

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعب

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES DE LA MER ET DE  
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
INGENIEUR D'ETAT**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**FILIERE : GENIE DE PROCEDE**

**SPECIALITE : TRATEMENT ET REUTILISATION DES EAUX USEES**

**THÈME:**

**MODELISATION PAR BILANS DE MASSE DE STEP IRARA : EVALUATION  
DES RENDEMENTS EPURATOIRES ET OPTIMISATION  
OPERATIONNELLE**

**Présenté Par:**

LAIB Salah Eddine

Soutenu le 28/06/2026 ,devant le jury composé de :

|                     |     |         |               |
|---------------------|-----|---------|---------------|
| Mme. GHEZALI Katia  | MCB | ENSSMAL | président     |
| M. MAZIGHI Hichem   | Dr  | GCB     | promoteur     |
| Mme .BENTEBBA Aicha | MAA | ENSSMAL | co- promoteur |
| M.BOUAICHA Farid    | MAA | ENNSMAL | examineur     |

**ANNÉE UNIVERSITAIRE :2025/2026**



# Remerciements

*Avant tout, je remercie ALLAH tout puissant, de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail. Je tiens à remercier Mr **MAZIGHI Hichem** d'avoir acceptée de m'encadrer sur ce thème, de m'avoir conseillée judicieusement, encouragée, orientée et de m'apporter son attention tout au long de ce travail. Mm **BENTEBBA Aicha** e d'avoir accepté de co-encadrer ce travail et pour ses conseils judicieux. Je remercie La direction de SONATRACH et le personnel de la station d'épuration des eaux usées irara pour leur accueil, et leur contribution par les données et les documents nécessaires.*

*Je désire aussi remercier toutes les personnes qui m'apportée de près ou de loin leurs aide, leurs encouragements et leurs conseils qui ma contribuée ainsi à rendre possible la présentation de ce travail. Mes remerciements les plus sincères à tous les enseignants du treuAux membres du jury qui ma fait d'examiner ce modeste mémoire.*





# Dédicaces

Avec l'aide et la protection d'ALLAH s'est  
réalisé ce modeste travail. Je dédie ce travail A  
ma très chère mère pour sa tendresse et ses  
encouragements Pour son sacrifice et sa patience  
A mon cher père qui à sacrifier sa vie pour que la  
vie soit meilleure Pour ces conseils et sa  
patience A mes frères A tous mes amis A tous  
mes camarades de promo de treu Et tous mes  
enseignants



# SOMMAIRE

## CHAPITRE I : ETAT DE L'ART ET BASES THEORIQUES

|                                                            |   |
|------------------------------------------------------------|---|
| - 1. DEFINITION DES EAUX USEES .....                       | 1 |
| - 2. LES CATEGORIES DES EAUX USEES .....                   | 1 |
| - 2.1. LES EAUX USEES DOMESTIQUES .....                    | 1 |
| - 2.2. LES EAUX USEES INDUSTRIELLES .....                  | 1 |
| - 2.3. LES EAUX DE RUISSELLEMENT .....                     | 2 |
| - 2.4. LES EAUX AGRICOLES .....                            | 2 |
| - 3. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX USEES ..... | 2 |
| - 3.1. LA TEMPERATURE .....                                | 2 |
| - 3.2. LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE .....                    | 3 |
| - 3.3. LE POTENTIEL HYDROGENE (PH) .....                   | 3 |
| - 3.4. LES MATIERES EN SUSPENSION (MES) .....              | 3 |
| - 3.5. LA DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE (DBO5) .....       | 3 |
| - 3.6. LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO) .....          | 3 |
| - 3.7. LA BIODEGRADABILITE .....                           | 3 |
| - 3.8. L'AZOTE .....                                       | 3 |
| - 3.9. LE PHOSPHORE .....                                  | 4 |
| - 4. DEFINITION DE L'EPURATION .....                       | 4 |
| - 5. OBJECTIF DE L'EPURATION .....                         | 4 |
| -6. TYPE DE PROCEDE UTILISE.....                           | 5 |
| - 6. LES PROCEDES D'EPURATION DES EAUX USEES .....         | 5 |
| - 6.1. PRETRAITEMENT .....                                 | 5 |
| - 6.1.1. DEGRILLAGE .....                                  | 5 |
| - 6.1.2. DESSABLAGE .....                                  | 5 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| - 6.1.3. DEGRAISSAGE - DESHUILLAGE .....                              | 5  |
| - 6.2. TRAITEMENT SECONDAIRE (BIOLOGIQUE) .....                       | 5  |
| - 6.3. TRAITEMENT TERTIAIRE .....                                     | 6  |
| - 6.3.1. ÉLIMINATION DES MATIERES AZOTEES .....                       | 6  |
| - 6.3.2. ÉLIMINATION DES MATIERES PHOSPHATEES .....                   | 7  |
| - 7. TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVEES .....                              | 8  |
| - 7.1. PRINCIPE DU PROCEDE .....                                      | 9  |
| - 7.2. SCHEMA D'UNE STATION DE TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVEES .....    | 9  |
| - 7.3. ROLE DES BACTERIES DANS LES BOUES ACTIVEES .....               | 9  |
| - 7.4. TYPES DE BOUES ACTIVEES .....                                  | 10 |
| - 7.5. PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION A BOUES ACTIVEES .. | 10 |
| - 7.5.1. ÂGE DES BOUES (SRT) .....                                    | 10 |
| - 7.5.2. CHARGE MASSIQUE (F/M) .....                                  | 11 |
| - 7.5.3. RAPPORT DBO5/DCO .....                                       | 11 |
| - 7.5.4. INDICE DE MOHLMAN (IV30) .....                               | 11 |
| - 7.6. PROBLEMES COURANTS .....                                       | 11 |
| - 7.6.1. BULKING FILAMENTIEUX .....                                   | 11 |
| - 7.6.2. MOUSSAGE .....                                               | 11 |
| - 7.6.3. DENITRIFICATION BIOLOGIQUE .....                             | 12 |
| - 8. LES BOUES D'EPURATION .....                                      | 12 |
| - 8.1. DEFINITION .....                                               | 12 |
| - 8.2. TYPES DE BOUES .....                                           | 12 |
| - 8.2.1. LES BOUES PRIMAIRES .....                                    | 12 |
| - 8.2.2. LES BOUES PHYSICO-CHIMIQUES .....                            | 13 |
| - 8.2.3. LES BOUES MIXTES .....                                       | 13 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| - 8.2.4. LES BOUES BIOLOGIQUES .....                             | 14 |
| - 8.2.5. LES BOUES D'AERATION PROLONGEE .....                    | 14 |
| - 9. LA COMPOSITION DES BOUES .....                              | 15 |
| - 9.1. COMPOSITION CHIMIQUE .....                                | 15 |
| - 9.1.1. LES MATIERES SECHES (MS) .....                          | 15 |
| - 9.1.2. LES MATIERES MINERALES (MM) .....                       | 15 |
| - 9.2. COMPOSITION BIOLOGIQUE .....                              | 15 |
| - 9.2.1. LES VIRUS .....                                         | 15 |
| - 9.2.2. LES BACTERIES .....                                     | 15 |
| - 9.2.2.1. COLIFORMES TOTAUX .....                               | 16 |
| - 9.2.2.2. COLIFORMES FECAUX .....                               | 16 |
| - 9.2.2.3. ESCHERICHIA COLI .....                                | 16 |
| - 9.2.2.4. STREPTOCOQUES FECAUX .....                            | 16 |
| - 9.2.2.5. SALMONELLA .....                                      | 16 |
| - 9.2.3. LES PROTOZOAIRE .....                                   | 16 |
| - 9.2.4. LES HELMINTHES .....                                    | 17 |
| - 10. TRAITEMENT DES BOUES .....                                 | 17 |
| - 10.2.1. ÉPAISSISSEMENT .....                                   | 17 |
| - 10.2.2. DESHYDRATATION .....                                   | 17 |
| - 11. DEFINITION DU RENDEMENT EPURATOIRE .....                   | 17 |
| - 11.1. FACTEURS INFLUENÇANT LE RENDEMENT EPURATOIRE (SIC) ..... | 17 |
| -11.1.1.CARACTERISTIQUES DE L'EAU USEE.....                      | 18 |
| -11.1.2.PARAMETRES HYDRAULIQUES ET HYDRODYNAMIQUES.....          | 18 |
| -11.1.3.PARAMETRES OPERATIONNELS.....                            | 19 |
| -11.1.4.FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX.....                           | 19 |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| - 11. OPTIMISATION OPERATIONNELLE EN STATION D'EPURATION ..... | 19 |
| - 11.1. AERATION .....                                         | 19 |
| -11.1.1.ROLE.....                                              | 19 |
| -11.1.2.OPTIMISATION.....                                      | 19 |
| - 11.2. RECIRCULATION .....                                    | 20 |
| -11.2.1.ROLE.....                                              | 20 |
| -11.2.2.OPTIMISATION.....                                      | 20 |
| - 11.3. PURGE DES BOUES .....                                  | 20 |
| -11.3.1.ROLE.....                                              | 20 |
| -11.3.2.OPTIMISATION.....                                      | 21 |
| - 11.4. DECANTATION .....                                      | 21 |
| -11.4.1.ROLE.....                                              | 21 |
| -11.4.2.OPTIMISATION.....                                      | 21 |
| - 11.5. GESTION DES BOUES .....                                | 21 |
| -11.5.1.ROLE.....                                              | 22 |
| -11.5.2.OPTIMISATION.....                                      | 22 |
| - 11.6. ÉNERGIE .....                                          | 22 |
| -11.6.1.PRINCIPALES CONSOMMATIONS.....                         | 22 |
| -11.6.2.OPTIMISATION.....                                      | 23 |

## **CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| - 1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE STEP SONATRACH IRARA HASSI<br>MESSAOUD ..... | 24 |
| - 2. NORMES DE REJETS INTERNATIONALES .....                                       | 24 |
| - 3. NORME DE REJETS ALGERIENNE .....                                             | 25 |
| - 4. DESCRIPTION DU PROCESSUS DE TRAITEMENT .....                                 | 26 |

# **CHAPITRE III :OUTIL DE MODELISATION GPS-X ET EVALUATION DES RENDEMENTS DE LA STEP**

## **PARTIE 1 - PRESENTATION DE LOGICIEL GPS-X**

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| - 1. INTRODUCTION .....                                   | 30 |
| - 2. DESCRIPTION .....                                    | 30 |
| - 3. OBJECTIFS D'UNE SIMULATION .....                     | 32 |
| - 4. UTILITE DU LOGICIEL GPS-X .....                      | 32 |
| - 4.1. SIMULATION .....                                   | 32 |
| - 4.2. CONFIGURATION .....                                | 32 |
| - 4.3. ANALYSE .....                                      | 32 |
| - 4.4. OPTIMISATION .....                                 | 33 |
| - 5. LES MODELES ASM (ACTIVATED SLUDGE MODEL) .....       | 33 |
| - 5.1. ASM1 .....                                         | 34 |
| - 5.2. ASM2 .....                                         | 34 |
| - 5.3. ASM2D .....                                        | 35 |
| - 5.4. ASM3 .....                                         | 35 |
| - 6. CHOIX DU MODELE .....                                | 35 |
| - 6.1. PRESENTATION DU MODELE ASM1 .....                  | 35 |
| - 6.1.1. LES VARIABLES DU MODELE ASM1 .....               | 36 |
| - 6.1.1.1. LES VARIABLES CARBONEES .....                  | 37 |
| - 6.1.1.2. LES VARIABLES AZOTEES .....                    | 38 |
| - 6.1.1.3. LES AUTRES VARIABLES .....                     | 39 |
| - 6.2. LES PROCESSUS DYNAMIQUES .....                     | 39 |
| -6.3. ÉQUATIONS DU MODELE ASM1 (MATRICE DE PETERSEN)..... | 41 |
| - 7. CONCLUSION .....                                     | 42 |

## **PARTIE 2 : CALCUL DE RENDEMENT DE CHAQUE UNITE ET RENDEMENT GLOBALE DE LA STEP**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| - 1. INTRODUCTION .....                                                  | 43 |
| - 2. PARAMETRE DES MATIERES EN SUSPENSION (MES) .....                    | 43 |
| - 2.1. INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT GLOBAL (MES) .....       | 44 |
| - 2.2. INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE SBR (MES) ... | 45 |
| - 2.3. INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE DAF (MES) ..  | 45 |
| - 3. PARAMETRE DE LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO) .....             | 46 |
| - 3.1. INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT GLOBAL (DCO) .....       | 47 |
| - 3.2. INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE SBR (DCO) ... | 48 |
| - 4. PARAMETRE DE LA DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE (DBO5) .....          | 49 |
| - 4.1. INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT GLOBAL (DBO5) .....      | 51 |
| - 4.2. INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE SBR (DBO5)..  | 51 |
| - 5. CONCLUSION ET EVALUATION FINALE .....                               | 51 |
| -5.1.ÉVALUATION GLOBALE.....                                             | 52 |
| - 5.2.CONFORMITE REGLEMENTAIRE .....                                     | 52 |
| -5.3.CLASSEMENT DES PERFORMANCES SELON LES PARAMETRES.....               | 52 |
| -5.4.PERFORMANCE DES UNITES DE TRAITEMENT .....                          | 52 |
| - 5.5.RECOMMANDATION .....                                               | 52 |

## **CHAPITER IV : MODELISATION ET SIMULATION DE LA STEP**

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| - 1. INTRODUCTION .....                            | 53 |
| - 2. CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT D'ENTREE ..... | 53 |
| - 3. SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DE LA STEP ..... | 54 |
| - 3.1. CONFIGURATION DE LA STEP .....              | 54 |
| -3.2.LES VALEURS ET DIMENSIONS DES OUVRAGES .....  | 56 |
| - 3.3. CHOIX ET CALAGE DU MODELE .....             | 56 |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| - 4. RESULTATS ET INTERPRETATION DES ANALYSES ..... | 57 |
| - 4.1. COMPARAISON DES RESULTATS DE DCO .....       | 58 |
| - 4.2. COMPARAISON DES RESULTATS DE MES .....       | 61 |
| - 4.3. COMPARAISON DES RESULTATS DE DBO5 .....      | 65 |
| - 5. CONCLUSION .....                               | 67 |

## **CHAPITRE V : OPTIMISATION OPERATIONNELLE**

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| - 1. INTRODUCTION .....                                                              | 69 |
| - 2. PROPOSITION D'OPTIMISATION DE L'EXPLOITATION SAISONNIERE DE LA<br>STATION ..... | 69 |
| - 3. RESULTATS DE L'OPTIMISATION A L'AIDE DE GPS-X .....                             | 70 |
| - 4. CONCLUSION .....                                                                | 71 |

## LISTE DES FIGURES

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURE I.1 : NATURE DES EAUX USEES (GALAF & GHANNAM, 2003) .....                 | 2  |
| FIGURE I.2 : NITRIFICATION .....                                                 | 6  |
| FIGURE I.3 : DENITRIFICATION .....                                               | 7  |
| FIGURE I.4 : SCHEMA GENERALE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES .....                  | 8  |
| FIGURE I.5 : BOUES PRIMAIRES .....                                               | 12 |
| FIGURE I.6 : BOUES PHYSICO-CHIMIQUES .....                                       | 13 |
| FIGURE I.7 : BOUES MIXTES .....                                                  | 13 |
| FIGURE I.8 : BOUES BIOLOGIQUES .....                                             | 14 |
| FIGURE I.9 : BOUES D'AERATION PROLONGEE .....                                    | 14 |
| FIGURE II.1 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN SBR (sonatrach ,2020).....           | 27 |
| FIGURE II.2 : PLAN 3D DE STEP IRARA (sonatrach ,2020).....                       | 29 |
| FIGURE III.1 : L'INTERFACE DU GPS-X EN MODE MODELISATION .....                   | 31 |
| FIGURE III.2 : DECOMPOSITION DE LA DCO EN VARIABLES DU MODELE ASM1 .....         | 37 |
| FIGURE III.3 : DECOMPOSITION DE L'AZOTE TOTALE EN VARIABLES DU MODELE ASM1 ..... | 39 |
| FIGURE III.4 : RENDEMENT DE TRAITEMENT PAR UNITE ET GLOBAL – MES .....           | 44 |
| FIGURE III.5 : RENDEMENT DE TRAITEMENT PAR SBR – DCO .....                       | 47 |
| FIGURE III.6 : RENDEMENT DE TRAITEMENT GLOBAL – DCO .....                        | 47 |
| FIGURE III.7 : RENDEMENT DE TRAITEMENT GLOBAL – DBO5 .....                       | 50 |
| FIGURE III.8 : RENDEMENT DE TRAITEMENT PAR UNITE SBR – DBO5.....                 | 50 |
| FIGURE IV.1 :SCHEMA DE LA STEP DE LA BASE DE VIE IRARA PAR GPS-X.....            | 55 |
| FIGURE IV.2 : COMPARAISON RENDEMENTS GLOBAUX DCO (GPS-X VS REEL) .....           | 59 |
| FIGURE IV.3 : COMPARAISON RENDEMENTS SBR – DCO .....                             | 60 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| FIGURE IV.4 : COMPARAISON RENDEMENTS GLOBAUX MES .....  | 62 |
| FIGURE IV.5 : COMPARAISON RENDEMENTS SBR – MES .....    | 63 |
| FIGURE IV.6 : COMPARAISON RENDEMENTS DAF – MES .....    | 64 |
| FIGURE IV.7 : COMPARAISON RENDEMENTS GLOBAUX DBO5 ..... | 66 |
| FIGURE IV.8 : COMPARAISON RENDEMENTS SBR – DBO5 .....   | 67 |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLEAU II.1 : NORMES DE REJETS INTERNATIONALES (OMS) .....                                    | 24 |
| TABLEAU II.2 : VALEURS LIMITEES DES PARAMETRES DE REJET (JOURNAL OFFICIEL ALGERIE, 2006) ..... | 25 |
| TABLEAU III.1 : RENDEMENT DE TRAITEMENT PAR UNITE ET GLOBAL – MES .....                        | 43 |
| TABLEAU III.2 : RENDEMENT DE TRAITEMENT PAR UNITE SBR ET GLOBAL – DCO .....                    | 46 |
| TABLEAU III.3 : RENDEMENT DE TRAITEMENT PAR UNITE SBR ET GLOBAL – DBO5 .....                   | 49 |
| TABLEAU IV.1 : CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT D'ENTREE (25/11/2025 A 25/12/2025) .....         | 53 |
| TABLEAU IV.2 : RATIOS CALCULES SUR LA STATION D'IRARA .....                                    | 54 |
| TABLEAU IV.3 : LES VALEURS ET DIMENSIONS DE DAF.....                                           | 56 |
| TABLEAU IV.4 : LES VALEURS ET DIMENSIONS DE SBR.....                                           | 56 |
| TABLEAU IV.5 : LES VALEURS ET DIMENSIONS DE BASSIN D'EGALISATION.....                          | 56 |
| TABLEAU IV.3 : COMPARAISON VALEURS OBSERVEES VS SIMULEES GPS-X .....                           | 57 |
| TABLEAU IV.4 : RENDEMENT DCO PAR GPS-X (GLOBAL ET SBR) .....                                   | 58 |
| TABLEAU IV.5 : RENDEMENT MES PAR GPS-X (DAF, SBR, GLOBAL) .....                                | 61 |
| TABLEAU IV.6 : RENDEMENT DBO5 PAR GPS-X (GLOBAL ET SBR) .....                                  | 65 |
| TABLEAU IIV.1 : RESULTATS DE L'OPTIMISATION AVEC GPS-X .....                                   | 70 |

## LISTE DES ABREVIATIONS

ASM1: Activated sludge model 1.

CO<sub>2</sub> :gaz de carbone.

DBO<sub>5</sub> : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (mg/l).

DCO : Demande Chimique en Oxygène (mg/l).

GPS-X: General Purpose Simulator-eXtended.

IV30: Indice de Mohlman (mg/l).

MES : Matière En Suspension (mg/l).

MLSS : (concentration des boues)

MVS : matière volatile en suspension (mg/l).

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: l'azote ammoniacal (mg/l).

NH<sub>3</sub>: ammoniac (mg/l).

NO<sub>2</sub>: nitrites (mg/l).

NO<sub>3</sub>: nitrates (mg/l).

NTK : Azote total de kjedahl.

O<sub>2</sub> : l'oxygène dissous

PH : potentiel Hydrogène.

SI : concentration en DCO soluble inerte.

SND : concentration d'azote organique biodégradable soluble.

SNH : concentration d'azote ammoniacale soluble.

SNO : concentration d'azote nitrate soluble.

SS : concentration en DCO rapidement biodégradable.

STEP: Station d'Épuration.

T : Température.

TSS: Total suspended solids.

UV: Ultra-violet.

VSS: volatiles suspended solids.

XBA : concentration de biomasse autotrophe.

XBH : concentration de biomasse hétérotrophe.

XI : concentration de la matière en suspension organique inerte.

XND : concentration d'azote organique lentement biodégradable.

XNI : concentration d'azote organique particulaire inerte.

XP : concentration de la matière issue de la décomposition de la biomasse.

XS : concentration de la matière organique lentement biodégradable.

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est une ressource essentielle à la vie et à toutes les activités humaines. Cependant, son utilisation croissante, que ce soit à des fins domestiques, industrielles ou agricoles, génère des volumes importants d'eaux usées chargées en polluants variés. Le rejet direct de ces effluents dans le milieu naturel sans traitement préalable constitue une menace majeure pour l'environnement, la santé publique et les écosystèmes aquatiques. Face à ce constat, l'épuration des eaux usées est devenue une nécessité absolue, encadrée par des réglementations de plus en plus strictes au niveau national et international.

Dans ce contexte, les stations d'épuration (STEP) jouent un rôle fondamental dans la protection des ressources hydriques. Cependant, leur simple existence ne suffit pas ; il est essentiel d'évaluer régulièrement leurs performances épuratoires et d'optimiser leur fonctionnement afin de garantir une élimination efficace des polluants tout en maîtrisant les coûts d'exploitation, notamment énergétiques. La modélisation mathématique, à travers des outils comme le logiciel GPS-X et les modèles ASM (Activated Sludge Models), constitue une approche puissante pour simuler le comportement des procédés biologiques, analyser leur sensibilité aux variations de charge et proposer des scénarios d'optimisation sans intervention directe sur l'installation réelle.

La présente étude s'intéresse à la station d'épuration de la base de vie IRARA, située à Hassi Messaoud (SONATRACH), d'une capacité de 1 000 m<sup>3</sup>/jour et utilisant la technologie des réacteurs séquentiels discontinus (SBR). L'objectif principal de ce travail est de modéliser par bilans de masse cette station, d'évaluer ses rendements épuratoires pour les principaux paramètres (MES, DCO, DBO<sub>5</sub>) et de proposer des actions d'optimisation opérationnelle adaptées aux variations saisonnières des débits.

Pour atteindre cet objectif, le présent mémoire s'articule autour de cinq chapitres. Le premier chapitre pose les bases théoriques relatives aux eaux usées, aux procédés d'épuration et au traitement par boues activées. Le deuxième chapitre présente la zone d'étude et décrit le processus de traitement de la STEP IRARA. Le troisième chapitre, divisé en deux parties, présente d'abord le logiciel GPS-X et le modèle ASM1, puis calcule les rendements réels de chaque unité ainsi que le rendement global de la station à partir des données de terrain. Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la simulation du fonctionnement de la STEP sous GPS-X, à la comparaison des résultats simulés avec les mesures réelles, et à la proposition d'une stratégie d'optimisation saisonnière.



# *CHAPITRE I*

## **ETAT DE L'ART ET BASES THEORIQUES**

## **1.DEFINITION DES EAUX USEES**

Les eaux usées sont des eaux contenant des substances polluantes, qu'elles soient dissoutes ou en suspension, issues principalement des activités humaines, industrielles ou agricoles (REJSEK, 2002). Avant leur rejet dans le milieu naturel ou leur réutilisation, elles doivent subir un traitement afin d'éviter toute contamination des ressources en eau. En effet, ces eaux peuvent provoquer diverses formes de pollution et engendrer des nuisances dans les milieux récepteurs (GROSCLAUDE, 1999).

## **2. LES CATEGORIES DES EAUX USEES**

Les eaux usées regroupent différentes formes de rejets liquides, notamment les eaux pluviales, les eaux de drainage, les eaux issues des toilettes, ainsi que les matières solides. On distingue généralement quatre grandes catégories (LEBBOUKH, 2003).

### **2.1. LES EAUX USEES DOMESTIQUES**

Elles proviennent des usages quotidiens de l'eau dans les habitations et sont principalement chargées en matières organiques. Elles se divisent en deux types :

- Les eaux ménagères, issues des cuisines et des salles de bains, contenant des détergents, graisses, solvants et résidus organiques.
- Les eaux vannes, provenant des toilettes, riches en matières azotées et en micro-organismes d'origine fécale (GOMELLA & GUERREE, 1978).

### **2.2. LES EAUX USEES INDUSTRIELLES**

Leur composition varie selon le type d'activité industrielle. Elles peuvent contenir des substances chimiques diverses, acides ou basiques, parfois corrosives, ainsi que des effluents à température élevée, souvent colorés et odorants. Leur rejet dans les réseaux nécessite une étude préalable approfondie (RODIER et al., 2005).

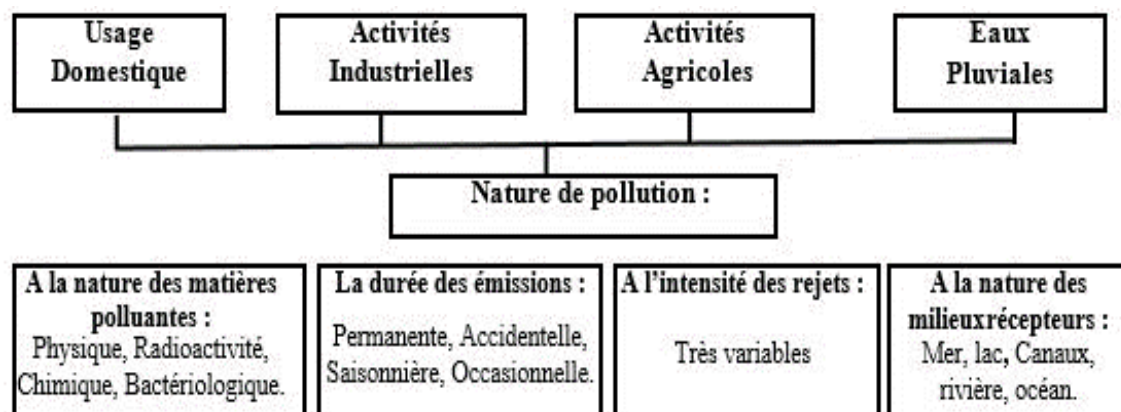
Ces eaux peuvent également renfermer des éléments toxiques tels que des solvants, des métaux lourds, des hydrocarbures ou des micropolluants organiques (LARTIGES, 1994).

### 2.3. LES EAUX DE RUISSELLEMENT

Elles résultent des précipitations et peuvent être une source importante de pollution, notamment lors des épisodes pluvieux intenses. En traversant l'atmosphère, l'eau de pluie capte des polluants (fumées industrielles), puis se charge, en ruisselant sur les surfaces urbaines, de résidus tels que des huiles et des carburants (LIBES, 2010).

### 2.4. LES EAUX AGRICOLES

Ces eaux sont contaminées par des substances utilisées dans les activités agricoles. Dans le cadre d'une agriculture intensive, divers produits peuvent altérer la qualité des eaux, notamment les fertilisants (engrais chimiques ou organiques) et les produits phytosanitaires comme les herbicides, fongicides et insecticides (GROSCLAUDE, 1999).



**Figure I.1 : Nature des eaux usées (GALAF & GHANNAM, 2003).**

## 3. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX USEES

### 3.1. LA TEMPERATURE

La température des eaux usées dépend fortement des conditions climatiques. Elle influence plusieurs paramètres, notamment la solubilité des gaz et des sels, la conductivité électrique ainsi que le pH (RODIER et al., 2005).

### **3.2. LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE**

La conductivité mesure la capacité d'une eau à conduire le courant électrique. Elle permet d'estimer la concentration en sels dissous, tels que les chlorures, le calcium, le sodium et le magnésium (RODIER et al., 2005).

### **3.3. LE POTENTIEL HYDROGENE (PH)**

Le pH est un indicateur de l'acidité ou de la basicité d'un milieu aqueux (LE PIMPEC et al., 2002).

### **3.4. LES MATIERES EN SUSPENSION (MES)**

Les MES correspondent aux particules non dissoutes présentes dans l'eau, qu'elles soient d'origine minérale ou organique. Elles peuvent également transporter une grande partie des micro-organismes pathogènes (FAO, 2003).

### **3.5. LA DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE (DBO)**

La DBO représente la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pour dégrader la matière organique biodégradable présente dans l'eau (RODIER et al., 2005).

### **3.6. LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO)**

La DCO correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement l'ensemble des matières organiques et inorganiques oxydables contenues dans l'eau (DEGRÉMONT, 1978).

### **3.7. LA BIODEGRADABILITE**

Le rapport DCO/DBO5 est un indicateur essentiel pour évaluer la biodégradabilité d'un effluent et orienter le choix du traitement :

- $DCO/DBO5 < 3$  : effluent facilement biodégradable
- $3 < DCO/DBO5 < 5$  : effluent moyennement biodégradable
- $DCO/DBO5 > 5$  : effluent difficilement biodégradable (RODIER et al., 2009 ; IDRISSE et al., 2015)

### **3.8. L'AZOTE**

Dans les eaux usées urbaines, l'azote est présent principalement sous forme organique (protéines, urines) et ammoniacale ( $NH_4^+$ ). Les principales formes sont :

- Azote Kjeldahl (NK) = azote ammoniacal + azote organique
- Azote ammoniacal ( $NH_4^+$ )

- Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )
- Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) (RODIER et al., 2005)

### 3.9. LE PHOSPHORE

Le phosphore provient principalement des rejets domestiques et des détergents (BAUMONT, 2009). Il se présente sous deux formes :

- Phosphore organique (issu de la matière vivante : ATP, phospholipides, etc.)
- Phosphore minéral, principalement sous forme d'orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), représentant environ 50 % du phosphore total dans les eaux usées urbaines

## 4.DEFINITION DE L'EPURATION

L'épuration des eaux usées désigne l'ensemble des techniques utilisées pour éliminer les polluants présents dans les eaux urbaines ou industrielles. Elle repose sur différents procédés, souvent inspirés de mécanismes naturels, mis en œuvre de manière plus ou moins industrialisée, selon leur coût, leur efficacité et leur robustesse (ADLER, 2005).

## 5.OBJECTIF DE L'EPURATION

Le traitement des eaux usées est devenu indispensable pour des raisons sanitaires, économiques, réglementaires et environnementales (KAROUNE, 2008).

L'objectif principal est d'obtenir une eau traitée conforme aux normes en vigueur, pouvant être rejetée dans le milieu naturel sans présenter de danger pour la santé humaine ni pour l'environnement (ZEGHOUD, 2014).

### 1.5. TYPE DE PROCEDE UTILISE

- **Traitement primaire** : L'efficacité dépend de la décantation et de la capacité à éliminer les matières en suspension.
- **Traitement secondaire biologique** : La performance dépend de l'état des boues activées, de l'aération et du temps de contact.
- **Traitement tertiaire** : Les procédés de déphosphatation, désinfection ou filtration fine déterminent l'élimination des nutriments et des pathogènes.

## **6.LES PROCEDES D'EPURATION DES EAUX USEES**

### **6.1. PRETRAITEMENT**

Le prétraitement constitue la première étape du traitement des eaux usées. Il vise à éliminer les éléments grossiers et les matières susceptibles de perturber les étapes suivantes.

Il comprend notamment le dégrillage, le dessablage, ainsi que le dégraissage et le déshuilage (BOURRIER et al., 2010).

#### **6.1.1. DEGRILLAGE**

Cette opération consiste à faire passer les eaux usées à travers des grilles ou des tamis afin de retenir les déchets volumineux. Elle permet de protéger les équipements contre les obstructions et les dommages causés par les gros objets (DEGRÉMENT, 2005).

#### **6.1.2. DESSABLAGE**

Le dessablage permet d'éliminer les particules minérales telles que le sable et les graviers. Cette étape évite l'accumulation de dépôts dans les canalisations et limite l'usure des installations due à l'abrasion (JARDE, 2002).

#### **6.1.3. DEGRAISSAGE – DESHUILAGE**

Les graisses et les huiles, provenant des activités domestiques et industrielles (restaurants, garages, abattoirs, etc.), doivent être éliminées car elles peuvent nuire à l'efficacité des traitements biologiques.

Leur séparation se fait généralement par flottation : l'injection d'air entraîne la remontée des corps gras à la surface, où ils sont récupérés puis évacués (SILMAN, 2003).

### **6.2. TRAITEMENT SECONDAIRE (BIOLOGIQUE)**

Le traitement biologique, souvent réalisé par le procédé des boues activées, consiste à favoriser le développement de micro-organismes capables de dégrader la matière organique.

Dans un bassin d'aération, l'apport d'oxygène permet à ces micro-organismes de consommer les polluants et d'assurer leur activité biologique (KOLLER, 2004).

Ce bassin peut être précédé d'un décanteur primaire pour éliminer les matières en suspension, et suivi d'un clarificateur permettant de séparer l'eau épurée des boues. Une partie de ces boues est

recyclée pour maintenir l'activité biologique, tandis que l'excédent est dirigé vers un traitement spécifique (BERNE & CORDONNIER, 1991 ; KOLLER, 2004).

### 6.3. TRAITEMENT TERTIAIRE

Le traitement tertiaire correspond à une étape complémentaire visant à éliminer les polluants résiduels, notamment les nutriments tels que l'azote et le phosphore (CORNICE, 1992).

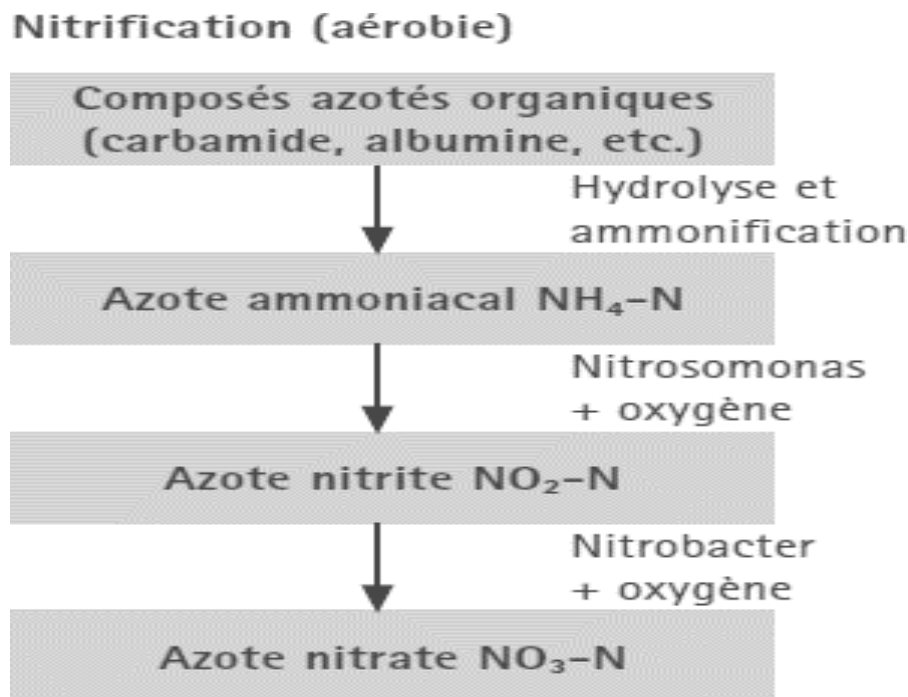
#### 6.3.1. ÉLIMINATION DES MATIERES AZOTEES

##### • LA NITRIFICATION :

La nitrification est un processus biologique qui transforme l'azote ammoniacal en nitrate, en passant par une étape intermédiaire de formation de nitrites.

Ce phénomène se déroule en présence d'oxygène et est assuré par des bactéries autotrophes : les

*Nitrosomonas* oxydent l'ammoniac en nitrites, tandis que les *Nitrobacter* transforment ces derniers en nitrates (METCALF & EDDY, 2003).



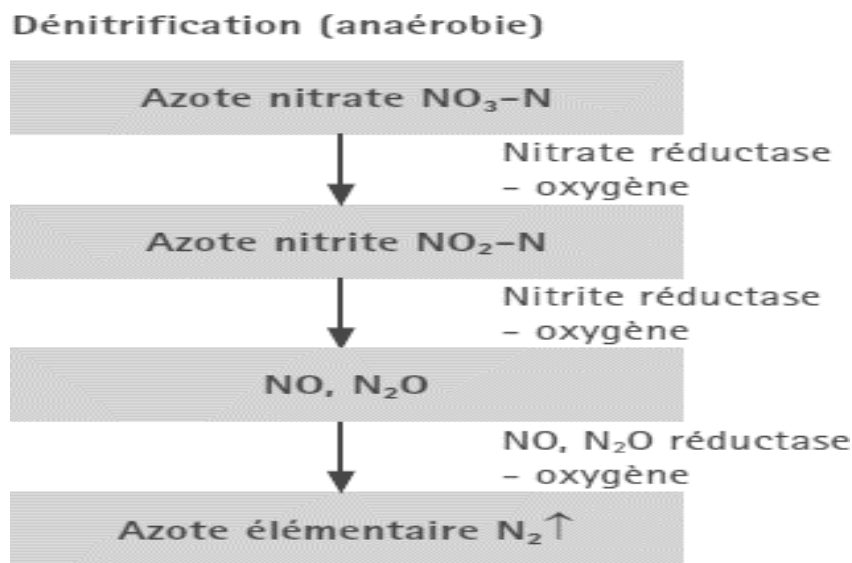
**Figure I.2 :** Nitrification.

Plusieurs paramètres influencent le processus de nitrification, notamment les concentrations en azote et en matière organique, la teneur en oxygène dissous, la quantité de matières en suspension ainsi que la température (BOLLER et al., 1994)

## LADÉNITRIFICATION :

La dénitrification est un processus biologique qui se déroule en milieu anoxique. Au cours de ce mécanisme, les bactéries hétérotrophes adaptent leur métabolisme en utilisant les formes oxydées de l'azote, telles que les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), comme accepteurs d'électrons à la place de l'oxygène moléculaire ( $\text{O}_2$ ) (METCALF & EDDY, 2003).

Ce processus aboutit à la réduction des nitrates en azote gazeux ( $\text{N}_2$ ), un composé inerte qui est libéré dans l'atmosphère



**FigureI.3 : Dénitrification.**

### 6.3.2.ÉLIMINATION DES MATIERES PHOSPHATEES

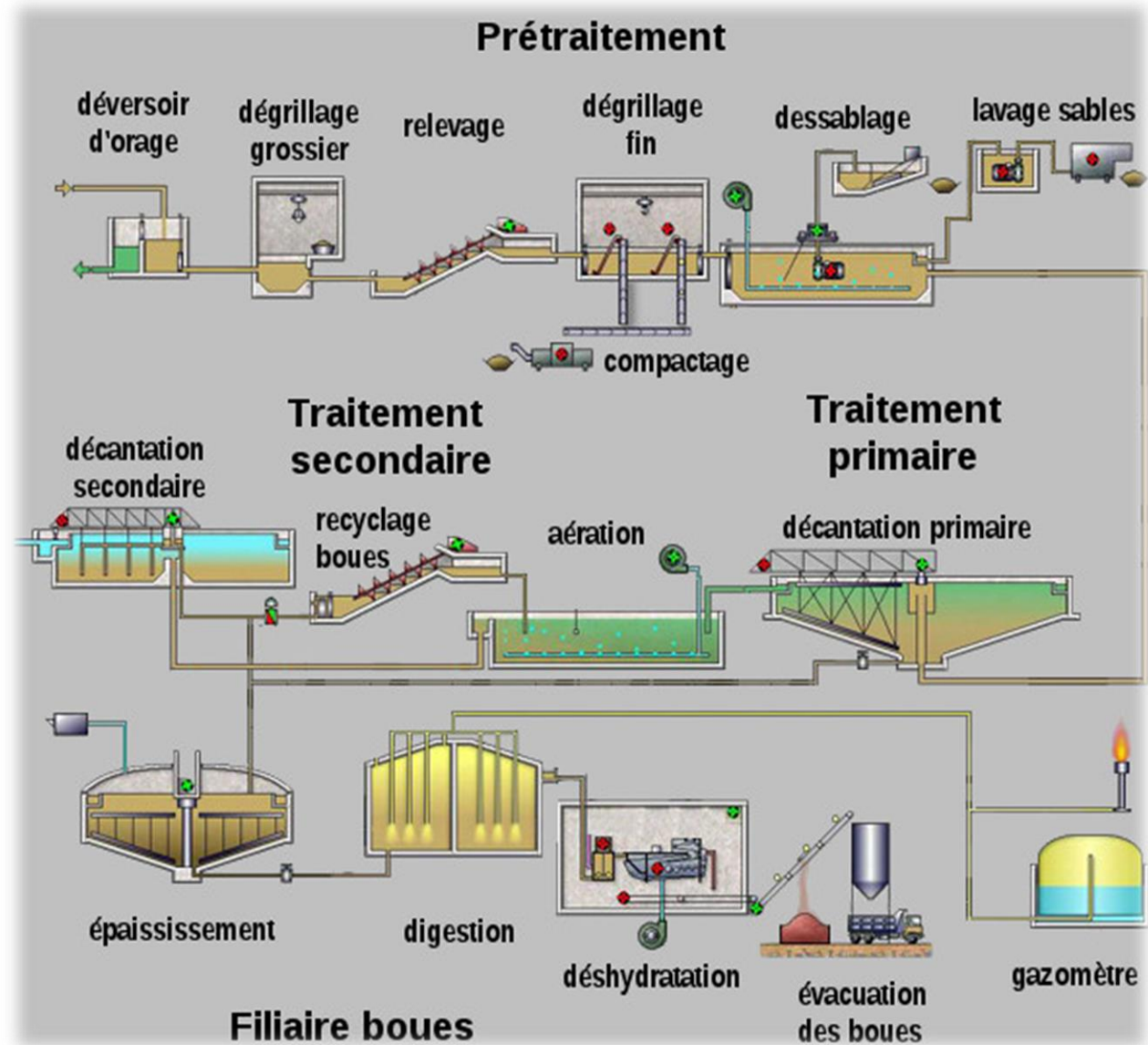
#### • LA DEPHOSPHATATION :

Contrairement au carbone et à l'azote, le phosphore ne peut pas être éliminé sous forme gazeuse. Sa seule voie d'élimination consiste donc à le concentrer dans les boues. La déphosphatation peut être réalisée par voie biologique ou chimique (DERONZIER, 2004).

Dans le traitement biologique, en conditions anaérobies, les bactéries déphosphatantes synthétisent des substances de réserve appelées poly- $\beta$ -alcanoates (PHA) à partir de substrats facilement biodégradables. Ce processus s'accompagne d'un relargage de phosphore dans le milieu, dû à l'hydrolyse intracellulaire des polyphosphates (HOOSHYARI et al., 2009).

En phase aérobie, au niveau du bassin d'aération, les micro-organismes oxydent les PHA ainsi que la matière organique. L'énergie produite par cette activité permet aux bactéries de reconstituer et d'augmenter leurs réserves en polyphosphates (KRÜHNE, 2000).

L'élimination biologique du phosphore repose ainsi sur une réabsorption du phosphore supérieure à sa libération initiale (BELINE et al., 2004).



**Figure I.4** : Schéma générale de traitement des eaux usées

## 7.TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVEES

Est la méthode biologique la plus répandue dans les stations d'épuration des eaux usées. Il consiste à exploiter des micro-organismes aérobies, tels que les bactéries et les protozoaires, afin de dégrader la matière organique contenue dans l'eau. Ces micro-organismes sont maintenus en suspension dans un bassin d'aération, où ils se développent et favorisent l'oxydation des polluants organiques dissous, jouant ainsi un rôle essentiel dans le processus d'épuration.

### 7.1.PRINCIPE DU PROCEDE

Le procédé des boues activées repose sur la dégradation biologique des matières organiques présentes dans les eaux usées, notamment les hydrocarbures et autres composés organiques. Les bactéries hétérotrophes contenues dans les boues activées utilisent ces substances comme source de carbone, ce qui entraîne la production de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), d'eau et de nouvelle biomasse.

Ce phénomène se déroule dans un bassin d'aération, où l'apport en oxygène est assuré afin de maintenir des conditions favorables à l'activité des micro-organismes. Grâce à cette oxygénation, ces derniers décomposent la matière organique en éléments plus simples tout en se développant.

Par la suite, les boues activées, constituées essentiellement de micro-organismes, sont séparées de l'eau traitée dans un clarificateur secondaire. Une partie de ces boues est ensuite recyclée vers le bassin d'aération, ce qui permet de conserver une concentration adéquate de micro-organismes et d'assurer la continuité du processus d'épuration (**DEGREMONT 1978**).

### 7.2.SHEMA D'UNE STATION DE TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVEES

Le fonctionnement d'une station d'épuration basée sur le procédé des boues activées s'organise autour de trois étapes principales :

- **BASSIN D'AERATION** : les micro-organismes y dégradent la matière organique grâce à la présence d'oxygène.
- **CLARIFICATEUR SECONDAIRE** : les boues activées sont séparées de l'eau épurée par décantation.
- **RECYCLAGE DES BOUES**

Une fraction des boues activées est renvoyée vers le bassin d'aération afin de maintenir une concentration suffisante de micro-organismes. Ce recyclage est indispensable pour assurer une dégradation continue et efficace de la matière organique.

Ainsi, le bassin d'aération, le clarificateur secondaire et le recyclage des boues fonctionnent de manière complémentaire pour garantir une élimination optimale des polluants organiques présents dans les eaux usées.

### 7.3.ROLE DES BACTERIES DANS LES BOUES ACTIVEES

Les bactéries jouent un rôle fondamental dans le procédé des boues activées, car elles assurent la dégradation de la matière organique. Elles consomment les composés organiques (glucides, lipides,

protéines) présents dans les eaux usées et produisent l'énergie nécessaire à leur croissance et à leur reproduction.

On distingue principalement deux types de bactéries :

- **BACTERIES HETEROTROPHES** : elles sont responsables de la dégradation de la matière organique en utilisant le carbone comme source d'énergie.
- **BACTERIES AUTOTROPHES (NITRIFIANTES)** : elles interviennent dans la transformation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), à travers le processus de nitrification.

#### 7.4.TYPES DE PROCEDE A BOUES ACTIVEES

Il existe différentes configurations du procédé des boues activées, adaptées aux caractéristiques des eaux usées et aux objectifs de traitement :

- **SYSTEME A BOUES ACTIVEES CLASSIQUES** : procédé standard dans lequel les micro-organismes sont maintenus en suspension dans l'eau.
- **REACTEUR DISCONTINU (SBR - SEQUENCING BATCH REACTOR)** : système fonctionnant par cycles, permettant un meilleur contrôle des différentes étapes du traitement, particulièrement adapté aux faibles débits.
- **SYSTEME A AERATION FINE** : utilise des diffuseurs performants pour améliorer l'apport en oxygène, ce qui optimise le rendement, notamment dans les installations de petite capacité.

#### 7.5.PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION A BOUES ACTIVEES

Le bon fonctionnement d'une station d'épuration repose sur la maîtrise de plusieurs paramètres essentiels, qui doivent être surveillés en continu afin d'assurer une performance optimale.

##### 7.5.1..ÂGE DES BOUES (SRT - SLUDGE RETENTION TIME)

L'âge des boues correspond au temps moyen de séjour des micro-organismes dans le système avant leur élimination.

- **SRT élevé** : favorise une biomasse importante, améliorant la stabilité du procédé et la performance de traitement.
- **SRT faible** : peut réduire l'efficacité de dégradation et perturber la nitrification.

Un SRT bien ajusté permet de maintenir un équilibre biologique optimal.

### **7.5.2.CHARGE MASSIQUE (F/M - FOOD TO MICROORGANISM RATIO)**

Le rapport F/M représente la quantité de matière organique (DBO) par rapport à la biomasse microbienne.

- **F/M élevé** : accélère la dégradation, mais peut entraîner une production excessive de boues peu décantables.
- **F/M faible** : ralentit la dégradation, mais améliore la stabilité du système.

### **7.5.3.RAPPORT DBO<sub>s</sub> / DCO**

La DBO<sub>s</sub> (Demande Biochimique en Oxygène) et la DCO (Demande Chimique en Oxygène) permettent d'évaluer la charge organique des eaux usées.

Le rapport DBO<sub>s</sub>/DCO indique la biodégradabilité :

- Un rapport élevé traduit une matière facilement biodégradable.
- Un rapport faible indique une matière plus difficile à traiter biologiquement.

### **7.5.4.INDICE DE MOHLMAN (IV30)**

L'indice de Mohlman (IV30) mesure la capacité de décantation des boues activées après 30 minutes.

- Un **IV30 élevé** indique une mauvaise décantation, ce qui peut perturber le fonctionnement du clarificateur.

## **7.6.PROBLEMES COURANTS**

### **7.6.1.BULKING FILAMENTEUX**

Ce phénomène correspond à une prolifération excessive de bactéries filamenteuses, entraînant une mauvaise formation des floes et une décantation inefficace. Cela peut provoquer une turbidité de l'eau traitée.

### **7.6.2.MOUSSAGE**

Le moussage est dû à la présence de micro-organismes producteurs de mousse, tels que *Nocardia*, formant une couche stable à la surface du bassin d'aération.

### 7.6.3.DENITRIFICATION BIOLOGIQUE

La dénitrification est un processus biologique au cours duquel des bactéries anoxiques transforment les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en azote gazeux ( $\text{N}_2$ ).

Ce mécanisme est essentiel pour éliminer l'azote des eaux usées et limiter la pollution des milieux récepteurs. Il se déroule en absence d'oxygène, les nitrates étant utilisés comme accepteurs d'électrons.

## 8. LES BOUES D'EPURATION

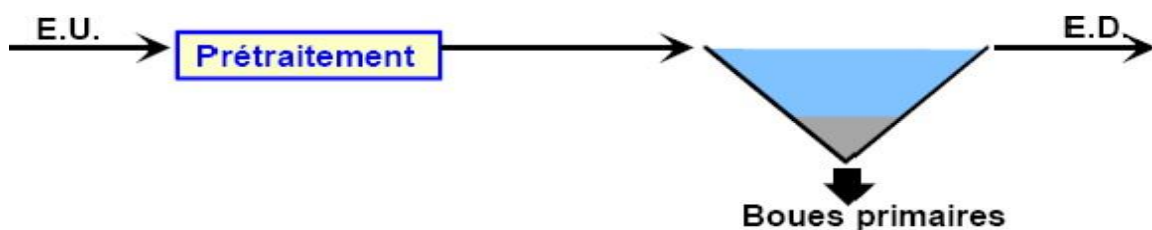
### 8.1. DEFINITION

Les boues d'épuration sont un mélange d'eau et de matières solides séparées des eaux usées par des procédés naturels ou artificiels (ADEM, 2001).

### 8.2. TYPES DE BOUES

#### 8.2.1. LES BOUES PRIMAIRES

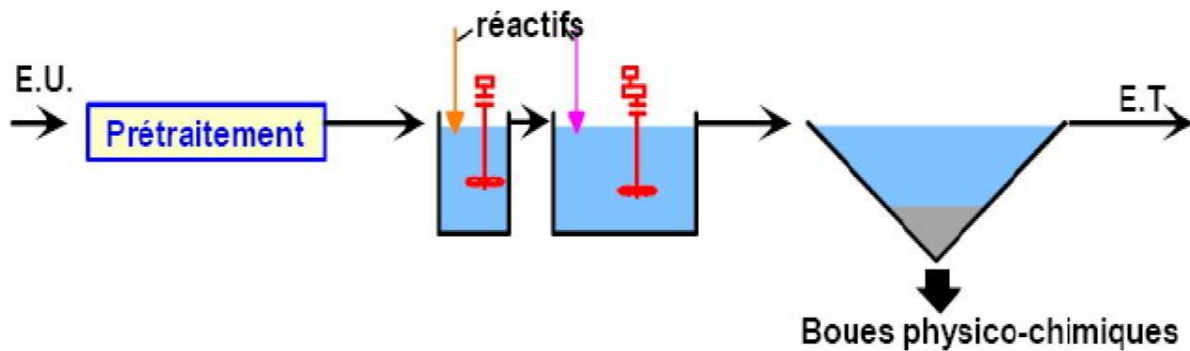
Les boues primaires, appelées aussi boues fraîches, proviennent du traitement primaire. Elles sont obtenues par décantation des matières en suspension dans les décanteurs primaires (ADDOU, 2009).



**FigureI.5 :**Boues primaires.

### 8.2.2.LES BOUES PHYSICO-CIMIQUES

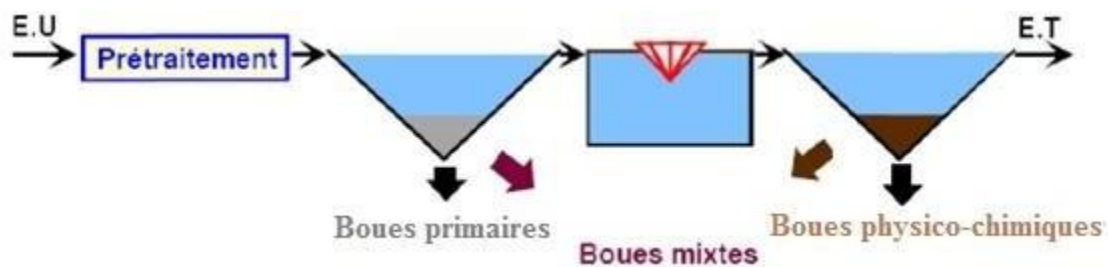
Les boues physico-chimiques proviennent des clarificateurs ou décanteurs secondaires et sont produites lorsque des réactifs chimiques sont ajoutés pour éliminer la matière organique qui n'a pas été retirée lors du traitement primaire (DUCHENE, 1990).



FigureI.6 :Boues physico-chimiques.

### 8.2.3.LES BOUES MIXTES

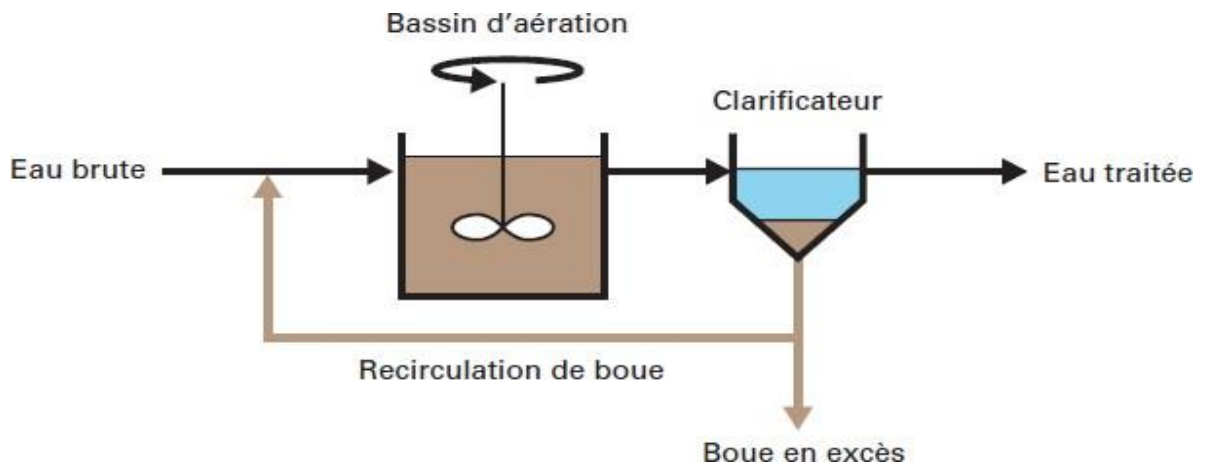
Les boues mixtes résultent de l'association des boues primaires et des boues physico-chimiques (Figure 6). Ce mélange est généralement effectué avant la phase de stabilisation des boues (ADDOU, 2009)



FigureI.7 :Boues mixtes .

#### 8.2.4.LES BOUES BIOLOGIQUES

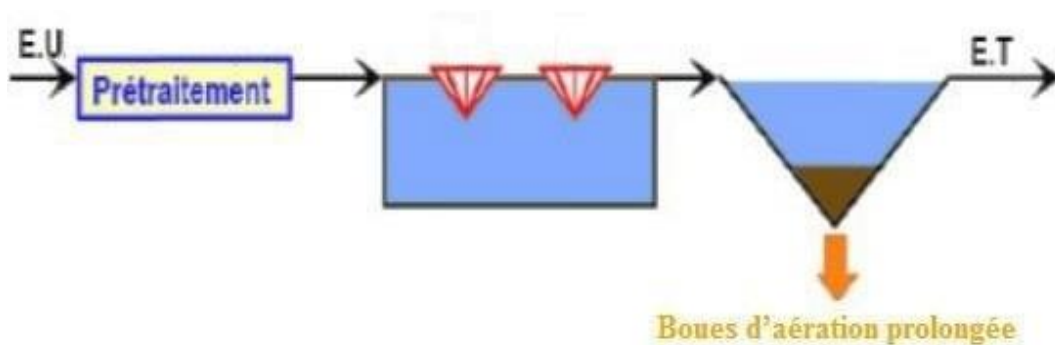
Les boues biologiques sont produites par l'activité métabolique des micro-organismes (Figure 7). Elles présentent une structure floculée et sont séparées de l'eau dans les décanteurs secondaires (KOLLER, 2004).



FigureI.8 : Boues biologiques.

#### 8.2.5.LES BOUES D'AERATION PROLONGEE

Les boues d'aération prolongée se forment dans les stations d'épuration sans décantation primaire (Figure I.9 ). Elles contiennent moins de matière organique, ce qui limite les nuisances lors de leur gestion ultérieure.



FigureI.9 :Boues d'aération prolongée

## **9.LA COMPOSITION DES BOUES**

### **9.1. COMPOSITION CHIMIQUE**

#### **9.1.1. LES MATIERES SECHES (MS)**

Les matières sèches regroupent à la fois des matières minérales (MM) et des matières organiques, également appelées matières volatiles sèches (MVS). Ce paramètre permet d'évaluer le degré de stabilité de la boue (BONGIOVANNI, 1998).

#### **9.1.2. LES MATIERES MINERALES (MM)**

Les matières minérales correspondent à la différence entre les matières sèches et les matières volatiles sèches. Elles représentent l'« extrait sec » obtenu après évaporation complète de l'eau et comprennent les particules en suspension (argile, sable) ainsi que les substances solubles telles que les chlorures et les phosphates (BOURRIER et al., 2010).

### **9.2. COMPOSITION BIOLOGIQUE**

Les boues résiduaires contiennent une grande diversité de micro-organismes, incluant virus, bactéries et parasites. Leur concentration peut être considérablement réduite grâce aux procédés de traitement des boues, tels que la digestion anaérobie, aérobie et le compostage (TAUZIN & JUSTE, 1986).

#### **9.2.1. LES VIRUS**

Les boues peuvent contenir des entérovirus et des adénovirus adsorbés sur la matière organique solide. Environ 30 % des échantillons présentent ces virus. Leur élimination est complexe et dépend de l'usage final des boues (TAUZIN & JUSTE, 1986).

#### **9.2.2. LES BACTERIES**

La présence de bactéries indique une contamination fécale des boues (BAUMONT, 2009). Les boues issues des stations d'épuration contiennent de nombreuses espèces bactériennes, telles que *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Mycobacterium*, *Clostridium perfringens*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Shigella* et d'autres *Enterobacteriaceae* (DUDLEY et al., 1980).

### **9.2.2. LES BACTERIES**

La présence de bactéries indique une contamination fécale des boues (BAUMONT, 2009). Les boues issues des stations d'épuration contiennent de nombreuses espèces bactériennes, telles que *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Mycobacterium*, *Clostridium perfringens*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Shigella* et d'autres *Enterobacteriaceae* (DUDLEY et al., 1980).

#### **9.2.2.1.COLIFORMES TOTAUX**

Les coliformes totaux regroupent plusieurs espèces bactériennes de la famille des *Enterobacteriaceae*. Selon l'ISO, ce sont des bacilles Gram négatif, non sporulés, oxydase négatif, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires et de fermenter le lactose et le mannitol avec production de gaz en 48 heures à 35–37 °C. Les genres incluent *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia* et *Serratia* (RODIER et al., 2005). Ils sont très abondants dans l'intestin humain et les selles (GOUJAUS, 1995). La majorité n'est pas pathogène, sauf en cas de prolifération excessive ou de sensibilité particulière du consommateur (GUIRAUD, 1998).

#### **9.2.2.2.COLIFORMES FECAUX**

Ce sont des coliformes capables de se développer à 44 °C (RODIER et al., 2005). Ils peuvent être associés à des entérobactéries pathogènes telles que *Salmonella*, *Shigella* ou certaines souches d'*E. coli*. Ils se développent sur de nombreux milieux entre -2 et 50 °C et dans un pH compris entre 4,4 et 9 (GUIRAUD, 1998).

#### **9.2.2.3.ESCHERICHIA COLI**

Ces colibacilles fermentent le lactose avec production de gaz, réalisent une fermentation acide mixte, produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C et sont indicateurs d'une contamination fécale. Ils peuvent provoquer des maladies diarrhéiques ou extra-intestinales (BERAUD, 2004).

#### **9.2.2.4.STREPTOCOQUES FECAUX**

Les streptocoques fécaux sont des coques Gram positif, sphériques ou allongés, formant des chaînettes ou des paires. Ils sont non sporulés, dépourvus de cytochrome et de catalase, capables de métabolisme fermentatif et tolérant l'oxygène (BERAUD, 2004).

#### **9.2.2.5.SALMONELLA**

Les *Salmonella* sont des bacilles Gram négatif, mobiles grâce à des flagelles péritriches, oxydase négatif, aéro-anaérobies facultatives, lactose négatif, H<sub>2</sub>S positif et citrate positif. Ce sont

majoritairement des parasites intestinaux de l'homme et des animaux. Elles résistent bien dans le milieu extérieur et se retrouvent dans les produits animaux, l'eau polluée et les aliments consommés crus (GUIRAUD, 1998; BERAUD, 2004).

### **9.2.3. LES PROTOZOAIRE**

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont parasites et peuvent former des kystes résistants aux procédés de traitement des eaux usées (BAUMONT et al., 2004).

### **9.2.4. LES HELMINTHES**

Les helminthes sont des organismes multicellulaires (métazoaires), comprenant nématodes, trématodes, cestodes et certains insectes. Ils vivent principalement dans le tube digestif et peuvent former des kystes résistants (SCHAECHTER, 1999).

## **10. TRAITEMENT DES BOUES**

Le traitement d'un mètre cube d'eaux usées génère environ 350 à 400 g de boues. Ces dernières, généralement très liquides et riches en matière organique, sont fortement fermentescibles et peuvent engendrer des nuisances (AUSSEL, 2004).

### **10.2.1. L'ÉPAISSISSEMENT**

Avant leur élimination, les boues subissent des traitements visant à réduire leur volume en éliminant une partie de l'eau qu'elles contiennent. L'épaississement consiste à concentrer les boues, généralement par décantation, suivi d'un procédé de déshydratation permettant de réduire davantage leur teneur en eau (REJSEK, 2002).

### **10.2.2. LA DESHYDRATATION**

La déshydratation vise à transformer les boues liquides en un matériau plus solide, adapté à leur mode de valorisation ou d'élimination finale (KOLLER, 2009).

## **11. DEFINITION DU RENDEMENT EPURATOIRE**

Le rendement épuratoire d'une station d'épuration correspond à la capacité de celle-ci à réduire les polluants présents dans les eaux usées. Il est exprimé sous forme de pourcentage de la charge polluante initiale éliminée après traitement.

Pour un paramètre donné, le rendement épuratoire (RE) est calculé comme suit :

$$RE(\%) = \frac{C_{\text{entrée}} - C_{\text{sortie}}}{C_{\text{entrée}}} * 100 \quad \dots\dots\dots(I.1)$$

Où :

- $C_{\text{entrée}}$  : concentration du polluant dans l'eau brute,
- $C_{\text{sortie}}$  : concentration du polluant dans l'effluent traité (DEGREMONT (2005)).

On distingue généralement les rendements épuratoires pour :

- La matière organique (DBO<sub>5</sub>, DCO),
- Les matières en suspension (MES),
- L'azote total (ammoniacal, nitrites, nitrates),
- Le phosphore total,
- Les microorganismes pathogènes (coliformes, bactéries, virus).

Un bon rendement épuratoire garantit que l'effluent respecte les normes de rejet dans le milieu récepteur et limite les impacts environnementaux et sanitaires.

## 10.1. FACTEURS INFLUENÇANT LE RENDEMENT EPURATOIRE

Le rendement d'une station d'épuration dépend de nombreux facteurs liés aux caractéristiques de l'eau à traiter, aux conditions de fonctionnement et au type de procédé utilisé :

### 1.1. CARACTERISTIQUES DE L'EAU USEE

- **Charge polluante** : La concentration en matière organique, azote, phosphore ou matières en suspension influence directement le rendement. Des effluents très chargés peuvent diminuer l'efficacité si les unités de traitement ne sont pas adaptées.
- **Biodégradabilité** : Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> indique la proportion de matière organique facilement dégradable. Une matière organique difficilement biodégradable réduit le rendement des traitements biologiques.
- **pH et température** : Les réactions biologiques sont sensibles à ces paramètres. Des températures basses ralentissent l'activité microbienne, affectant la nitrification et la dégradation de la matière organique.

## 1.2. PARAMETRES HYDRAULIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

- **Débit et charge hydraulique** : Des variations importantes de débit (eaux pluviales, orages) peuvent provoquer un sous-dimensionnement temporaire et diminuer le rendement.
- **Temps de séjour** : Le temps de passage de l'eau dans les bassins doit être suffisant pour permettre l'oxydation de la matière organique et la nitrification.

## 1.3. PARAMETRES OPERATIONNELS

- **Aération et oxygénation** : L'apport en oxygène est crucial pour les boues activées et la nitrification. Un déficit d'oxygène limite l'activité bactérienne.
- **Concentration en boues** : Une concentration insuffisante de boues activées peut réduire l'élimination de la DBO<sub>5</sub> et de l'azote.
- **pH et nutriments** : Les bactéries ont besoin de conditions stables et d'un rapport adéquat carbone/azote/phosphore pour fonctionner efficacement.

## 1.4. FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

- **Température ambiante** : Les processus biologiques ralentissent en hiver, ce qui peut réduire l'efficacité de nitrification et dénitrification.
- **Polluants toxiques** : La présence de métaux lourds, solvants ou produits chimiques inhibiteurs peut affecter la survie des microorganismes.

## 11.OPTIMISATION OPERATIONNELLE EN STATION D'EPURATION

L'objectif global est de **traiter efficacement l'eau usée au moindre coût énergétique**, tout en respectant les normes de rejet.

### 11.1. AERATION (BASSIN BIOLOGIQUE)

Le bassin d'aération est le cœur du traitement biologique, où les eaux usées sont mélangées à des boues activées contenant des bactéries. Grâce à l'apport continu d'oxygène, ces micro-organismes dégradent la matière organique et réduisent la pollution. L'eau est ensuite envoyée vers le décanteur secondaire pour séparer les boues de l'eau clarifiée.

#### 11.1.1.ROLE :

- Apporter l'oxygène aux bactéries
- Éliminer la pollution organique (DBO)

- Assurer la nitrification ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ )

### 11.1.2.OPTIMISATION :

- Maintenir  $\text{O}_2$  dissous  $\approx 1,5 - 2 \text{ mg/L}$
- Adapter l'air à la charge entrante (jour/nuit)
- Éviter :
  - Sous-aération  $\rightarrow$  pollution non traitée
  - Sur-aération  $\rightarrow$  gaspillage d'énergie

L'aération représente souvent **50–70 % de la consommation énergétique**

## 11.2. RECIRCULATION

La recirculation consiste à renvoyer une partie des boues ou de l'eau dans le procédé pour améliorer le traitement biologique. Les boues décantées dans le clarificateur sont recyclées vers le bassin d'aération afin de maintenir une quantité suffisante de bactéries actives. La recirculation interne transfère une partie du mélange vers la zone anoxique pour favoriser la dénitrification et l'élimination de l'azote. Ce procédé augmente l'efficacité de l'épuration, stabilise le fonctionnement de la station et améliore la qualité de l'eau traitée.

### 11.2.1.ROLE :

- Maintenir une concentration suffisante de biomasse
- Favoriser la dénitrification (réduction des nitrates)

### 11.2.2.OPTIMISATION :

- Ajuster le **taux de recirculation (souvent 50–150 % du débit entrant)**
- Trop faible  $\rightarrow$  perte de biomasse
- Trop élevé  $\rightarrow$  surcharge hydraulique

## 11.3. PURGE DES BOUES

La purge des boues consiste à retirer l'excès de boues produites dans le traitement biologique afin d'éviter leur accumulation. Cette opération maintient une concentration optimale de micro-organismes dans le bassin d'aération. Les boues extraites sont ensuite envoyées vers la filière de traitement des boues (épaississement, déshydratation et valorisation ou élimination).

#### **11.3.1.ROLE :**

- Évacuer l'excès de boues produites

#### **Paramètre clé :**

- Âge des boues (SRT)

#### **11.3.2.OPTIMISATION :**

- Maintenir un âge adapté :
  - 5–10 jours (traitement classique)
  - 10 jours (nitrification)
- Éviter :
  - Pas assez de purge → boues vieillissantes, mauvaise décantation
  - Trop de purge → perte de bactéries actives

### **11.4. DECANTATION (CLARIFICATEUR)**

La décantation (clarificateur) est l'étape où les boues activées sont séparées de l'eau traitée par gravité. Les boues se déposent au fond du clarificateur, tandis que l'eau clarifiée est récupérée en surface. Une partie des boues est recyclée vers le bassin d'aération et l'excédent est évacué par purge.

#### **11.4.1.ROLE :**

- Séparer les boues de l'eau traitée

#### **Objectif :**

- Obtenir une eau claire en sortie

#### **11.4.2.OPTIMISATION :**

- Surveiller :
  - Indice de Mohlman (SVI)
  - Hauteur du voile de boues

- Éviter :
  - Boues filamenteuses (mauvaise décantation)
  - Remontée de boues (dénitrification dans le clarificateur)

## **11.5.GESTION DES BOUES**

La gestion des boues regroupe les opérations de traitement des boues produites lors de l'épuration des eaux usées. Elle comprend généralement l'épaississement, la déshydratation et, selon le cas, la valorisation ou l'élimination des boues. Son objectif est de réduire leur volume, faciliter leur transport et limiter leur impact sur l'environnement.

### **11.5.1.ROLE :**

- Support des micro-organismes

#### **Paramètres importants :**

- **MLSS** (concentration des boues)
- **SVI** (indice de décantation)
- **SRT** (âge des boues)

### **11.5.2.OPTIMISATION :**

- Maintenir MLSS stable (ex : 2–4 g/L)
- Favoriser des floes compacts
- Surveiller la présence de filaments

## **11.6. ÉNERGIE**

L'énergie est un poste critique dans une STEP (Station de Traitement des Eaux Usées), car elle est indispensable au fonctionnement des équipements, notamment les aérateurs et les pompes. La consommation d'énergie représente une part importante des coûts d'exploitation. Une bonne gestion énergétique permet de réduire les dépenses et d'améliorer les performances de la station.

### **11.6.1.PRINCIPALES CONSOMMATIONS :**

- Aération (majoritaire)
- Pompes (recirculation, relevage)
- Agitateurs

### **11.6.2.OPTIMISATION :**

- Pilotage automatique (sondes  $O_2$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ )
- Variateurs de vitesse
- Ajustement en temps réel (charge réelle)



# *CHAPITRE II*

## PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

## **1 . PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE STEP SONATRACH IRARA HASSI MESSAOUD**

Le présent projet concerne la conception d'une station d'épuration des eaux usées urbaines d'une capacité nominale de 1 000 m<sup>3</sup>/jour, basée sur la technologie SBR (Sequencing Batch Reactor), destinée à la base IRARA en Algérie. Cette installation a pour objectif d'assurer le traitement des eaux usées générées par l'ensemble des infrastructures de la base, notamment les bâtiments administratifs, les blocs d'hébergement, les ateliers, les cuisines et restaurants, les infirmeries, les mosquées, la brigade de sécurité, la buanderie, la salle de sport ainsi que les installations sanitaires de la piscine.

La station est dimensionnée pour traiter un débit moyen de 1 000 m<sup>3</sup>/jour, avec des variations journalières caractérisées par des périodes de pointe observées entre 05h00–07h00, 11h00–13h00 et 18h00–20h00. Ces fluctuations sont directement liées aux activités quotidiennes et à la présence simultanée du personnel au sein de la base. En outre, la charge polluante à l'entrée de la station présente une variabilité en fonction du niveau d'occupation et des différentes activités exercées sur le site, ce qui justifie le choix de la technologie SBR, reconnue pour sa flexibilité et sa capacité à s'adapter aux variations de débit et de charge organique.

## **2.NORMES DE REJETS INTERNATIONALES :**

**Tableau II. 1:** Normes de rejets internationales

| <b>Paramètres</b>    | <b>Unité</b> | <b>Normes utilisées (OMS)</b> |
|----------------------|--------------|-------------------------------|
| <b>PH</b>            | -            | <b>6,5-8,5</b>                |
| <b>DBO5</b>          | mg/l         | <b>&lt;30</b>                 |
| <b>DCO</b>           | mg/l         | <b>&lt;90</b>                 |
| <b>MES</b>           | mg/l         | <b>&lt;20</b>                 |
| <b>NH4+</b>          | mg/l         | <b>&lt;0,5</b>                |
| <b>NO2</b>           | mg/l         | <b>1</b>                      |
| <b>NO3</b>           | mg/l         | <b>&lt;1</b>                  |
| <b>P2O5</b>          | mg/l         | <b>&lt;2</b>                  |
| <b>Température T</b> | °C           | <b>&lt;30</b>                 |
| <b>Couleur</b>       | -            | <b>Incolore</b>               |
| <b>Odeur</b>         | -            | <b>Inodore</b>                |

### 3.NORME DE REJETS ALGERIENNE

**Tableau II.2:** Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur  
(Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).

| <b>Paramètres</b>                  | <b>Unités</b> | <b>Valeurs limites</b> |
|------------------------------------|---------------|------------------------|
| <b>T</b>                           | °C            | <b>30</b>              |
| <b>Ph</b>                          | -             | <b>6,5 à 8,5</b>       |
| <b>MES</b>                         | mg/l          | <b>35</b>              |
| <b>DBO5</b>                        | mg/l          | <b>35</b>              |
| <b>DCO</b>                         | mg/l          | <b>120</b>             |
| <b>Azote Kjeldahl</b>              | mg/l          | <b>30</b>              |
| <b>Phosphates</b>                  | mg/l          | <b>02</b>              |
| <b>Phosphore total</b>             | mg/l          | <b>10</b>              |
| <b>Aluminium</b>                   | mg/l          | <b>03</b>              |
| <b>Cadmium</b>                     | mg/l          | <b>0.2</b>             |
| <b>Fer</b>                         | mg/l          | <b>03</b>              |
| <b>Manganèse</b>                   | mg/l          | <b>01</b>              |
| <b>Nickel total</b>                | mg/l          | <b>0.5</b>             |
| <b>Plomb total</b>                 | mg/l          | <b>0.5</b>             |
| <b>Cuivre total</b>                | mg/l          | <b>0.5</b>             |
| <b>Zinc total</b>                  | mg/l          | <b>0.3</b>             |
| <b>Huiles et Graisses</b>          | mg/l          | <b>20</b>              |
| <b>Hydrocarbures totaux</b>        | mg/l          | <b>10</b>              |
| <b>Indice Phénols</b>              | mg/l          | <b>0.3</b>             |
| <b>Fluor et composés</b>           | mg/l          | <b>15</b>              |
| <b>Étain total</b>                 | mg/l          | <b>02</b>              |
| <b>Composés organiques chlorés</b> | mg/l          | <b>0.5</b>             |
| <b>Chrome total</b>                | mg/l          | <b>0.5</b>             |
| <b>(*) Chrome III +</b>            | mg/l          | <b>03</b>              |
| <b>(*) Solvants organiques</b>     | mg/l          | <b>20</b>              |
| <b>(*) Chlore actif</b>            | <b>mg/l</b>   | <b>0.001</b>           |

#### **4.DESCRPTION DU PROCESSUS DE TRAITEMENT**

Dans le cas de la STEP IRARA, les eaux usées sont d'abord collectées dans un réservoir de réception situé en amont de la station. Elles sont ensuite pompées vers la STEP, située à environ 2,5 km du point de collecte.

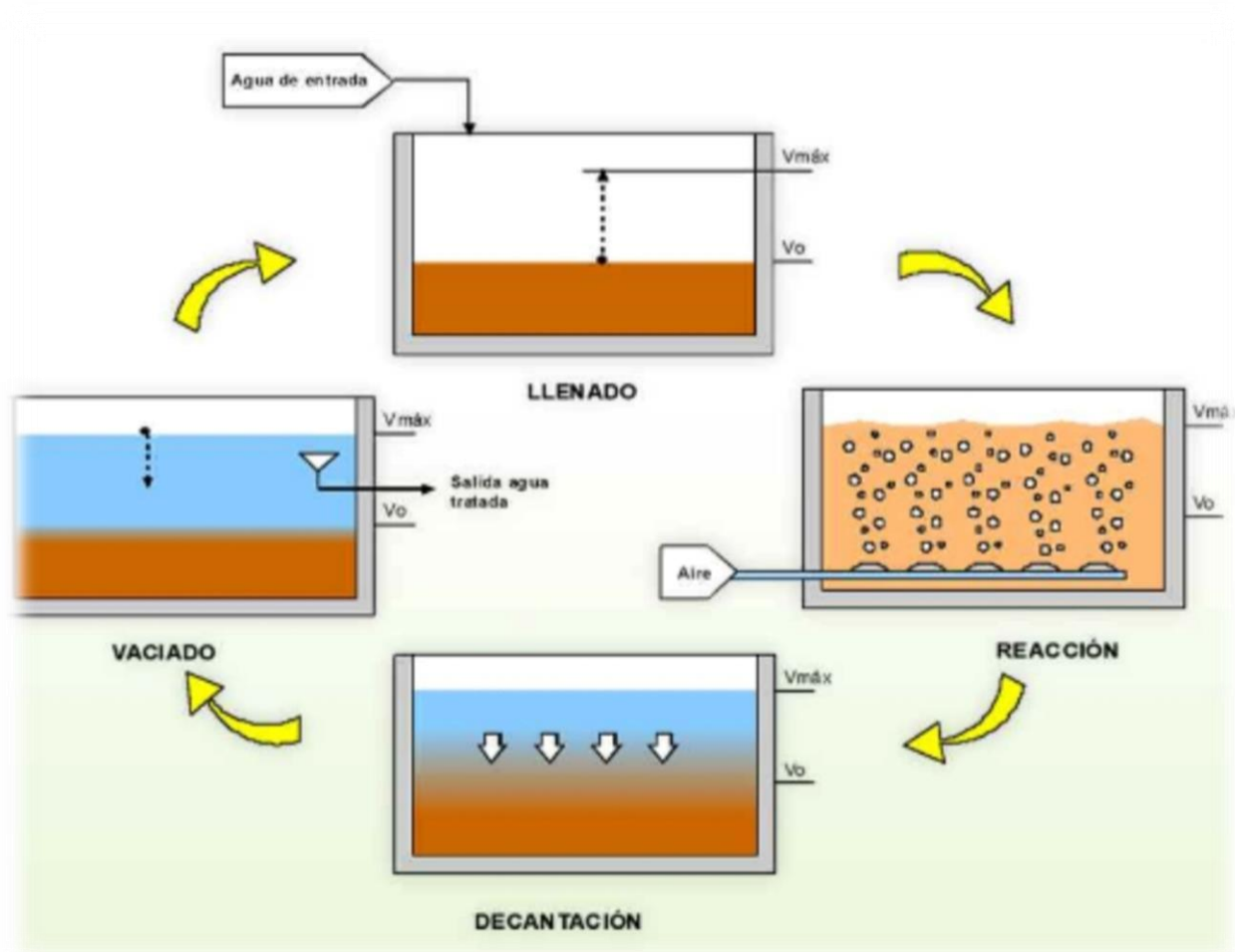
À leur arrivée à la station, les eaux usées passent par un bac de réception permettant de réduire les turbulences, puis elles sont dirigées vers l'étape de prétraitement. Cette étape comprend un dégrillage grossier, un tamisage fin et un classificateur de sable, afin d'éliminer les déchets solides, les matières grossières et les particules minérales susceptibles de perturber les étapes suivantes du traitement.

Après le prétraitement, les eaux brutes s'écoulent gravitairement vers un bassin d'homogénéisation. Ce bassin permet de régulariser le débit et la charge polluante. Il est équipé d'un système d'agitation afin d'assurer un bon mélange des eaux. Des pompes submersibles assurent ensuite le transfert des eaux homogénéisées vers les unités de flottation à air dissous, appelées DAF, destinées à l'élimination des graisses, des huiles et des matières flottantes.

Avant l'entrée dans les DAF, des réactifs chimiques, notamment le coagulant et le floculant, sont injectés dans une conduite ou un tube de mélange à l'aide de pompes doseuses. Cette injection permet d'améliorer l'agglomération des particules fines et de faciliter leur séparation par flottation.

L'eau dégraissée issue des DAF est ensuite dirigée gravitairement vers un bassin tampon, tandis que les graisses et les flottants récupérés sont évacués vers une fosse ou un stockage spécifique. Le bassin tampon assure l'alimentation régulière des réacteurs biologiques SBR. Il peut également être équipé d'un système d'aération ou de brassage afin d'éviter la stagnation des eaux et les nuisances olfactives.

À partir de ce bassin, les eaux sont pompées vers les réacteurs SBR. Le procédé SBR, ou réacteur biologique séquentiel discontinu, réalise dans un même bassin les différentes étapes du traitement biologique : remplissage, réaction biologique, décantation, vidange de l'eau traitée et purge des boues. Contrairement au procédé classique à boues activées, où les étapes sont séparées dans l'espace, le SBR fonctionne par cycles successifs dans le temps.



**FigureII.1 :**Schéma de fonctionnement d'un SBR.( SONATRACH, 2020).

## PHASE DE REMPLISSAGE

La décharge du prétraitement entre dans le réacteur, établissant un contact avec la biomasse restante du cycle précédent. Le temps de remplissage est contrôlé automatiquement. La phase de remplissage peut être subdivisée en différentes étapes: anaérobie, aérobie ou anoxique en fonction de vos objectifs (nitrification, dénitrification, élimination du phosphore...). L'un des principaux avantages de SBR est le contrôle des bactéries filamenteuses qui produisent des mousses et des boues non désirées.

## **PHASE REACTION**

Dans cette phase, l'élimination de la matière organique commencée dans la phase précédente est terminée et la combinaison d'étapes aérées et d'étapes non aérées, permet d'éliminer les éléments nutritifs souhaités.

## **C) PHASE DE DECANTATION**

Après la phase d'aération, les systèmes d'aération et d'agitation s'arrêtent automatiquement. Après quelques minutes, la décantation par gravité dans le même réacteur commence. La décantation est très efficace en raison de l'absence d'afflux et de l'effet positif qui se produit lors de la décantation du manteau de boue qui incorpore de petits floes trouvés, produisant une eau usée très transparente.

## **D) PHASE DE VIDANGE**

Une fois que la séparation de l'effluent épuré et de la biomasse a été réalisée, l'eau est extraite sans flux de drainage à partir des boues décantées.

## **E) PURGE DES BOUES**

Les boues concentrées au fond du réacteur sont purgées de manière à contrôler la concentration de micro-organismes restant dans le réacteur.

L'eau traitée dans les réacteurs SBR est acheminée vers un réservoir d'eau clarifiée d'où elle est envoyée avec des pompes de surface à l'étape suivante: filtration et désinfection.

Les pompes prélèvent l'eau du réservoir d'eau traitée et l'envoient aux filtres à sable et au charbon actif placés en série, puis passent directement à l'équipement de traitement par rayonnement ultraviolet pour la désinfection de l'eau, qui est dirigé vers un réservoir d'eau filtré.

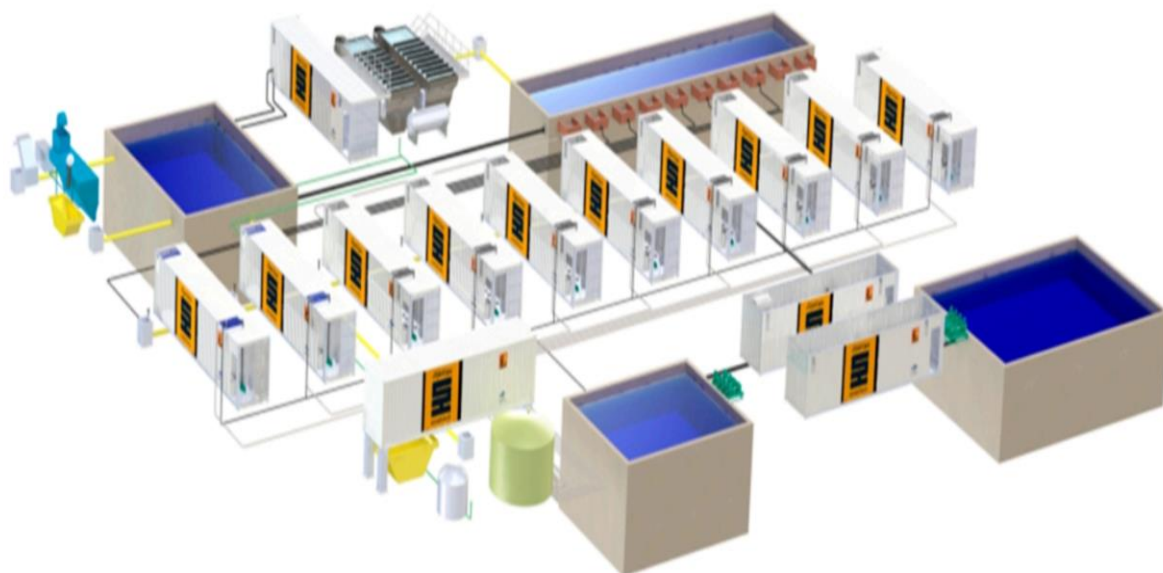
À partir du réservoir d'eau filtrée, des pompes de contre lavage récupèrent l'eau pour effectuer un nettoyage à contre-courant sur les filtres à sable et les filtres à charbon actif.

Enfin, six (4 + 2) pompes de relevage d'eau traitée sont installées dans le réservoir d'eau traitée pour la distribution et la réutilisation de l'eau.

La boue générée dans le processus biologique et le DAF est traitée dans un kit de traitement des boues, consistant en un épaisseur de boues pour augmenter la sécheresse des boues avant de les envoyer à un filtre-presse au moyen d'une pompe pneumatique pour la déshydratation sous forme de gâteaux de boues .

Un équipe de préparation de poly électrolyte est aussi installé dans le traitement de boues.

Dans notre cas, tous les kits de traitement sont des modèles conteneurisés.



**Figure II.2 :** PLANE 3D DE STEP IRARA.( SONATRACH, 2020).



# ***CHAPITRE III***

## ***PARTIE 1 : PRESENTATION DE LOGICIEL GPS-X***

## **1 .INTRODUCTION :**

Au cours des dernières années, la conception des systèmes de traitement des eaux usées résiduaires a connu une évolution majeure. L'approche traditionnelle, fondée sur des méthodes empiriques et statiques, a progressivement laissé place à une approche basée sur des modèles mathématiques capables de simuler le fonctionnement dynamique des installations avec un important potentiel prédictif.

Dans les systèmes de traitement par boues activées, l'étude des phénomènes physiques, chimiques et biologiques a débuté il y a environ trente ans. Le fonctionnement dynamique d'une station d'épuration (STEP) peut ainsi être représenté par des équations décrivant différents phénomènes biologiques (croissance et mortalité des populations bactériennes), physiques (aération, hydraulique, décantation) et chimiques (précipitation, réactions d'oxydo-réduction) qui interviennent au sein du procédé.

Parmi les outils de modélisation les plus utilisés figurent les modèles ASM (Activated Sludge Models), largement employés pour la simulation et l'optimisation des systèmes de traitement des eaux usées par boues activées. Le développement de cette famille de modèles a débuté à la fin des années 1980 avec l'apparition du modèle ASM1, qui intégrait les connaissances disponibles à cette époque sur l'élimination du carbone et de l'azote.

## **2.DESCRPTION**

Le logiciel GPS-X, développé depuis 1988, fonctionne sur les ordinateurs équipés du système d'exploitation Windows. il est largement utilisé à travers le monde par des bureaux d'études, des industries ainsi que des collectivités locales. Ce logiciel fait l'objet d'améliorations continues afin de suivre les avancées de la recherche dans le domaine de l'assainissement.

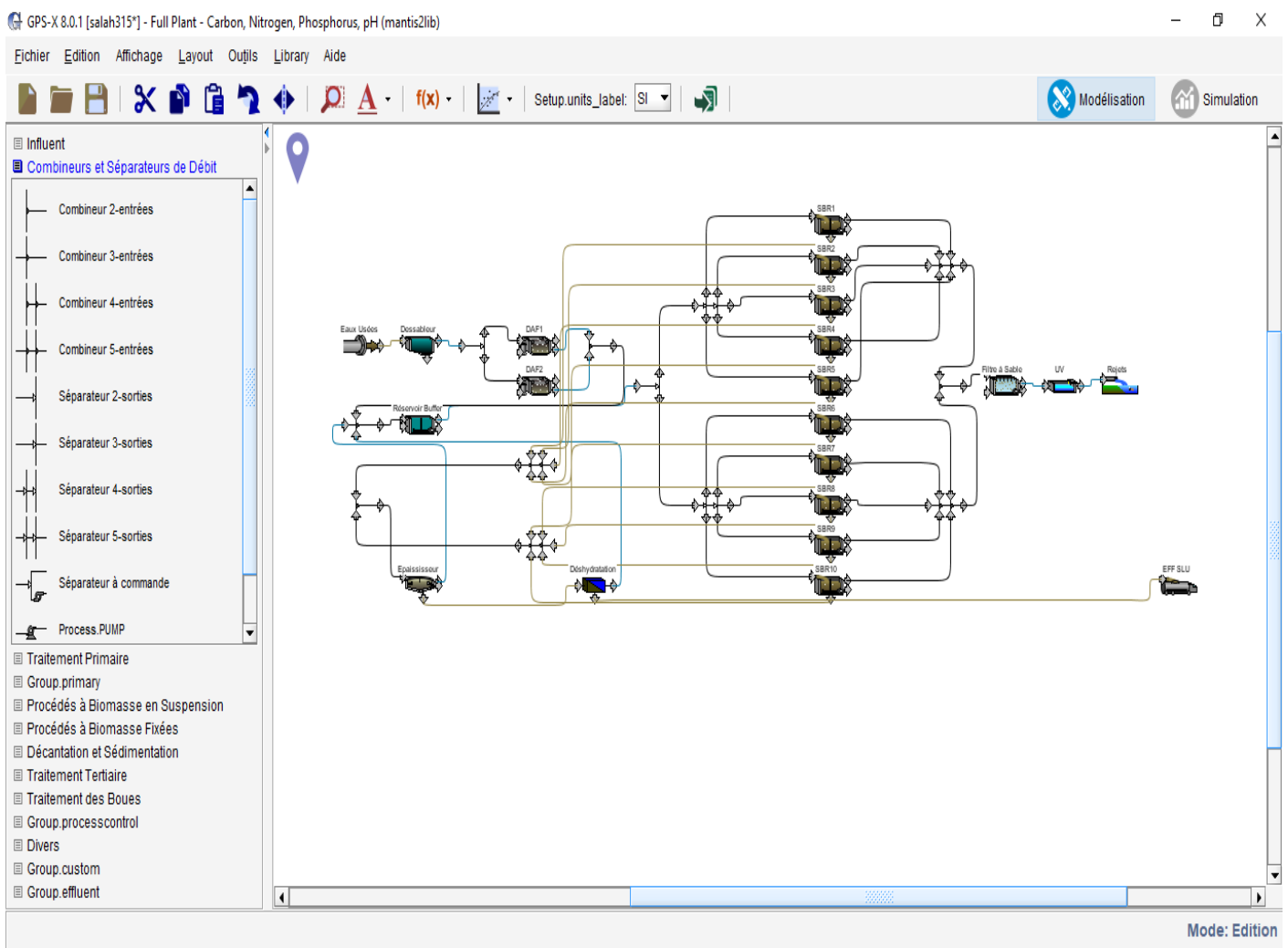
GPS-X intègre une vaste bibliothèque de modèles de simulation. Ces modèles comprennent aussi bien des modèles reconnus à l'échelle internationale, tels que les modèles ASM, que des modèles développés en interne par Hydromantis. Le logiciel offre également la possibilité à l'utilisateur de concevoir et d'intégrer ses propres modèles selon ses besoins spécifiques.

Le logiciel GPS-X (General Purpose Simulator - eXtended) se distingue par sa puissance et son interface conviviale, à condition de maîtriser les différentes fonctionnalités qu'il propose. Toutefois, il évolue constamment afin de répondre aux exigences du marché. Son efficacité dépend également de la disponibilité et de l'exploitation d'une quantité importante de données.

Les simulations peuvent être réalisées aussi bien en régime permanent qu'en régime dynamique. À titre d'exemple, Jacek Makinia a réalisé des simulations en régime permanent à partir d'un ensemble de données de fractionnement d'eaux usées urbaines provenant du nord de la Pologne. Les coefficients obtenus ont ensuite été validés en régime dynamique (Makinia, 2002).

Dans chacun de ces régimes, il est possible d'effectuer des opérations de calage, d'ajustement, d'analyse de sensibilité ainsi que de personnalisation des procédés. Les performances de nitrification et de dénitrification peuvent ainsi être évaluées pour différentes stations de traitement.

Le logiciel utilisé repose sur les langages de programmation Fortran et ACSL (Advanced Continuous Simulation Language), avec une interface développée en Java.



**FigureIII. 1:** L'interface du GPS-X en mode modélisation

### **3.OBJECTIFS D'UNE SIMULATION**

- Anticiper et prévoir le comportement du système face à différents phénomènes, qu'ils soient naturels ou artificiels.
- Réaliser des études comparatives afin de faciliter la prise de décision.
- Analyser et interpréter les mesures disponibles, tout en estimant certaines variables difficiles, voire impossibles, à mesurer directement.
- Dans le cadre de la présente étude, l'objectif est d'évaluer l'impact de la sensibilité des paramètres d'entrée, notamment le fractionnement de la DCO à l'entrée, et d'observer leurs effets sur le fonctionnement du système.

### **4.UTILITE DU LOGICIEL GPS-X**

Le logiciel GPS-X permet de reproduire la configuration réelle d'une station de traitement. Son utilisation repose sur l'élaboration de schémas simplifiés à l'aide d'outils prédéfinis représentant les différents ouvrages de la station, tels que l'effluent d'entrée, le bassin d'aération ou encore le clarificateur. Le concepteur assemble ensuite ces éléments afin de définir le profil hydraulique de l'installation.

GPS-X offre également la possibilité de configurer différents modes de fonctionnement des stations. Il constitue ainsi un outil performant de simulation, d'analyse et d'optimisation des procédés de traitement des eaux usées.

#### **4.1. SIMULATION :**

La simulation constitue la base de toutes les fonctionnalités de modélisation offertes par GPS-X. Le logiciel permet d'exécuter des simulations à partir de plus de 50 modèles préconfigurés intégrés à GPS-X, ainsi qu'à partir de schémas de conception développés par l'utilisateur.

#### **4.2. CONFIGURATION :**

GPS-X utilise une interface graphique permettant de concevoir, personnaliser et modifier les schémas de procédés d'une station d'épuration. Cette interface facilite la construction et l'adaptation des diagrammes de flux selon le type de traitement étudié.

#### **4.3. ANALYSE :**

Le logiciel réalise des analyses automatiques afin d'évaluer la sensibilité des paramètres du modèle, aussi bien en régime permanent qu'en régime dynamique. Par exemple, l'outil d'analyse

permet d'identifier les conditions opérationnelles influençant la nitrification à travers des paramètres essentiels tels que l'âge des boues, le temps de séjour hydraulique et la température.

#### **4.4. OPTIMISATION :**

Ce module assiste l'utilisateur dans l'optimisation du fonctionnement des stations d'épuration. À titre d'exemple, il permet de déterminer la meilleure distribution de l'air dans un réacteur à boues activées afin d'améliorer la qualité des effluents tout en réduisant les coûts d'aération.

Le logiciel propose également différentes bibliothèques de modèles (« libraries »), permettant de prendre en compte soit le traitement du carbone et de l'azote (Cnlib), soit le traitement combiné du carbone, de l'azote et du phosphore (CNPlib).

Le logiciel permet de réaliser des simulations aussi bien en régime permanent qu'en régime dynamique. Il offre également la possibilité d'effectuer des analyses de sensibilité vis-à-vis des paramètres et des variables du modèle. Par ailleurs, l'optimisation de ces paramètres peut être réalisée grâce à l'utilisation d'algorithmes mathématiques intégrés au logiciel.

#### **5.LES MODELES ASM (ACTIVATED SLUDGE MODEL)**

La bibliothèque ASM repose sur les modèles classiques de boues activées développés par le groupe de travail de l'Association Internationale de Recherche et de Contrôle de la Pollution de l'Eau. L'élaboration de ces modèles a débuté en 1983, suite à la reconnaissance croissante, dans le domaine du traitement des eaux usées, de l'importance de la modélisation mathématique comme outil d'analyse, de conception et d'optimisation des procédés.

constituer un outil essentiel pour la conception et la compréhension des capacités de traitement d'une station d'épuration des eaux usées.

Cette bibliothèque a été développée pour représenter un système à boues activées avec oxydation, nitrification et dénitrification du carbone. Le modèle est basé sur un ensemble de variables d'état (X) décrivant l'évolution des différents constituants du système.

La bibliothèque ASM comprend quatre modèles principaux : ASM1, ASM2, ASM2d et ASM3.

## 5.1 ASM1

Publié en 1987, le modèle ASM1 (Activated Sludge Model n°1) décrit les processus de boues activées à travers des expressions stœchiométriques et cinétiques permettant de représenter les transformations biochimiques des composés solubles et particulaires. Il prend en compte les principaux phénomènes tels que l'oxydation, la nitrification et la dénitrification du carbone.

Les composés comme la DCO, l'ammoniac et l'oxygène peuvent être consommés ou produits au cours de ces réactions, selon un ensemble de coefficients de rendement. Les vitesses des différents processus sont modélisées à l'aide de lois cinétiques de type Monod.

Les transformations décrites par ASM1 incluent notamment la croissance aérobie des bactéries hétérotrophes et autotrophes, la croissance anoxique des hétérotrophes, ainsi que les processus de désintégration des biomasses hétérotrophes.

des bactéries autotrophes ainsi que l'hydrolyse des composés solubles de la DCO et de l'azote organique biodégradable.

## 5.2 ASM2

Lors de la publication du modèle ASM1, certaines stations d'épuration intégraient déjà une étape de traitement destinée à l'élimination biologique du phosphore (bio-P). Toutefois, en raison des connaissances limitées à l'époque concernant ce processus, le groupe IAWQ avait choisi de ne pas intégrer la modélisation du phosphore dans le modèle initial.

Par la suite, de nombreuses recherches sur l'élimination du phosphore ont été réalisées. Cela a conduit, en 1995, au développement du modèle ASM2 (Activated Sludge Model n°2), qui introduit la modélisation de l'élimination biologique du phosphore ainsi que les processus de précipitation chimique du phosphore.

Les principales améliorations apportées par ASM2 incluent la prise en compte d'une fraction des bactéries hétérotrophes comme organismes accumulateurs de phosphore (PAO). Ces micro-organismes utilisent des substrats carbonés fermentés, notamment les acides gras volatils (AGV), qu'ils stockent sous forme de polyhydroxyalcanoates (PHA).

### **5.3.ASM2d (1999)**

Le modèle ASM2 ne prenait pas en compte simultanément l'élimination du phosphore et la dénitrification par les PAO (organismes accumulant le phosphore). Pour combler cette limite, une version améliorée appelée **ASM2d** a été développée en 1999.

Ce modèle permet de représenter plus précisément l'élimination biologique du phosphore (EBPR), notamment pendant les phases de dénitrification, ainsi que la croissance anoxique des PAO. Grâce à ces améliorations, ASM2d est devenu l'un des modèles les plus utilisés pour simuler les procédés biologiques d'élimination du phosphore.

### **5.4.ASM3 (1998)**

Le modèle ASM3 a été introduit en 1998 afin de corriger certaines limites d'ASM1 et de proposer une nouvelle génération de modèles de boues activées.

Contrairement à ASM1, ASM3 suppose que toute la matière organique biodégradable rapidement (DCO facilement biodégradable) est d'abord absorbée puis stockée à l'intérieur des cellules avant d'être utilisée pour la croissance de la biomasse. Cela introduit une représentation plus réaliste de la biomasse hétérotrophe, avec une structure interne similaire à celle des PAO dans les modèles de déphosphatation biologique.

Une autre différence importante réside dans la structure du modèle : ASM3 remplace le schéma croissance–désintégration–croissance (dit “modèle de régénération mortelle”) d'ASM1 par un schéma basé sur la respiration endogène suivie de la croissance. Cette approche facilite la calibration du modèle, notamment parce qu'elle permet de mieux estimer les taux de décroissance endogène grâce à des méthodes comme la respirométrie.

## **6.CHOIX DU MODELE**

Dans cette étude, le modèle retenu est **ASM1**. Ce modèle mobilise plusieurs concepts fondamentaux qui seront décrits par la suite.

### **6.1 PRESENTATION DU MODELE ASM1**

Le modèle ASM1 permet de simuler, dans un système à boues activées, les principaux processus biologiques tels que l'oxydation de la matière organique carbonée, la nitrification ainsi que la dénitrification. Il décrit ces phénomènes à travers la cinétique des réactions (vitesses de

transformation) et leur stœchiométrie (relations quantitatives entre les différents composants impliqués dans les réactions chimiques).

Développé par Henze et al. en 1987, ce modèle a été conçu pour formaliser et intégrer les connaissances accumulées au cours des décennies précédentes concernant la modélisation mathématique du traitement biologique des eaux usées.

Les équations du modèle sont présentées sous forme matricielle, avec une ligne associée à chaque processus et une colonne correspondant à chaque variable. Le modèle comporte 13 variables et 8 processus, et s'appuie sur 19 paramètres cinétiques et stœchiométriques.

Il repose sur la simulation de la croissance de la biomasse, considérée comme le principal moteur des processus de dégradation.

Les coefficients de la matrice, notés  $v_{ij}$ , sont négatifs en cas de consommation et positifs en cas de production. Les indices  $i$  identifient les différents composants, tandis que les indices  $j$  correspondent aux processus.

Les expressions cinétiques de chaque processus sont indiquées dans la colonne de droite, en regard de la ligne correspondante. Les coefficients stœchiométriques, intégrés dans la matrice, traduisent l'influence de chaque processus sur la production ou la consommation des différentes composantes.

### 6.1.1. LES VARIABLES DU MODELE ASM1

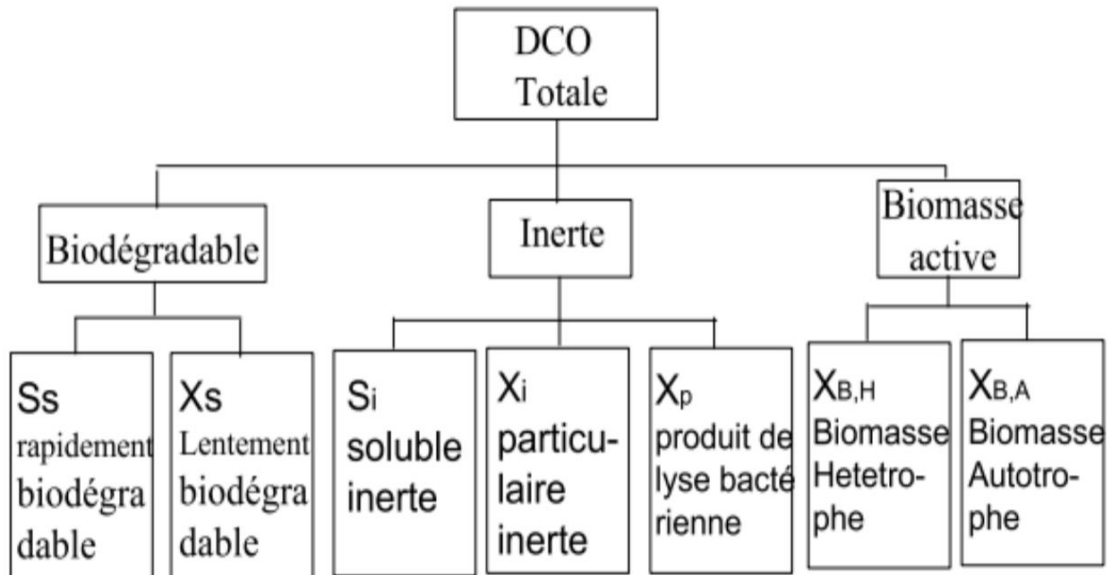
Dans le modèle ASM1 (Activated Sludge Model n°1), les variables sont exprimées en **mg DCO·L<sup>-1</sup>** pour les composés carbonés et en **mg N·L<sup>-1</sup>** pour les composés azotés. Elles représentent principalement les polluants organiques ainsi que la biomasse présente dans le système. Les composés inorganiques ne sont pas pris en compte dans ce modèle.

Ces variables peuvent être classées en trois catégories :

- **Variables d'entrée** : elles décrivent la composition de l'affluent entrant dans le système de traitement.
- **Variables d'état** : elles représentent le contenu des différents bassins biologiques et sont calculées à partir des équations du modèle et des variables d'entrée.
- **Variables de sortie** : elles décrivent l'effluent traité ainsi que la boue extraite, et sont déduites des variables d'état.

### 6.1.1.1 LES VARIABLES CARBONEES

Dans l'ASM1, les substances carbonées sont réparties en plusieurs fractions, notamment :



**Figure III.2:** Décomposition de la DCO en variables du modèle ASM1

- les composés biodégradables,
- les composés inertes,
- la biomasse.
- Les composés solubles sont notés **S**, tandis que les composés particuliers sont représentés par **X**. Les polluants biodégradables constituent des substrats de croissance pour les bactéries. Ils sont classés en deux fractions selon leur cinétique de dégradation : la fraction **rapidement biodégradable (Ss)** et la fraction **lentement biodégradable (Xs)**.
- Les substrats rapidement assimilables correspondent à des molécules organiques simples et solubles, directement disponibles pour les microorganismes. Ils sont immédiatement métabolisés afin de produire de l'énergie et de permettre la synthèse de la biomasse bactérienne.
- Les substrats lentement biodégradables sont constitués de composés organiques plus complexes, pouvant être sous forme particulaire ou colloïdale. Leur assimilation nécessite une étape préalable d'hydrolyse enzymatique, qui constitue l'étape limitante de leur dégradation et permet leur transformation en composés assimilables.

- Dans le modèle, bien que cette fraction puisse être à l'origine soluble ou colloïdale, elle est généralement représentée sous forme particulaire.
- Les polluants inertes sont subdivisés en trois fractions : les composés solubles **SI**, les composés particuliers **XI** et les produits de décomposition de la biomasse **XP**. Ces fractions ne sont pas impliquées dans l'activité biologique du système de traitement. Elles proviennent soit des eaux usées entrantes, soit de la lyse bactérienne.
- Les composés inertes solubles se comportent comme des traceurs au sein de la station d'épuration et sont éliminés avec l'effluent du clarificateur. À l'inverse, les composés particuliers sont retenus dans les boues et s'accumulent sous forme de matières volatiles en suspension inertes (MVS inertes). Cette fraction particulaire est ensuite éliminée du système par le soutirage des boues en excès, bien qu'une partie puisse également subsister dans l'eau épurée.

La biomasse active est scindée en deux types de microorganismes : la biomasse hétérotrophe **XB,h** et la biomasse autotrophe **XB,a**. Finalement, le bilan de matière de la DCO est représenté comme suit :  $DCOT = SI + SS + XI + XS + XP + XB,a + XB,h$ . Où : DCOT est égale à la demande chimique en oxygène totale.

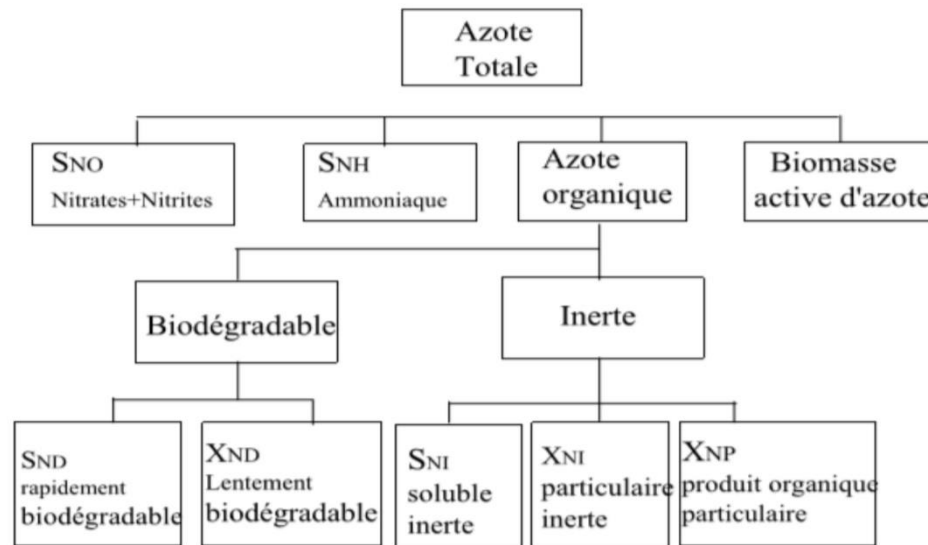
#### 6.1.1.2.LES VARIABLES AZOTEES

Dans le modèle ASM1, les polluants azotés présents dans les eaux usées sont répartis en plusieurs fractions. L'azote total correspond à la somme de l'azote mesuré auquel s'ajoutent les nitrites et les nitrates. Il comprend principalement l'azote organique et l'azote ammoniacal **SNH**.

De manière analogue à la fraction carbonée, l'azote organique est subdivisé en une fraction biodégradable et une fraction inerte, chacune pouvant être sous forme soluble ou particulaire. Le modèle prend explicitement en compte la fraction d'azote organique biodégradable particulaire **XND** ainsi que la fraction d'azote organique biodégradable soluble **SND**.

La biomasse active contribue indirectement au cycle de l'azote, notamment par sa décroissance, qui entraîne la production d'azote organique biodégradable particulaire. Les fractions d'azote organique associées aux composés particuliers inertes **XNP** et à la fraction organique inerte **XNI** peuvent être estimées, bien qu'elles ne soient pas explicitement représentées dans la matrice du modèle.

Enfin, la nitrification de l'azote ammoniacal en nitrates **SNO** est considérée uniquement comme une étape du procédé biologique.



**Figure III.3:** Décomposition de l'azote totale en variables du modèle ASM1

### 6.1.1.3.LES AUTRES VARIABLES

Les deux dernières variables du modèle ASM1 sont la concentration en oxygène dissous **SO**, exprimée en équivalent DCO négatif, ainsi que l'alcalinité **Salk**.

Dans le modèle, l'alcalinité n'intervient pas directement dans les processus biologiques, mais elle peut être utilisée comme variable de suivi du système.

## 6.2.LES PROCESSUS DYNAMIQUES

Le modèle ASM1 repose sur quatre concepts fondamentaux qui permettent de décrire les huit processus qu'il intègre : la croissance de la biomasse, la décroissance de la biomasse, l'ammonification de l'azote organique et l'hydrolyse des composés particuliers.

Ces processus sont issus de la dynamique de deux populations bactériennes principales, à savoir les bactéries hétérotrophes et les bactéries autotrophes.

La croissance est décrite à l'aide de la cinétique de Monod. Les vitesses de croissance sont proportionnelles à la concentration en biomasse et sont contrôlées par les facteurs limitants, notamment la disponibilité en substrat ainsi que celle des accepteurs d'électrons.

Les différents processus intégrés dans le modèle ASM1 sont présentés de manière synthétique en tenant compte de l'intervention des deux principaux groupes de micro-organismes.

## 1. La croissance de la biomasse

- **Croissance aérobie des micro-organismes hétérotrophes** : une fraction de substrat facilement biodégradable est consommée en présence d'oxygène. Ce processus entraîne une augmentation de la consommation d'oxygène, tandis que l'ammonium est utilisé comme source d'azote pour la synthèse de la biomasse. Les concentrations en substrat soluble **Ss** et en oxygène dissous **SO** peuvent limiter cette croissance. Ce processus est le principal responsable de la production de biomasse et de la consommation de DCO.
  - **Croissance anoxique des micro-organismes hétérotrophes** : en absence d'oxygène dissous, les bactéries hétérotrophes utilisent les nitrates comme accepteurs terminaux d'électrons à partir du substrat **Ss**, ce qui permet la production de biomasse et de diazote. Ce mécanisme s'accompagne également de variations de l'alcalinité. L'ammonium reste une source d'azote nécessaire à la synthèse des micro-organismes.
  - **Croissance aérobie des micro-organismes autotrophes** : l'oxydation de l'ammoniaque en nitrate (nitrification) conduit à la formation de biomasse autotrophe et à une augmentation de la consommation d'oxygène. L'ammoniaque est également utilisée comme source d'énergie pour la synthèse cellulaire. La production de biomasse reste cependant faible, tandis que la consommation d'oxygène et la diminution de l'alcalinité sont fortement marquées.
2. **La mortalité de la biomasse** : ce processus correspond à la décroissance des micro-organismes, entraînant la libération de matière organique et de composés azotés dans le système.
  3. **L'ammonification de l'azote organique** : il s'agit de la transformation de l'azote organique en ammonium sous l'action des micro-organismes hétérotrophes.
  4. **L'hydrolyse des composants organiques absorbés** : ce processus consiste en la dégradation des composés organiques particuliers complexes en fractions plus simples et biodégradables, permettant leur assimilation par les bactéries.

### 6.3. Équations du modèle ASM1 (matrice de Petersen)

#### a) Croissance aérobie des hétérotrophes (ρ1)

$$\rho_1 = \mu_{mH} \cdot (S_S / (K_S + S_S)) \cdot (S_O / (K_{OH} + S_O)) \cdot X_{B,H} \dots \dots \dots III.1$$

#### b) Croissance anoxique des hétérotrophes (ρ2)

$$\rho_2 = \mu_{mH} \cdot (S_S / (K_S + S_S)) \cdot (K_{OH} / (K_{OH} + S_O)) \cdot (S_{NO} / (K_{NO} + S_{NO})) \cdot \eta_g \cdot X_{B,H} \dots \dots \dots III.2$$

#### c) Croissance aérobie des autotrophes (ρ3)

$$\rho_3 = \mu_{mA} \cdot (S_{NH} / (K_{NH} + S_{NH})) \cdot (S_O / (K_{OA} + S_O)) \cdot X_{B,A} \dots \dots \dots III.3$$

#### d) Décès des hétérotrophes (ρ4)

$$\rho_4 = b_H \cdot X_{B,H} \dots \dots \dots III.4$$

#### e) Décès des autotrophes (ρ5)

$$\rho_5 = b_A \cdot X_{B,A} \dots \dots \dots III.5$$

#### f) Ammonification de l'azote organique soluble (ρ6)

$$\rho_6 = k_a \cdot S_{ND} \cdot X_{B,H} \dots \dots \dots III.6$$

#### g) Hydrolyse des composés organiques piégés (ρ7)

$$\rho_7 = k_h \cdot [(X_S / X_{B,H}) / (K_X + X_S / X_{B,H})] \cdot [(S_O / (K_{OH} + S_O)) + \eta_h \cdot (K_{OH} / (K_{OH} + S_O))] \cdot (S_{NO} / (K_{NO} + S_{NO})) \cdot X_{B,H} \dots \dots \dots III.7$$

#### h) Hydrolyse de l'azote organique piégé (ρ8)

$$\rho_8 = \rho_7 \cdot (X_{ND} / X_S) \dots \dots \dots III.8$$

Cette dernière expression traduit le fait que l'hydrolyse de l'azote organique particulaire (XND) est entraînée par celle de la matière organique lentement biodégradable (XS), au même taux relatif.

### Paramètres cinétiques et stœchiométriques du modèle ASM1

Le modèle ASM1 mobilise dix-neuf paramètres cinétiques et stœchiométriques, listés dans le tableau suivant.

| Symbole | Signification                                                           | Unité                                    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| YH      | Rendement cellulaire (production) des hétérotrophes                     | g DCO cellulaire produite / g DCO oxydée |
| YA      | Rendement cellulaire (production) des autotrophes                       | g DCO cellulaire produite / g N oxydé    |
| fP      | Fraction de la biomasse menant à des produits particuliers inertes (XP) | sans dimension                           |
| iXB     | Fraction d'azote dans la biomasse (XB,H, XB,A)                          | g N / g DCO                              |

| Symbole   | Signification                                                             | Unité                            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| iXP       | Fraction d'azote dans les produits particuliers issus de la biomasse (XP) | g N / g DCO                      |
| $\mu_m H$ | Taux de croissance spécifique maximal des hétérotrophes                   | $j^{-1}$                         |
| KS        | Constante de demi-saturation des hétérotrophes pour le substrat (Ss)      | g DCO/m <sup>3</sup>             |
| KOH       | Constante de demi-saturation en oxygène des hétérotrophes                 | g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> |
| KNO       | Constante de demi-saturation en nitrate des hétérotrophes                 | g N/m <sup>3</sup>               |
| bH        | Taux de décroissance (mortalité) des hétérotrophes                        | $j^{-1}$                         |
| $\eta_g$  | Facteur de correction de $\mu_m H$ en conditions anoxiques                | sans dimension                   |
| $\eta_h$  | Facteur de correction pour l'hydrolyse en conditions anoxiques            | sans dimension                   |
| ka        | Taux d'ammonification                                                     | m <sup>3</sup> /(g DCO·j)        |
| kh        | Taux d'hydrolyse maximal spécifique                                       | g DCO/(g DCO·j)                  |
| KX        | Constante de demi-saturation pour l'hydrolyse (XS/XB,H)                   | g DCO/g DCO                      |
| $\mu_m A$ | Taux de croissance spécifique maximal des autotrophes                     | $j^{-1}$                         |
| KNH       | Constante de demi-saturation en ammoniac des autotrophes                  | g N/m <sup>3</sup>               |
| KOA       | Constante de demi-saturation en oxygène des autotrophes                   | g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> |
| bA        | Taux de décroissance (mortalité) des autotrophes                          | $j^{-1}$                         |

(Henze Et al 1987).

## 7. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté la famille des modèles ASM (Activated Sludge Models) intégrés dans le logiciel GPS-X, en mettant l'accent sur une analyse détaillée du modèle ASM1, considéré comme le plus adapté à notre étude.

Le modèle ASM1 constitue une base de données représentative du fonctionnement normal d'une station d'épuration à boues activées. Les informations qu'il fournit peuvent être exploitées pour la construction d'un modèle boîte noire, en vue du développement d'une procédure de diagnostic de la station.

**PARTIE2 :**

**CALCULE DE**

**RENDEMENT DE CHAQUE**

**UNITE ET RENDEMENT**

**GLOBALE DE LA STEP**

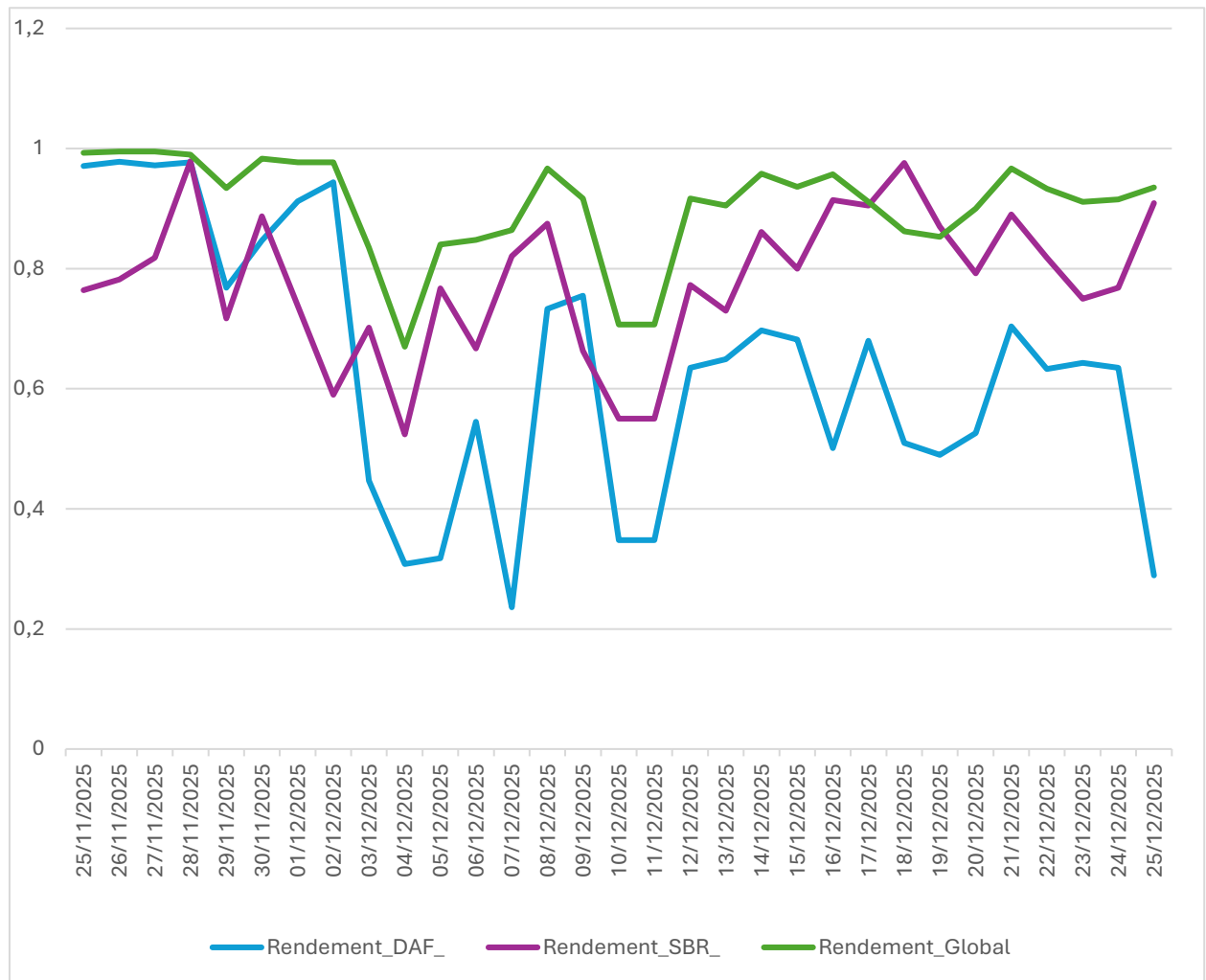
## 1.INTRODUCTION

Dans cette partie nous étudierons rendement de chaque unité et rendement globale de la station d'épuration des eaux usées BASE DE VIE IRRARA sonatrach hassi messaoud de chaque paramètre : les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO) DURANT LA période allant de 25/11/2025 à 25/12/2025

## 2.PARAMETRE DES MATIERES EN SUSPENSION (MES)

**Tableau III.1:** le rendement de traitement par unité et global de paramètre MES

| Date       | MES_entrée_mg/L | MES_sortie_DAF_mg/L | MES_eau_traité_mg/L | Rendement_DAF_% | Rendement_SBR_% | Rendement_Global-% |
|------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 25/11/2025 | 2442            | 72                  | 17                  | 97,1            | 76,4            | 99,3               |
| 26/11/2025 | 3507            | 78                  | 17                  | 97,8            | 78,2            | 99,5               |
| 27/11/2025 | 2759            | 77                  | 14                  | 97,2            | 81,8            | 99,5               |
| 28/11/2025 | 2500            | 57                  | 24                  | 97,7            | 97,9            | 99                 |
| 29/11/2025 | 198             | 46                  | 13                  | 76,8            | 71,7            | 93,4               |
| 30/11/2025 | 921             | 141                 | 16                  | 84,7            | 88,7            | 98,3               |
| 01/12/2025 | 1177            | 103                 | 27                  | 91,2            | 73,8            | 97,7               |
| 02/12/2025 | 1083            | 61                  | 25                  | 94,4            | 59              | 97,7               |
| 03/12/2025 | 170             | 94                  | 28                  | 44,7            | 70,2            | 83,5               |
| 04/12/2025 | 91              | 63                  | 30                  | 30,8            | 52,4            | 67                 |
| 05/12/2025 | 107             | 73                  | 17                  | 31,8            | 76,7            | 84                 |
| 06/12/2025 | 132             | 60                  | 20                  | 54,5            | 66,7            | 84,8               |
| 07/12/2025 | 110             | 84                  | 15                  | 23,6            | 82,1            | 86,4               |
| 08/12/2025 | 300             | 80                  | 10                  | 73,3            | 87,5            | 96,7               |
| 09/12/2025 | 327             | 80                  | 27                  | 75,5            | 66,3            | 91,7               |
| 10/12/2025 | 92              | 60                  | 27                  | 34,8            | 55              | 70,7               |
| 11/12/2025 | 92              | 60                  | 27                  | 34,8            | 55              | 70,7               |
| 12/12/2025 | 266             | 97                  | 22                  | 63,5            | 77,3            | 91,7               |
| 13/12/2025 | 211             | 74                  | 20                  | 64,9            | 73              | 90,5               |
| 14/12/2025 | 476             | 144                 | 20                  | 69,7            | 86,1            | 95,8               |
| 15/12/2025 | 393             | 125                 | 25                  | 68,2            | 80              | 93,6               |
| 16/12/2025 | 397             | 198                 | 17                  | 50,1            | 91,4            | 95,7               |
| 17/12/2025 | 237             | 221                 | 21                  | 68              | 90,5            | 91,1               |
| 18/12/2025 | 790             | 138                 | 19                  | 51              | 97,6            | 86,2               |
| 19/12/2025 | 253             | 121                 | 33                  | 49              | 87              | 85,3               |
| 20/12/2025 | 250             | 120                 | 25                  | 52,6            | 79,2            | 90                 |
| 21/12/2025 | 338             | 100                 | 11                  | 70,4            | 89              | 96,7               |
| 22/12/2025 | 300             | 110                 | 20                  | 63,3            | 81,8            | 93,3               |
| 23/12/2025 | 280             | 100                 | 25                  | 64,3            | 75              | 91,1               |
| 24/12/2025 | 260             | 95                  | 22                  | 63,5            | 76,8            | 91,5               |
| 25/12/2025 | 263             | 187                 | 17                  | 28,9            | 90,9            | 93,5               |



**FigureIII. 4** : le rendement de traitement par unité et global de paramètre MES

## 2.1 INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT GLOBAL (MES)

La **FigureIII. 4** illustre l'évolution du rendement global de la station dans l'élimination des matières en suspension (MES). Les résultats obtenus indiquent un rendement global de 91 %, traduisant une très bonne efficacité du système de traitement. Cette performance témoigne de la capacité de la station à produire une eau clarifiée, pratiquement dépourvue de particules en suspension.

Cette efficacité élevée est principalement liée au bon fonctionnement de l'étape de décantation finale au niveau du réacteur SBR, assurant une séparation efficace entre les boues biologiques et l'eau traitée.

## **COMPARAISON AVEC LES NORMES ALGERIENNES :**

Selon la réglementation algérienne (Journal Officiel n° 26), la concentration maximale admissible des MES dans les eaux épurées est fixée à 35 mg/L. Un rendement global supérieur à 90 % permet donc de garantir la conformité de l'eau traitée aux exigences nationales relatives aux MES.

**Évaluation :** traitement performant avec un bon rendement épuratoire.

## **2.2 INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE SBR (MES)**

La courbe relative à l'unité SBR met en évidence un rendement d'élimination des MES estimé à 89 %. Ce résultat reflète une bonne activité de la biomasse ainsi qu'une excellente aptitude à la biofloculation et à la décantation durant la phase de repos (décantation).

La stabilité du rendement observée pendant toute la période d'exploitation indique également l'absence de dysfonctionnements majeurs, notamment les phénomènes de gonflement des boues (bulking) ou de lessivage de la biomasse.

**Évaluation :** unité SBR performante et stable.

## **2.3 INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE DAF (MES)**

L'unité de flottation à air dissous (DAF), utilisée comme étape de prétraitement, a enregistré un rendement primaire de 68 % pour l'élimination des MES. Bien que ce rendement soit inférieur à celui obtenu au niveau du réacteur SBR, il demeure satisfaisant pour un traitement primaire.

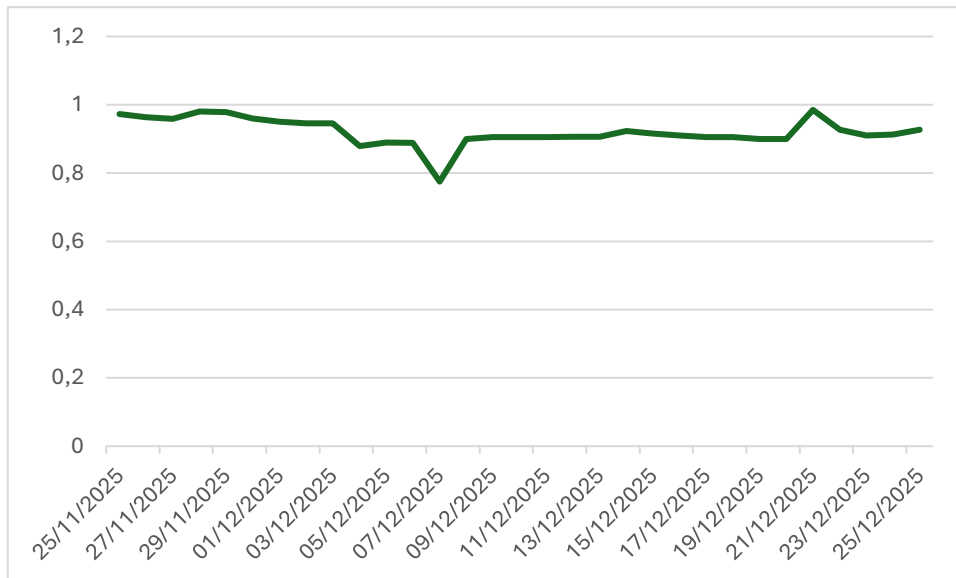
Cette étape joue un rôle essentiel dans la réduction de la charge particulaire appliquée au traitement biologique, contribuant ainsi à protéger le réacteur SBR contre les variations brusques de charge et les chocs hydrauliques.

**Évaluation :** prétraitement efficace et acceptable.

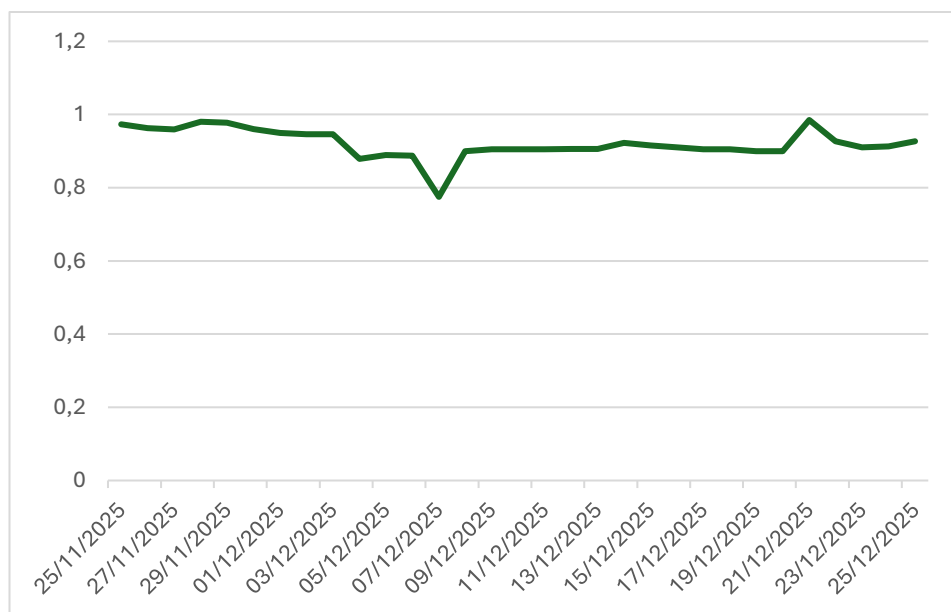
### 3.PARAMETRE DE LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO)

**Tableau III.2** : le rendement de traitement par unité SBR et global de paramètre DCO

| Date       | DCO_entrée_mg/L | DCO_sortie_mg/L | Rendement_Global-% | Rendement_SBR-% |
|------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 25/11/2025 | 1500            | 40              | 97,3               | 97,3            |
| 26/11/2025 | 1500            | 56              | 96,3               | 96,3            |
| 27/11/2025 | 1500            | 61              | 95,9               | 95,9            |
| 28/11/2025 | 1500            | 30              | 98                 | 98              |
| 29/11/2025 | 1435            | 31              | 97,8               | 97,8            |
| 30/11/2025 | 416             | 35              | 96                 | 96              |
| 01/12/2025 | 948             | 47              | 95                 | 95              |
| 02/12/2025 | 699             | 38              | 94,6               | 94,6            |
| 03/12/2025 | 1149            | 62              | 94,6               | 94,6            |
| 04/12/2025 | 372             | 45              | 87,9               | 87,9            |
| 05/12/2025 | 244             | 27              | 88,9               | 88,9            |
| 06/12/2025 | 249             | 28              | 88,8               | 88,8            |
| 07/12/2025 | 200             | 45              | 77,5               | 77,5            |
| 08/12/2025 | 350             | 35              | 90                 | 90              |
| 09/12/2025 | 400             | 38              | 90,5               | 90,5            |
| 10/12/2025 | 380             | 36              | 90,5               | 90,5            |
| 11/12/2025 | 370             | 35              | 90,5               | 90,5            |
| 12/12/2025 | 360             | 34              | 90,6               | 90,6            |
| 13/12/2025 | 350             | 33              | 90,6               | 90,6            |
| 14/12/2025 | 640             | 49              | 92,3               | 92,3            |
| 15/12/2025 | 500             | 42              | 91,6               | 91,6            |
| 16/12/2025 | 450             | 40              | 91                 | 91              |
| 17/12/2025 | 400             | 38              | 90,5               | 90,5            |
| 18/12/2025 | 380             | 36              | 90,5               | 90,5            |
| 19/12/2025 | 350             | 35              | 90                 | 90              |
| 20/12/2025 | 340             | 34              | 90                 | 90              |
| 21/12/2025 | 804             | 12              | 98,5               | 98,5            |
| 22/12/2025 | 550             | 40              | 92,7               | 92,7            |
| 23/12/2025 | 500             | 45              | 91                 | 91              |
| 24/12/2025 | 480             | 42              | 91,3               | 91,3            |
| 25/12/2025 | 588             | 43              | 92,7               | 92,7            |



**FigureIII. 5:** le rendement de traitement par SBR de paramètre DCO



**FigureIII. 6:** le rendement de traitement global de paramètre DCO

### 3.1 INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT GLOBAL (DCO)

La **Figure III. 6**: du rendement global de la DCO met en évidence une efficacité élevée du système de traitement, avec un taux d'élimination atteignant 94 %. Ce résultat traduit une très bonne capacité de la station à réduire la charge organique présente dans les eaux usées, qu'elle soit biodégradable ou difficilement biodégradable.

Cette performance témoigne du bon déroulement des réactions biologiques au sein du réacteur ainsi que de l'activité optimale de la biomasse, capable de dégrader efficacement les composés organiques.

#### **COMPARAISON AVEC LES NORMES ALGERIENNES :**

La réglementation algérienne (Journal Officiel n° 26) fixe la concentration maximale admissible de la DCO dans les eaux traitées à 120 mg/L. Avec un rendement global de 94 %, la concentration finale obtenue reste largement inférieure à cette limite, ce qui confirme la conformité de l'eau épurée aux normes nationales.

**Évaluation :** traitement très performant.

#### **3.2 INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE SBR (DCO)**

A partir de la **FigureIII. 5** L'unité SBR a présenté une très bonne capacité d'élimination de la DCO, avec un rendement atteignant 92 %. Cette valeur confirme que les conditions de fonctionnement du réacteur, notamment l'aération, le pH et la température, ont été favorables au développement et à l'activité des micro-organismes.

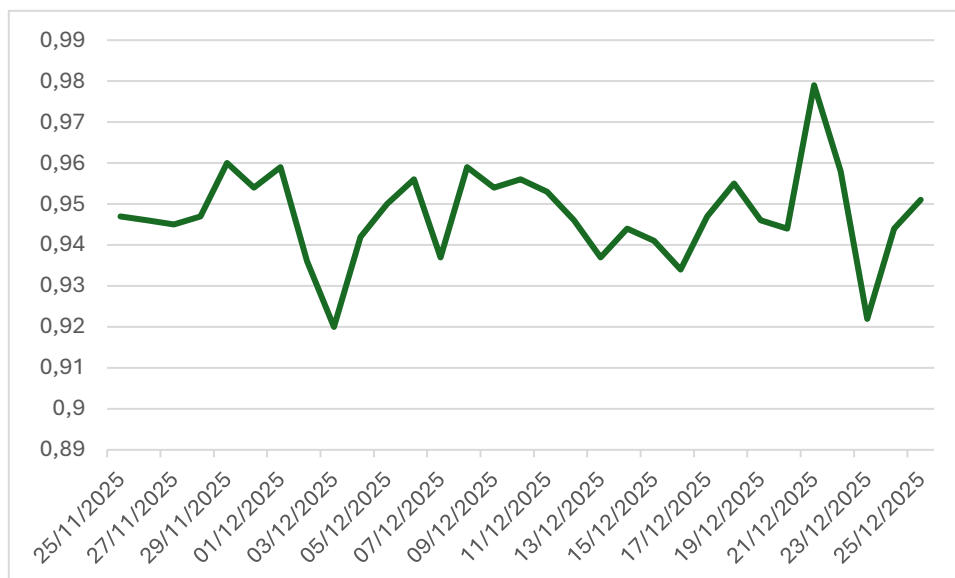
La stabilité de la courbe à des valeurs élevées traduit également une bonne adaptation de la biomasse à la nature des eaux usées traitées, ainsi que l'absence de composés toxiques ou inhibiteurs susceptibles de perturber le processus biologique.

**Évaluation :** biomasse biologiquement active et système stable en régime d'équilibre.

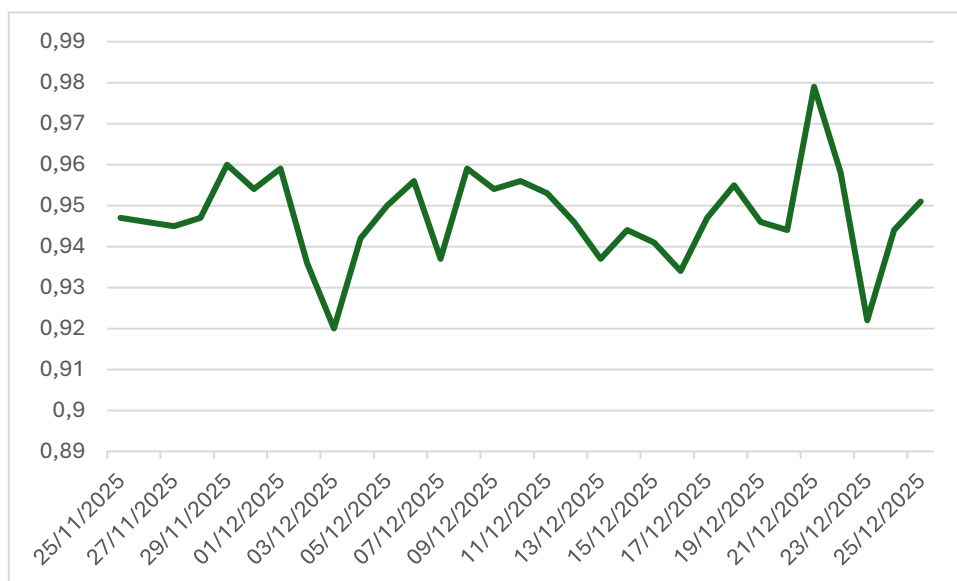
#### 4.PARAMETRE DE LA DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGENE (DBO5)

**Tableau III.3:** le rendement de traitement par unité SBR et global de paramètre DBO5

| Date       | DBO5_entree_mg/L | DBO5_sortie_mg/L | Rendement_Global-% | Rendement_SBR-% |
|------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| 25/11/2025 | 320              | 17.0             | 94,7               | 94,7            |
| 26/11/2025 | 320              | 17.2             | 94,6               | 94,6            |
| 27/11/2025 | 320              | 17.5             | 94,5               | 94,5            |
| 28/11/2025 | 320              | 17.0             | 94,7               | 94,7            |
| 29/11/2025 | 320              | 12.8             | 96                 | 96              |
| 30/11/2025 | 320              | 14.8             | 95,4               | 95,4            |
| 01/12/2025 | 437              | 18.0             | 95,9               | 95,9            |
| 02/12/2025 | 320              | 20.6             | 93,6               | 93,6            |
| 03/12/2025 | 320              | 25.5             | 92                 | 92              |
| 04/12/2025 | 320              | 18.5             | 94,2               | 94,2            |
| 05/12/2025 | 320              | 16.1             | 95                 | 95              |
| 06/12/2025 | 320              | 14.1             | 95,6               | 95,6            |
| 07/12/2025 | 320              | 20.2             | 93,7               | 93,7            |
| 08/12/2025 | 320              | 13.0             | 95,9               | 95,9            |
| 09/12/2025 | 320              | 14.7             | 95,4               | 95,4            |
| 10/12/2025 | 320              | 14.1             | 95,6               | 95,6            |
| 11/12/2025 | 320              | 15.0             | 95,3               | 95,3            |
| 12/12/2025 | 320              | 17.2             | 94,6               | 94,6            |
| 13/12/2025 | 304              | 19.2             | 93,7               | 93,7            |
| 14/12/2025 | 320              | 18.0             | 94,4               | 94,4            |
| 15/12/2025 | 320              | 18.9             | 94,1               | 94,1            |
| 16/12/2025 | 320              | 21.0             | 93,4               | 93,4            |
| 17/12/2025 | 320              | 17.0             | 94,7               | 94,7            |
| 18/12/2025 | 374              | 16.8             | 95,5               | 95,5            |
| 19/12/2025 | 320              | 17.3             | 94,6               | 94,6            |
| 20/12/2025 | 320              | 18.0             | 94,4               | 94,4            |
| 21/12/2025 | 484              | 10.2             | 97,9               | 97,9            |
| 22/12/2025 | 320              | 13.5             | 95,8               | 95,8            |
| 23/12/2025 | 320              | 25.0             | 92,2               | 92,2            |
| 24/12/2025 | 320              | 18.0             | 94,4               | 94,4            |
| 25/12/2025 | 320              | 15.7             | 95,1               | 95,1            |



**FigureIII.7:** le rendement de traitement global de paramètre DBO5



**FigureIII. 8:** le rendement de traitement par unité de SBR de paramètre DBO5

#### **4.1 INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT GLOBAL (DBO5)**

La **FigureIII.7** de la DBO5 constitue l'un des indicateurs les plus importants pour évaluer l'efficacité du traitement biologique. Les résultats obtenus montrent un rendement global très élevé, atteignant 97 %, ce qui représente la meilleure performance parmi l'ensemble des paramètres analysés. Ce taux d'élimination traduit une excellente capacité du système à dégrader et à éliminer la matière organique biodégradable présente dans les eaux usées. Un tel niveau de performance indique que l'eau traitée est pratiquement dépourvue de pollution organique fraîche.

#### **COMPARAISON AVEC LES NORMES ALGERIENNES :**

La réglementation algérienne impose une concentration de DBO5 inférieure à 35 mg/L dans les eaux traitées. Avec un rendement de 97 %, la qualité de l'eau rejetée respecte largement cette exigence réglementaire, voire dépasse les standards requis.

#### **Évaluation :**

Traitement biologique excellent. Ce paramètre représente le principal point fort des performances de la station d'épuration.

#### **4.2 INTERPRETATION DE LA COURBE DU RENDEMENT DE L'UNITE SBR (DBO5)**

A partir de la **FigureIII. 8** L'unité SBR a enregistré à elle seule un rendement de 96 % pour l'élimination de la DBO5. Cette performance confirme l'efficacité de la biomasse active présente dans le réacteur ainsi que sa bonne adaptation à la charge organique des eaux traitées. La stabilité de la courbe autour de ces valeurs élevées reflète également une alimentation régulière en charge organique et un contrôle efficace de l'aération durant les différents cycles de fonctionnement.

Ces résultats démontrent que le réacteur biologique fonctionne dans des conditions optimales et que le procédé SBR assure une épuration performante et stable de la pollution organique.

#### **Évaluation :**

Fonctionnement très satisfaisant de l'unité SBR, avec des performances biologiques stables et conformes aux objectifs de traitement.

### **5.CONCLUSION ET EVALUATION FINALE**

À l'issue de l'analyse quantitative et qualitative des rendements d'élimination des paramètres MES, DCO et DBO5, ainsi que de leur comparaison avec les normes algériennes de rejet, plusieurs constats peuvent être retenus :

- **5.1.ÉVALUATION GLOBALE :**

Les performances de traitement de la station peuvent être qualifiées de bonnes à excellentes. La technologie du réacteur biologique séquentiel (SBR) a démontré une grande efficacité dans l'élimination des polluants, notamment de la charge organique.

- **5.2.CONFORMITE REGLEMENTAIRE :**

Les eaux traitées en sortie de station respectent pleinement les normes algériennes de rejet pour les trois paramètres étudiés.

- **5.3.CLASSEMENT DES PERFORMANCES SELON LES PARAMETRES :**

- DBO5 : rendement moyen de **97 %** → performance excellente ;
- DCO : rendement moyen de **94 %** → performance très satisfaisante ;
- MES : rendement moyen de **91 %** → bonne performance.

- **5.4.PERFORMANCE DES UNITES DE TRAITEMENT :**

L'unité SBR constitue l'étape la plus performante de la chaîne de traitement, avec des rendements supérieurs à 89 % pour l'ensemble des paramètres analysés. L'unité DAF a également assuré un rôle complémentaire efficace au niveau du prétraitement.

- **5.5.RECOMMANDATION :**

Afin de maintenir durablement ces performances, il est recommandé d'assurer un suivi régulier de l'indice volumique des boues (SVI), paramètre essentiel pour garantir une bonne décantation et une stabilité du fonctionnement biologique du système.



# ***CHAPITRE IV***

## ***MODELISATION ET SIMULATION DE LA STEP***

## 1. INTRODUCTION

Afin d'assurer le bon fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées, la modélisation constitue un outil essentiel. Elle permet de mieux comprendre le comportement et les performances d'une station d'épuration en simulant différentes conditions d'exploitation et en évaluant leurs effets avant leur mise en œuvre réelle.

Dans ce processus, l'utilisateur définit les paramètres d'entrée, lance les simulations, analyse les résultats obtenus et évalue leur pertinence par rapport aux objectifs fixés.

Ainsi, ce chapitre est consacré à la présentation détaillée de la démarche de modélisation de la station d'épuration (STEP), ainsi qu'aux différentes étapes nécessaires à sa mise en œuvre.

## 2 CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT D'ENTREE :

Les valeurs conservées pour le mois de 25/11/2025 à 25/12/2025 sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau IV. 1** : Caractéristiques de l'effluent d'entrée pour le mois de 25/11/2025 à 25/12/2025

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| <b>Débit (m³/j)</b> | <b>1000</b> |
| <b>DCO (mg/l)</b>   | 614         |
| <b>DBO5 (mg/l)</b>  | 331         |
| <b>MES (mg/l)</b>   | 647         |
| <b>NTK (mg/l)</b>   | 87.64       |
| <b>pH</b>           | 7.3         |
| <b>T C°</b>         | 19.5        |

En vérification supplémentaire nous pouvons calculer les ratios communément employés en assainissement, à savoir :

**Tableau IV.2** : Ratios calculés sur la station d'irara

| <b>Année</b> | <b>Mois</b>   | <b>VSS/TSS ratio</b> | <b>Particulate<br/>COD (mg/l)</b> | <b>Particulate<br/>COD/VSS ratio</b> |
|--------------|---------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>2025</b>  | 25/11 à 25/12 | 0.75                 | 614                               | 1.26                                 |

Un dernier paramètre doit être estimé : le rapport entre les matières volatiles en suspension (MVS) et les matières en suspension (MES). Ce ratio n'ayant pas été mesuré au niveau de la station étudiée, une valeur représentative d'un effluent à prédominance domestique transitant dans un réseau unitaire a été retenue. Ainsi, le rapport MVS/MES a été fixé à 75 %, conformément aux valeurs rapportées par SADOWSKI A.G. (2002).

Calcul des ratios :

a)  $VSS/TSS \text{ ratio} = MVS/MES = 0.75$

c)  $Particule \ DCO/VSS \text{ ratio} = Par \ DCO/MVS = 1.26$

### **3. SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DE LA STEP**

La simulation du fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées (STEP) consiste à réaliser des expérimentations virtuelles à l'aide du logiciel GPS-X, en s'appuyant sur un ou plusieurs modèles mathématiques. Cette approche permet de reproduire le comportement du procédé et d'évaluer différentes conditions d'exploitation dans le but d'identifier les paramètres de fonctionnement optimaux.

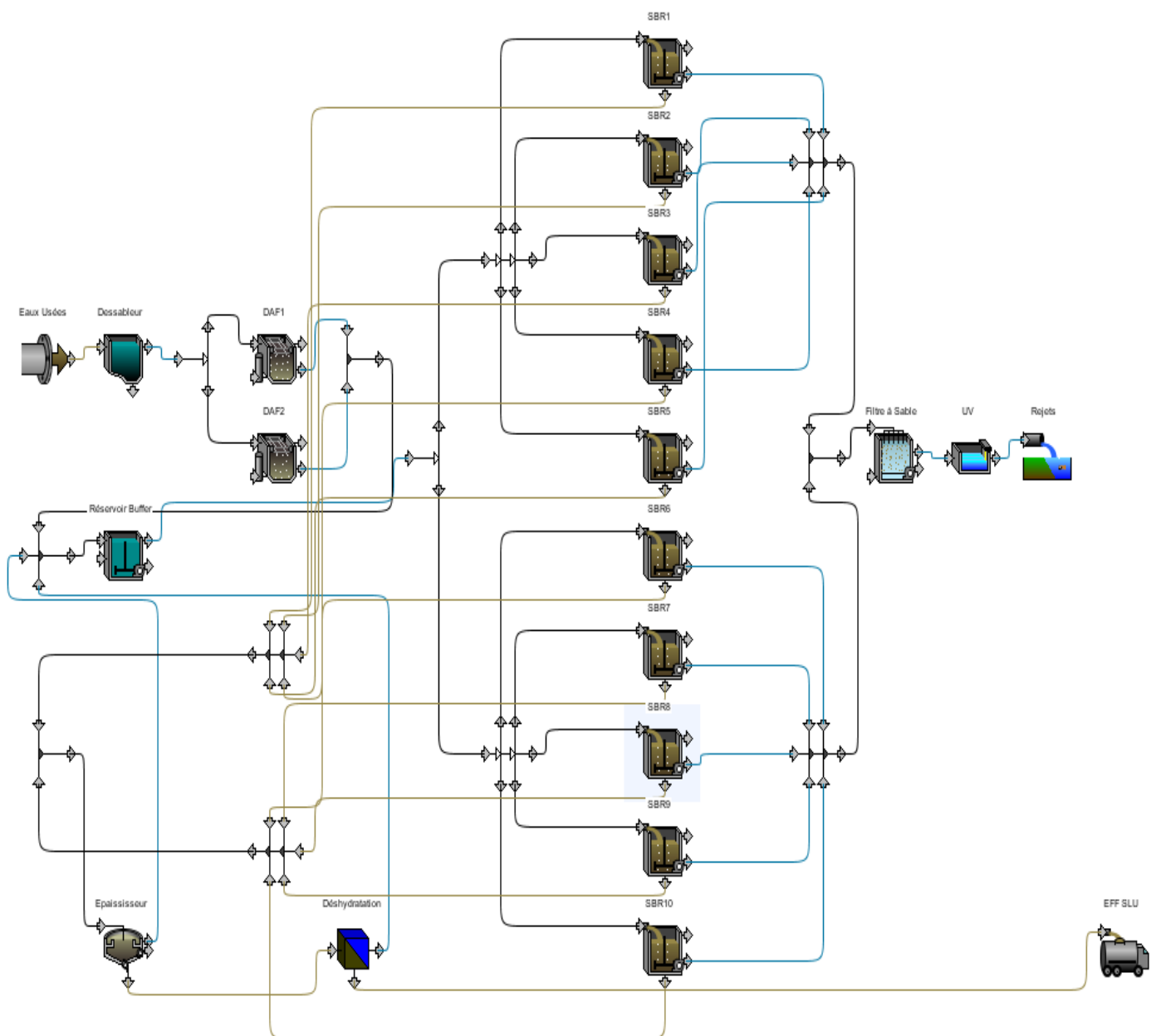
Les simulations ont pour principal objectif d'approfondir les connaissances sur le système à boues activées de la STEP et d'en améliorer la compréhension. Elles permettent également d'analyser l'impact de divers scénarios de fonctionnement, d'anticiper les variations susceptibles d'affecter les performances de la station et de prévoir leur évolution. Enfin, ces simulations constituent un outil d'aide à la décision pour l'optimisation de l'exploitation et l'amélioration de l'efficacité globale du procédé de traitement.

#### **3.1 CONFIGURATION DE LA STEP**

La modélisation du fonctionnement d'une station d'épuration des eaux usées (STEP) nécessite la disponibilité de données spécifiques, fiables et représentatives de l'installation étudiée. Ces informations concernent notamment la description physique de la filière de traitement, incluant les

dimensions des différents ouvrages, les caractéristiques des systèmes de pompage ainsi que les équipements d'aération.

Par ailleurs, il est indispensable de disposer d'un descriptif détaillé des conditions d'exploitation de la station, telles que les modalités d'alimentation, les stratégies d'aération et les procédures d'extraction des boues. Enfin, les mesures relatives à la quantité et à la qualité des eaux usées à traiter constituent des données essentielles pour assurer la pertinence et la fiabilité des simulations réalisées.



**FigureIV.1 : SCHEMA DE LA STEP DE LA BASE DE VIE IRARA PAR GPS-X**

### 3.2.LES VALEURS ET DIMENSIONS DES OUVRAGES :

**Tableau IV.3 : LES VALEURS ET DIMENSIONS DE DAF**

| Débit<br>( $m^3/h$ ) | $QDAF$<br>( $m^3/h$ ) | Longueur(<br>m) | Largeur<br>(m) | Hauteur(M) | Surface(<br>$m^2$ ) | Volume( $m^3$ ) | Vitesse(<br>m/h) | Temps<br>De<br>Séjour(h) |
|----------------------|-----------------------|-----------------|----------------|------------|---------------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 42                   | 49.5                  | 6.8             | 3.7            | 3.2        | 24.45               | 77.7            | 1.97             | 1.62                     |

Dosage de polymer= 0.02g/Kg

**Tableau IV.4 : LES VALEURS ET DIMENSIONS DE SBR**

| Hauteur(m) | Surface(<br>$m^2$ ) | Volume( $m^3$ ) | Temps De Phase<br>DeRemplissage(h) | Temps De<br>Phase<br>D'aération(h) | Temps De<br>Phase De<br>Decantation<br>(h) | Temps De<br>Phase De<br>Vidange<br>(h) |
|------------|---------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| 2          | 26                  | 52              | 0.4                                | 5.3                                | 1                                          | 0.3                                    |

Débit de diffusion d'air=  $3600 m^3/j$

**Tableau IV.5 : LES VALEURS ET DIMENSIONS DE BASSIN D'EGALISATION**

| Hauteur(m) | Surface( $m^2$ ) | Volume( $m^3$ ) |
|------------|------------------|-----------------|
| 4          | 250              | 1000            |

Débit de diffusion d'air=  $1800 m^3/j$

### 3.3 CHOIX ET CALAGE DU MODELE

Pour cette étude, le modèle retenu est l'ASM1 (Activated Sludge Model No. 1). Toute démarche de modélisation nécessite préalablement des étapes de paramétrage et de vérification afin de garantir la représentativité du modèle par rapport au système réel.

Le calage d'un modèle consiste à ajuster ses paramètres de manière à reproduire le plus fidèlement possible le comportement observé du système étudié. Cependant, le modèle ASM1 comporte un nombre important de paramètres, ce qui rend difficile et peu efficace leur ajustement individuel. En outre, certains paramètres sont interdépendants et influencent conjointement les cinétiques réactionnelles ; il est donc nécessaire de prendre en compte les combinaisons de paramètres plutôt que leurs effets isolés.

Dans ce contexte, il est indispensable de définir une méthodologie de calibration rigoureuse permettant de limiter le nombre de paramètres à ajuster et d'identifier les séries de données expérimentales les plus pertinentes pour le calage.

La calibration d'un modèle peut être réalisée soit de manière visuelle, soit à l'aide de méthodes mathématiques basées sur des algorithmes d'optimisation. Compte tenu de la complexité du modèle ASM1 et de l'insuffisance des données détaillées requises pour une identification automatique fiable des paramètres, il n'a pas été possible de mettre en œuvre une procédure de calibration automatique. Par conséquent, le choix s'est porté sur une méthode de calage visuelle et manuelle, fondée sur la comparaison des résultats simulés avec les mesures expérimentales disponibles.

#### **4.RESULTATS ET INTERPRETATION DES ANALYSES :**

Comparaison : Le tableau suivant représente une comparaison entre les valeurs moyennes observées et les valeurs simulées par GPS-X :

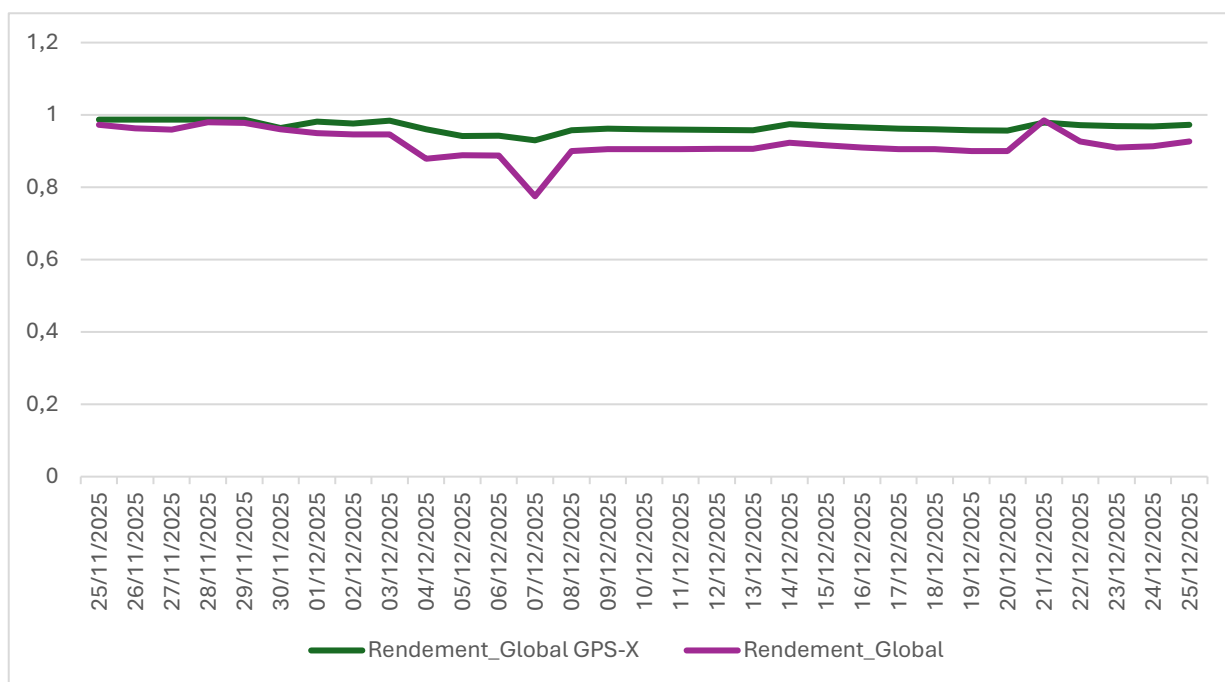
**Tableau IV.6 :** Comparaison entre valeurs observées et valeurs simulées par GPS-X

|               |            | Bilan STEP 2025 à 2026 | Simulation GPS-X |
|---------------|------------|------------------------|------------------|
| Mois          | Paramètres | Valeurs observées      | Valeurs simulées |
| 25/11 à 25/12 | DCO mg/l   | 39.1                   | 15.72            |
|               | MES mg/l   | 21                     | 4.04             |
|               | DBO5 mg/l  | 17.15                  | 4.47             |

#### 4.1.COMPARAISON DES RESULTATS DE DCO :

**Tableau IV.7:** le rendement de traitement par unité et global de paramètre DCO PAR GPS-X

| Date       | DCO_entrée-mg/l | DCO_sortie-mg/l | Rendement_Global GPS-X-% | Rendement_SBR GPS-X-% |
|------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| 25/11/2025 | 1500            | 19.35           | 98,71                    | 98,71                 |
| 26/11/2025 | 1500            | 19.35           | 98,71                    | 98,71                 |
| 27/11/2025 | 1500            | 19.35           | 98,71                    | 98,71                 |
| 28/11/2025 | 1500            | 19.35           | 98,71                    | 98,71                 |
| 29/11/2025 | 1435            | 18.90           | 98,68                    | 98,68                 |
| 30/11/2025 | 416             | 15.20           | 96,35                    | 96,35                 |
| 01/12/2025 | 948             | 17.50           | 98,15                    | 98,15                 |
| 02/12/2025 | 699             | 16.40           | 97,65                    | 97,65                 |
| 03/12/2025 | 1149            | 18.20           | 98,42                    | 98,42                 |
| 04/12/2025 | 372             | 14.90           | 96                       | 96                    |
| 05/12/2025 | 244             | 14.30           | 94,14                    | 94,14                 |
| 06/12/2025 | 249             | 14.35           | 94,24                    | 94,24                 |
| 07/12/2025 | 200             | 14.05           | 92,98                    | 92,98                 |
| 08/12/2025 | 350             | 14.80           | 95,77                    | 95,77                 |
| 09/12/2025 | 400             | 15.10           | 96,23                    | 96,23                 |
| 10/12/2025 | 380             | 15.00           | 96,05                    | 96,05                 |
| 11/12/2025 | 370             | 14.95           | 95,96                    | 95,96                 |
| 12/12/2025 | 360             | 14.90           | 95,86                    | 95,86                 |
| 13/12/2025 | 350             | 14.80           | 95,77                    | 95,77                 |
| 14/12/2025 | 640             | 16.10           | 97,48                    | 97,48                 |
| 15/12/2025 | 500             | 15.50           | 96,9                     | 96,9                  |
| 16/12/2025 | 450             | 15.30           | 96,6                     | 96,6                  |
| 17/12/2025 | 400             | 15.10           | 96,23                    | 96,23                 |
| 18/12/2025 | 380             | 15.00           | 96,05                    | 96,05                 |
| 19/12/2025 | 350             | 14.80           | 95,77                    | 95,77                 |
| 20/12/2025 | 340             | 14.75           | 95,66                    | 95,66                 |
| 21/12/2025 | 804             | 16.90           | 97,9                     | 97,9                  |
| 22/12/2025 | 550             | 15.70           | 97,15                    | 97,15                 |
| 23/12/2025 | 500             | 15.50           | 96,9                     | 96,9                  |
| 24/12/2025 | 480             | 15.40           | 96,79                    | 96,79                 |



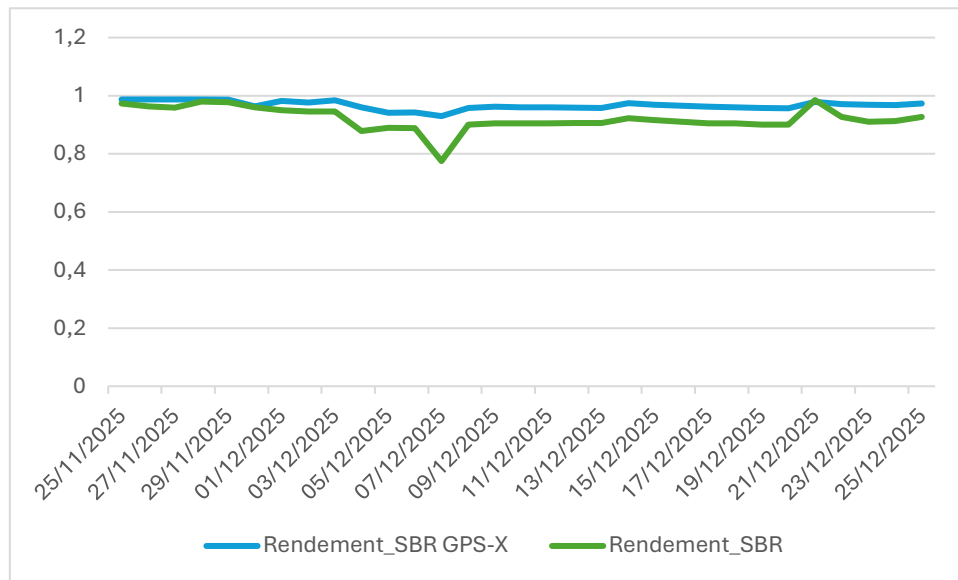
**FigureIV.2 :** Comparaison les rendements de traitement par global de paramètre DCO

#### INTERPRETATION :

A partir de la **FigureIV.2** Les résultats expérimentaux relatifs au rendement d'élimination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) ont mis en évidence des performances élevées, avec des valeurs comprises entre 95 % et 98 %. De leur côté, les simulations réalisées à l'aide du logiciel GPS-X ont fourni des rendements variant entre 97 % et 99 %.

La comparaison des résultats mesurés et simulés révèle une bonne concordance entre les deux séries de données, les écarts observés demeurant généralement inférieurs à 2–3 %. Cette proximité confirme la capacité du modèle à reproduire de manière satisfaisante le fonctionnement réel de la station d'épuration.

Par ailleurs, ces résultats traduisent une efficacité remarquable du procédé dans l'élimination de la charge organique, ainsi qu'une stabilité opérationnelle maintenue tout au long de la période d'étude. Les performances obtenues sont pleinement conformes aux exigences réglementaires algériennes, qui imposent une concentration en DCO inférieure à 120 mg/L dans les eaux traitées. Le rendement élevé enregistré permet ainsi d'atteindre des concentrations résiduelles largement en dessous de cette valeur limite.



**FigureIV.3:** Comparaison les rendements de traitement par unité de SBR de paramètre DCO

### INTERPRETATION :

A partir de la **Figure IV.3** Les rendements d'élimination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) mesurés au niveau du réacteur SBR ont varié entre 90 % et 97 %, tandis que les valeurs obtenues par simulation se situaient entre 92 % et 98 %.

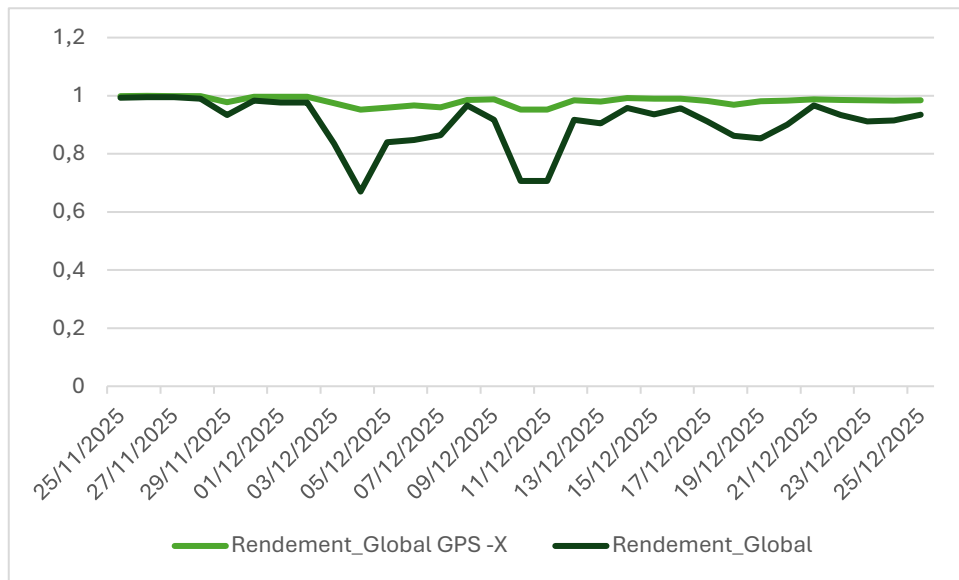
L'analyse comparative des résultats expérimentaux et simulés montre une évolution similaire des deux courbes, avec des écarts généralement inférieurs à 5 %. Cette bonne concordance met en évidence la capacité du modèle à représenter de manière satisfaisante les performances du réacteur SBR et confirme son rôle déterminant dans l'élimination de la matière organique biodégradable.

Les légères différences observées entre les valeurs réelles et simulées peuvent s'expliquer par les fluctuations journalières de la charge organique influente, ainsi que par les variations des conditions d'exploitation et de fonctionnement du réacteur. Dans l'ensemble, les résultats obtenus témoignent de l'efficacité du procédé SBR et de la fiabilité du modèle utilisé pour la simulation de ses performances.

## 4.2.COMPARAISON DES RESULTATS DE MES :

**Tableau IV.8 :** le rendement de traitement par unité et global de paramètre MES PAR GPS -X

| Date       | MES_entrée-mg/l | MES_sortie_DAF-mg/l | MES_eau_traité-mg/l | Rendement_DAF GPS-X-% | Rendement_SBR GPS-X-% | Rendement_Global GPS-X-% |
|------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 25/11/2025 | 2442            | 98.0                | 3.4                 | 96                    | 96,5                  | 99,86                    |
| 26/11/2025 | 3507            | 105.2               | 1.550               | 97                    | 98,5                  | 99,96                    |
| 27/11/2025 | 2759            | 99.3                | 2.8                 | 96,4                  | 97,2                  | 99,9                     |
| 28/11/2025 | 2500            | 95.0                | 2.96                | 96,2                  | 96,9                  | 99,88                    |
| 29/11/2025 | 198             | 27.7                | 4.370               | 86                    | 84,2                  | 97,79                    |
| 30/11/2025 | 921             | 55.3                | 3.850               | 94                    | 93                    | 99,58                    |
| 01/12/2025 | 1177            | 70.6                | 3.827               | 94                    | 94,6                  | 99,67                    |
| 02/12/2025 | 1083            | 65.0                | 3.910               | 94                    | 94                    | 99,64                    |
| 03/12/2025 | 170             | 23.8                | 4.370               | 86                    | 81,6                  | 97,43                    |
| 04/12/2025 | 91              | 13.7                | 4.370               | 85                    | 68,1                  | 95,2                     |
| 05/12/2025 | 107             | 16.1                | 4.370               | 85                    | 72,9                  | 95,92                    |
| 06/12/2025 | 132             | 19.8                | 4.370               | 85                    | 77,9                  | 96,69                    |
| 07/12/2025 | 110             | 16.5                | 4.370               | 85                    | 73,5                  | 96,03                    |
| 08/12/2025 | 300             | 42.0                | 4.250               | 86                    | 89,9                  | 98,58                    |
| 09/12/2025 | 327             | 45.8                | 4.200               | 86                    | 90,8                  | 98,72                    |
| 10/12/2025 | 92              | 13.8                | 4.370               | 85                    | 68,3                  | 95,25                    |
| 11/12/2025 | 92              | 13.8                | 4.370               | 85                    | 68,3                  | 95,25                    |
| 12/12/2025 | 266             | 37.2                | 4.280               | 86                    | 88,5                  | 98,39                    |
| 13/12/2025 | 211             | 29.5                | 4.330               | 86                    | 85,3                  | 97,95                    |
| 14/12/2025 | 476             | 66.6                | 4.050               | 86                    | 93,9                  | 99,15                    |
| 15/12/2025 | 393             | 55.0                | 4.130               | 86                    | 92,5                  | 98,95                    |
| 16/12/2025 | 397             | 55.6                | 4.120               | 86                    | 92,6                  | 98,96                    |
| 17/12/2025 | 237             | 33.2                | 4.310               | 86                    | 87                    | 98,18                    |
| 18/12/2025 | 138             | 20.7                | 4.360               | 85                    | 78,9                  | 96,84                    |
| 19/12/2025 | 225             | 31.5                | 4.320               | 86                    | 86,3                  | 98,08                    |
| 20/12/2025 | 250             | 35.0                | 4.300               | 86                    | 87,7                  | 98,28                    |
| 21/12/2025 | 338             | 47.3                | 4.180               | 86                    | 91,2                  | 98,76                    |
| 22/12/2025 | 300             | 42.0                | 4.250               | 86                    | 89,9                  | 98,58                    |
| 23/12/2025 | 280             | 39.2                | 4.280               | 86                    | 89,1                  | 98,47                    |
| 24/12/2025 | 260             | 36.4                | 4.300               | 86                    | 88,2                  | 98,35                    |
| 25/12/2025 | 263             | 36.8                | 4.290               | 86                    | 88,3                  | 98,37                    |



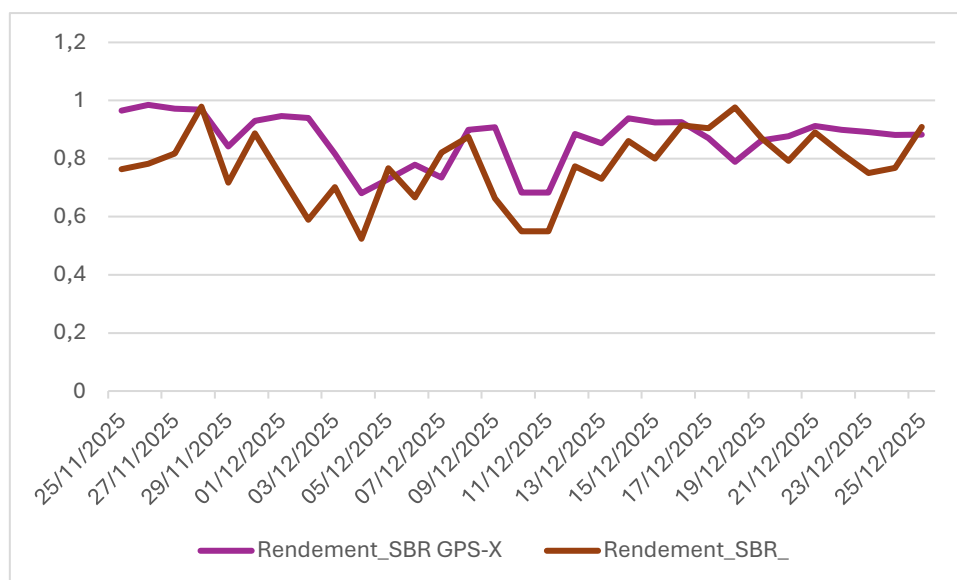
**FigureIV.4** : Comparaison les rendements de traitement par global de paramètre MES

#### INTERPRETATION :

A partir de la **FigureIV.4** Les rendements d'élimination des Matières En Suspension (MES) mesurés à l'échelle de la station ont présenté des valeurs élevées, comprises entre 94 % et 99 %, tandis que les rendements obtenus par simulation variaient entre 96 % et 99 %.

La comparaison des résultats expérimentaux et simulés met en évidence une très bonne concordance entre les deux courbes, les écarts observés demeurant généralement inférieurs à 4 % tout au long de la période d'étude. Cette proximité confirme non seulement la capacité du modèle à reproduire fidèlement les mécanismes de séparation solide-liquide et de décantation, mais également la performance élevée de la station dans l'élimination des matières en suspension.

Par ailleurs, les résultats obtenus satisfont largement aux exigences des normes algériennes de rejet, qui fixent une concentration maximale en MES de 35 mg/L. Les rendements élevés enregistrés permettent ainsi d'atteindre des concentrations résiduelles très faibles, attestant de la bonne qualité des eaux traitées vis-à-vis des matières en suspension.



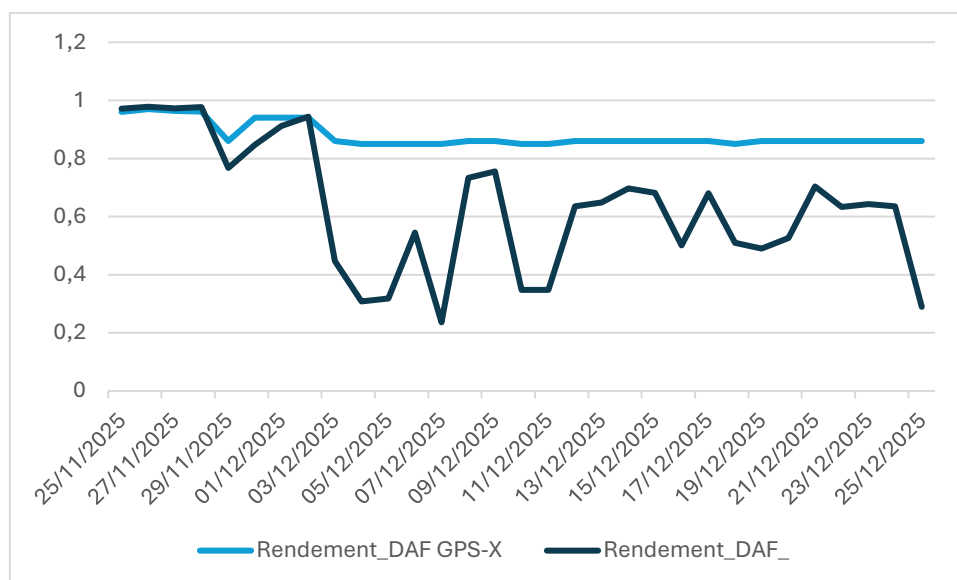
**FigureIV.5:** Comparaison les rendements de traitement par unité de SBR de paramètre MES

#### INTERPRETATION :

A partir de la **FigureIV.5** Les rendements d'élimination des Matières En Suspension (MES) observés au niveau du réacteur SBR ont varié entre 85 % et 95 % pour les données expérimentales, tandis que les résultats issus de la simulation se situaient entre 88 % et 97 %.

La comparaison des valeurs réelles et simulées révèle une tendance d'évolution globalement similaire, malgré quelques fluctuations enregistrées au cours de la période d'étude. Cette concordance traduit la capacité du modèle à représenter de manière satisfaisante les performances du réacteur SBR en matière d'élimination des matières en suspension.

Les écarts observés peuvent être attribués à plusieurs facteurs, notamment les variations des conditions de décantation, les changements de la concentration des boues ainsi que les fluctuations des paramètres d'exploitation du procédé. Dans l'ensemble, les résultats obtenus confirment l'efficacité du réacteur SBR dans la réduction de la charge solide et la pertinence du modèle pour la simulation de ce processus.



**FigureIV.6 :** Comparaison les rendements de traitement par unité de DAFde paramètre MES

### INTERPRETATION :

A partir de la **FigureIV.6** Les rendements d'élimination des Matières En Suspension (MES) obtenus au niveau de l'unité de flottation à air dissous (DAF) ont varié entre 80 % et 95 % pour les données expérimentales, tandis que les valeurs simulées étaient comprises entre 85 % et 97 %.

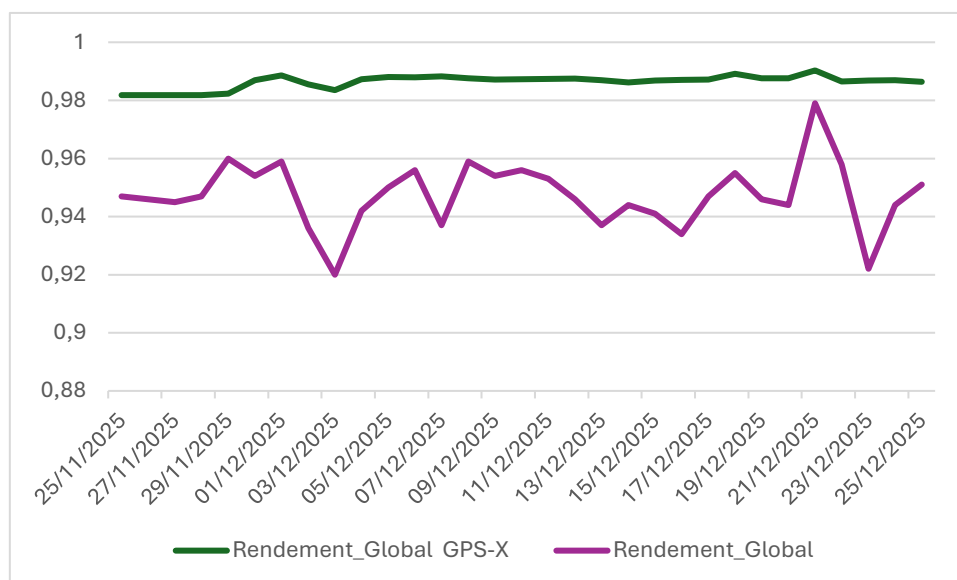
L'analyse comparative des résultats réels et simulés met en évidence une bonne concordance entre les deux courbes, les écarts observés demeurant relativement faibles sur l'ensemble de la période étudiée. Cette proximité témoigne de la capacité du modèle GPS-X à reproduire de manière satisfaisante le comportement de l'unité DAF.

Les performances enregistrées confirment également l'efficacité de la flottation à air dissous dans l'élimination des matières en suspension, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'eau traitée et à la réduction de la charge solide avant les étapes ultérieures du traitement.

#### 4.3.COMPARAISON DES RÉSULTATS DE DBO5

**Tableau IV.9** : le rendement de traitement par unité et global de paramètre DBO5 PAR GPS -X

| Date       | DBO5_entrée -mg/l | DBO5_sortie-mg/l | Rendement_Global GPS-X-% | Rendement_SBR GPS-X-% |
|------------|-------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| 25/11/2025 | 320               | 5.82             | 98,18                    | 98,18                 |
| 26/11/2025 | 320               | 5.82             | 98,18                    | 98,18                 |
| 27/11/2025 | 320               | 5.82             | 98,18                    | 98,18                 |
| 28/11/2025 | 320               | 5.82             | 98,18                    | 98,18                 |
| 29/11/2025 | 320               | 5.65             | 98,23                    | 98,23                 |
| 30/11/2025 | 320               | 4.20             | 98,69                    | 98,69                 |
| 01/12/2025 | 437               | 5.00             | 98,86                    | 98,86                 |
| 02/12/2025 | 320               | 4.63             | 98,55                    | 98,55                 |
| 03/12/2025 | 320               | 5.28             | 98,35                    | 98,35                 |
| 04/12/2025 | 320               | 4.07             | 98,73                    | 98,73                 |
| 05/12/2025 | 320               | 3.85             | 98,8                     | 98,8                  |
| 06/12/2025 | 320               | 3.88             | 98,79                    | 98,79                 |
| 07/12/2025 | 320               | 3.76             | 98,83                    | 98,83                 |
| 08/12/2025 | 320               | 3.98             | 98,76                    | 98,76                 |
| 09/12/2025 | 320               | 4.10             | 98,72                    | 98,72                 |
| 10/12/2025 | 320               | 4.05             | 98,73                    | 98,73                 |
| 11/12/2025 | 320               | 4.03             | 98,74                    | 98,74                 |
| 12/12/2025 | 320               | 4.00             | 98,75                    | 98,75                 |
| 13/12/2025 | 304               | 3.98             | 98,69                    | 98,69                 |
| 14/12/2025 | 320               | 4.43             | 98,62                    | 98,62                 |
| 15/12/2025 | 320               | 4.22             | 98,68                    | 98,68                 |
| 16/12/2025 | 320               | 4.15             | 98,7                     | 98,7                  |
| 17/12/2025 | 320               | 4.10             | 98,72                    | 98,72                 |
| 18/12/2025 | 374               | 4.05             | 98,92                    | 98,92                 |
| 19/12/2025 | 320               | 3.98             | 98,76                    | 98,76                 |
| 20/12/2025 | 320               | 3.96             | 98,76                    | 98,76                 |
| 21/12/2025 | 484               | 4.70             | 99,03                    | 99,03                 |
| 22/12/2025 | 320               | 4.32             | 98,65                    | 98,65                 |
| 23/12/2025 | 320               | 4.22             | 98,68                    | 98,68                 |
| 24/12/2025 | 320               | 4.18             | 98,69                    | 98,69                 |
| 25/12/2025 | 320               | 4.35             | 98,64                    | 98,64                 |



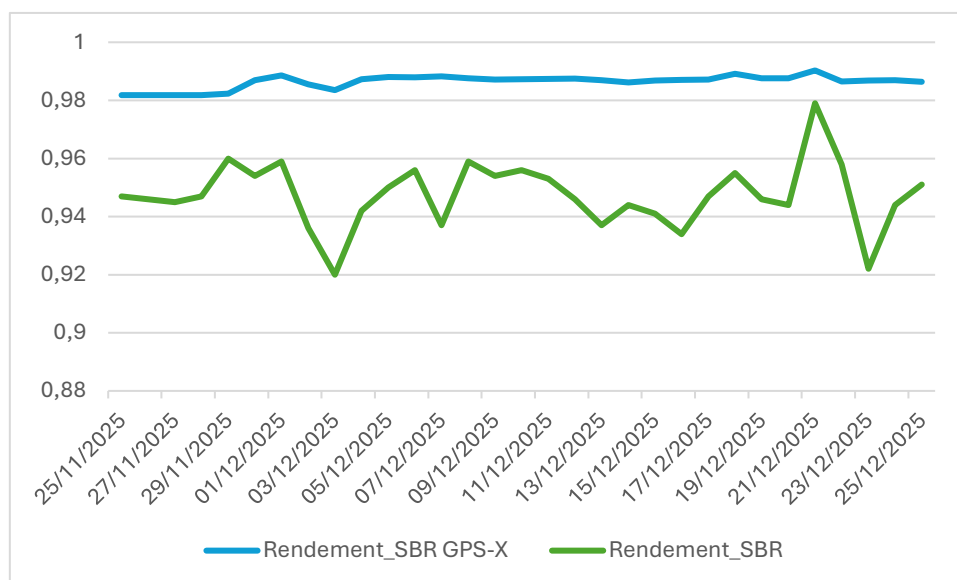
**FigureIV.7** : Comparaison les rendements de traitement par GLOBAL de paramètre DBO5

### INTERPRETATION :

A partir de la **FigureIV.7** Les rendements d'élimination de la Demande Biologique en Oxygène sur cinq jours (DBO<sub>5</sub>) mesurés à l'échelle de la station ont présenté des valeurs élevées, comprises entre 94 % et 99 %, tandis que les rendements obtenus par simulation variaient entre 96 % et 99 %.

La comparaison des résultats expérimentaux et simulés révèle une très bonne concordance entre les deux courbes, caractérisées par une grande stabilité tout au long de la période d'étude. Les écarts observés demeurent généralement inférieurs à 3 %, ce qui confirme la capacité du modèle à reproduire fidèlement les performances réelles de la station.

Ces résultats mettent en évidence la forte efficacité du procédé de traitement dans l'élimination de la pollution organique biodégradable et témoignent de la stabilité de son fonctionnement. Par ailleurs, les performances obtenues sont pleinement conformes aux exigences réglementaires algériennes, qui fixent une concentration maximale en DBO<sub>5</sub> de 35 mg/L pour les eaux rejetées. Les rendements élevés enregistrés garantissent ainsi une excellente qualité des eaux épurées et un respect durable des normes environnementales en vigueur.



**FigureIV.8** : Comparaison les rendements de traitement par unité de SBR de paramètre DBO5

### INTERPRETATION :

A partir de la **FigureIV.8** Les rendements d'élimination de la Demande Biologique en Oxygène sur cinq jours (DBO<sub>5</sub>) enregistrés au niveau du réacteur SBR ont varié entre 90 % et 98 % pour les données expérimentales, tandis que les résultats simulés se situaient entre 92 % et 99 %.

L'analyse comparative des valeurs réelles et simulées met en évidence une évolution très similaire des deux courbes, avec des écarts généralement limités à environ 4 %. Cette bonne concordance traduit la capacité du modèle à reproduire de manière satisfaisante le comportement du réacteur SBR et les performances du traitement biologique.

Les résultats obtenus confirment également l'efficacité du procédé dans l'élimination de la matière organique biodégradable. La proximité entre les données expérimentales et les valeurs simulées témoigne de la qualité du calage du modèle et de sa pertinence pour la représentation du fonctionnement réel du système étudié.

### 5.CONCLUSION

De manière générale, l'ensemble des résultats obtenus met en évidence une bonne concordance entre les rendements mesurés expérimentalement et ceux simulés à l'aide du logiciel GPS-X. Les écarts observés restent faibles, généralement compris entre 2 % et 5 %. Cette proximité confirme la réussite du calage du modèle ASM1 ainsi que sa capacité à représenter de façon fidèle le fonctionnement réel de la station d'épuration.

Par ailleurs, les rendements élevés enregistrés pour les paramètres DCO, DBO<sub>5</sub> et MES traduisent l'efficacité globale des différentes unités de traitement. Ces performances démontrent leur aptitude à assurer une élimination efficace de la pollution organique et des matières en suspension, garantissant ainsi une qualité satisfaisante des eaux traitées et le respect des exigences réglementaires en vigueur.

An orange scroll graphic with a dark blue outline, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with circular ends.

# ***CHAPITRE V***

## ***OPTIMISATION OPERATIONNELLE***

## **1.INTRODUCTION**

Les stations d'épuration des eaux usées jouent un rôle fondamental dans la protection de l'environnement et la gestion durable des ressources hydriques. Leur importance est particulièrement marquée dans les zones industrielles et pétrolières, telles que la base d'Irara à Hassi Messaoud, où les effluents générés nécessitent un traitement performant avant leur rejet ou leur réutilisation.

Toutefois, l'exploitation de ces installations est confrontée à de nombreux défis techniques et économiques. Parmi les principales contraintes figurent les fluctuations des débits et de la composition des eaux usées, les consommations importantes en énergie et en réactifs chimiques, les coûts associés à la gestion des boues produites, ainsi que l'obligation de respecter des normes de rejet de plus en plus exigeantes.

Face à ces enjeux, l'optimisation des procédés de traitement constitue une démarche essentielle pour améliorer les performances des stations d'épuration tout en maîtrisant les coûts d'exploitation. Elle vise à adapter les paramètres de fonctionnement et l'organisation des différentes unités de traitement aux conditions réelles d'exploitation afin d'assurer un fonctionnement plus efficace et plus économique. Contrairement à une gestion basée sur des réglages fixes, l'optimisation permet de mieux répondre aux variations des charges polluantes et des débits, tout en garantissant la qualité des eaux traitées et le respect des exigences réglementaires.

Dans cette perspective, les outils de modélisation et de simulation, tels que GPS-X, représentent un support particulièrement utile pour évaluer différents scénarios d'exploitation et identifier les conditions optimales de fonctionnement sans intervenir directement sur l'installation réelle.

## **2.PROPOSITION D'OPTIMISATION DE L'EXPLOITATION SAISONNIERE DE LA STATION**

Dans le but d'améliorer les performances de traitement de la station, de réduire la consommation énergétique et de maîtriser les coûts d'exploitation, il est proposé d'adopter une stratégie de fonctionnement adaptée aux variations saisonnières des débits d'eaux usées.

La station étant dimensionnée pour un débit nominal de 1000 m<sup>3</sup>/j, l'analyse de l'exploitation hivernale montre que le débit influent peut diminuer jusqu'à environ 600 m<sup>3</sup>/j, soit près de 60 % de

la capacité nominale. Cette baisse du débit est principalement liée à la diminution de la consommation d'eau et du niveau d'occupation de la base durant cette période.

Sur cette base, l'exploitation hivernale peut être assurée par une seule unité DAF et six réacteurs SBR, sous réserve que la capacité hydraulique de l'unité DAF en service soit suffisante pour traiter le débit de 600 m<sup>3</sup>/j. En considérant une répartition équivalente de la capacité entre les réacteurs SBR, six réacteurs permettent de couvrir le débit hivernal estimé, tout en maintenant les performances épuratoires de la station. Toutefois, une rotation périodique des réacteurs est recommandée afin d'équilibrer les temps de fonctionnement des équipements et de préserver une disponibilité suffisante en cas de maintenance ou de dysfonctionnement.

Cette configuration permet de réduire la consommation énergétique liée aux équipements non utilisés, notamment les pompes, les systèmes d'aération et les auxiliaires associés. Elle contribue également à limiter l'usure des équipements et à réduire les besoins de maintenance durant les périodes de faible charge.

En période estivale, le débit influent augmente en raison de la hausse de la consommation d'eau et de l'occupation de la base. Dans ce cas, il est recommandé de mettre en service deux unités DAF ainsi que dix réacteurs SBR, afin d'assurer une capacité de traitement adaptée aux charges hydrauliques et organiques plus élevées.

Cette stratégie d'exploitation saisonnière permet donc d'adapter le nombre d'ouvrages en service aux conditions réelles d'exploitation. Elle doit cependant être accompagnée d'un suivi régulier des principaux paramètres de fonctionnement, notamment le débit, la DCO, la DBO<sub>5</sub>, les MES, le pH, l'oxygène dissous, l'indice volumique des boues et la qualité de l'eau traitée. Cette surveillance permet de vérifier que la réduction du nombre d'unités en service ne dégrade pas les performances épuratoires et que les eaux traitées restent conformes aux normes de rejet.

### 3.RESULTATS DE L'OPTIMISATION A L'AIDE DE GPS-X

**Tableau V.1 : Resultats De L'optimisation A L'aide De GPS-X**

| PARAMÈTRES               | entrée       | Sortie par GPS-X |
|--------------------------|--------------|------------------|
| débit(m <sup>3</sup> /j) | <b>600</b>   | <b>551</b>       |
| MES(mg/l)                | <b>142</b>   | <b>1.664</b>     |
| DCO(mg/l)                | <b>340</b>   | <b>11.26</b>     |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)  | <b>295.8</b> | <b>2.443</b>     |

Les simulations effectuées à l'aide du logiciel GPS-X ont démontré que l'adaptation du nombre d'unités de flottation à air dissous (DAF) et de réacteurs biologiques séquentiels (SBR) aux variations saisonnières du débit constitue une solution efficace pour optimiser le fonctionnement de la station d'épuration.

Les résultats obtenus indiquent qu'il est possible de maintenir des performances épuratoires élevées tout en réduisant la consommation d'énergie durant la période hivernale, grâce à l'exploitation d'un nombre limité d'ouvrages. En revanche, durant la période estivale, l'augmentation du nombre d'unités en service permet d'absorber les débits et les charges polluantes plus importants, tout en préservant la qualité des eaux traitées.

Cette approche d'optimisation permet ainsi d'améliorer la gestion opérationnelle de la station, de valoriser au mieux les équipements disponibles et de réduire les coûts énergétiques et d'exploitation. Elle contribue également à garantir la stabilité du procédé de traitement ainsi que le maintien des performances de dépollution dans différentes conditions de fonctionnement.

#### **4.CONCLUSION**

Les simulations effectuées à l'aide du logiciel GPS-X ont confirmé la pertinence de la stratégie d'exploitation saisonnière proposée, fondée sur l'utilisation d'une unité DAF et de six réacteurs SBR en période hivernale, puis de deux unités DAF et de dix réacteurs SBR en période estivale.

Les résultats obtenus montrent que cette approche permet d'adapter efficacement le fonctionnement de la station aux variations saisonnières des débits et des charges polluantes, tout en préservant un niveau élevé de performance épuratoire et la qualité des eaux traitées. Par ailleurs, la réduction du nombre d'ouvrages en service durant les périodes de faible charge contribue à diminuer la consommation énergétique ainsi que les coûts liés à l'exploitation et à la maintenance des équipements.

Cette stratégie d'optimisation offre ainsi une meilleure valorisation des infrastructures existantes et favorise une gestion plus efficiente des ressources disponibles. Elle constitue une solution fiable pour améliorer la performance globale de la station, assurer un fonctionnement durable et économiquement avantageux, tout en garantissant le respect des exigences réglementaires relatives à la qualité des rejets.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

L'objectif principal de ce mémoire était d'évaluer les performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées de la base IRARA à Hassi Messaoud et de proposer des pistes d'optimisation opérationnelle adaptées aux conditions réelles d'exploitation. Pour cela, l'étude s'est appuyée sur l'analyse des données de terrain, le calcul des rendements épuratoires et la modélisation par bilans de masse à l'aide du logiciel GPS-X et du modèle ASM1.

L'analyse des données collectées durant la période allant du 25/11/2025 au 25/12/2025 a montré que la station présente des performances globalement satisfaisantes pour les principaux paramètres étudiés. Les rendements moyens obtenus sont de 97 % pour la DBO<sub>5</sub>, 94 % pour la DCO et 91 % pour les MES. Ces résultats traduisent la bonne efficacité du procédé de traitement, notamment des réacteurs biologiques SBR, dans l'élimination de la pollution organique et des matières en suspension. Les concentrations résiduelles en sortie restent conformes aux normes algériennes de rejet, ce qui confirme la capacité de la station à assurer un traitement efficace des eaux usées.

La modélisation réalisée sous GPS-X a permis de représenter le fonctionnement général de la STEP et de comparer les résultats simulés aux données observées. Les résultats obtenus montrent une bonne concordance globale des tendances. Ainsi, le modèle développé constitue un outil utile pour l'analyse du fonctionnement de la station, l'évaluation de ses performances et l'étude de scénarios d'optimisation.

Dans le cadre de l'optimisation opérationnelle, une stratégie d'exploitation saisonnière a été proposée. En période hivernale, caractérisée par une baisse du débit influent estimé à environ 600 m<sup>3</sup>/j, l'exploitation d'une unité DAF et de six réacteurs SBR permettrait de maintenir des performances satisfaisantes tout en réduisant la consommation énergétique. En période estivale, lorsque les débits et les charges polluantes augmentent, la mise en service de deux unités DAF et de dix réacteurs SBR est recommandée afin de garantir une capacité de traitement suffisante et une stabilité du procédé.

Cette approche d'exploitation flexible permet d'adapter le fonctionnement de la station aux variations saisonnières des débits et des charges, tout en optimisant l'utilisation des équipements disponibles. Elle contribue également à la réduction des coûts d'exploitation, à la limitation de l'usure des équipements et à l'amélioration de l'efficacité énergétique globale de la station.

Afin de maintenir durablement les performances de la STEP IRARA, il est recommandé de renforcer le suivi des paramètres d'exploitation, notamment le débit, le pH, l'oxygène dissous, les MES, la DCO, la DBO<sub>5</sub> et l'indice volumique des boues. Il est également souhaitable d'enrichir la base de données par des mesures plus fréquentes de l'azote et du phosphore, afin de permettre une analyse plus complète du fonctionnement biologique. L'automatisation du pilotage de l'aération, à l'aide de sondes d'oxygène dissous et éventuellement de sondes NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, constitue aussi une perspective intéressante pour améliorer davantage l'efficacité énergétique du traitement.

En conclusion, ce travail a permis de confirmer les bonnes performances épuratoires de la STEP IRARA et de montrer l'intérêt de la modélisation par bilans de masse sous GPS-X comme outil d'aide à l'évaluation et à l'optimisation des stations d'épuration. Les résultats obtenus constituent

une base utile pour améliorer la gestion opérationnelle de la station, assurer la conformité des eaux traitées et contribuer à une exploitation plus durable et plus économique des installations.

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

**ADDOU (2009).** Traitement des déchets : valorisation, élimination. France : ellipses. 288 p.

**ADEM (2001).** Les boues chaulées des stations municipales : production, qualité et valeur agronomique. France : Adem. 224 p.

**ADLER (2005).** Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement. France. 120 p.

**AUSSEL Henri (2004).** Le traitement des eaux usées. Institut national de recherche et de la sécurité. Paris : Edition 5026. 58 p.

**BAUMONT Samuel et al. (2004).** Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île e-de-France. Rapport ORS. 220 p.

**BAUMONT, Samuel (2009).** Recyclage des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS. 137 p.

**BELINE Fabrice, DAUMER Marie-Line, GUIZIOU Fabrice (2004).** Biological aerobic treatment of pig slurry in France : nutrients removal efficiency and separation performances. Transactions of the ASAE. Vol. 47, n° 3, p.p. 857–864.

**BERAUD (2004).** Le technician d'analyses biologiques. Paris: Lavoisier. 2081 p.

**BERNE et CORDONNIER (1991).** Traitement des eaux.- Epuration des eaux résiduaires de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération. Paris : Technip. 306 p.

**BOLLERM, GUJERW, TSCHUIM (1994).** Parameters Affecting Nitrifying Biofilm Reactors. Water Science and Ttechnology. Vol. 29, n° 10-11, p.p. 1-11.

**BONGIOVANNI, Jean-Marc (1998).** Traitement des boues résiduaires par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique. Thèse de doctorat : Physique. France : Université de Pau et des Pays de l'Adour, 248 p.

**BOURRIER, SATIN, SELMI (2010).** Guide technique de l'assainissement. 4ème édition. Paris : le moniteur référence technique. 776 p.

**CORNICE (1992).** Conditionnement et traitement des boues des stations d'épuration des eaux résiduaires urbaines et des usines de production d'eau potable. Institut National Agronomique de Paris, cycle "Valorisation agricole des déchets des usines de traitement des eaux".

**DEGREMONT (1978).** Mémento technique de l'eau. 8ème édition. Paris : Degrémont. 1200 p.

- DEGREMONT (2005).** Mémento technique de l'eau. 10ème édition. Paris : Lavoisier. 1718 p.
- DERONZIER (2004).** Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées : Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. Lyon : Cémagref. 49 p.
- DUCHENE (1990).** Les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. 9ème édition. Paris : Cémagref. 84 p.
- DUDLEY, GUENTZEL, IBARRA, BARBARA (1980).** Enumeration of potentially pathogenic bacteria from sewage sludges. Paris : Eyrolles. 118p-126p.
- FAO (2003).** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. Food and Agriculture Organisation. 73 p.
- GALAF F et GHANNAM S (2003).** Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur : Halieutique. Rabat, Maroc : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 101 p.
- GOMELLA et GUERREE (1978).** Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. 2ème édition. Paris : Eyrolles. 262 p.
- GOUJAUS (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2ème édition. Paris : Tech & Doc Lavoisier. 220 p.
- GROSCLAUDE (1999).** L'eau, usages et polluants, Tome II. Paris : INRA. 203 p.
- GUIRAUD (1998).** Microbiologie alimentaire. Paris : Dunod. 651 p.
- Henze Et al (1987).** Activated Sludge Model No. 1. IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1. London : IAWPRC. 33 p.
- HOOSHYARI B, AZIMI A, MEHRDADI N (2009).** Kinetic analysis of enhanced biological phosphorus removal in a hybrid integrated fixed film activated sludge process. International Journal of Environmental Science and Technology. Vol. 6, n° 1, p.p. 149-158.
- IDRISSI Youssef-Azami et al. (2015).** Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal -Maroc-. International Journal of Innovation and Applied Studies. Vol. 11, n° 3, p.p. 556-566.
- JARDE, Emilie (2002).** Composition organique des boues résiduelles de station d'épuration Lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse de doctorat : Géochimie environnementale. Nancy, France : université Henri Poincaré, 267 p.

**KAROUNE, Samira (2008).** Effets des boues résiduelles sur le développement des semis du chêne liège (*Quercus suber* L).Thèse de doctorat : Biologie végétale. Constantine : Université Mentouri, 244 p.

**KING E-O, WARD M-K, RANEY D-E (1954).** Two simple média for the démonstration of pyocyanin and fluorescein.The Journal of Laboratory and Clinical Medicine. Vol. 44, n° 2,

**KOLLER (2004).** Traitement des boues issues de l'épuration. Paris : Dunod. 115 p.

**KOLLER (2009).** Traitement des pollutions industrielles. 2ème édition. Paris : Dunod. 576 p.

**KRÜHNE, Ulrich (2000).** Stabilisation of biological phosphorus removal from municipal wastewater. Thèse de doctorat : Chemical Engineering. Copenhagen, Danemark : Université technique du Danemark, p.p. 51-53.

**LARTIGES, Bruno-S (1994).** Déstabilisation d'une suspension de silice colloïdale par un sel d'aluminium. Relation entre les phénomènes de surface, la structure et la granulométrie des floes. Thèse de doctorat : Géosciences et matières premières. Lorraine, France : Institut National Polytechnique de Lorraine, 123 p.

**LEBBOUKH, Abdelkader (2003).** Etude de la méthodologie de l'irrigation à partir des eaux épurées « pratiques et réglementations ». Mémoire d'ingénieur : Hydraulique. Tlemcen : Université de Tlemcen, 93 p.

**LIBES (2010).** Les eaux usées et leur épuration. France. 17 p.

**METCALF et EDDY (2003).** Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4èmeédition. New York : McGraw-Hill Education. 1819 p.  
p.p. 301-307.

**REJSEK (2002).** Analyse de l'eau : Aspects et règlementaire et technique. Paris : CRDP d'Aquitaine. 358 p.

**RODIER (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, les eaux usées résiduelles, eau de mer. 8ème édition. Paris : Dunod. 1383 p.

**RODIER et al. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. 8ème édition. Paris, France : Dunod. 1383 p.

**RODIER, LEGUBE, MERLET (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. 9ème édition. Paris : Dunod. 1526 p.

**SCHAECHTER (1999).** Microbiologie et pathologie infectieuse. Paris : Bruxelles de Boeck université. 973 p.

**SEAAL (2006).** Epuration des eaux. [ en ligne] [Consulté le 01/04/2021]. Disponible sur le web :<<http://www.seaal.dz/qui-sommes-nous/metiers/assainissement/epuration-des-eaux/>>.

**SILMAN, SY (2003).** Etude de réhabilitation de la station d'épuration de Saly Portudal. Mémoire d'ingénieur : Hydraulique. Dakar, Sénégal : Université Cheikh Antadiop, 119 p.

**SONATRACH (2020).** Documents internes ( mémoire générale) de la station d'épuration des eaux usées de la base de vie IRARA. Hassi Messaoud.

**TAUZIN et JUSTE (1986).** Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93 ministère de l'environnement. 158 p.

**ZEGHOUD, Mohamed Seifeddine (2014).** Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire de master : Hydraulique. El-Oued : Université d'El-Oued, 90 p.

# Annexes

Résultats d'analyses pour 25/11/2025 à 25/12/2025 (température-pH)

| Date       | T entrée(°C) | T sortie (°C) | pH entrée | pH sortie |
|------------|--------------|---------------|-----------|-----------|
| 25/11/2025 | 19.6         | 17.9          | 7.42      | 7.40      |
| 26/11/2025 | 20.5         | 17.9          | 7.60      | 7.75      |
| 27/11/2025 | 20.4         | 23.1          | 7.58      | 7.73      |
| 28/11/2025 | 20.2         | 23.1          | 7.73      | 7.85      |
| 29/11/2025 | 18.3         | 17.9          | 7.67      | 7.75      |
| 30/11/2025 | 22.6         | 25.9          | 7.40      | 7.92      |
| 01/12/2025 | 19.5         | 17.9          | 7.39      | 7.86      |
| 02/12/2025 | 20.3         | 23.1          | 7.51      | 7.74      |
| 03/12/2025 | 20.3         | 23.1          | 7.51      | 7.36      |
| 04/12/2025 | 18.6         | 17.9          | 7.65      | 7.59      |
| 05/12/2025 | 20.5         | 23.1          | 7.56      | 7.33      |
| 06/12/2025 | 20.8         | 23.1          | 7.36      | 7.33      |
| 07/12/2025 | 20.0         | 17.9          | 7.31      | 7.16      |
| 08/12/2025 | 20.5         | 23.1          | 7.61      | 7.50      |
| 09/12/2025 | 20.3         | 17.9          | 7.40      | 7.36      |
| 10/12/2025 | 20.0         | 17.9          | 7.45      | 7.50      |
| 11/12/2025 | 20.0         | 17.9          | 7.62      | 7.42      |
| 12/12/2025 | 19.8         | 17.9          | 7.33      | 7.42      |
| 13/12/2025 | 20.4         | 23.1          | 7.57      | 7.52      |
| 14/12/2025 | 21.3         | 23.1          | 7.15      | 7.47      |
| 15/12/2025 | 21.3         | 23.1          | 7.40      | 7.46      |
| 16/12/2025 | 20.6         | 23.1          | 7.44      | 7.39      |
| 17/12/2025 | 20.3         | 23.1          | 7.47      | 7.47      |
| 18/12/2025 | 19.9         | 17.9          | 7.46      | 7.45      |
| 19/12/2025 | 19.2         | 17.9          | 7.47      | 7.42      |
| 20/12/2025 | 18.9         | 17.9          | 7.49      | 7.51      |
| 21/12/2025 | 20.4         | 23.1          | 7.46      | 7.46      |
| 22/12/2025 | 19.2         | 17.9          | 7.32      | 7.58      |
| 23/12/2025 | 18.5         | 17.9          | 7.55      | 7.61      |
| 24/12/2025 | 18.9         | 17.9          | 7.41      | 7.49      |
| 25/12/2025 | 19.3         | 17.9          | 7.37      | 7.33      |

# Résultats d'analyses de (MES-DCO-DBO5)

| Date       | DBO5_entree_mg/L | DCO_entree_mg/L | MES_entree_mg/L | DBO5_sortie_mg/L | DCO_sortie_mg/L | MES_sortie_mg/L |
|------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 25/11/2025 | 320              | 1500            | 2442            | 17.0             | 40              | 17              |
| 26/11/2025 | 320              | 1500            | 3507            | 17.2             | 56              | 17              |
| 27/11/2025 | 320              | 1500            | 2759            | 17.5             | 61              | 14              |
| 28/11/2025 | 320              | 1500            | 2500            | 17.0             | 30              | 24              |
| 29/11/2025 | 320              | 1435            | 198             | 12.8             | 31              | 13              |
| 30/11/2025 | 320              | 416             | 921             | 14.8             | 35              | 16              |
| 01/12/2025 | 437              | 948             | 1177            | 18.0             | 47              | 27              |
| 02/12/2025 | 320              | 699             | 1083            | 20.6             | 38              | 25              |
| 03/12/2025 | 320              | 1149            | 170             | 25.5             | 62              | 28              |
| 04/12/2025 | 320              | 372             | 91              | 18.5             | 45              | 30              |
| 05/12/2025 | 320              | 244             | 107             | 16.1             | 27              | 17              |
| 06/12/2025 | 320              | 249             | 132             | 14.1             | 28              | 20              |
| 07/12/2025 | 320              | 200             | 110             | 20.2             | 45              | 15              |
| 08/12/2025 | 320              | 350             | 300             | 13.0             | 35              | 10              |
| 09/12/2025 | 320              | 400             | 327             | 14.7             | 38              | 27              |
| 10/12/2025 | 320              | 380             | 92              | 14.1             | 36              | 27              |
| 11/12/2025 | 320              | 370             | 92              | 15.0             | 35              | 27              |
| 12/12/2025 | 320              | 360             | 266             | 17.2             | 34              | 22              |
| 13/12/2025 | 304              | 350             | 211             | 19.2             | 33              | 20              |
| 14/12/2025 | 320              | 640             | 476             | 18.0             | 49              | 20              |
| 15/12/2025 | 320              | 500             | 393             | 18.9             | 42              | 25              |
| 16/12/2025 | 320              | 450             | 397             | 21.0             | 40              | 17              |
| 17/12/2025 | 320              | 400             | 237             | 17.0             | 38              | 21              |
| 18/12/2025 | 374              | 380             | 138             | 16.8             | 36              | 19              |
| 19/12/2025 | 320              | 350             | 225             | 17.3             | 35              | 33              |
| 20/12/2025 | 320              | 340             | 250             | 18.0             | 34              | 25              |
| 21/12/2025 | 484              | 804             | 338             | 10.2             | 12              | 11              |
| 22/12/2025 | 320              | 550             | 300             | 13.5             | 40              | 20              |
| 23/12/2025 | 320              | 500             | 280             | 25.0             | 45              | 25              |
| 24/12/2025 | 320              | 480             | 260             | 18.0             | 42              | 22              |
| 25/12/2025 | 320              | 588             | 263             | 15.7             | 43              | 17              |

**Tableau : Matrice de Petersen du modèle ASM1 (GPS-X Technical Reference, Hydromantis, Annexe A)**

| ASM1 in CNLIB |                              |                                                       |                                                         |                                                           |                                                                       |                                                       |                                                     |                                                                     |                                    |                                                     |                                         |                                                       |                                                                   |                                                        |                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Component     | <i>i</i>                     | 1<br><i>S<sub>I</sub></i>                             | 2<br><i>S<sub>S</sub></i>                               | 3<br><i>X<sub>I</sub></i>                                 | 4<br><i>X<sub>S</sub></i>                                             | 5<br><i>X<sub>B,H</sub></i>                           | 6<br><i>X<sub>B,A</sub></i>                         | 7<br><i>X<sub>U</sub></i>                                           | 8<br><i>S<sub>O</sub></i>          | 9<br><i>S<sub>NO</sub></i>                          | 10<br><i>S<sub>NH</sub></i>             | 11<br><i>S<sub>ND</sub></i>                           | 12<br><i>X<sub>ND</sub></i>                                       | 13<br><i>S<sub>ALK</sub></i>                           | Process rate                                                                                                                                                                                                     |
| <i>j</i>      | Process                      |                                                       |                                                         |                                                           |                                                                       |                                                       |                                                     |                                                                     |                                    |                                                     |                                         |                                                       |                                                                   |                                                        |                                                                                                                                                                                                                  |
| 1             | Aerobic growth heterotrophs  |                                                       | $-\frac{1}{Y_H}$                                        |                                                           |                                                                       | 1                                                     |                                                     |                                                                     | $-\frac{1-Y_H}{Y_H}$               |                                                     | $-i_{XB}$                               |                                                       |                                                                   | $-\frac{i_{XB}}{14}$                                   | $\mu_{mH} \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{B,H}$                                                                                                                  |
| 2             | Anoxic growth heterotrophs   |                                                       | $-\frac{1}{Y_H}$                                        |                                                           |                                                                       | 1                                                     |                                                     |                                                                     | $-\frac{1-Y_H}{2.86Y_H}$           |                                                     | $-i_{XB}$                               |                                                       |                                                                   | $-\frac{1-Y_H}{14 \times 2.86Y_H} - \frac{i_{XB}}{14}$ | $\mu_{mH} \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_s X_{B,H}$                                                          |
| 3             | Aerobic growth autotrophs    |                                                       |                                                         |                                                           |                                                                       |                                                       | 1                                                   |                                                                     | $-\frac{4.57-Y_A}{Y_A}$            | $\frac{1}{Y_A}$                                     | $-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$               |                                                       |                                                                   | $-\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7Y_A}$                  | $\mu_{mA} \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{S_O}{K_{OA} + S_O} \right) X_{B,A}$                                                                                                         |
| 4             | Decay heterotrophs           |                                                       |                                                         | $1-f_p$                                                   | $-1$                                                                  |                                                       |                                                     | $f_p$                                                               |                                    |                                                     |                                         |                                                       | $i_{XB} - f_p i_{XP}$                                             |                                                        | $b_H X_{B,H}$                                                                                                                                                                                                    |
| 5             | Decay autotrophs             |                                                       |                                                         | $1-f_p$                                                   |                                                                       |                                                       | $-1$                                                | $f_p$                                                               |                                    |                                                     |                                         |                                                       | $i_{XB} - f_p i_{XP}$                                             |                                                        | $b_A X_{B,A}$                                                                                                                                                                                                    |
| 6             | Ammonification               |                                                       |                                                         |                                                           |                                                                       |                                                       |                                                     |                                                                     |                                    |                                                     | 1                                       | $-1$                                                  |                                                                   | $\frac{1}{14}$                                         | $k_a S_{ND} X_{B,H}$                                                                                                                                                                                             |
| 7             | Hydrolysis organic compounds |                                                       | 1                                                       |                                                           | $-1$                                                                  |                                                       |                                                     |                                                                     |                                    |                                                     |                                         |                                                       |                                                                   |                                                        | $k_H \frac{X_S / X_{B,H}}{K_X + X_S / X_{B,H}} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H}$ |
| 8             | Hydrolysis organic N         |                                                       |                                                         |                                                           |                                                                       |                                                       |                                                     |                                                                     |                                    |                                                     |                                         | 1                                                     | $-1$                                                              |                                                        | $\rho_f (X_{Nf} / X_S)$                                                                                                                                                                                          |
|               |                              | biodegradable soluble matter (g COD m <sup>-3</sup> ) | easily biodegradable substrate (g COD m <sup>-3</sup> ) | particulate biodegradable matter (g COD m <sup>-3</sup> ) | biodegradable slowly biodegradable substrate (g COD m <sup>-3</sup> ) | Active heterotrophic biomass (g COD m <sup>-3</sup> ) | Active autotrophic biomass (g COD m <sup>-3</sup> ) | biodegradable particulates from cell decay (g COD m <sup>-3</sup> ) | Oxygen (g (-COD) m <sup>-3</sup> ) | Nitrate and Nitrite nitrogen (g N m <sup>-3</sup> ) | Ammonia nitrogen (g N m <sup>-3</sup> ) | biodegradable organic nitrogen (g N m <sup>-3</sup> ) | particulate biodegradable organic nitrogen (g N m <sup>-3</sup> ) | Alkalinity (mole m <sup>-3</sup> )                     |                                                                                                                                                                                                                  |

## RÉSUMÉ

Cette étude porte sur la modélisation par bilans de masse de la STEP de la base de vie IRARA à Hassi Messaoud, d'une capacité de 1 000 m<sup>3</sup>/jour et fonctionnant selon la technologie SBR. L'objectif est d'évaluer les performances épuratoires et d'optimiser l'exploitation de la station. Les résultats expérimentaux ont montré des rendements élevés de 97 % pour la DBO5, 94 % pour la DCO et 91 % pour les MES. La modélisation a été réalisée avec le logiciel GPS-X en utilisant le modèle ASM1. Après calage, les simulations ont reproduit fidèlement les données réelles avec des écarts inférieurs à 5 %. Une stratégie d'optimisation saisonnière a permis de réduire la consommation énergétique en hiver tout en maintenant les performances de traitement. En été, l'augmentation du nombre d'unités en service assure une capacité adaptée aux fortes charges hydrauliques. Les résultats confirment l'intérêt de la modélisation comme outil fiable pour l'évaluation et l'optimisation des stations d'épuration.

**Mots-clés :** STEP, SBR, modélisation, bilans de masse, GPS-X, ASM1, performances épuratoires, optimisation opérationnelle, Hassi Messaoud.

## المخلص

تتناول هذه الدراسة نمذجة محطة معالجة المياه المستعملة (STEP) بقاعدة الحياة إرارة بحاسي مسعود، ذات قدرة 1000 م<sup>3</sup>/يوم، والتي تعتمد على تقنية المفاعلات البيولوجية المتتابعة (SBR). يهدف هذا العمل إلى تقييم كفاءة المعالجة وتحسين استغلال وتشغيل المحطة. أظهرت النتائج التجريبية مردوداً مرتفعاً بلغ 97% للـ DBO5 و94% للـ DCO و91% للمواد العالقة (MES). تمت النمذجة باستخدام برنامج GPS-X بالاعتماد على نموذج ASM1. وبعد المعايرة، أعطت المحاكاة توافقاً جيداً مع البيانات الحقيقية مع فروقات أقل من 5%. كما سمحت استراتيجية التحسين الموسمي بتقليل استهلاك الطاقة في فصل الشتاء مع الحفاظ على كفاءة المعالجة. وفي فصل الصيف يضمن رفع عدد الوحدات التشغيلية قدرة مناسبة لمواجهة الأحمال الهيدروليكية المرتفعة. تؤكد النتائج أهمية النمذجة كأداة فعالة لتقييم وتحسين أداء محطات المعالجة.

**الكلمات المفتاحية:** STEP، SBR، النمذجة، موازين الكتلة، GPS-X، ASM1، كفاءة المعالجة، التحسين التشغيلي، حاسي

مسعود.

## **ABSTRACT**

This study focuses on the mass balance modelling of the wastewater treatment plant (WWTP) of the IRARA base camp in Hassi Messaoud, with a treatment capacity of 1,000 m<sup>3</sup>/day, operating using Sequencing Batch Reactor (SBR) technology. The aim of this work is to assess the treatment performance and optimize the plant's operation. Experimental results showed high removal efficiencies of 97% for BOD<sub>5</sub>, 94% for COD, and 91% for suspended solids (SS). The modelling was carried out using the GPS-X software based on the ASM1 model. After calibration, the simulation results showed good agreement with measured data, with deviations below 5%. A seasonal optimization strategy also helped reduce energy consumption in winter while maintaining treatment efficiency. In summer, increasing the number of operating units ensures adequate capacity to handle higher hydraulic loads. The results confirm that modelling is an effective tool for evaluating and improving wastewater treatment plant performance.

**Keywords:** WWTP, SBR, modelling, mass balances, GPS-X, ASM1, treatment performance, operational optimization, Hassi Messaoud.