

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie



قسم الري

Département d'Hydraulique

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

Master en Hydraulique.

Option : *Hydraulique Urbaine & Ouvrages Hydrauliques*

Stratégies d'amélioration du fonctionnement de la station d'épuration d'El Kerma-Oran

Présenté par :

M^r BEKHTAOUI Soufiane

&

M^{lle} BEDDAR Henea

Soutenu le : 21/06/2020, Devant les membres du Jury :

DEBBAL Mohamed Zakaria

MAA

Président

BOUMEDIENE Maamar

MCA

Examineur

BESSEDIK Madani

MCB

Encadreur

ABDELBAKI Chérifa

MCA

Co-encadreur

Promotion : 2019-2020

Remerciements

Au nom de Dieu, le Bienveillant, le Miséricordieux, la paix et la bénédiction soient sur le prophète Mohammad, sur sa famille et tous ses compagnons.

A l'occasion de la fin de ce travail, Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements à Allah, de nous avoir accordé la santé, l'engagement et le courage, la foi et la volonté d'achever ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement nos encadreurs Monsieur *BESSEDIK Madani* et Madame *ABDELBAKI Chérifa* pour leurs orientations, leurs encouragements, leurs disponibilités durant ce travail.

A notre président le jury, Monsieur *Debbal Mohammed Zakaria*, pour nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Nous remercions également Monsieur *Boumedienne Maamar* pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à la SEOR à travers de son directeur général et les chargés de techniques. Merci à toutes les personnes qui gèrent cette entreprise.

Mention très particulière à Mr *T. Mehdi*, chef de service de la station d'El Kerma pour l'hospitalité et la liberté que vous nous avez accordé dans votre service pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier également toute l'équipe de la STEP d'El Kerma, et en particulier Mr *GUERMIT Brahim*, merci de nous avoir guidés et merci pour votre générosité et votre gentillesse, que Dieu vous protège.

On ne peut pas clôturer cette liste de remerciements et de reconnaissances, sans exprimer nos profondes gratitude envers tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, merci.

Sans l'assistance d'*ALLAH* et de toutes ces personnes, ce travail, n'aurait pu voir le jour.

« *Que la paix soit sur vous* »

BEKHTAOUI & BEDDAR

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*À mes chers parents **M & F.***

« Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements, qui ont toujours été là pour moi, que Allah les protège »

*À mes chères sœurs **R & B,** je vous aime les filles.*

*Mon oncle cher **Miloud Y.***

*À mon neveu **Nizar. A.***

*La famille : **BEKHTAOUI,** La famille : **YAZID***

Proche et lointaine.

*À la mémoire de mes grand-mères, **Halima Y et Zahra. B.***

*À la femme que je considère comme ma grand-mère **Aicha Y.***

*À mon frère **Moussa B,** frères pour toujours Insha'Allah.*

*À mes chères amies, **Abderrahim B, Hicham G, Fettah M, Yassine A, Omar G,** et à tous les amis que je n'ai pas mentionnés.*

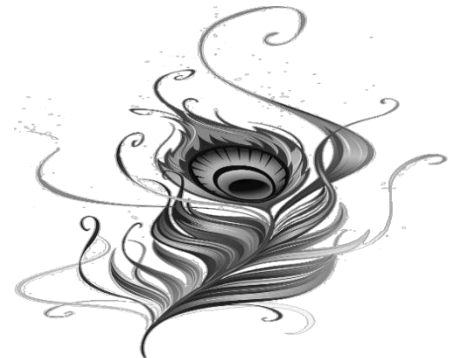
*À mon binôme **Hena. B.***

*À mes Collègues de promotion Hydraulique (**HU & OH**)*

À tous mes enseignants, qui m'ont suivie depuis mes premières années d'école jusqu'ici.

À toutes les personnes que je porte dans le cœur et qui se reconnaîtront car elles en font autant, mon respect et ma gratitude.

Et à tous ceux qui m'aiment... ♥



B. SOUFIANE

Dédicaces

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, Je tiens à présenter à ma chère **Mère** mes plus sincères et distinctes salutations, j'aimerai par-dessus tout lui montrer ma gratitude pour sa patience lors de mes périodes sombres.*

*Vient mon **Père**. L'amour de ma vie, sans qui je ne serai pas cette femme qui se tient debout ici. Merci pour l'éducation dont tu m'as fait part et surtout d'être présent dans ma vie.*

*Je tiens aussi à présenter mes salutations à mes deux sœurs **Iméne & Abir**, ainsi qu'à mes deux frères **Imad & Walid**. Merci d'être présent dans ma vie.*

*Aussi à mon beau-frère, **Abdou** & ma belle-sœur **Ibtissem***

*A mes neveux: **Mehdi-Amir & Wassim**, A ma nièce **Yasmine**.*

*A mon futur neveu **M^{ed} Sami**, je te souhaite le bienvenu chez la famille **Beddar**.*

*A ma cousine, **Miri** & mon cousin **Réda**.*

Merci à tous les membres de ma famille ainsi qu'à mon entourage d'avoir été comme vous aviez été avec moi.

*A mes collègues, mes ami(e)s, et surtout à ma chère, **SARAH**.*

*A mon binôme **Soufiane B**.*



Résumé

La station d'épuration d'El Kerma joue un rôle important dans le traitement des eaux usées de la ville d'Oran. Elle est conçue sur la base de traitement biologique à moyenne charge avec stabilisation des boues, son premier objectif est la dépollution des eaux rejetées dans la grande sebkha d'Oran. Depuis sa mise en service en 2011, cette station a connu plusieurs évènements indésirables qui ont causés des dysfonctionnements allant parfois jusqu'à son arrêt total. C'est dans ce sens que ce travail a été proposé et qui vise à identifier tous les dysfonctionnements rencontrés au niveau de la station d'épuration, en étudiant la variation des différents paramètres physico-chimiques et du processus (DCO, DBO₅, MES, Température, Conductivité, P_t, Ph, PO₄). Sur une série de données mensuelles de l'entrée et la sortie de la station d'épuration de deux ans d'exploitation (2018 et 2019). Et comme d'autres stations, cette station est exposée à de nombreux problèmes qui affectent ses performances, Leur gestion est difficile en raison de perturbations soudaines qui peuvent survenir et qui sont généralement difficiles à distinguer ou à prévoir. Dans ce travail, une analyse fonctionnelle des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité (AMDEC) a été appliquée pour ladite station. Elle nous a permis d'établir une liste des éléments critiques de la station. Cette méthode porte essentiellement sur l'identification des principaux dysfonctionnements qui affectent le bon fonctionnement et réduisent la fiabilité. Enfin une série de propositions d'améliorations, sous forme d'un plan de maintenance corrective et préventive et des recommandations, a été élaborée.

Mots clés : Dysfonctionnements, Sureté de Fonctionnement, Analyse des Modes de défaillance de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), STEP d'El Kerma, Actions correctives et Préventives, Performances Epuratoires.

Abstract

The treatment plant of Kerma plays an important role in wastewater treatment for the city of Oran. It is designed on the basis of medium-charged biological treatment with sludge stabilization; its first goal is to remove the water discharged into the sebkha of Oran. Since its operation in 2011, this plant has witnessed many undesirable events that have caused damage to the wastewater treatment plant in Kerma, the plant plays an important role in treating wastewater wastewater, and sometimes even reaches its complete closure. In this regard, it was done a proposal for this work which aims to identify all the imbalances encountered at the treatment plant level, by studying the various physical, chemical and treatment factors (COD, BOD₅, MES, Conductivity, Temperature, pH, PO₄). On a series of monthly data of entry and exit of the treatment plant over the course of two years of work (2018 and 2019).

Like any other stations, this station is exposed to many problems that affect its performance, their management is difficult due to sudden disturbances which can occur and which are generally difficult to distinguish or predict in general. In this work, a functional analysis of failure modes, their effect and their severity (FMEA) were applied for said station. It allowed us to establish a list of the critical elements of the station, this method essentially involves identifying the main malfunctions facing the treatment plant which affects proper functioning and reduces its reliability. Finally, a series of improvement proposals in the form of a corrective and preventive maintenance plan or recommendations was developed.

Keywords: Malfunctions, Operational safety, Dependability Failure mode and effect analysis (FMEA), Wastewater treatment plant of KERMA, Corrective and preventive actions, Treatment performance.

المخلص

تلعب محطة المعالجة بالكرمة دورًا مهمًا في معالجة مياه الصرف الصحي بمدينة وهران. تم تصميمها على أساس المعالجة البيولوجية المتوسطة الشحنة مع تثبيت الحمأة، وهدفها الأول هو إزالة المياه التي يتم تصريفها في السبخة بوهران. منذ تشغيلها في عام 2011، شهدت هذه المحطة العديد من الأحداث غير المرغوب فيها التي تسببت في ضررها، تلعب المحطة دورًا مهمًا في معالجة مياه الصرف الصحي المتدهورة، وأحيانًا تصل إلى حد إغلاقها الكامل. وبهذا الصدد، تم اقتراح هذا العمل والذي يهدف إلى تحديد جميع الاختلالات التي تمت مواجهتها على مستوى محطة المعالجة، من خلال دراسة مختلف العوامل الفيزيائية والكيميائية والمعالجة (MES، DBO₅، DCO) ، الموصلية، درجة الحرارة، درجة الحموضة، PO₄). على سلسلة بيانات شهرية حول دخول وخروج هذه العوامل من محطة المعالجة لمدة عامين من العمل (2018 و2019). ومثل المحطات الأخرى، تتعرض هذه المحطة للعديد من المشاكل التي تؤثر على أدائها، وتكون إدارتها صعبة بسبب الاضطرابات المفاجئة التي يمكن أن تحدث والتي يصعب تمييزها أو التنبؤ بها بشكل عام. في هذا العمل، تم تطبيق تحليل وظيفي لأوضاع الفشل وتأثيرها وخطورتها (AMDEC) للمحطة المذكورة. سمح لنا بوضع قائمة بالعناصر الحاسمة للمحطة. تتعلق هذه الطريقة بشكل أساسي بتحديد الأعطال الرئيسية التي تؤثر على الأداء السليم وتقلل من الموثوقية. وأخيرًا، تم تطوير سلسلة من مقترحات التحسين، في شكل خطة وتوصيات الصيانة التصحيحية والوقائية.

الكلمات المفتاحية: الأعطال، السلامة التشغيلية، تحليل أوضاع الفشل وتأثيراتها وخرجتها (AMDEC) ، محطة معالجة المياه الكرامة، الإجراءات التصحيحية والوقائية، أداء العلاج.

Liste Des Abréviations

AdD:	Arbres de défaillance.
ADE:	Algérienne des Eaux.
AEEL:	Analyse des effets des erreurs logicielles.
AMDEC:	Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité.
AMDE:	Analyse des modes de défaillance, de leurs effets.
APR:	Analyse préliminaire des risques.
BDF:	Blocs diagrammes fonctionnels.
CTC:	Contrôle technique de la construction.
Cond :	La conductivité.
Covide-19 :	Corona virus.
DBO₅:	Demande biologique en oxygène.
DCO:	Demande Chimique en Oxygène (mg/l).
EQH:	Equivalent habitant.
E/S :	Entrée /Sortie.
FMDS:	Fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité.
F, G, D, C:	Fréquence, Gravité, Détection, Criticité.
GM :	Graphes de Markov.
HCR:	Human Cognitive Response technique.
H₂S:	Hydrogène sulfide.
HEAR:	Human Error Assessment and Reduction Technique.
MTTR:	Mean Time To Repair.
MTTF:	Mean Time To [first] Failure.
MDT:	Mean Dawn Time.
MUT:	Mean Up Time.
MTBF:	Mean Time Between Failures.
MES:	Matière En Suspension (mg/l).
MVS:	Matière volatile sèche (mg/l).
NH₄⁺-N :	Ammonium Nitrogène.

Nt:	Azotes Total.
NTK:	Azotes Kjeldahl.
O₂:	L'oxygène.
ONA:	Office National de l'Assainissement.
OMS :	Organisation mondiale de la santé.
Pt:	Phosphore total.
PO₄:	Phosphore.
pH :	Potentiel Hydrogène.
RPS:	Réseaux de Petri stochastiques.
SDF:	Sûreté de Fonctionnement.
SADT:	System analysis and design technique.
SEOR:	Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran.
STEP:	Station d'épuration.
T :	Température.

Liste Des Figures

- Figure I.1:** Les procédés de traitement des eaux usées.
- Figure I.2 :** Un dégrilleur.
- Figure I.3 :** Principe de dessablage et de dégraissage / déshuilage.
- Figure I.4 :** Schéma d'un décanteur primaire.
- Figure I.5 :** Procédée biologique par boues activées.
- Figure I.6:** Bassin d'aération / décanteur secondaire (Clarificateur).
- Figure I.7 :** Schéma d'une STEP intégrant l'ensemble des étapes de traitement.
- Figure I.8 :** Bactéries filamenteuses.
- Figure I.9 :** Les Mousses biologique en surface de bassin d'aération.
- Figure I.10:** Mousse blanche de détergents en surface de bassin d'aération.
- Figure I.11:** L'entretien d'un bassin d'une station d'épuration.
- Figure II.1 :** La sûreté de fonctionnement.
- Figure II.2:** Notion de SDF en fonction du temps.
- Figure II.3 :** Types de fiabilités.
- Figure II.4 :** Schéma représentant les différents facteurs de la sureté de fonctionnement.
- Figure II.5 :** Quelques indicateurs.
- Figure II.6 :** Études de la sûreté de fonctionnement d'un système.
- Figure II.7 :** Analyse de la sûreté de fonctionnement.
- Figure II.8:** Relation entre la défaillance et l'état d'un système.
- Figure II.9 :** Exemple d'un arbre de défaillance.
- Figure II.10 :** Les étapes de l'AMDEC.
- Figure II.11 :** Méthode d'analyse de l'AMDEC.
- Figure II.12 :** Diagramme de Causes-Effets.
- Figure III.1 :** Carte de localisation de STEP D'El Kerma-Oran.
- Figure III.2 :** Schéma d'implantation des équipements.
- Figure III.3 :** Dégrilleur fin mécanique.
- Figure III.4:** Dessableur/ déshuileur.
- Figures III.5:** Décanteur primaires.
- Figure III.6 :** Bassin d'aération de la station d'épuration.
- Figure III.7 :** Décanteur secondaire.
- Figure III.8 :** Bassin de désinfection.
- Figure III.9 :** Vis d'Archimède.
- Figure III.10 :** Epaissement primaire.
- Figure III.11 :** Bassin D'Homogénéisation.
- Figure III.12 :** Digesteur anaérobie.
- Figure III.13:** Evolution journalière de Débit à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année2018.

- Figure III.14:** Evolution journalière de Débit à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure III.15:** Evolution journalière de la T°C à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2018.
- Figure III.16:** Evolution journalière de la T°C à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure III.17:** Evolution journalière de la PH à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2018.
- Figure III.18:** Evolution journalière de la PH à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure III.19:** Evolution journalière de conductivité à l'entrée et à la sortie de la station Pour l'année 2018.
- Figure III.20:** Evolution journalière de conductivité à l'entrée et à la sortie de la station Pour l'année 2019.
- Figure III.21:** Evolution journalière de DCO à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2018.
- Figure III.22:** Evolution journalière de DCO à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure III.23:** Evolution journalière de DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2018.
- Figure III.24:** Evolution journalière de DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure III.25:** Evolution journalière de MES à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2018.
- Figure III.26:** Evolution journalière de MES à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure III.27:** Evolution journalière de PO₄ à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2018.
- Figure III.28:** Evolution journalière de PO₄ à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure III.29:** Evolution journalière de Pt à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2018.
- Figure III.30:** Evolution journalière de Pt à l'entrée et à la sortie de la station pour L'année 2019.
- Figure IV.1 :** Schéma d'implantation des équipements d'el KERMA-Oran.

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 :	Couleurs des flottants et leur origine.
Tableau I.2 :	Autres incidents susceptibles dans une STEP.
Tableau I.3 :	Les rôles des personnes dans la STEP.
Tableau II.1 :	Le tableau AMDEC.
Tableau II.2 :	Gravité.
Tableau II.3 :	Fréquence.
Tableau II.4 :	Non Détection.
Tableau II.5 :	Niveau de criticité et actions correctives à engager.
Tableau III.1:	Les différents débits des eaux usées dans la STEP d'El Kerma.
Tableau III.2 :	La charge massique de différentes paramétrées physico-chimiques.
Tableau III.3 :	Les dimensions de l'ouvrage dessableur-déshuileur.
Tableau III.4 :	Dimensions d'un bassin d'aération.
Tableau IV.1 :	Indice de criticité.
Tableau IV.2 :	Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités D'El KERMA.
Tableau IV.3 :	Guide d'exploitation pour la STEP d'El Kerma.

Tables Des Matières

REMERCIEMENTS

Dédicaces

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLE DE MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE I : LES DYSFONCTIONNEMENTS SUSCEPTIBLES DANS LES STATIONS D'EPURATIONS A BOUES ACTIVEES.

I.	Introduction.....	3
II.	Procédé de traitement des eaux usées.....	3
II.1.	La nécessité de l'épuration.....	3
II.2.	Les étapes de traitement	4
II.2.1.	Prétraitement.....	4
II.2.1.1.	Dégrillage	5
II.2.1.2.	Dessablage et dégraissage.....	6
II.2.1.3.	Décantation primaire.....	6
II.2.2.	Traitements biologiques.....	7
II.2.2.1.	Boues activées	7
II.2.2.2.	Lit bactérienne.....	8
II.3.	Traitement de clarification.....	8
II.4.	Traitement tertiaire.....	9
III.	Les dysfonctionnements susceptibles dans les STEP.....	10
III.1.	La nature de l'eau usée et le réseau.....	10
III.2.	Problème d'entretien.....	11
III.2.1.	Vieillessement des boues.....	11

III.2.2.	Bouchage de conduites.....	11
III.3.	Dysfonctionnements du traitement primaire.....	11
III.4.	Le non-respect des normes.....	12
III.5.	Dysfonctionnements liés aux traitements biologiques à boues activées.....	13
III.5.1.	Problèmes biologiques.....	13
III.5.1.1.	Bactéries filamenteuses.....	13
III.5.1.2.	Les mousses biologiques.....	14
III.5.1.3.	Les moussages de démarrage.....	15
III.5.1.4.	Les matières flottantes (instable).....	16
III.5.1.5.	Fermentation des boues.....	17
III.5.1.6.	Débordement de lit de boue.....	17
III.5.1.7.	Remontée de boues.....	18
III.5.2.	Problèmes mécaniques.....	18
III.5.2.1.	Problèmes d'aération.....	18
III.5.2.2.	Dysfonctionnement lié aux agitateurs.....	19
III.5.3.	Autres incidents et remèdes dans le fonctionnement d'une STEP.....	20
IV.	Gestion et entretien d'exploitation de la STEP.....	22
IV.1.	La gestion de la station d'épuration.....	22
IV.2.	Les objectifs de la gestion de la station d'épuration.....	23
IV.3.	Mesures et contrôles effectués au niveau de la STEP	23
IV.4.	Contrôle de fonctionnement des ouvrages de traitement.....	24
IV.4.1.	Contrôle journalier.....	24
IV.4.2.	Contrôles périodiques.....	25
V.	CONCLUSION.....	27

Chapitre II : NOTIONS ET CONCEPTS DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT.

I.	Introduction.....	28
II.	Généralité sur la sureté de fonctionnement.....	28
II.1.	Qu'est-ce que la sureté de fonctionnement.....	28
II.2.	Bref historique	28

II.3.	Les fondamentaux de la sûreté de fonctionnement.....	29
II.3.1.	Quatre composantes.....	29
II.3.1.1.	La fiabilité.....	31
II.3.1.2.	Maintenabilité.....	32
II.3.1.3.	Disponibilité.....	32
II.3.1.4.	Sécurité.....	33
II.3.2.	Quelques indicateurs.....	33
II.4.	Les études de sûreté de fonctionnement.....	34
II.4.1.	Etape par étape.....	35
II.4.2.	Etudes périphériques.....	36
II.4.3.	En pratique.....	36
II.5.	Les outils utilisés.....	37
III.	Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)....	39
III.1.	Généralité sure AMDEC... ..	40
III.1.1.	Définition.....	40
III.1.2.	Historique de L'AMDEC.....	40
III.1.3.	Principe et objectif DE L'AMDEC.....	41
III.1.4.	Dans quel but utiliser l'AMDEC.....	42
III.1.5.	Les types de la méthode AMDEC.....	42
III.1.5.1.	AMDEC-Produit.....	42
III.1.5.2.	AMDEC-Process.....	42
III.1.5.3.	AMDEC- Moyen de production.....	43
III.2.	Les étapes de l'AMDEC.....	43
III.2.1.	L'équipe de travail.....	43
III.2.2.	L'analyse fonctionnelle	44
III.2.3.	L'étude qualitative des défaillances.....	44
III.2.3.1.	La cause.....	44
III.2.3.2.	Le mode de défaillance.....	45
III.2.3.3.	L'effet	46
III.2.3.4.	Grille AMDEC.....	46
III.2.4.	L'étude quantitative.....	47

III.2.4.1.	La gravité.....	47
III.2.4.2.	La fréquence.....	47
III.2.4.3.	La non-détection.....	47
III.2.4.4.	Criticité.....	48
III.2.5.	La hiérarchisation.....	48
III.2.6.	Les actions.....	48
III.3.	Application et les limites de l'AMDEC.....	49
III.3.1.	Les limites d'AMDEC.....	49
III.3.2.	Domaines d'application.....	49
III.4.	Les avantages généraux de la méthode AMDEC.....	50
III.4.1.	La satisfaction du client.....	50
III.4.2.	Le pilotage de l'amélioration continue.....	50
III.4.3.	L'amélioration de la communication	50
III.4.4.	L'amélioration de la stabilité des produits, procédés, services, machines.....	51
III.4.5.	La réduction des coûts.....	51
III.4.6.	L'optimisation des contrôles.....	51
III.4.7.	L'élimination des causes de défaillances.....	51
III.4.8.	L'expérience écrite.....	51
IV.	Conclusion.....	51

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

I.	Introduction.....	52
II.	Présentation de la Station d'épuration d'El Kerma-Oran.....	52
III.	Description du procès de traitement de la station d'El Kerma.....	53
III.1.	Données de base.....	54
III.1.1.	Débit eau usée.....	54
III.1.2.	Charge polluante.....	54
III.2.	Description des installations de la STEP traitement des eaux.....	55
III.2.1.	By- pass (déversoirs d'orage)	55

III.2.2.	Le dégrillage.....	55
III.2.3.	Le dessablage et déshuilage.....	56
III.2.4.	Décantation primaire.....	57
III.2.5.	Traitement biologique.....	58
III.2.6.	Décantation secondaire (clarification).....	59
III.2.7.	Désinfection.....	60
III.3.	Description du traitement des boues.....	61
III.3.1.	Recirculation des boues.....	61
III.3.2.	Epaississement des boues primaires.....	62
III.3.3.	Boues en excès (boues secondaires)	62
III.3.4.	Digestion anaérobie de la boue	63
III.3.5.	Déshydratation mécanique.....	64
III.3.6.	Production de gaz.....	64
IV.	Performances de la station d'épuration d'El Kerma.....	65
IV.1.	Analyse des débits.....	66
IV.2.	Température.....	68
IV.3.	Le potentiel d'hydrogène.....	70
IV.4.	La conductivité.....	73
IV.5.	Demande chimique en oxygène (DCO).....	76
IV.6.	Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	79
IV.7.	Matières en suspension (MES)	82
IV.8.	Phosphor (PO ₄).....	85
IV.9.	Phosphor total Pt.....	88
IV.	Conclusion.....	91

CHAPITRE IV : L'application de l'AMDEC sur la STEP d'EL KERMA-ORAN.

I.	Introduction.....	92
II.	Fonctionnement de la STEP	92
III.	Dysfonctionnements rencontrés dans la station d'épuration d'El KERMA	95
IV.	Proposition d'un planning d'exploitation pour la STEP d'El KERMA.....	126

V. Conclusion.....136

CONCLUSION GENERALE.....137

BIBLIOGRAPHIES

ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est le moteur de la nature. C'est l'élément vital de l'humanité, de notre économie et de notre bien-être. En d'autres termes, l'eau c'est la vie. Chaque goutte nous coûte cher. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, est d'un grand intérêt général. Une chose est sûre : le problème de l'eau est étudié dans les quatre coins du monde, car elle constitue le vecteur majeur du développement durable. Sans omettre, la question de la récupération des eaux usées, qui est désormais une nécessité en raison de la population massive et de la croissance industrielle.

Comme mesure d'atténuation de la pollution, l'épuration des eaux usées constitue une alternative crédible pour dépolluer ces eaux, et ainsi assurer la protection et la préservation de l'environnement. Cette opération se résume en une série de processus qui éliminent les polluants des eaux usées afin qu'elles puissent être réutilisées en toute sécurité ou réintégrées dans le cycle de l'eau avec un minimum d'impact environnemental.

Comme dans tous les process industriels, les différentes installations et équipements de la station se dégradent sous l'action de multiples causes ; mauvais fonctionnement, surcharge en fonctionnement, action de facteurs corrosifs, chimiques, naturels...etc. Ces dégradations peuvent entraîner des dysfonctionnements, de mauvais traitements, une réduction de la production, des surcoûts en général.

L'analyse des risques de défaillance fait donc maintenant partie intégrante des outils pour valider l'état d'une unité de traitement. Une étude approfondie doit être réalisée pour identifier et connaître ces dysfonctionnements, et maîtriser leurs risques. Cela nécessite une compréhension encore meilleure des équipements et des différents problèmes que nous pourrions rencontrer. Et donc ceci nous permettra de prendre les mesures préventives pour réduire cela avant qu'il ne soit trop tard, et permettre du coût d'assurer le bon fonctionnement des équipements et des outils de production, et en finalité le maintien la qualité de production.

En réalité, il existe plusieurs méthodes et outils qui permettent de garantir ce modus operandi. Dans notre étude de cas de la station d'épuration d'El Kerma (Willaya d'Oran), nous avons opté pour l'AMDEC, qui constitue un outil d'aide à l'identification et la classification des différents dysfonctionnements, susceptibles de nuire à la capacité de traitement de ladite station. Cette méthode d'analyse permettra à la fin de proposer des mesures correctives, qui doivent être mis en place pour éviter toute défaillance, au cas où le mode de défaillance se déclare.

Pour réaliser ce travail, nous avons dû effectuer un stage de 15 jours (du 16/02/2020 au 01/03/2020), dans la station d'épuration par boues activées d'El Kerma, afin d'évaluer les performances épuratoires. Durant notre séjour, nous nous sommes familiarisés avec

INTRODUCTION GENERALE

l'environnement de la station, en suivant les différentes étapes et phases de la dépollution des eaux usées. Ce qui nous a permis d'observer et analyser le fonctionnement et l'exploitation de la station, et ainsi nous avons pu identifier les dysfonctionnements existants.

Les objectifs de cette étude sont :

- Diagnostiquer la station pour identifier les dysfonctionnements existants.
- Proposer des solutions pour améliorer le rendement de la station.

Ce travail est divisé en deux parties :

❖ **La partie théorique contient deux chapitres (chapitre 1 & 2) :**

Le premier chapitre parle de tous les dysfonctionnements susceptibles de se produire dans les stations d'épuration à boues activées. Le deuxième se compose de deux parties : la première traite des notions générales de la sûreté de fonctionnement, alors que la deuxième explique d'une manière détaillée la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) utilisée dans cette étude.

❖ **La partie pratique : contient deux chapitres (chapitre 3 & 4) :**

Chapitre 3 : il se charge de la présentation et de la description d'El Kerma avec l'analyse des performances de la station.

Chapitre 4 : L'application de la méthode d'AMDEC pour classer les principales défaillances selon leurs nombres d'occurrence et leurs degrés de gravité, puis établir des actions correctives et amélioratives pour elles.

« Whene the well's dry, we know the worth of water »

Benjamin Franklin

Chapitre I :

Les dysfonctionnements susceptibles dans les stations
d'épurations à boues activées

I. Introduction :

Les eaux usées arrivant en station d'épuration peuvent provenir du réseau d'eau pluviale, des habitations (WC, douches, éviers...), des hôpitaux, des industries (papetière, agroalimentaire, pharmaceutique, chimique...), de la restauration, d'abattoirs, d'élevages, etc. L'eau peut donc contenir des micro-organismes d'origine environnementale, humaine, animale ou industrielle. Certains de ces micro-organismes vivent et se nourrissent en dégradant les polluants présents dans l'eau. Cette propriété est exploitée dans les stations d'épuration, En fin d'épuration, les boues sont séparées de l'eau traitée qui est rejetée dans le milieu nature [1], les différentes étapes du traitement des eaux usées et les principales tâches effectuées sont les suivantes :

- Prétraitement.
- Traitement biologique.
- Traitement tertiaire.

II. Procédé de traitement des eaux usées :

II.1. La nécessité de l'épuration :

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable, La STEP est une installation qui sert à dépolluer l'eau usée pour éviter la destruction totale des écosystèmes aquatiques et naturels due aux effluents pollués [2].

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) [3].

Donc une station d'épuration a plusieurs objectifs :

- Protection de santé publique ;
- Protection des sources naturelle d'eau potable ;
- Protection de system aquatique ;
- Protection des terrains adjacents [2].

II.2. Les étapes de traitement :

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible [4].

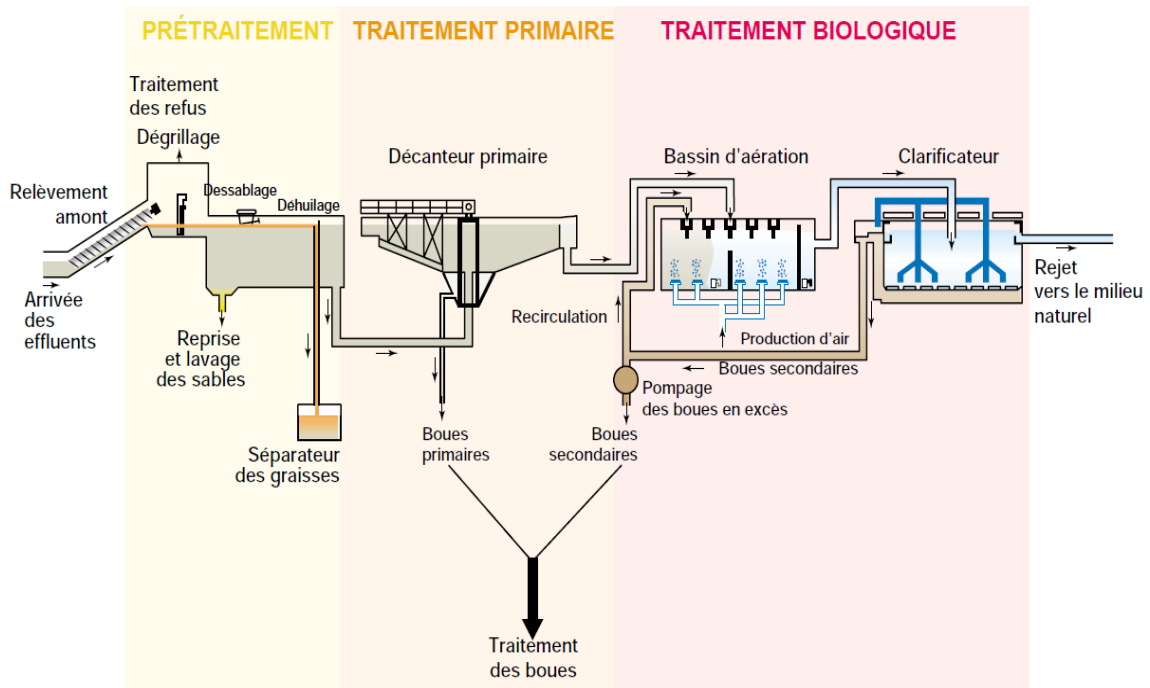


Figure I.1 : Les procédés de traitement des eaux usées [5].

II.2.1. Prétraitement :

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Selon la nature des eaux à traiter et la conception des installations, le prétraitement peut comprendre les opérations : (le dégrillage), principalement pour les déchets volumineux, (le dessablage) pour les sables et graviers et (le dégraissage-déshuilage ou d'écumage-flottation) pour les huiles et les graisses [4].

II.2.1.1. Dégrillage :

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses et flottantes charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer leur exécution. Le dégrillage permet aussi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Les éléments retenus sont, ensuite, éliminés avec les ordures ménagères.

Cette opération est effectuée si possible avant la station de relevage afin de protéger les pompes de relevage et de ne pas gêner le fonctionnement des étapes ultérieures du traitement. Pour se faire, il existe trois types de dégrilleurs :

- Le pré-dégrillage grossier dont les barreaux des grilles sont espacés de 30 à 100 mm ;
- Le dégrillage moyen de 10 à 30 mm ;
- Le dégrillage fin moins de 10 mm.

Les grilles peuvent être verticales, mais sont le plus souvent inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale [4].

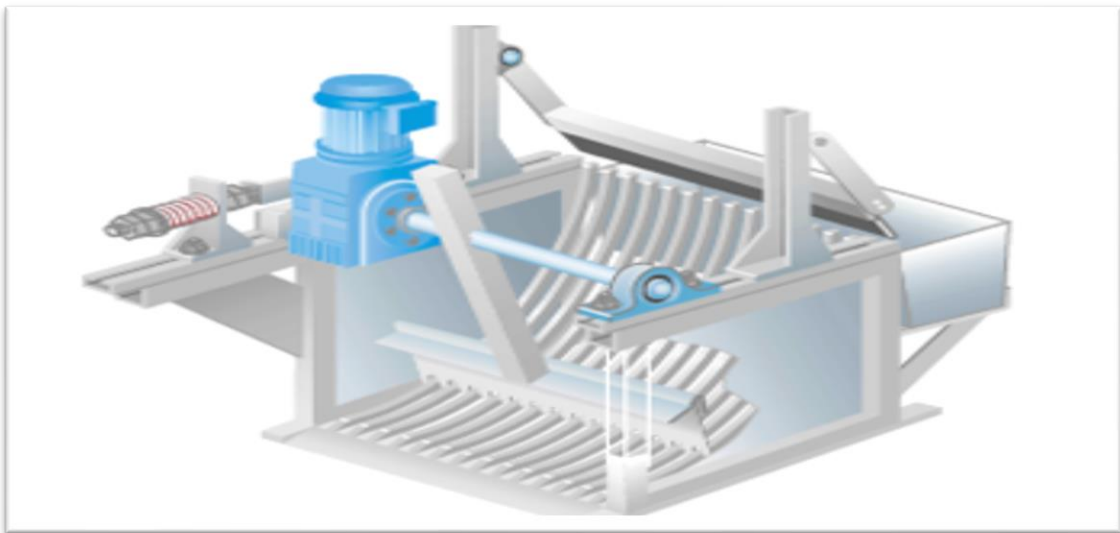


Figure I.2 : Un dégrilleur [6].

II.2.1.2 Dessablage et dégraissage :

Le but du dessablage est d'éliminer les matières anorganiques lourdes, qui se décantent facilement, des eaux usées afin de prévenir des dégâts à l'installation mécanique ou une sédimentation dans les installations en aval.

Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale de graisses et un dépôt minimal de boues. Cette préparation des effluents facilitera l'épuration des effluents en aval, en réduisant le colmatage et en évitant une certaine inhibition des processus biologiques.

Le sable est enlevé continuellement à moyen de racleurs et émulseurs à l'air ou bien périodiquement en pelletant le sable manuellement. La graisse est évacuée par un racleur de surface [2].

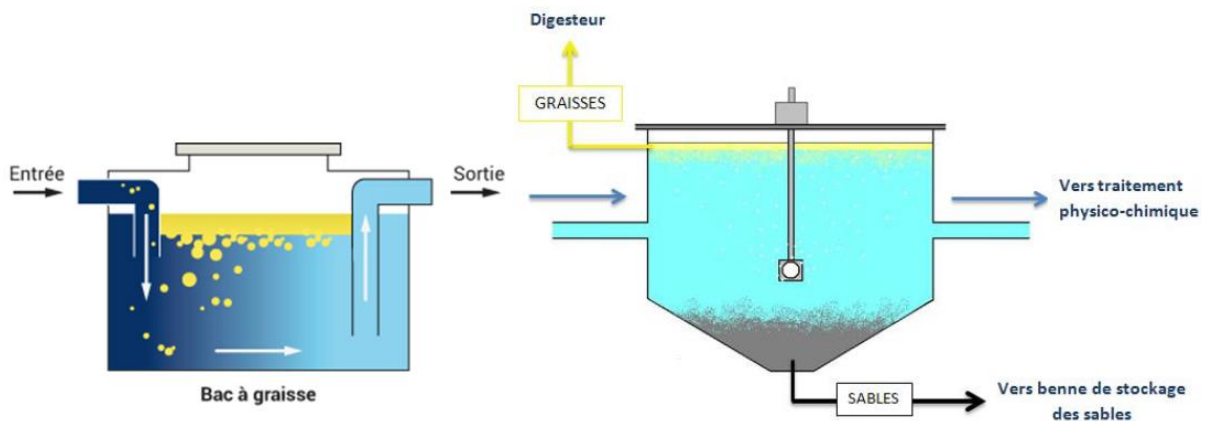


Figure I.3 : Principe de dessablage et de dégraissage - déshuilage [7] [8].

II.2.1.3. Décantation primaire :

Lorsque le rapport DCO/DBO_5 est très grand ($DCO/DBO_5 > 3$) : l'effluent n'est pas biodégradable), il traduit la présence en grande quantité dans l'eau d'éléments chimiques non biodégradables. La valeur de ce rapport détermine le choix de la filière à mettre en place [9].

La décantation primaire permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des particules solides en suspension de diamètre inférieur à 0,2mm. On fait circuler l'eau lentement dans un bassin où on racle et aspire périodiquement les particules rassemblées au fond.

L'efficacité de ce traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle. La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m³/h, 40 à 60

% des MES, soit 10 à 30 % des virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires [10].

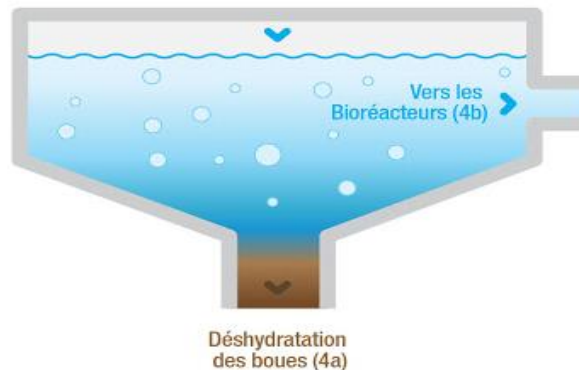


Figure I.4 : Schéma d'un décanteur primaire [11].

II.2.2. Traitements biologiques :

Le traitement secondaire est essentiellement une oxydation biologique des matières dissoutes. Les agents de cette oxydation sont des microorganismes, en particulier des bactéries aérobies, susceptibles de se nourrir des matières organiques présentes dans les eaux usées. Les installations de traitement secondaires se présentent donc comme des bassins de culture où l'on met en contact une population bactérienne et l'effluent à traiter en présence d'oxygène.

Deux familles de procédés sont utilisées pour ce type de traitement : l'une dite Boue activée et l'autre lit bactérienne [3].

II.2.2.1. Boues activées :

Ces bassins appelés aussi bassins d'oxydation mettent en œuvre une biomasse bactérienne libre associée en flocons. Ces flocons de boues comprennent des microorganismes hétérotrophes et autotrophes nitrifiants lorsque le temps de séjour de la boue est suffisant pour que leur multiplication produise une biomasse active dans le traitement.

Un procédé à boues activées visant à éliminer les matières organiques (pollution carbonée, parfois azotée et/ou phosphatée) comprend les éléments suivants :

- Bassin d'aération, une à quatre phases sont réalisées dans ce bassin, selon le type et le niveau de traitement souhaité ;

- Dans tous les cas, un bassin avec apport d'air (turbine ou diffusion de micro bulles) de manière à obtenir une teneur en oxygène dissous suffisante pour l'activité biologique afin de permettre l'élimination du carbone et, si besoin, la nitrification des composés azotés ;
- Dans le cas du traitement de l'azote, une ou deux étapes anoxiques permettant de dénitrifier les composés azotés ;
- Dans le cas du traitement du phosphore par voie biologique, une étape anaérobie (généralement en amont de tous les autres bassins) ;
- Dans le cas du traitement de l'azote, une recirculation des boues mixtes du bassin aéré vers le 1er bassin anoxique.

-bassin de décantation secondaire (dit aussi clarificateur) [3].

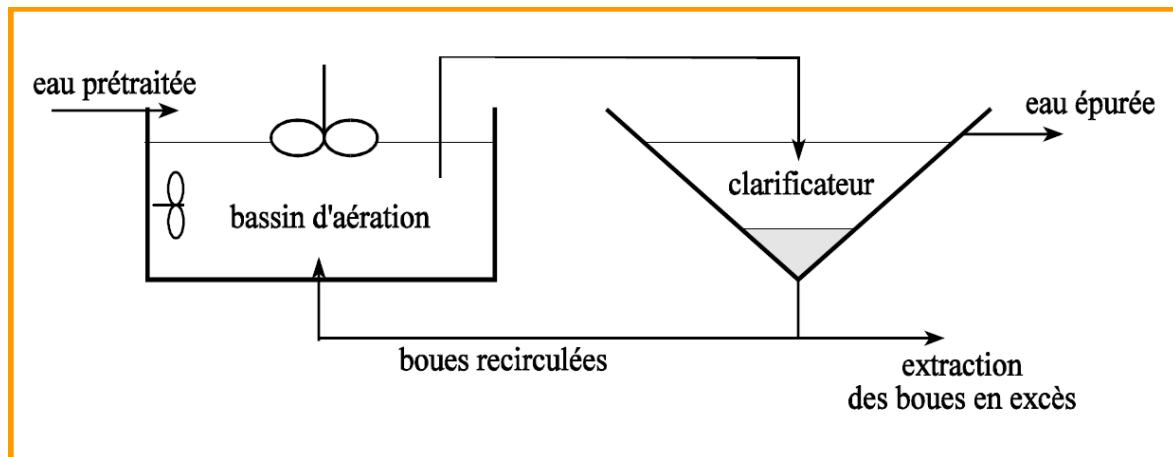


Figure I.5 : Procédée biologique par boues activées [12].

II.2.2.2. Lit bactérienne :

Cette technique consiste à faire supporter les micro-organismes épurateurs par des matériaux poreux ou caverneux. L'eau à traiter est dispersée en tête de réacteur et traverse le garnissage et peut être reprise pour une recirculation. La surface d'encombrement au sol est limitée, et le coût en énergie peu élevé. Néanmoins, elle nécessite des volumes réactionnels importants et entraîne l'émanation d'odeurs [3].

II.3. Traitement de clarification :

Est une étape essentielle, elle intervient après le traitement biologique ou chimique.

CHAPITRE I : LES DYSFONCTIONNEMENTS SUSCEPTIBLES DANS LES STATIONS D'EPURATIONS A BOUES ACTIVEES

La clarification permet de séparer par décantation l'eau épurée des boues « secondaires » issues du traitement biologique. Cette décantation se fait dans des ouvrages spéciaux, le plus souvent circulaires, appelés clarificateurs ou décanteurs secondaires.

Une partie des boues « secondaires » est évacuée en aval vers le traitement des boues ; l'autre partie est recyclée vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation. Dans la plupart des cas, l'effluent peut être rejeté dans le milieu naturel après la clarification. Le rejet se fait par un canal équipé de capteurs de mesure pour l'auto surveillance de la station [6].



Figure I.6 : Bassin d'aération - Décanteur secondaire (Clarificateur) [13].

II.4. Traitement tertiaire :

On entend par "traitement tertiaire", tout traitement physique, chimique ou biologique qui vient suppléer les traitements primaire et secondaire.

Les traitements tertiaires possibles sont nombreux et peuvent, dans certains cas, constituer une chaîne plus ou moins complexe ; tout dépend de l'usage qu'on fera de l'eau traitée.

Dans le cas des rejets en rivière, ils se limitent, au plus, à la désinfection, au déphosphatation et à la dénitrification ; en revanche, quand il s'agit de recycler l'eau, on fait appel aux diverses chaînes de traitement conçues pour préparer les eaux de consommation : coagulation, adsorption sur charbon actif, échange ionique, oxydation, désinfection... etc. [3].

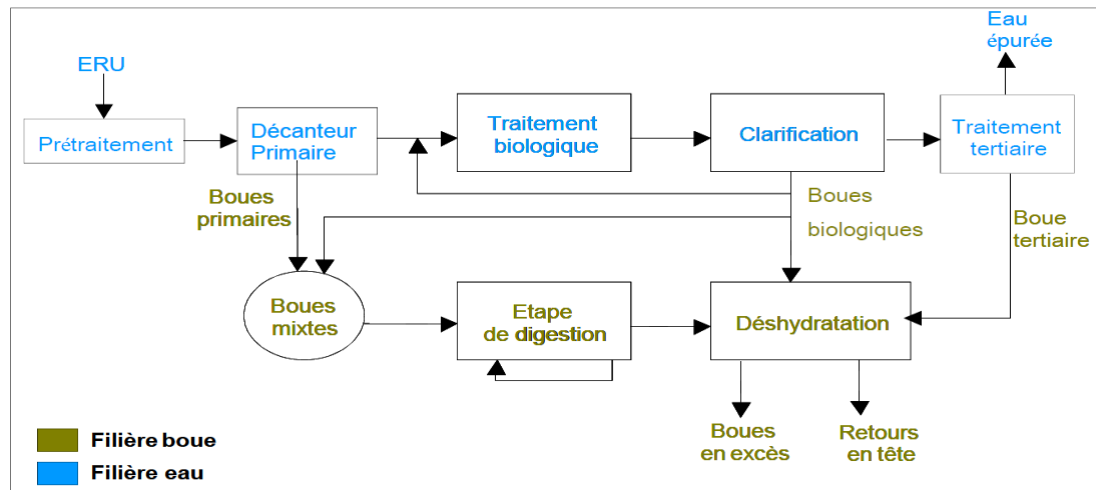


Figure I.7 : Schéma d'une STEP intégrant l'ensemble des étapes de traitement [14].

III. Les dysfonctionnements susceptibles dans les STEP :

Plusieurs types de dysfonctionnements peuvent apparaître sur une station d'épuration à boues activées. C'est le cas notamment des problèmes biologiques qui vont souvent de paire avec les difficultés de décantation, point faible des stations à boues activées. Dysfonctionnements entraînant une détérioration des performances et de la qualité des rejets. Par dysfonctionnement, on entend tout écart par rapport au fonctionnement normal de l'installation, que l'on peut constater sur la chaîne de traitement (mousse, flottant, gonflement de boue, etc.) ou sur l'eau traitée (turbidité, mauvais résultat d'analyse). Les dysfonctionnements rencontrés sur les stations d'épuration à boues activées sont multiples et ont plusieurs origines [2].

III.1. La nature de l'eau usée et le réseau :

Les rejets industriels doivent être contrôlés et les rejets de graisses, saumure, métaux lourds, toxiques (phénols, cyanures) dans les réseaux doivent être proscrit.

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.

Sur les longs réseaux, on peut envisager des postes de traitement (injection d'oxydants, de sels métalliques).

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 [15].

III.2. Problème d'entretien :

Toute station d'épuration doit faire l'objet d'une surveillance attentive. L'entretien ne se limite pas seulement au nettoyage des installations, mais aussi au contrôle de la performance des appareils et de la qualité du traitement dans l'ensemble. L'absence d'un tel entretien a fait surgir plusieurs problèmes dont les plus importants sont : le vieillissement des boues et le bouchage de certaines conduites [16].

III.2.1. Vieillissement des boues :

Par suite d'un fonctionnement de la station d'épuration sans extraction de boues, celles en excès se sont accumulées dans les bassins où elles vieillissent à la longue. L'aspect noirâtre de l'effluent dans les bassins indique bien ce phénomène. Le vieillissement des boues a pour conséquence de diminuer l'efficacité du traitement à savoir le pourcentage d'enlèvement de la DBO₅ [16].

III.2.2. Bouchage de conduites :

Le manque d'entretien des installations est cause du bouchage de conduites, notamment celle reliant les bassins de décantation primaire à l'une des lagunes. Ce qui fait qu'une seule lagune fonctionne normalement d'où une baisse de performance d'une station [16].

III.3. Dysfonctionnements du traitement primaire :

La présence d'un décanteur primaire est un facteur favorable au développement filamenteux pour deux raisons principales :

- Le faible lestage du floc par diminution de la fraction particulaire ;
- L'état de carence nutritionnelle (carbone) aggravée pour les bactéries du floc du bassin d'aération.

Une proportion élevée (supérieure à 50 %) de DCO soluble de l'effluent d'entrée engendre un floc léger, peu leste. De plus, cette fraction peut être constituée de composés facilement assimilables, éléments favorables à certaines bactéries filamenteuses. De manière générale, la fraction soluble de la DCO représente 30 % de la DCO totale.

Les matières en suspension ont un effet doublement positif sur la décantabilité de la boue, elles favorisent :

- La structure, la cohésion et le lestage du floc ;

CHAPITRE I : LES DYSFONCTIONNEMENTS SUSCEPTIBLES DANS LES STATIONS D'EPURATIONS A BOUES ACTIVEES

- Une meilleure accessibilité et une augmentation de la disponibilité en substrat pour les bactéries du floc [17].

Un rapport MES entrée/DBO₅ de l'ordre de 1 est normal. De faibles concentrations en MES, (inf. à 100 mg. l⁻¹ ou rapport MES/DBO₅ inférieur ou égal à 0,4) correspondent en général à des stations équipées de décanteur primaire ou recevant des effluents industriels chargés en matière organique soluble.

Toutefois, dans le cas où un décanteur primaire est retenu, la possibilité d'un by-pass partiel et modulable doit être prévue (lestage du floc). Le surdimensionnement de l'ouvrage est à éviter afin de limiter le temps de séjour de l'eau (maximum de deux heures) [17].

Une extraction régulière des boues est nécessaire afin de maintenir un faible volume de boue en fond du décanteur. Le maintien d'une concentration en boue inférieure à 15 g.l⁻¹ permet de limiter le temps de séjour de la boue.

Le décanteur primaire ayant souvent vocation à être une étape de finition des prétraitements, les flottants devront être évacués régulièrement vers la filière boue et non retournés en tête de station.

En cas de sous-charge de l'installation et dans la mesure du possible, il est fortement souhaitable de by-passer cet ouvrage. Dans ce cas, il est important de veiller au bon fonctionnement des étapes du prétraitement et de maîtriser l'aération dans le bassin d'aération [17].

III.4. Le non-respect des normes :

Quelle que soit la nature de l'eau et la conception de l'installation ; une bonne gestion de l'usine est essentielle pour obtenir les normes. Pour éviter la déviation de différents paramètres il faudra adapter les paramètres d'exploitation à :

- La charge entrée biologique ;
- Aux caractéristiques de l'eau d'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) [15].

III.5. Dysfonctionnements liés aux traitements biologiques à boues activées :

III.5.1. Problèmes biologiques :

Les principaux dysfonctionnements biologiques observés au niveau des stations d'épuration à boues activées sont dus aux bactéries filamenteuses qui se manifestent sous deux formes :

III.5.1.1. Bactéries filamenteuses :

Le foisonnement est caractérisé par un indice de boue supérieur ou égal à 200 mL.g⁻¹. Au-delà de 150 mL.g⁻¹, des difficultés de décantation apparaissent qu'une boue décantant correctement à un indice de boue de l'ordre de 100 ml/g. En effet, un développement filamenteux important limite fortement les capacités hydrauliques du clarificateur et peut entraîner des départs de boue dans le milieu naturel. Cette situation se caractérise par un test de décantation en éprouvette des boues activées (séparation entre la boue et l'eau épurée) non satisfaisant (indice de boues > 200 ml/g).

Dans une station, le foisonnement est souvent associé à :

- Une détérioration de la qualité du rejet en cas de perte de boue épisodique ou chronique ;
- Un floc légèrement floconneux avec un volume décanté important lors du test de décantation, qui rend impératif la dilution des échantillons de boue. L'indice de boue est alors supérieur à 200 mL.g⁻¹. Lors de l'observation microscopique, on observe une densité importante de microorganismes filamenteux (Figure I.8) [18].

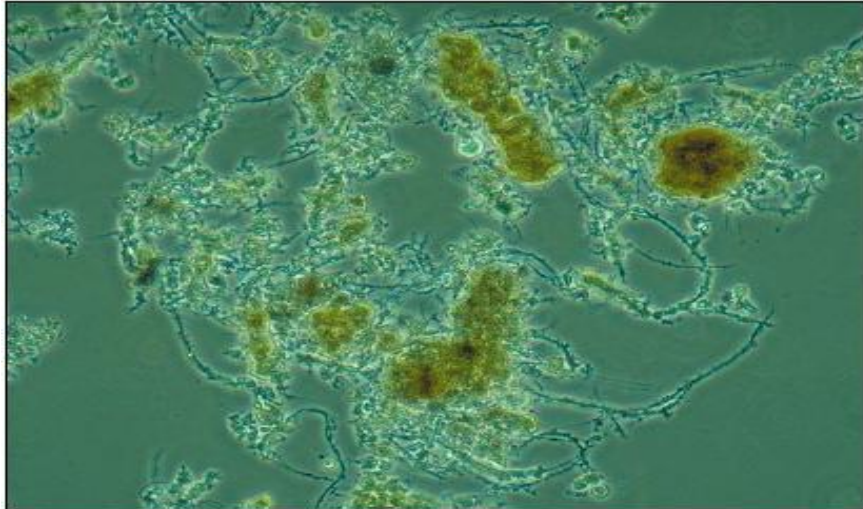


Figure I.8 : Bactéries filamenteuses [19].

III.5.1.2. Les mousses biologiques :

Les mousses forment des amas de flottants très stables de couleur marron clair à foncé et de structure visqueuse. Leur densité tend à s'accroître progressivement au cours du temps.

Ces mousses sont peu déstructurées par une agitation de surface et reforment rapidement un tapis uniforme en absence d'agitation. Les bulles de gaz favorisent la flottation. Ces flottants constituent un milieu favorable au développement privilégié de certaines bactéries filamenteuses responsables de moussage.

L'apparition d'une petite quantité de mousse dans une station d'épuration est plutôt normale, même quand le système fonctionne normalement. Cependant, si cette mousse est en abondance à la surface des bassins d'aération et de clarification ce n'est pas normal. Ce moussage extrême peut être expliqué par plusieurs phénomènes :

- Présence de fortes concentrations en détergents et matières grasses ;
- pH trop haut ou trop bas ;
- Manque d'oxygène ;
- Manque de nutriments ;
- Boue trop vieille.

Dans certains cas extrêmes, les mousses peuvent représenter jusqu'à 1/3 de la biomasse totale, avec des concentrations en matières sèches pouvant atteindre 100 g/l, voire des hauteurs dépassant un mètre. Les paramètres de fonctionnement (charge massique) et d'exploitation de la station sont alors fortement dégradés par cette situation (diminution du transfert d'O₂) [17].



Figure I.9 : Les mousses biologiques en surface de bassin d'aération [18].

III.5.1.3. Les moussages de démarrage :

Mousses blanchâtres et légères se développent rapidement dès la mise en service de la station d'épuration. Elles disparaissent lorsque la boue activée arrive à maturité (début de floculation, amorce d'un traitement carboné et charge massique inférieure à $1,5 \text{ kg DBO}_5 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ MVS} \cdot \text{j}^{-1}$). L'efficacité limitée (DCO et DBO_5 de sortie élevée, tensioactifs) du traitement accompagne ce phénomène transitoire.

Ces mousses blanchâtres sont associées à :

- Un effluent de sortie turbide (croissance bactérienne dispersée).
- Une boue de couleur claire et faiblement concentrée dans le bassin d'aération.
- Une décantation en éprouvette difficile (interface eau-boue floue, particules en suspension non décantables).
- Une microfaune représentée par des bactéries libres et des protozoaires principalement de type Flagellés.

CHAPITRE I : LES DYSFONCTIONNEMENTS SUSCEPTIBLES DANS LES STATIONS D'EPURATIONS A BOUES ACTIVEES

Hors mise en route de l'installation, ce problème peut également survenir lors d'un incident majeur : arrivée d'un toxique ayant provoqué la destruction d'une part importante de la biomasse.

En règle générale, la situation se normalise rapidement (une à deux semaines) à l'exception des cas les plus graves (toxicité aiguë) où les difficultés peuvent perdurer.

Bien souvent, pour des charges massiques élevées dues à une période transitoire, il faut favoriser l'amorce du mécanisme de floculation (agglomérat de bactéries) soit par :

- Une limitation de la charge à traiter (by-pass transitoire) pour diminuer la charge massique et faciliter la floculation.
- L'ajout de coagulant– floculant (floculation des particules) [17].



Figure I.10 : Mousse blanche de détergents en surface de bassin d'aération [18].

III.5.1.4. Les matières flottantes (instable) :

Ces flottants instables se caractérisent par la présence de particules de boues non associées à des bactéries filamenteuses. Un simple arrosage (ou averse de pluie) suffit à les rabattre.

La couleur est un bon critère de détermination de leur origine qui peut être variée.

Tableau I.1 : Couleurs des flottants et leur origine [18].

Couleur des flottants	Blanchâtre	Marron clair	Marron foncé ou noir
Origine	Dégraissage insuffisant Boulettes de graisse	Dégazage insuffisant ou dénitrification incomplète	Boues fermentées suite à l'anaérobiose

Il est impératif d'évacuer ces flottants instables pour éviter de passer à une forme stable [17].

III.5.1.5. Fermentation des boues :

Dans ce type de dysfonctionnement, on constate des remontées de boues noirâtres et malodorantes en surface du décanteur secondaire, la flottation de ces boues s'explique par la présence de microbulles internes qui diminuent la densité apparente des boues. Ces bulles sont la résultante d'une activité de fermentation anaérobie au sein de la boue. Les phénomènes de fermentation sont en général localisés (fond de décanteur, génie civil dégradé,) et ne provoquent dans un premier temps pas d'altérations notables du traitement. L'indice de boue et la décantation en éprouvette peuvent être tout à fait normaux.

L'origine probable de ce dysfonctionnement peut être :

- Une absence prolongée d'oxygène dans les boues couplées à une microfaune rare dans les échantillons de boue prélevés dans le bassin d'aération.
- Revêtement intérieur du décanteur dégradé.

Mauvaise condition de reprise des boues au fond de l'ouvrage [9].

III.5.1.6. Débordement de lit de boue :

Ce type de dysfonctionnement par expansion se caractérise par un voile de boue élevé dans le clarificateur et peut s'accompagner de pertes de boues ponctuelles lors d'à-coups de charge hydraulique. Les causes sont une combinaison de différents facteurs :

- Une concentration en boue trop forte dans le bassin d'aération ;
- Un dysfonctionnement du poste de recirculation (panne ou dimensionnement trop faible) ;
- Un indice de boue élevé et/ou une surcharge hydraulique ;

- Un problème de raclage dans le clarificateur [18].

III.5.17. 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.

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 microbulles qui se fixent sur les floccs 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 [17].

III.5.2. Problèmes mécaniques :

III.5.2.1 Problèmes d'aération :

L'apport d'oxygène est indispensable pour oxyder la matière organique et l'ammonium grâce à la biomasse présente. Un manque d'oxygène influence immédiatement l'efficacité d'abattement. L'oxygène doit être fourni sous forme dissoute, d'où le terme oxygène dissous.

Une concentration oxygène dessous minimale entre 1 et 2 mg O₂/L doit être conservée dans le bassin d'aération.

L'approvisionnement en O₂ peut être effectué à l'aide d'aérateurs de surface (amène l'eau en contact avec l'air environnant), d'une aération à fines bulles (injection de petites bulles d'air dans l'eau) ou d'un aérateur immergé. Il arrive parfois que l'oxygène pur soit utilisé pour l'aération de station d'épuration.

L'aération consiste en 2 procédés de base :

- Processus physique : l'oxygène est dans l'eau et ensuite transporté vers les floccs de boue (diffusion et turbulence) ;

CHAPITRE I : LES DYSFONCTIONNEMENTS SUSCEPTIBLES DANS LES STATIONS D'EPURATIONS A BOUES ACTIVEES

- Processus biochimique : avant que l'oxygène puisse être utilisé par les cellules organiques, les molécules d'O₂ doivent être diffusées à travers la membrane cellulaire.

Evidemment, le transfert d'oxygène dans un système biologique est influencé par de nombreux facteurs : composition de l'eau usée, température, type d'aération, caractéristiques des boues et configuration du réacteur.

Une déficience en oxygène dans une station d'épuration peut être causée par des facteurs biochimiques ainsi que physiques (dysfonctionnement du système d'aération).

Les principaux facteurs biochimiques induisant un déficit en oxygène dessous et par conséquent un mauvais fonctionnement du réacteur biologique sont :

- Une surcharge organique : charge supérieure à la charge maximale définie ;
- Un excès de matières grasses, huiles ou autres surfactants dans le bioréacteur ;
- Une Concentration en boue trop importante : impact négatif sur le taux de transfert d'oxygène et augmentation de la respiration endogène ;
- Amas volumineux de boue : boue filamenteuse ;
- Les problèmes du système d'aération ;

Un manque prolongé d'oxygène peut conduire à :

- La diminution de l'efficacité d'abattement ;
- La formation d'une biomasse filamenteuse, donc moins bonne décantation ;
- La nuisance olfactive, due à la formation d'acides volatils et H₂S dans des conditions anaérobies ;
- L'arrêt total des réactions de nitrification (= oxydation de NH₄⁺-N) et donc plus de suppression d'azote ;
- Des concentrations d'oxygène trop élevées n'influencent pas directement l'efficacité d'abattement, mais les concentrations de D.O > 5 mg O₂/L doivent être évitées car :
 - Gaspillage d'énergie.
 - Plus petits flocons (mauvaise décantation /effluent turbide).
 - Peut être à l'origine de la formation de filaments [20].

III.5.2.2. Dysfonctionnement lié aux agitateurs :

Un dysfonctionnement des agitateurs (panne, puissance spécifique insuffisante) peut induire la formation de dépôts en fond d'ouvrage et créer des zones d'anaérobie favorables au développement de populations de bactéries filamenteuses (aération moindre, septicité).

CHAPITRE I : LES DYSFONCTIONNEMENTS SUSCEPTIBLES DANS LES STATIONS D'EPURATIONS A BOUES ACTIVEES

Lors de sa mise en place à la construction, 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 pénalisera fortement son efficacité et peut créer des mouvements hydrauliques contraires à ceux recherchés (spiral-flow).

De plus, l'observation visuelle des remontées de bulles (en insufflation d'air) permet d'appréhender l'existence de spiral-flow entre l'agitateur et la première raquette de diffuseurs.

L'observation d'un contre-courant de surface au-devant de l'agitateur, aération et agitation en marche, ou la présence continue de mousse stable en certains points du bassin, laissent supposer un mauvais fonctionnement hydraulique.

De même, l'arrivée des bulles d'air dans la zone de balayage des pales témoigne d'une mauvaise implantation de l'appareil [20].

III.5.3. Autres incidents et remèdes dans le fonctionnement d'une STEP :

Dans le tableau ci-dessous établi par (AHMED B.D, TALEB I, 2014) il est question des incidents probables auxquels la station d'épuration est exposée, ainsi qu'aux raisons liées à cette dégradation, tout en proposant des solutions et des précautions à prendre [21].

Tableau I.2 : Autres incidents susceptibles dans une STEP.

Incidents	Cause Probable	A Vérifier	Solutions
<p>-Odeurs, insectes.</p> <p>-Colmatage de la Grille.</p>	<p>-Accumulation de tissus fibreux et débris.</p> <p>-Débris anormal dans le rejet.</p>	<p>-Méthode et fréquence de nettoyage.</p> <p>-Arrivée du rejet eau usée.</p>	<p>-Identifier la source et arrête la décharge dans le rejet eau usée.</p> <p>-Augmenter la fréquence du nettoyage de la grille.</p>
<p>Mousse blanche dans le bassin d'aération</p>	<p>Boues prématurées. Ce bassin est surchargé.</p>	<p>-Vérifier la charge en DBO.</p> <p>-Vérifier l'effluent du décanteur (turbide).</p> <p>- Vérifier la demande en oxygène dans le bassin.</p>	<p>-Diminuer la charge dans le rejet eau usée</p> <p>-Maintenir une recirculation suffisante pendant les heures de pointe.</p>

<p>-Montée flocons à la surface du décanteur,</p> <p>-Sédimentation n'est pas efficace</p>	<p>-Eléments toxiques.</p>	<p>-Vérifier la respiration de la boue activée.</p> <p>-Vérifier les changements de la teneur en MVS mg/l.</p> <p>-Vérifier les taux de D.O et DBO.</p>	<p>-Diminuer le rejet.</p> <p>-Diminuer taux de recirculation.</p> <p>-Utiliser des produits pour sédimentation.</p>
<p>-Similaires comme précédent avec l'apparition des filaments (bactérie ou champignons)</p>	<p>Manques de produits nutritifs.</p>	<p>-Vérifier la présence des produits nutritifs.</p> <p>-Vérifier le taux de la D.O dans le bassin.</p> <p>-Vérifier le pH et la présence de champignons.</p>	<p>-Chlorer à raison de 1 g de cl/m³.</p> <p>-Contrôler la sédimentation et la turbidité.</p> <p>-Observer l'existence des filaments.</p> <p>-Augmenter la concentration en O₂ et homogénéiser.</p> <p>-Neutraliser et corriger le pH avant décharge.</p>
<p>Baisse du pH de nitrification</p>	<p>Existence des acides dans le rejet eau usée.</p>	<p>Vérifier le pH de l'eau brute.</p>	<p>Eliminer la source des rejets d'acide si non ajout de la chaux.</p>
<p>Boues pas assez épaissies</p>	<p>Débit de pompage trop élevé.</p>	<p>Vérifier le pompage.</p>	<p>Diminuer le débit.</p>
<p>-Fuite d'huile.</p> <p>-Bruits, échauffement.</p>	<p>-Joints usés.</p> <p>- Usage excessif manque de lubrification.</p>	<p>-Les joints.</p> <p>-Niveau et état de l'huile de lubrification.</p>	<p>-Remplacer les joints.</p> <p>-Programmer le fonctionnement.</p>

compliqué nécessite une gestion précise et régulière pour bien contrôler les équipements de la station donc la gestion de la STEP est l'ensemble des techniques et moyens faire par des techniciens et des agents pour le fonctionnement correct et efficace de la station [22].

IV.2. Les objectifs de la gestion de la station d'épuration :

- Connaître les exigences réglementaires ;
- Connaître les responsabilités du gestionnaire ;
- Connaître les techniques du traitement de l'eau, des boues et de l'air ;
- Connaître les contraintes et solutions d'élimination des sous-produits ;
- Savoir réaliser et exploiter un bilan de fonctionnement d'une STEP ;
- Savoir intégrer les indicateurs de gestion technique pour l'optimisation du fonctionnement des STEP [22].

IV.3. Mesures et contrôles effectués au niveau de la STEP :

L'exploitant doit effectuer un certain nombre de mesures et contrôles entrant dans le cadre de l'exploitation et la gestion de la station, dont les principaux sont :

- Mesure de débit ;
- Mesure de pH ;
- Mesure de la température.

La mesure de pH doit être faite à l'entrée de la station, afin de prendre toutes les dispositions nécessaires pour le déroulement des traitements sensibles à ce paramètre. Pour maintenir la température optimale du bon fonctionnement de certains ouvrages de traitement (dégraisseur, bassin d'aération), la mesure de la température est très recommandée.

- Mesure de la demande chimique en oxygène (DCO) ;
- Mesure de la demande biologique en oxygène (DBO₅) ;
- Mesure de la quantité d'oxygène dissous ;
- Recherche des substances toxiques.

D'autre part, des mesures concernant les boues doivent être effectuées, pour obtenir un réglage adéquat de la station d'épuration :

- Le taux de recirculation des boues ;
- Le taux d'aération ;
- Le taux des boues en excès.

Pour régler ces paramètres on aura besoin de savoir :

- La teneur en oxygène dans le bassin d'aération ;
- Le pourcentage de boues dans le bassin d'aération ;
- La teneur des MVS dans le bassin d'aération :

En fonction des résultats de ces mesures, on fait varier le débit de recirculation, la durée d'aération et le débit de boues en excès jusqu'à savoir une valeur optimale de concentration des boues, chaque contrôle journalier doit être fait à la même heure pour être représentatif [23].

IV.4. Contrôle de fonctionnement des ouvrages de traitement :

Le bon fonctionnement et la durée de vie d'une station d'épuration dépendent fortement de l'entretien de ses ouvrages. Il faut veiller donc au maintien en parfait état de propreté de l'ensemble de la station en nettoyant les rigoles, caniveaux, murs...etc.

Les ouvrages métalliques doivent être repeints en moyenne tous les cinq ans afin de les protéger contre la corrosion. Les ouvrages en béton doivent être régulièrement inspectés. Les vérifications doivent porter sur l'étanchéité, la détection des fissures, les ruptures des joints de dilatation. Il faut lubrifier et graisser régulièrement tous les équipements mécaniques et électromécaniques et veiller au leur bon fonctionnement.

Pour les équipements immergés, une vidange une fois par ans des ouvrages ou ils sont disposés est nécessaire pour leur entretien. Les équipements d'aération doivent être également inspectés régulièrement en nettoyant les orifices de diffusion de l'air. Ce qui nous mène à exiger une attention distinctive afin d'assurer de façon continue l'épuration conforme des effluents [23].

IV.4.1. Contrôle journalier :

Ces contrôles peuvent être effectués par l'exploitant, différentes épreuves ou observations permettent d'apprécier la rationalisation de la conduite de la station d'épuration, on trouve :

- Le test de décantation et de turbidité ;
- Les odeurs ;
- Les couleurs des boues ;
- Le manque d'oxygène, se fait sentir par une odeur désagréable, et une couleur de boue grise noire.

CHAPITRE I : LES DYSFONCTIONNEMENTS SUSCEPTIBLES DANS LES STATIONS D'EPURATIONS A BOUES ACTIVEES

Afin de permettre des contrôles périodiques plus précis, il est important que l'exploitant tienne un journal de bord sur lequel il consignera les résultats des tests et les observations faites [23].

IV.4.2. Contrôles périodiques :

Le but essentiel de ces contrôles est d'attribuer aux résultats détenus préalablement des solutions fiables et d'apporter au maître de l'ouvrage les conseils nécessaires à une bonne exploitation en proposant toutes les améliorations ou rectifications qui s'imposent. Les investigations complémentaires qu'il est souhaitable de mener dans le cadre de ces visites sont :

- Une mesure de l'oxygène dans le bassin d'aération ;
- Une analyse des boues prélevées dans le bassin d'aération après un fonctionnement de 15 à 20 mn des aérateurs, ayant pour objet de déterminer (la décantabilité, la teneur en MES, la teneur en MVS) ;
- Une analyse de l'effluent épuré sur un prélèvement instantané, considérant que la quantité de l'effluent épuré varie généralement très peu dans une journée sur une station d'épuration ;
- Une visite bilan au moins une fois par an qui consistera à effectuer un diagnostic complet du fonctionnement de la station, en effectuant notamment, des analyses sur l'effluent reçu par la station en 24h à partir de prélèvements, visant à déterminer les mêmes paramètres en fonction du débit [23].

Tableau I.3 : Les rôles des personnes dans la STEP [22].

Personnels	Rôles
Le chef de la station	Tâche administrative (organisation du personnel).
Technicien de laboratoire	Responsable sur les Analyse et l'échantillonnage.
Electromécanicien	Dépannage de toutes les filières (eau et boues) peut devenir chef d'exploitation d'une filière sophistiquée.
	-Nettoyage journalier de la grille manuelle. -Mise en stockage en conteneur à ordures ou bac

L'entretien du dégrilleur	<p>approprié après égouttage préalable.</p> <ul style="list-style-type: none">-Contrôle visuel journalier des équipements électromécaniquesInspection journalière de la quantité de déchets retenus.
L'entretien du dessableur	<p>Extraction des sables 1 à 2 fois par semaine et stockage sur une aire d'égouttage.</p> <ul style="list-style-type: none">-vanne d'extraction fermée durant 30 secondes à 1 min pour séparation sable et matières organiques.-Arrêt d'air durant 3 à 5 minutes pour re-décantation des sables.-Contrôle de la quantité des sables piégés (par systèmes automatisés).-Inspection journalière des équipements électromécaniques.
L'entretien du dégraissage	<ul style="list-style-type: none">-Ecumage journalier des ouvrages non mécanisés et stockage en fosse.-Vidange régulière de la fosse de stockage des écumes.-Les ouvrages mécanisés : contrôle des équipements (bullage raclage).-Vérification de la mise en trémie des graisses (colmatage).
L'entretien du traitement biologique (boues activées)	<ul style="list-style-type: none">-Faire le tour de l'ouvrage pour déceler toutes anomalies (odeur, couleur, débit, départ de boues)-Vérifier le déversoir d'orage.-Vider le panier de dégrillage du poste de relèvement.-Nettoyer les prétraitements et évacuer les déchets.-Nettoyer le canal de comptage.-Contrôle du fonctionnement des moteurs, des

	<p>voyants et compteurs de l'armoire électrique.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Nettoyer les flotteurs, câbles électriques et chaînes du poste de relèvement. -Nettoyage et vidange des appareils électromécaniques (pompes, turbines). -Vérification de l'installation électrique par un professionnel agréé.
<p>L'entretien de la décantation des boues (traitement biologique).</p>	<ul style="list-style-type: none"> -brossage des parois de l'ouvrage jusqu'au fond de l'ouvrage. -Vérification journalière de la limpidité et du niveau. <p>Des boues dans le clarificateur.</p>



Figure I.11 : L'entretien d'un bassin d'une station d'épuration [22].

V. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons essayé de balayer les dysfonctionnements qui peuvent gêner le processus d'épuration surtout par boues activées. Nous avons pu constater que les principaux dysfonctionnements confrontés par les STEP sont : les problèmes liés directement aux ouvrages.

Chapitre II :

NOTIONS ET CONCEPTS DE LA SURETE DE
FONCTIONNEMENT

I. Introduction :

Dans l'industrie, on parle de plus en plus de sûreté de fonctionnement. Cette discipline, qui a acquis ce nom et sa forme actuelle, principalement au cours du dernier demi-siècle et dans les secteurs de la défense, de l'aéronautique, de l'espace, du nucléaire, puis des télécommunications et des transports, serait désormais utile, voir indispensable, à tous les secteurs de l'industrie et même d'autres activités.

La sûreté de fonctionnement n'est pas un but en soi mais un moyen ou un ensemble de moyens : Des démarches, des méthodes, des outils et un vocabulaire. Le but qui impose le recours à la sûreté de fonctionnement est plus reconnaissable sous le terme de maîtrise des risques.

La sûreté de fonctionnement n'est que du bon sens, organise et systématise. S'en éloigner, en se laissant conduire par une recette ou une méthode, à l'encontre du bon sens est, à coup sûr, s'exposer aux pires dangers d'erreurs graves [24].

II. Généralité sur la sûreté de fonctionnement :

II.1. Qu'est-ce que la sûreté de fonctionnement :

La sûreté de fonctionnement est une notion générique qui mesure la qualité de service délivré par un système, de manière à ce que l'utilisateur ait en lui une confiance justifiée.

Cette confiance justifiée s'obtient à travers une analyse qualitative et quantitative des différentes propriétés du service délivré par le système, mesurée par les grandeurs probabilistes associées : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité [25].

II.2. Bref historique :

Les problèmes de Sûreté de Fonctionnement (SDF) existent depuis très longtemps, dès qu'un système a pu défaillir ou tomber en panne.

A partir des années 1930, les taux de défaillance, utilisés pour comparer des événements passés, sont exploités pour faire des prévisions sur des événements à venir : la théorie de la fiabilité est née.

Puis dans les années 1940, des techniques de fiabilité commencèrent à se développer, avec notamment la conception des moteurs de traction des locomotives aux États-Unis.

Dans les années 1950, le concept de maintenance fait son apparition. On assiste également aux toutes premières études sur la fiabilité humaine pour les nouvelles centrales nucléaires. A la même époque, des travaux de recueil de données de fiabilité électronique sont entamés.

Dans les années 1960, H. A. Watson des laboratoires Bell met au point la méthode dite des arbres de défauts ; grâce à elle, il devient possible de décrire les aléas du fonctionnement de systèmes complexes. En 1962, l'Académie des Sciences accueille le mot « fiabilité » dans sa terminologie.

A partir de 1970, les premiers travaux sur la fiabilité des logiciels commencent et de nombreuses études sont menées dans le domaine du nucléaire. Nous pouvons citer, par exemple, le rapport américain Rasmussen sur les risques nucléaires.

En 1979, la catastrophe nucléaire de Three Miles Island motive encore plus le développement d'outils de sûreté de fonctionnement.

La décennie 80 voit l'approfondissement dans plusieurs directions :

- Collecte de données de fiabilité ;
- Mise au point de nouvelles méthodes d'analyse de la fiabilité, et de la disponibilité, des systèmes (par exemple les réseaux de Pétri) ;
- Méthodes de prise en compte de facteur humain (méthode HCR : "Human Cognitive Response technique", méthode HEART : "Human Error Assessment and Reduction Technique", ...etc).

Puis, progressivement, les techniques de sûreté de fonctionnement vont largement se diffuser et s'étendre à de plus en plus de domaines : la chimie, le ferroviaire, l'automobile, le traitement et l'épuration de l'eau, et l'ensemble des grands secteurs industriels [26].

II.3. Les fondamentaux de la sûreté de fonctionnement :

II.3.1. Quatre composantes :

La sûreté de fonctionnement « Dependability » est l'ensemble des aptitudes d'un bien qui lui permettent de remplir sa fonction au moment voulu pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement. On peut définir quatre grandeurs :

1. La fiabilité « reliability » qui mesure la continuité de service ;
2. La maintenabilité « maintainability » qui est l'aptitude aux réparations et aux évolutions;

3. La disponibilité « availability » qui est le fait d'être prêt à l'utilisation ;
4. La sécurité « safety » qui est l'absence de conséquences catastrophiques pour l'environnement.

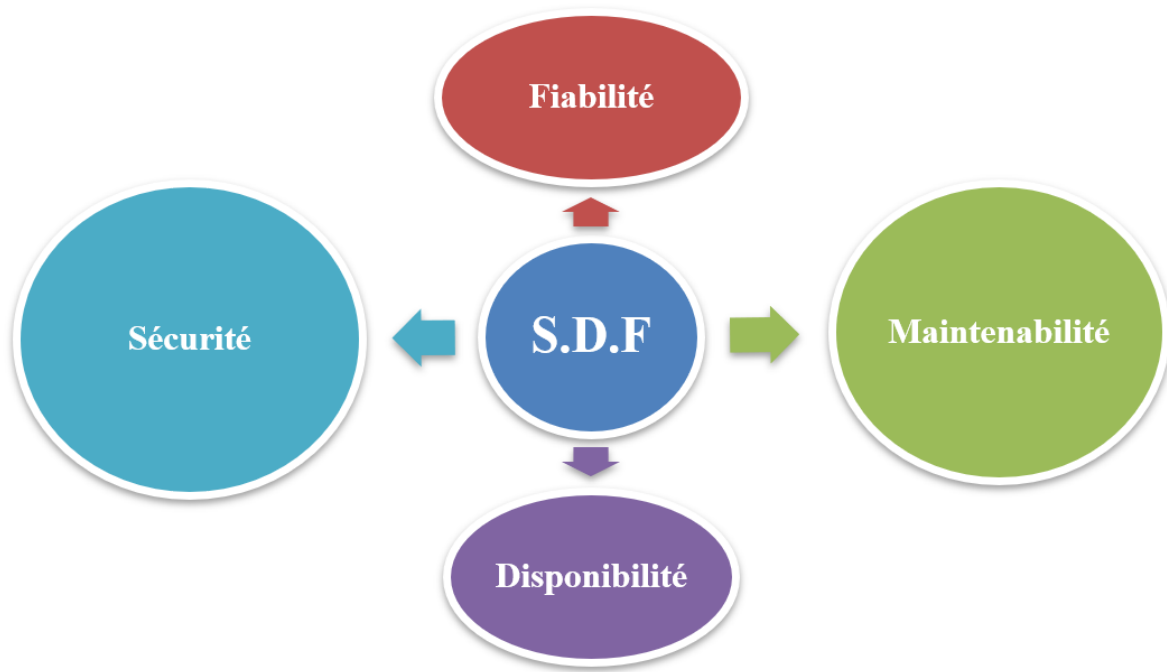


Figure II.1 : La sûreté de fonctionnement (S.D.F) [27].

La relation entre ces derniers peut être représentée dans la figure au-dessous :

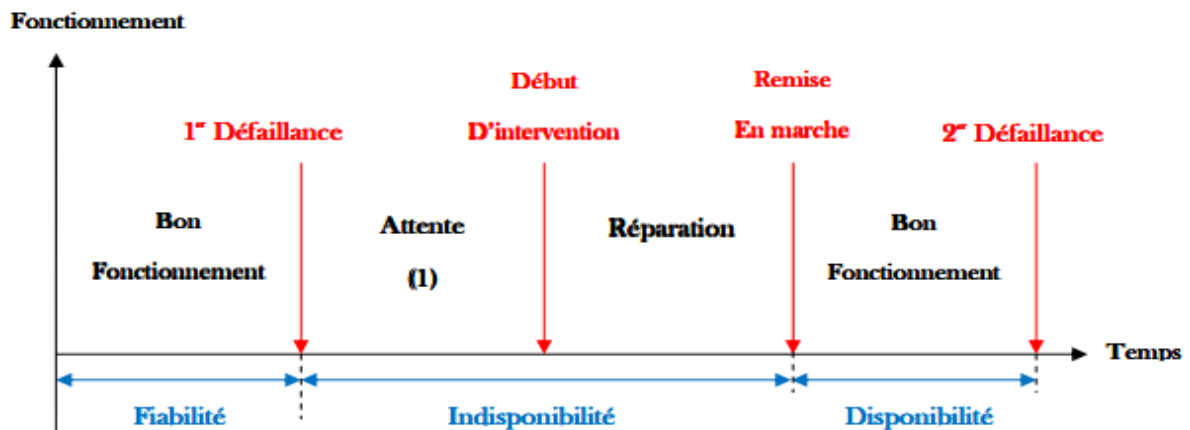


Figure II.2: Notion de SDF en fonction du temps [28].

Avec (1) Temps de détection de la panne, puis temps de réparation de l'intervenant.

Le développement d'un système sûr de fonctionnement repose sur l'utilisation combinée de plusieurs moyens :

- ❖ La prévention des fautes qui sert à empêcher l'occurrence ou l'introduction de fautes ;
- ❖ La tolérance aux fautes qui sert à fournir un service même en présence de fautes ;
- ❖ L'élimination des fautes qui sert à réduire le nombre et la sévérité des fautes ;
- ❖ La prévision des fautes qui sert à estimer la présence, le taux futur et les conséquences possibles des fautes [8].

II.3.1.1. La fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions et pour une durée donnée. Cette définition peut être formulée différemment : la fiabilité d'une entité est la probabilité moyenne de non défaillance de cette entité sur un intervalle de temps donné.

La fiabilité d'un dispositif dépend aussi de la fonction remplie par ce dispositif. De manière globale, la fiabilité d'un système est liée à ses caractéristiques intrinsèques, au mode d'utilisation et à son environnement [29].

On a plusieurs types de fiabilité ce sont représentés dans la figure ci-dessous :

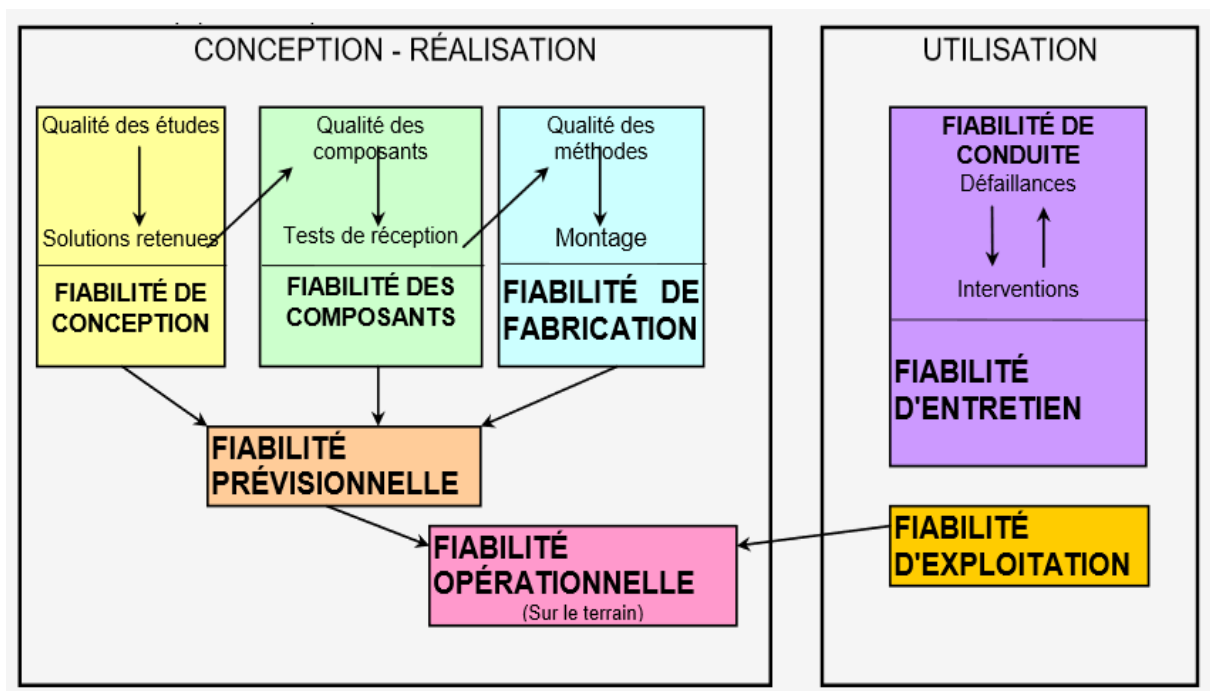


Figure II.3 : Types de fiabilités [30].

II.3.1.2. Maintenabilité :

La maintenabilité est la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donnée [t1, t2] :

$$M(t) = P \{ \text{ système est réparé sur l' intervalle } [0, t] \} \dots \text{ (II.1)}$$

Cette fonction est caractérisée par un taux de réparation $\mu(t)$, (inverse du temps moyen de réparation MTTR (Mean Time To Repair) [28].

II.3.1.3. Disponibilité :

La disponibilité est la probabilité pour qu'une entité soit en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à instant t, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. On la note D(t) ou A(t). C'est la traduction du nom anglais : Availability.

$$D(t) = P \{ \text{ système non défaillant à l' instant } t \} \dots \text{ (II.2)}$$

Le fonctionnement à l'instant t ne nécessite pas forcément le fonctionnement sur [0, t], pour un système réparable ; c'est là que se situe la différence fondamentale avec la fiabilité [28].

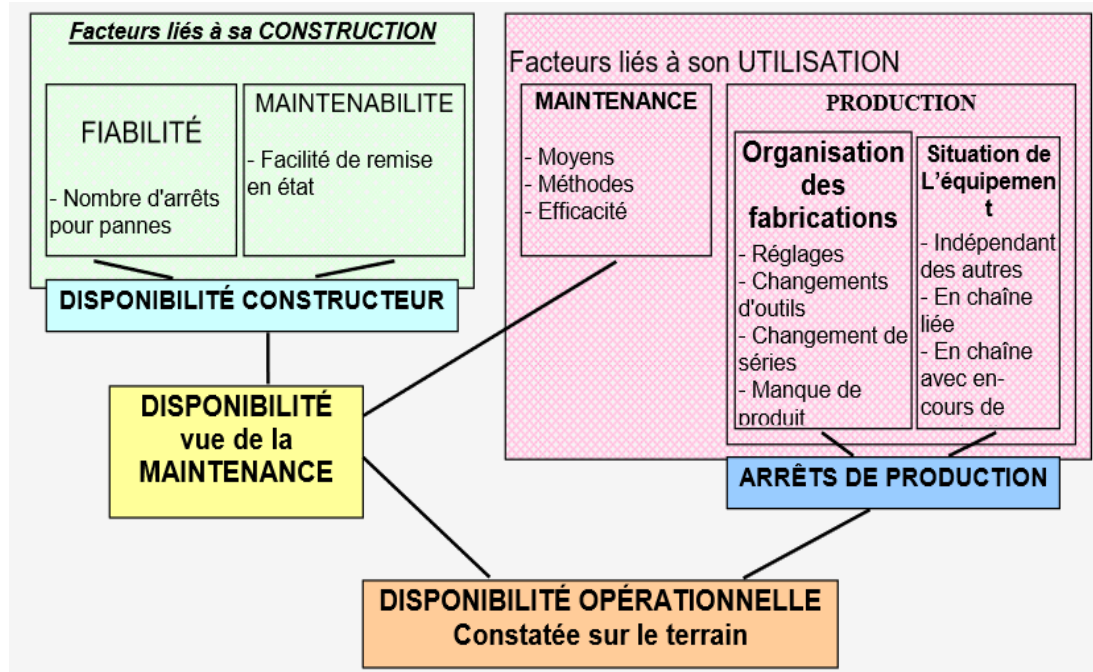


Figure II.4 : Schéma représentant les différents facteurs de la sûreté de fonctionnement [30].

II.3.1.4. Sécurité :

La sécurité est l'aptitude d'une entité à ne pas conduire à des accidents inacceptables. Plus précisément, la sécurité est l'aptitude d'un produit à respecter, pendant toutes les phases de vie, un niveau acceptable de risques d'accident susceptible de causer une agression du personnel ou une dégradation majeure du produit ou de son environnement [28].

II.3.2. Quelques indicateurs :

Certains indicateurs vont caractériser le fonctionnement prévu du système, tels que le MTTF, le MDT et le MUT.

- **Le MTTF** (Mean Time To [first] Failure) est la durée moyenne de fonctionnement avant défaillance, espérance mathématique de la durée de fonctionnement avant défaillance [26].

La définition du MTTF est :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \dots (II.1) \dots (II.3)$$

- **Le MDT** (Mean Dawn Time) : est le temps moyen séparant la survenance d'une panne et la remise en état opérationnel du système. Il se décompose en plusieurs phases lesquelles sont montrées par la figure II.5:
 - Durée de détection de la panne (1) ;
 - Durée de diagnostic de la panne (2) ;
 - Durée d'intervention jusqu'au début de la réparation (3) ;
 - Durée de la réparation (4) ;
 - Durée de remise en service du système (5) [25].
- **Le MUT** (Mean Up Time) : est le temps moyen qui sépare une remise en service opérationnelle du système de la survenance de la panne suivante.

Ces deux derniers indicateurs ne sont pertinents que dans le cas de systèmes réparables. Leur somme MUT+MDT représente le temps moyen qui sépare deux pannes consécutives du système. On le note MTBF, comme Mean Time Between Failures[25].

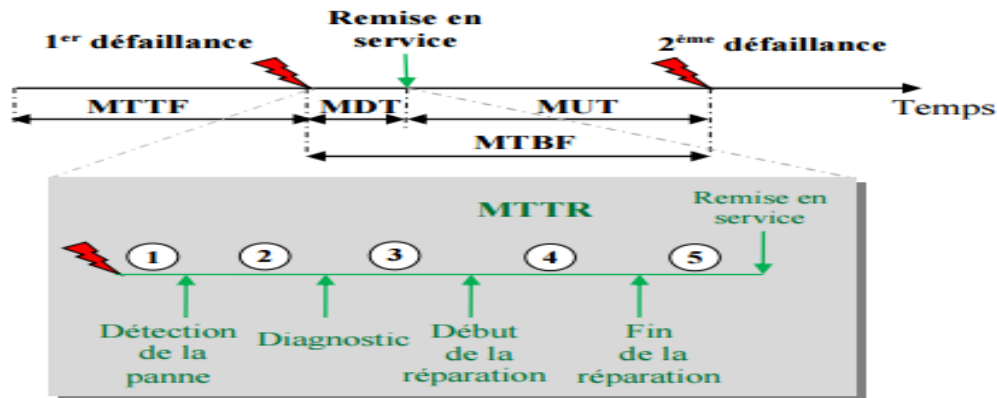


Figure II.5 : Quelques indicateurs [25].

II.4. Les études de sûreté de fonctionnement :

Les études de sûreté de fonctionnement constituent un préalable indispensable à la conception d'un système voulu sûr, et permet d'aider à la prise de décision en (Figure II.6) :

- Comprenant et identifiant les risques ;
- Optimisant l'architecture et comparant des différentes solutions ;
- Optimisant les moyens de soutien en comparant des solutions ;
- Justifiant les choix de façon rationnelle et démontrée ;
- Vérifiant la bonne atteinte des objectifs de sûreté de fonctionnement.

Elles peuvent aussi aider à l'optimisation en :

- Diminuant le nombre de pannes qui seront observées durant la vie du système ;
- Optimisant économiquement la conception par le dimensionnement des équipements et des architectures au "juste nécessaire" ;
- Rendant la maintenance plus ciblée et plus efficace ;
- Dimensionnant au plus juste les moyens de soutien nécessaires (stocks de pièces de rechange par exemple) [25].

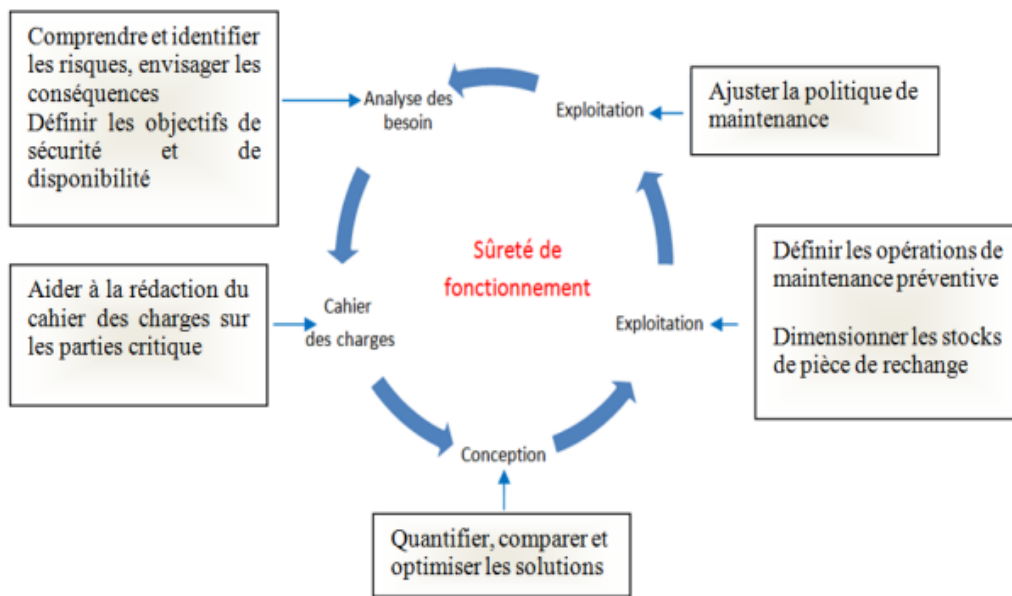


Figure II.6 : Études de la sûreté de fonctionnement d'un système [26].

II.4.1. Étape par étape :

La première étape consiste à analyser rigoureusement le besoin pour comprendre et identifier l'ensemble des risques, et envisager leurs conséquences. Ensuite, des niveaux d'acceptabilité sont attribués pour ces risques (on parle d'objectifs de F, M, D et/ou S selon les systèmes).

L'identification précise de ces risques va aider à la rédaction du cahier des charges du système, précisément sur ses parties critiques. Il faudra alors imaginer des solutions techniques, des architectures adaptées qui, toutes, seront quantifiées d'un point de vue sûreté de fonctionnement, comparées entre elles et, si nécessaire, optimisées. Une fois la solution retenue, il sera nécessaire de préciser les conditions d'une exploitation la plus efficace possible en :

- Définissant les opérations de maintenance préventive nécessaires pour maintenir les caractéristiques de sûreté de fonctionnement au niveau voulu, sans dégradation des équipements préjudiciable à l'une des quatre composantes ;
- Dimensionnant les stocks de pièces de rechange au plus juste, sans dégrader la disponibilité du système [25].

II.4.2. Études périphériques :

Cette partie, s'intéresse à la recherche d'une méthodologie d'approche globale, complémentaire aux études de sûreté de fonctionnement dans les milieux industriels. Par exemple la recherche de l'optimisation des tailles de stocks de pièces de rechange (suffisamment de pièces en regard de l'aptitude du système à tomber en panne) a fait l'objet d'études particulières où ce souci d'optimisation est couplé avec une démarche analogue sur :

- La maintenance des équipements ;
- L'ordonnancement des transports de pièces [25].

II.4.3. En pratique :

L'étude de sûreté de fonctionnement comporte deux volets complémentaires qui sont présentés sur le schéma de la (Figure II.7).

- Une analyse fonctionnelle, qui va détailler la manière dont le système va opérer dans toutes ses phases de vie ainsi que les autres systèmes avec lesquels il va pouvoir interagir ;
- Une analyse dysfonctionnelle, qui vise à imaginer l'ensemble des défaillances pouvant survenir n'importe où dans le système, seules ou combinées entre elles, et à analyser l'impact de ces pannes.

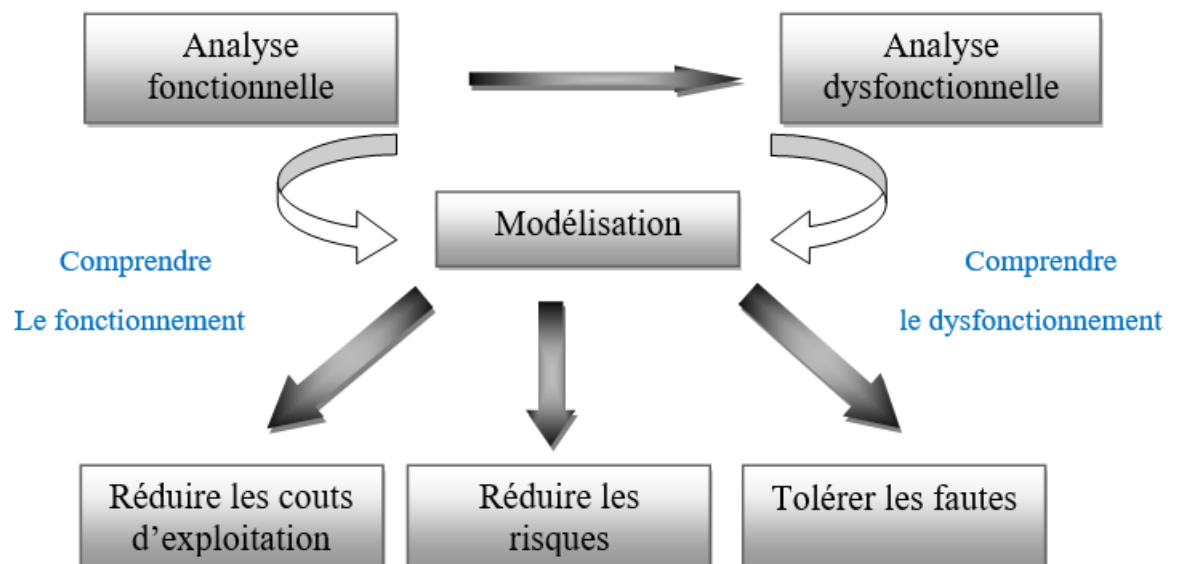


Figure II.7 : Analyse de la sûreté de fonctionnement [25].

Les résultats de ces deux études sont mis en commun dans une modélisation du système qui va représenter virtuellement celui-ci avant sa réalisation, tant dans son fonctionnement attendu que dans les pannes susceptibles de lui arriver, comme décrit dans la (Figure II.8).

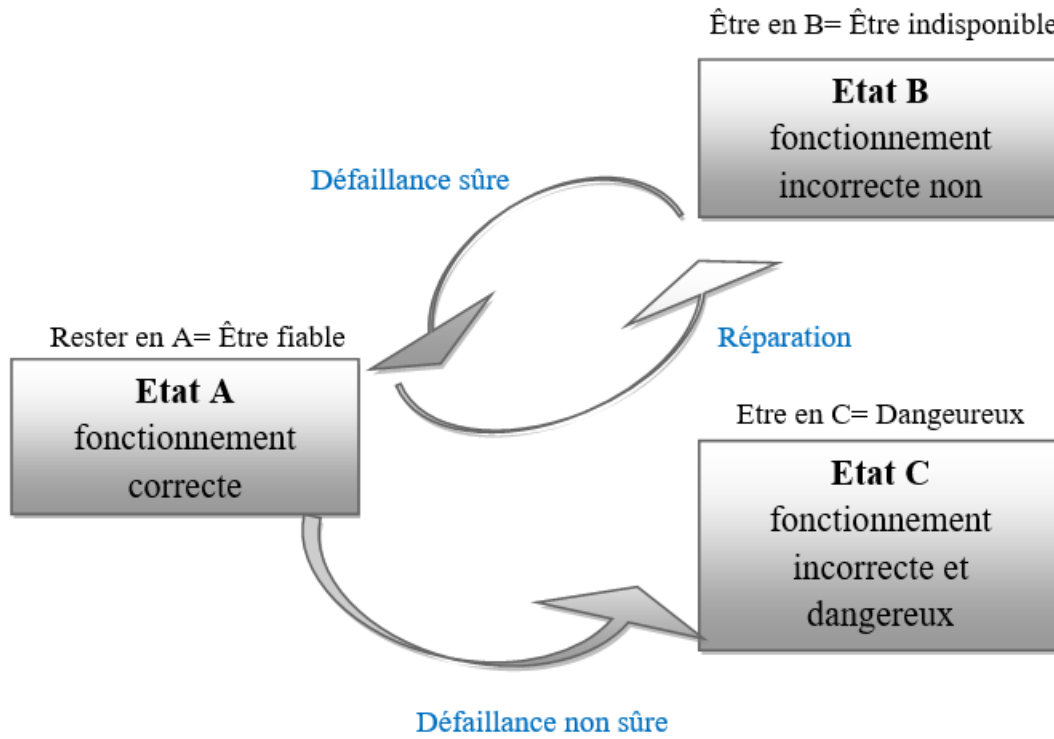


Figure II.8: Relation entre la défaillance et l'état d'un système [25].

En étudiant cette modélisation, il devient alors possible de valider ou invalider une solution technique, optimiser des choix architecturaux, remplacer des composants critiques, ceci dont le but de :

- Réduire au maximum les risques ;
- Réduire au maximum les coûts d'exploitation ;
- Tolérer, dans la mesure du possible, certaines fautes en autorisant un fonctionnement en mode dégradé sous certaines conditions [25].

II.5. Les outils utilisés :

Pour l'analyse fonctionnelle, les principaux outils utilisés sont les suivants :

- **System analysis and design technique (SADT)**, c'est une méthode d'analyse par niveaux successifs d'approche descriptive d'un ensemble, quel qu'il soit ;

- **Blocs diagrammes fonctionnels (BDF)**, méthode de découpage fonctionnel du système.

Pour l'analyse dysfonctionnelle, on peut recourir à :

- **Analyse préliminaire des risques (APR)**, qui fournit l'ensemble des événements redoutés prévisionnels dans toutes les phases de vie du système ;
- **Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)**, cette méthode exhaustive examine les potentialités de dysfonctionnements de chacun des éléments composant le système, à un niveau de détail choisi à l'avance. Elle permet de quantifier la probabilité d'apparition de la défaillance et de classer ses effets par ordre de gravité ; la combinaison de ces deux estimations fournissant la criticité de l'élément retenu ;
- **Analyse des effets des erreurs logicielles (AEEL)**, cette méthode est l'adaptation au logiciel de la méthode AMDEC décrite ci-dessus, le programme étant lui-même décomposé en parties élémentaires de taille prédéfinie.

Enfin, pour modéliser le système ainsi analysé, on utilise :

- **Les arbres de défaillance (AdD)**, en partant d'un événement redouté bien identifié (dit "de tête"), on détermine les sous-événements qui peuvent conduire à l'événement de tête :
 - ❖ Soit par survenance simultanée (il est nécessaire que tous les sous-événements se réalisent pour que l'événement de tête se réalise (on parle de porte ET) ;
 - ❖ Soit par survenance d'un quelconque sous événement (porte OÙ).

Chacun des sous-événements est lui-même décomposé ensuite de la même manière, jusqu'à obtenir des éléments suffisamment simples pour estimer directement leur probabilité d'apparition (on parle d'événements de base).

En recombinaison des probabilités d'apparition de tous les événements de base grâce au schéma logique de l'arbre de décomposition (algèbre booléenne/théorème de Poincaré), on en déduit la probabilité d'apparition de l'événement de tête.

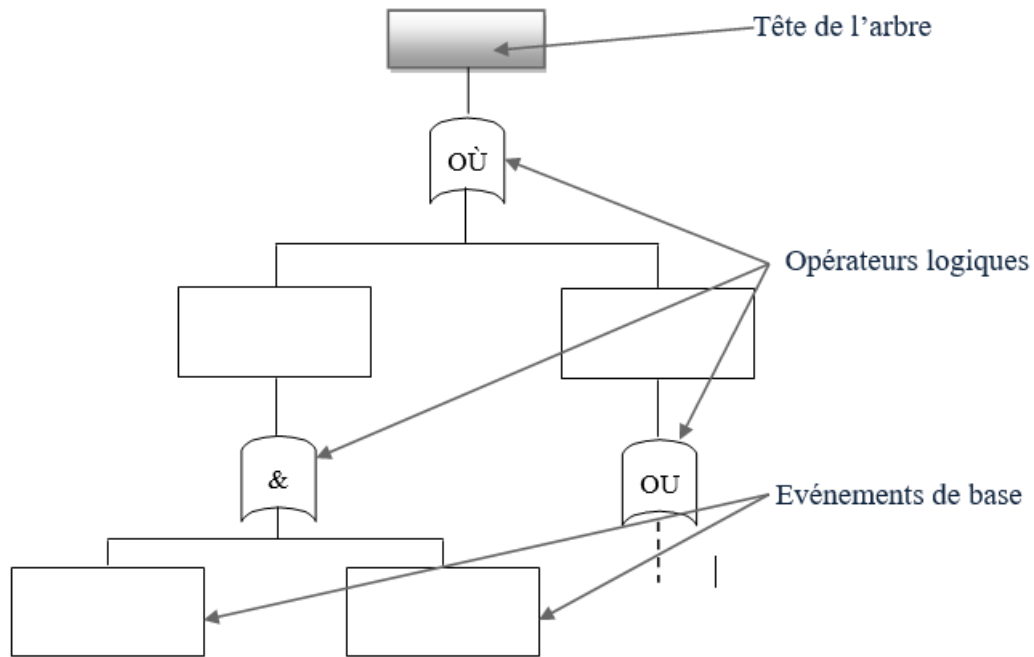


Figure II.9 : Exemple d'un arbre de défaillance [31].

La méthode des Arbres de Défaillances, est la plus utilisée pour analyser les défaillances de systèmes complexes.

- **Graphes de Markov (GM)**, ce sont les différents états du système qui sont représentés. On suppose que le passage d'un état du système à l'autre survient aléatoirement, ou classiquement par la défaillance d'un élément, ou à la fin de la réparation d'un autre élément.

- **Réseaux de Petri stochastiques (RPS)**, cette technique s'apparente à celle des graphes de Markov décrite ci-dessus, à la différence que les transitions entre les différents états peuvent suivre des lois de probabilité autres que la loi exponentielle classique [25].

III. Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) :

Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité. Est un outil utilisé dans la démarche qualité et la sûreté de fonctionnement. L'AMDEC est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité d'un système. Elle permet de recenser les modes potentiels de défaillance d'un moyen de production, d'un équipement ou d'un processus, dont les conséquences affectent leur bon fonctionnement. Le mode de défaillance est une explication du dysfonctionnement, une description de la manière dont le système ne remplit plus sa fonction [32].

Nous avons choisi cette méthode car elle consiste à lister tous les équipements de l'usine et identifier les ensembles fonctionnels qui en font partie et pour chaque équipement identifier les modes de défaillance (les façons de tomber en panne) et pour chaque panne réfléchir aux causes qui peuvent lui avoir donné naissance, et aux conséquences sur les installations en cas d'arrêt total ou partiel, etc.

III.1. Généralité sure AMDEC :

III.1.1. Définition :

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité est une méthode d'analyse de systèmes, s'appuyant sur un raisonnement inductif, pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité.

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une Technique spécifique de la Sûreté de Fonctionnement, couramment utilisée dans la Gestion de la Qualité, dont l'objectif est d'évaluer et garantir la fiabilité, la sécurité, la disponibilité et la maintenabilité d'un matériel ou d'un système.

La méthode est qualifiée d'inductive au sens où elle s'appuie, pour l'analyse des défaillances, sur une logique de décomposition d'un système en sous-ensembles successifs pour parvenir au niveau des composants élémentaires.

On s'intéresse alors aux défaillances liées au mauvais fonctionnement de ces composants et à leurs répercussions aux niveaux supérieurs du système [33].

III.1.2. Historique de L'AMDEC :

L'Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets (AMDEC) a été développée aux Etats-Unis à la fin des années 40 pour évaluer les défaillances techniques d'un équipement ou d'un système, afin d'en déterminer la fiabilité. Cette méthode a été utilisée dans différents domaines, notamment pour les applications militaires, dans l'industrie aéronautique dans les années 1960, dans les industries nucléaire, chimique et automobile dans les années 1970 et récemment dans le domaine médical. A son origine, cette méthode était destinée à améliorer la fiabilité des systèmes à partir de l'analyse des défaillances techniques de leurs différents composants. Il s'agissait de recenser leurs faiblesses potentielles en termes « tout ou rien », (en fonctionnement nominal ou en panne) et d'identifier leurs impacts sur les fonctions du système.

La montée en complexité des systèmes a modifié l'usage de cette démarche analytique. Partant du principe qu'avec l'évolution des systèmes (étendus, complexes, instables), aucun individu n'était plus en mesure de connaître et de maîtriser l'ensemble du fonctionnement des installations, l'analyse de la fiabilité technique a porté sur les composants des sous-systèmes plutôt que sur les systèmes eux-mêmes.

Ensuite, l'augmentation du nombre de défaillances potentielles ou avérées d'un système technique a nécessité leur hiérarchisation. Le choix de gradation s'est porté sur leur niveau de criticité, faisant évoluer l'AMDE en AMDEC. La criticité est définie ici comme le résultat de la combinaison de l'évaluation de trois paramètres : la fréquence, la gravité et la détectabilité d'un mode de défaillance [34].

III.1.3. Principe et objectif DE L'AMDEC :

Le principe de l'AMDEC est d'identifier et de hiérarchiser les modes potentiels de défaillance susceptibles de se produire sur un équipement, d'en rechercher les effets sur les fonctions principales des équipements et d'en identifier les causes. Pour la détermination de la criticité des modes de défaillance, l'AMDEC requiert pour chaque mode de défaillance la recherche de la gravité de ses effets, la fréquence de son apparition et la probabilité de sa détectabilité.

Quand toutes ces informations sont disponibles, différentes méthodes existent pour déduire une valeur de la criticité du mode de défaillance. Si la criticité est jugée non acceptable, il est alors impératif de définir des actions correctives pour pouvoir corriger la gravité nouvelle du mode de défaillance (si cela est effectivement possible), de modifier sa fréquence d'apparition et d'améliorer éventuellement sa détectabilité [35].

Les objectifs de l'utilisation de cette méthode sont nombreux et souvent complémentaires dans une démarche de gestion des risques.

L'AMDEC permet de :

- Recenser les risques, les hiérarchiser par détermination de leur criticité et mettre en œuvre des actions préventives ou curatives pour les risques non acceptables afin de rendre le risque résiduel acceptable ;
- Détecter les défauts à un stade précoce notamment lors de la conception ;
- Optimiser la fiabilité d'un produit ou d'un processus en prévenant l'apparition des risques ;
- Fournir un état des lieux de la vulnérabilité des activités de notre système [36].

III.1.4. Dans quel but utiliser l'AMDEC :

Même si l'AMDEC peut être riche pour les systèmes en exploitation, c'est cependant dès la phase de conception des systèmes qu'elle prendra toute sa valeur, en gardant à l'esprit que l'AMDEC n'est pas la conception, mais que l'AMDEC se déroule parallèlement à la conception, afin de valider celle-ci ou d'en identifier les points critiques.

Le processus de conception d'un produit, d'une machine ou d'un système peut comporter différents stades (analyse fonctionnelle, avant-projet, définition etc...), où l'AMDEC pourra être utilisée à chacune de ces étapes.

Il faut prendre le terme de conception au sens large. En particulier, l'AMDEC sera également très utile lorsqu'il s'agit, par exemple, d'une modernisation, d'une amélioration ou d'une transformation.

En ce qui concerne les systèmes existants, en phase d'utilisation ou d'exploitation, l'AMDEC peut également être très profitable. On retrouvera, bien sûr, les défaillances connues (celles qui ont affecté le système et ses composants et face auxquelles on a vraisemblablement déjà apporté des modifications ou des solutions), mais surtout elle permettra de découvrir les effets des défaillances potentielles (celles qui ne sont pas encore survenues) et que les utilisateurs ou exploitants ne soupçonnaient pas [37].

III.1.5. Les types de la méthode AMDEC :

III.1.5.1. AMDEC-Produit :

L'AMDEC-Produit est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise. Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'actions correctives sur la conception et préventives sur l'industrialisation [35].

III.1.5.2. AMDEC-Process :

L'AMDEC-Process est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication. Elle est mise en œuvre pour évaluer et hiérarchiser les défauts potentiels d'un produit dont les causes proviennent de son processus de fabrication. S'il s'agit d'un nouveau procédé, l'AMDEC-Process en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défaut pouvant agir négativement sur le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, l'AMDEC-Process en permettra l'amélioration [35].

III.1.5.3. AMDEC- Moyen de production :

L'AMDEC-Moyen de production, plus souvent appelée AMDEC-Moyen, permet de réaliser l'étude du moyen de production lors de sa conception ou pendant sa phase d'exploitation.

L'objectif est généralement ici de :

- Modifier la conception ;
- Lister les pièces de rechange ;
- Prévoir la maintenance préventive [35].

III.2. Les étapes de l'AMDEC :

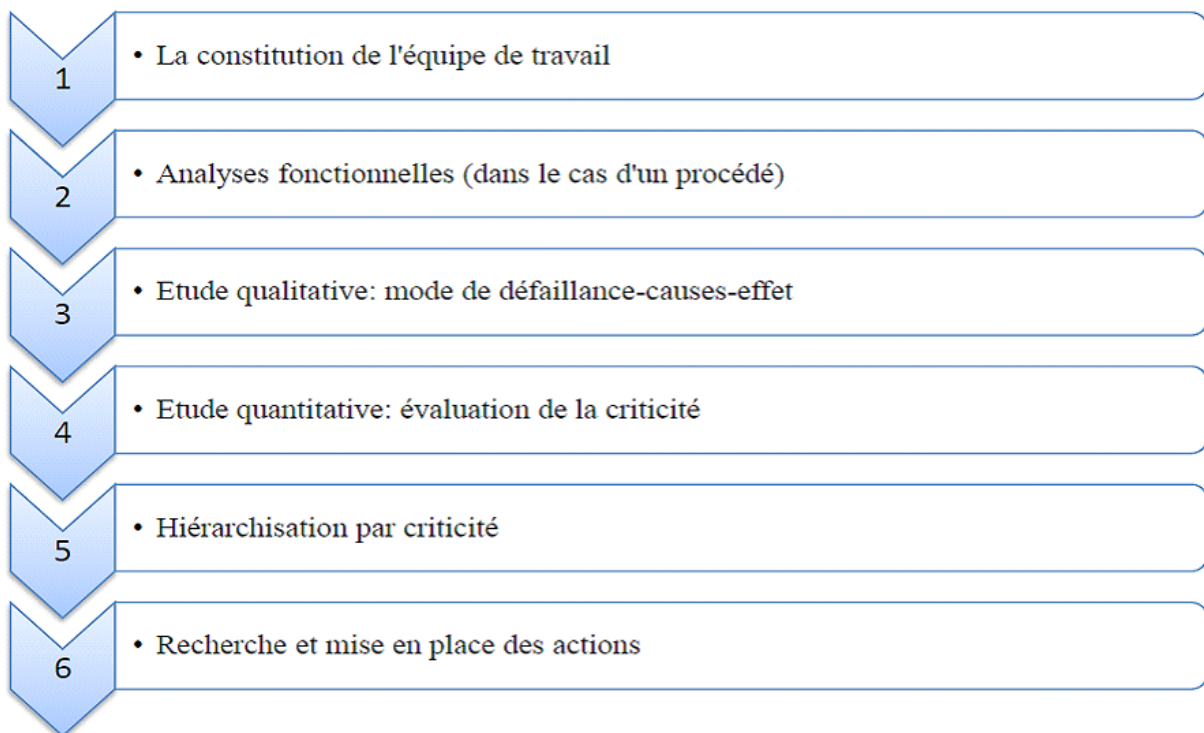


Figure II.10 : Les étapes de l'AMDEC [38].

III.2.1. L'équipe de travail :

L'AMDEC étant une méthode curative, elle repose fortement sur l'expérience. Il est donc nécessaire de faire appel à des expériences d'horizons divers afin de neutraliser l'aspect subjectif des analyses.

Le groupe de travail constitué doit représenter l'ensemble des fonctions touchant à la machine : service production (opérateurs, agent de maîtrise, ...), service maintenance (spécialités, méthodes, ...), service méthodes. C'est une étude exigeante, ou les participants devront s'impliquer sérieusement et accorder le temps nécessaire pour réaliser correctement la

part d'étude, définir le périmètre et les objectifs de l'analyse. Le groupe de travail est dirigé par un animateur garant de la méthode et des experts peuvent être invités occasionnellement en fonction des besoins [39].

III.2.2. L'analyse fonctionnelle :

Le système dont on étudie les défaillances doit d'abord être "décortiqué".

A quoi sert-il ? Quelles fonctions doit-il remplir ? Comment fonctionne-t-il ?

L'analyse fonctionnelle doit répondre à ces questions de façon rigoureuse.

Le système est analysé sous ses aspects :

- Externes : relations avec le milieu extérieur (qu'est ce qui rentre, qu'est ce qui sort, ...) ;
- Internes : analyse des flux et des activités au sein du procédé ou de la machine [40].

III.2.3. L'étude qualitative des défaillances :

Il est important de garder à l'esprit la logique suivante : la cause engendre le mode de défaillance ; le mode de défaillance produit des effets.

On entre dans l'AMDEC par le mode de défaillance. A partir de ce mode, on cherche les causes de ce mode de défaillance et les effets de ce même mode de défaillance [37].

Il s'agit d'identifier les schémas du type :



Figure II.11 : Méthode d'analyse de l'AMDEC [40].

III.2.3.1. La cause :

Les causes sont des anomalies initiales susceptibles de conduire au mode de défaillance. Elles peuvent être propre au composant (cause interne) ou provenir d'interactions avec d'autres composants ou avec l'environnement du composant du système (cause externe).

Si l'on cherche ultérieurement à éliminer ou réduire le risque d'apparition du mode de défaillance, il sera intéressant d'en avoir identifié les causes, pour savoir sur quoi agir.

Elles se répartissent dans les domaines suivants :

- Matière ;
- Machine/Matériel ;
- Méthode ;
- Milieu ;
- Main d'œuvre.

Le diagramme de « Cause-Effets » est un outil exhaustif permettant d'identifier l'ensemble des causes pour un mode de défaillance donné.

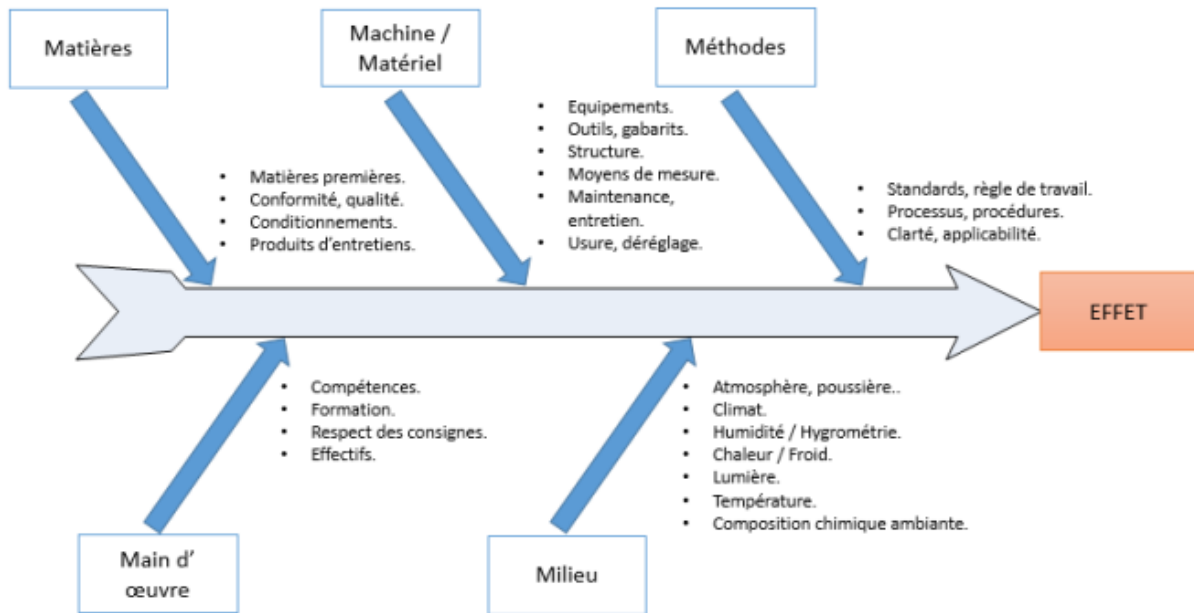


Figure II.12 : Diagramme de Causes-Effets.

Les 5 grandes familles ou facteurs primaires sont renseignés par des facteurs secondaires et parfois tertiaires.

Par exemple, pour « le milieu et l'environnement » (facteur primaire), on pourra ajouter l'environnement climatique comme facteur secondaire, puis le vent et le verglas comme facteur tertiaire.

L'ensemble des causes identifiées par cet outil devra être hiérarchisées [37].

III.2.3.2. Le mode de défaillance :

Il concerne la fonction et exprime de quelle manière cette fonction ne fait plus ce qu'elle est sensée faire. L'analyse fonctionnelle recense les fonctions, l'AMDEC envisage pour chacune d'entre-elles sa façon (ou ses façons car il peut y en avoir plusieurs) de ne plus se comporter correctement [40].

III.2.3.3. L'effet :

L'effet de la défaillance concrétise la conséquence. Il est relatif à un mode de défaillance et dépend du type d'AMDEC réalisé :

- Sécurité, Maintenance, Confort, Etc...

Il est la conséquence sur l'utilisateur [37].

III.2.3.4. Grille AMDEC :

Tableau II.1 : le tableau AMDEC.

Élémen t	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
1	2	3	4	5	6	7				8

- **1** : Cette colonne permet d'inscrire la désignation de l'élément.
- **2** : Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par l'élément lors du fonctionnement normal.
- **3** : Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont l'élément peut être amené à ne plus assurer sa fonction.
- **4** : Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode de défaillance de l'élément.
- **5** : Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance ; tels que perçus par l'utilisateur du dispositif.
- **6** : Cette colonne permet d'inscrire les modes de détection qui sont les signes provoqués par l'apparition de la défaillance, sans qu'elle n'ait encore générée l'apparition de conséquences.
- **7** : Ces colonnes permettent d'inscrire la valeur de la criticité C, calculée à partir de l'estimation des indices F, G et D.
- **8** : Cette colonne permet d'inscrire l'ensemble des mesures correctives décidées par le groupe de travail, pour éliminer les points critiques [41].

III.2.4. L'étude quantitative :

III.2.4.1. La gravité :

Elle exprime l'importance de l'effet sur la qualité du produit (AMDEC procédé) ou sur la productivité (AMDEC machine) ou sur la sécurité (AMDEC sécurité). Le groupe doit décider de la manière de mesurer l'effet [40].

Tableau II.2 : Gravité [42].

Gravité mineure	1	Pas d'arrêt de la production.
Gravité significative	2	Arrêt ≤ 1 heure.
Gravité moyenne	3	1 heure < Arrêt ≤ 1 jour.
Gravité majeur	4	Arrêt > 1 jour.

III.2.4.2. La fréquence :

On estime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se reproduire [40].

Tableau II.3 : Fréquence [42].

Fréquence très faible	1	1 Défaillance Maxi Par An.
Fréquence faible	2	1 Défaillance Maxi Par Trimestre.
Fréquence moyenne	3	1 Défaillance Maxi Par Mois.
Fréquence forte	4	1 Défaillance Maxi Par Semaine.

III.2.4.3. La non-détection :

Une cause de défaillance étant supposée apparue, le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur est susceptible de détecter sa présence avant que le mode de défaillance ne se soit produit complètement, c'est-à-dire bien avant que l'effet de la défaillance ne puisse se produire. Exemple : détection visuelle, température, odeurs, bruits... etc[40].

Tableau II.4 : Non Détection [42].

Détection évidente	1	Visite par opérateur (dispositif de détection existe)
Détection possible	2	Détection aisée par un agent de maintenance.
Détection improbable	3	Détection difficile (défaillance nécessite une action complexe : appareillage, montage).
Détection presque impossible	4	Indécelable (aucun signe de l'origine de la défaillance).

III.2.4.4. Criticité :

Est un indicateur calculer pendant la réalisation de l'étude aidant à classer les défaillances à travers la conjugaison de trois facteurs :

$$C = G \times F \times D \dots (II.4)$$

C : Criticité.

G : Gravité.

F : Probabilité d'occurrence (P) Ou Fréquence.

D : Non Détection [40].

Tableau II.5 : Niveau de criticité et actions correctives à engager [42].

Niveau de criticité	Actions correctives à engager
$1 \leq C < 10$ Criticité Négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective.
$10 \leq C < 20$ Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique.
$20 \leq C < 40$ Criticité élevée	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments. Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle/prévisionnelle.
$40 \leq C < 64$ Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception.

III.2.5. La hiérarchisation :

La difficulté essentielle d'une étude qui veut anticiper les problèmes et rechercher les solutions préventives provient de la très grande variété des problèmes potentiels à envisager. D'où le besoin d'une hiérarchisation, qui permet de classer les modes de défaillances et d'organiser leur traitement par ordre d'importance.

La hiérarchisation permet de décider des actions prioritaires. En effet, c'est une liste d'articles ou de processus critiques [43].

III.2.6. Les actions :

La finalité de l'analyse AMDEC, après la mise en évidence des défaillances critiques, est de définir des actions de nature à traiter le problème identifié.

Les actions sont de 3 types :

- ✓ **Actions préventives** : on agit pour prévenir la défaillance avant qu'elle ne se produise, pour l'empêcher de se produire. Ces actions sont planifiées. La période d'application d'une action résulte de l'évaluation de la fréquence ;
- ✓ **Actions correctives** : lorsque le problème n'est pas considéré comme critique, on agit au moment où il se présente. L'action doit alors être la plus courte possible pour une remise aux normes rapide ;
- ✓ **Actions amélioratives** : il s'agit en général de modifications de procédé ou de modifications technologiques du moyen de production destinées à faire disparaître totalement le problème. Le coût de ce type d'action n'est pas négligeable et on le traite comme un investissement [40].

III.3. Application et limites de l'AMDEC :

III.3.1. Les limites d'AMDEC :

Dans un système, un certain nombre de défaillances ne sont pas indépendantes, car elles peuvent avoir une cause commune. Citons par exemple :

- ✓ La perte d'utilités : énergie électrique, vapeur, air comprimé, azote, réseau informatique, wifi ;
- ✓ Un phénomène majeur externe : incendie, inondation, tempête, séisme ;
- ✓ Une erreur de maintenance ou de calibration, qui va avoir un impact sur un ensemble d'équipement ;

Pour les prendre en compte de façon rigoureuse, il est nécessaire de construire un arbre de défaillances menant à l'effet global examiné, En utilisant une approche à base de modèle, cet arbre pourra être réalisé en même temps que le tableau AMDEC.

Une autre limitation de l'AMDEC est son aspect fastidieux lorsque l'on s'intéresse à un système complexe, possédant beaucoup de fonctions et de nombreux composants.

Cette complexité peut être accrue si l'on doit considérer de nombreux modes de fonctionnement possibles, et différentes phases de vie comme l'exploitation et la maintenance. Dans ce cas, il est préférable de commencer par une analyse APR et de n'analyser que les modes de défaillance qui sont des causes des événements redoutés ou des causes d'autres événements déjà examinés, c'est-à-dire concourant à l'occurrence d'un événement redouté [44].

III.3.2. Domaines d'application :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode rigoureuse qui s'emploie sous forme de groupe de travail.

Cette analyse possède différents domaines d'application :

- ✓ Lors de la conception d'un équipement dont la fiabilité prévisionnelle représente un enjeu important ;
- ✓ Sur une machine existante dont la fiabilité doit être améliorée ;
- ✓ Sur un procédé existant générant beaucoup de défaillances, et dont la fiabilité doit être corrigée ;
- ✓ Lors de l'industrialisation d'un nouveau produit dont la fiabilité prévisionnelle représente un enjeu (coût - criticité) important [45].

III.4. Les avantages généraux de la méthode AMDEC :

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activité de l'organisation, pour obtenir, dans un ordre que nous avons cherché à rendre significatif, les résultats suivants.

III.4.1. La satisfaction du client :

Est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre lequel personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.

III.4.2. Le pilotage de l'amélioration continue :

Par la gestion de plan d'actions.

L'élaboration et la gestion de ces plans seront, avec les mises à jour régulières de l'AMDEC, un des moyens majeurs de faire vivre l'amélioration continue et de démontrer sa mise en œuvre.

III.4.3. L'amélioration de la communication :

Bien que rarement citée comme un avantage de l'AMDEC, elle est pour nous, un des avantages majeurs. Il s'agit en effet de placer autour d'une table des collègues de différents services afin de les faire travailler en groupe, utiliser la même logique et le même vocabulaire pour échanger des informations qui leurs seront forcément utiles pour la suite de leur travail. Pour une fois, tous vont parler le même langage, et vont ressortir de cet échange avec des priorités, et donc des plans d'actions communs. Ce partage d'information peut s'étendre aux clients, sous-traitants, intervenants divers... La communication est encore aidée par la recherche continue du consensus en AMDEC.

III.4.4. L'amélioration de la stabilité des produits, procédés, services, machines :

Il s'agit en priorité d'agir sur les choses qui gênent, déstabilisent, compliquent... Vous utiliserez l'AMDEC pour rendre plus stable, mieux maîtrisé, mieux connu, mieux compris, moins dangereux..., ce sur quoi vous travaillez.

III.4.5. La réduction des coûts :

Contrairement à ce que certains prétendent, l'AMDEC vous aide à réduire les coûts internes d'obtention de la qualité, à condition de travailler aussi sur les effets internes (dans le cadre de l'AMDEC procédé, sur la réduction des rebuts et des retouches) : c'est un des objectifs majeurs de la méthode. Les coûts externes eux aussi seront diminués, moins de retours garantis, moins de réclamations clients, moins de plaintes, meilleure image de l'organisation...

III.4.6. L'optimisation des contrôles :

Des tests, des essais, et, non pas renforcement de ces mêmes contrôles. L'AMDEC vous aide à ne faire des contrôles que sur les points qui le nécessitent. Elle ne vous contraint pas à tout contrôler, comme nous le voyons et l'entendons dire trop souvent (ce point fera l'objet d'un développement complet dans les différentes AMDEC).

III.4.7. L'élimination des causes de défaillances :

C'est un des objectifs majeurs de l'AMDEC qui se traduira par la mise en place de mesures préventives, voire par l'élaboration de plans d'actions.

III.4.8. L'expérience écrite :

À partir du raisonnement AMDEC, certaines organisations vont être amenées à passer d'une culture orale à une culture écrite. L'AMDEC est un des moyens de faire comprendre à tous les membres d'une organisation, l'importance de l'enjeu, voire le défi que représente ce changement de culture [46].

IV. Conclusion :

Durant ce chapitre, nous avons passé en revue les quatre composantes de sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité), les principaux outils et méthodes d'analyse.

Puis on a discuté sur la méthode l'AMDEC, méthode qu'on a choisi dans notre cas, et leur l'importance en sûreté de fonctionnement car c'est une méthode permettant de formaliser un grand nombre de connaissance sur les installations industrielles. Ce que nous avons vu dans ce chapitre sera utilisé plus tard dans le chapitre quatre.

Chapitre III :

Description et Etude des Performances Epuratoires de la Station
d'épuration d'El Kerma-ORAN

I. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons, dans une première partie, décrire succinctement les différents équipements et installations de ladite STEP. Ensuite, dans une deuxième partie, nous allons analyser les performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées par boues activées d'El Kerma durant la période de fonctionnement allant du mois de janvier 2018 jusqu'au mois de décembre 2019, par l'étude qualitative de l'eau brute (entrée) et épurée (sortie).

Pour se faire, nous avons analysé les données de différents paramètres de pollution qui sont : la température, le pH, les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), la demande chimique en oxygène (DCO), et ortho phosphates (PO₄), Phosphore totale et la conductivité. En effet, les eaux épurées par cette STEP sont valorisées par la réutilisation dans l'irrigation de la plaine de Melata située au sud de la wilaya d'Oran, pour une superficie totale de 8100 hectares [47].

II. Présentation de la Station d'épuration d'El Kerma-Oran :

Le site de la station d'épuration du groupement urbain d'Oran est situé 12 km de la ville d'Oran, en bordure nord-est de la grande Sebkhia entre la voie ferrée et la route national (Figure III.1).

La Station d'Epuration d'EL Kerma a été réalisée par le groupement d'entreprises austro-chinois Vatech Wabag-CGC, conçue pour une population de 1.526.000 EQH d'une capacité de 270.100 m³/j. Le contrôle du dossier d'exécution ainsi que le suivi des travaux ont été assurés par le groupement d'entreprise franco-suisse SGI Cabinet Merlin, et le contrôle des travaux par l'organisme national de contrôle technique de la construction CTC Ouest. Le cout des travaux était estimé à 7milliards de dinars sur terrain de 26 hectares, avec 30 mois de délai de réalisation. Début d'exécution du projet a été septembre 2006. La réception provisoire a été faite en mai 2009 avec une exploitation de 2 ans par l'entreprise Vatech Wabag-CGC.

La station a été transférée à l'entreprise SEOR est une société par actions dont les actionnaires sont l'Algérienne des Eaux « ADE » et l'Office National de l'Assainissement « ONA » le 15 mai 2011, Agbar, assurant la gestion déléguée. Les agglomérations raccordées à la STEP sont : Oran, Bir El Djir, ES Senia et El Kerma [48].

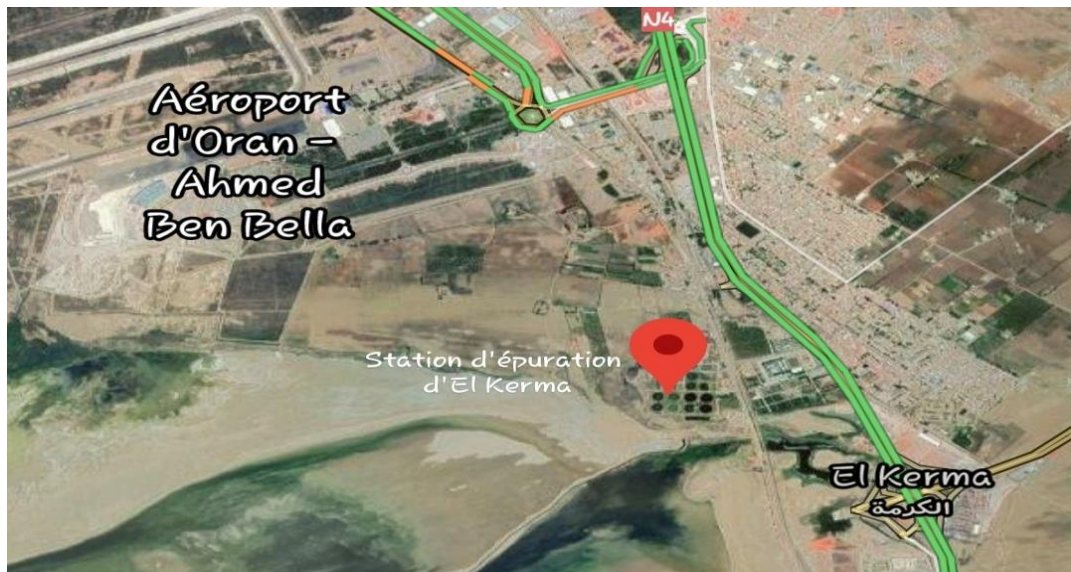


Figure III.1 : Carte de localisation de STEP D'El Kerma-Oran

(Source : Google Maps, 28/02/20).

III. Description du procès de traitement de la station d'El Kerma :

Le système de traitement retenu pour l'épuration des eaux usées d'Oran est l'aération à moyenne charge.

La chaîne de traitement est composée de deux lignes : une ligne d'eau et une ligne de boue. Le débit est divisé parallèlement sur certains ouvrages afin d'améliorer la fiabilité du traitement, les opérations de maintenance et la souplesse de fonctionnement de la station [49].

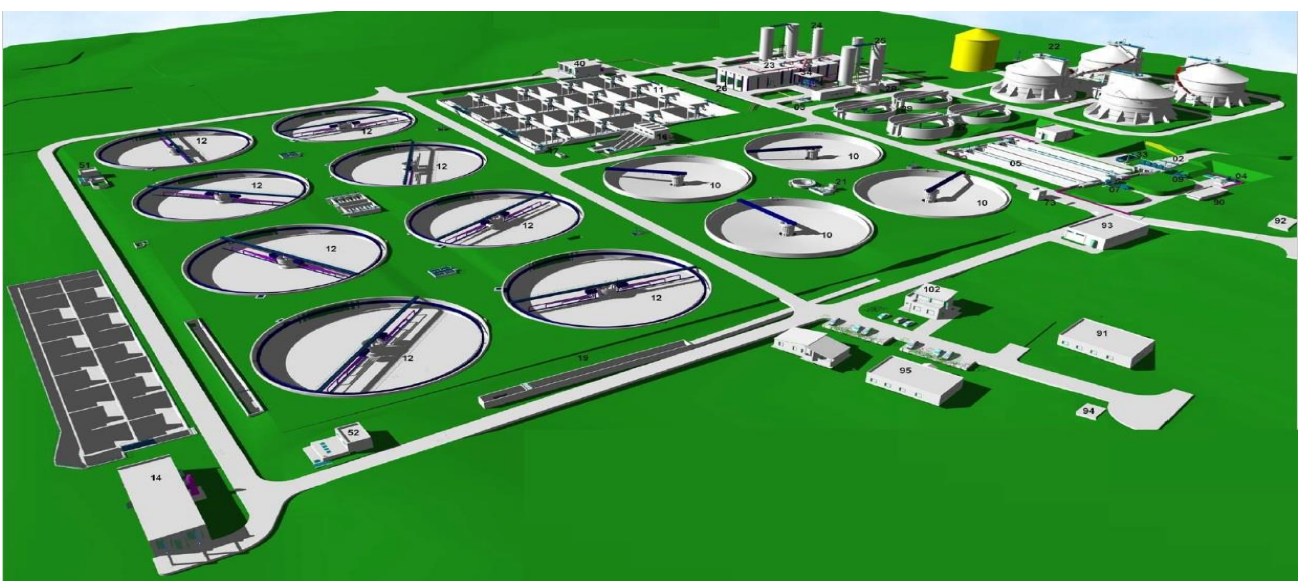


Figure III.2 : Schéma d'implantation des équipements.

III.1. Données de base :

III.1.1. Débit eau usée :

En ce qui concerne le débit en réalités il y a plusieurs débits qui sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Les différents débits des eaux usées dans la STEP d'El Kerma [50].

Paramètre	Unité	Valeur
Equivalent Habitant	EH	1.526.000
Débit moyen journalier	M ³ /j	270096
Débit moyen horaire-temps sec	M ³ /j	11254
Débit moyen horaire diurne	M ³ /h	15006
Débit de pointe horaire nocturne	M ³ /h	3751
Débit de pointe horaire-temps sec	M ³ /h	16200
Débit de point biologique	M ³ /h	15400

III.1.2. Charge polluante :

La capacité de la population raccordée était estimée à 1.526.000 EQH environ. Soit ainsi les dotations principales suivantes pour la partie urbaine [50].

Tableau III.2. La charge massique de différentes paramétrées physico-chimiques.

Paramètre	Valeur du paramètre		
	g/EH/j	Kg/j	mg/l
MES	90	96860	359
DBO ₅	60	91560	339
DCO	135	229910	848
N _{tot}	11	16786	62

NTK	11	****	****
P _{tot}	1.8	2746	****

III.2. Description des installations de la STEP traitement des eaux :

III.2.1. By- pass (déversoirs d'orage) :

En amont du dégrillage l'ouvrage d'entrée comprend deux déversoirs qui donnent sur un puits de départ du by-pass général. Le by-pass est opérationnel quand le niveau en amont les dégrilleurs dépassent un seuil haut [50].

III.2.2. Le dégrillage :

Les déchets solides fins ou grossiers sont stoppés par les dégrilleurs. Au niveau de cette STEP, il existe 4 chenaux de dégrillage équipés des dégrilleurs fins (espacement entre les barreaux = 10 mm). Les grilles mécaniques sont inclinées de 75° offrant une grande surface de passage ; leur nettoyage s'effectue d'une manière très simple par une racle rigide qui épouse la forme des barreaux de la grille.

L'opération automatique des dégrilleurs est contrôlée par une mesure différentielle du niveau d'eau en amont et en aval du dégrillage [51].



Figure III.3 : Dégrilleur fin mécanique.

III.2.3. Le dessablage et déshuilage :

Un chenal de sortie fait suite au poste de dégrillage en amenant les eaux dégrillées vers quatre chenaux de dessablage - déshuilage.

L'entrée des dessableurs - déshuileurs est équipée de batardeaux. Chaque dessableur - déshuileur a une longueur de 50m, exécuté en béton armé de section trapézoïdal. L'ouvrage est équipé de ponts racleurs suceurs jumelés animés d'un mouvement de "va-et-vient" destiné à extraire les sables déposés aux fonds de l'ouvrage montré dans la (Figure II.5) ci-dessous ; qui seront transportés par la suite dans une rigole centrale qui débouche vers une fosse collectrice. Le mélange eau et sable sera transporté vers un calibre de sable situé à côté du dessableur. Le sable est asséché puis déchargé dans une benne.

Tableau III.3 : Les dimensions de l'ouvrage dessableur-déshuileur.

Dimensions	Valeurs
Longueur	50 m
Largeur (dessableur)	4,8 m
Largeur (déshuileur)	2 m
Profondeur utile	4,6 m

Le temps de séjour dans le dessablage correspondant à un débit max est de 15 min. Les matières flottantes et les graisses s'accumuleront à la surface du déshuilage et seront raclées jusqu'à l'entrée d'un puits à graisses [51].



Figure III.4 : Dessableur-Déshuileur.

III.2.4. Décantation primaire :

La station dispose de 4 décanteurs primaires (Figure III.5) équipés de ponts racleurs, les dimensions de chaque décanteur primaire sont récapitulées ci-après :

- Diamètre : 48,9 m ;
- Hauteur d'eau moyenne : 2,56 m.

L'eau dessablée et déshuilée coule dans un canal vers les 4 bassins de décantation primaire. Chacun d'eux est équipé d'un racleur animé d'une vitesse d'un tour chaque 35min. Une partie des MES se dépose et réduit donc la charge massique de DBO₅ et DCO. Concernant la boue primaire, elle sera dirigée vers l'épaississement primaire (traitements des boues).

Le taux d'élimination estimatif dans la décantation primaire est de 33% pour la DBO₅, de 29% pour la DCO et de 63% pour les MES [51].



Figures III.5 : Décanteurs primaires.

III.2.5. Traitement biologique :

Le procédé d'épuration mis en œuvre est le traitement des eaux usées par boues activées. Il fait appel aux microorganismes dans les eaux pour la transformation et l'élimination des matières polluantes. Le réacteur biologique ou bassins d'aération constituent le cœur u procédé, dans lequel s'effectue le métabolisme bactérien à l'origine du phénomène aboutissant à l'épuration. La géométrie du bassin d'aération est la suivante :

Tableau III.4 : dimensions d'un bassin d'aération.

Dimension	Valeur
Nombre de bassin	4
Longueur au plan d'eau (m)	89.8
Largeur au plan d'eau (m)	22.5
Hauteur d'eau (m)	5.25
Volume net unitaire (m ³)	10 584
Volume net total (m ³)	42 336

Pour assurer les objectifs classiques appliqués à cette station d'épuration à boues activées, le dimensionnement du bassin d'aération prendra généralement en compte les conditions de fonctionnement suivantes :

- Charges massiques : 0.5Kg DBO₅ /Kg M.S ;
- Concentration en boues activées : 4 g/l ;
- Temps de séjour moyen : 2h30 min ;
- Age de boues : 2 à 4 j [49].



Figure III.6 : Bassin d'aération de la station d'épuration.

III.2.6. Décantation secondaire (Clarification) :

La clarification des effluents est une étape essentielle dans l'épuration. L'efficacité de la séparation de la liqueur mixte, en boues concentrées et en eau traitée, a une influence directe sur les conditions de fonctionnement du système et sur le rendement épuratoire. Le rôle de la décantation secondaire est donc d'assurer une meilleure séparation de la biomasse de l'eau traitée et de permettre par ailleurs un premier épaissement des boues biologiques décantées.

Dans le cas de la STEP d'El Kerma, l'opération de la clarification est assurée par 8 ouvrages de diamètre 56.5 m et les hauteurs utiles à 2/3 du diamètre de 3.4 m [51].



Figure III.7 : Décanteur secondaire.

III.2.7. Désinfection :

La désinfection des effluents a pour objectif principal améliorer la qualité bactériologique de l'effluent épuré afin de protéger la zone de rejet. Sur la base d'un temps de séjour de 30mn pour le débit de pointe du temps sec. Le bassin de contact présente un volume utile de 7700 m³, ce bassin est de type à chicanes et les dimensions sont les suivantes :

- Nombre d'ouvrage : 2 ;
- Longueur : 100 m ;
- Largeur : 10 m ;
- Hauteur d'eau : 4,05 m.

Avant leurs évacuations, les eaux traitées doivent être désinfectées pour éviter tout risque de contamination. A cette fin les eaux épurées de la station subiront un traitement de désinfection par le chlore gazeux [51].



Figure III.8 : Bassin de désinfection.

III.3. Description du traitement des boues :

III.3.1. Recirculation des boues :

Le principal objectif de traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire une concentration constante pour limiter les quantités à stocker, et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques et arrêter la biodégradation. Après avoir deux types de boues différentes, on passe à leurs traitements. Pour la boue activée (secondaire) on utilise une partie pour la retourner au bassin d'aération par la vis d'Archimède (Figure III.9). L'autre partie, va se diriger vers l'épaississement mécanique et la boue primaire vers l'épaississement primaire [51].



Figure III.9 : Vis d'Archimède.

III.3.2. Epaissement des boues primaires :

L'épaissement est la première étape, et a pour rôle d'enlever une partie plus ou moins importante de l'eau contenue dans les boues et augmenter la concentration des matières.

Les boues primaires des 4 décanteurs primaires sont archimène en premier lieu vers un puis de collecte. Le prélèvement se fait par deux pompes (plus une en réserve) à vis excentrée qui transportent la boue primaire du collecteur vers les épaisseurs de boue primaire montré dans la (Figure III.10)



Figure III.10 : Epaissement primaire.

La boue primaire compressée est également retirée tour à tour des deux épaisseurs au moyen d'une pompe à vis excentrée avec broyeurs intégrés puis transportée dans le bassin d'homogénéisation.

L'eau trouble provenant de l'épaisseur de boue primaire est envoyée vers la station de pompage des eaux troubles [51].

III.3.3. Boues en excès (boues secondaires) :

La boue en excès est continuellement prélevée du puisard d'aspiration de la station de pompage de la boue de retour au moyen de pompes à moteur submersibles à fréquence réglable qui alimentent directement par deux conduites à haute pression la station mécanique d'épaissement de la boue en excès. La boue en excès est épaissie par 3 épaisseurs à

bandes (2 en fonctionnement et 1 en réserve) d'une teneur en matières solides d'environ 0,8 à environ 6 % en ajoutant des polymères.

La boue en excès épaissie est transportée à l'aide de pompes à vis excentrée vers le bassin d'homogénéisation pour l'approvisionnement des digesteurs par pompage.

Ladite STEP est doté d'un bassin d'homogénéisation montré dans la (Figure III.11), d'un volume d'environ 200 m³. Ce bassin sert à la fermentation de boues brutes à partir de boues primaires et de boues en excès [51].



Figure III.11 : Bassin D'Homogénéisation.

III.3.4. Digestion anaérobie de la boue :

La digestion anaérobie ou la méthanisation est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques qui sont dégradées partiellement en l'absence de l'oxygène.

La stabilisation de la boue s'effectue en milieu mésophile dans des digesteurs anaérobies d'une température d'environ 37°C et d'un volume de 9605 m³. Pour un volume total de 38.420 m³, on obtient un temps de séjour de 21.6 jours. Ce temps de séjour permet une bonne stabilisation pour les boues brutes communales habituelles. Le digesteur est montré dans la (Figure III.12).



Figure III.12 : Digesteur anaérobie.

Le chauffage du digesteur s'effectue grâce à un système de circulation de boue chaude qui comprend des pompes de circulation de boue chaude, un injecteur à mélange pour l'introduction de boue brute et un échangeur thermique. Pour ce système de circulation de boue chaude, on apporte l'énergie thermique nécessaire pour chauffer la boue brute à la température de 37°C qui va dégager des gaz qui vont passer par une conduite vers un gazomètre ou ils seront stockés [51].

III.3.5. Déshydratation mécanique :

Les boues digestes sont acheminées vers la salle de déshydratation mécanique, où elles vont être déshydratées avec une teneur en substances sèches d'au moins 25 %. Pour la déshydratation des boues, au niveau de la STEP d'El Kerma, il existe 8 de filtres à bandes presseuses.

La boue digérée déshydratée et chaulée est évacuée dans la benne d'un camion, ou bien dans stockée dans les silos de stockage de boues [51].

III.3.6. Production de gaz :

Le biogaz produit pendant le processus de stabilisation anaérobie est conduit de la tête du réservoir vers le gazomètre par un système de canalisation de la production de gaz et quatre

filtres à gravier qui servent à la séparation de l'eau et à un premier assainissement du biogaz. La production de chacun des quatre digesteurs est comptée séparément [51].

IV. Performances de la station d'épuration d'El Kerma :

Dans cette partie, nous allons aborder une étude qualitative des paramètres physicochimiques et biologiques (la température, le pH, les MES, la DBO₅, la DCO, PO₄, P_{tot} et la conductivité) des eaux d'entrée et des eaux de sortie. Les valeurs de ces paramètres ont été mesurées et communiquées par le service du laboratoire de ladite STEP.

IV.1. Analyse des débits :

La station d'épuration El Kerma a traité le volume 193621519 m³ en 2018, et en 2019 le STEP a traité le volume 9862209 m³. Nous avons constaté au cours du mois d'août à décembre 2018 et d'avril à mai 2019 un arrêt, principalement caractérisé par l'arrêt du pompage périodique de la station de relevage de Petit Lac, en moyenne 4h / j. Et au cours du mois de juin 2019, la station d'épuration d'Oran n'a reçu aucun débit, et ce depuis le 24 mai 2019.

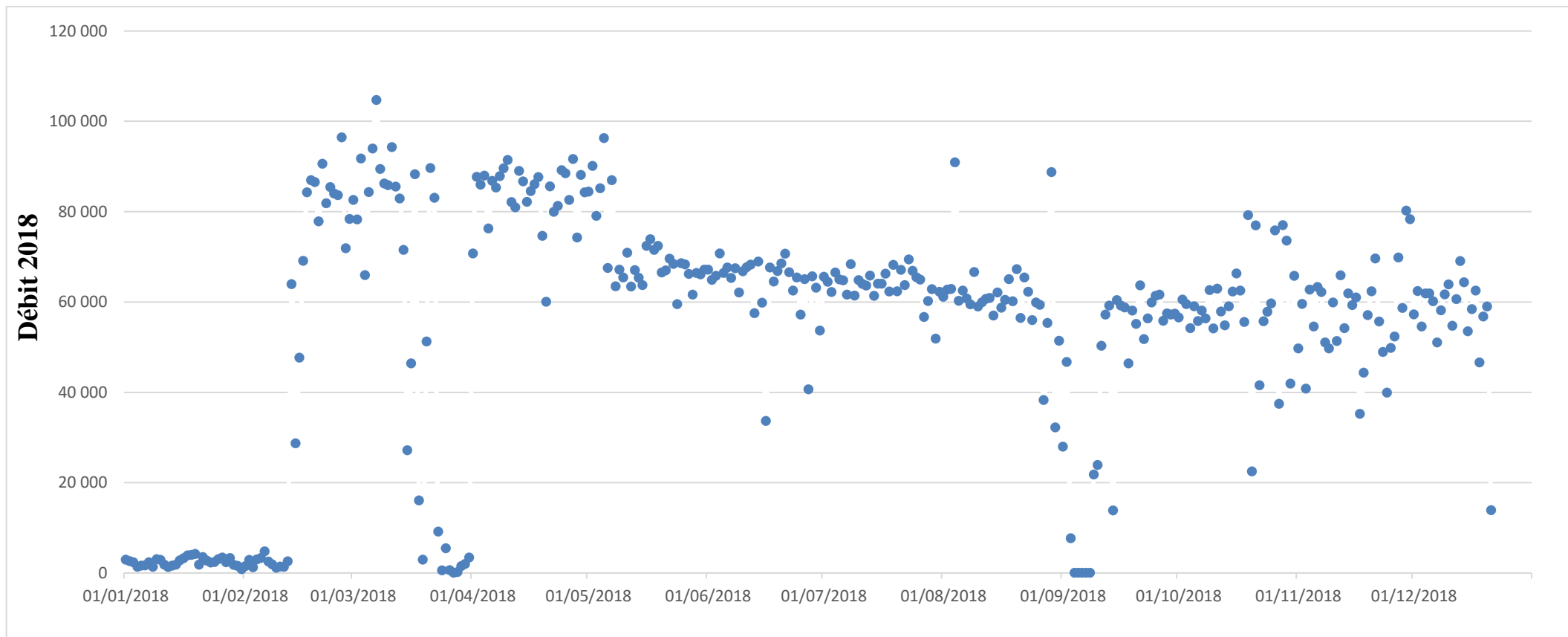


Figure III.13 : Evolution journalière de Débit à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

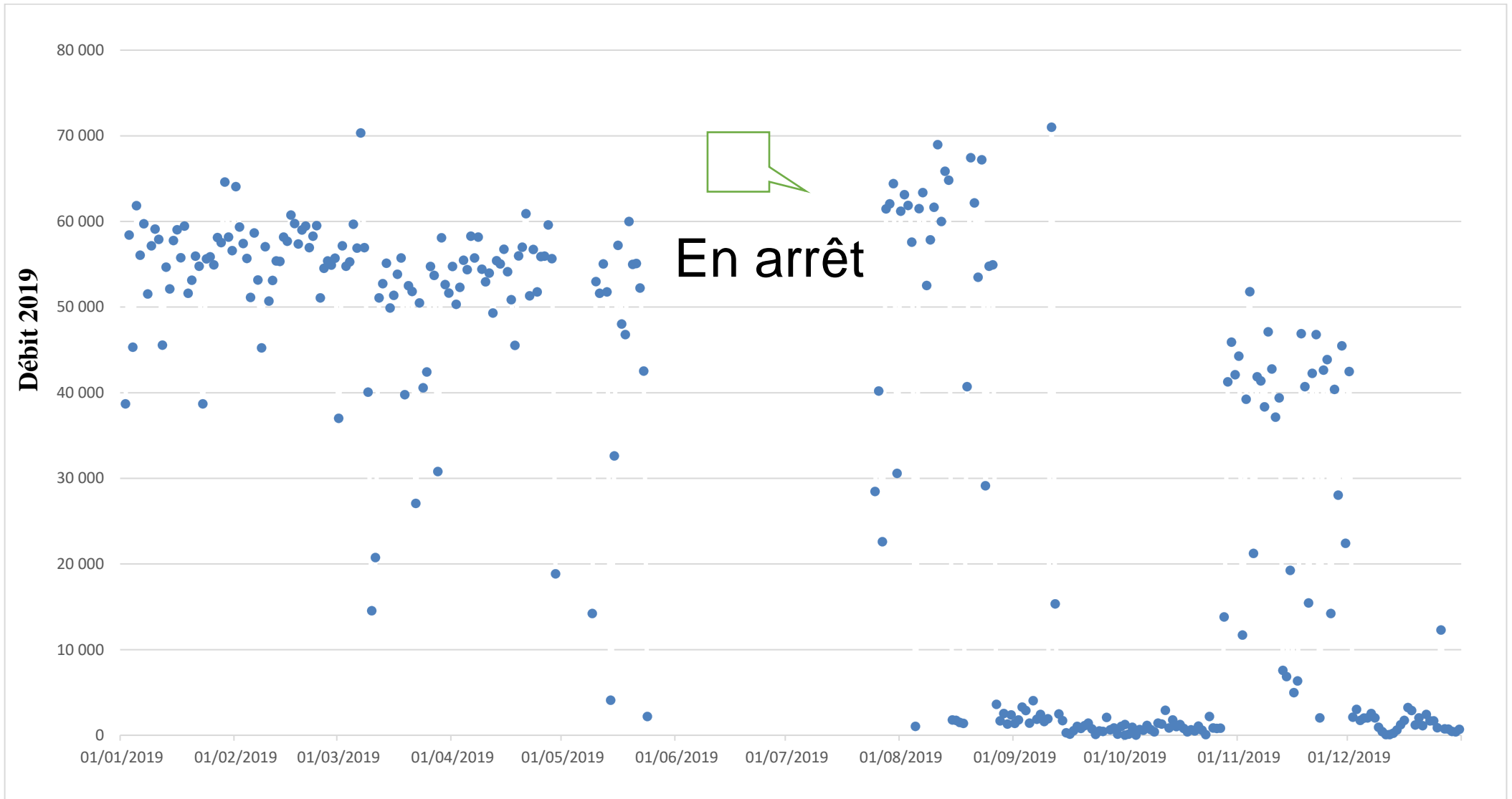


Figure III.14 : Evolution journalière de Débit à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

IV.2. Température :

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment) Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision [52].

Les figures ci-dessous représentent la variation de la température de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP sur une période de deux années.

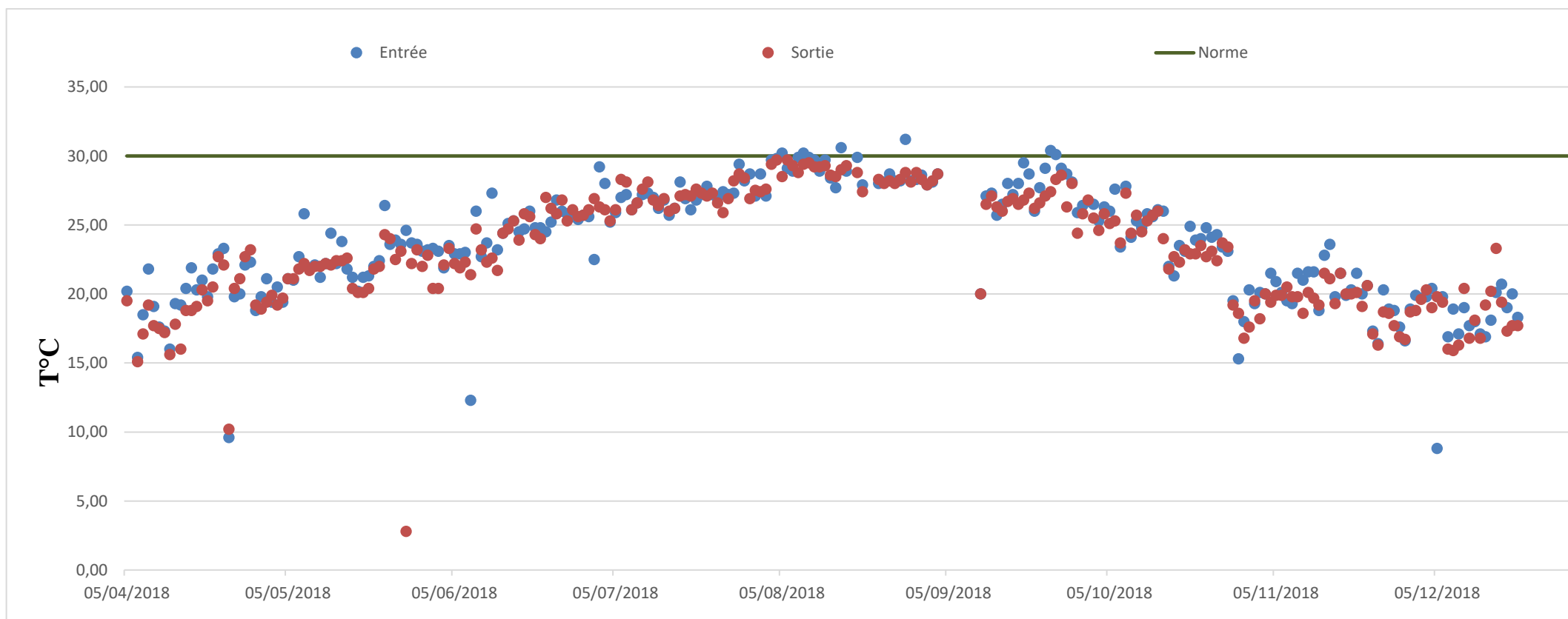


Figure III.15: Evolution journalière de la T°C à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

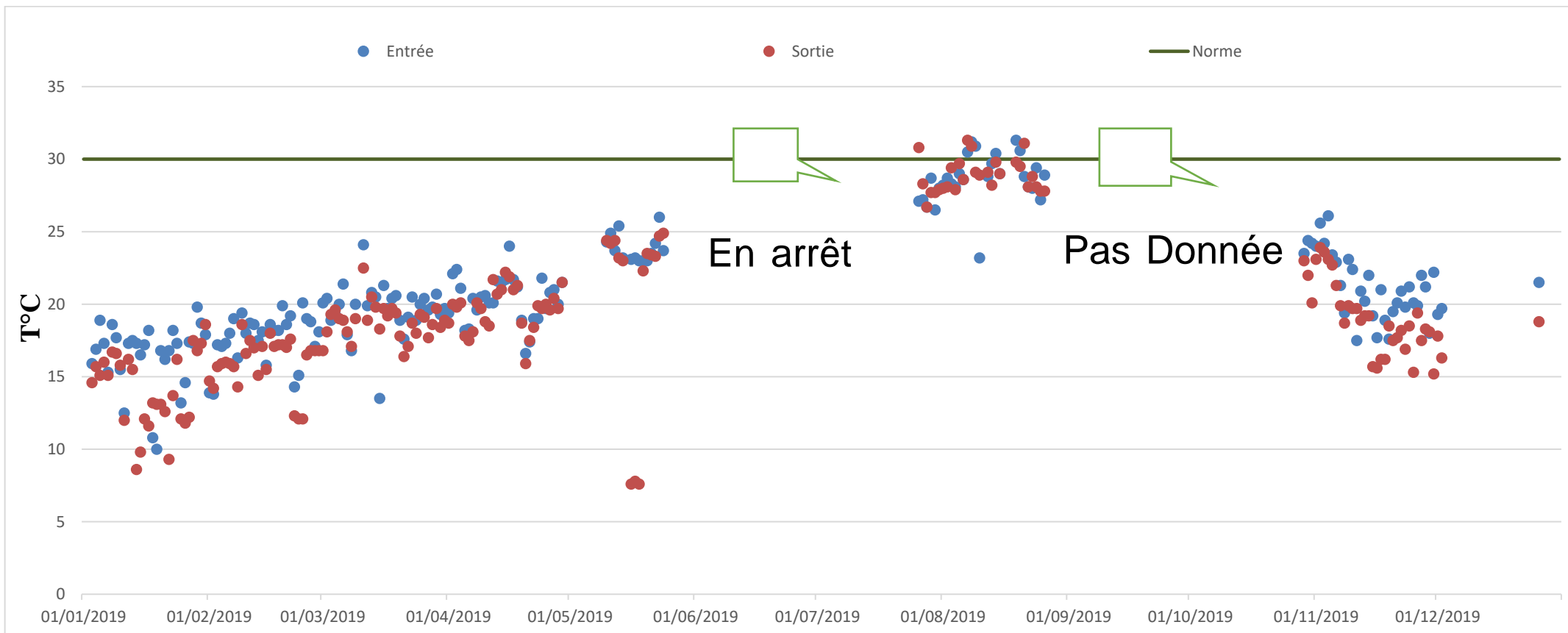
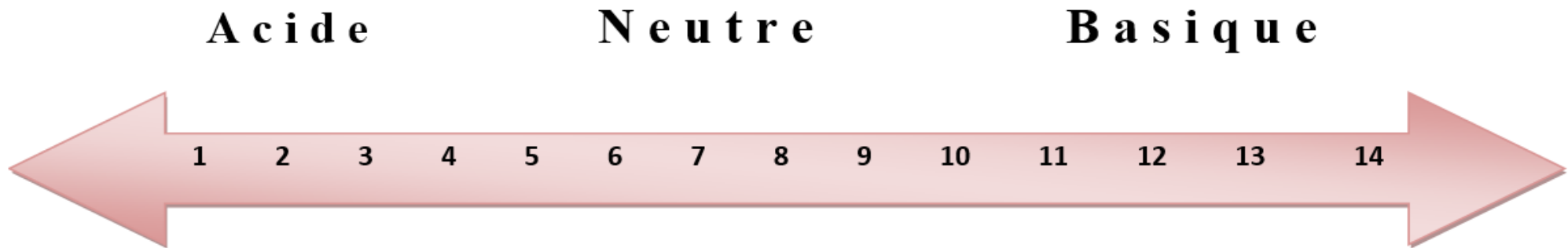


Figure III.16 : Evolution journalière de la T°C à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

D'après les résultats de la température mesurée à l'entrée et à la sortie, on voit que les valeurs sont très proches, avec les moyennes de ce paramètre de l'eau brute et traitée sont respectivement 21,70 ° C et 20,67 ° C, ces valeurs sont bien en les normes de l'OMS (Organisation mondiale de la santé) et la réglementation algérienne (30 ° C) (ANNEXE I).

IV.3. Le potentiel d'hydrogène (PH) :

Le pH représente le caractère acide ou alcalin d'une masse d'eau. Il est mesuré sur une échelle de 1 à 14. Le pH 7 représente la neutralité. Ce paramètre est sensible à la température [53].



Les figures ci-dessous représentent la variation du pH de l'eau brute et des eaux traitée à la sortie.

Les valeurs de potentiel d'Hydrogène des eaux brutes pour deux années 2018/2019 se situent dans un intervalle [4.13- 8.36]. Ces valeurs est dans la fourchette de neutralités qui permet un bon déroulement de processus de traitement d'épuration. Et elles sont aussi conformes aux normes de rejet direct qui sont comprises entre 6,5 et 8,5 (ANNEXE I).

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

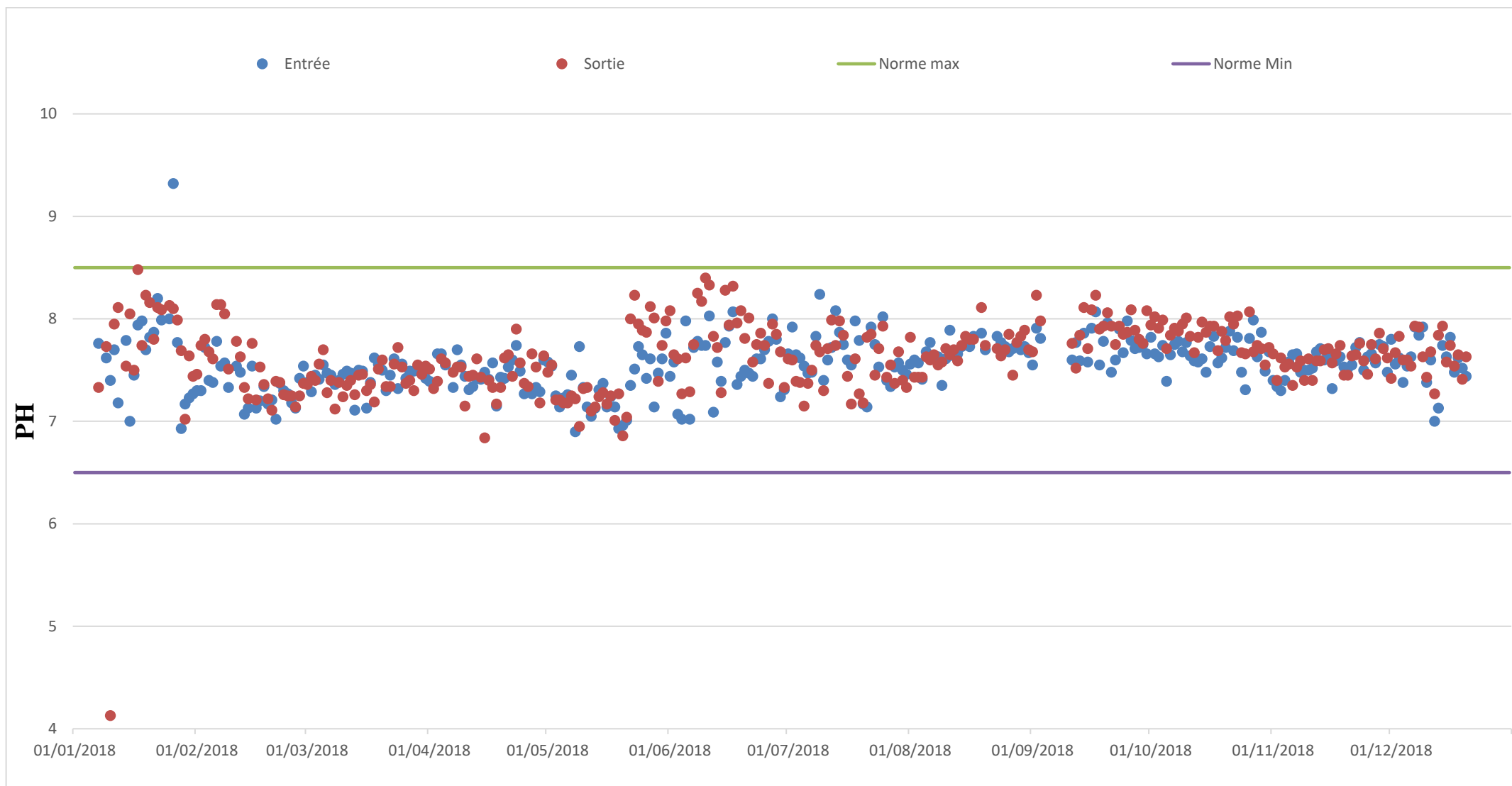


Figure III.17 : Evolution journalière de pH à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

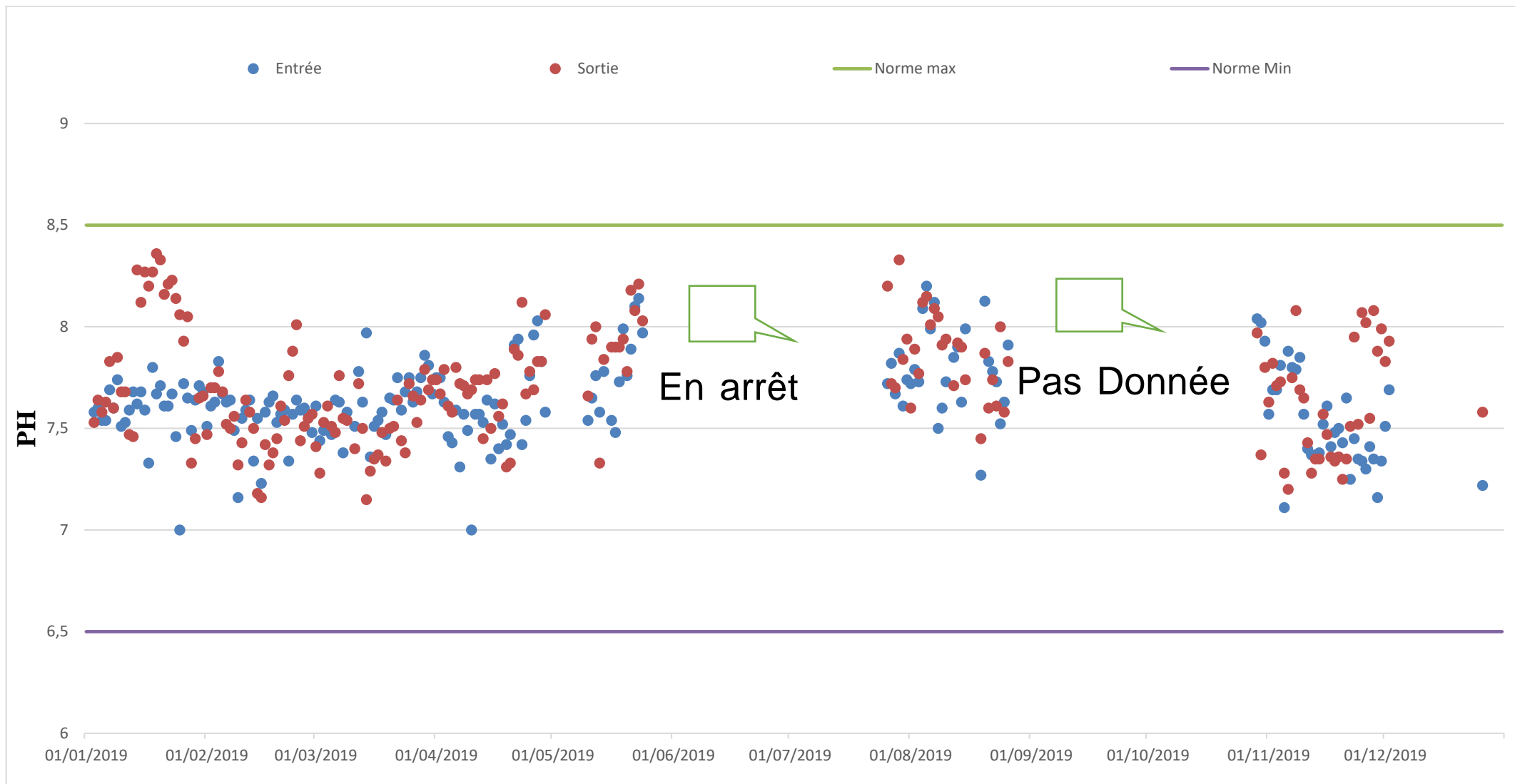


Figure III.18: Evolution journalière de pH à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

IV.4. La conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau [54].

A partir des résultats que nous avons obtenus, nous notons que les valeurs de conductivité enregistrées au cours de la période d'étude dépassent complètement les critères de rejet ($1500 \mu\text{S} / \text{cm}$). Cela est dû au fait que la station d'épuration est située dans une zone industrielle, où les eaux usées ont probablement été contaminées par un rejet illégal de l'une des industries riveraines.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

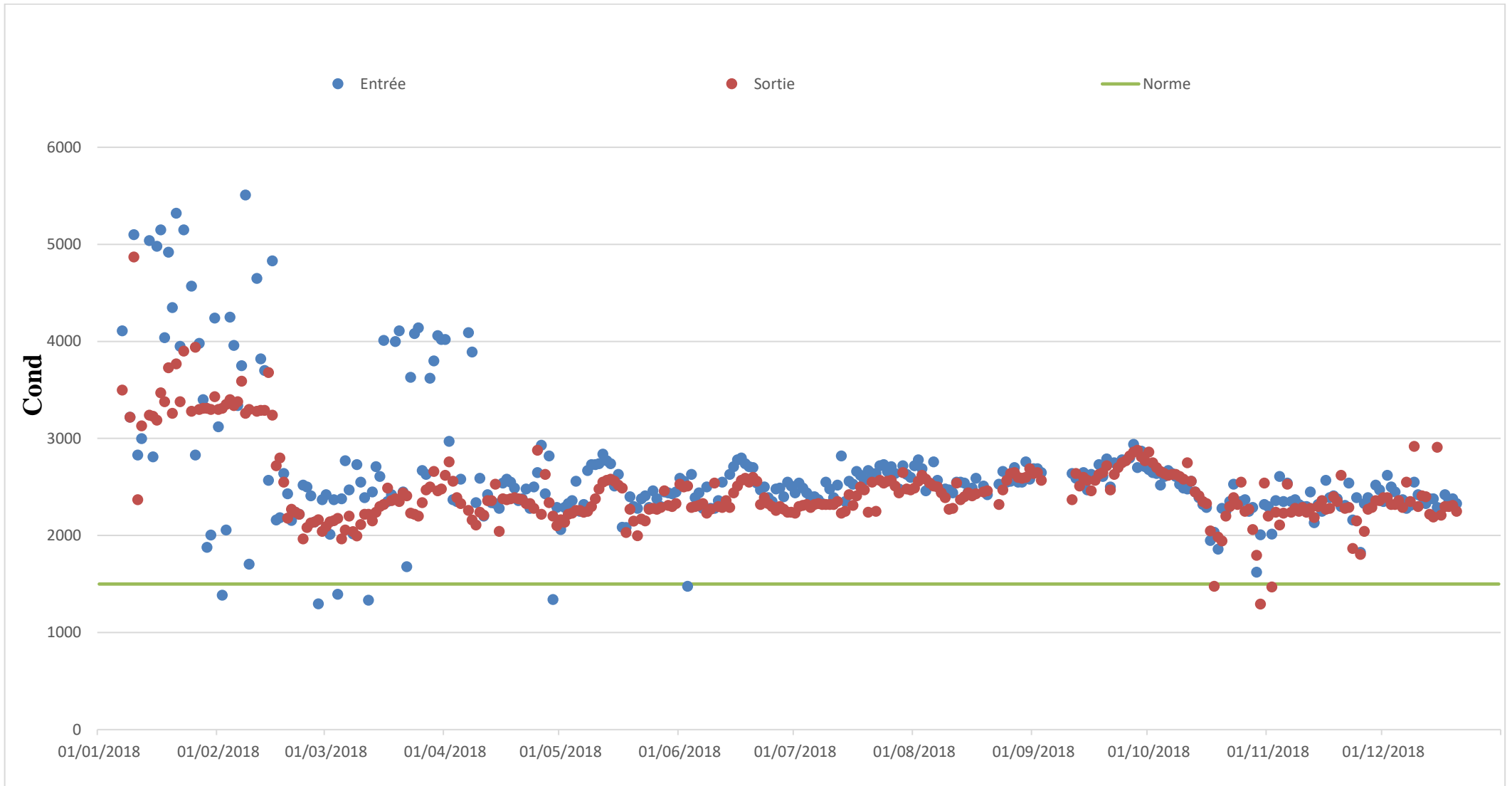


Figure III.19 : Evolution journalière de conductivité à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

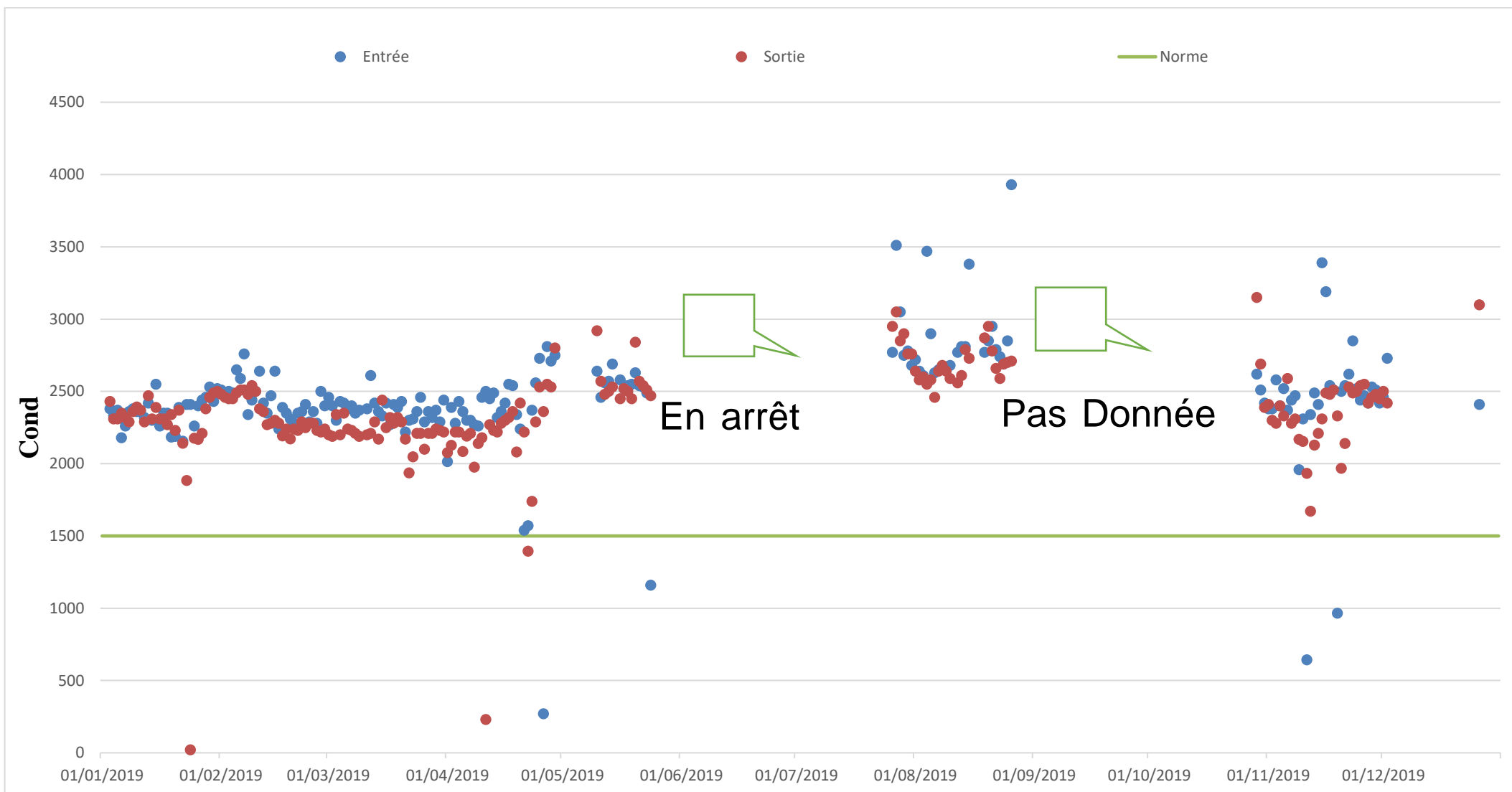


Figure III.20 : Evolution journalière de conductivité à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

IV.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale [55].

Les analyses effectuées sur les échantillons de DCO montrent que les valeurs sont inférieures aux normes, La DCO moyenne de l'eau brute et purifiée est respectivement de 429,72 mg/l et 55,24 mg/l, cette moyenne est présente dans la réglementation algérienne (120 mg / l) ; et celle de l'OMS (<90 mg / l), (ANNEXE I). Cela signifie que le traitement effectué sur l'eau brute est acceptable. (Figures ci-dessous)

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE
LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

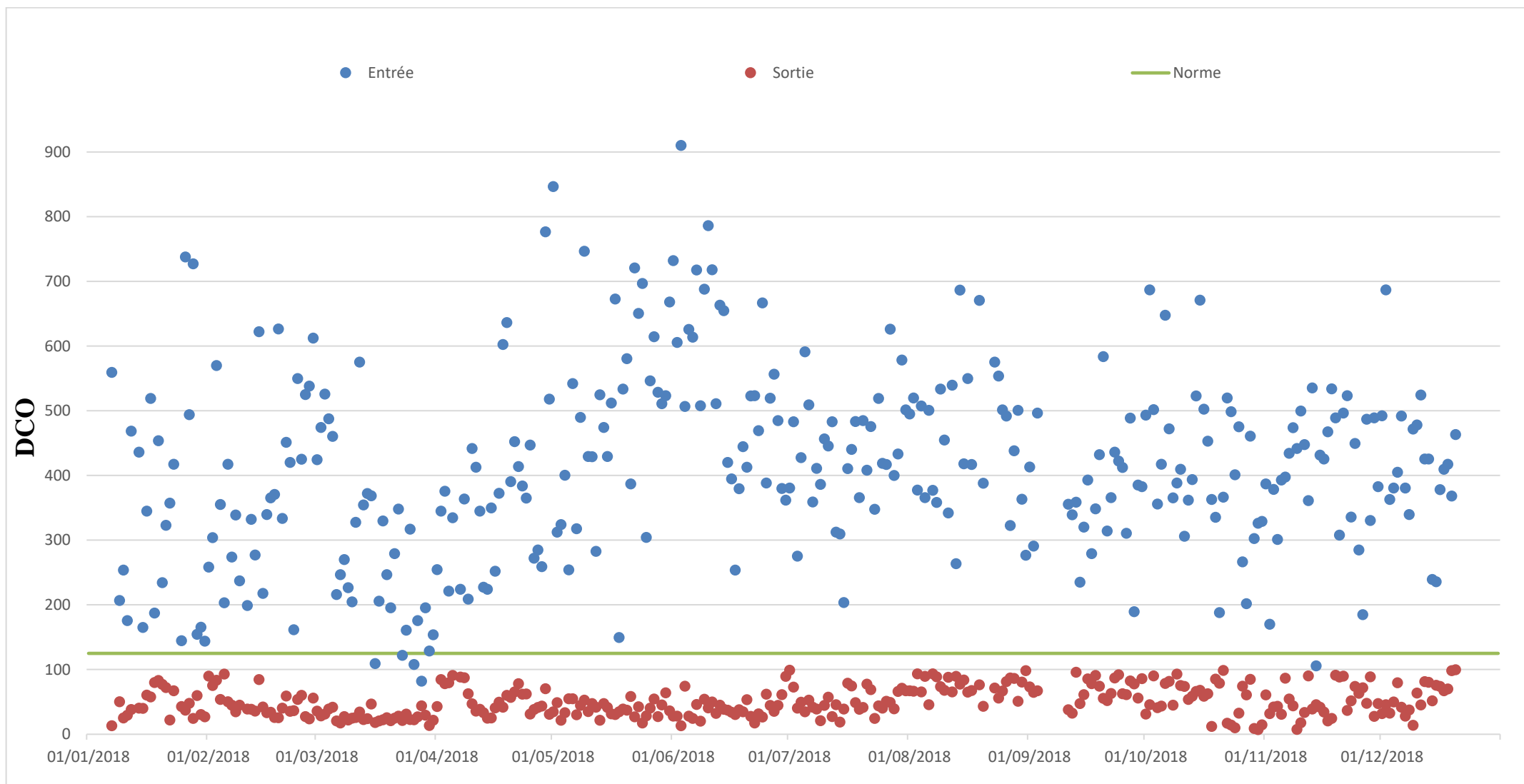


Figure III.21 : Evolution journalière de DCO à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

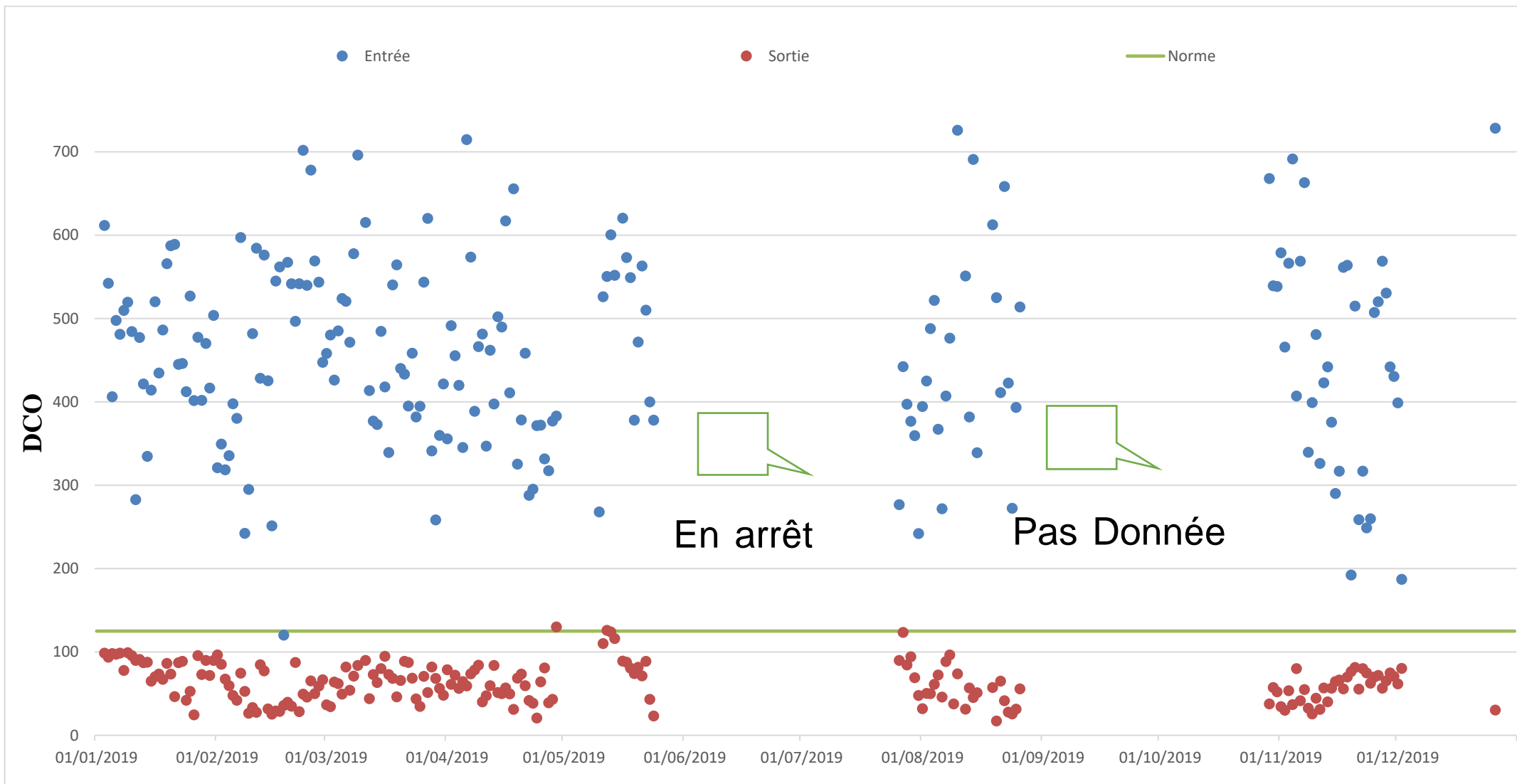


Figure III.22 : Evolution journalière de DCO à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

IV.6. Demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La DBO₅ est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de la matière organique biodégradable par des processus biochimiques [55].

Les valeurs enregistrées durant la période d'analyses sont indiquées dans les figures ci-dessous.

Les résultats obtenus ont montré un certain dépassement au niveau des eaux épurées de la STEP pendant deux ans 2018/2019.

La moyenne de DBO₅ pour l'eau brute et l'eau traitée est respectivement de 260,6 mg /l et 15,16 mg /l, ce qui signifie que le traitement biologique sur l'eau est légèrement acceptable, en particulier par rapport à la norme de rejet d'environ 25 mg / L et que l'eau à l'entrée d'une station d'épuration chargé de matières organiques biodégradables.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE
LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

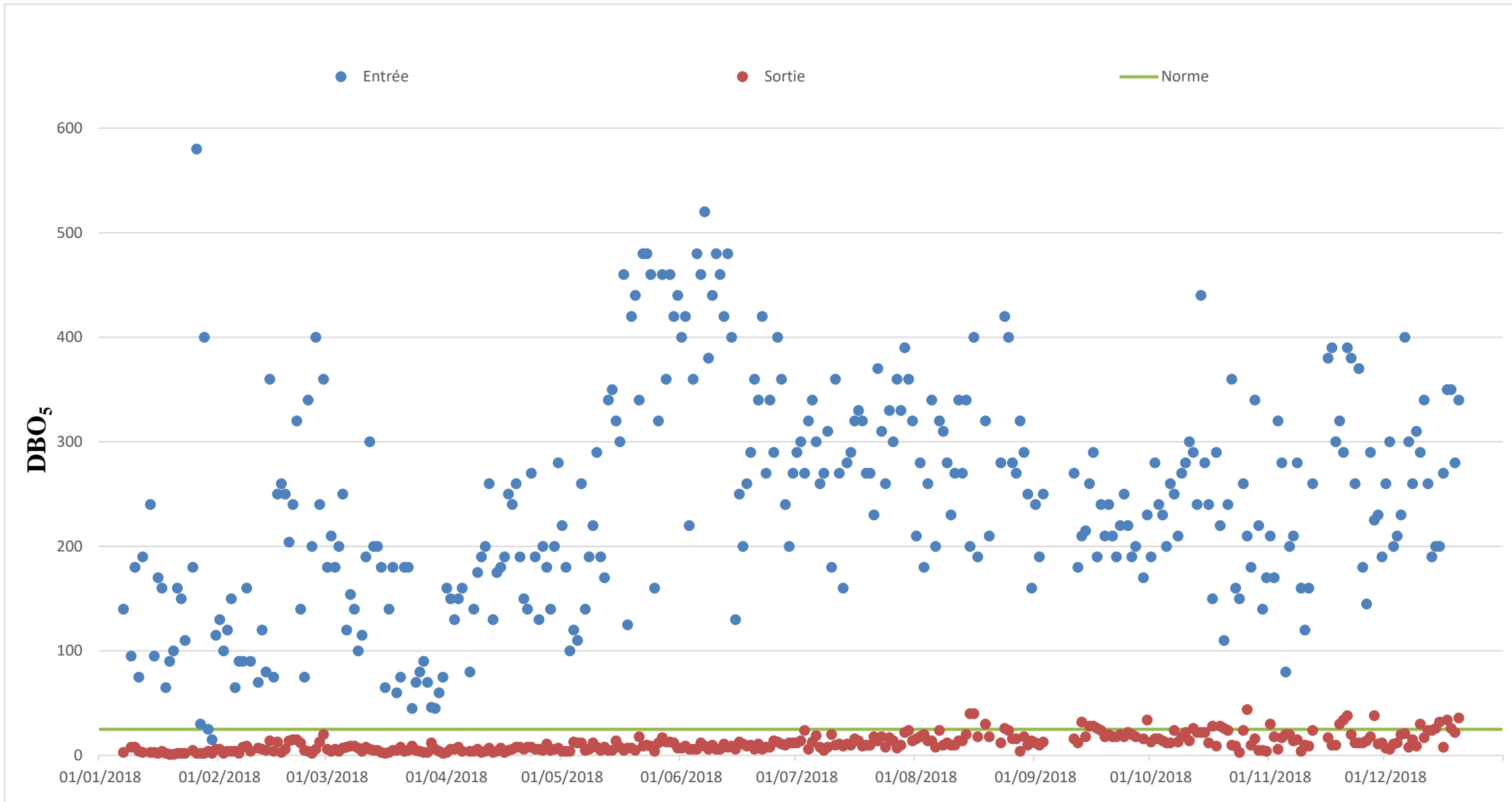


Figure III.23: Evolution journalière de DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

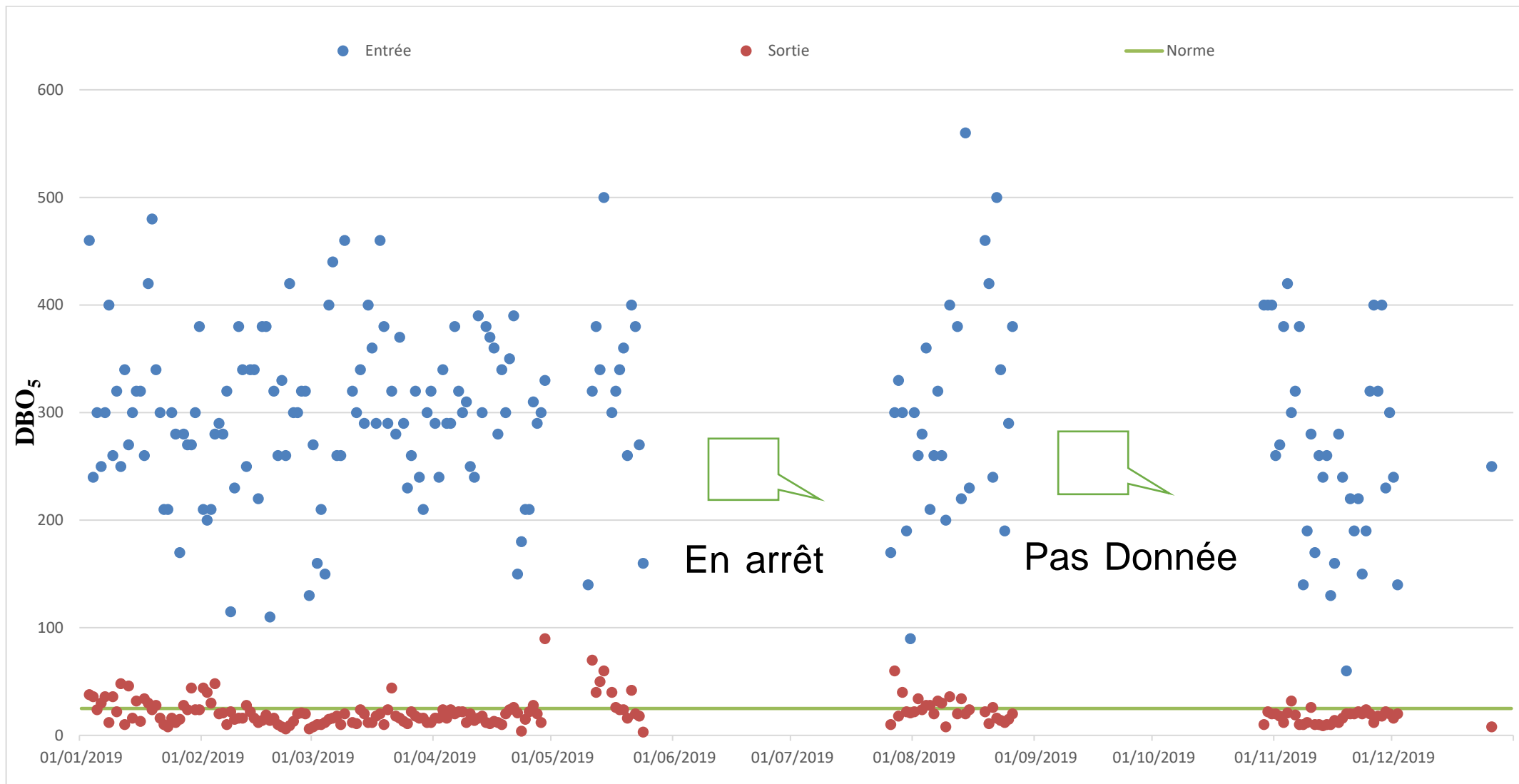


Figure III.24: Evolution journalière de DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

IV.7. Matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension ont une influence sur la turbidité. Ce paramètre est la mesure du caractère trouble de l'eau et elle est causée par la présence de matières en suspension (argile, limon, particules organiques) [56].

Les figures ci-dessous montrent la variation de la concentration des MES à l'entrée et à la sortie de la STEP en fonction du temps.

La gamme d'eau brute pendant deux ans 2018/2019 varie entre [25 mg/l-1215 mg/l] avec une moyenne égale à 213,49 mg /l. Et celle purifiée sur l'intervalle [3 mg/l – 56 mg/l] de 14,80 mg /l en moyenne. Ces valeurs montrent que le traitement effectué sur l'eau brute est légèrement conforme à la norme de rejet de l'OMS (30 mg / l) et celui du journal officiel algérien limité à 35 mg /l (**ANNEXE I**).

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

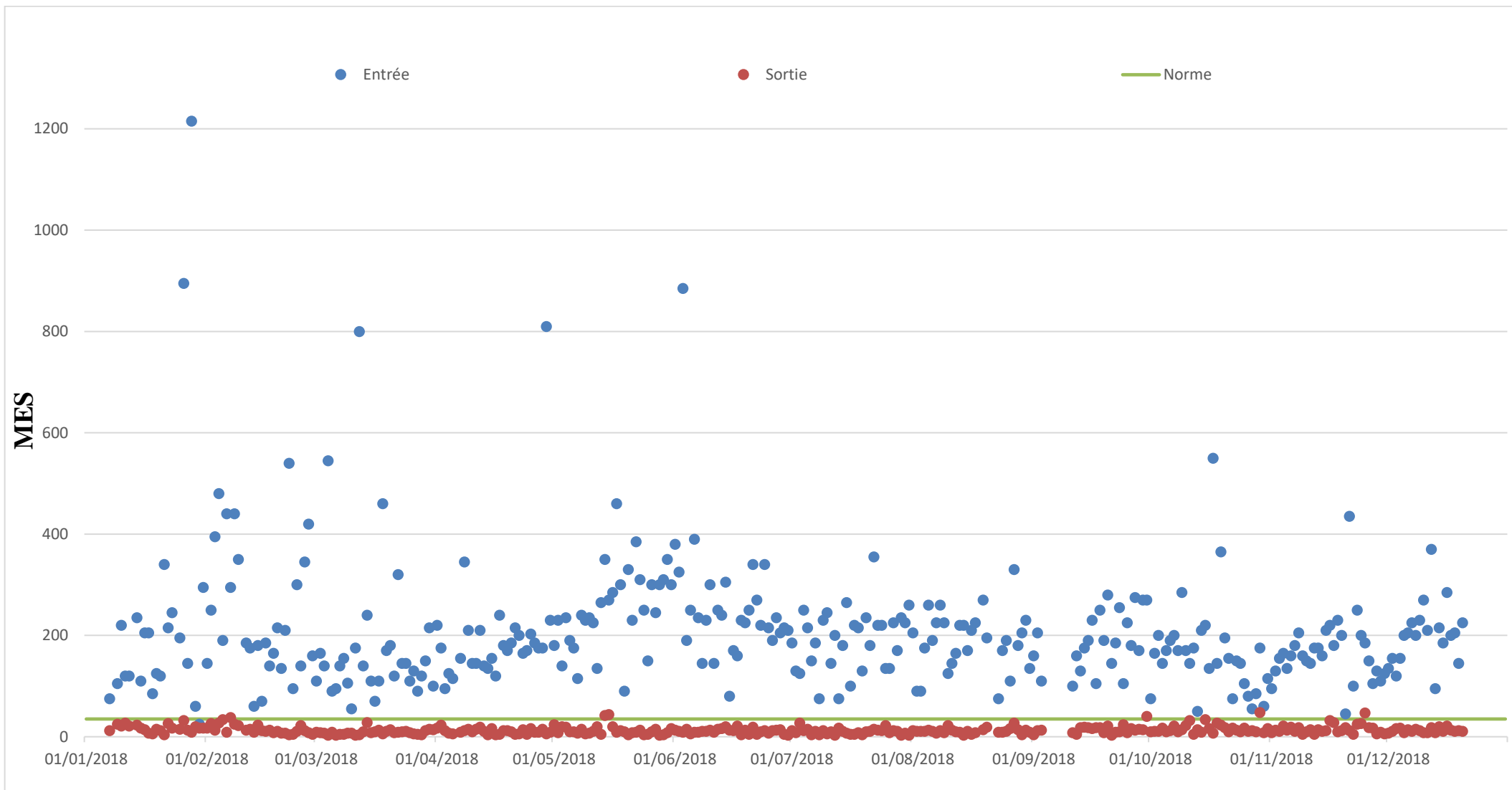


Figure III.25 : Evolution journalière de MES à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

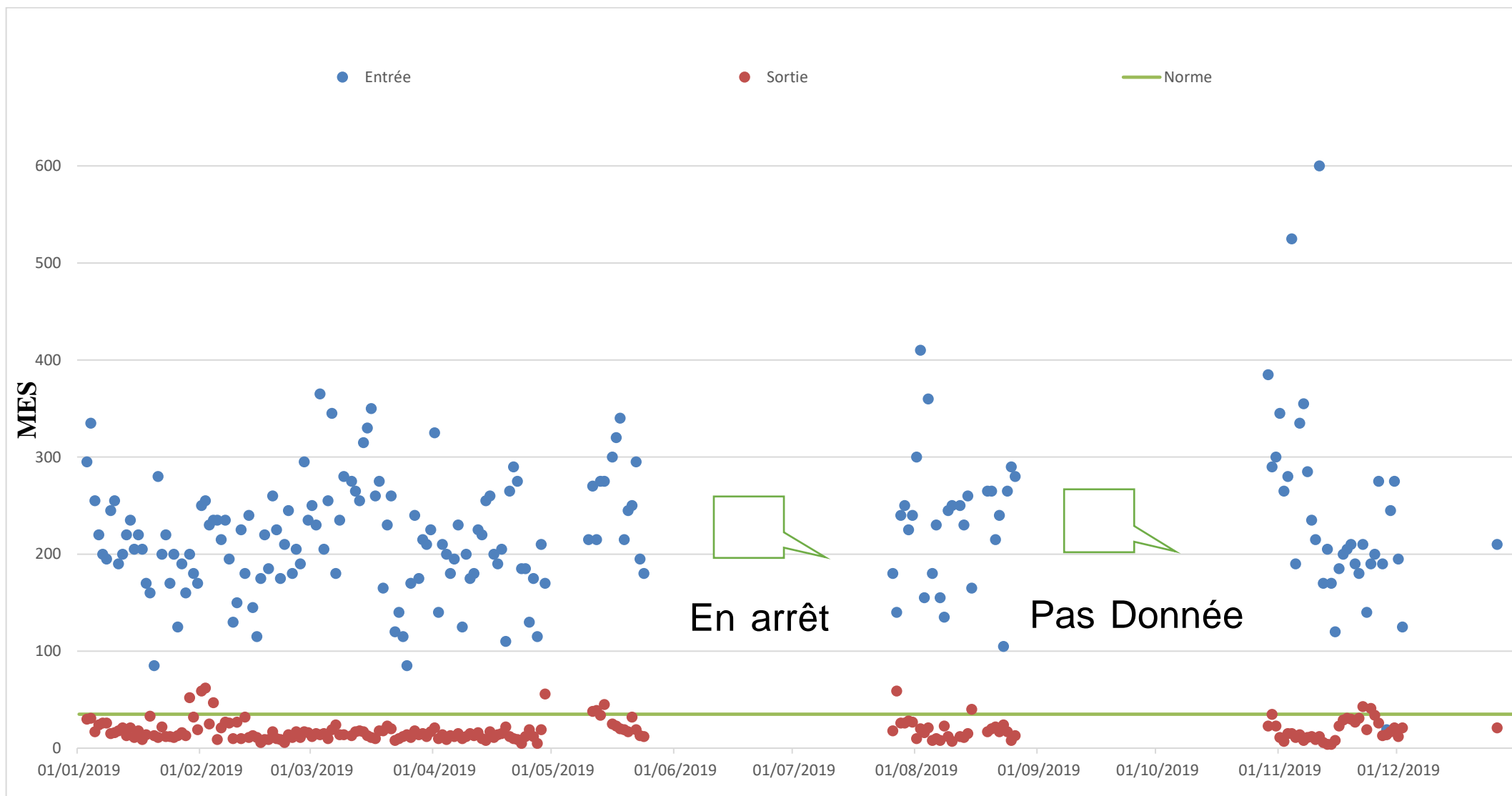


Figure III.26 : Evolution journalière de MES à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

IV.8. Phosphore (PO₄) :

Le phosphore des eaux usées, particulaire ou soluble, est essentiellement constitué : de phosphore inorganique (essentiellement des polyphosphates) et des ortho phosphate dont une part provient de l'hydrolyse des polyphosphates, de phosphore organique : phospholipides, esters, polynucléotides [57].

Les concentrations de PO₄ mesurées à l'entrée et à la sortie de la STEP sont représentées sur Les figures ci-dessous.

Nous notons que les valeurs de phosphore enregistrées au cours de la période d'étude dépassent largement les normes de rejet. Concernant Le PO₄ moyen de l'eau brute et traitée est respectivement de 8,868 mg /l et 5,719 mg /l, ces valeurs sont élevées et dépassent les normes algériennes et internationales de rejets (<2 mg / l) (ANNEXE I). Cela reflète un dysfonctionnement selon lequel STEP ne traite pas correctement le phosphore.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

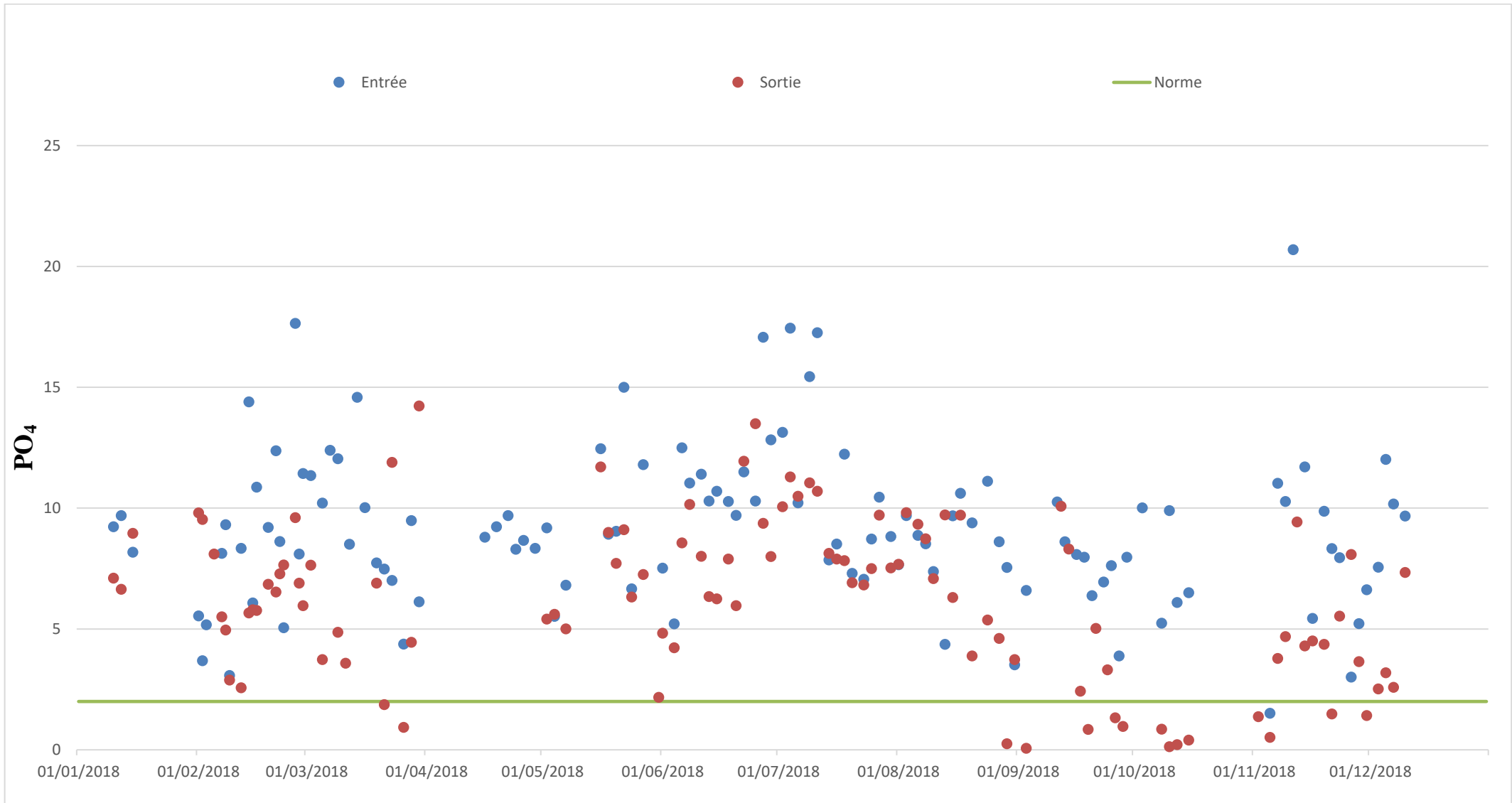


Figure III.27: Evolution journalière de PO₄ à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

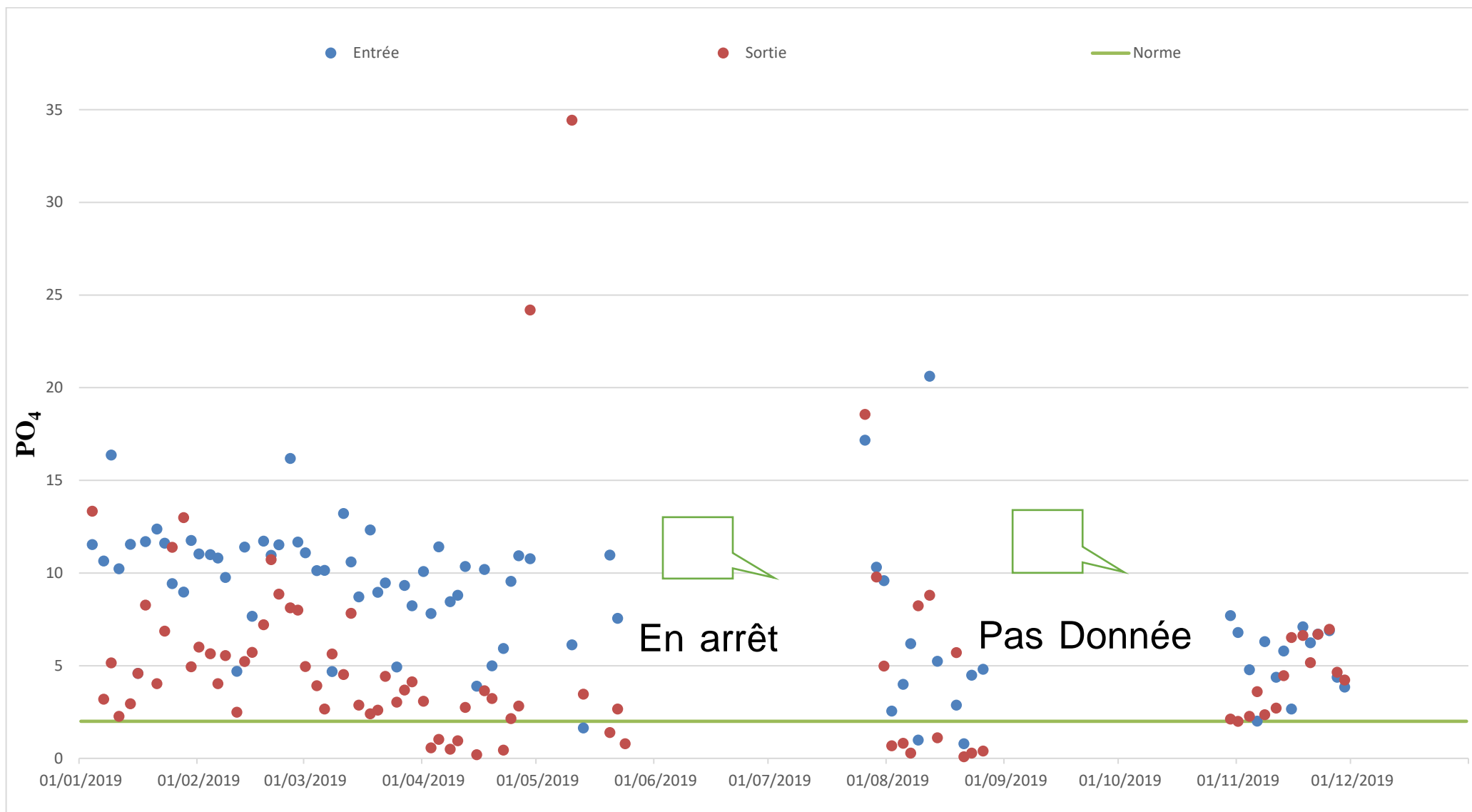


Figure III.28 : Evolution journalière de PO₄ à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

IV.9. Phosphor total Pt:

Le phosphore total est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphates ou de composés organophosphorés [58].

Les concentrations de phosphore total mesurées à l'entrée et à la sortie de la STEP sont représentées sur les figures ci-dessous.

Le phosphore est un élément important dans le domaine de l'épuration des eaux usées. Lorsqu'il est rejeté dans le milieu naturel à forte concentration, il est responsable de l'eutrophisation des eaux superficielles [59].

Les moyennes de Pt des eaux brutes et épurées sont respectivement de 4.79 mg/l et 2.32 mg/l, ces valeurs sont supérieures à 2 mg/l exigé par la norme. Les sources potentielles de ces concentrations élevées de phosphores totaux dans les eaux usées sont les rejets métaboliques (urines, fèces) et les détergents des eaux de vaisselle et de lessives [60].

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE
LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

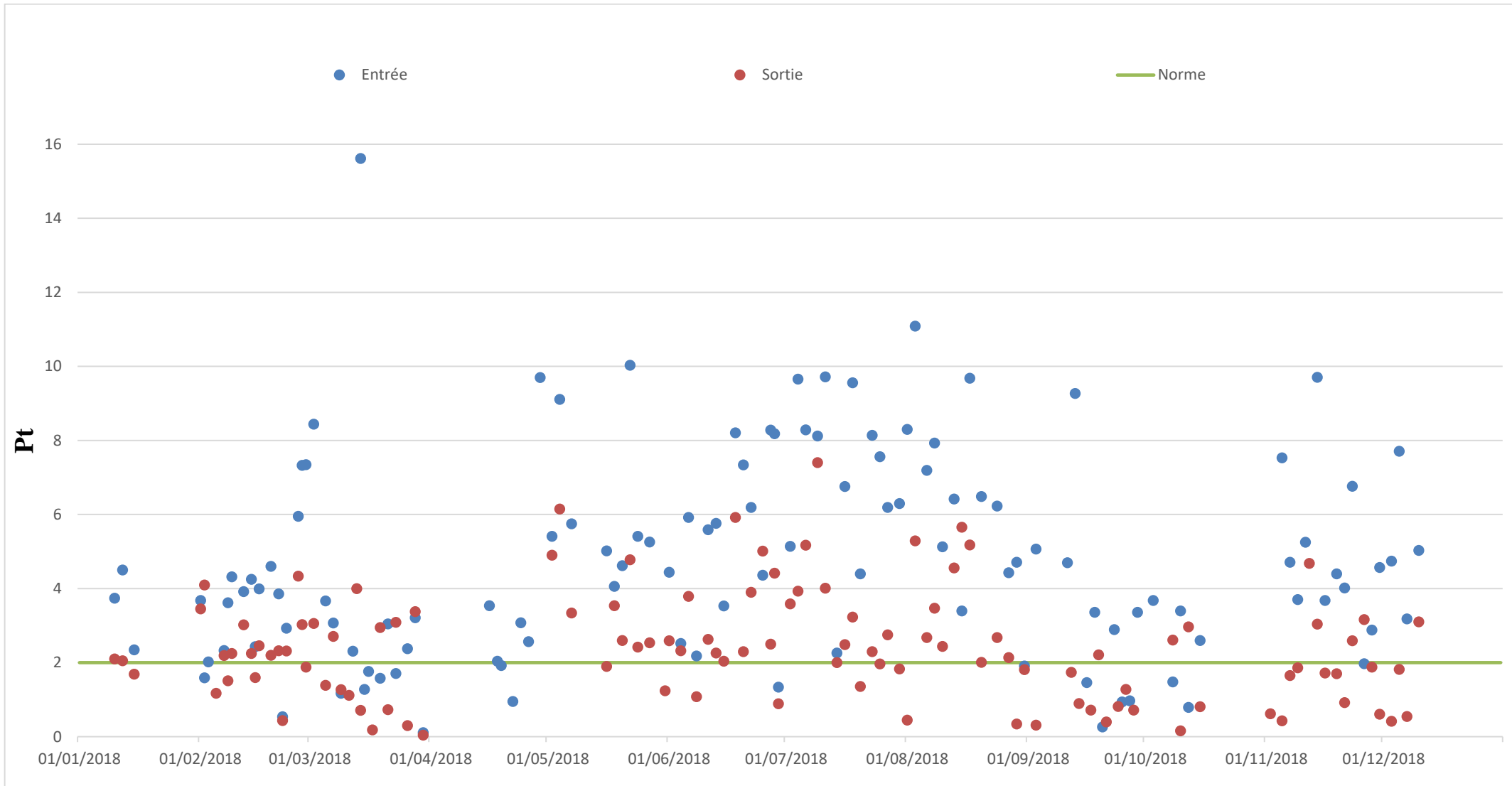


Figure III.29 : Evolution journalière de Pt à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2018.

CHAPITRE III : DESCRIPTION ET ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA STATIONS EPURATION D'EL KERMA-ORAN.

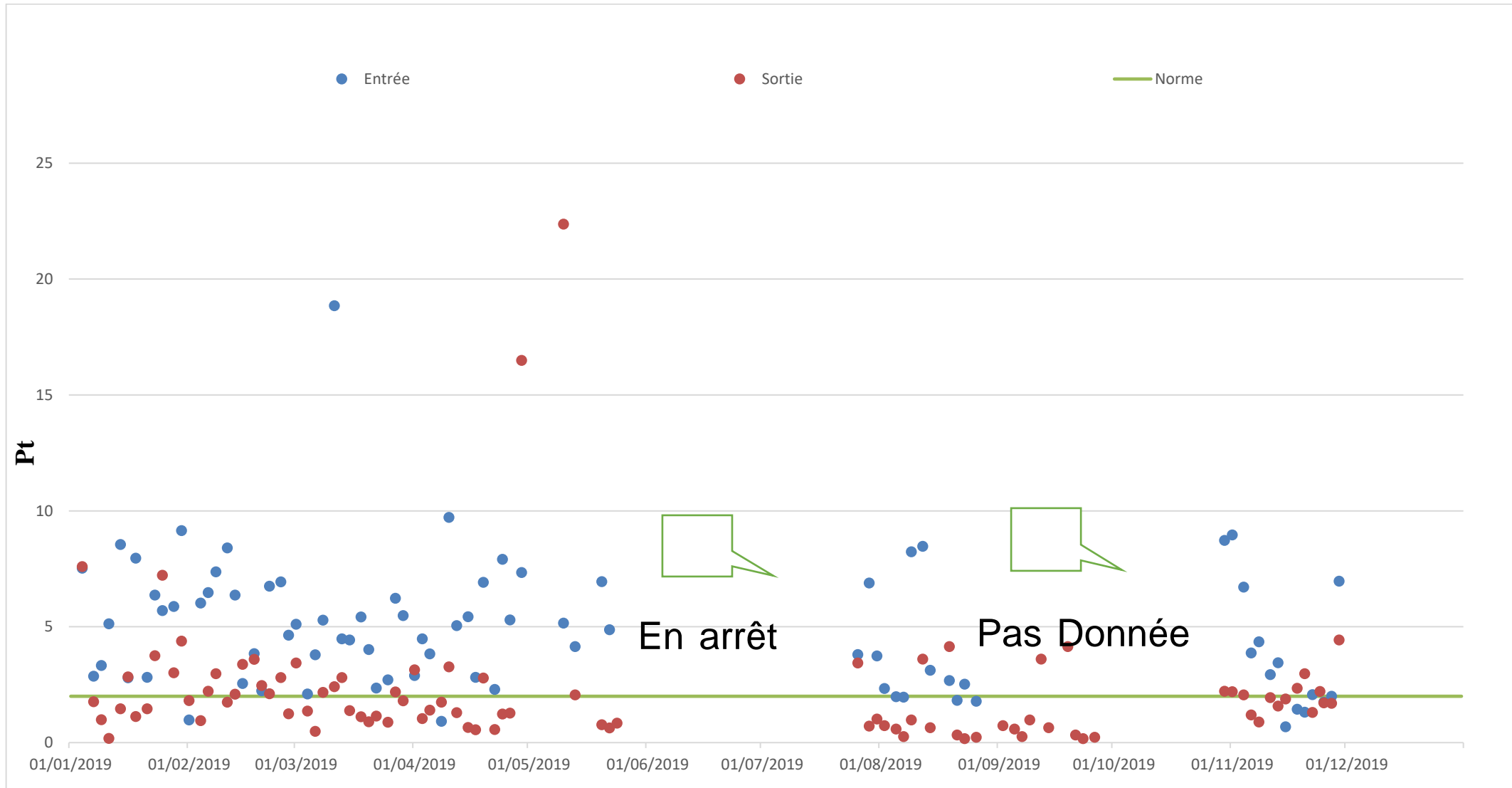


Figure III.30 : Evolution journalière de Pt à l'entrée et à la sortie de la station pour l'année 2019.

V. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fourni une description détaillée de la station de traitement des boues activées, puis nous l'avons terminé par l'analyse de paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux usées de la STEP d'El Kerma Oran, afin d'en déduire les performances épuratoires de la STEP.

Les résultats obtenus ont montré quelques excès par rapport aux concentrations pour certains paramètres analysés, tels que PO_4 , Pt et la conductivité. Ceci indique que les eaux usées rejetées sont globalement d'origine domestique. L'évaluation de performance épuratoire sur la matière organique exprimé en MES, DBO_5 et DCO dans les deux années de mesure (2018-2019) montre que la station adopte une bonne élimination de la matière organique, ce qui mène à conclure que la STEP d'El Kerma présente de bonnes performances épuratoires.

Chapitre IV

L'application de l'AMDEC sur la STEP d'EL KERMA-
ORAN

I. Introduction :

Dans le cadre de notre étude, l'utilisation de l'AMDEC répertoriera tous les dysfonctionnements pouvant survenir pendant le processus, puis à rechercher leurs origines et leur effet qui permettent de mettre en évidence les points critiques.

Pour ces raisons, nous appliquerons dans ce travail cette méthode pour proposer un programme de maintenance corrective et préventive pour la STEP d'el Kerma de la ville d'Oran.

Cette méthode a été appliquée à travers des observations et un ensemble d'informations que nous avons extraites lors de notre visite à la STEP d'El Kerma. Ce que nous inclurons dans le (Tableau IV.2).

II. Fonctionnement de la STEP :

La station d'épuration d'Oran est prévue pour traiter les eaux usées du groupement urbain d'Oran. Les villes concernées sont raccordées à un réseau d'assainissement relié à la station de pompage (Petit- Lac). Cette dernière pompe les eaux usées vers la station d'El Kerma. La figure ci-dessous (Figure IV.1) présente toutes les installations de cette station.

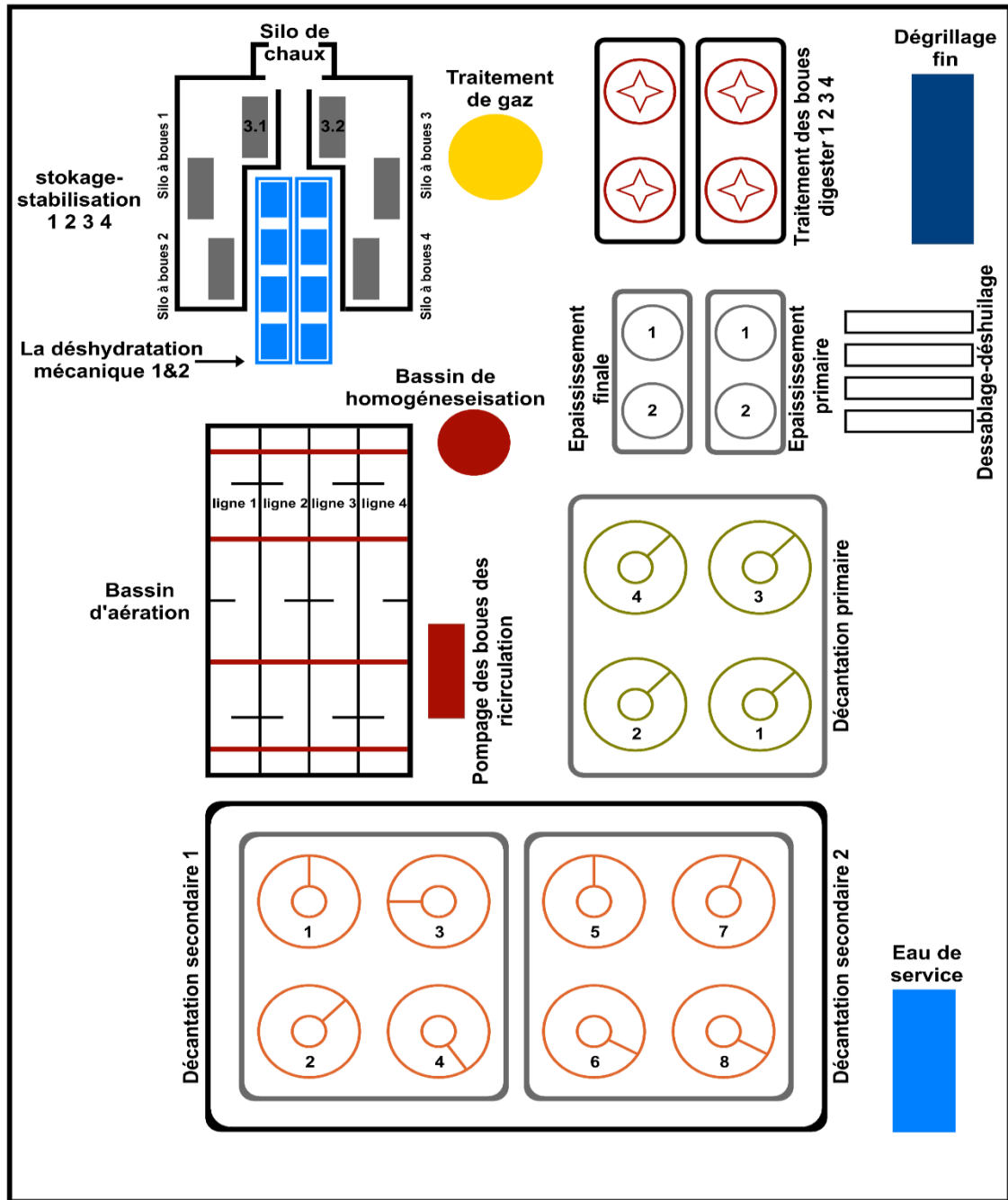


Figure IV.1 : Schéma d'implantation des équipements d'El KERMA-Oran [61].

Vu l'absence d'une base des données concernant les pannes de la station d'épuration d'El Kerma (Historique des pannes), on a utilisé les pannes fournies par les techniciens de la STEP lors de nos visites du site. Et à travers les données physico-chimiques (les incidents) obtenues de la station d'épuration d'el KERMA.

Le tableau construit pour adapter en fonction les informations qu'on nous dispose, pour comprendre et évaluer tous les indicateurs, et déterminer l'état de l'équipement.

Les degrés de criticité sont illustrés dans le tableau de l'AMDEC (Tableau IV.1) :

Tableau IV.1 : Indice de cotation des modes de défaillance.

Criticité	Impact	Gravité	Fréquence	Détection
1 → Mineure	N'affecte pas sur la qualité du traitement.	Pas d'arrêt de la production.	Fréquence forte	Évidente
2 → Peu Critique	Crée un arrêt sans influence grave pour le traitement.	Arrêt ≤ 1 jour.	Fréquent	Possible.
3 → Critique	Provoquant un arrêt pouvant compromettre la qualité du traitement.	Temps d'arrêt < 7 jours.	Fréquence moyenne.	Improbable
4 → Catastrophique	Cause un arrêt de l'équipement, impliquant des problèmes graves.	Temps d'arrêt > 7 jours	Fréquence faible.	Presque impossible

III. Dysfonctionnements rencontrés dans la station d'épuration d'El KERMA :

L'analyse du fonctionnement de la STEP d'El Kerma nous a permis de dresser les tableaux de l'AMDEC, dans le Tableau IV.2 sont décrits les équipements, les modes de défaillances de chaque équipement, les causes et les effets de chaque défaillance sur le fonctionnement de la STEP ainsi que le degré de criticité et les actions correctives.

Tableau IV.2 : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités de la STEP d'El KERMA.

Dégrilleur fin						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité	Action Corrective
La chaine	-Délogement. -Cassures, rupture de la chaine -Décalage. -Blocage. -Desserrage du palie.	-La quantité de déchet. -Les contraintes de cisaillement -Usure, Corrosion -Mauvais alignement -La qualité de la chaine.	-Arrêt de dégrilleur -Fermeture de la station	-Sonore -Alarme -Supervision	3	-Nettoyage et vérification du dégrilleur. -Vérifier pour l'usure, la déformation et la fixation. -Réparation et changement des axes. -Serrage et réglage de la chaine. -Réparation de la chaine + graissage des paliers. -Démontage et changement de la chaine. -Lubrification à la graisse des paliers.

Moteur	<ul style="list-style-type: none"> -Problème mécanique -Echauffement -Défaillance des paliers et engrenage. -Etanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> -Surcharge -Coupures multiples de courant. -Court-circuit -Mauvaise lubrification -Mauvaise alignement -Usure (la bague) 	<ul style="list-style-type: none"> -Arrêt de dégrilleur -Surcharge sur le moteur 	<ul style="list-style-type: none"> -Sonore -Alarm -Supervision 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier et contrôler l'intensité de courant absorbée. -Vérifier l'usure. -Vérifier l'isolement. -Vérifier les dommages. -Nettoyer et vérifiez la fixation. -Vérification du câblage du moteur, -Control vibratoire. -Vidange des corps de palier. -Vérifier le niveau d'huile.
Racleur	<ul style="list-style-type: none"> -Electrique -Blocage. -Cassure où déformation des dents. -problème des axes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Défaillance électromécanique. -Usure des axes. -Mauvais alignement. -Mauvais montage. 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de dégrilleur 	<ul style="list-style-type: none"> -Sonore -Alarm -Supervision 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Réparation et diagnostique. -Surveillance technique et maintenance. -Démontage et réparation de racleur. -Soudure de racleur si nécessaire. -Réparation et changement des axes. -Démontage de racle et les remplacé par une autre si nécessaire. -dressage des dents des racles.

Convoyeur	<ul style="list-style-type: none"> -Problème mécanique, entraînant un colmatage -usure de l'habillage d'auge. 	<p>Dysfonctionnement des cycles de nettoyage.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Défaillance électromécanique (motoréducteur, casse d'une chaîne, blocage...). 	<ul style="list-style-type: none"> -Blocage du système d'évacuation des refus. -Risque de débordement -Pollution de l'environnement. 	<p>-Visuel</p>	2	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification électrique et mécanique. -Vérifiez les roulements pour l'usure et remplacez-les si nécessaire, et graissage. -Vérifier la tension de convoyeur -Remplacez le disjoncteur si nécessaire. -Vérifiez le niveau d'huile. -Miss en place d'un nouvel habillage d'auge en cas d'usure.
Armoire électrique	<ul style="list-style-type: none"> -Problème d'automate -De câbles -Corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> -Coupure de courant électrique -Echauffement des pièces électriques -Usure, Corrosion -Dysfonctionnement de variateurs de vitesse -Mauvais serrage -Humidité des composants électrique. 	<p>Arrêt de l'installation</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Alarme -Salle contrôle 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic et réparation si possible -Supervision technique -Vérifier le fonctionnement des équipements et de tous les relais et contacteurs. -Contrôles des paramètres de fonctionnement -Vérification de l'armoire électrique. -Vérifier la température nécessaire dans la salle. -Modification de programme de l'automate ou remplacer si nécessaire. -Vérification des câbles.

Solutions / Amélioration

- Alarme de seuil haut de couple (si résistance et effort trop important).
- Alarme de niveau très haut du poste, reportée en supervision.
- Bypass vers un dégrillage manuel ou basculement automatique sur un dégrilleur redondant / secours.
- Alarme de détection de bourrage dans la ligne de convoyage (capteur de niveau dans une trémie intermédiaire...).
- Mise en place de bennes d'évacuation adaptées [62].
- Protéger le dégrilleur contre les risques par des grilles manuelles grossières en amont du poste, pour amortir le taux élevé des déchets.
- Fournir un groupe électrogène mobile stocké sur la STEP en cas de panne électrique.
- Utilisé de stabilisateur en cas de la coupure multiple de courant.
- Disponibilité de la pièce, constitution d'un stock de pièces de rechange.
- Utiliser des pièces originales.
- Le bon choix des câbles de bonne résistance pour éviter corrosion ou rupture.
- L'utilisation de produits pour protéger contre la corrosion.
- Utiliser des pièces en inox pour éviter la corrosion et les pannes.
- Formation en continue des personelles qui on travaille dans la station.
- Multiplier la maintenance préventive.
- Evaluer l'usure des matériaux et les risques de pannes.
- Anticiper les dysfonctionnements et réagir rapidement aux situations imprévues.

Dessableur / Déshuileur						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité	Action Corrective
Pompe	-Défaillance électrique -Défaillance mécanique	-Usure mécanique -Bouchage -Mauvais alignement	-Bouchage sur l'installation (Conduit) -Arrêt de pompe	-Visuel	3	-Vérification mécanique et électrique et nettoyage de la pompe. -Suivi des paramètres de température et vibration. -Lubrification et Changer les parties endommagées. -Renouvellement de l'équipement.
Racleur	-Défaillance électrique et mécanique. -Problème d'enchaînement des câbles des enrouleurs. -Blocage mécanique des racleurs.	-Problème électrique et mécanique. -Usure des axes, des roues de guidage et des pneus -Fin de cours de pont.	-Risque de dysfonctionnement sur la filière biologique. -Colmatage des canalisations de récupération des huiles. -Peut provoquer l'arrêt de pont.	-Visuel	2	-Diagnostic et réparation. -Changement du roulement et graissage. -Démontage et réparation des roues. -Vérification du circuit de puissance/démontage et nettoyage. -Vérification du niveau d'huile du suppresseur et nettoyage des filtres. -Vérifier pour l'usure. -Assurer la lubrification.

<p>Suppresseur d'air</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Problème de disjonction. -Problème mécanique. -Blocage de circuit de l'air 	<ul style="list-style-type: none"> -Electrique -Mécanique -Usure de pièce 	<ul style="list-style-type: none"> -Risque de dysfonctionnement sur la filière biologique. -Mauvais odeur -Mauvais traitement 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel 	<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Contrôle de fonctionnement. -Surveillance technique. -Nettoyage régulier. -Vérification du niveau d'huile -Vérification de l'état des courroies. -Vérifier la connexion électrique. -Vérifier pour l'usure.
<p>Les ponts d'arrêts</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Problème d'alignement des lames et de fixation -Cassure de fin de cours -Corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> -Fins de cours qui donne l'ordre d'arrêt et de redémarrage -Usure -Environnement corrosif 	<ul style="list-style-type: none"> -L'arrêt de de pont -Mauvais pour traitement 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Supervision 	<p>2</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification mécanique. -Diagnostic et réparation. -Vérification et graissage pour éviter la corrosion. -Surveillance technique. -Nettoyage régulier. -Vérifier pour l'usure, corrosion.

Automate	Problème électronique et électrique	<ul style="list-style-type: none"> -Enivrement agressif. -Perturbation électrique -Corrosion des câbles. 	Dysfonctionnement de système <ul style="list-style-type: none"> -Mauvais traitement -Mauvaise séparation de l'eau et la boue 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Supervision 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic et intervention -Insister sur l'alimentation électrique -Vérification de l'armoire électrique. -Modification de programme de l'automate ou changement si nécessaire. -Vérification de toutes les entrées et sorties de l'automate. -Test de bon fonctionnement des automatismes, du mode secours et dégradé.
Les roues	-Problème mécanique	Usure des axes du roulement et des pneus.	Déformation sur le pont.	-Visuel	2	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic et réparation. -Lubrification. -Vérifier pour l'usure.

Solutions / Amélioration

- Pompe de reprise en secours en stock.
- Alarme de défaut de pompe reportée en supervision.
- Alarme de défaut du moteur, reportée en supervision.
- Alarme de défaut du système (pompe, air-lift), reportée en supervision.
- En cas de colmatage, Injection d'eau pour fluidiser les sables (automatique ou ponctuelle).
- Alarme de défaut du supprimeur, reportée en supervision (sécurité thermique, sécurité de pression haute...) + Démarrage automatique du supprimeur/ compresseur de secours -Maintenance préventive des diffuseurs d'air : décolmatage périodique à l'acide, remplacement si nécessaire.
- Alarme de discordance via les fins de course : position / butée non atteinte, durée de course temporisée.
- Installation d'un supprimeur de secours permettant d'assurer la continuité de production d'air utilisé [62].
- Cherche des pompes puissantes pour éliminer le sable et évite le bouchage.
- Utiliser des pièces en inox pour éviter la corrosion et les pannes.
- Disponibilité de la pièce, constitution d'un stock de pièces de rechange.
- Le bon choix des câbles de bonne résistance pour éviter les problèmes électriques et la corrosion.
- Maintenance préventive périodique.

Décanteur primaire						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité	Action Corrective
Pompe	<ul style="list-style-type: none"> -Problème électrique (Se disjoncte) -Fuites -Arrêt de débit. 	<ul style="list-style-type: none"> -Electrique -Mécanique -Usure des garnitures, des roulements, des turbines et des axes -Mauvaise lubrification -Surchauffe des câbles des phases 	<ul style="list-style-type: none"> -Dégradation de la qualité de l'eau prétraitée. -Débordement sur décanteur. -Diminution du rendement de la station. -Arrêt de pompe -Bouchage sur Installation. 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Alarme 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyage, vérification du fonctionnement. -Vérification du fonctionnement. -Contrôle électrique, vérification mécanique. -Graissage de la pompe. -Surveillance technique, Maintenance préventive (roue, motoréducteur...). -Contrôler de l'armoire électrique. -Changement les pièces si nécessaires. -Vérification de l'usure et la corrosion.
Moteur	<ul style="list-style-type: none"> -Problème mécanique et électrique 	<ul style="list-style-type: none"> -Surcharge -Usure des roues et des pneus -Mauvaise lubrification 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de décanteur et mauvais pour le traitement 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Supervision 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic et réparation -Contrôler les câbles du moteur. -Vérification et graissage. -Changement les pièces si nécessaires. -Vérification de l'usure et la corrosion.

Pont racleur	Perte de la fonctionne	-Usure (Roue motrice-Roulements)	-Dégradation de la qualité de l'eau prétraitée. -Diminution du rendement de la station.	-Visuel -Salle contrôle	3	-Diagnostic et Réparation. -Contrôler le fonctionnement. -Vérifier les fissures. -Vérifier pour l'usure. -Changement du roulement et graissage. -Surveillance technique.
Les conduites	Bouchage	Arrêt de pompe	Mauvais traitement	-Visuel -Supervision	2	-Permutation de l'ouvrage et débouchage les conduites. -Contrôle périodique des conduits.

<p>Automates et Les câbles électriques</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Une panne de l'alimentation -Problème de communication -Surtensions 	<ul style="list-style-type: none"> -Technique -Un mauvais choix du module d'alimentation. -Usure/corrosion -Mauvais câblage -Mauvais serrage -Milieu agressif des eaux usées -Humidité, forte chaleur, poussière. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dysfonctionnement ou la détérioration du matériel -Arrêt de station ou l'équipement 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Salle Instrumentation 	<p style="text-align: center;">3</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Réparation et diagnostic de l'automate ou renouvellements besoin. -Remplacement batterie et pièce en fin de vie. -Vérifie l'usure et la corrosion. -Vérifie et serrage des câbles si nécessaire. -Vérifie l'alimentation électrique ou l'armoire. -Vérification de disjoncteur.
<p>Les roues</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Problème mécanique 	<p>Usure des axes des roulements des pneus.</p>	<p>Déformation sur le pont</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel 	<p style="text-align: center;">2</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification préventive. -Diagnostic et réparation. -Contrôle d'usure ou la corrosion. -Changement si nécessaire. -Lubrification.

Solutions / Amélioration

- Alarme de défaut du pont racleur, reportée en supervision
- Détection de rotation de la roue du pont / compte tours
- Alarme de seuil haut de couple (si résistance et effort trop important)
- Prévoir un contrôle périodique de l'état des canalisations
- Injection d'eau pour fluidiser les flottants collectés (automatique ou ponctuelle) [62].
- Assurer que votre automate dispose d'un refroidissement adéquat, ainsi que d'une alimentation fiable et correctement protégée.
- Fournir un groupe électrogène mobile au niveau de la STEP en cas de panne électrique.
- Cherche des pompes puissantes pour améliorer le processus.
- Les matériaux peuvent être en acier inox pour éviter la corrosion.
- Disponibilité des Pièces, et le bon choix de la pièce.
- Permutation de décanteur pour la maintenance préventive et correctives, pour avoir une longue durée de fonctionnement l'équipement.
- Formation en continue des personnes.
- Permutation et programme de nettoyage des conduits et faire un contrôle préventif des équipements.

Bassin d'aération						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criti cité	Action Corrective
Moteur/ Réducteur	-Problème mécanique -Problème électrique	-Technique/ Électrique. -Court-circuit -Usure interne -Surcharge/ Surchauffe -Mauvaise lubrification -Niveau d'huile trop bas. -Vis de fixation est desserrés.	-Mauvaise sur le traitement. -L'aérateur ne démarre pas. -Echauffement et l'arrêt de moteur de l'aérateur.	-Visuel -Salle contrôle	3	-Nettoyage, vérification du fonctionnement, et vidange des appareils. -Contrôle électrique et vérification mécanique -Contrôle du fonctionnement des moteurs, et compteurs de l'armoire électrique. -Nettoyer les flotteurs. -Vérification les câbles électriques et chaînes. -Nettoyage électromécaniques (pompes, turbines). -Changement les pièces si nécessaire. -Vérifie l'usure et la corrosion. -Vérifie le niveau d'huile, Lubrification.

Automate	-Problème de communication (mauvais contact entre les variateurs des vitesses)	-Technique -Electrique - Milieu(humidité..)	-Mauvais sur le traitement	-Supervision -Visuel -Salle	3	-Diagnostic et Réparation de l'automate ou renouvellements besoin. -Remplacement batterie et pièce en fin de vie. -Vérifie l'usure et la corrosion. -Vérifie et serrage des câbles. -Vérifie l'alimentation électrique ou l'armoire.
Problème électrique	Disjonction	-Puissance électrique -Coupures multiples. -Corrosion.	Arrêt de l'équipement	-Visuel Instrumentation -Salle contrôle	2	-Vérification électrique. -Surveillance technique. -Vérification des câbles et l'armoire électrique. -Vérification de corrosion.
Les sondes	Instrumentale	-Milieu agressif (les usée sur instrument)	Mauvais traitement	-Vérification instrumentation	3	-Nettoyage ou changement les sondes si nécessaire.

Solutions / Amélioration

- Alarme de défaut de l'agitateur, reporté en supervision.
- Surveillance de la concentration en MES du bassin d'aération (par prélèvement et analyse, par sonde de mesure en continue).
- Mesure de débit au refoulement de pompe et alarme de discordance reportée en supervision (si débit intempestif anormal).
- Alarme de défaut de pompe, reportée en supervision + Démarrage automatique de la pompe de secours (si existe) [62].
- Une maintenance multiplie préventive et corrective.
- Diagnostic et vérification mécanique et électrique des équipements.
- Fournir un groupe électrogène mobile stocké sur la SREP en cas de panne électrique.
- Disponibilité des Pièces, et le bon choix de la pièce.
- Etalonnage des sondes en permanence.

Décanteur secondaire						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criti cité	Action Corrective
Pompes	<ul style="list-style-type: none"> -Problème électrique et mécanique -Pompe ne fonctionne pas parfaitement -Blocage 	<ul style="list-style-type: none"> -Electrique -Mécanique -Usure des garnitures. , roulements. , des turbines, de saxes, des bagues 	<ul style="list-style-type: none"> -Diminution de l'efficacité de traitement. -Bouchage sur l'installation 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Supervision 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyage, vérification du fonctionnement -Graissage de pompe. -Surveillance technique, Maintenance préventive. -Contrôle électrique, vérification mécanique -Contrôler de l'armoire électrique. -Changement les pièces nécessaires. -Vérification de l'usure et la corrosion.
Moteur	<ul style="list-style-type: none"> -Problème mécanique et Électrique 	<ul style="list-style-type: none"> -L'alimentation électrique est coupée. -Mécanique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Arrêt de moteur -Arrêt de l'équipement 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Salle contrôle 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic et réparation. -Lubrification. -Contrôle électrique et vérification mécanique -Contrôle du fonctionnement des moteurs, et compteurs de l'armoire électrique. -Vérification préventive des usures.

<p>Ponts racleur clarificateur et réducteur</p>	<p>Ne fonctionne pas Parfaitement -Mécanique- électrique</p>	<p>-Technique -Niveau d'huile trop bas -Corps étrangers dans l'huile</p>	<p>-Les boues ne pas Décantation et formation des couches de la boue -Mauvais traitement -Mauvais odeur -Influe la qualité finale de produit</p>	<p>-Visuel -Salle contrôle</p>	<p>3</p>	<p>-Diagnostic et Réparation. -Contrôler le fonctionnement. -Vérifier les fissures. -Vérifier pour l'usure. -Changement des roulements et graissage. -Surveillance technique. -Maintenance préventive.</p>
<p>Racleur de fond</p>	<p>Le pont de décanteur ne fonctionne pas correctement</p>	<p>-Les lames de racleur ne sont pas réglées -Mauvais des boulons de fixation.</p>	<p>Perte de boues, dégradation du rejet</p>	<p>-Visuel -Salle contrôle</p>	<p>3</p>	<p>-Changement du roulement et graissage. -Démontage et réparation des roues. -Vérification du circuit de puissance/démontage et nettoyage. -Vérifier pour l'usure. -Assurer la lubrification.</p>

Les vannes	-Mécanique (blocage, problème de fixation...)	-Défaut mécanique	-Débordement -Mauvais de la séparation	-Visuel -Salle contrôle	2	-Contrôle, réparation et vérification. -Graissage des tiges pour les vannes, et des pelles des vannes. -Vérification préventive.
Phénomènes électriques	-Disjonction -Problème d'alimentation	-Electrique (Problème de court circuits) -Mauvais contact entre les variateurs de vitesse -Coupures de circuit, des mauvais contacts, des courts circuits, -Corrosion -L'humidité. -Problème des câbles	Arrêt de la clarification	-Visuel Instrumentat ion -Salle contr- ôle	3	-Vérification du coffret électrique. -Changement les câbles d'alimentation. - Teste isolement des câbles puissance entre les câbles. -Vérifier que le disjoncteur de protection est enclenché. -Permutation entre disjoncteur ou changement des disjoncteurs de protection ou remplacés. -Diagnostic et réparation. -Supervision technique. -Contrôles des paramètres de fonctionnement. -Vérification de câblage et coffret électrique.

Système de siphonage	Les fuites	-Mauvais réglage de pression -Usure	-Mauvais processus -Mauvais séparation -Odeur	-Visuel	2	-Vérification permanent. -Changement de la pièce si nécessaire -Maintenance préventive. -Vérification d'usure.
Les roues	-Problème mécanique	Usure des axes des roulements des pneus.	Déformation sur le pont	-Visuel	2	-Contrôle d'usure ou la corrosion. -Changement si nécessaire. -Lubrification.

Solutions / Amélioration

- Alarme de défaut de pompe, reportée en supervision + Démarrage automatique de la pompe de secours.
- Mesure de débit au refoulement de pompe et alarme de discordance reportée en supervision (si débit nul anormal).
- Alarme de défaut du pont racleur, reportée en supervision.
- Injection d'eau pour fluidiser les flottants collectées (automatique ou ponctuelle).
- Vérification des positions des vannes en absence d'air.
- Installation d'un compresseur de secours permettant d'assurer la continuité de production d'air utilité. La filière secours doit être testée régulièrement.
- Mise en place d'un groupe électrogène de secours et est régulier du groupe pour s'assurer de sa disponibilité [62].
- Diagnostic et vérification mécanique et électrique des équipements.
- Disponibilité des Pièces, et le bon choix de la pièce.

- Bon choix et le type de pompe.
- Une bonne maintenance préventive.
- Formation en continue des personelles.

Epaissement mécanique						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité	Action Corrective
Pompes	-Mécanique (Blocage /échauffement) -Electrique -Problème fuite d'eau -Problème fuite d'eau.	-Problème électromécanique - Usure interne -Rupture d'une phase	-Pert de la fonction. -Perte de puissance et de rendement	-Visuel -Alarme	3	-Vérification mécanique et contrôle électrique, contrôle instrumentation. -Graissage de pompe et des roulements. -Surveillance technique, Maintenance préventive. -Contrôler de l'armoire électrique. -Changement les pièces nécessaires. -Vérification de l'usure et la corrosion.
Moteur	-Problème mécanique -Déclenchement de la protection thermique.	-Défauts électriques -Surcharge du moteur -Usure des roulements -Le niveau d'huile	Arrêt de moteur	-Visuel	3	-Contrôle électrique, vérification mécanique. -Changement des roulements. -Contrôle de niveau d'huile. -Changement de joint et remplissage d'huile. -Vérification de l'usure.

Rouleurs	Mécanique et électrique	-Usure des roulements -Problème électrique.	Arrêt de la chaîne, plus d'extraction des boues.	-Visuel	2	-Vérification électrique et mécanique. -Vérification de niveau d'huile et graissage. -Démontage et changement des roulements.
Tapis	Mécanique	-Problème joints -Tapis usée	Mauvais sur l'opération de l'épaississement	-Visuel	2	-Diagnostic et réparation. -Contrôle et réhabilitation. -Vérification de la fin de course, -Vérification de l'armoire électrique.
Convoyeur	Problème mécanique (cassure de racle)	-Usure -Corrosion	Mauvais sur l'opération de l'épaississement	-Visuel	3	-Vérification et réparation mécanique et électrique du convoyeur. -Vérifiez les roulements pour l'usure et remplacez-les si nécessaire. -Graisser les roulements. -Remplacez le disjoncteur si nécessaire. -Vérifiez le niveau d'huile. -Miss en place d'un nouvel habillage d'auge en cas d'usure.

Solutions / Amélioration

- Alarme et visualisation sur supervision.
- Maintenance préventive.
- Prévoir un équipement de secours en place ou en caisse.
- Relève manuelle des compteurs horaires.
- Contrôle alimentation (électrique ou air comprimé).
- Mise en service de l'unité de secours si existante [62].
- Diagnostic et vérification mécanique et électrique des équipements.
- Disponibilité des Pièces, et le bon choix de la pièce.
- L'utilisation de produits pour protéger contre la corrosion.

Déshydratation mécanique						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité	Action Corrective
Déshydratation mécanique (dysfonctionnements sur les machines)	-Problème de tapis -Problème du vérin -problème électrique -problème de palier -Problème d'entraînement de filtre a bonde	-Echauffement -Disjonction du moteur électrique -Tapis déchiré -Problème joint tapie usé (usure des tapies) -Corrosion -Fissure -Variateur mécanique endommagé (problème d'entraînement) -Usure	- Arrêt le system Déshydratation	-Visuel -Salle contrôle	3	-Réparation et nettoyage et vérification des organes mécanique. -Contrôle et réhabilitation des machines. -Lubrification des roulements et des paliers -Vérification changement des roulements, des courroies. -Remplissage du niveau d'huile du variateur de vitesse. -Vérification du câblage. - Démontage et nettoyage et changement les pièces. -Vérification du circuit de commande et de puissance. -Vérification de l'armoire électrique. -Remplacement du disjoncteur si nécessaire.

<p>Pompe</p>	<p>-Problème mécanique et électrique (blocage, disjoncte...) -Problème électrique du variateur de vitesse</p>	<p>-Electromécanique -Usure</p>	<p>Arrêt de la pompe</p>	<p>-Visuel -Salle contrôle</p>	<p>3</p>	<p>-Vérification mécanique et Contrôle électrique, contrôle instrumentation. -Déblocage et nettoyage de la pompe. -Graissage de pompe, des roulements. -Surveillance technique, Maintenance préventive. -Contrôler de l'armoire électrique. -Changement les pièces nécessaires. -Vérification de l'usure et la corrosion.</p>
<p>Moteur et Réducteur</p>	<p>-Problème mécanique (Echauffement /bruit anormal) -Problème électrique (disjonction)</p>	<p>-Electromécanique - Usure interne -Défaillance des paliers et engrenage.</p>	<p>-Mauvais pour l'opération de la déshydratation -Arrêt de système déshydratation</p>	<p>-Visuel -Salle contrôle</p>	<p>3</p>	<p>-Vérification mécanique + Vidange + Contrôle électrique. -Changement d'équipement si nécessaire. - Réglage, nettoyage et lubrification. -Vérification de niveau d'huile. -Vérifier l'isolement du moteur. -Démontage et changement des roulements si nécessaire. -Vérification d'usure.</p>

Convoyeur	<ul style="list-style-type: none"> -Problème de palier -Problème de blocage de vis 	<ul style="list-style-type: none"> -Usure des roulements -Usure de l'axe -fin de cours 	<ul style="list-style-type: none"> -Blocage de système de transport. 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Salle contrôle 	2	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic et réparation de système. -Réglage et tondage de la chaîne. -Vérification pour l'usure. -Changement du roulement et graissage -Vérifiez le niveau d'huile. -Vérifier la tension de convoyeur.
Armoire électrique	<ul style="list-style-type: none"> -Problème électrique -Problème de communication 	<ul style="list-style-type: none"> -Problème technique/électrique 	<ul style="list-style-type: none"> -Mauvais pour l'opération de la déshydratation -Arrêt d'équipements ou les machines déshydratation. 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Salle - contrôle Instrumentation 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification électrique et contrôle instrumentation. -Vérification et nettoyage des raccordements électriques. -Vérification du fonctionnement Relevé des compteurs. -Vérifie câblage et la puissance électrique -Installation de nouveau variateur. -Vérification de l'armoire électrique.

<p>Compresseur</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Problème mécanique de moteur -Fuite d'air -Pressostats -Problème de vanne 	<ul style="list-style-type: none"> -Corrosion -Usure 	<p>Dysfonctionnement des machines</p>	<p>Lecture de pression</p>	<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification mécanique et Contrôle électrique. -Changement de moteur. -Changement de tuyauterie. -Vérification de fonctionnement des pressostats, vérification de l'automate. -Vérification de l'armoire électrique.
<p>Mélangeur</p>	<p>Mécanique</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Usure de l'axe -Usure de roulements -Court-circuit 	<ul style="list-style-type: none"> -Provoque la qualité de la boue. -Mauvais mélange de boues. -Mauvais traitement. 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel -Supervision sur tactile 	<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Vérification mécanique et Contrôle électrique, contrôle instrumentation. -Changement de qualité des Pièces. -Réglage ou changement complètement de moteur.

Solutions / Amélioration

- Alarme et visualisation sur supervision.
- Adaptation de la maintenance préventive.
- Prévoir un équipement de secours en place ou en caisse.
- Surveillance de la température du lieu de traitement.
- Relève manuelle des compteurs horaires.
- Adaptation de la maintenance préventive à faire par le fournisseur.
- Certaines fonctions peuvent être assurées manuellement (de bâtissage).
- Adaptation de la maintenance préventive à faire par l'exploitant (contrôle, étalonnage, remplacement matériel si nécessaire).
- Installation d'un compresseur de secours permettant d'assurer la continuité de production d'air utilité.
- Prévoir la location / empreint d'un compresseur en attendant l'approvisionnement d'un nouveau compresseur [62].
- Dépannages par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opération mineurs de maintenance préventive (rondes).
- Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineurs.
- Ne pas surcharger un câble plus que sa capacité ne le permet.
- Disponibilité des Pièces, et le bon choix de la pièce.
- Prévoir l'entretien des pièces et des révisions périodiques.
- Employer des appareils de qualité.
- Surveiller les appareils en marche.

Réseau d'alimentation électrique						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité	Action Corrective
Réseau d'alimentation	-Les coupures et les micros coupeur électrique multiples. -Problème électronique.	- Les échauffements thermiques dans les coffrets et les armoires. -Corrosion des câbles.	-Arrêt de l'alimentation électrique pour les installations. -Mauvais pour le traitement.	-Visuel Instrumentation -Salle contrôle	3	-Diagnostic et vérification journalière. -Vérification du fonctionnement Relevé des compteurs. -Vérifie câblage et la puissance électrique -Vérification de l'armoire. -Surveillance technique. -Vérification des usures.

Solutions / Amélioration

Barrières techniques	Barrières organisationnelles
-Poste de livraison doublé. -Générateur de secours. -Redondance des sources des tensions auxiliaires. -Présence d'un onduleur. -Ventilation performante pour le maintien de la température des locaux électriques dans la plage de température pour le fonctionnement nominal des équipements [62].	-Alarmes de défaut des équipements reportés systématiquement en supervision. -Personnel de maintenance électricité habilité pour intervenir sur l'ensemble des tensions présentes sur le site. -Alarme de défaut reportée en supervision, pour les équipements électromécaniques (pompe, agitateur, compresseur / supprimeur d'air...).

	<ul style="list-style-type: none"> -Programmer des essais périodiques du groupe électrogène et de reconfiguration. -Contrôle des dispositifs de reconfiguration de la distribution des tensions auxiliaires. -Tests réguliers de l'onduleur. -Recherche des points chauds dans l'ensemble d'armoire électrique [62].
--	--

Systeme de contrôle commande						
Equipement	Mode de défaillance	Cause de La défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité	Action Corrective
Automates	<ul style="list-style-type: none"> -Technique -Electrique -Défaillance électronique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Défaillance électronique -Perte d'alimentation -Une défaillance de la ventilation -Chocs 	<ul style="list-style-type: none"> -Perte de contrôle du process. -Arrêt de la communication sur une partie du réseau 	<ul style="list-style-type: none"> -Visuel - Instrumentation 	3	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnostic et vérification. -Vérification du fonctionnement Relevé des compteurs. -Vérification des câblages et la puissance électrique. -vérification d'usure ou corrosion.

Solutions / Amélioration

- Climatisation du local sous surveillance.
- Double alimentation de chaque automate, et de chaque serveur.
- Une alimentation sur onduleur.
- Mettre en œuvre un dispositif d'alarme sur l'Etat de l'automate.
- Mettre en œuvre un dispositif d'alarme sur l'Etat de l'automate et de ses E/S.
- Pas d'informations (signaux) redondantes sur une même carte E/S.
- Mettre en œuvre un dispositif d'alarme sur l'Etat du switch.
- Doublé le switch, le connecter aux mêmes équipements.
- Doublé le poste de supervision.
- Doublé le serveur de supervision **[62]**.

La démarche AMDEC nous a permis d'identifier les principaux dysfonctionnements des équipements au niveau de la STEP d'El Kerma ainsi que les effets directs sur le fonctionnement de la STEP comme le montre les sections précédentes.

Les propositions correctives faites portent essentiellement sur les principaux risques de la station d'épuration, Comme le dégrilleur qui souffre de plusieurs problèmes électromécaniques, le dessableur (pompes et les conduites...) et la déshydratation mécanique qui pose de nombreux problèmes au niveau des machines (problèmes mécaniques et électriques) etc..., nous avons proposé des solutions qui peuvent aider à résoudre ces problèmes.

Reste à signaler qu'un dysfonctionnement catastrophique (criticité d'ordre 4) a été observé lors de notre visite à la station d'El Kerma. Un dysfonctionnement externe qui a entraîné l'arrêt de la STEP pendant plus d'une semaine à cause de panne au niveau de la station de relevage Petit lac (Arrêt de pompage vers STEP d'El Kerma) en raison d'un :

- Dysfonctionnement des pompes (pas de débit, problème mécanique).
- Dysfonctionnement de l'armoire électrique (Problème électrique) ce qui a provoqué des arrêts du système de pompage vers la STEP.

En se basant sur ces problèmes, nous suggérons de :

- Installer une pompe de secours permettant d'assurer la continuité des fonctions de pompage et protéger les pompes contre les risques de colmatage par l'installation d'un système de dégrillage en amont du poste (si non existant).
- Intensifier la maintenance préventive périodique pour les machines et l'armoire électrique de la station de pompage.

IV. Proposition d'un planning d'exploitation pour la STEP d'El Kerma :

Selon les résultats et les analyses faites pour la STEP d'El Kerma et en se basant sur les expériences du groupe EPNAC [63] dans le domaine de l'analyse des dysfonctionnements au niveau des stations d'épuration, nous proposons dans la section suivante les consignes à suivre pour la bonne exploitation de ladite STEP. Ces consignes constituent un guide d'exploitation destinée aux maîtres d'ouvrage et des exploitants, il a pour objet de présenter

de façon synthétique, les modalités d'exploitation courante d'une station d'épuration à boues activées. Les consignes sont résumées dans le tableau IV.3 donné ci-dessous.

Tableau IV.3 : Guide d'exploitation pour la STEP d'El Kerma.

Ouvrage	L'opération de la maintenance à prévoir
Dégrilleur mécanique	<p>→Chaque semaine :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Enlever manuellement les déchets à l'aide d'un râteau adapté à la grille. -Les déchets sont égouttés dans un panier ou une poubelle perforée, avec admission des égouttures dans la file de traitement ; -Une fois égouttés, ensacher les refus de dégrillage et les évacuer avec les ordures ménagères. -L'estimation du volume/masse de déchets évacués est mentionnée sur le cahier d'exploitation. <p>→Les principales pièces mécaniques (moteurs, système de relevage des peignes) sont contrôlées et font l'objet des opérations de maintenance prévues par le constructeur. L'exploitant doit disposer de pièces de rechange (sangles notamment).</p> <ul style="list-style-type: none"> -Vérifier le bon fonctionnement du dégrilleur automatique, l'absence de fuite d'huile et modifier les cadences du peigne au besoin ; -Ensacher les refus de dégrillage et les évacuer avec les ordures ménagères chaque fois que nécessaire (ne pas dépasser deux à trois jours en climat chaud). <p>→ Chaque mois :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Graisser les paliers des motoréducteurs (changement des cartouches de graissage si elles existent) ; - L'estimation du volume/masse de déchets évacués est mentionnée sur le cahier d'exploitation. <p>→Au moins 2 fois par an :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Vérifier la qualité/niveau de l'huile des motoréducteurs (vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons) ; -Dégrilleurs droits : vérifier l'usure du dispositif de levage (sangle ou autre) ; -Vérifier le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêt coup de poing). <p>→ Tous les 5 ans :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Effectuer le changement du frein moteur.

Dessableur

→ Les principales pièces mécaniques (moteurs, compresseurs d'air) sont contrôlées et font l'objet des opérations de maintenance prévues par le constructeur.

→ **Chaque semaine :**

- Contrôler visuellement la qualité des sables (teneur en eau et matières organiques) et extraire autant que nécessaire les sables accumulés (2 à 3 fois par semaine) ;

- Vérifier l'absence de fuite d'huile.

→ **Chaque mois :**

- Vérifier les quantités de sable en fond de dessableur, de façon à modifier si nécessaire la fréquence d'extraction ;

- Graisser les paliers des motoréducteurs (changement des cartouches de graissage si elles existent) ;

- La donnée d'autosurveillance des sables évacués est mentionnée sur le cahier d'exploitation.

→ **Au moins 2 fois par an :**

- Vérifier la qualité/niveau de l'huile des motoréducteurs (vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons) ;

- Vérifier le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêt coup de poing).

→ **Opération de curage :**

- Evacuation en benne vers des sites de traitement habilités.

Déshuileur

- Les principales pièces mécaniques sont contrôlées et font l'objet des opérations de maintenance prévues par le constructeur.
- Les graisses stockées dans la fosse sont évacuées chaque fois que nécessaire en vue de leur élimination (intervention d'une entreprise de curage, évacuation vers un centre de traitement habilité).
- **Chaque semaine :**
 - Contrôler le bon fonctionnement du dispositif du dégraisseur, et visuellement la qualité du bullage.
 - Contrôler l'usure du système de raclage (caoutchouc) ainsi que la bonne évacuation des graisses dans la trémie (risque de bouchage). Si nécessaire, modifier les fréquences de raclage et vérifier l'absence de fuite d'huile ;
 - Evaluer l'état de saturation de la fosse de stockage des graisses de façon à anticiper les opérations de curage.
- **Chaque mois :**
 - Graisser l'axe du racleur de surface (changement des cartouches de graissage si elles existent).
 - La donnée d'autosurveillance des graisses évacuées est mentionnée sur le cahier d'exploitation.
- **Au moins 2 fois par an :**
 - Vérifier la qualité de l'huile des motoréducteurs (vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons) ;
 - Vérifier le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêt coup de poing).

Bassin d'aération

→ Les équipements électromécaniques (agitation, aération...) font l'objet des opérations de maintenance prévues par les constructeurs.

→ Le bon fonctionnement du système d'aération constitue un élément majeur. En cas de panne, une intervention très rapide est indispensable. La présence d'équipements de secours est souhaitable.

→ **Chaque semaine :**

- Contrôler le bon fonctionnement des dispositifs d'aération et d'agitation. Sur le bassin d'aération : observer visuellement la qualité de boues (couleur, odeur, présence de mousses, qualité de l'aération) et l'homogénéisation du mélange.

- Contrôler la qualité des boues recirculées (couleur, odeur) et du mélange. Au besoin, modifier les réglages de la recirculation, ainsi que les retours issus de l'unité de déshydratation des boues.

- Surveiller l'apparition de bruits suspects sur les moteurs (turbines, pont brosse, suppresseur...), et vérifier l'échauffement ainsi que la vibration des moteurs.

- Observer la qualité du bullage dans le cas d'une aération par fines bulles : prévenir l'apparition de fuites et/ou colmatage des membranes de diffusion d'air.

- Dans le cas des turbines, observer la bonne dispersion de la gerbe de manière à prévenir l'usure des pales, la mauvaise horizontalité du plateau.

- Nettoyer les organes de communication (élimination des filasses de la lame déversant).

- Effectuer le suivi analytique :

- Réaliser un test de décantation et déterminer l'indice de boues.
- Evaluer la qualité du traitement par le biais de tests colorimétriques.
- Au besoin, modifier les réglages de l'aération, de l'extraction et de la recirculation.
- Consigner le temps de marche de l'aération sur le cahier d'exploitation.

→**1 fois par mois** : -Si possible, réaliser des purges régulières des rampes d'insufflation (vérifier l'absence de boues ou de condensats, témoins de fuites sur les rampes).

-En cas de régulation de l'aération par sondes oxygène et/ou rédox, veiller à contrôler la cohérence des valeurs et réaliser l'étalonnage des sondes O₂ et la vérification des sondes rédox.

-Sortir les sondes avec précaution et nettoyer/vérifier les câbles et électrodes :

-Elimination des filasses, lavage, voire ponçage délicat avec un papier adapté dans le cas des sondes rédox ;

-Graisser les paliers dans le cas des turbines et des ponts brosses et vérifier l'axe des turbines, l'usure des pales, l'état et la tension des courroies du pont brosse ;

-Vérifier les niveaux d'huile des supprimeurs et l'état d'encrassement des filtres à air (nettoyer ou remplacer si nécessaire).

→**Au moins 2 fois par an** :

-Relever les agitateurs et hydroéjecteurs et contrôler l'aspect général.

-Contrôler l'état des dispositifs de levage (câbles, chaînes, barres de guidage).

-Enlever les filasses et autres déchets déposés autour des équipements.

-Vérifier la qualité/niveau de l'huile des motoréducteurs (vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons) ;

-Vérifier le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêt coup de poing).

→**1 fois par an** : -Relever les pertes de charge au refoulement des supprimeurs d'air de manière à programmer le changement des diffuseurs ;

-Vérifier la puissance absorbée du moteur.

-En cas de dysfonctionnements observés (présence de boues dans le circuit des condensats, pertes de charge trop importantes), sortir les rampes de diffusion et changer les membranes d'insufflation. Cette opération pourra nécessiter de vidanger le bassin qui à cette occasion sera entièrement nettoyé.

Clarificateur

→ **Chaque semaine :**

- Contrôler la rotation du pont tournant, l'absence de bruits anormaux, l'état de la surface du miroir et de la cloison siphonide.
- Veiller à la bonne évacuation des flottants : réglage de la lame de raclage en surface, nettoyage de la lame déversant et de la goulotte d'évacuation.
- Si des remontées de boues sont observées : vérifier les réglages de l'aération, de la recirculation et de l'extraction, le fonctionnement du raclage de fond.
- En présence de billes de graisses ou déchets, vérifier le fonctionnement et l'efficacité des prétraitements ;
- Contrôler et changer si besoin le dispositif de raclage de surface.
- Changer les brosses de nettoyage des goulottes associées au pont tournant chaque fois que nécessaire.
- Vérifier régulièrement la bonne tenue de la lame siphonide et de la lame de fond du pont tournant.
- Vérifier l'usure des bavettes de reprise des écumes et les changer si nécessaire.
- Les flottants raclés sont dirigés vers la file de traitement des boues.

→ **1 fois par mois :**

- Graisser les pièces tournantes et contrôler l'état de la roue d'entraînement du pont.

→ **Au moins 2 fois par an :**

- Vérifier la qualité/niveau de l'huile des motoréducteurs (vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons) et le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêt coup de poing) ;
- Vérifier le bon état de la bande de roulement et déceler d'éventuels patinages (corriger si nécessaire).
- Vérifier l'étanchéité de la lame déversant dentelée.

→ **En hiver :**

- Mettre en service le câble chauffant pour éviter le patinage de la roue sur le chemin de roulement, ou vérifier le compte tours s'il existe.
- En présence de gel, casser la glace chaque jour.

→ **Tous les 10 ans :**

Procéder à une vidange de l'ouvrage afin de contrôler l'état de la racle de fond et de remplacer la bande caoutchouc. Cette opération doit être réalisée après chaque emplacement de la roue du pont racleur pour compenser les usures.

<p>Recirculation – Extraction</p>	<p>→Le bon fonctionnement de la recirculation des boues constitue un élément fondamental.</p> <p>En cas de panne, une intervention d'urgence doit être envisagée. La présence d'une pompe de secours s'avère indispensable.</p> <p>→ Les équipements électromécaniques font l'objet des opérations de maintenance prévues par le constructeur.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Adapter les réglages de l'extraction (horloges ou automate). Réaliser régulièrement les extractions afin de ne pas déstabiliser la biomasse - Nettoyer les volutes d'aspiration à grande eau ; - Vérifier l'état des roues et la qualité/niveau de l'huile (si nécessité, vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons) ; -Contrôler l'état des dispositifs de levage (câbles, chaînes, barres de guidage) ; -Enlever les filasses et autres déchets déposés autour des équipements -Remonter et nettoyer les poires de niveau et sondes de pression immergées. -Vérifier l'Etat des câbles ; -Vérifier le débit des pompes, contrôler l'ampérage et l'isolement électrique. <p>→Le personnel doit être formé et connaître les modalités de régulation des pompes : il peut être amené à les modifier.</p>
<p>Autosurveillance</p>	<p style="text-align: center;"><u>Eaux brutes</u></p> <p>→ Chaque semaine :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Observer la qualité des eaux usées brutes : couleur, odeur, substances particulières... -Nettoyer le canal de jaugeage s'il existe. -Relever le totalisateur du débitmètre sur le cahier d'exploitation, s'assurer de son bon fonctionnement et de la cohérence des données relevées. Si les débits sont consignés sur un enregistreur spécifique (enregistreur, télésurveillance, supervision), s'assurer de la sauvegarde régulière des données. <p>→Réaliser le bilan d'autosurveillance selon les prescriptions réglementaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Vérifier et nettoyer le préleveur (température, échantillonnage, programmation, vitesse d'aspiration) ; -Contrôler le point de prélèvement (absence de dépôts, tuyau non bouché...). <p style="text-align: center;"><u>Eaux traitées</u></p> <p>→ Chaque semaine :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Observer la qualité des eaux traitées : couleur, odeur, substances particulières...

	<ul style="list-style-type: none"> -Relever le totalisateur du débitmètre sur le cahier d'exploitation, s'assurer de son bon fonctionnement et de la cohérence des données relevées. Si les débits sont consignés sur un enregistreur spécifique (enregistreur, télésurveillance, supervision), s'assurer de la sauvegarde régulière des données. -Nettoyer le canal de jaugeage et vérifier la cohérence des hauteurs lues par le dispositif de mesures des hauteurs d'eau. →Réaliser le bilan d'autosurveillance selon les prescriptions réglementaires -Vérifier et nettoyer le préleveur (température, échantillonnage, programmation) ; -Coupler le débitmètre à un préleveur automatique (réfrigéré ou isotherme).
<p>Epaississement</p>	<ul style="list-style-type: none"> →A chaque phase d'épaississement : -Vérifier la qualité des eaux surnageantes et assurer un transfert régulier des boues épaissies vers le silo de stockage ou les étapes suivantes de déshydratation mécanique. →Au moins 2 fois par an, lorsque la pompe de transfert est immergée dans l'épaisseur, relever la pompe : <ul style="list-style-type: none"> -Nettoyer les volutes d'aspiration à grande eau ; -Vérifier l'état des roues et la qualité/niveau de l'huile (si nécessité, vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons) ; -Contrôler l'état des dispositifs de levage (câbles, chaînes, barres de guidage) -Contrôler le débit de la pompe d'extraction. -Pour favoriser l'augmentation de la siccité des boues, un drain peut être installé dans l'ouvrage de manière à récupérer en permanence l'eau des boues. -Pour limiter l'incidence des eaux surnageantes septiques, il est essentiel de réguler hydrauliquement les retours en tête. -La perméabilité du drain doit être contrôlée très régulièrement. En cas de colmatage, le drain doit être nettoyé.

Déshydratation mécanique

Les principales pièces mécaniques sont contrôlées selon les opérations de maintenance prévues par le constructeur.

→ **Chaque semaine**, quelle que soit l'unité de déshydratation :

-Vérifier le bon fonctionnement des pompes d'alimentation en flocculant (et en coagulant dans le cas des filtres presse) ;

-Préparer la quantité de flocculant juste nécessaire à l'opération quotidienne de déshydratation

-Estimer les quantités de chaux restante pour programmer les livraisons.

-Dans le cas où les pompes d'alimentation sont munies d'un débitmètre électromagnétique, les volumes de boues extraites sont relevés chaque semaine ou à chaque séquence d'extraction sur le cahier d'exploitation. Si ces éléments sont consignés sur un enregistreur spécifique (enregistreur, télésurveillance, supervision), s'assurer de la sauvegarde régulière des données.

→ **A chaque utilisation du dispositif**, l'exploitant s'assure :

-De l'efficacité du mélange boues/flocculant et de la bonne alimentation du dispositif de déshydratation ;

-De la bonne évacuation des filtrats, centrâtes et des boues déshydratées, ainsi que du bon fonctionnement du dispositif de chaulage lorsqu'il existe (alimentation en chaux, malaxeur, pompe gaveuse) ;

-Du bon fonctionnement du dispositif de lavage et de son efficacité.

→ **Au moins 1 fois par mois** : -Nettoyer la trémie, la vis sans fin en sortie de déshydratation et assurer le graissage des pièces en mouvement ;

-Réaliser une mesure représentative des quantités de MS en entrée de déshydrations afin de quantifier les boues produites.

→ **Au moins 1 fois par an**, sur la pompe d'alimentation, la pompe d'évacuation des boues et la pompe d'eau industrielle :

-Vérifier l'état général, l'étanchéité et la qualité/niveau de l'huile (si nécessité, vidange 1 fois/an avec changement des joints et des bouchons).

→ **Tous les 3 à 5 ans** : -Vider le silo de chaux, contrôler et remplacer les bras du dévolteur si besoin ;

-Réaliser ou faire réaliser un test d'optimisation du polymère.

→ Enfin le bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêt coup de poing) est également vérifié à minimal 2 fois/an.

V. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons appliqué la méthode AMDEC pour l'analyse des dysfonctionnements de la STEP d'El Kerma. Cette méthode a été utilisée dans le cadre de la démarche sûreté de fonctionnement pour assurer la continuité du service au niveau de la STEP et proposer des stratégies d'amélioration du fonctionnement de cette dernière.

Nous avons commencé par identifier les causes et effets possibles provoquant les principaux dysfonctionnements au niveau de la STEP d'El Kerma, pour passer ensuite à évaluer le degré de criticité de chaque événement afin classer les événements les plus critiques et dégager des actions correctives et suggérer des solutions et des recommandations pour leur correction et amélioration du fonctionnement.

Les propositions faites se basent essentiellement sur le retour d'expériences des dysfonctionnements des stations d'épurations trouvés dans la littérature d'une part et des discussions menées avec les techniciens de la SEOR lors de nos visites à la STEP d'El Kerma d'autre part.

Reste a signalé que l'AMDEC développée dans le cadre de notre projet de fin d'études se base essentiellement sur les événements directs, la raison pour laquelle une étude qui se base sur les arbres de défaillances sera d'une importance capitale pour cerner les combinaisons d'évènements.

Une Démarche AMDEC combinée avec les arbres de défaillances sera très importante dans le cadre de l'étude de la sûreté de fonctionnement appliquée aux stations d'épuration en Algérie.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'application de la sûreté de fonctionnement dans stations d'épuration des eaux usées est devenue une priorité. Car, ce concept veille à garantir la protection des équipements, la sécurité des personnes, et la protection d'environnement immédiat.

Dans notre travail, en termes de l'évaluation du degré de la pollution physico-chimique et des performances de la station d'épuration, les résultats obtenus nous permettent de conclure que les valeurs de pH et la température de l'eau épurée répondent aux normes de rejet direct. Même constat pour les paramètres tels que la DCO, la DBO₅, et les MES de l'eau épurée, leur analyse a montré une élimination assez satisfaisante. Par contre pour la conductivité, le PO₄ et Pt, les valeurs des concentrations de ces paramètres dans l'eau épurée, dépassent légèrement les normes des rejets. Ce qui nous laisse dire que leur élimination n'est pas tout à fait conforme.

En ce qui concerne le volet du fonctionnement de la STEP d'El Kerma, les principaux dysfonctionnements observés sont plutôt d'ordre mécanique et/ou électrique. Ceux des plus critiques ont été observés au niveau : des dégrilleurs, des dessableurs/déshuileurs, des décanteurs primaires et secondaires, des bassins d'aération, et de la déshydratation mécanique des boues.

A travers l'application de l'AMDEC, nous avons pu mettre en évidence les différentes défaillances enregistrées au niveau des différentes étapes du procès, et avons en conséquence proposé des solutions pour y faire face, et permettre l'optimisation de la fiabilité des équipements de production, ainsi qu'assurer leur maintenabilité et leur maîtrise en termes de disponibilité opérationnelle.

A ce titre nous avons pu dégager les recommandations suivantes en matière de sûreté de fonctionnement :

- Protéger le dégrilleur contre les risques par des dégrilleurs manuels grossiers en amont du poste, pour amortir le taux élevé des déchets ;
- Changer les pompes de prétraitement par autres pompes de plus grande puissance, et il serait aussi recommandé d'avoir un stock des diverses pompes sur place pour un remplacement rapide en cas de panne. Il est préférable d'utiliser des pompes en inox, pour éviter la corrosion et les pannes répétées ;

CONCLUSION GENERALE

- Constitution d'un stock de pièces de rechange, il faut en disposer en station, et l'utilisation des produits pour protéger contre la corrosion ;
- Conserver toutes les informations sur les pannes qui affectent la station dans des archives, (historique des pannes et de maintenance) ;
- Les responsables de gestion de la STEP doivent élaborer et utiliser des méthodes comme par exemple l'AMDEC, pour prévenir et éviter les pannes dans la STEP ;
- Avoir un groupe électrogène mobile sur le site de la STEP en cas de panne de courant ;
- La surveillance journalière du coffret électrique de toutes les installations pour éviter les risques pour les personnes et les équipements ;
- Assurer une formation de qualité au personnel d'exploitation, et multiplier la bonne maintenance corrective et préventive (Changement de pièces, Usure, Corrosion...etc.).

Ceci dit, il est à noter que nous avons rencontré certaines difficultés, qui nous ont entravé le bon déroulement des travaux de notre projet de fin d'études. Ces difficultés se résument en :

- L'absence de l'historique des pannes et de maintenances de la station (perdu ou non sauvegardé) ;
- L'AMDEC est une méthode un peu complexe en termes d'un meilleur usage, dont nous ne l'avons pas maîtrisé d'une façon profonde dans notre programme de formation. Et en raison du confinement, la consultation de nos encadreurs a été uniquement par les voies de télécommunication (internet et téléphone), qui restent très limitées en matière d'échange d'information et de formation. Car nous ne sommes pas habitués à de telles pratiques ;
- L'accès à la documentation sous forme de livres était impossible, car la bibliothèque de la faculté a été fermée en raison de l'épidémie de COVID-19, et la recherche sur Internet nécessite un paiement pour vous permettre d'atteindre votre besoin (livres, documents, études, rapports... etc.) ;
- Nous avons prévu une visite secondaire à la station, mais malheureusement à cause du confinement, elle a été annulée.

CONCLUSION GENERALE

Ce modeste travail a pour vocation d'aider les gestionnaires de la station d'épuration des eaux usées d'El Kerma à mieux gérer et exploiter les différents équipements de toutes les étapes du procès épuratoire de ladite station. Il peut même constituer une référence pour les futurs travaux dans le domaine de l'épuration de l'eau, qui reste un domaine très large et très complexe.

« Savoir pour prévoir, afin de pouvoir. »

Auguste Comte

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Isabelle B, Véronique C, Michel C, Jirome C, Christine D, Hubert D, Philippe D, Brigitte F, Elise L, Roland R, Olivier S, Philippe S et Roland W, 2013** : « Station d'épuration des eaux usées Prévention des risques biologiques », Guide 1ère édition, Institut national de recherche et de sécurité (INRS).
- [2] **El Hifnawy C, 2012** : « conception d'une station d'épuration », Diplôme d'Ingénieur en Energétique Option Froid et Climatisation conservatoire nationale des arts et matières Paris, France.
- [3] **Djeddi H, 2007** : « utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines », Mémoire de magister en Ecologie et Environnement Université Mentouri Constantine.
- [4] **Matehri M S, 2012** : « élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou », thèse de doctorat département des sciences agronomiques, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [5] **Henri A, collet L, Graziella D, Yves G, Martine P et Frédéric C, 2004** : « Le traitement des eaux usées », Guide ED5026 Institut national de recherche et de sécurité (INRS).
- [6] **DC Equimachines Corporation, 2013** :
https://dcequimachines.com/products_europelec.html, consulté le : 22/02/2020 à 13 : 59.
- [7] **Société Monaclean**, <http://www.monaclean.com/index.php?page=14>,
Consulté le : 02.03.2020 à 10 : 27.
- [8] **L'usine SEOP, 2017** : « Les étapes du traitement », études.
<https://eauyvelines.wordpress.com/les-etapes-du-traitement/>,
Consulté le : 02/062020 à 18 : 27.
- [9] **Toure A, 2018** : « Diagnostic des dysfonctionnements de la station d'épuration a boues activées de sucrivoire borotou-koro (cote d'ivoire) et proposition de solutions », Mémoire de Magister Département de l'eau et assainissement, laboratoire Eaux, hydro systèmes et agriculture, Borotou-Koro Cote D'ivoire.
- [10] **Faby J A, Brissaud F, 1997** : « L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation », Office International de l'Eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [11] **TransAqua** : « Les prochaines étapes dans l'évolution des traitements des eaux usées », <http://www.transaqua.ca/fr/traitement-des-eaux-usees/les-prochaines-etapes-dans-levolution-des-traitement-des-eaux-usees>, consulté le 02/03/2020 à 15 : 36 .
- [12] **Jean-Pierre C, JeanMarc P et Jean-Marc C, 2007** : « Le traitement du carbone et de l'azote pour des stations d'épuration de type boue activée confrontées à des fortes variations de charge et à des basses températures », Document technique FNDAE n° 34.
- [13] **Gunt Humburg** « Engineering mechanics and engineering design », https://www.gunt.de/images/download/Connaissances-de-base-en-la-station-dpuracion_french.pdf, consulté le 27/03/2020 à 16 : 45.
- [14] **Canler J, Perret J M, 2013** : « La réduction de boues par voie biologique par le procédé MycET », Document de Synthèse FNDAE n° 39.
- [15] **Anne P, Antoine C, Bernard H, Carole Q, et al**, « Le Mémento technique de l'eau », <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/procedes-biologiques/procedes-a-cultures-libres/aide-a-l-analyse-des-dysfonctionnements>, consulté le 01/03/2020 à 11 : 05.
- [16] **Silman S Y, Papa Sidy T, 2003** « Etude De Réhabilitation De La Station D'épuration De Saly Portugal » Ecole Supérieure Polytechnique, Département Génie Civil, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- [17] **Anonyme, 2015** : « Dysfonctionnement d'Une Filière de Traitement Des Eaux Usées », <https://fr.scribd.com/document/264215858/Dysfonctionnement-d-Une-Filiere-de-Traitement-Des-Eaux-Usees>, consulté le 05/03/2020 à 10 : 23.
- [18] **Canler J P, 2004** : « Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : Origines et solutions », Document technique FNDAE n° 33, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche de Paris.
- [19] **Allosponsor** « Microbiologie des boues activées », <http://eauxenvironnement.blogspot.com/2012/09/microbiologie-des-boues-activees.html>, consulté le 07/03/2020 à 19 : 05.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[20] **Latifa K, Hanane I, 2013** : « l'impact des dysfonctionnements rencontrés au niveau des bassins d'aération de "la Station d'Épuration et de Réutilisation des Eaux Usées de Marrakech" sur la qualité des eaux traitées », Mémoire de Magister, Université Cadi Ayad de Marrakech.

[21] **Ahmed B D, Taleb I, 2014** : « l'étude du fonctionnement de la STEP de Sidi bel Abbés par le principe à boues activées », Mémoire de Magister, université Abou Bakr Belkaid.

[22] **Bekrarchouch M, Azzouz M, 2019** : « Dimensionnement et exploitation d'une station d'épuration à boues activées cas STEP d'Ain El Kihal », Mémoire de Master Département D'Hydraulique, Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent.

[23] **Ourahmoun L, 2015** : « contribution au dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées Oued Falli commune et daïra de Tizi-Ouzou », Mémoire de Magister Département D'Hydraulique, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.

[24] **Kheloufib D, Medjdoub J, 2013** : « Analyse de la Sûreté de Fonctionnement pour la Maitrise des Risques de la Chaudière de Tchîn-lait », Master en Génie Mécanique, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.

[25] **Guide Technique** : « La Sûreté de Fonctionnement (SdF) », Intersections - novembre 2004.

[26] **Boucerredj L, 2015** : « Sûreté de Fonctionnement : Recherche des Scénarios Critiques dans les Systèmes Mécatroniques », Thèse de Doctorat en Automatique Industrielle, Université Badji Mokhtar Annaba.

[27] **Frédéric M**, « La Sûreté de Fonctionnement », APSYS - CASSIDIAN – EADS.

[28] **Kahal H**, « Réseaux Bayésiens Dynamiques : Application aux réseaux électriques », Magister en Electrotechnique. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.

[29] **Jérôme V, 2003** : « Introduction à l'étude de la fiabilité des cellules de commutation à IGBT sous fortes contraintes », Thèse de Doctorat en Génie Electrique, Université De Toulouse.

[30] **Véronique C, 2014** : « support du cours pour BTS maintenance des systèmes », option systèmes de production – ex BTS maintenance industrielle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [31] **Romarc G, 2011** : « Intégration de la sûreté de fonctionnement dans les processus d'ingénierie système. Automatique/ Robotique, Université Paul Sabatier-Toulouse III.
- [32] **Thellier S, 2019** : « Analyse des risques en radiothérapie : Partie 1 : Forces et faiblesses de la méthode AMDEC », Article, IRSN, laboratoire de recherche en Sciences humaines et sociales (LSHS), 31 avenue de la division Leclerc, BP 17.92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France.
- [33] **Patrick B, 2006** : « La méthode AMDEC principes et limites », GRID - MS Gestion globale du risque.
- [34] **Sylvie T, 2017** : « Approche ergonomique de l'analyse des risques en radiothérapie : de l'analyse des modes de défaillances à la mise en discussion des modes de réussite », thèse, école doctorale Abbe Grégoire, Centre de Recherche sur le Travail et le Développement.
- [35] **Henri A, Alain B, Pierre C, Antoine D, Gilles D, Jean F, Frédéric F, Jean-pierre H, André L, Yves L, Michel L, Olivier M, Bernard M, Jacques M, Phellip P, Sylvain P, Henri-pierre N, Michel R, Bernard S, Dominique S et Gilles Z, 2005** : « Enjeux techniques de la maintenance », Article Techniques de l'Ingénieur 2ème édition, www.techniques-ingenieur.fr.
- [36] **Thomas L, 2015** : « Gestion Des Risques A Priori : Application De La Méthode AMDEC à La Production Des Médicaments Anticancéreux Au Chu De Grenoble », Thèse Option Pharmacie Hospitalière, Université Joseph Fourier.
- [37] **Eric M, 2004** : « Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité » Livre, Stratégie et organisation industrielle, Ingénierie des produits et des process.
- [38] **Idrissi A Y, 2015** : « Application de la démarche (AMDEC-produit) : Cas des retours clients », Mémoire Faculté des Sciences et Techniques, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah.
- [39] **Salloum H, 2017** : « La sûreté de fonctionnement Et l'analyse des modes de défaillance matériels et logiciels », Rapport : Bibliographique École Centrale de Nantes - Université de Nantes.
- [40] **CRTA Avignon, 2004** : « La méthodologie AMDEC », Dossier technique, Centre de référence des troubles d'apprentissage (CRTA), CHU de Nantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [41] **Douaba N, Berouba S, 2017** : « Analyse analytique FMD et AMDEC d'un compresseur à vis- ATLAS COPCO ZE3- », Mémoire MASTER En Génie Mécanique, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [42] **Abdelmalek S, 2019** : « La Méthode d'Analyse AMDEC Dispositif de surveillance et de pilotage », Conservatoire National des Formations à l'Environnement CNFE, SGSIA : Société de Gestion des Services et Infrastructures.
- [43] **Kelada J, 1994** : « l'AMDEC, École des Études Commerciales », Centre d'étude en qualité totale.
- [44] **JEAN-MARIE F, 2013** : « analyse des risques des systèmes de production industriels et de service, aspects technologique et humains », livre, GERMS SCIENCE PUBLICATIONS, Paris, www.editions.lavoisier.fr.
- [45] **Marris, 2011** : « AMDEC principes de base » Article Version 1.
- [46] **Gérard L, 2007** : « AMDEC guide pratique » Guide pratique 2eme Edition AFNOR, La Plaine Saint-Denis Cedex.
- [47] **Hannachi A, Gharzouli R et Djellouli Tabet Y, 2014** : « Gestion Et Valorisation Des Eaux, Usées En Algérie », Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, pp. 51-62.
- [48] **Reporters, 2018** : « Station d'épuration des eaux usées d'El Kerma : Des habitants dénoncent la pollution de l'air devenu irrespirable », <https://www.reporters.dz/station-d-epuration-des-eaux-usees-d-el-kerma-des-habitants-denoncent-la-pollution-de-l-air-devenu-irrespirable/> , consulté le 05/04/2020 à 14 : 23.
- [49] **Meziane A, 2014** : « Etude des performances du traitement biologique de la station d'épuration El Kerma- Oran » Master en Hydraulique. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen.
- [50] **Oulhadj D, 2014** : « Analyse et optimisation du traitement des nutriments par boues activées -Cas de la STEP d'El Kerma Oran », Magister en Hydraulique. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- [51] **Avenant n°5 001/2016 du 09/05/2006**, approuvé par la commission nationale des marchés publics le 30/10/2005 sous le numéro 362/02. Document technique de SEOR.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[52] Rodier J, Bernard I et Nicole M, 1996 : « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 8ème édition. DUNOD. PARIS.

[53] Qualité physico-chimique de l'eau, 2015 :« Qualité physico-chimique de l'eau », http://www.forum-zones-humides.org/iso_album/qualite_physico-chimique_de_l_eau_1.pdf.

[54] Zeghoud, 2014 : « L'étude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra », Mémoire Master, Université d'El Oued.

[55] Fathallah Z, Elkharrim K, Fath Allah R, Hbaiz E M, Hamid C, Ayyach A, Elkhadmaoui A et Belghyti D, 2014 : « Etude Physico-Chimique Des Eaux Usées De L'unité Industrielle Papetière (Cdm) A Sidi Yahia El Gharb », Sidi Yahia El Gharb, Maroc. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°20, Décembre 2014, pp. 57-69.

[56] OBAKIR (Organisme des bassins versants de Kamouraska, l'Islet et Rivière de Lou), 2014 : plan directeur de l'eau, Fiche N° 3, « Matières en suspension et turbidité, Qualité de l'eau de surface ».

[57] FNDAE n° 29, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales. Document technique.

[58] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2011 :« Détermination du phosphore total dans les effluents : digestion à l'autoclave avec persulfate, méthode colorimétrique automatisée ».

[59] Pollutec, 2010 :« Traitement des eaux usées, des boues et des matières de vidange pour les petites et moyennes collectivités : Résumé des interventions ».

[60] Idabdellah H, Kahim L, 2013 :« L'impact des dysfonctionnements rencontrés au niveau des bassins d'aération de la Station d'Épuration et de Réutilisation des Eaux Usées de Marrakech sur la qualité des eaux traitées », Mémoire, Département des Sciences de la Terre, Université Cadi Ayad.

[61] Les Entreprises groupées conjointes et solidaires VA TECH WABAG & CHINA GEO-ENGINEERING CORPORATION, Marché DHW ORAN N° 001/2006, DESCRIPTIF DE FONCTIONNEMENT ET D'EXPLOITATION DE LA STEP. Document technique de SEOR-ORAN.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[62] Gédéon A, Fouad B, Laurent B, Julien C, Stève C, Sandra F, Lilian G, Hilde L, Christelle P, Christian R, Laure S, Denis S et Thomas V, 2020 : « Analyse des risques de défaillance », Etude a été réalisé par le groupe de travail ASTEE, Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Envergement.

[63] Olivier C, Nadine D, Julien D, Boutin, Gaëlle F, Claudia G, Sandrine P, Stéphanie P B et Christophe T, 2015 : « ouvrages de traitement par boues activées », GUIDE d'exploitation, groupe EPNAC.

ANNEXE

Tableau I : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).

PARAMÈTRES	UNITÉS	VALEURS LIMITES
T	°C	30
Ph	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO ₅	mg/ l	35
DCO	mg/l	120
Phosphore total	mg/l	02
Phosphates	mg/l	02

Tableau II : Les normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989).

PARAMÈTRES	UNITÉS	Normes utilisées (OMS)
T	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	30
DBO ₅	mg/ l	30
DCO	mg/l	90
Phosphore total	mg/l	02
Phosphates	mg/l	02