des concentrations inférieures à 10 g/L. Il ne faut pas prévoir d'épaissir les boues primaires dans le décanteur primaire. Un ouvrage spécialisé (ex : épaisseur statique) doit être prévu.

#### **II.2.2 Les bassins biologiques :**

- Zone de contact : à prévoir si un seul bassin biologique (chenal)
- Anoxie, anaérobie : Eviter la conception favorisant l'accumulation de flottants (sortie par déversement), assurer une bonne homogénéisation ainsi qu'un bon brassage.



**Figure II.1:** STEP de Ain El Tolba le 24 /03/2015 problème de colmatage à l'entrée du STEP

- Bassin d'aération : Favoriser les sorties par déversoir afin d'éviter le stockage des flottants. Le poste d'aération doit être correctement dimensionné (compresseur et répartition des aérateurs) afin que les puissances soient suffisantes pour éviter les dépôts et les zones mortes.
- Dégazage : Prévoir un bassin de dégazage avant la clarification notamment lorsque la hauteur liquide du bassin d'aération est supérieure à celle du clarificateur afin d'éliminer les gaz dissous (azote et air) et si la hauteur de chute est supérieure à 50 cm.
- Clarificateur : Il devra être dimensionné en fonction du débit, de la concentration en boues et de la décantabilité des boues. La reprise des boues (raclé ou reprise par tubes suceurs) devra être homogène sur tout le radier. Un taux de recyclage de 150 % devra être prévu afin d'éviter une durée stockage trop longue des boues notamment lors des pointes de débit. [DEGREMONT SUEZ, 2005]

### **II.3 L'EXPLOITATION DE LA STATION**

Indépendamment des problèmes de nature de l'eau et de conception de l'installation, une bonne gestion de la station est impérative pour l'obtention des normes. Pour éviter une dérive des différents paramètres il faudra adapter les consignes d'exploitation [DEGREMONT SUEZ, 2005] à :

- la charge entrée biologique
- aux caractéristiques de l'eau entrée
- à la température (âge des boues minimum pour la nitrification)

- fournir correctement l'oxygène
- assurer le brassage (supprimer les dépôts)
- extraire régulièrement les boues en excès (maintenir un âge de boue aéré proche de l'âge minimal)
- ne pas stocker de flottants, principalement dans les zones non aérées.
- recirculer correctement les boues du clarificateur (limiter le temps de séjour des boues à 2 h).
- Fiabiliser l'évacuation des boues afin d'extraire régulièrement les boues
- Pas de retours en tête provenant de la digestion, bon fonctionnement de la digestion avec faible concentration en AGV (acides gras volatils)
- Proscrire les retours chargés et en fermentation anaérobie (épaississements, déshydratation,...).

### **II.3.1 Les dysfonctionnements**

Les principaux dysfonctionnements liés aux organismes filamenteux sur une station se manifestent sous deux formes :

- le foisonnement filamenteux
- le moussage

Les causes sont bien souvent multiples et le choix des solutions nécessite une analyse globale (voir paragraphes précédents).

#### **A) le foisonnement filamenteux :**

On entend par foisonnement filamenteux, appelé « bulking sludge » dans le langage anglo-saxon, la présence dans un floc (ou entre) d'organismes filamenteux qui perturbent les propriétés de décantation de la boue (indice de boue élevé et supérieur à 200 ml/g) et donc compromettent la qualité de l'eau épurée. Les nuisances provoquées par les filaments sont proportionnelles à leur densité et surtout à leur longueur. Elles dépendent également des espèces filamenteuses présentes, certaines étant plus pernicieuses que d'autres.

Compte tenu de la diversité des filaments et des conditions qui peuvent favoriser ce problème, l'approche pratique en cas d'apparition de foisonnement filamenteux consiste à :

- Evaluer l'ampleur de la colonisation par les micro-organismes filamenteux.
- Identifier les espèces filamenteuses impliquées (examen microscopique).
- Déterminer les remèdes appropriés [DEGREMONT SUEZ, 2005]:

➤ A court terme, traiter les symptômes : modifier le taux de recirculation de la boue, ajouter des aides à la décantation, effectuer une chloration de la boue (pour plus de détail sur les méthodes permettant les actions à mettre en œuvre, (voir biomasse épuratrice des eaux résiduaires).

➤ A long terme, traiter les causes : vérifier la septicité de l'influent, l'apport de nutriments, l'absence de dépôts, modifier la charge massique, le taux d'aération....

Une méthode de lutte fréquemment utilisée est la chloration de la boue activée, dont le principe consiste à détruire les filaments à la surface du floc sans affecter les bactéries floculantes.

L'efficacité du traitement nécessite de respecter de strictes conditions d'application :

- dosage approprié, de 3 à 8 kg Cl<sub>2</sub> par tonne de MES présente dans le système et par jour
- point d'injection (le recyclage), excellent mélange, boue concentrée, pas de compétition avec DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub>,...
- taux de renouvellement adapté, minimum 2 fois par jour
- durée suffisante (de 2 jours à 1 semaine selon les doses injectées)
- suivi fréquent de la qualité de l'eau traitée.

D'autres oxydants, tels qu'ozone ou peroxyde d'hydrogène, peuvent également être utilisés. [DEGREMONT SUEZ, 2005]

### **B) Le moussage**

Le moussage des boues activées est un phénomène qui se traduit par la formation à la surface du bassin d'aération d'une mousse soit de couleur blanchâtre soit de couleur brune (mousse au chocolat).

On distingue 4 types de mousses :

- Les mousses de démarrage (mousses légères et blanchâtres qui disparaissent après quelques jours)
- Les mousses de tension actifs (détergents, apports industriels, matières organiques colloïdales (sang), hydrocarbures,...). S'il s'agit d'apports ponctuels, le phénomène est limité dans le temps. S'il perdure, il peut provoquer à terme l'apparition de mousses biologiques stables.
- Les matières flottantes instables (origine : dégraissage, dégazage, dénitrification, fermentation anaérobie). Elles se caractérisent par l'absence d'organismes filamenteux. Un

simple arrosage suffit à les rabattre. Il est impératif d'évacuer ces flottants pour éviter l'apparition de forme stable.

### **C) Les mousses biologiques**

Ces mousses forment des amas de flottants stables de couleur marron clair à marron foncé qui recouvre progressivement la surface des bassins biologiques et peuvent être transférés vers le clarificateur puis évacués avec l'effluent.

Les deux principaux organismes filamenteux responsable de ce moussage et identifiable par examen microscopique sont *Nocardia* spp et *Microthrix parvicella* comme le montre la figure II.2. Ces organismes à croissance lente sont couramment associés à la présence de septicité, dépôt, hétérogénéité, graisse à une température relativement élevée (supérieure à 18 °C) et à des âges de boues importants (supérieurs à 5 jours).

Cependant, l'accumulation sélective de *Nocardia* spp dans la mousse piégée en surface conduit à une augmentation du temps de rétention de cet organisme et ,à favoriser sa prolifération même dans des systèmes à âge de boue plus court.

En raison de sa stabilité, cette mousse est très difficile à éliminer par des moyens chimiques, même si l'aspersion de la boue par de l'eau chlorée peut, à court terme, constituer une méthode intéressante. [Actes du colloque Lyon, 1994]

Les moyens de lutte les plus efficaces doivent s'orienter vers la suppression des conditions qui favorisent la croissance de ces filaments à savoir :

- suppression de la septicité Acides Gazes Volatiles ( AGV ), dépôts, hétérogénéité, graisse,...
- réduire au maximum possible l'âge des boues
- construction de bassin sans possibilité d'accumuler les flottants : éviter les parois immergés qui piègent l'écume, construire des puits de dégazage qui permettent d'éliminer les flottants.
- évacuation des flottants hors des réacteurs biologiques pour éviter leur recyclage et le réensemencement permanent.

### **D) Remontée de boues**

Un problème parfois rencontré avec des boues à bonne décantabilité est la remontée ou la flottation de floccs à la surface du clarificateur.

Les deux causes les plus fréquentes sont le dégazage et la dénitrification. Les problèmes sont accentués par la présence de filaments.

CHAPITRE 2 : L'ANALYSE DES DYSFONCTIONNEMENTS DANS LES STATIONS D'ÉPURATION  
À BOUES ACTIVÉES

Dans les deux cas la production d'azote (dégazage de la liqueur en sursaturation et/ou transformation des nitrates en azote gazeux) se traduit par la formation de micro bulles qui se fixent sur les floes et peuvent entraîner une flottation.

Pour remédier à ces problèmes prendre les dispositions suivantes :

- Prévoir systématiquement un dégazeur avant le clarificateur et limiter la chute à 50 cm (dégazeur–clarificateur)
- Concevoir la clarification avec la possibilité de recycler à un taux de 150 %
- Aux fortes températures, éviter de fonctionner avec des âges de boues trop élevés et/ou des concentrations en boues élevées.
- Prévoir d'optimiser la dénitrification. [Actes du colloque Lyon, 1994]



**Figure II.2** : Dysfonctionnements biologiques : voile de boues élevé dans un clarificateur dû à la prolifération de *Microthrix parvicella* (à gauche) et mousses stables en surface d'un bassin d'aération dues à la prolifération de *Mycolata* (à droite) [source : [www.cairn.info](http://www.cairn.info)]

### III. CONCLUSION :

Nous avons vu dans ce chapitre les principaux dysfonctionnements connus au niveau des stations d'épuration de type boues activées et nous avons conclu que les défaillances les plus répandues sont des défaillances de nature biologique n'empêche que d'autres problèmes de nature physico-chimiques peuvent être nuisibles et influent le fonctionnement de système d'épuration.

Ce chapitre nous aidera à comprendre la nature des dysfonctionnements issus des résultats pratique dans le chapitre 4 pour mieux chercher les causes.

## **Chapitre III**

# **DESCRIPTION ET MODELISATION DE LA STATION D'EPURATION D'AINE EL HOUTZ -TLEMCEN**

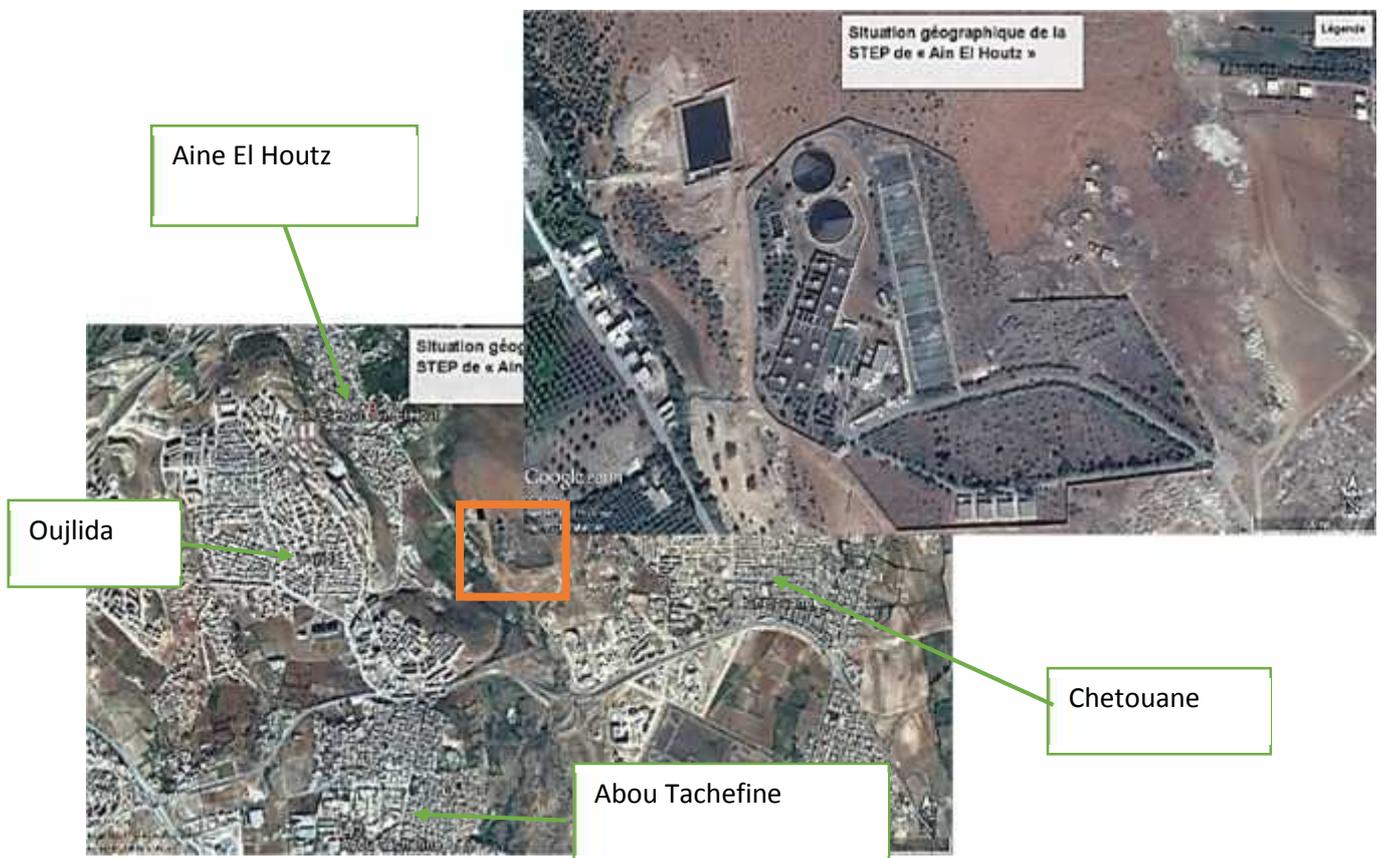
## I. INTRODUCTION :

La station d'épuration de la ville de Tlemcen conçue pour une population de 150 000 eq/hab d'une capacité de 30 000 m<sup>3</sup>/j.

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type Boues activées à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau [ONA , 2015]

## II. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA STATION :

La station d'épuration de Tlemcen est située à 12 km au nord du chef-lieu « Tlemcen Ville», à l'ouest de Chetouane « Daïra » sur la Route de AIN EL HOUTZ, Elle s'étend sur une superficie de 17 hectares. Voici la figure III.1 qui représente une vision satellitaire de la station capté par Google earth et la figure III.2 qui représente une vision panoramique de la station :



**Figure III.1 :** Photos satellitaires de la STEP de Ain El Houtz-Tlemcen  
Source : Google Earth le12/06/2017

## III. LA DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA STATION :

La station d'épuration de la ville de Tlemcen est de type Boues activées à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux

processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau. [ONA , 2015]



**Figure III.2 :** Photo Panoramique de la STEP de Ain El Houtz-Tlemcen

### III.1 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS :

La station comprend :

#### III.1.1 Pour la partie Eaux Usées :

La filière eau représente les différentes étapes de traitement des eaux usées depuis leur entrée à STEP jusqu'à leur sortie. On distingue : le prétraitement, le traitement biologique, les traitements de finition.

##### ➤ A l'entrée de la STEP :

On trouve le déversoir d'orage : Il est dimensionné pour prendre en charge un maximum de 3300 m<sup>3</sup>/h. la figure III.3 montre une photo de déversoir d'orage de la STEP.



**Figure.III .3:** Photo Déversoir d'orage

➤ **Prétraitement :**

Afin de protéger les équipements mécaniques, la plupart des stations d'épuration sont équipés avec des prétraitements physiques. On distingue deux phases : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

▪ **Dérailleurs**

Le dégrillage constitue la première étape de traitement des eaux usées, qui permet d'éliminer toutes sortes de composés secondaires de grande taille susceptible de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation.

- Grille grossière manuelle (1unité) comme le montre la figure III.4 ;
  - Largeur de la grille : 1,8 m
  - Inclinaison : 70%
  - Écartement entre les barreaux : 50 mm Dessableur – déshuileur



**Figure III.4 :** Grille grossière manuelle (1unité)

- Grille mécanisée (2 unités) montré dans le figure III.5 ;
  - Largeur de la grille : 1,0 m
  - Profondeur du chenal : 1,5 m
  - Écartement entre les barreaux : 20 mm
  - Puissance du moteur : 0,37 kw



**Figure III.5 :** Grille mécanisée (2 unités)

Les déchets collectés par le racleur au niveau du dérailleur fin et grossier sont acheminés vers un vise qui en bougeant, déverse ces déchets dans une benne pour être ensuite transférés vers la décharge.

▪ **Déssableur- déshuileur (2 unités)**

Sous forme trapézoïdale, le dessableur déshuileur est équipé d'un pont suceur et écumeur et a pour dimensions :

- Longueur : 26 m
- Largeur : 4 m



**Photo III.6** : Déssableur- déshuileur

C'est la phase qui permet d'extraire des eaux usées tout ce qui est sable ou gravier, qui sont des composés à base de silice pouvant provoquer l'érosion des pompes, des tuyaux et des vannes, et aussi de perturber les stades de traitement en aval, d'où la nécessité d'une sédimentation gravitaire de ces grains.

Le déshuilage s'effectue au même temps que le dessablage, ces deux opérations se combinent dans un dessableur aéré. Il permet l'extraction des huiles et des graisses qui sont difficilement biodégradables. A cause de leur densité inférieure à celle de l'eau, ces huiles et graisses seront flottés à la surface des eaux.

Le principe consiste à aérer les eaux usées afin que les bulles d'air coagulent avec les particules de l'huile et de la graisse pour les faire flotter à la surface, d'où vient le rôle du racleur qui permet de pousser la graisse vers les trémies où elle sera aspirée par une pompe qui la déverse à son tour dans la bache à graisse.

Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations. Leur élimination est essentielle également pour limiter les problèmes de rejets de particules graisseuses, les difficultés de décantation ou les perturbations des échanges gazeux.

Une fois le prétraitement est achevé, les eaux prennent chemin vers le traitement biologique.

➤ **Traitement biologique**

- **Bassins d'aération :**

Il y a quatre bassins comme on peut les voir dans la figure III.7, Chaque bassin a les dimensions suivantes ;

- Volume : 4723 m<sup>3</sup>
- Forme rectangulaire de
- Longueur : 55,5 m
- Largeur : 18,5 m
- Profondeur d'eau : 4,6 m
- Hauteur béton : 5,6 m



Figure III.7 : Bassins d'aérations

▪ **Clarificateur :**

Le clarificateur schématisé dans la figure III.8 est un ouvrage, placé en sortie du bassin d'aération, qui présente trois fonctions :

- Une première fonction consistant en la séparation de la boue et de l'eau épurée,
- Une seconde d'épaississement en permettant par la suite une recirculation de boues concentrées vers la zone anoxie.
- Enfin un stockage temporaire des boues.

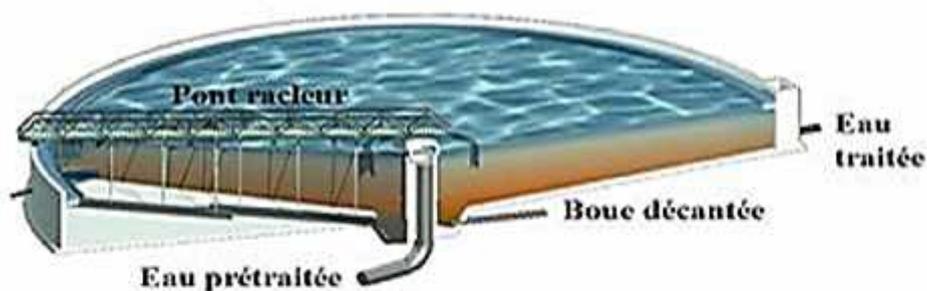


Figure III.8 : Schéma d'un clarificateur [DEGREMONT.S, 2005]

Les deux clarificateurs de la station dans la figure III.9 sont équipé pour chacun de :

- Pont racleur à vitesse de rotation 0,04m/s
- Sont de forme circulaire
- Diamètre : 46m
- Surface : 1661m<sup>2</sup>
- Profondeur d'eau : 4m en périphérie



**Figure III.9** : Clarificateurs

▪ **Bassin de chloration :**

Il est en béton armé (figure III.10) et d'un volume de l'ordre de 700 m<sup>3</sup>



**Figure III.10** : Bassins de chloration

➤ **Pour la partie Boues**

- Un poste de relevage des boues avec 3 vis d'Archimède ( figure III.11).



**Figure III.11** : Vis relevage des boues

- Épaississeur à boue (figure III.12): Il est en béton armé et à un pont support de la tête tournante avec moteur et réducteur
  - Diamètre : 14m
  - Hauteur utile : 04m
  - Pente de fond : 1/10



**Figure III.12** : Epaississeur

- Lits de séchage (figure III.13): Quatorze lits de séchage Chaque lit a les dimensions suivantes :
  - Nombre : 14
  - Longueur : 30 m
  - Largeur : 15 m



**Figure III.13** : Lits de séchage +Aire de stockage

❖ Aire de stockage des boues séchées [BOUKHERISSI.M,2015]

- Bâtiments
  - Un bâtiment d'exploitation
  - Un bâtiment de chloration

**DONNEES DE BASE** [ONA ,2015]

La station d'épuration de la ville de Tlemcen a été dimensionnée sur la base des données montrées dans le tableau III.1 :

**Tableau III.1** : Base de données de dimensionnement de la STEP de Ain El Houtz

horizon	2005
type de réseau	unitaire
nature des eaux brutes	domestiques
population	150 000 EQ/HAB
débit journalier	30 000 m <sup>3</sup> /j
débit de pointe horaire admis au traitement	3 800 m <sup>3</sup> /h
DBO <sub>5</sub> journalière	9 300 kg/j
matière en suspension	13 950 kg/j
azote à nitrifier	1 980 kg
l'équivalence calculée sur la DBO	172 000 EQ/HAB

**CARACTERISTIQUES APRES TRAITEMENT PREVUES PAR L'ETUDE:**  
[ONA ,2015]

Les caractéristiques du rejet qui devraient être garanties par l'étude du processus sur une durée moyenne de 24 heures et cités dans le tableau III.2:

**Tableau III.2** : Normes du rejet garanti par la STEP de Ain El Houtz

paramètre	norme
matière en suspension	30 mg/l
matières sédimentables	0.5 CC/l
DBO	20 mg/l
DBO point max, en moyenne sur 2 heures	30 mg/l
DCO	120 mg/l
azotes (N-NH <sub>4</sub> )	3 – 5 mg/l
azotes (N-NO <sub>3</sub> )	8 – 10 mg/l
huiles et graisses végétales	20 mg/l
coliformes totaux	20 000 / 100 ml
coliformes fécaux	12 000 / 100 ml
streptocoques fécaux	2 000 / 100 ml

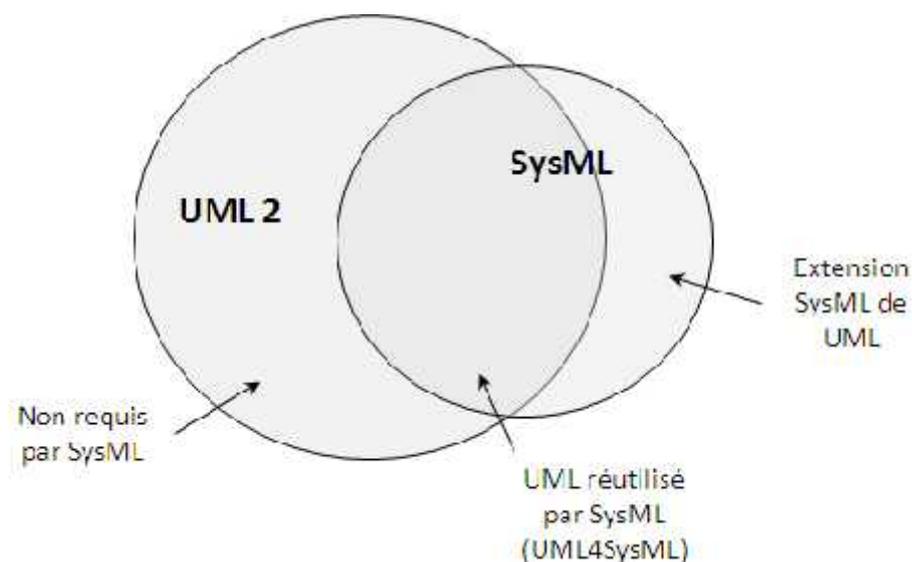
#### IV. MODELISATION SYSML DE LA STEP DE AIN EL HOUTZ :

La section qui suit présente la modélisation SysML de la STEP de Ain El Houtz, en s'intéressant plus particulièrement à sa fonction.

##### IV.1 Présentation du langage Sysml :

Le langage SysML (Systems Modeling Language - SysML en abrégé - est un langage de modélisation spécifique au domaine de l'ingénierie système. Il permet la spécification, l'analyse, la conception, la vérification et la validation de nombreux systèmes et systèmes-de-systèmes) est l'outil retenu par tous les techniciens de façon à pouvoir communiquer ensemble sur ces problématiques. Chacun des diagrammes proposés par ce langage répond aux (ou à des) activités décrites dans les processus de l'Ingénierie Système.

SysML est une adaptation d'UML 2 pour l'ingénierie système. Plus précisément, SysML réutilise une partie d'UML, appelée UML4SysML (interpréter « *UML for SysML* »), à laquelle est ajoutée une extension (voir Figure III.14) [Romaric.G, 2011]



**Figure III.14:** Construction de SysML à partir d'UML 2 [Romaric.G, 2011]

## IV.2 Présentation de l'outil Magicdraw :

Le langage Sysml pour être pertinent, doit être utilisé grâce à un logiciel, qui permettra de conserver tous les liens entre les différents diagrammes qui ont vocation à évoluer en permanence avec l'état d'avancement de l'analyse du système. : Le logiciel Magic Draw est à ce jour le plus utilisé par les entreprises, et les enseignants. [Romaric.G,2011]

La solution SysML est emballée en tant que plugin vers l'outil MagicDraw. Pour ce travail on a utilisé MagicDraw 18.5 version d'évaluation démo avec une licence flottante (voir figure III.16).

## IV.3 Model Sysml du système STEP Aine El Houtz Tlemcen

Nous rappelons que nous souhaitons modéliser la STEP afin de partager les données d'ingénierie sur une base commune lors de l'ingénierie du système, ceci entre les différents participants à la conception (particulièrement entre les ingénieurs système et les ingénieurs de sûreté de fonctionnement pour ce qui concerne notre problématique). Nous verrons que l'essentiel de la modélisation présenté ici s'attache à la définition des exigences et à l'analyse structurelle et fonctionnelle de la STEP par diagrammes.

### IV.3.1 Diagramme des exigences :

En anglais : requirement diagram

Notation SysML: req

C'est un diagramme fonctionnel. Il décrit les exigences du cahier des charges fonctionnel (voire figure III.17). Une exigence exprime une capacité ou une contrainte à satisfaire par un système. Elle peut exprimer une fonction que devra réaliser le système ou une condition de performance technique, physique, de sécurité, de fiabilité, d'ergonomie, d'esthétisme...

### IV.3.2 Diagramme des cas d'utilisation :

En anglais : use case diagram

Notation SysML: uc

C'est un diagramme fonctionnel. Il montre les interactions fonctionnelles des acteurs et du système d'étude (voire figure III.18). Il délimite précisément le système, décrit ce que fera le système sans spécifier comment (et non ce que fera l'utilisateur). Il exprime les services (use cases) offert par le système aux utilisateurs (actors).

### IV.3.3 Diagramme de définition de blocs :

En anglais : block definition diagram

Notation SysML: bdd

C'est un diagramme statique. Il montre les briques statiques : blocs, composition, associations... Il est utilisé pour décrire l'architecture matérielle du système. Un bloc est une entité bien délimitée qui encapsule principalement des attributs (variables d'état), des opérations (procédures comportementales), des contraintes, des ports (échange de flux avec

l'extérieur) et des parts (sous-blocs internes). Un bloc peut modéliser tout le système, un élément matériel ou logiciel (voire figure III.19).

#### IV.3.4 Le Profile SafeML :

SafeML est un profil pour le langage de modélisation SysML mettant l'accent sur les informations pertinentes à la sécurité d'un système.

SafeML est une langue de modélisation pour effectuer des analyses automatiques liées à la sécurité, telles que l'analyse d'arbre de défauts ou HAZOP. Plutôt, SafeML est destiné à représenter les résultats de tels analyse dans le modèle du système, fournissant un seul point de documentation pour la conception du système information et informations sur la sécurité du système (voir la figure III.20). Ce faisant, SafeML améliore la cohérence et la traçabilité des informations sur un système lié à la sécurité. SafeML peut être utilisé pour :

1. traçage des dangers à travers les mesures de sécurité utilisées pour les étapes de vérification prises pour tester ces mesures.
2. documenter les risques analysés et leurs mesures de sécurité auprès des autorités de certification.
3. communiquer des ingénieurs de sécurité aux ingénieurs du système les dangers qui doivent être considérés tout en concevant pour répondre aux exigences, tel qu'identifié par l'analyse des risques et de la sécurité processus.
4. communiquer des ingénieurs du système aux ingénieurs de sécurité les dangers que le système est conçu pour gérer, y compris les mesures de sécurité utilisées.

En tant que profil SysML, SafeML est conçu pour être utilisé conjointement avec SysML. SysML fournit

les diagrammes et les types d'éléments nécessaires à la modélisation de conception, tandis que SafeML fournit l'élément types utilisés pour ajouter des informations de sécurité au modèle. La relation entre SafeML et SysML est illustré à la figure III.15. [N.I.A.I.S.T, 2014]

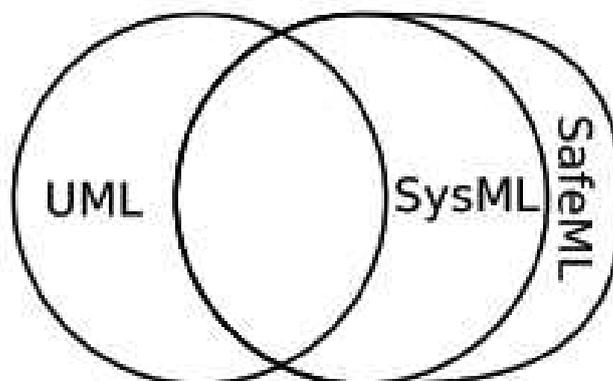


Figure III.15 : La relation entre UML, SysML et SafeML



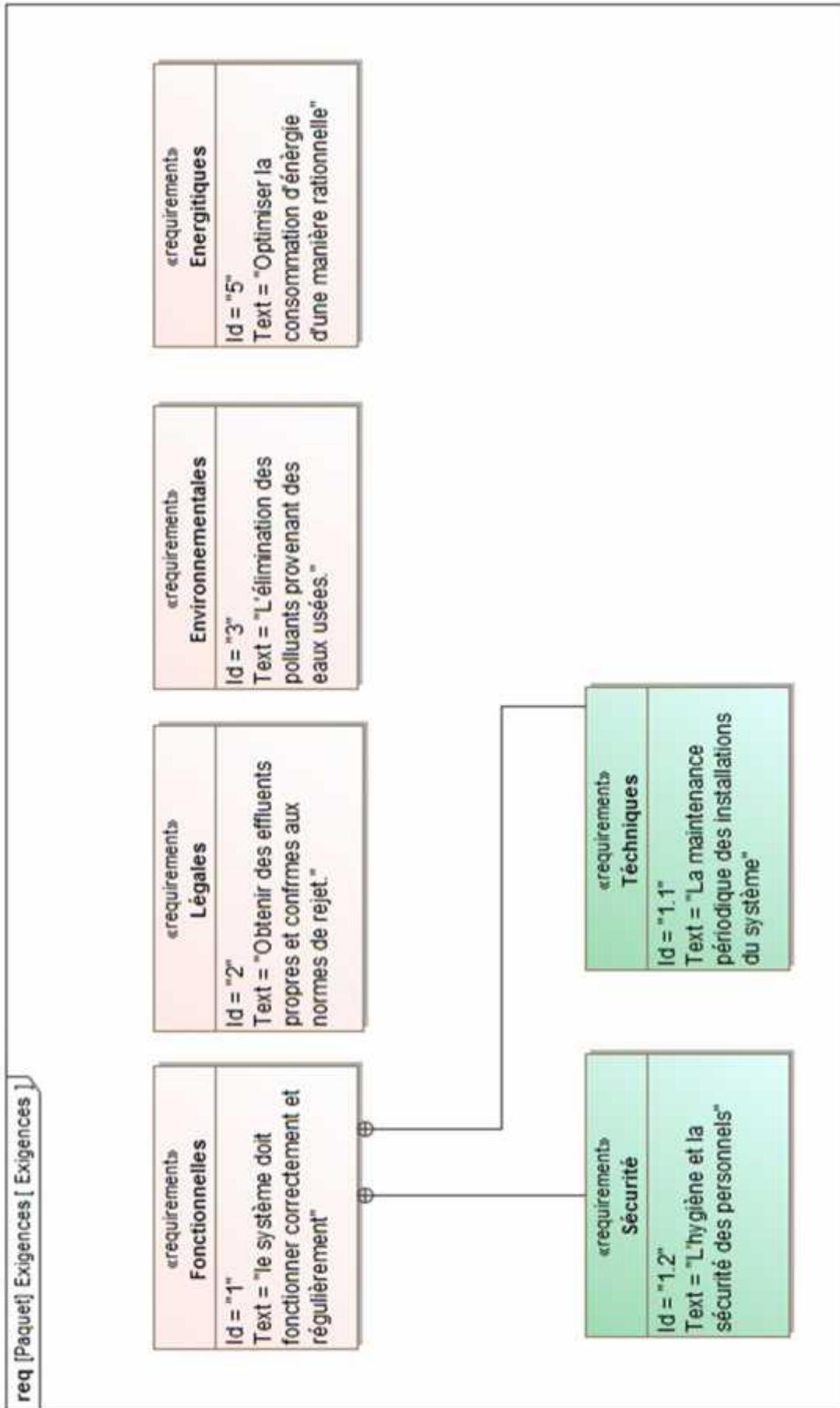


Figure III.17: Diagramme des exigences du système STEP de Ain El Houtz Tlemcen

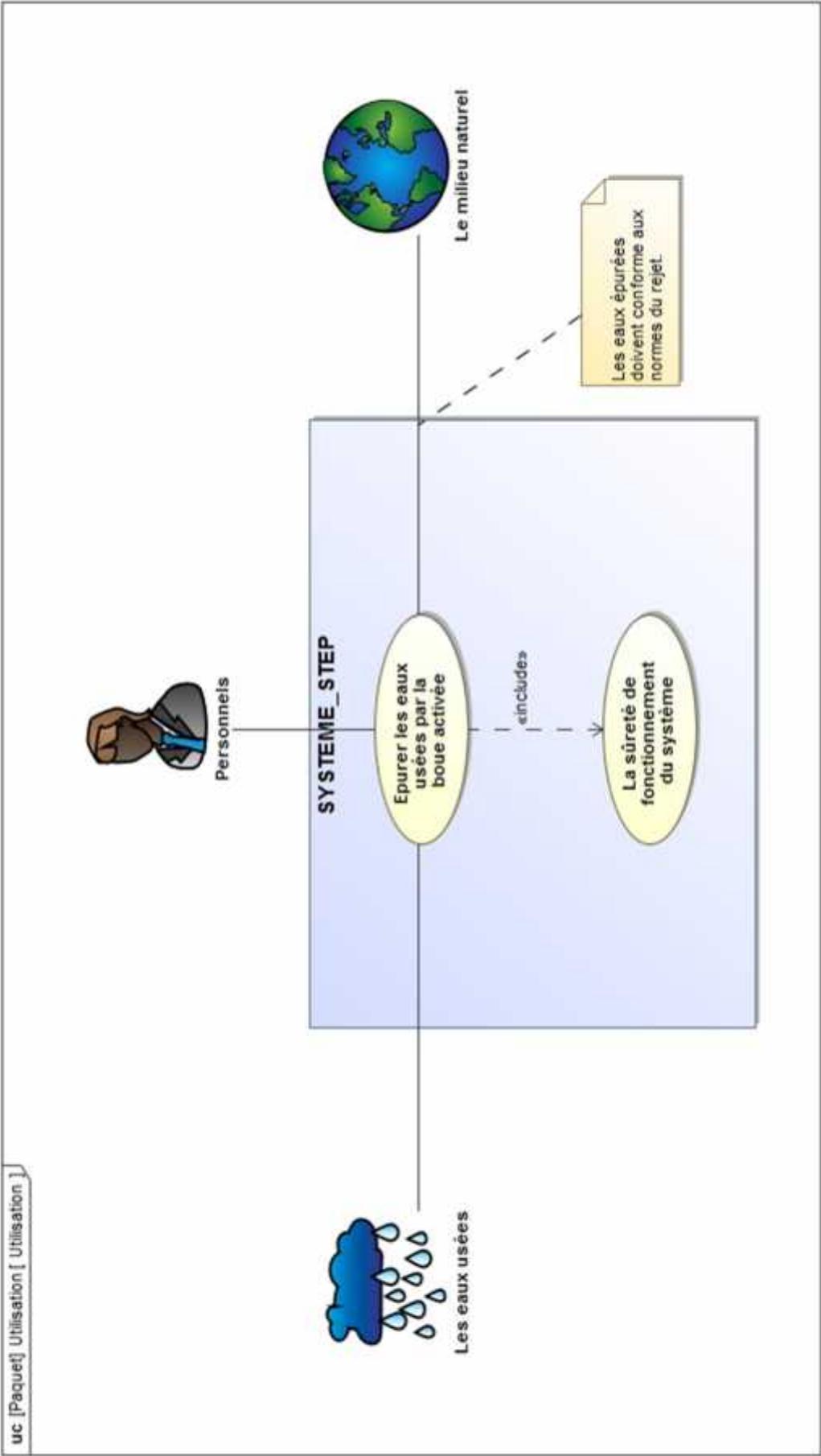


Figure III.18 : Diagramme des cas d'utilisation du système STEP de Ain El Houtz Tlemccen

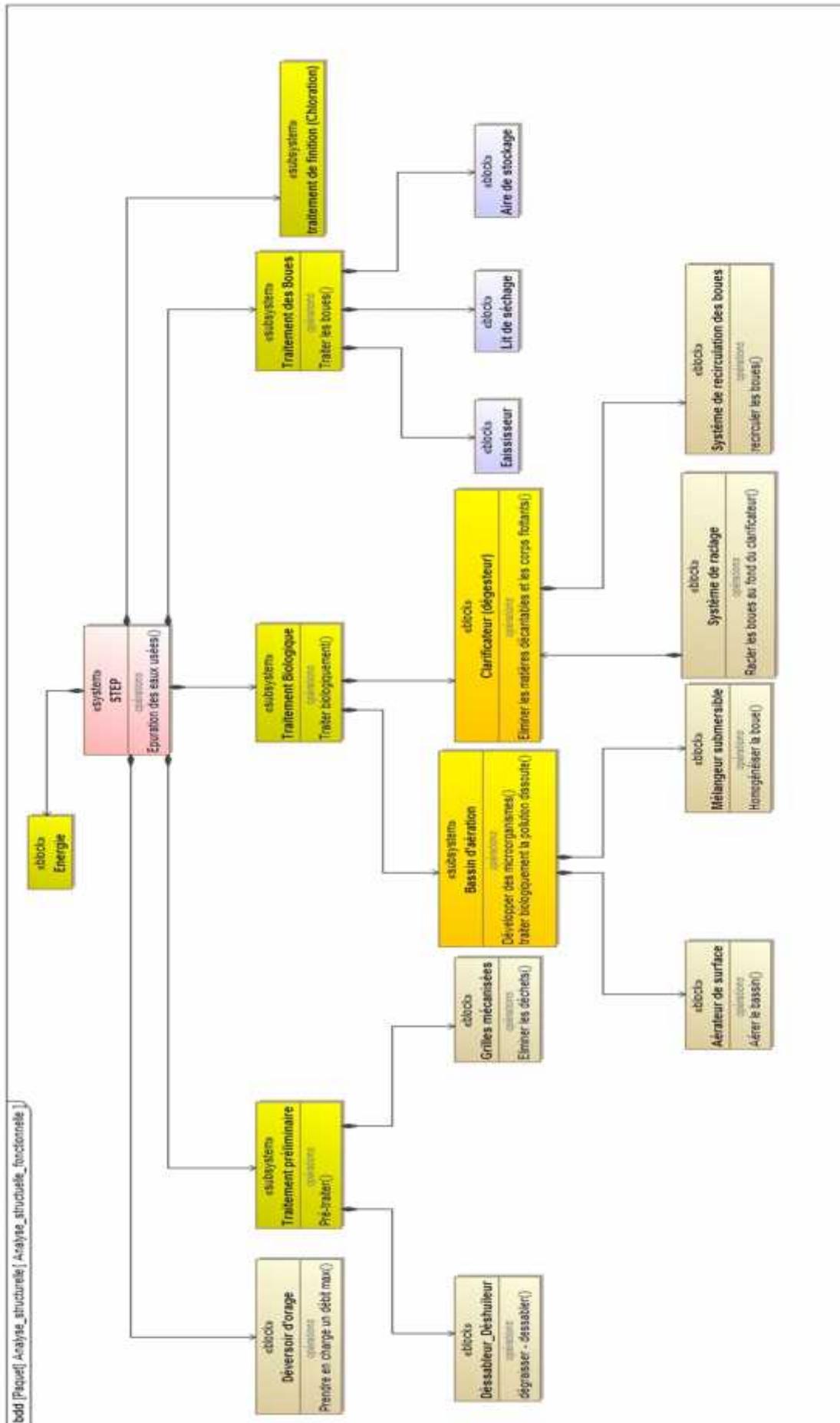


Figure III.19: Diagramme de définition de blocs du système STEP de Ain El Houtz Tlemcen



## **V. CONCLUSION :**

La station d'Ain El Houtz dispose de nombreuses unités fonctionnelles complexes et l'application du programme de sûreté de fonction nécessite une intervention des outils informatique pour faciliter la lecture des données de la STEP et le suivie instantané de l'évolution et la performance du programme. La modélisation de la station sous le langage Sysml éditer par l'outils MagicDraw permettra de conserver tous les liens entre les différents diagrammes qui ont vocation à évoluer en permanence avec l'état d'avancement de l'analyse du système.

Ce chapitre nous a permis de donner une vision globale sur les différentes composantes de notre système à étudier cela nous aidera par la suite de connaitre dans quel niveau du système il s'agit une telle défaillance.

## **Chapitre IV**

# **L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION D'AINE EL HOUTZ - TLEMCEN**

## I. INTRODUCTION :

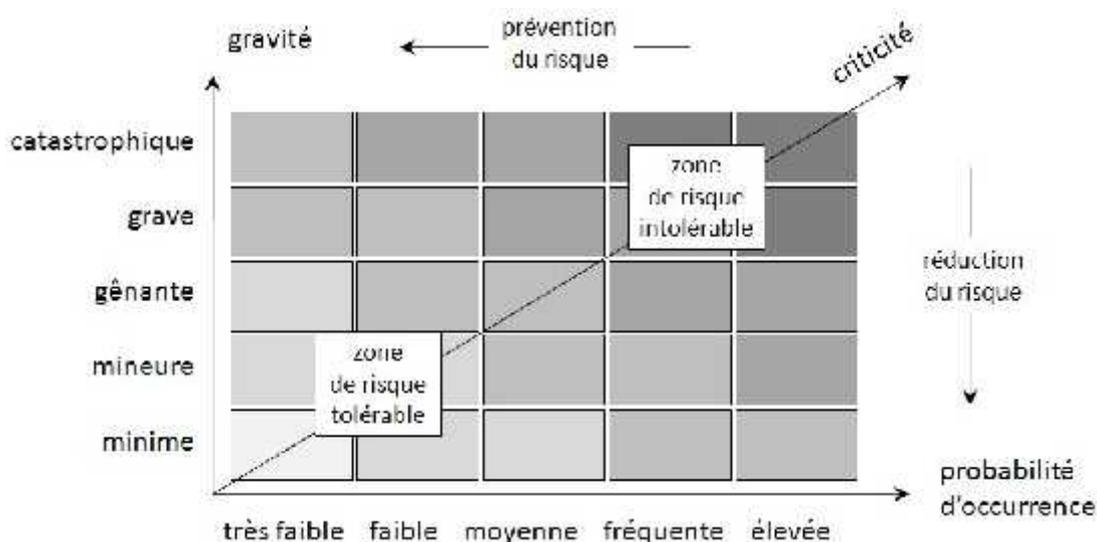
La maîtrise de la STEP d'Ain El Houtz est souvent difficile en raison des perturbations qui peuvent s'y produire et qui sont difficile à caractériser et à prévoir. La moindre défaillance est néfaste dans un environnement où le rendement est primordial. Il est donc nécessaire de s'assurer en permanence du bon fonctionnement de la STEP vis-à-vis des objectifs qui lui ont été assignés.

Dans ce travail on va essayer de déterminer et interpréter les principales défaillances connues dans la STEP durant la période de 02/11/2011 jusqu'à 25/02/2016 on basant sur les méthodes des analyses statistiques multi variables appliquées sur une base de données des analyses de prélèvements de l'eau à la sortie de la STEP.

## II. PRINCIPE DE LA METHODE :

L'analyse a été effectuée sur une base de données des résultats d'analyse journalière d'eau de la sortie de la STEP pour les paramètres suivants : MES (mg/l), DBO5 (mg/l), NH4+ (mg/l), N-NO3- (mg/l), O2 Diss (mg/l) et la turbidité (NTU). La base de données contient 186 individus avec des valeurs discrètes et sans données manquantes.

Le principe de la méthode est de mettre en place une analyse statistique multi variables sur la base de données afin de déterminer les points où les valeurs des paramètres ne sont pas en conformité avec les normes puis discuter ses résultats pour déterminer les principales défaillances et leurs causes et leur degré de criticité en basant sur leur nombre d'occurrence et leurs effets (voir figure IV.1).



**Figure IV.1** : Matrice de criticité [Romaric.G,2011]

## III. ETAPE 1 : CREATION ET PREPARATION DE LA BASE DE DONNEES :

### III.1 Création de la base de données :

La base de données a été créée depuis les bulletins d'analyses journaliers de l'eau à la sortie de la STEP de Ain El Houtz, elle comporte 142 points classés par date, pour chaque point

on a les valeurs des paramètres suivants : MES (mg/l), DBO5 (mg/l), NH4+ (mg/l), N-NO3- (mg/l), O2 Diss (mg/l) et la turbidité (FUT) (voir la figure IV.2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Date	MES (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	NH4+ (mg/l)	N-NO2- (mg/l)	N-NO3- (mg/l)	O2 Diss (mg/l)	Turb (FUT)	CON (µS/cm)
2	02/11/2011	23	3,7	25	0,32	0,018	0,044	4,08	23	1183
3	03/11/2011	24	14,7	61	8,38	0,025	0,17	4,98	25	1050
4	14/11/2011	20	22,4	20	0,96	0,112	0,02	4,75	25	889
5	21/11/2011	16	18,5	35	9,99	0,056	0,16	5,13	24	1135
6	05/12/2011	16	3,5	31	3,37	0,252	0,44	4,67	20	1103
7	12/12/2011	3	9,2	15	1,51	0,08	0,123	4,75	22	1072
8	13/12/2011	32,3	5	25	9,03	0,105	0,42	4,82	35	1089
9	02/01/2012	12	20,3	23	5,8	0,236	0,44	4,26	15	955

**Figure IV.2** :Extrait de la base des données créées

### III.2 Préparation de la base de données :

On a préparé la base de données en ajoutant une colonne de la norme et une colonne pour calculer le dépassement en pourcentage pour chaque paramètre comme il indique l'extrait de tableau dans la figure IV.3 .

	A	B	C	D	E
1	Date	MES (mg/l)	normes	dépassement %	défaillance
15	20/02/2012	18	30	-40%	0
16	05/03/2012	49	30	63%	4
17	13/03/2012	38	30	27%	3
18	19/03/2012	32	30	7%	1
19	27/03/2012	28	30	-7%	0

**Figure IV.3** : Extrait de la base des données préparée

Le dépassement a été calculé par la formule IV.1 suivante :

$$li\ dép = \frac{li\ v - m}{li\ n} \times 100 \quad (IV.1)$$

La quatrième colonne indique le degré de dépassement selon le tableau IV.1

Dépassement en %	Degré de dépassement	Type de défaillance
0-10	1	Défaillance mineure
10-25	2	Défaillance majeure
25-50	3	Défaillance critique
>50	4	Défaillance catastrophique

**Tableau IV.1** : les types de défaillances selon les degrés de dépassement des valeurs par rapport aux normes

**Défaillance mineure** : elle ne réduit pas l'aptitude de la station à accomplir sa fonction

**Défaillance majeure** : elle risque de réduire l'aptitude de la station à accomplir sa fonction.

**Défaillance critique** : elle empêche l'accomplissement de la mission et fait encourir des risques de blessures à des personnes ou des dégâts très importants au bien.

**Défaillance catastrophique** : défaillance à la fois soudaine et complète elle entraîne une disparition complète de la fonction requise.

## **ETAPE 2 : ANALYSE QUANTITATIVE DES DEFAILLANCES**

Cette analyse nous permet de suivre l'évaluation de dépassement par rapport à la norme fixé au tableau III.2

### **III.3 Analyse sur les valeurs de Matières en suspension MES :**

La pollution d'une eau peut être associée à la présence d'objets flottants, de matières grossières et de particules en suspension.

En fonction de la taille de ces particules, on distingue généralement :

- Les matières grossières (décantables ou flottables),
- Les matières en suspension (de nature organique ou minérale) qui sont des matières insolubles, fines.

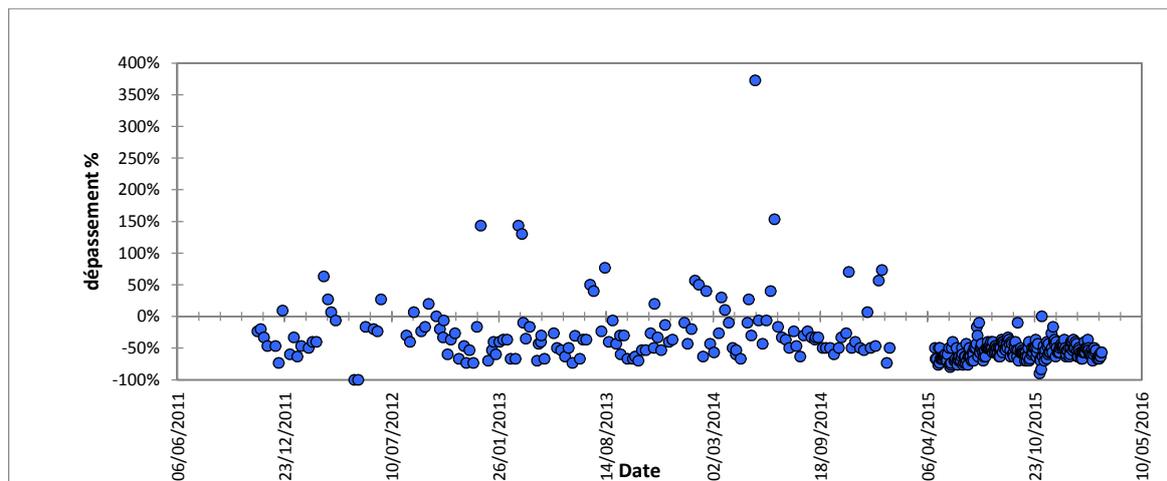
Cette pollution particulière est à l'origine de nombreux problèmes comme ceux liés au dépôt de matières, à leur capacité d'adsorption physico-chimique ou aux phénomènes de détérioration du matériel (bouchage, abrasion).

Adsorption : fixation d'une substance à la surface d'une particule par des liaisons faibles.

Leur principal effet est de troubler l'eau, diminuant ainsi le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau : c'est la turbidité [[www.entreprises.cci-paris-idf.fr](http://www.entreprises.cci-paris-idf.fr)].

La variation de dépassement calculé pour les MES par rapport à la norme a donné les résultats suivants :

	Degré de la défaillance	Nombre d'occurrence de la défaillance
Défaillance 1	1	3
Défaillance 2	2	2
Défaillance 3	3	7
Défaillance 4	4	12



**Figure IV.4 :** L'évaluation du dépassement des MES par rapport à la norme

### III.4 Analyse sur les valeurs de la demande biochimique en oxygène DBO5 :

La DBO5 correspond à l'oxygène qui a été utilisé par des bactéries pour détruire ou dégrader les matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Cette mesure traduit donc indirectement la fraction biodégradable dans l'eau et représente assez fidèlement le processus de dégradation naturel.

Les transformations des matières organiques s'effectuent en deux stades :

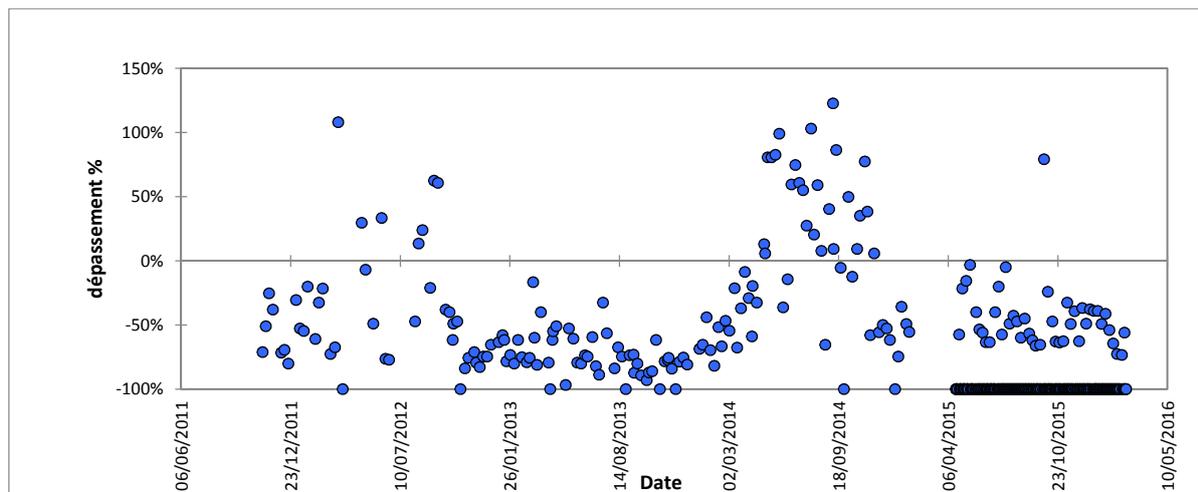
Le 1er stade, se rapportant aux composés carbonés, débute immédiatement et s'achève au bout de 20 jours environ,

Le 2ème stade, se rapportant aux composés azotés, ne commence qu'au bout d'une dizaine de jours et s'étend sur une période très longue.

Il est convenu d'évaluer la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours à 20°C désignée par le sigle DBO5. Le résultat est exprimé en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours. [www.entreprises.cci-paris-idf.fr]

La variation de dépassement calculé pour le DBO5 par rapport à la norme a donné les résultats suivants :

	Degré de la défaillance	Nombre d'occurrence de la défaillance
Défaillance 5	1	5
Défaillance 6	2	4
Défaillance 7	3	6
Défaillance 8	4	16



**Figure IV.5** L'évaluation du dépassement de DBO5 par rapport à la norme

### III.5 Analyse sur les valeurs de l'ammonium $NH_4^+$ :

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel. [www.entreprises.cci-paris-idf.fr].

La variation de dépassement calculé pour le l'ammonium  $NH_4^+$  par rapport à la norme a donné les résultats suivants :

	Degré de la défaillance	Nombre d'occurrence de la défaillance
Défaillance 9	1	7
Défaillance 10	2	3
Défaillance 11	3	4
Défaillance 12	4	55

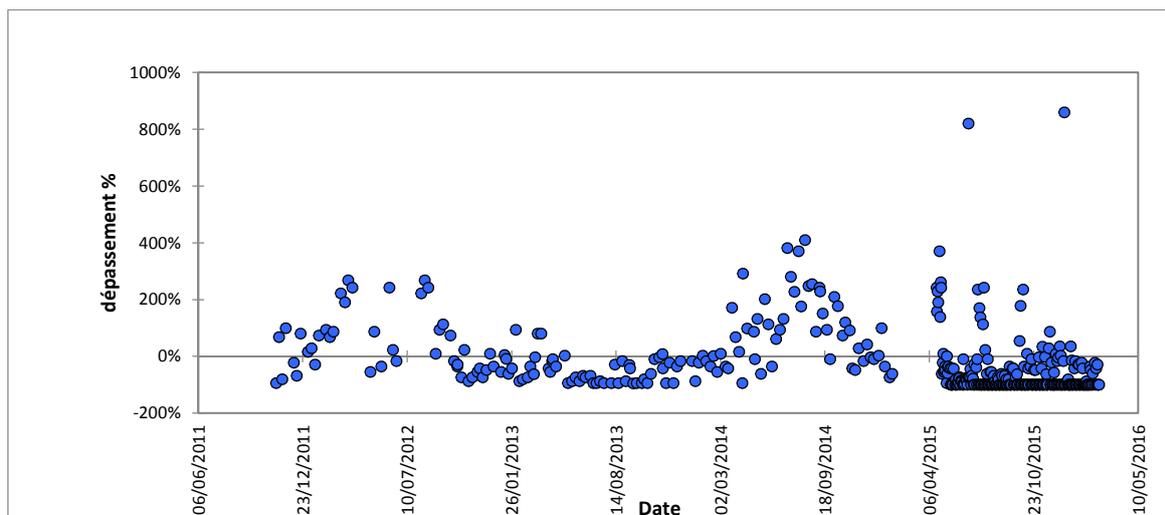


Figure IV.6 : L'évaluation du dépassement de  $\text{NH}_4^+$  par rapport à la norme

### III.6 Analyse sur les valeurs du Nitrat $\text{N-NO}_3^-$ :

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont des composés chimiques constitués d'azote et d'oxygène.

La variation de dépassement calculé pour le nitrat  $\text{N-NO}_3^+$  par rapport à la norme a donné les résultats suivants :

	Degré de la défaillance	Nombre d'occurrence de la défaillance
Défaillance 13	1	0
Défaillance 14	2	2
Défaillance 15	3	0
Défaillance 16	4	1

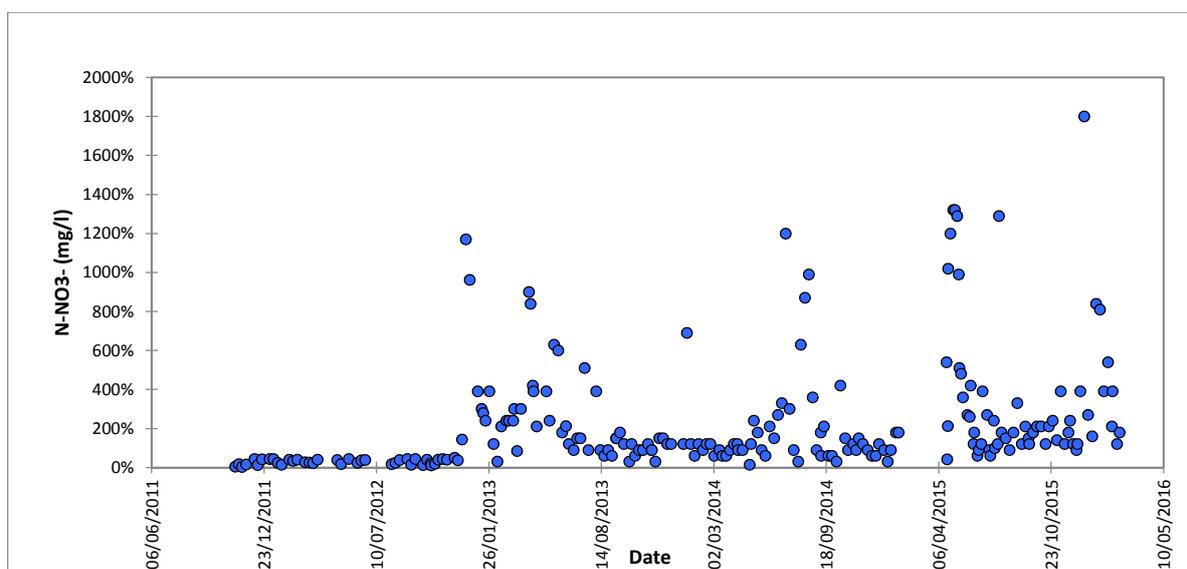


Figure IV.7 : L'évaluation du dépassement de  $\text{N-NO}_3^-$  par rapport à la norme

### III.7 Analyse sur les valeurs l'Oxygène dissous $O_2$ Diss :

L'oxygène dissous est indispensable à toute forme de vie aquatique animale. La présence de matière organique réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique.

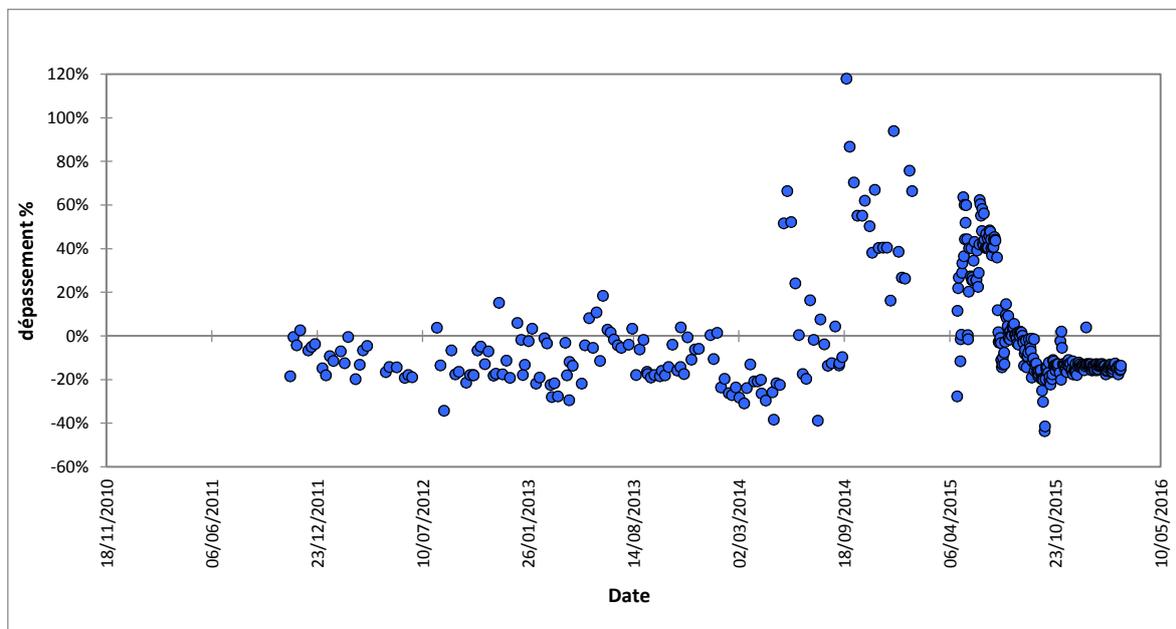
Il existe ainsi deux types d'analyse qui permettent de déterminer la quantité d'oxygène dans l'eau :

Une mesure directe de la teneur en oxygène dissous dans un échantillon prélevé : cette mesure donne une indication sur la santé du cours d'eau à un instant et un endroit donné,

Une mesure de la quantité de matières organiques qui, lors de leur décomposition, sont susceptibles de consommer l'oxygène présent : cette mesure, nommée demande en oxygène, permet d'apprécier la santé globale d'un cours d'eau. [www.entreprises.cci-paris-idf.fr].

La variation de dépassement calculé pour l'Oxygène dissous  $O_2$  Diss par rapport à la norme a donné les résultats suivants :

	Degré de la défaillance	Nombre d'occurrence de la défaillance
Défaillance 17	1	40
Défaillance 18	2	12
Défaillance 19	3	49
Défaillance 20	4	23



**Figure IV.8 :** L'évaluation du dépassement d' $O_{2diss}$  par rapport à la norme

### III.8 Classement des défaillances selon leurs ordres d'importance avec la méthode abc :

#### III.8.1 Méthode ABC (Diagramme Pareto) : La construction du diagramme

On a le tableau suivant :

paramètres	défaillances	Degré de la défaillance	Nombre d'occurrence de la défaillance	causes
MES (mg/l)	défaillance 1	1	3	cause 1
MES (mg/l)	défaillance 2	2	2	cause 2
MES (mg/l)	défaillance 3	3	7	cause 3
MES (mg/l)	défaillance 4	4	12	cause 4
DBO5 (mg/l)	défaillance 5	1	5	cause 5
DBO5 (mg/l)	défaillance 6	2	4	cause 6
DBO5 (mg/l)	défaillance 7	3	6	cause 7
DBO5 (mg/l)	défaillance 8	4	16	cause 8
NH4+ (mg/l)	défaillance 9	1	7	cause 9
NH4+ (mg/l)	défaillance 10	2	3	cause 10
NH4+ (mg/l)	défaillance 11	3	4	cause 11
NH4+ (mg/l)	défaillance 12	4	55	cause 12
N-NO3- (mg/l)	défaillance 13	1	0	cause 13
N-NO3- (mg/l)	défaillance 14	2	2	cause 14
N-NO3- (mg/l)	défaillance 15	3	0	cause 15
N-NO3- (mg/l)	défaillance 16	4	1	cause 16
O2 Diss (mg/l)	défaillance 17	1	40	cause 17
O2 Diss (mg/l)	défaillance 18	2	12	cause 18
O2 Diss (mg/l)	défaillance 19	3	49	cause 19
O2 Diss (mg/l)	défaillance 20	4	23	cause 20

**Tableau IV.2** : table des données de la méthode ABC

On construit un tableau dans lequel les défaillances sont classées par ordre décroissant de leurs nombres d'occurrence puis en calcule la fréquence par modalité (%) et la fréquence cumulée (%) :

<i>Libellé de la classe</i>	<i>Rang</i>	<i>Comptage</i>	<i>Poids</i>	<i>Score pondéré</i>	<i>Score cumulé</i>	<i>Pourcentage</i>	<i>Pourcentage cumulé</i>
défaillance 12	1	55	4	<b>220</b>	220	<b>40,00</b>	40,00
défaillance 18	2	36	2	72	292	13,09	53,09
défaillance 8	3	16	4	64	356	11,64	64,73
défaillance 4	4	12	4	48	404	8,73	73,45
défaillance 19	5	14	3	42	446	7,64	81,09
défaillance 3	6	7	3	21	467	3,82	84,91
défaillance 7	7	6	3	18	485	3,27	88,18

CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCEN

défaillance 17	8	12	1	12	497	2,18	90,36
défaillance 11	9	4	3	12	509	2,18	92,55
défaillance 6	10	4	2	8	517	1,45	94,00
défaillance 9	11	7	1	7	524	1,27	95,27
défaillance 10	12	3	2	6	530	1,09	96,36
défaillance 5	13	5	1	5	535	0,91	97,27
défaillance 16	14	1	4	4	539	0,73	98,00
défaillance 14	15	2	2	4	543	0,73	98,73
défaillance 2	16	2	2	4	547	0,73	99,45
défaillance 1	17	3	1	3	550	0,55	100,00
défaillance 20	18	0	4	0	550	0,00	100,00
défaillance 15	19	0	3	0	550	0,00	100,00
défaillance 13	20	0	1	0	550	0,00	100,00
Total		189		550			

**Tableau IV.3** : table des données de la méthode ABC classé par le score pondéré

Ce tableau donne les 20 effectifs saisis dans le nombre d'occurrence. Les classes sont triées en fonction des scores pondérés qui sont égaux aux effectifs multipliés par les poids. La classe ayant le plus fort score pondéré est la classe défaillance 12 avec un score de 220, qui représente 40,0% du total.

Le choix du critère se porte sur le comptage de nombre de pannes plus le degré de la panne.

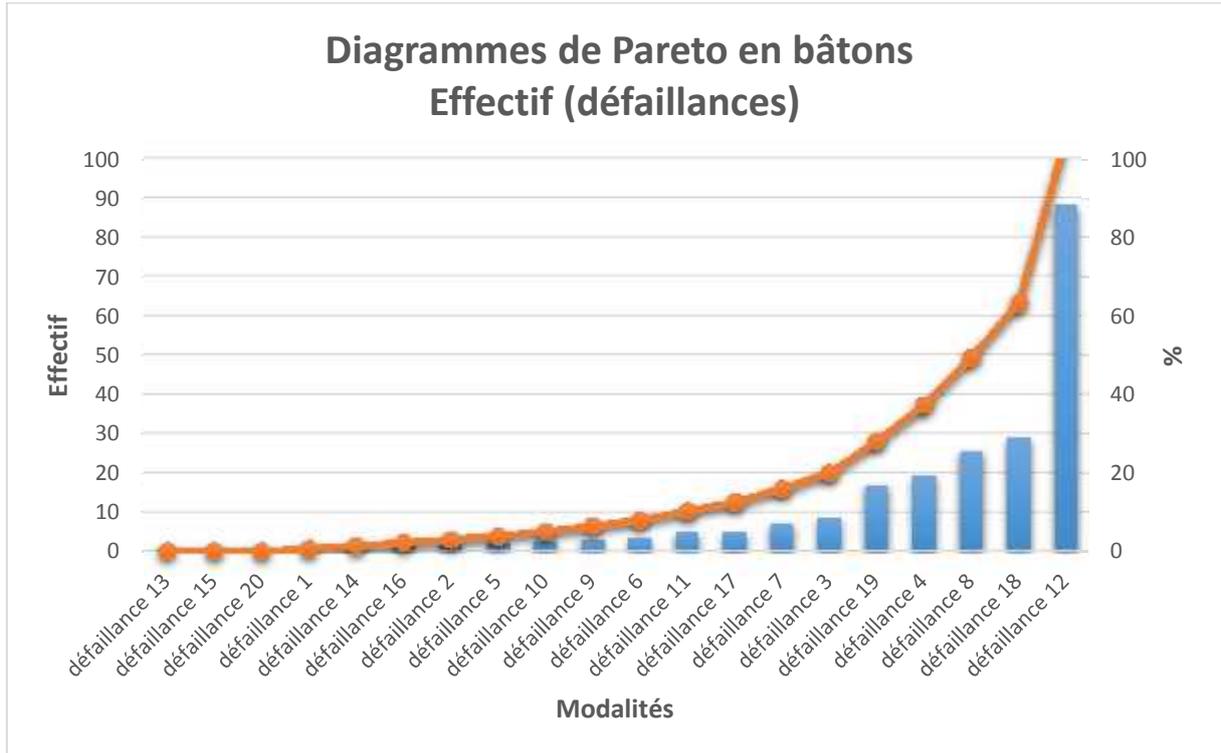


Figure IV.9 : Diagrammes de Pareto en bâtons

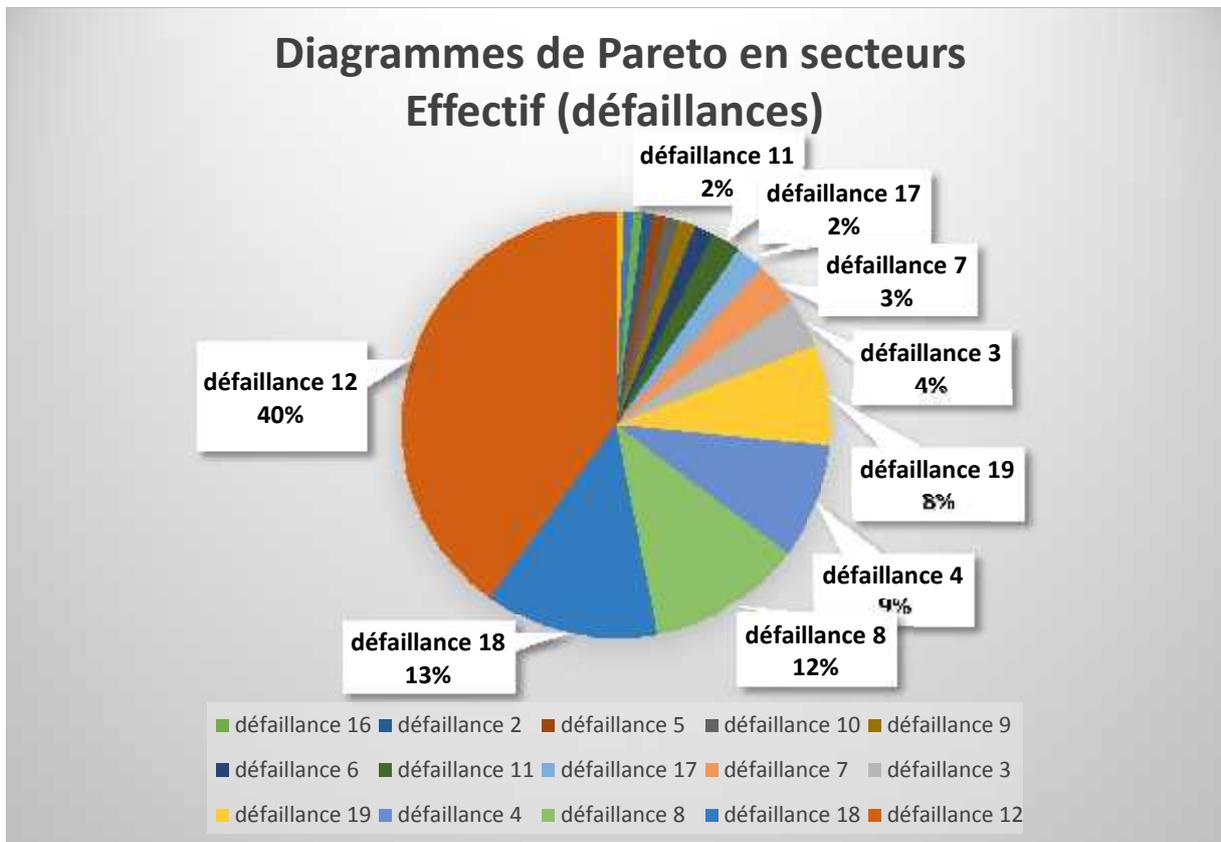


Figure IV.10 : Diagrammes de Pareto en secteurs

Le diagramme montre que la défaillance 12 liées au paramètre  $\text{NH}_4^+$  est responsable de 40% des totale des défaillances ce qui rendra prioritaire les actions envers leur causes.

#### **IV. ETAPE 3 : ANALYSE MULTI VARIABLES :**

Dans cette analyse on va étudier le comportement des variables, en terme plus précis on cherche s'il y a une relation entre deux ou plusieurs paramètres qui corrélèrent, et dénombrer les différents combinaisons possibles en cas d'un dépassement important.

##### **IV.1 Corrélations entre les paramètres :**

###### **IV.1.1 Analyse plusieurs variables (régression simple)**

L'analyse à plusieurs variables permet de calculer les liens existant entre plusieurs variables continues

Les variables des données sont : MES (mg/l), DBO5 (mg/l), DCO (mg/l),  $\text{NH}_4^+$  (mg/l),  $\text{N-NO}_3^-$  (mg/l),  $\text{O}_2_{\text{Diss}}$  (mg/l) et Turb (FUT).

Il y a 186 sujets complets utilisés pour les calculs.

Cette procédure permet de résumer plusieurs colonnes de données quantitatives. Elle calcule diverses statistiques, dont les corrélations et la probabilité des corrélations. Divers graphiques multivariés permettant de les visualiser de façon intéressante.

**BUT :** construire un modèle pour prévoir une variable en fonction des valeurs d'une ou plusieurs autres variables.

La matrice de graphiques de nuages de points et matrice de corrélation de Pearson de type hit map (voir les figures IV.11 et IV.12) nous montrent qu'il y a une forte corrélation entre les valeurs des MES et les valeurs de la turbidité avec un coefficient de Pearson  $r = 0.88$ .

Ensuite on a une légère corrélation entre le DBO5 et  $\text{NH}_4^+$  avec  $r = 0.60$  et entre le DBO5 et le DCO avec  $r = 0.52$ .

CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCN

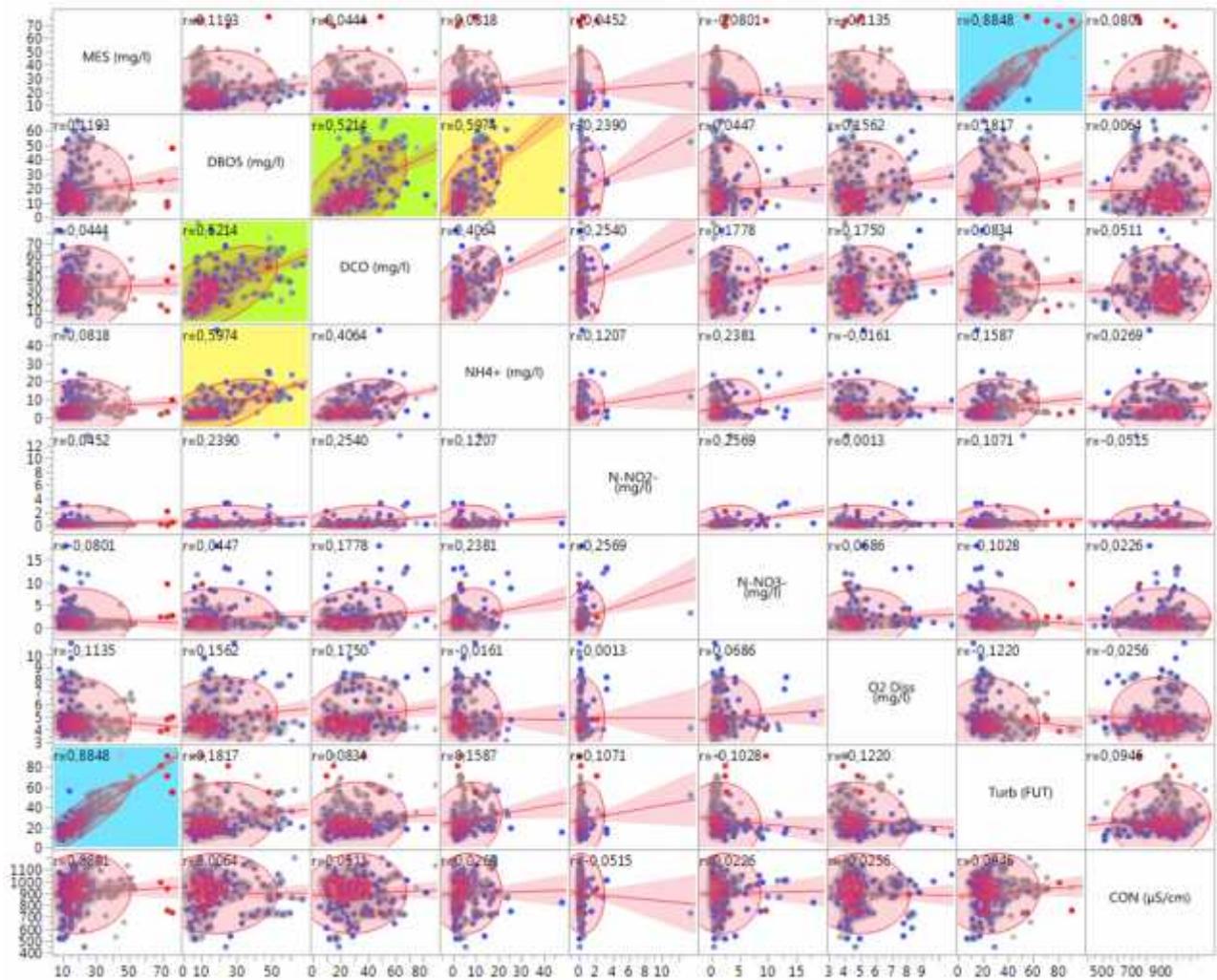


Figure IV.11 : Matrice de graphiques de nuages de points

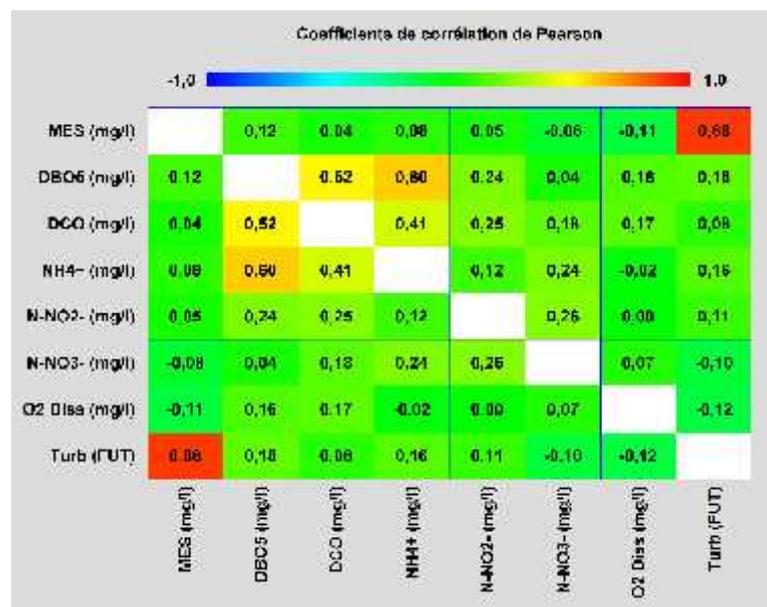


Figure. IV.12 : Matrice de corrélation (Pearson)

La figure IV.12 donne les corrélations de Pearson entre chaque paire de variables. Ces coefficients de corrélation varient entre -1 et +1 et mesurent la force de la relation linéaire entre les variables. Entre parenthèses sont indiqués les nombres de paires de données utilisées pour calculer ces coefficients. Le troisième nombre dans chaque case du tableau est la valeur de la probabilité qui teste la signification statistique des corrélations estimées. Des valeurs des probabilités au-dessous de 0,05 indiquent des coefficients de corrélation significativement différents de 0 au niveau de confiance de 95,0%. Les paires suivantes de variables ont des valeurs des probabilités au-dessous de 0,05 :

MES (mg/l) et Turb (FUT)

DBO5 (mg/l) et DCO (mg/l)

DBO5 (mg/l) et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)

DBO5 (mg/l) et N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)

DBO5 (mg/l) et O<sub>2</sub> Diss (mg/l)

DBO5 (mg/l) et Turb (FUT)

DCO (mg/l) et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)

DCO (mg/l) et N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)

DCO (mg/l) et N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)

DCO (mg/l) et O<sub>2</sub> Diss (mg/l)

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) et N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) et Turb (FUT)

N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l) et N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)

#### **IV.1.2 Corrélation non paramétrique de Spearman pour les valeurs des dépassements par rapport aux normes :**

Appelé coefficient de corrélation des rangs de Spearman, noté  $r_s$ , il est une mesure de corrélation non paramétrique. Il va donc nous servir à déterminer une relation qui existe entre 2 séries de données et pourra nous permettre d'analyser des données quantitatives mais également des données ordinales.

Les données utilisées cette fois sont les valeurs de dépassement par rapport aux normes en % .

La matrice de corrélations (Spearman) et la matrice de graphiques de nuages de points (voir figure IV.12 et figure IV.13) montrent que même pour les valeurs de dépassement les

résulta de corrélation sont cohérents avec le teste de corrélation de Pearson, par contre le teste de rang de Spearman nous donne la probabilité de corrélation entre chaque paire.

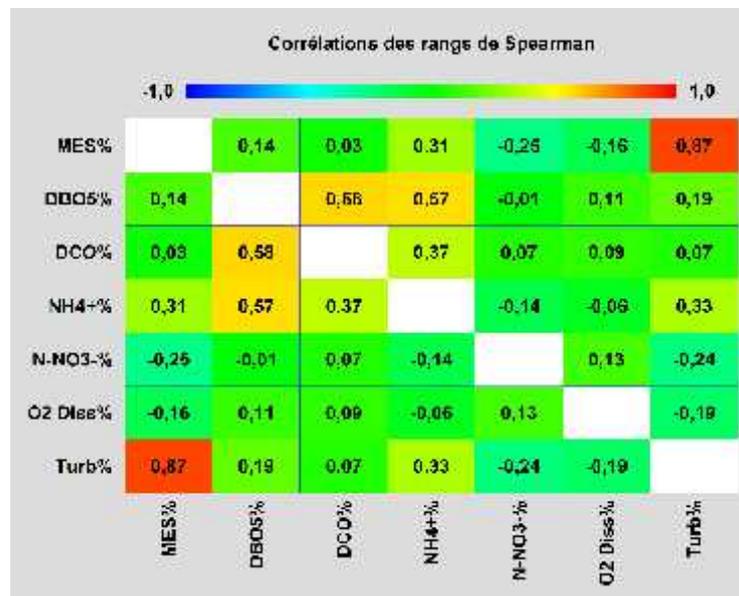


Figure. IV.13 : Corrélation des rangs de Spearman

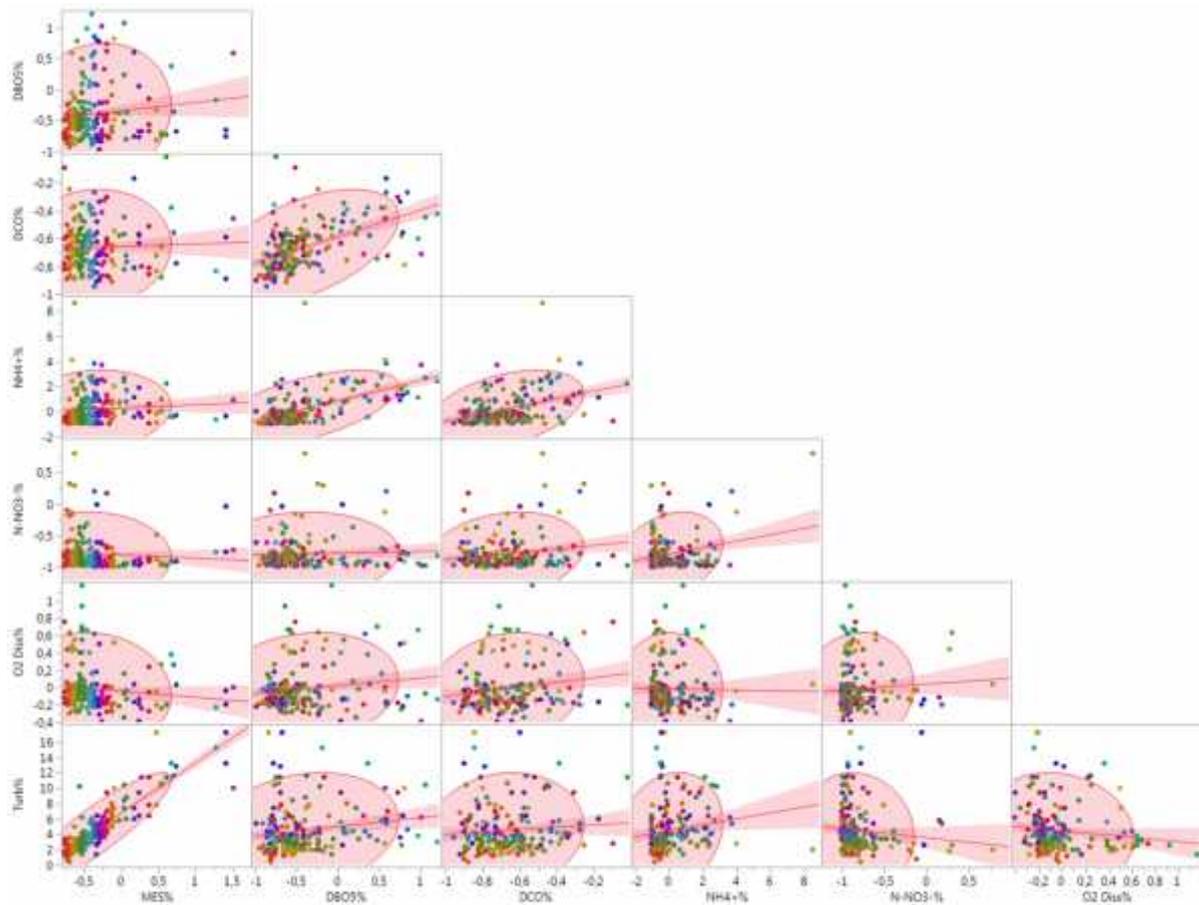


Figure. IV.14 : Matrice de graphiques de nuages de points (Spearman)

CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ -TLEMEN

La figure IV.13 donne les coefficients de corrélation des rangs de Spearman entre chaque paire de variables. Ces coefficients de corrélation varient entre -1 et +1 et mesurent la force de l'association entre les variables. A la différence des coefficients de corrélation de Pearson, les coefficients de Spearman sont calculés à partir des rangs des données plutôt qu'à partir des données elles-mêmes. Ainsi, ils sont moins sensibles aux points extrêmes que les coefficients de Pearson. Entre parenthèses sont indiqués les nombres de paires de données utilisées pour calculer ces coefficients. Le troisième nombre dans chaque case du tableau est la valeur de la probabilité qui teste la signification statistique des corrélations estimées. Des valeurs des probabilités au-dessous de 0,05 indiquent des coefficients de corrélation significativement différents de 0 au niveau de confiance de 95,0%. Les paires suivantes de variables ont des valeurs des probabilités au-dessous de 0,05 :

MES% et NH4+%

MES% et N-NO3-%

MES% et O2 Diss%

MES% et Turb%

DBO5% et DCO%

DBO5% et NH4+%

DBO5% et Turb%

DCO% et NH4+%

NH4+% et Turb%

N-NO3-% et Turb%

O2 Diss% et Turb%

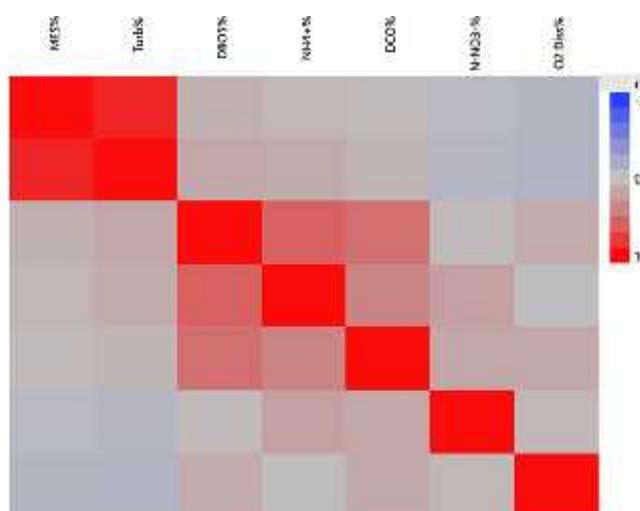
On classe ses résultats par ordre dans le tableau suivant :

Variable	par variable	$\rho$ de Spearman	Prob.>  $\rho$	
Turb%	MES%	0,8671	<,0001*	
DCO%	DBO5%	0,5826	<,0001*	
NH4+%	DBO5%	0,5696	<,0001*	
NH4+%	DCO%	0,3746	<,0001*	
Turb%	NH4+%	0,3333	<,0001*	
NH4+%	MES%	0,3060	<,0001*	
Turb%	DBO5%	0,1895	0,0096*	
DBO5%	MES%	0,1420	0,0532	
O2 Diss%	N-NO3-%	0,1278	0,0821	
O2 Diss%	DBO5%	0,1059	0,1502	
O2 Diss%	DCO%	0,0873	0,2360	
N-NO3-%	DCO%	0,0701	0,3415	
Turb%	DCO%	0,0654	0,3754	
DCO%	MES%	0,0283	0,7017	

Variable	par variable	$\rho$ de Spearman	Prob.>  $\rho$
N-NO3-%	DBO5%	-0,0124	0,8662
O2 Diss%	NH4+%	-0,0624	0,3973
N-NO3-%	NH4+%	-0,1356	0,0649
O2 Diss%	MES%	-0,1554	0,0341*
Turb%	O2 Diss%	-0,1944	0,0079*
Turb%	N-NO3-%	-0,2390	0,0010*
N-NO3-%	MES%	-0,2522	0,0005*

**Tableau IV.4 :** table des corrélations (Spearman) classé par la probabilité de corrélation

Dans la figure IV.14 en classe les corrélations par la palette des couleurs pour mieux les visualiser.



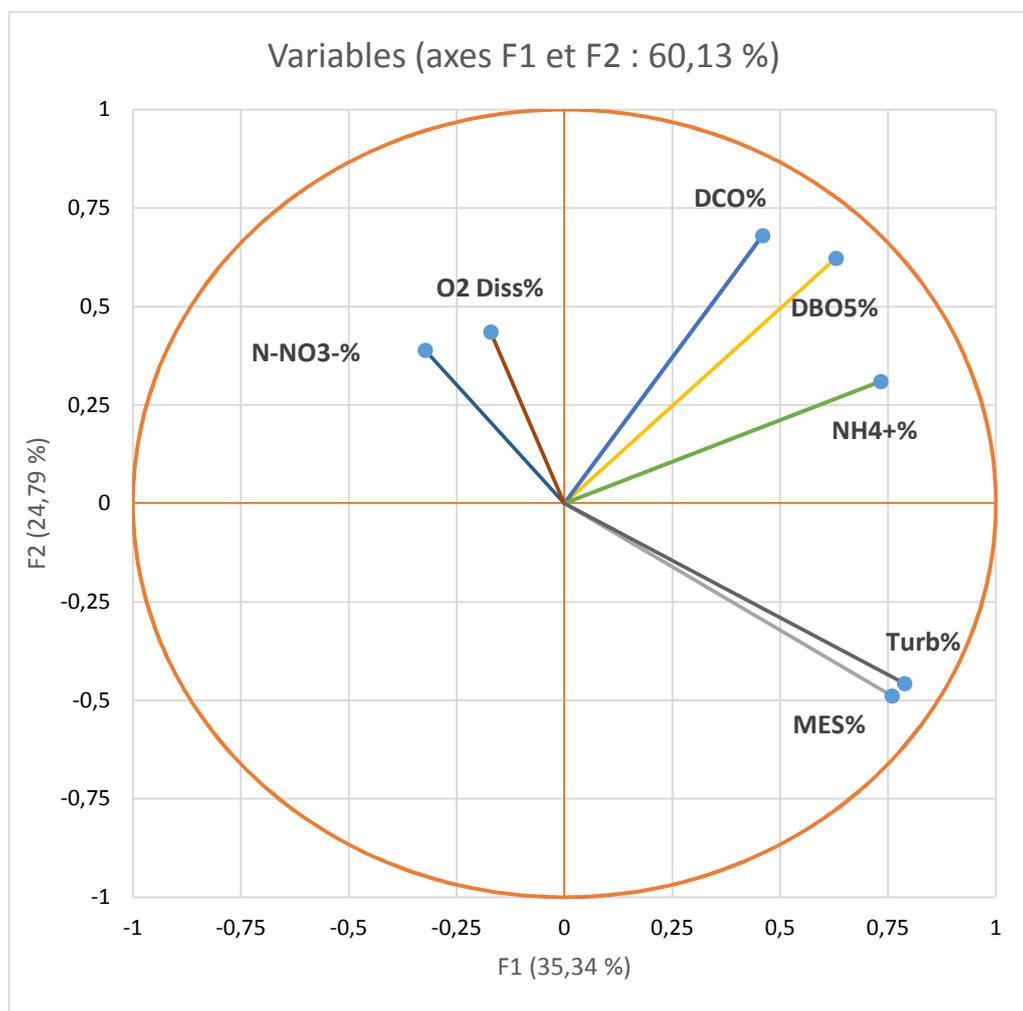
**Figure IV.15 :** palette des couleurs sur les corrélations

### IV.1.3 Analyse en composantes principales (ACP):

Cette procédure met en œuvre une analyse en composantes principales. Le but de cette analyse est d'obtenir un petit nombre de combinaisons linéaires des 7 variables prenant en compte la plus grande partie de la variabilité des données. Dans ce cas, 2 composantes ont été extraites, car il y a 2 composantes qui ont des valeurs propres supérieures ou égales à 1,0.

**Tableau IV.5 :** table des composantes principales pour l'analyse ACP

Numéro composante	Valeur propre	Pourcentage de variance	Pourcentage cumulé
1	2,474	35,341	35,341
2	1,735	24,793	<b>60,134</b>
3	0,909	12,983	73,117
4	0,862	12,311	85,428
5	0,547	7,810	93,238
6	0,343	4,905	98,143
7	0,130	1,857	100,000



**Figure IV.16** : le cercle de corrélation des individus dans le plan factoriel (F1 – F2)

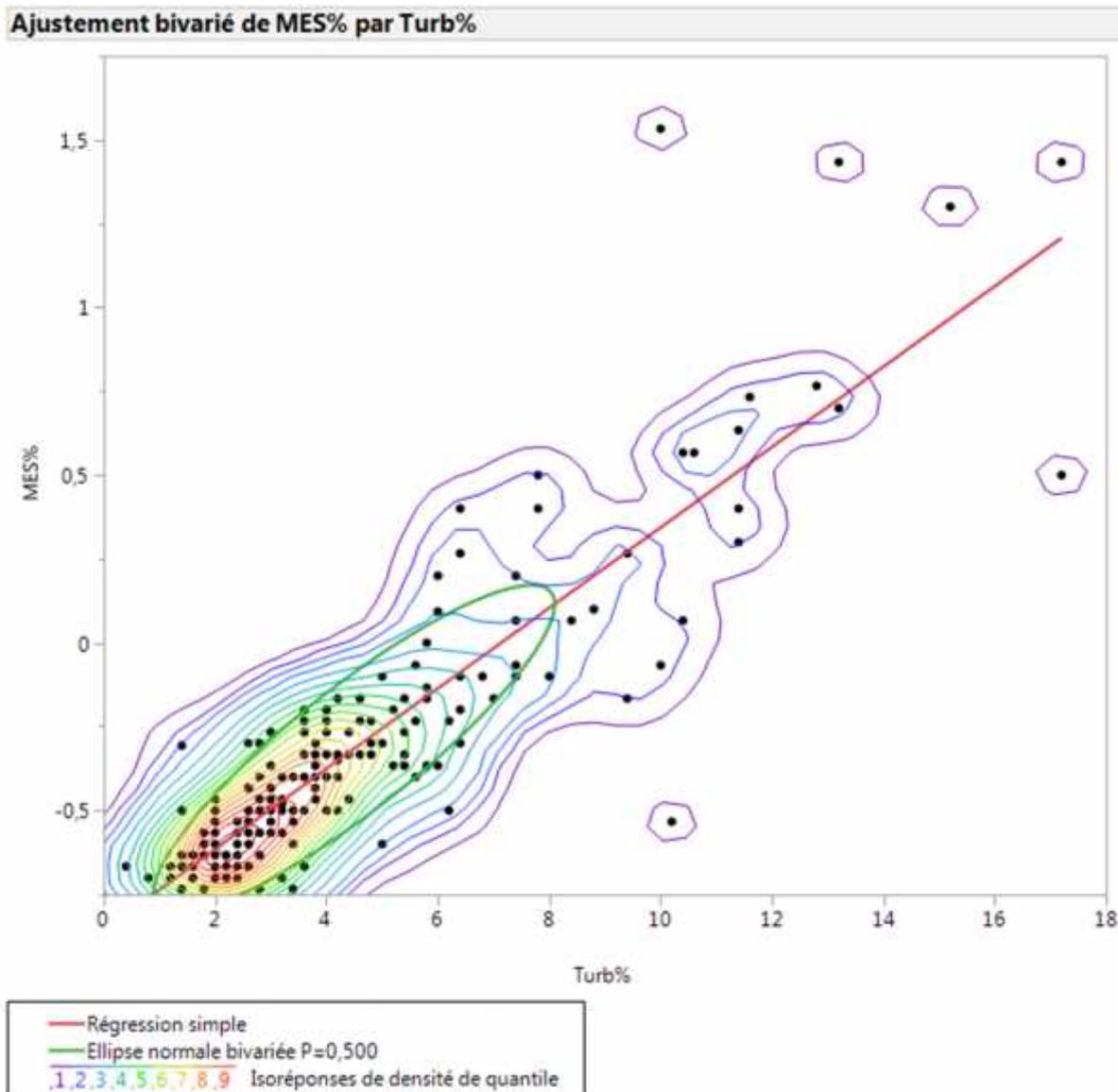
Le cercle de corrélation montre les résultats suivants :

- les valeurs de dépassement pour les paramètres MES et TUR sont fortement corrélés positivement.
- les valeurs de dépassement pour les paramètres O2 Diss et N-NO3- sont corrélés positivement.
- les valeurs de dépassement pour les paramètres DBO5, DCO, et NH4+ sont légèrement corrélés positivement.
- On peut remarquer aussi que les valeurs de dépassement pour les groupes (MES/TUR) et (O2 Diss /N-NO3-) sont fortement corrélés négativement.

#### IV.1.4 Vérification de la fiabilité des résultats d'analyse multivariées :

On remarque dans la figure IV.15 une forte corrélation entre la TUR et les MES les valeurs de dépassement de la turbidité varie par rapport aux valeurs de dépassement des MES selon la fonction linéaire (IV.2) suivante :

$$\text{MES\%} = -0,855135 + 0,1199167 * \text{Turb\%} \quad (\text{IV.2})$$



**Figure IV.17** : Ajustement bivarié de MES% par TUR%

Pour la corrélation entre O2 diss et N-NO3 visionner dans la figure IV.16 on remarque qu'il y a une distribution symétrique par rapport à l'orthogonale mais les points sont éloignées par rapport à la ligne de la régression ce qui veut dire que le teste de corrélation pour le groupe n'est pas fiable.

Il est préférable de visualiser la corrélation entre les paramètres du groupe DBO5/DCO/NH4+ dans un ellipsoïde 3D (voire la figure IV.17), on remarque une forte corrélation entre les valeurs de dépassements de DBO5 et de DCO et une corrélation entre les valeurs de dépassement de DBO5 et le NH4+

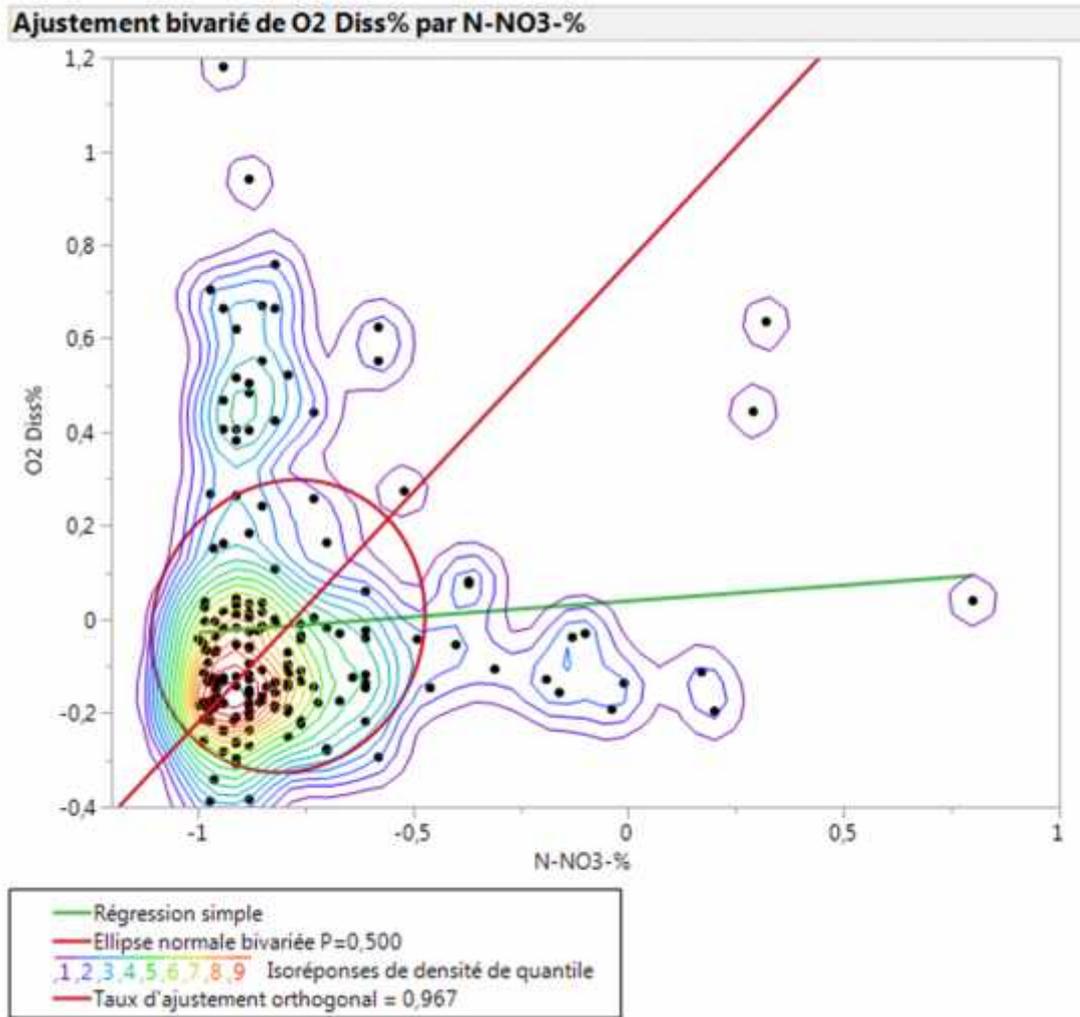


Figure IV.17 : Ajustement bivarié de  $O_2$  diss % par  $N-NO_3\%$

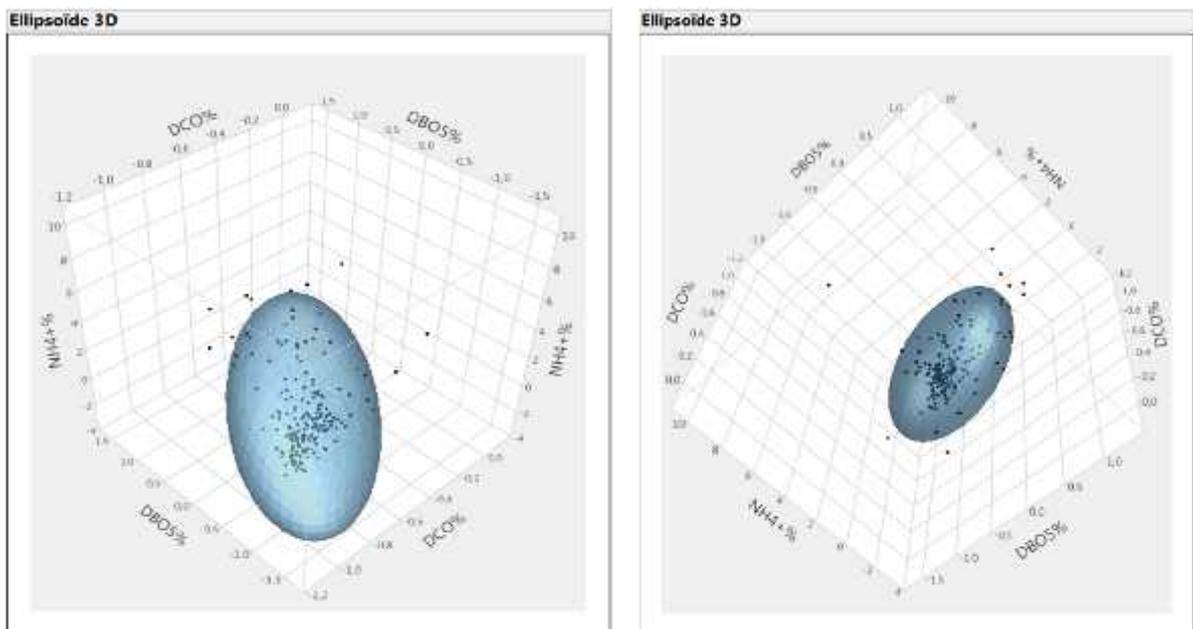
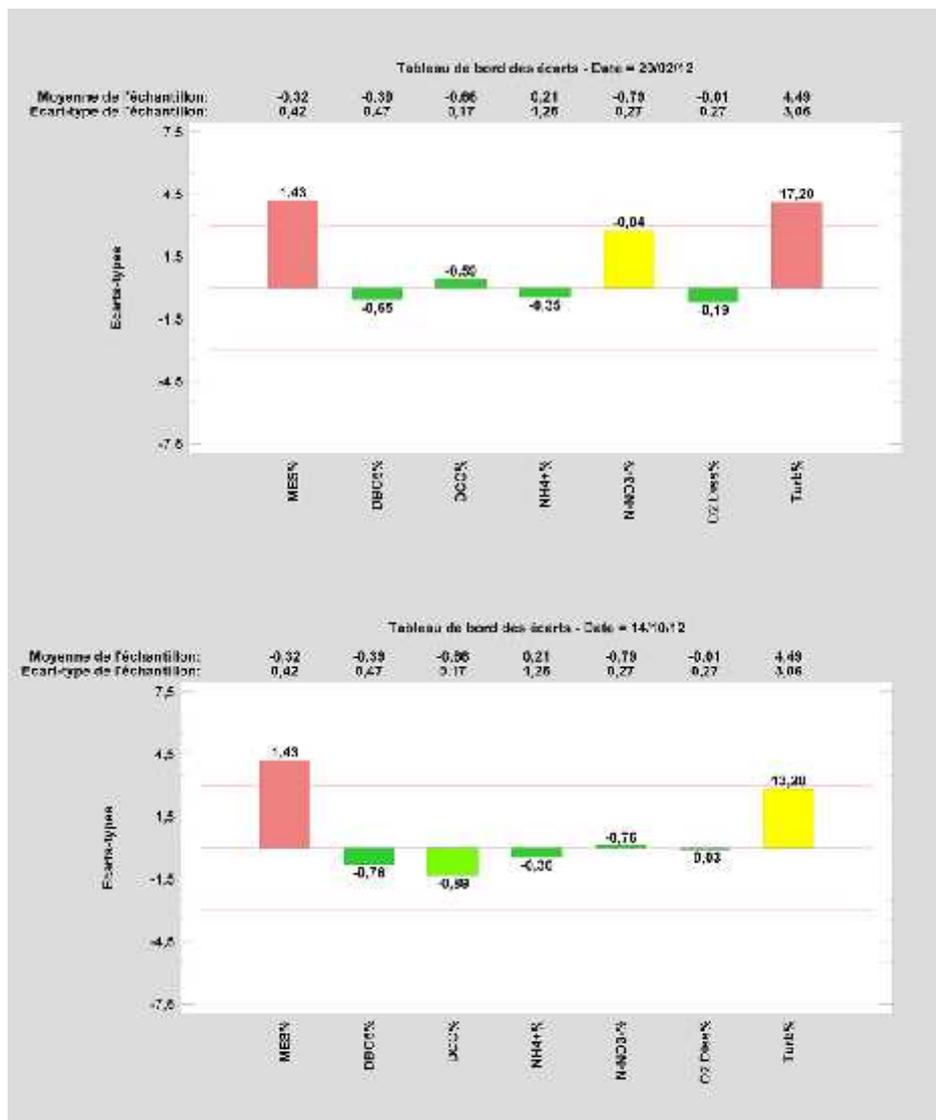


Figure IV.18 : visualisation en 3D les corrélations entre le DBO5, DCO et le  $NH_4^+$

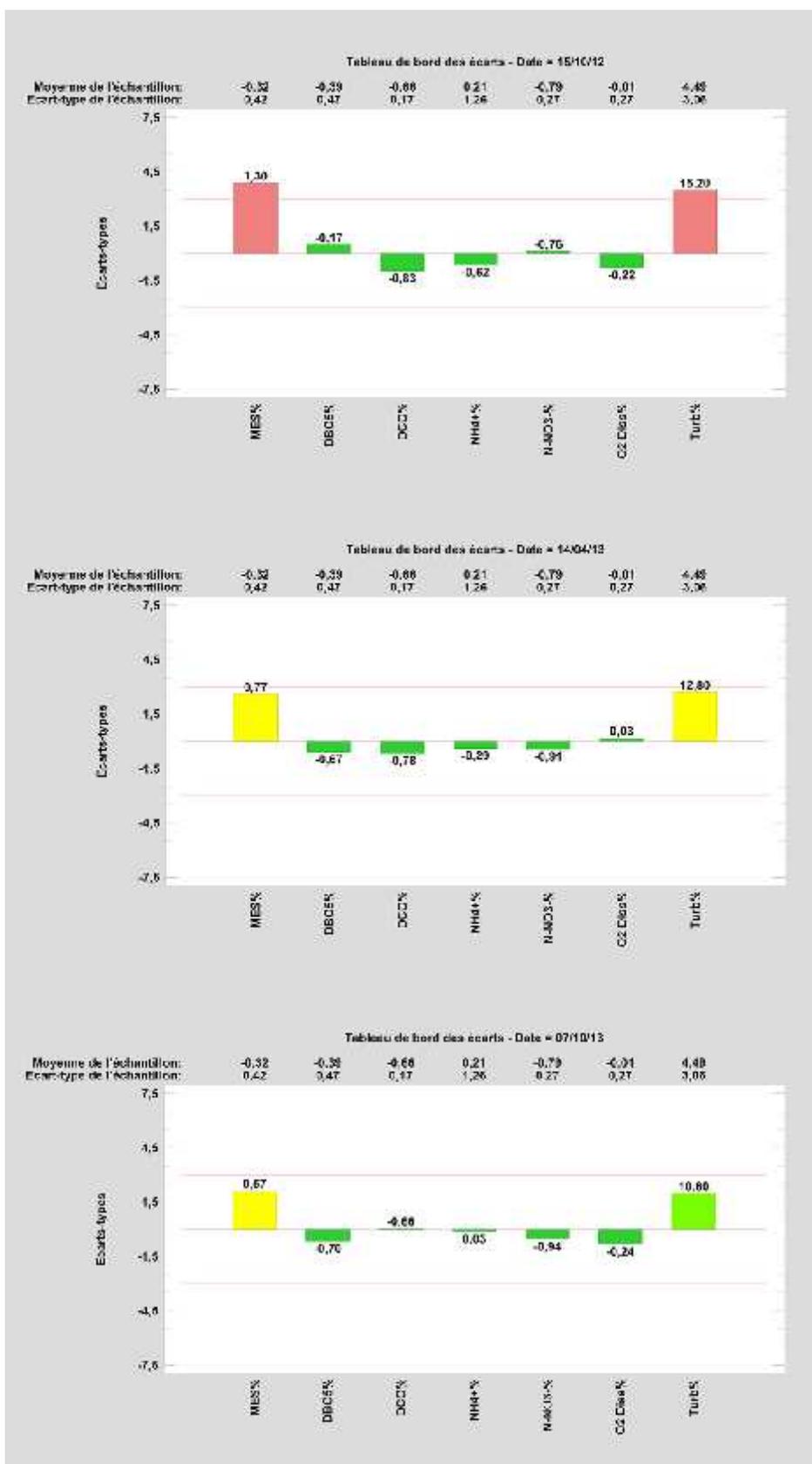
### IV.1.5 Analyse temporelle :

➤ **Pour le groupe MES/TUR :**

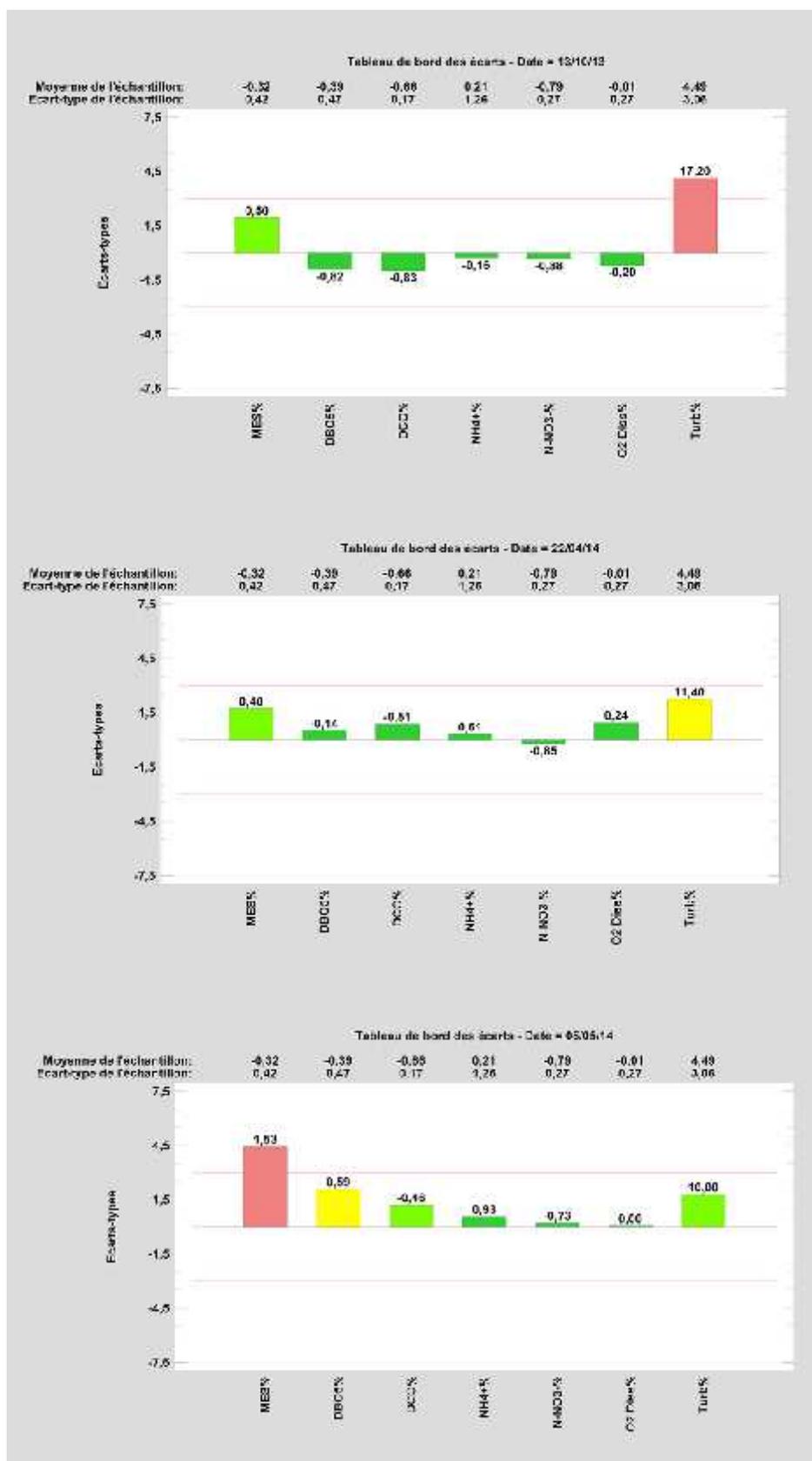
On constate qu'il y a effectivement des dates où les valeurs des MES et la turbidité sont en dépassement par rapport aux normes, on remarque dans les figures IV.18 que ces dépassement sont marqué aux périodes hivernales.



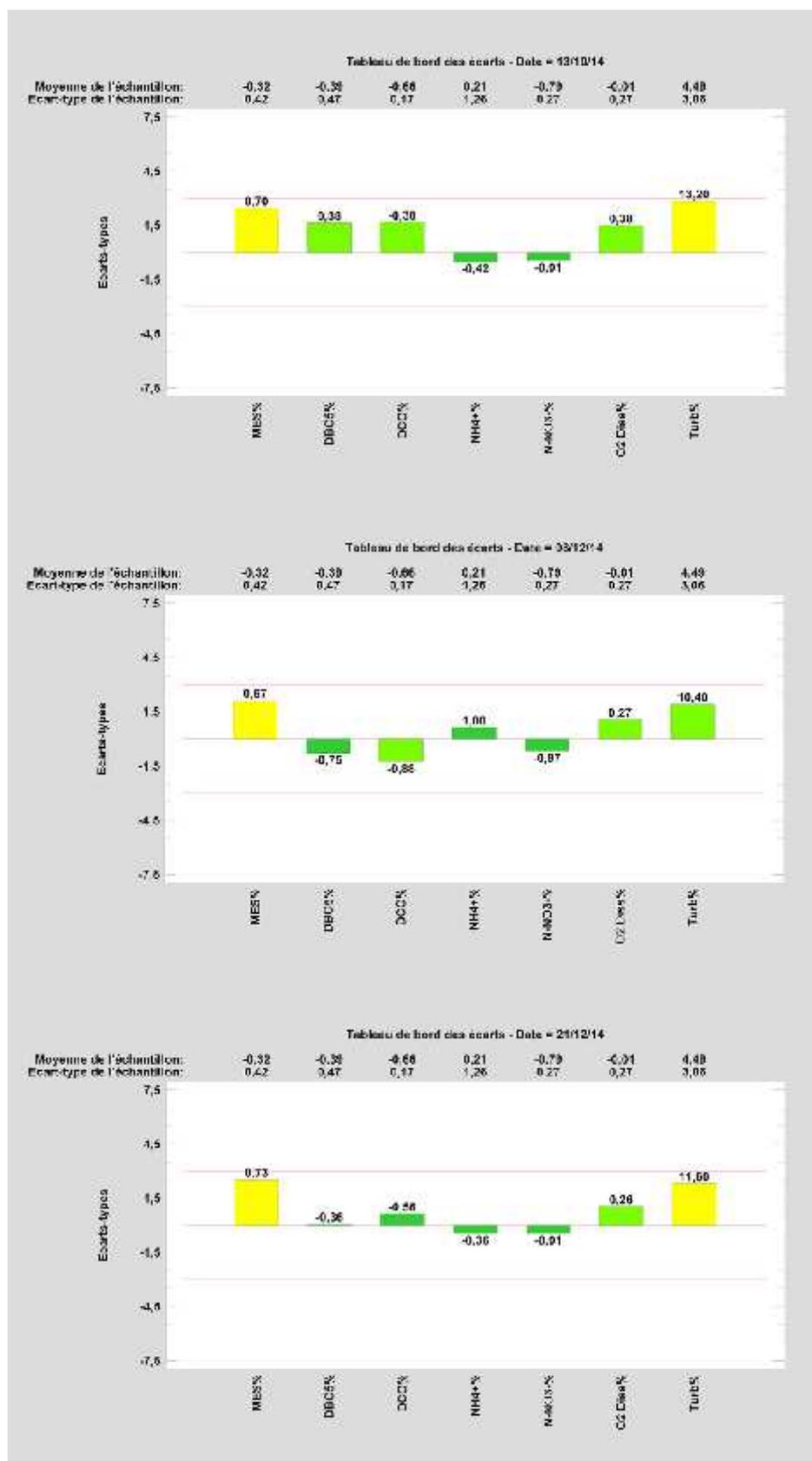
**CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCEN**



**CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCEN**



**CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCEN**



**Figure IV.19 :** Dépassements de MES et TUR marqués dans la série des données

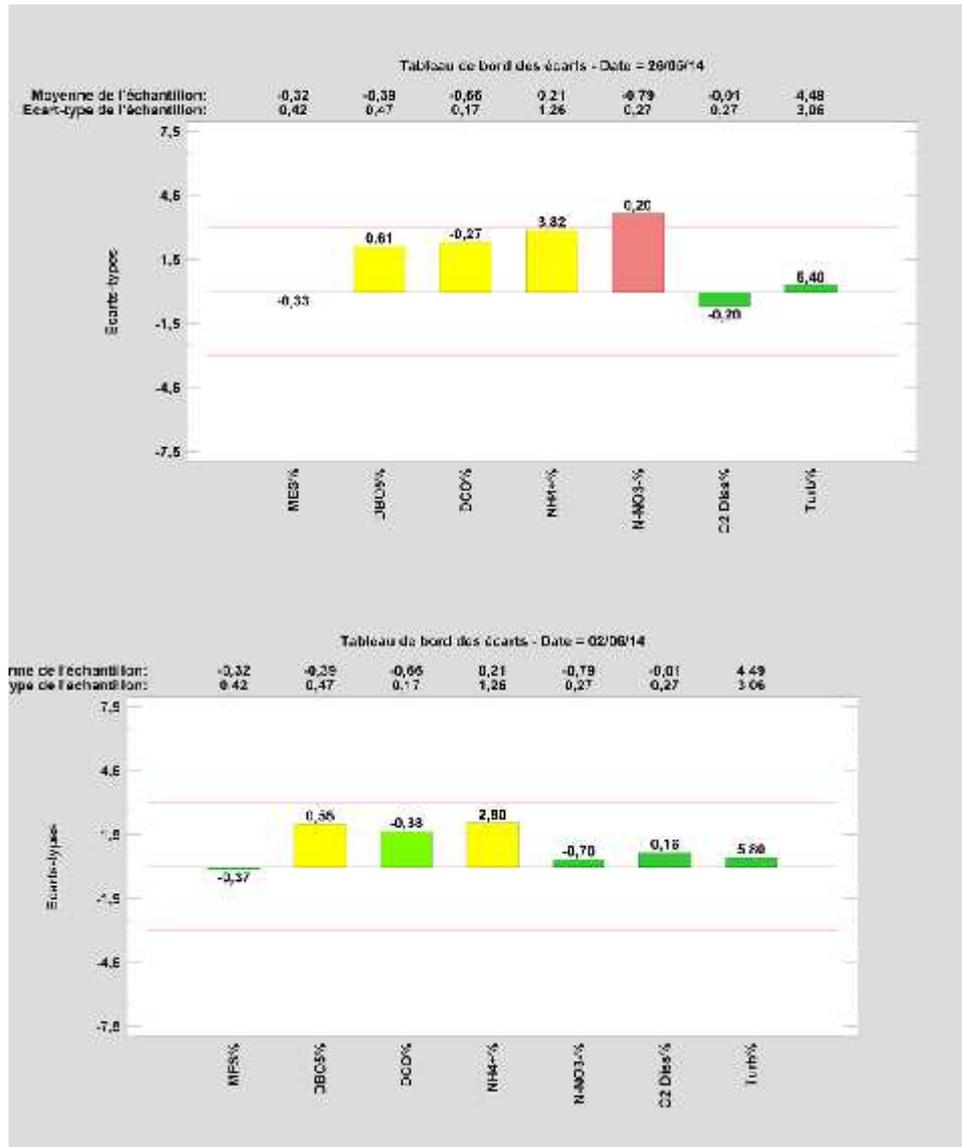
CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCEN

➤ **Pour le groupe O2\_Diss/N-NO3- :**

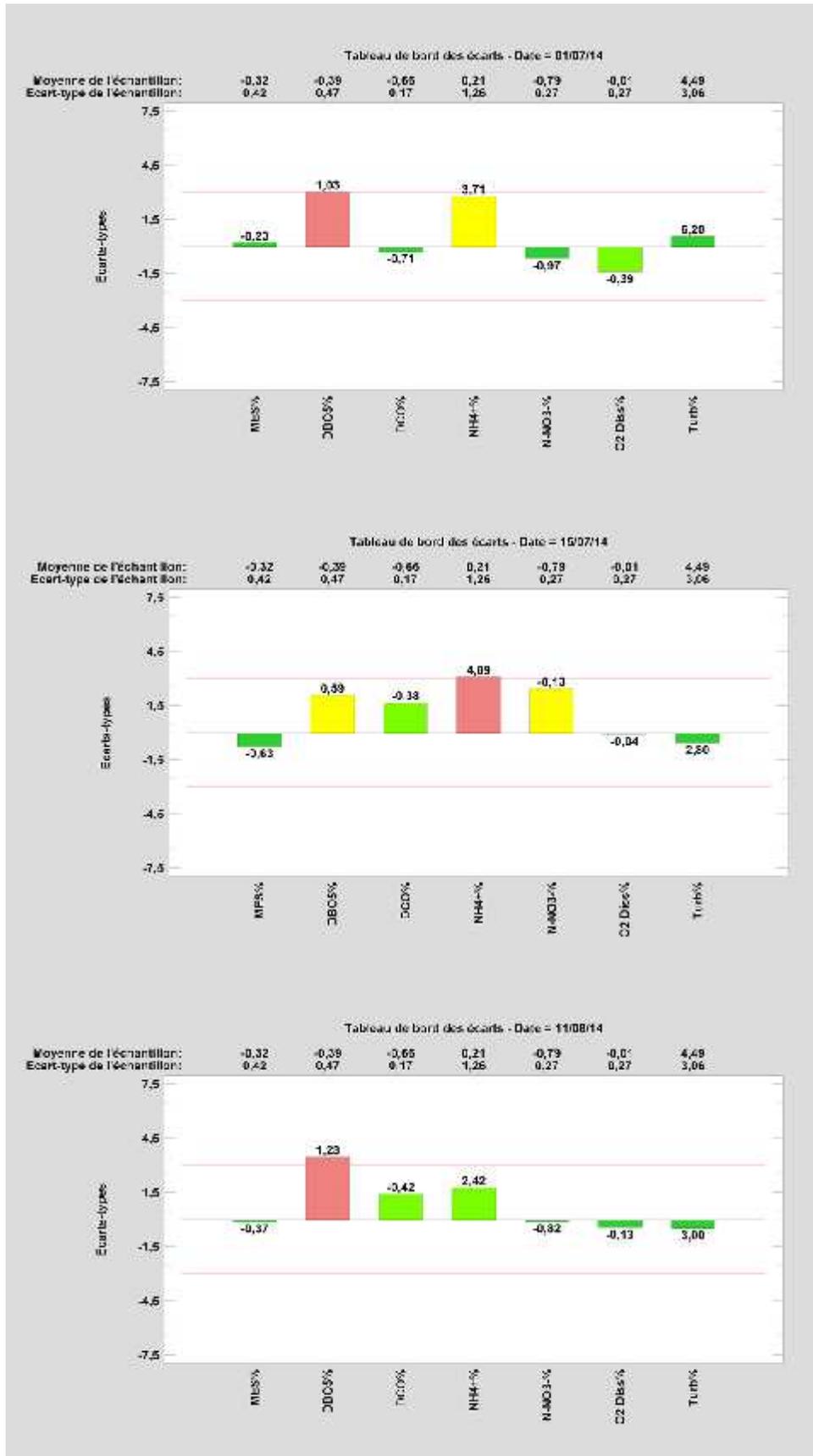
Pour ce groupe il n'y a pas un évènement remarqué dans la période étudiée la nature de corrélation entre ces deux paramètres et plutôt sur les faibles variations des valeurs de dépassement.

➤ **Pour le groupe DBO5/DCO/NH4+ :**

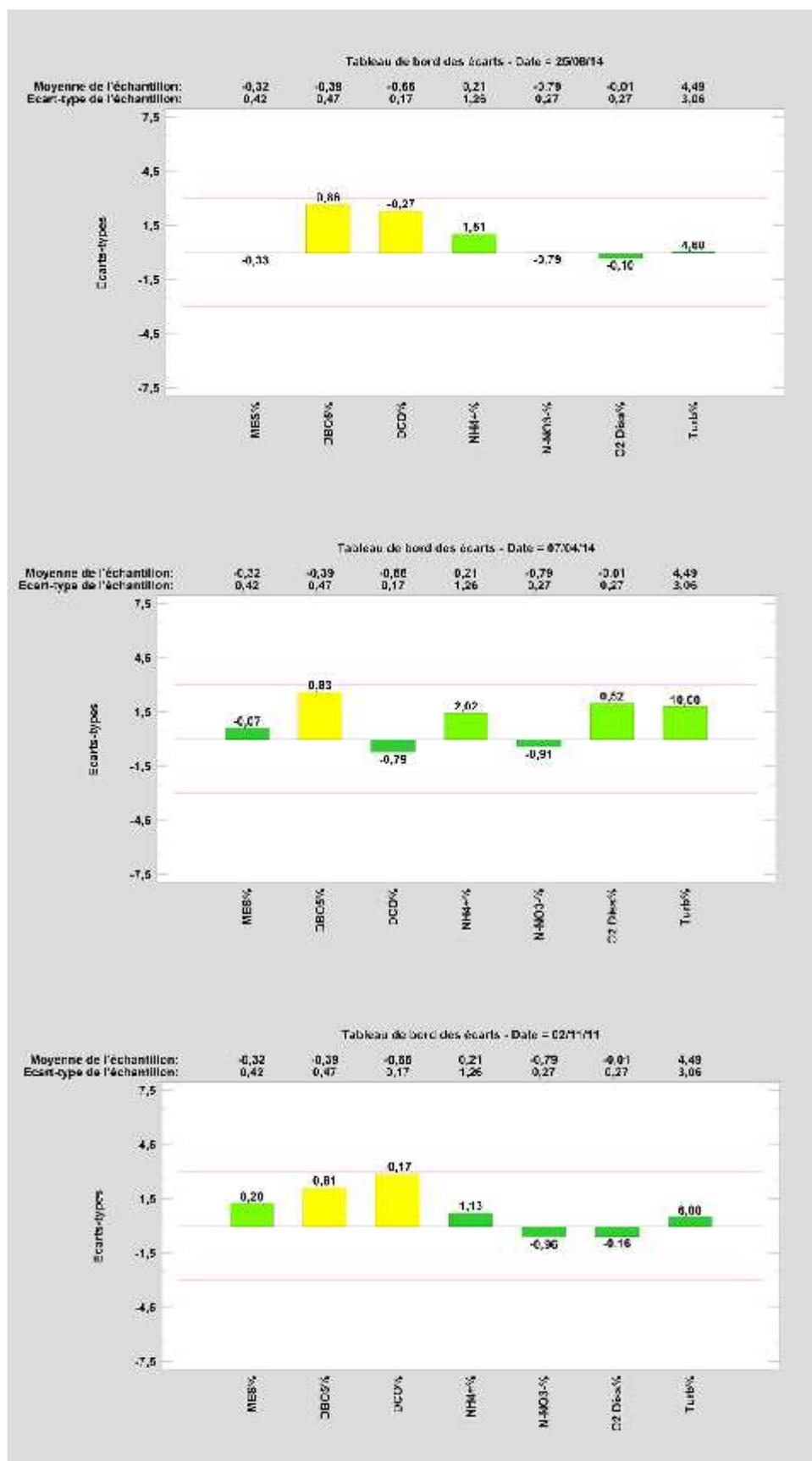
On a plusieurs évènements remarqués dans la série (voir figure IV.19)



**CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCEN**



**CHAPITRE 4 : L'ETUDE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION  
D'AINE EL HOUTZ - TLEMCCEN**



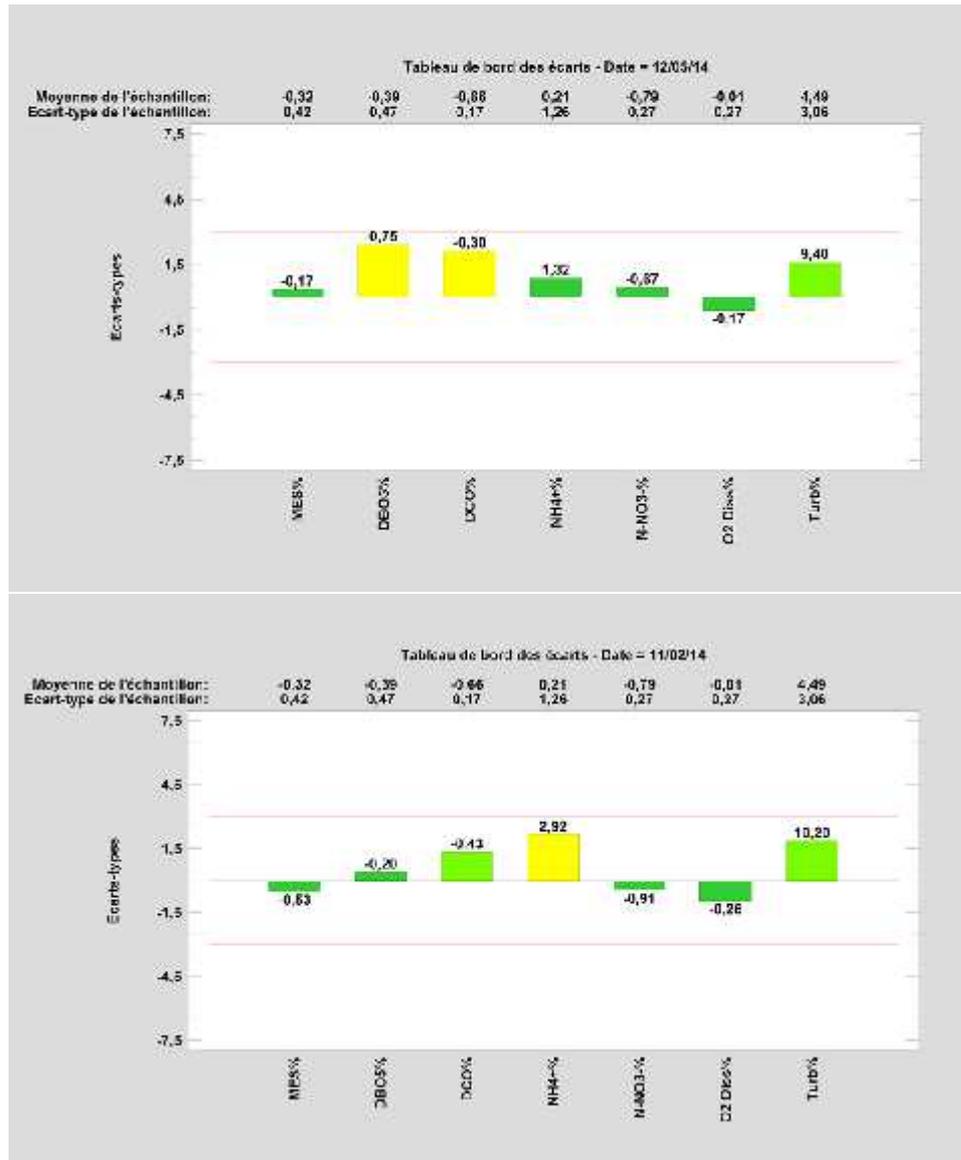


Figure IV.20 : les dépassements pour DBO5/DCO/NH4+ marqués dans la série des données

## IV.2 Classement des défaillances selon leurs ordres d'importance pour les groupes de corrélation avec la méthode abc :

Cette méthode a été vu précédemment on la réutilise pour classé les défaillances trouvées dans cette partie.

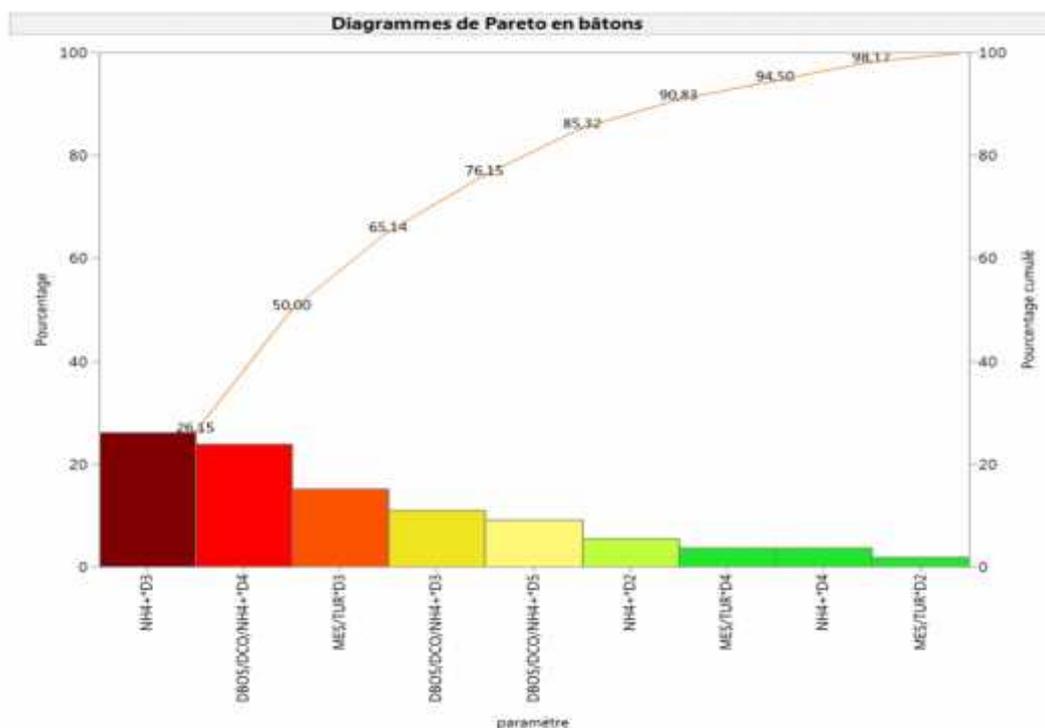
### IV.2.1 Diagramme de Pareto avec effectifs cumulés

On a obtenu ce tableau par le logiciel de statistique JMP centurion version 13 d'évaluation

**Tableau IV.5** : table des données pour la méthode de Pareto

<i>Libellé de la classe</i>	<i>Rang</i>	<i>Comptage</i>	<i>Poids</i>	<i>Score pondéré</i>	<i>Score cumulé</i>	<i>Pourcentage</i>	<i>Pourcentage cumulé</i>
NH4+*D3	1	19	3	57	57	26,15	26,15
DBO5/DCO/NH4+*D4	2	13	4	52	109	23,85	50,00
MES/TUR*D3	3	11	3	33	142	15,14	65,14
DBO5/DCO/NH4+*D3	4	8	3	24	166	11,01	76,15
DBO5/DCO/NH4+*D5	5	4	5	20	186	9,17	85,32
NH4+*D2	6	6	2	12	198	5,50	90,83
NH4+*D4	7	2	4	8	206	3,67	94,50
MES/TUR*D4	8	2	4	8	214	3,67	98,17
MES/TUR*D2	9	2	2	4	218	1,83	100,00
Total		67		218			

Ce tableau donne les 9 effectifs saisis dans Fréquence\_1. Les classes sont triées en fonction des scores pondérés qui sont égaux aux effectifs multipliés par les poids. La classe ayant le plus fort score pondéré est la classe NH4+\*D3 avec un score de 57, qui représente 26,1468% du total.



**Figure IV.20** : diagramme de Pareto en bâtons

Le diagramme dans les figures IV.20 et IV.21 montre que la défaillance liées au paramètre NH4<sup>+</sup> avec un degré de gravité 3 et la défaillance liées au paramètres DBO/DCO/NH4<sup>+</sup> est responsable de 50% des totaux des défaillances ce qui rendra prioritaire les actions envers leur causes.

**Les causes :**

**1. d'un problème mécanique :** Dysfonctionnement lié aux agitateurs.

➤ Une mauvaise position de l'agitateur au sein du Bassin (angle, positionnement/muret, hauteur d'immersion...) ou la présence d'un obstacle (Guides latéraux des raquettes de diffuseurs surdimensionnés, canaux traversiers...) devant, celui-ci cause un mauvais fonctionnement hydraulique (spiral-flow).

➤ Les appareils pour l'aération de l'eau usée ne pourront pas suivre et fournir la quantité d'oxygène nécessaire ce problème apparaitre quand la charge organique nominale dans les eaux brutes est dépassée, celui-ci cause :

- Apparition d'une couche de mousse à la surface du clarificateur.
- Mauvais fonctionnement du déshuileur (problème mécanique).
- Dysfonctionnement des bassins d'aération et de clarification à cause de diminution du transfert d'oxygène.

**2. d'un problème biologique** [Actes du colloque Pollutec, 1994]: la mousse stable dans le digesteur

Le phénomène complexe a des origines multiples qui se conjuguent à un certain moment sous certaines conditions pour induire le moussage.

Les causes les plus fréquemment observées sont :

- présence de microorganismes filamenteux hydrophobes dans les boues activées alimentant le digesteur (principalement microthrix et Nocardia spp) [FNDAE n° 33, 2005],
- Conditions anaérobies à l'intérieur des boues activées : production microbiologique d'acides gras et de H<sub>2</sub>S (= problème d'odeur).
- Détérioration de la qualité de l'effluent : teneur en O<sub>2</sub> insuffisante pour oxyder/dégrader tous les composés organiques (DBO/DCO).

**3. Problèmes liée à l'exploitation de la station** [Actes du colloque Pollutec, 1994]:

Cette présence de la mousse et de la bactérie filamenteuse est liée à l'exploitation de la station.

➤ Carence d'une zone de contact qui permet la création à l'amont du bassin d'aération d'une zone à forte charge qui favorise le développement des bactéries du floc au détriment des bactéries filamenteuses. Cette technique est particulièrement recommandée pour les faibles charges massiques.

- Manque un oxymètre au niveau du bassin d'aération pour contrôler le taux d'O<sub>2</sub> dissous.
- Programme des arrêts des aérateurs quotidiennement aux heures de pointe (17h jusqu'à 21h).
  - Fréquemment les chutes de tension et les coupures d'électricité, surtout pendant la saison d'hiver (manque de groupe électrogène pour fonctionnement de la station en cas des coupures de courant électrique).
  - Diminution du temps de marche de l'aérateur pour diminuer la consommation d'énergie.

- Formation de dépôts dans les ouvrages.
- variation brutale de la charge appliquée (AGV élevés, MV mal dégradées, augmentation teneur en colloïdes)
- surcharge du digesteur
- excès de tension actifs (chimiques ou biologiques)

### IV.3 Le diagramme de criticité :

Dans la table des données sujet travail on a associé les risques issus de l'analyse précédente par leurs individus et on a calculé leurs nombre d'occurrence noté dans la colonne fréquences dans le tableau IV.6

Pour l'impacte on a choisi l'échelle suivant :

degré	critère
1	Nombre de degré de défaillance de chaque paramètre < ou = 2
2	Nombre de degré de défaillance de chaque paramètre < ou = 3
3	Nombre de degré de défaillance de chaque paramètre < ou = 4
4	Nombre de degré de défaillance de chaque paramètre < ou = 5

**Tableau IV.6** : table des données pour le diagramme de criticité

Risques	Fréquences	Impacte
NH4+*D3	19	2
DBO5/DCO/NH4+*D4	13	3
MES/TUR*D3	11	2
DBO5/DCO/NH4+*D3	8	2
NH4+*D2	6	1
DBO5/DCO/NH4+*D5	4	4
MES/TUR*D4	2	3
NH4+*D4	2	3
MES/TUR*D2	2	1

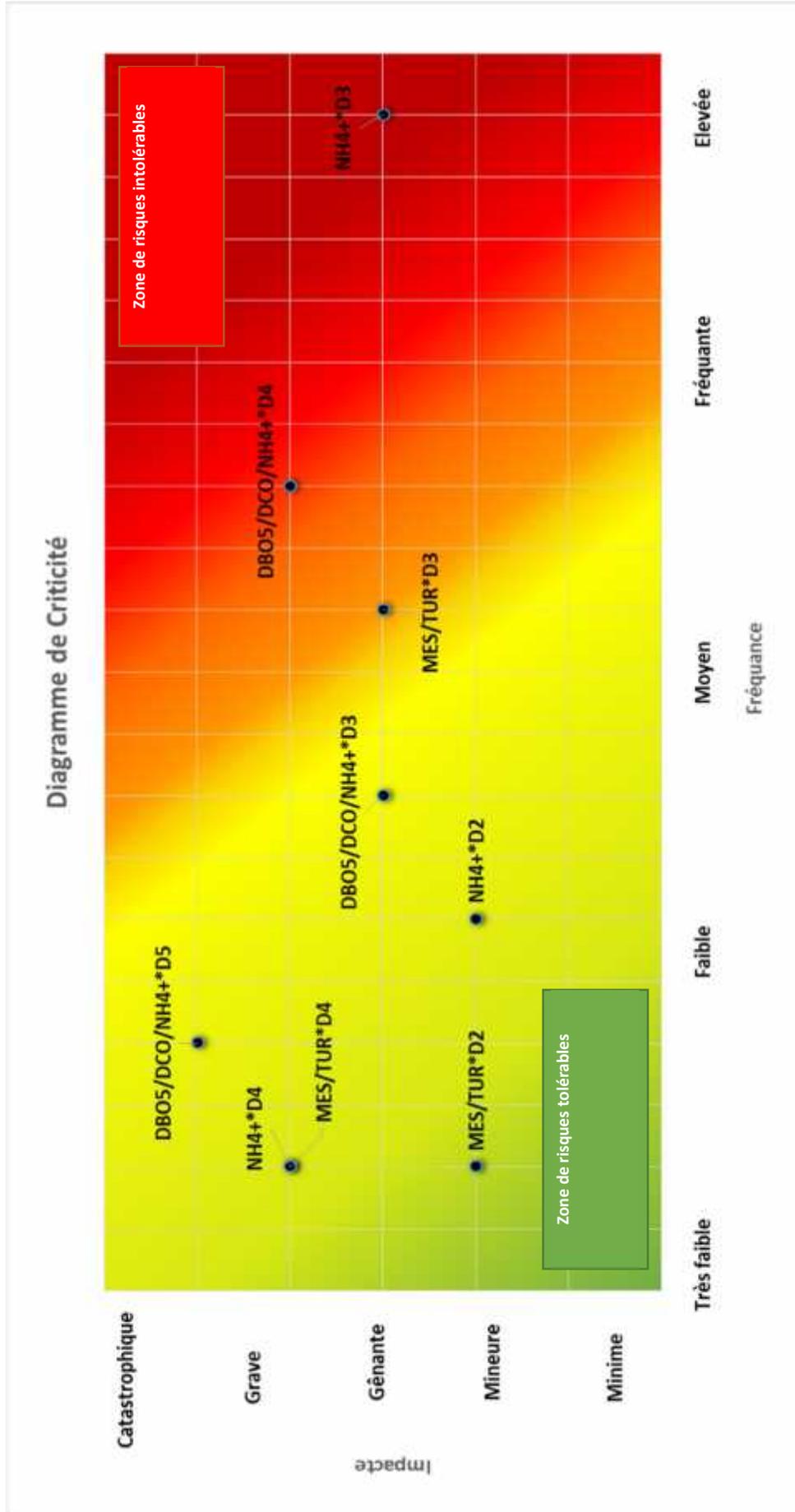


Figure IV.22 : diagramme de criticité

**V. ETAPE 3 : ANALYSE PREVISIONNELLE DES DEFAILLANCES (AMDEC)**

Pour construire un tableau AMDEC on doit d'abord définir les indices de cotation

**INDICES DE COTATION AMDEC (criticité)**

FREQUENCE : F

La défaillance risque ou s'est produite :

1. Exceptionnellement
2. Peu fréquemment
3. Fréquemment

GRAVITE : G

La défaillance altère la fonction du sous-système :

1. Pas notablement
2. La fonction est incorrecte, mais reste effective
3. La fonction n'existe plus

CRITICITE : C

**CALCUL DE C = F \* G ( I varie de 1 à 9)**

AMDEC : SYSTEME STEP AINE EL HOUTZ TLEMEN - SOUS-SYSTEME : TRAITEMENT BIOLOGIQUE									
ELEMENTS			DEFAILLANCES						
Ind	DESIGNATION	FONCTION	MODES	CAUSES	EFFET/SYSTEME	F	G	C	PROPOSITION
1	Aérateur de surface	Aérer l'effluent	Arrêt de l'aérateur	Panne électrique	-Mort des bactéries	3	3	9	Installation d'un groupe électrogène et maintenance  suivie quotidienne et maintenance  Repositionnement de l'agitateur (hauteur immersion – angle)
			Mauvaise aération	Panne mécanique	-Perte de système	2	3	6	
			mauvais fonctionnement hydraulique	Détérioration de l'agitateur	-Insuffisance en O <sub>2</sub> diss	1	3	3	
2	Vis d'Archimède	Recirculation des boues	Arrêt de la fonction	Panne électrique	-Boues faiblement Agglomérées  -Départ de boues  -Perte de système	3	3	9	
				-taux de recirculation des boues trop important (charge au radier trop important)					
3	Mélangeur submersible	Homogénéiser la boue	Arrêt de la fonction	Panne électrique	-Accumulation des Boues au fond du bassin	3	2	6	
4	Clarificateur	Dégrader la matière organique	Apparition d'une couche de mousse à la surface du clarificateur	-présence de microorganismes filamenteux hydrophobes dans les boues activées	diminution des performances du digesteur	3	2	6	Maintenance périodique et suivie
			colmatage partiel des canalisations			2	2	4	

			d'évacuation et de recyclage du biogaz	- dégazage dans le clarificateur (absence de dégazeur ou dysfonctionnement de ce dernier)				
			gradient de concentration dans le digesteur	- dénitrification dans le clarificateur		1	3	<b>3</b>
5	Pont racleur	Racler les boues du fond du bassin	Arrêt de la fonction	Panne électrique Panne mécanique	Phénomène de septicité	2	3	<b>6</b>
			difficulté de brasser correctement	-Accumulation des Boues au fond du bassin - Taux de boues trop haut	augmentation des coûts d'exploitation	2	2	<b>4</b>

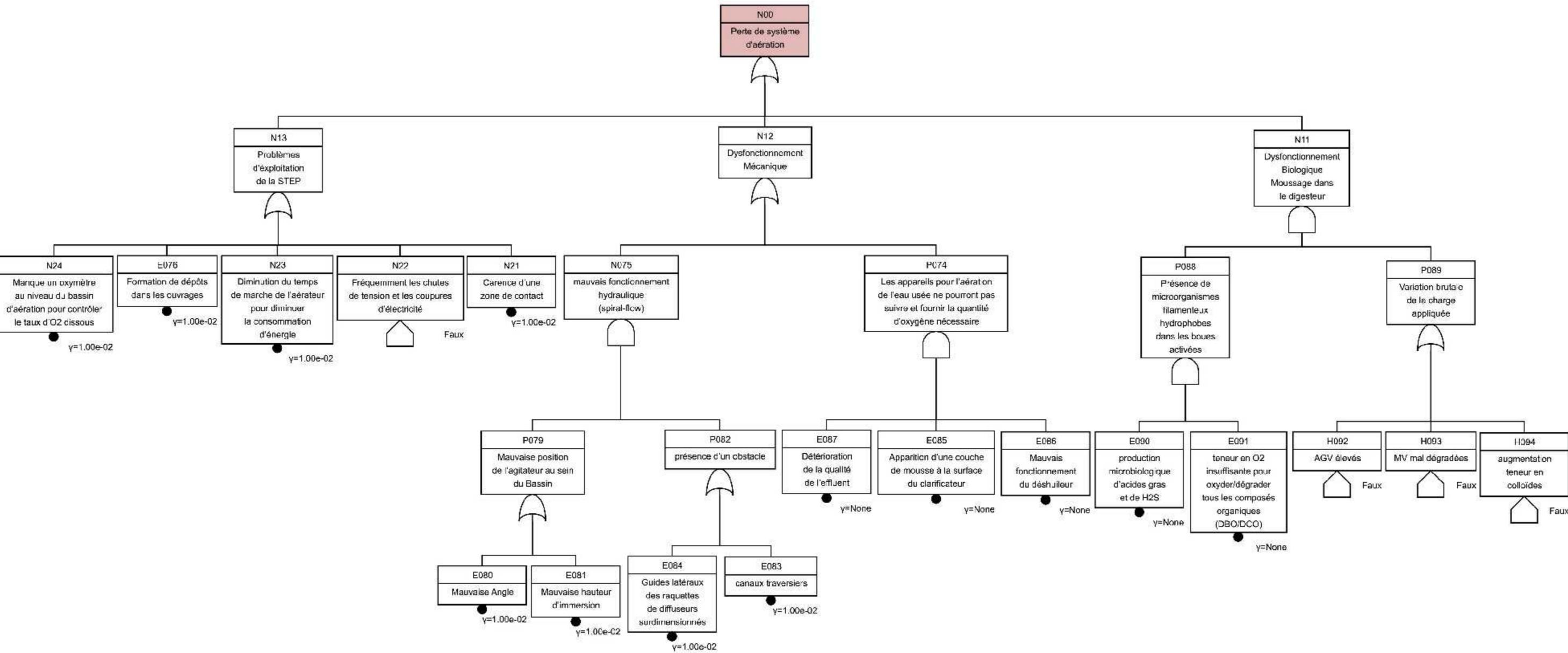
## **VI. ETAPE 3 : ANALYSE QUALITATIVE DES DEFAILLANCES (ARBRE DE DEFAILLANCE) (voir la planche A3)**

Les coupes minimales de l'arbre de défaillance présenté dans la figure sont les suivantes :

- **Coupe de niveau 1** : « Défaillance 18 : Dysfonctionnement liées au paramètre O<sub>2</sub> diss »
- **Coupe de niveau 2** : « Problèmes d'exploitation de la STEP » ou « Dysfonctionnement Mécanique » ou « dysfonctionnement Biologique Moussage dans le digesteur »
- **Coupe de niveau 3** :
  1. « Manque un oxymètre au niveau du bassin d'aération pour contrôler le taux d'O<sub>2</sub> dissous » ou « Formation de dépôts dans les ouvrages » ou « Diminution du temps de marche de l'aérateur pour diminuer la consommation d'énergie » ou « Fréquemment les chutes de tension et les coupures d'électricité » ou « Carence d'une zone de contact ».
  2. « mauvais fonctionnement Hydraulique (spiral-flow) » ou « Les appareils pour l'aération de l'eau usée ne pourront pas suivre et fournir la quantité d'oxygène nécessaire »
  3. « Présence de microorganismes filamenteux hydrophobes dans les boues activées » ou « Variation brutale de la charge appliquée ».
- **Coupe de niveau 4** :
  1. « Mauvaise position de l'agitateur au sein du Bassin » et « présence d'un obstacle ».
  2. « Détérioration de la qualité de l'effluent » et « Apparition d'une couche de mousse à la surface du clarificateur » et « Mauvais Fonctionnement du déshuileur ».
  3. « production microbiologique d'acides gras et de H<sub>2</sub>S » et « teneur en O<sub>2</sub> insuffisante pour oxyder/dégrader tous les composés Organiques (DBO/DCO) ».
  4. « AGV élevés » ou « MV mal dégradées » ou « augmentation teneur en colloïdes ».
- **Coupe de niveau 5** :
  1. « Mauvaise Angle » ou « Mauvaise hauteur d'immersion ».
  2. « Guides latéraux des raquettes de diffuseurs surdimensionnés » ou « canaux traversiers ».

## **VII. Conclusion**

L'application de la méthode d'AMDEC au niveau du sous-système Traitement biologique nous a permis de donner une vision détaillée sur les principaux dysfonctionnements qui peuvent être rencontré à ce niveau ainsi que les problèmes qui pénalisent son bon fonctionnement et permet de penser à des solutions acceptables que la STEP pourrait s'en servir.



## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

La sûreté de fonctionnement est une approche pluridisciplinaire elle nécessite la collaboration de tous les ingénieurs afin d'apporter des éléments d'aide à la décision face aux problèmes et pour faire face à des exigences socio-environnementales de plus en plus pressante en termes de sûreté et de sécurité des installations industrielles et des systèmes technologiques, il est nécessaire de disposer d'outils et de méthodes d'analyses des systèmes, mais aussi de modèles d'évaluation quantitative des performances de sûreté de fonctionnement (fiabilité et maintenance).

C'est sur ce dernier point que se concentrent les travaux de recherche réalisés dans le cadre de contribution à la sûreté de fonctionnement de la station d'épuration d'Ain El Houtz Tlemcen qui visent principalement à développer des approches statistiques pour la détection des problèmes et de initier à une modélisation SysML pour mieux gérer l'évolution du programme de sûreté de fonctionnement dans la STEP.

Le langage Sysml est un outil très forts pour l'élaboration d'un système d'information pour la STEP afin de gérer l'application du programme de sûreté de fonctionnement, il facilite la navigation entre les différents diagrammes qui composent le model numérique de la station et le suivie instantanément de l'évaluation du programme, on peut coupler ce model numérique par des programmes ou par d'autres outils d'analyse développé par le concept orienté objets ce qui rendre la modélisation par le langage SysML l'outils adéquate pour l'implantation d'un profiles de sûreté de fonctionnement de la STEP d'Aine El Houtz.

Les résultats obtenue par l'analyse statistique multi variables a montré qu'il y a trois types de défaillances : des défaillances liées à un seule paramètre il s'agit de  $\text{NH}_4^+$  de degré 3 et des défaillances liées à deux paramètres il s'agit de la turbidité et les matières en suspensions, et des défaillances liées au 3 paramètres qui sont le DBO5, le DCO et le  $\text{NH}_4^+$  ; ce qui rendra prioritaire les action envers leurs causes.

L'application de la méthode AMDEC nous a permet de décomposer le système STEP en composantes et déterminer selon le calcul de criticité les évènements les plus critiques, et on a compléter cette méthode par l'arbre de défaillance pour modélise l'ensemble des combinaisons d'évènements et de conditions qui peuvent aboutir à l'évènement sommet.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIES**

# REFERENCES

## Bibliographies

**[Actes du colloque Pollutec, 1994]** Actes du colloque *Pollutec 94*. Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées. 21 octobre 1994

**[BOUKHERISSI.M, 2015]** BOUKHERISSI Meryem AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) appliquée à la STEP d'Ain El Houtz, soutenue en 2015

**[CABAU.E, 1999]** Emmanuel CABAU, Cahier Technique Schneider Electric n° 144, Introduction à la conception de la sûreté, CT 144 édition juin 1999.

**[CANLER.J, 2004]** CANLER. J. P, Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions, document élaboré par le GIS-BIOSTEP, Centres de Lyon et d'Antony Unité de recherche « Qualité des eaux et prévention des pollutions », FNDAE n° 33

**[CURELY.V, 2014]** Véronique Curely, support du cours pour BTS maintenance des systèmes, option systèmes de production - ex BTS maintenance industrielle, Publié le 05.06.2014

**[DEGREMONT.S, 2005]** DEGREMONT SUEZ, 2005, Mémento technique de l'eau : Edition technique et documentation Lavoisier, 2ème Tome.

**[FAUCHER.J, ]** FAUCHER. J, Pratique de l'AMDEC (Assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés), Série Performance industrielle, [WWW.dunod.com](http://WWW.dunod.com)

**[GUILLERM.R, 2011]** Romaric Guillerm. Intégration de la sûreté de fonctionnement dans les processus d'ingénierie système. Automatique / Robotique. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2011. Français.

**[LANDY.G, 2007]** Gérard Landy, AMDEC Pratique, 2° édition, AFNOR, 2007

**[Megdiche M, 2004]** Megdiche M., Sûreté de fonctionnement des réseaux de distribution en présence de production décentralisée, Thèse de Doctorat en Génie Electrique, INP de Grenoble, Décembre 2004.

**[MORTUREAUX.Y, 2001]** MORTUREUX (Y.), La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques, Techniques de l'Ingénieur, [AG4 670], 2001.

**[N.I.A.I.S.T, 2014]** National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (N.I.A.I.S.T), User's Guide of SafeML 1.1, July, 2014

**[ONA, 2015]** ONA, Fiche technique de la STEP d'Ain El Houtz, 2015

**[PAGETTI.C, 2012]** Claire Pagetti – ENSEEIHT, support de cour Module de sureté de fonctionnement 3eme TR - option SE 10 décembre 2012

**[ROQUES.P, 2009]** Pascal Roques, Sysml par l'exemple, EYROLLES, 2009.

**[RODIER.J, 2009]** Jean RODIER, l'analyse de l'eau, 9<sup>o</sup> édition, DUNOD, 2009.

**[TITIERE.B, 2009]** Béatrice de Tilière, Analyses statistiques multi variées, 23 novembre 2009

## Webographies

<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/procedes-> ,consulté le 22/05/2017

[biologiques/procedes-a-cultures-libres/aide-a-l-analyse-des-dysfonctionnements](https://www.suezwaterhandbook.fr/biologiques/procedes-a-cultures-libres/aide-a-l-analyse-des-dysfonctionnements) , consulté le 05/05/2017

<https://www.nomagic.com/products/magicdraw> , consulté le 10/05/2017

<http://www.arbre-analyste.fr/doc/doku.php/accueil> , consulté le 16/05/2017

<https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2012-4-page-104.htm> , consulté le 02/06/2017

<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/clarificateur> , consulté le 18/04/2017

## Résumé

Cette étude présente une application de méthodes standards utilisées en milieu industriel sur une station d'épuration des eaux usées à boues activées de Ain El Houtz (Tlemcen, Algérie). Une analyse structurelle et fonctionnelle avec une vision Ingénierie système par le langage Sysml, une analyse de PARETO et une analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité (AMDEC) et une analyse par arbre de défaillances ont été appliquées sur le sous-système traitement biologique de la STEP. Elles ont permis d'établir des éléments critiques de la station (aérateur, digesteur) conduisant à une non-conformité des rejets (sortie De station).

## Abstract

This study presents an application of standard methods used in an industrial environment on an activated sludge treatment plant in Ain El Houtz (Tlemcen, Algeria). A structural and functional analysis with a System Engineering by Sysml language, a PARETO analysis and an analysis of the modes of failure, their effect and their criticality (FMEA) and a fault tree analysis were applied on the sub - biological treatment system of STEP. They made it possible to establish critical elements of the station (aerator, digester) leading to a non-conformity of the discharges (Station exit).

تهدف هذه إلى تطبيق الأساليب القياسية  
الميدان الصناعي  
المياه  
التي تعمل بالحما المنشط بمدينة عين (ولاية)  
تطبيق التحليل البنوي الوظيفي رؤية  
هندسية نظامية SysML وتحليل Pareto وتحليل  
والتأثير ومنها (AMDEC) وتحليل  
البيولوجية :  
( بالهواء، هاضم) يؤدي الامتثال والتوافق مع معايير الصرف ( )  
أجلها . مياه