

Développement d'un code de diagnostic automatique pour le traitement tertiaire des boues: implémentation et application sur Visual Studio

Zineb Benqassaba, Jamal Eddine Jellal

Laboratoire de Génie Civil – Structure Traitement des Eaux,
École Mohammedia d'Ingénieurs – Rabat (Maroc)



Abstract

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC DIAGNOSTIC CODE FOR TERTIARY SLUDGE TREATMENT: IMPLEMENTATION AND APPLICATION ON VISUAL STUDIO

Morocco, a country facing a high risk of water stress, must adopt innovative strategies to address water scarcity. Wastewater treatment, coupled with sludge valorization, offers an integrated approach to improve water resource management and promote sustainable agriculture. Tertiary wastewater treatment is a critical step, aimed at enhancing the quality of discharged water and reducing environmental and health risks. This article presents a diagnostic analysis of sludge treatment in wastewater treatment plants. Untreated sludge may contain pathogens, heavy metals, toxic chemicals, and other contaminants. When these sludges are discharged into watercourses or reservoirs,

Le Maroc, un pays confronté à un risque élevé de stress hydrique, doit adopter des stratégies innovantes pour faire face à la pénurie d'eau. Le traitement des eaux usées, associé à la valorisation des boues, constitue une approche intégrée pour améliorer la gestion des ressources en eau et promouvoir une agriculture durable. Cet article propose une analyse diagnostique du traitement des boues dans les stations d'épuration. Les boues non traitées peuvent contenir des pathogènes, des métaux lourds, des produits chimiques toxiques et d'autres contaminants. Lorsque ces boues sont rejetées dans les cours d'eau ou les réservoirs, elles peuvent contaminer l'eau potable et altérer sa qualité.

L'étude se concentre sur trois étapes clés du traitement des boues: l'épaississement, la digestion et la déshydratation. La méthodologie diagnostique utilisée permet de détecter les failles dans chaque procédé et vise à identifier les points d'amélioration potentiels, tout en proposant des solutions pour optimiser le traitement des boues.

Mots-clés: stress hydrique, pénurie, boues, traitement tertiaire, eaux usées, qualité, analyse, pathogènes, métaux lourds, produits chimiques toxiques, contaminants, épaississement, digestion, déshydratation, optimisation.

INTRODUCTION

Les eaux usées passent par une série de traitements séquentiels en trois étapes, généralement appelées primaire, secondaire et tertiaire [1,2]. En raison de la pénurie de sources d'eau et de ses conséquences critiques [3,4] le besoin de récupération de l'eau est de plus en plus important. La problématique du rejet de boues sans traitement, ainsi que leur accumulation dans le milieu naturel représente un défi environnemental complexe. Lorsque les boues issues des stations d'épuration sont rejetées

sans traitement, elles peuvent s'accumuler dans les sols et les eaux, entraînant une pollution progressive et potentiellement grave. Ces boues contiennent souvent des contaminants tels que des métaux lourds, des pathogènes et des substances chimiques [5,6], qui peuvent altérer la qualité des sols, des nappes phréatiques et des écosystèmes aquatiques. L'accumulation prolongée de ces boues contribue également à la dégradation des habitats naturels et peut nuire à la biodiversité. Le traitement tertiaire est la dernière étape du traitement

they can contaminate drinking water and impair its quality.

The study focuses on three key stages of sludge treatment: thickening, digestion, and dewatering. The diagnostic methodology employed allows for the detection of process flaws and aims to identify potential improvement points, while proposing solutions to optimize sludge treatment.

Keywords: water stress, scarcity, sludge, tertiary treatment, wastewater, quality, analysis, pathogens, heavy metals, toxic chemicals, contaminants, thickening, digestion, dewatering, optimization.

des eaux usées, qui consiste à traiter les boues. Il s'agit d'une étape supplémentaire qui vise à améliorer encore la qualité de l'eau [7,8].

Parmi les aspects essentiels du traitement des boues, l'épaississement, la digestion et la déshydratation des boues. L'épaississement, qu'il soit statique ou dynamique, sert à concentrer les boues, recevant les extractions de boues secondaires avant mélange avec les boues primaires en vue du traitement ultérieur, il réduit le volume initial liquide et augmente la concentration de solides d'environ 1 % à 2-10 % [9]. Tandis que la digestion, aussi appelée méthanisation [10], permet de stabiliser les matières organiques, de réduire le volume des boues et les transformer en biogaz [11]. Enfin, la déshydratation est une étape essentielle pour réduire le volume des boues finales [12]. Nous nous focaliserons sur la déshydratation mécanique, y compris la centrifugation et la filtration à bandes, qui exploitent respectivement la force centrifuge et la filtration sous pression pour séparer l'eau des solides [13].

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin d'assurer le bon fonctionnement d'un procédé, il est essentiel de prendre en compte divers paramètres de vérification et de dimensionnement.

PARAMÈTRES CLÉS DE VÉRIFICATION ET DE DIMENSIONNEMENT:
Epaississeur

L'épaississeur soit dynamique ou statique, repose sur la validation de certains paramètres essentiels comme: le taux de capture, la charge surfacique et le temps de séjour. Le taux d'élimination des matières sèches, calculé à l'aide de la formule suivante, influence directement l'efficacité globale du processus de digestion:

$$\text{Taux d'élimination MS (\%)} = \frac{(\text{MS influente} - \text{MS effluent})}{\text{MS influente}} \times 100$$

Avec:

MS influente: concentration de matières sèches dans les boues entrantes (en kg MS/m³)

MS effluent: concentration de matières sèches dans les boues sortantes (en kg MS/m³)

Le taux d'élimination des MS se concentre sur la quantité de matières sèches retirées du système.

Le taux de capture de la matière sèche d'un épaisseur mesure son efficacité à concentrer les solides en réduisant l'eau. Un taux élevé (90-95 % idéalement) signifie une meilleure concentration des solides et moins de volume de boues [14]. Le taux de capture est calculé par cette formule:

$$\text{Taux de capture TC (\%)} = \frac{(\text{MS influent} - \text{MS effluente})}{\text{MS influente}} \times 100$$

Le taux de capture évalue l'efficacité de l'épaississeur à concentrer les solides en diminuant le volume d'eau.

Le temps de séjour typique qui définit le rapport entre le volume des épaisseurs et le débit journalier de boues introduites, est de 1 à 2 jours [15,16]. Pour un épaisseur statique la charge surfacique exprimée en Kg de matières sèches par mètre carré et par jour (Kg MS/m².j), est calculée par l'équation suivante:

$$C_s = \frac{Q \times C}{A \times t}$$

où:

Q = Débit d'alimentation en boues (m³/j)

C = Concentration en matière sèche des boues (kg MS/m³)

A = Surface de l'épaississeur (m²)

t = Temps de séjour (j)

Cette charge varie selon le type de boues. Pour les boues primaires elle se situe généralement entre 75 et 120 Kg MS/m².j, pour les boues mixtes, elle est comprise entre 45 et 75 Kg MS/m².j et finalement pour les boues secondaires (biologiques), la charge surfacique est entre 25 et 35 Kg MS/m².j [15]. Pour assurer l'efficacité d'un épaisseur dynamique, il ne faut pas dépasser une charge surfacique de 100 Kg MS/m².j, afin de maintenir une performance optimale. En parallèle, pour améliorer le processus de séparation des particules en suspension du liquide, des polymères sont souvent utilisés. Le dosage recommandé pour ces polymères est supérieur à 2 kg PE/T MS. De plus la pression de pressurisation est généralement contrôlée pour optimiser l'efficacité de la séparation des solides et

du liquide. Elle est comprise entre 4 et 5 bars [13]. L'épaisseur dynamique basé sur le principe de flottation présente l'avantage de ne soumettre le système à aucune contrainte géométrique, contrairement à l'épaisseur statique, qui impose des contraintes spécifiques. Une hauteur de 3,5 à 4 mètres est préconisée pour le bassin de décantation, en tenant compte du volume de stockage, afin de faciliter le tassement de la boue [16]. La pente du fond doit être maintenue entre 10 % et 20 % et le diamètre inférieur varie de 7 à 30m.

Digestion

Le bon fonctionnement du digesteur est assuré si le rendement d'élimination des matières en suspension (MES) dépasse 40 % et si la concentration en méthane du biogaz produit est supérieure à 50 % [13]. Le taux d'élimination des MES se calcule selon :

$$\text{Taux d'élimination MS} = \frac{(\text{MS influente} - \text{MS effluent})}{\text{MS influente}} \times 100$$

Avec :

MES influente: Concentration en MES dans les boues entrantes en (en kg MS/m³)

MES effluente: Concentration en MES dans les boues sortantes en (en kg MS/m³)

Pour chaque kilogramme de matière organique (MO) traitée, la production de biogaz est d'environ 0,9 à 1,1 mètres cubes. Pour calculer la production totale de biogaz en fonction de la matière organique traitée, vous pouvez utiliser la formule suivante :

$$\text{Ratio de biogaz (m}^3/\text{kg)} = \frac{\text{Volume de biogaz produit (m}^3\text{)}}{\text{Quantité de MO traitée (kg)}}$$

La charge volumique doit respecter un ratio de $1 \leq C_v \leq 4$ kg MS/m³.j selon le type de boues fraîches, elle est donnée par l'expression suivante :

$$\text{Charge volumique (Cv)} = \frac{Q \times MS}{V}$$

Où :

Cv: Charge volumique exprimée en kg MS/m³.j

Q: Débit de boues (m³/j)

MS: Concentration de matières sèches influente (kg MS/m³)

V: Volume du digesteur (m³)

La température doit être maintenue autour de 35°C [16]. Le pH optimal se situe entre 6 et 8 et peut être ajusté par l'ajout de soude ou de bicarbonate de sodium; des variations de pH peuvent perturber le processus. Le rapport entre les Acides Gras Volatils (AGV) et l'Alcalinité Totale (TAC), doit être compris entre 0,2 et 0,4. Le temps de séjour hydraulique recommandé est de 1 à 2 jours. Enfin, une seule contrainte géométrique doit être respectée: le diamètre du digesteur doit être inférieur à 35 mètres.

Déshydratation :

La déshydratation mécanique des boues est la méthode préférée en raison de sa simplicité, de sa faible consommation d'énergie [17], de ses coûts réduits et de sa flexibilité. Ce type de déshydratation repose sur des processus physiques plutôt que chimiques pour réduire le volume d'eau dans les boues [18]. Les méthodes mécaniques couramment utilisées sont les filtres à bandes et la centrifugation.

Les filtres à bandes sont conçus pour atteindre une siccité minimale de 20 % [16], ce qui signifie que le taux de solidification ou de déshydratation des boues est significatif. La siccité est représentée par la relation suivante :

$$\text{Siccité finale (\%)} = \frac{\text{Masse de la matière sèche sortante}}{\text{Masse totale finale}} \times 100$$

La filtration est effectuée à l'aide de bandes filtrantes sur lesquelles les boues passent sous pression. La pression de lavage, réglée entre 4 et 6 bars, aide à extraire le liquide restant. La vitesse de la toile, ajustable entre 1 et 5 mètres par minute, permet de réguler le débit et l'efficacité de la filtration. En outre, des polymères sont souvent utilisés pour améliorer l'agglomération des particules en suspension, facilitant ainsi leur séparation du liquide et optimisant le rendement du filtre.

La centrifugeuse offre également des performances optimisées lorsqu'elle est réglée correctement. La vitesse du bol de la centrifugeuse est généralement exploitée à environ 85-90 % de la vitesse maximale de l'équipement, ce qui permet d'assurer une séparation efficace des solides et des liquides. La vitesse différentielle (Vr), qui est réglée par le couple de la machine, joue un rôle important dans l'évacuation

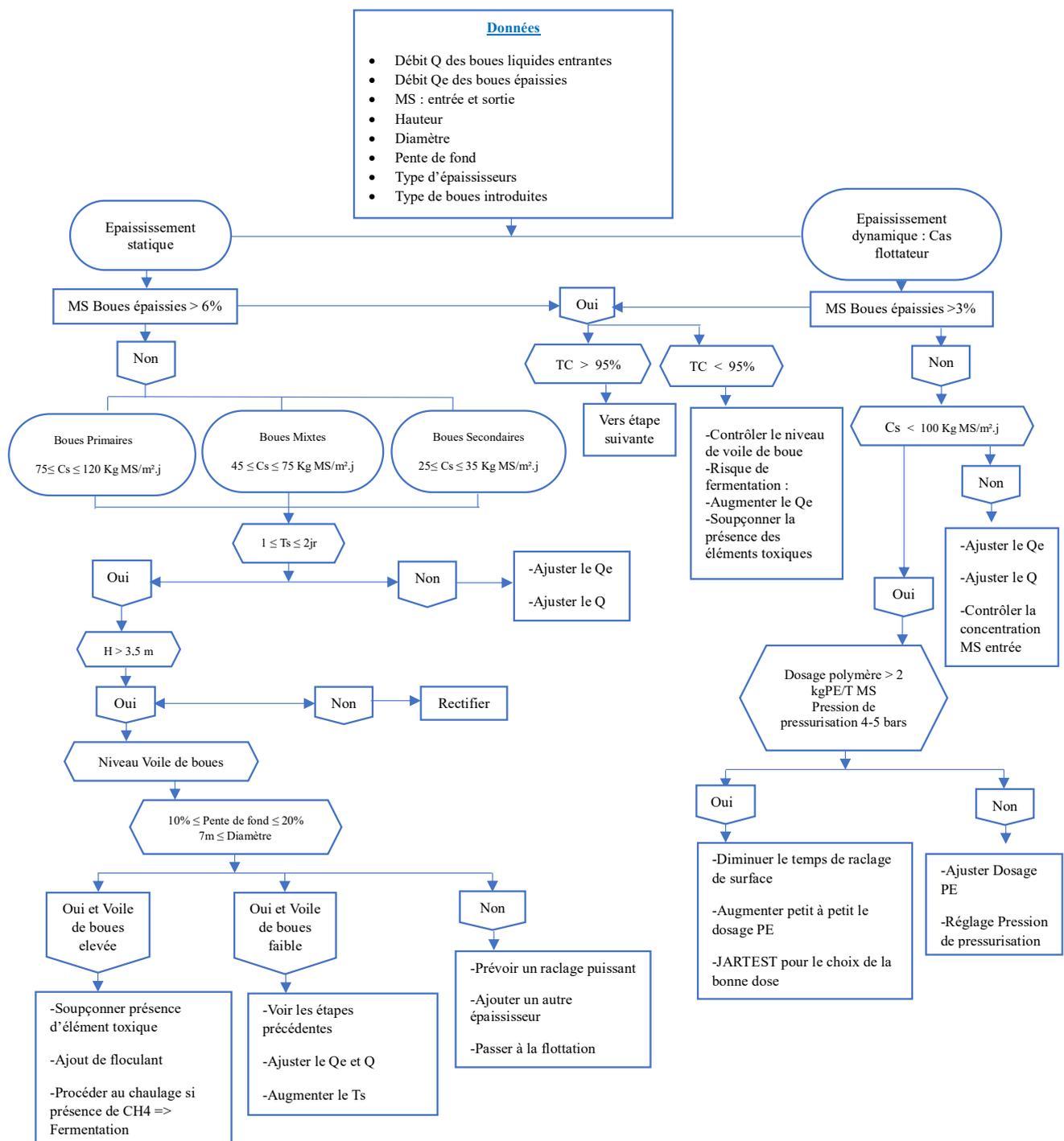
des solides. La vitesse de convoyage ajustable, entre 1 et 5 tours par minute, est modifiée en fonction du couple pour maintenir un fonctionnement optimal.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

ORGANIGRAMMES DE DIAGNOSTIC

L'organigramme des boues relatifs à l'épaisseur expose l'approche diagnostique adoptée, en détaillant les étapes clés du processus et les critères d'évaluation utilisés pour optimiser l'efficacité du traitement.

Organigramme 1: Organigramme de l'épaisseur

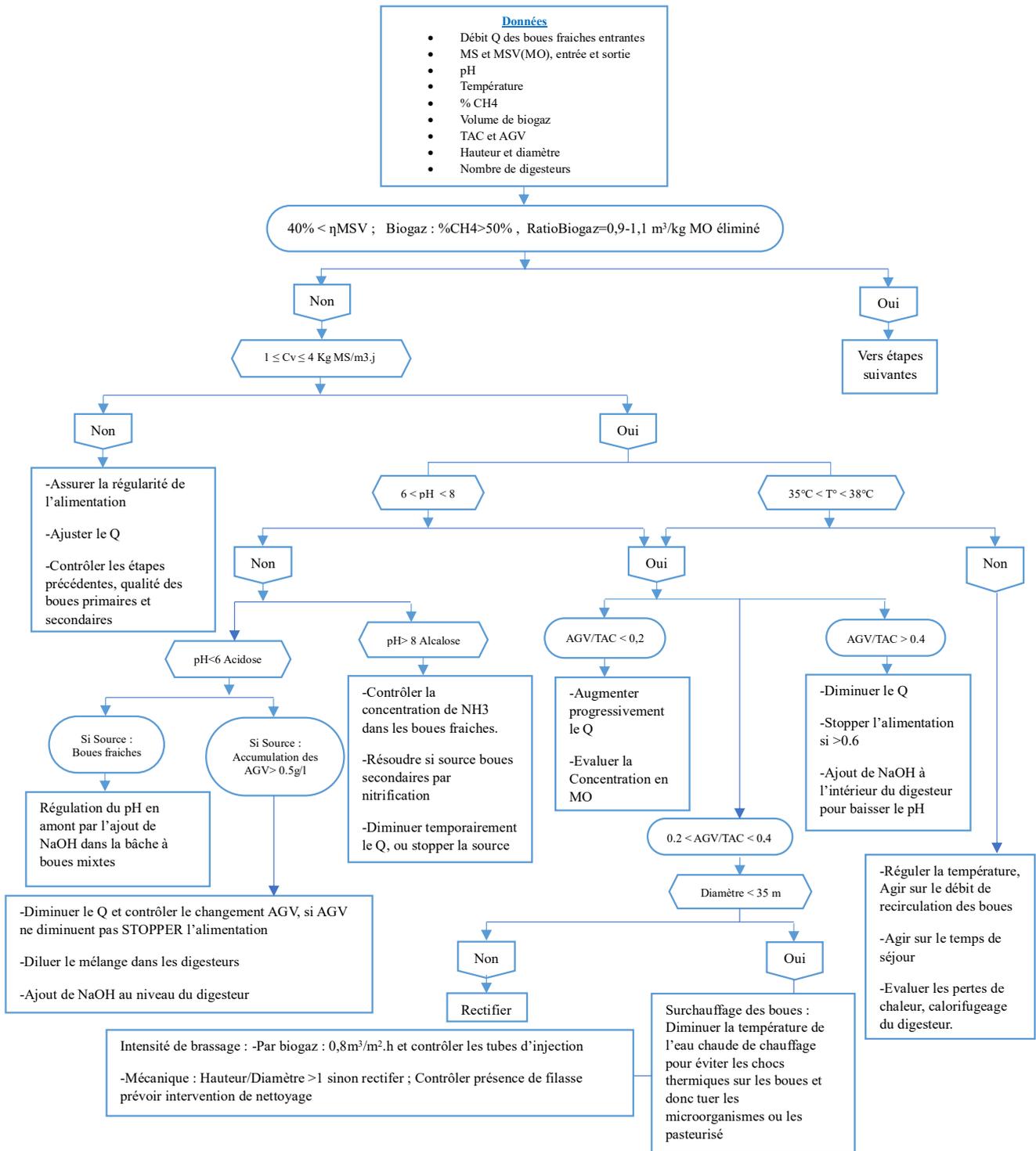


Dans notre étude sur le traitement des boues épaissies, le choix entre les procédés statique et dynamique dépend principalement du pourcentage de matières sèches et du taux de capture (TC). Un TC supérieur à 95 % permet de continuer sans ajustements majeurs. Si le TC est inférieur, il faut évaluer et ajuster divers paramètres. Pour les épaisseurs statiques, des problèmes peuvent apparaître si la charge surfacique ou le temps de séjour est incorrect.

Cela nécessite des ajustements des débits et éventuellement l'ajout de flocculant. La détection de méthane indique la nécessité d'un chaulage, et un voile de boues faible requiert des réajustements ou, si nécessaire, l'installation d'un système de raclage ou l'ajout d'un épaisseur supplémentaire. Pour les épaisseurs dynamiques, il est crucial de vérifier le TC, la charge surfacique, et la concentration des matières sèches. Des ajustements doivent être

faits si les conditions ne sont pas respectées, notamment en ce qui concerne le dosage de polymère et la pression de pressurisation, pour maintenir l'efficacité du processus. L'organigramme suivant présente une approche simplifiée du diagnostic d'un digesteur. Il vous guidera à travers les étapes clés pour identifier les problèmes potentiels, analyser leurs causes et mettre en œuvre des solutions correctives.

Organigramme 2: Organigramme de digesteur anaérobie



En passant au second procédé qui est la digestion, les problèmes peuvent survenir si le rendement d'élimination des matières en suspension (MES) ou la concentration en méthane du biogaz ne sont pas conformes. En cas de non-conformité, il est crucial de vérifier la charge volumique, d'assurer une régularité de l'alimentation, d'ajuster le

débit des boues, et de contrôler la qualité des boues primaires et secondaires. Il est essentiel d'examiner le pH afin de détecter une acidose ou une alcalose, et d'ajuster en conséquence en utilisant NaOH, en modifiant le débit, ou en diluant les boues. Il est également important de vérifier le rapport entre les acides gras volatils (AGV) et l'alcalinité

totale (TAC) et d'appliquer les mesures correctives nécessaires, telles que l'ajustement du débit ou l'ajout de NaOH. La taille appropriée du digesteur est cruciale, tout comme le réglage de la température de l'eau chaude et de l'intensité du brassage pour prévenir la surchauffe des boues. Enfin, la régulation de la température des boues, par l'ajustement

du débit de recirculation, du temps de séjour, et le contrôle du calorifugeage du digesteur, est fondamentale pour garantir l'efficacité du traitement.

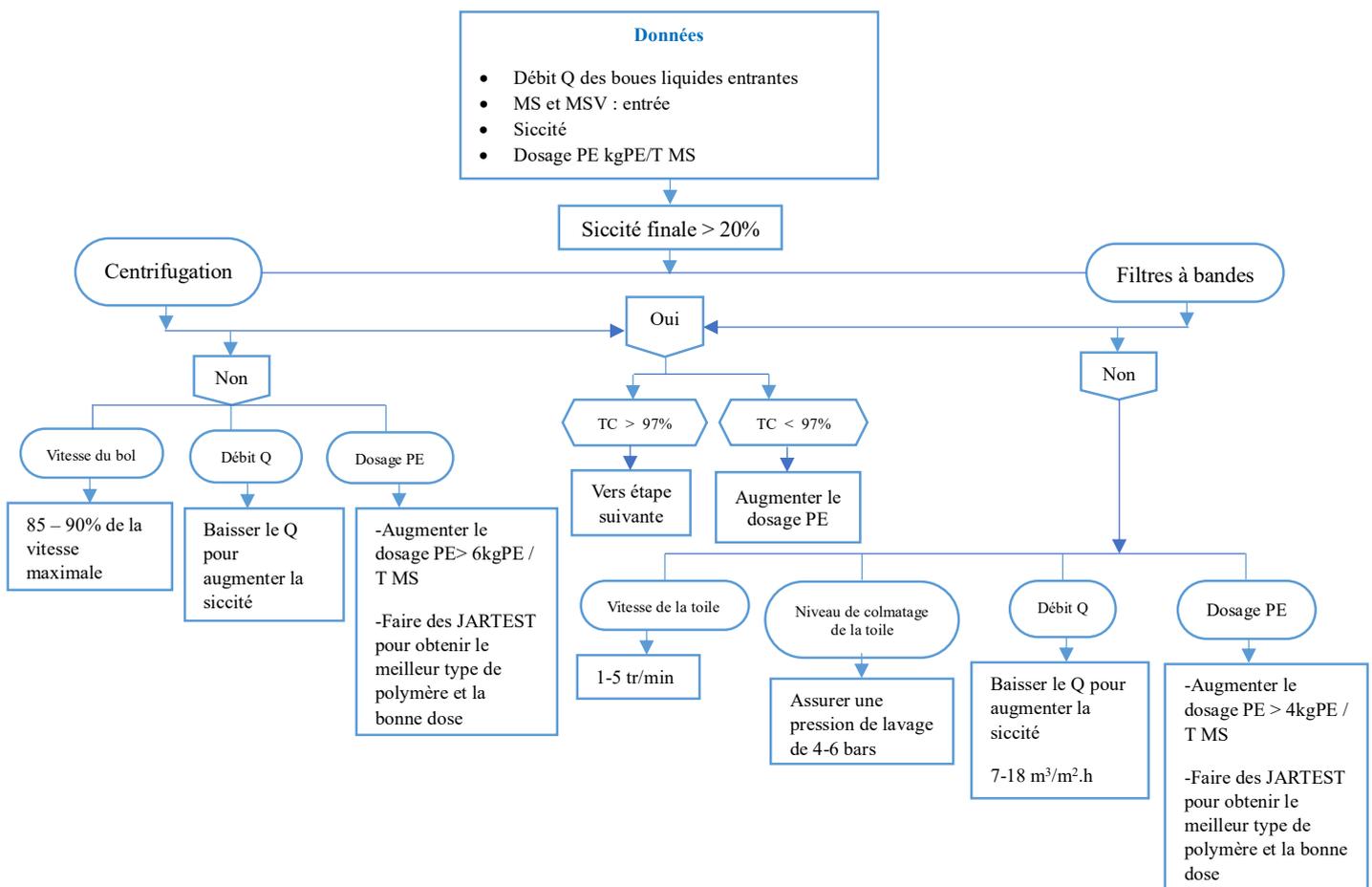
L'organigramme suivant présente une approche méthodique pour identifier la cause des problèmes rencontrés lors de la déshydratation mécanique des boues.

Pour le diagnostic du procédé de déshydratation des boues, que ce soit par centrifugation ou par filtres à bandes,

le processus commence par vérifier la siccité des boues et le taux de capture (TC). Une siccité supérieure à 20 % et un TC au-delà de 97 % sont essentiels pour une déshydratation réussie. En cas de non-conformité, il est nécessaire d'ajuster les paramètres de centrifugation, notamment la vitesse du bol et le débit des boues, et d'augmenter le dosage de polyélectrolytes, en se basant sur des tests JarTest pour optimiser le choix et la quantité de

polymère. Si le TC reste insuffisant, un dosage plus élevé de polyélectrolytes peut être nécessaire. Pour les filtres à bandes, il convient d'ajuster la vitesse de la toile, le niveau de colmatage, la pression de lavage et le débit pour améliorer la siccité. Comme avec la centrifugation, des ajustements du dosage de polyélectrolytes et des tests supplémentaires peuvent être requis pour atteindre les objectifs de déshydratation.

Organigramme 3: Organigramme de la centrifugeuse et des filtres à bandes



UTILISATION DE VISUAL STUDIO DANS LE PROCESSUS DE DÉVELOPPEMENT

Le raisonnement basé sur les organigrammes est appliqué dans Visual Studio, un puissant outil de gestion de base de données où les résultats sont projetés. Après la saisie des éléments, Visual Studio effectue les diagnostics nécessaires pour garantir leur applicabilité. Si les conditions sont remplies, des instructions claires ou des mesures

correctives sont affichées directement dans une boîte de dialogue.

Codes de base de données et d'application

Code d'application pour épaisseur

En utilisant l'algorithme fondé sur l'organigramme, l'application permet un diagnostic précis en analysant les données d'entrée pour détecter les anomalies, en effectuant des calculs de performance pour estimer le volume de boues

épaissies et en fournissant des recommandations pour optimiser le fonctionnement des épaisseuriers, tant statiques que dynamiques.

Le code intègre des modules de visualisation permettant de suivre en temps réel les principaux paramètres de performance des épaisseuriers de boues, tels que le pourcentage de matières sèches et le taux de capture. Il permet d'évaluer les ajustements nécessaires

```

15 Private Sub btnValidate_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles btnValidate.Click
16 Dim msg As String = String.Empty
17 Dim dryMatter As Double
18 Dim captureRate As Double
19 Dim Cs As Double
20 Dim Ts As Double
21 Dim H As Double
22 Dim Gradient As Double
23 Dim Diameter As Double
24 Dim PolymerDosage As Double
25
26
27 Try
28     If cmbTypeOfThickener.SelectedItem Is Nothing Then
29         MsgBox("Please select a type of thickener.")
30         Exit Sub
31     End If
32
33     If cmbTypeOfThickener.SelectedItem.ToString() = "Static" Then
34         If Double.TryParse(txtThickenedSludgeDryMatter_MS.Text, dryMatter) AndAlso dryMatter > 6 Then
35             If Double.TryParse(txtCaptureRate_TC.Text, captureRate) AndAlso captureRate >= 95 Then
36                 msg = "Proceed to the next stage."
37             Else
38                 msg = "* Check the sludge blanket level." & vbCrLf &
39                     "* Risk of fermentation :*" & vbCrLf &
40                     "* - Increase Qe." & vbCrLf &
41                     "* - Suspect the presence of toxic elements."
42             End If
43         Else
44             If (cmbTypeOfSludge.SelectedItem.ToString() = "Primary" AndAlso Double.TryParse(txtSurfaceLoad_Cs.Text, Cs) AndAlso Cs >= 75 AndAlso Cs <= 126) Or
45                 (cmbTypeOfSludge.SelectedItem.ToString() = "Mixed" AndAlso Double.TryParse(txtSurfaceLoad_Cs.Text, Cs) AndAlso Cs >= 45 AndAlso Cs <= 75) Or
46                 (cmbTypeOfSludge.SelectedItem.ToString() = "Secondary" AndAlso Double.TryParse(txtSurfaceLoad_Cs.Text, Cs) AndAlso Cs >= 25 AndAlso Cs <= 45) Then
47                 If Not (Double.TryParse(txtRetentionTime_Ts.Text, Ts) AndAlso Ts >= 1 AndAlso Ts <= 2) Then
48                     msg = "* Adjust Qe." & vbCrLf &
49                         "* Adjust Q."
50                 Else
51                     If Not (Double.TryParse(txtHeight_H.Text, H) AndAlso H > 3.5) Then
52                         msg = "Rectify."
53                     Else
54                         If Not ((Double.TryParse(txtGradient.Text, Gradient) AndAlso Gradient >= 10 AndAlso Gradient <= 20) AndAlso
55                             (Double.TryParse(txtDiameter_D.Text, Diameter) AndAlso Diameter >= 7)) Then
56                             msg = "* Provide powerful scraping." & vbCrLf &
57                                 "* Add another thickener." & vbCrLf &
58                                 "* Proceed to flotation."
59                         Else
60                             Dim dialogue As New frmThickener_Dialogue()
61                             dialogue.ShowDialog()
62                         End If
63                     End If
64                 End If
65             End If
66         ElseIf cmbTypeOfThickener.SelectedItem.ToString() = "Dynamic" Then
67             If Double.TryParse(txtThickenedSludgeDryMatter_MS.Text, dryMatter) AndAlso dryMatter > 3 Then
68                 If Double.TryParse(txtCaptureRate_TC.Text, captureRate) AndAlso captureRate >= 95 Then
69                     msg = "Proceed to the next stage."
70                 Else
71                     msg = "* Check the sludge blanket level." & vbCrLf &
72                         "* Risk of fermentation :*" & vbCrLf &
73                         "* - Increase Qe." & vbCrLf &
74                         "* - Suspect the presence of toxic elements."
75                 End If
76             Else
77                 If Not (Double.TryParse(txtSurfaceLoad_Cs.Text, Cs) AndAlso Cs < 100) Then
78                     msg = "* Adjust Qe." & vbCrLf &
79                         "* Adjust Q." & vbCrLf &
80                         "* Check the influent solids."
81                 Else
82                     If Double.TryParse(txtPolymerDosing.Text, PolymerDosage) AndAlso PolymerDosage > 2 Then
83                         msg = "* Decrease surface scraping time." & vbCrLf &
84                             "* Gradually increase the polymer dosage." & vbCrLf &
85                             "* Conduct a jar test to determine the optimal dosage."
86                     Else
87                         msg = "* Adjust polymer dosage." & vbCrLf &
88                             "* Adjust pressurization."
89                     End If
90                 End If
91             End If
92         End If
93
94         If Not String.IsNullOrEmpty(msg) Then
95             MsgBox(msg, "Recommendations", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
96         End If
97     Catch ex As Exception
98         MsgBox.Show("An error occurred during validation: " & ex.Message)
99     End Try
100 End Sub

```

```

14 Private Sub RadioButton_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles RadioButton1.Click, RadioButton2.Click
15 Try
16     If initialized Then
17         Dim msg As String = String.Empty
18         If RadioButton1.Checked Then
19             msg = "* Suspect the presence of toxic elements." & vbCrLf &
20                 "* Add flocculant." & vbCrLf &
21                 "* Proceed with lime treatment if CH4 is present => Fermentation."
22         ElseIf RadioButton2.Checked Then
23             msg = "* Refer to the previous steps." & vbCrLf &
24                 "* Increase Qe and Q." & vbCrLf &
25                 "* Increase retention time."
26         End If
27         If Not String.IsNullOrEmpty(msg) Then
28             MsgBox.Show(msg, "Recommendations", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
29         End If
30     End If
31 Catch ex As Exception
32     MsgBox.Show("An error occurred while processing the radio button click: " & ex.Message)
33 End Try
34 End Sub
35
36 End Class
37

```

Figure 1: Code d'application pour épaisseur (Thickener).

en fonction des conditions d'opération. Pour les épaisseurs statiques, il détecte les problèmes associés à la charge surfacique ou au temps de séjour, ce qui peut nécessiter des ajustements de débit ou l'ajout de flocculant. Concernant les épaisseurs dynamiques, il souligne l'importance de contrôler les paramètres essentiels afin de garantir l'efficacité du processus.

Code d'application pour digesteur

Le code d'application pour digesteur présenté dans la figure suivante, permet de surveiller et de contrôler les paramètres essentiels garantissant ainsi un fonctionnement optimal. L'algorithme de base utilise les paramètres définis par l'utilisateur en conjonction avec les conditions citées dans l'organigramme préétabli. Le code

comporte l'ensemble des paramètres de vérification (rendement d'élimination des matières en suspension et la concentration en méthane du biogaz) et de dimensionnement (taille du digesteur). Des ajustements du pH, ainsi que du rapport entre les acides gras volatils et l'alcalinité totale, sont également représentés en code.

```

24
25
26 Private Sub btnValidate_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles btnValidate.Click
27     Dim msg As String = String.Empty
28
29     Try
30         If txtEliminationRateMSV.Text > 40 AndAlso txtPercentCH4.Text > 50 AndAlso
31             (txtBiogasRatio.Text >= 0.9 AndAlso txtBiogasRatio.Text <= 1.1) Then
32             msg = "To the next steps."
33         Else
34             If Not (txtVolumicLoad.Text >= 1 AndAlso txtVolumicLoad.Text <= 4) Then
35                 msg = "Ensure consistent feed." & vbCrLf &
36                     "Adjust Q." & vbCrLf &
37                     "Monitor previous steps, quality of primary and secondary sludges."
38             Else
39                 If (txtPH.Text >= 6 AndAlso txtPH.Text <= 8) AndAlso
40                     (txtTemperature.Text >= 35 AndAlso txtTemperature.Text <= 38) Then
41                     If txtAGV_TAC_Report.Text < 0.2 Then
42                         msg = "Increase the flow rate gradually." & vbCrLf &
43                             "Evaluate the concentration of organic matter."
44                     ElseIf txtAGV_TAC_Report.Text > 0.4 Then
45                         msg = "Decrease Q." & vbCrLf &
46                             "Stop feeding if >0.6." & vbCrLf &
47                             "Add NaOH inside the digester to lower the pH."
48                     Else
49                         If Not (txtDiameter.Text < 35) Then
50                             msg = "Rectify."
51                         Else
52                             msg = "Overheating of the sludge: Reduce the temperature of the hot water heating to avoid thermal shocks to the sludge, which c
53                                 "Mixing intensity: By biogas: 0.8 m³/m³.h and check the injection tubes." & vbCrLf &
54                                 "Mechanically: Height/Diameter > 1; otherwise, correct it. Check for the presence of fibrous material and plan for clear
55                             End If
56                         End If
57                     Else
58                         If txtPH.Text < 6 Then
59                             If txtAGV.Text > 0.5 Then
60                                 msg = "Decrease the flow rate and monitor the change in AGV; if AGV do not decrease, STOP feeding." & vbCrLf &
61                                     "Dilute the mixture in the digesters." & vbCrLf &
62                                     "Add NaOH to the digester."
63                             Else
64                                 msg = "pH regulation upstream by adding NaOH to the mixed sludge tank."
65                             End If
66                         ElseIf txtPH.Text > 8 Then
67                             msg = "Monitor the concentration of NH3 in the fresh sludge." & vbCrLf &
68                                 "Address if the source is secondary sludge due to nitrification." & vbCrLf &
69                                 "Temporarily reduce the flow rate or stop the source."
70                         Else
71                             msg = "Regulate the temperature; adjust the sludge recirculation rate." & vbCrLf &
72                                 "Adjust the retention time." & vbCrLf &
73                                 "Evaluate heat losses, and insulate the digester."
74                         End If
75                     End If
76                 End If
77             End If
78             If Not String.IsNullOrEmpty(msg) Then
79                 MessageBox.Show(msg, "Recommendations", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
80             End If
81         Catch ex As Exception
82             MessageBox.Show("An error occurred during validation: " & ex.Message)
83         End Try
84     End Sub

```

Figure 2: Code d'application pour digesteur (Digester).

Code d'application pour déshydratation (centrifugation, filtres à bandes)

Le Code d'application pour déshydratation, incluant la centrifugation et les filtres à bandes, est destiné à optimiser le processus de séparation des solides et des liquides dans le traitement des boues. Grâce à une interface utilisateur conviviale, il facilite l'entrée des données et la visualisation des performances,

tout en fournissant des recommandations pour ajuster les conditions de fonctionnement.

Le code débute par la vérification de la siccité des boues et du taux de capture (TC), avec des seuils critiques à respecter pour garantir une déshydratation efficace. En cas de non-conformité, le code propose des ajustements à la vitesse de centrifugation, au débit des boues, et

recommande d'augmenter le dosage de polyélectrolytes, en se basant sur des tests JarTest. Pour les filtres à bandes, il inclut des recommandations pour ajuster la vitesse de la toile, la pression de lavage et le débit, afin d'optimiser la siccité. Grâce à cette approche automatisée, les opérateurs peuvent facilement appliquer des corrections et améliorer l'efficacité du processus de déshydratation.

```

Fichier Edition Affichage Git Projet Débugger Test Analyser Outils Extensions Fenêtre Aide Rechercher Solution1 Connexion
frmDewatering.vb X
Fichiers divers frmDewatering btnDigester_Click
78 Private Sub btnValidate_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles btnValidate.Click
79 Dim msg As String = String.Empty
80 Dim dryness As Double
81 Dim captureRateTC As Double
82 Try
83     If Double.TryParse(txtDryness.Text, dryness) AndAlso
84         Double.TryParse(txtCaptureRateTC.Text, captureRateTC) Then
85         If dryness > 20 Then
86             If captureRateTC > 97 Then
87                 msg = " * To the next steps."
88             Else
89                 msg = " * Increase the PE dosage."
90             End If
91         ElseIf cmbTypeOfDewatering.Text = "Belt filters" Then
92             Dim dialogue As New frmBeltFilters_Dialogue()
93             dialogue.ShowDialog()
94         ElseIf cmbTypeOfDewatering.Text = "Centrifugation" Then
95             Dim dialogue As New frmCentrifugation_Dialogue()
96             dialogue.ShowDialog()
97         End If
98     End If
99
100     If Not String.IsNullOrEmpty(msg) Then
101         MessageBox.Show(msg, "Recommendations", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
102     End If
103 Catch ex As Exception
104     MessageBox.Show("An error occurred during validation: " & ex.Message)
105 End Try
106 End Sub
107 End Class

```

```

Fichiers divers frmCentrifugation_Dialogue initialized
14 Private Sub RadioButton_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles RadioButton1.Click, RadioButton2.Click, RadioButton3.Click
15 Try
16     If initialized Then
17         Dim msg As String = String.Empty
18         If RadioButton1.Checked Then
19             msg = " * 85 - 90% of maximum speed."
20         ElseIf RadioButton2.Checked Then
21             msg = " * Decrease the flow rate to increase the dryness."
22         ElseIf RadioButton3.Checked Then
23             msg = " * Increase the PE dosage to > 6 kg PE / T MS." & vbCrLf &
24                 " * Perform JARTEST to determine the best type of polymer and the correct dosage."
25         End If
26         If Not String.IsNullOrEmpty(msg) Then
27             MessageBox.Show(msg, "Recommendations", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
28         End If
29     End If
30 Catch ex As Exception
31     MessageBox.Show("An error occurred while processing the radio button click: " & ex.Message)
32 End Try
33 End Sub
34 End Class

```

```

Fichiers divers frmBeltFilters_Dialogue initialized
15 Private Sub RadioButton_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles RadioButton1.Click, RadioButton2.Click, RadioButton3.Click, RadioButton4.Click
16 Try
17     If initialized Then
18         Dim msg As String = String.Empty
19         If RadioButton1.Checked Then
20             msg = " * 1-5 tr/min."
21         ElseIf RadioButton2.Checked Then
22             msg = " * Ensure a washing pressure of 4-6 bars."
23         ElseIf RadioButton3.Checked Then
24             msg = " * Decrease the flow rate to increase the dryness 7-18 m3/m2.h."
25         ElseIf RadioButton4.Checked Then
26             msg = " * Increase the PE dosage to > 4kgPE / T MS." & vbCrLf &
27                 " * Perform JARTEST to determine the best type of polymer and the correct dosage."
28         End If
29         If Not String.IsNullOrEmpty(msg) Then
30             MessageBox.Show(msg, "Recommendations", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
31         End If
32     End If
33 Catch ex As Exception
34     MessageBox.Show("An error occurred while processing the radio button click: " & ex.Message)
35 End Try
36 End Sub
37 End Class

```

Figure 3: Code d'application pour déshydratation (Dewatering).

Tests et débogage de l'application :

L'interface conçue pour la saisie des données est essentielle pour tester, calculer et identifier les valeurs anormales qui pourraient provoquer des dysfonctionnements. Les illustrations ci-dessous présentent une série de tests réalisés pour s'assurer du bon fonctionnement de l'application.

Les tests illustrés précédemment ont pour but de certifier de manière exhaustive la fonctionnalité de l'application et son aptitude à détecter avec précision les anomalies. Structurés autour de plusieurs critères fondamentaux, ils évaluent l'exactitude de la détection des anomalies par rapport aux valeurs théoriques et aux seuils établis. Ces tests visent à attester de la fiabilité du diagnostic fourni par l'application et de sa capacité à identifier les causes réelles des dysfonctionnements.

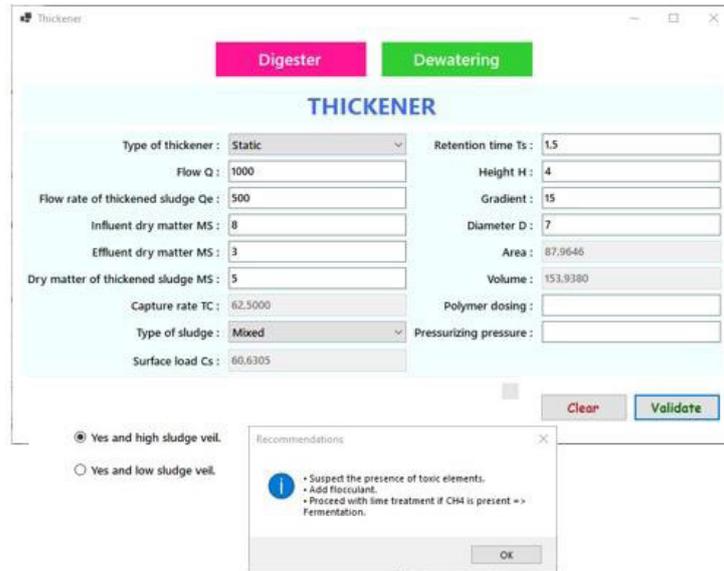


Figure 4: Test de débogage pour épaisseur.

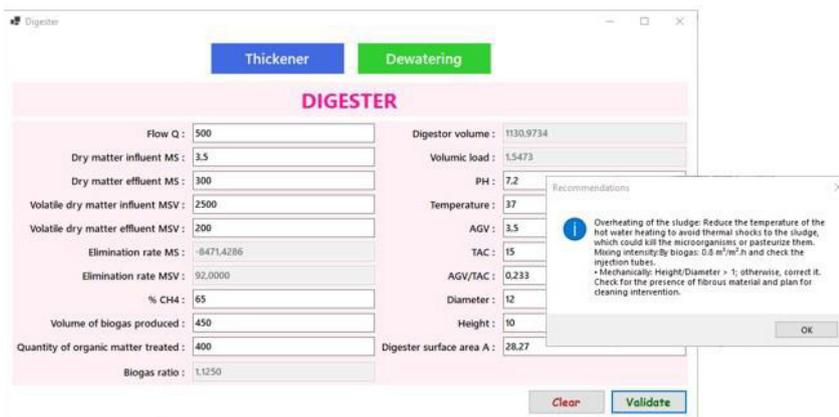


Figure 5: Test de débogage pour digestion.

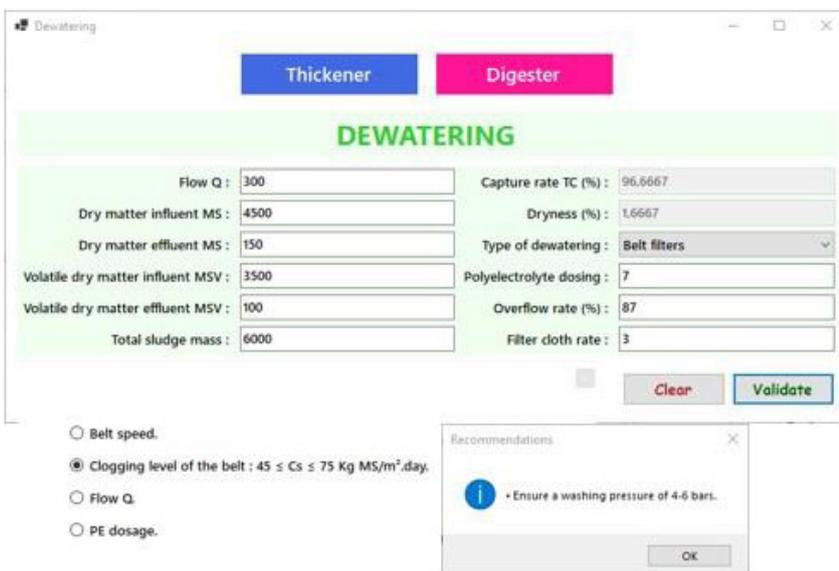


Figure 6: Test de débogage pour déshydratation des boues.

CONCLUSION

Ce travail a permis de développer et d'implémenter un code de diagnostic automatique spécifiquement conçu pour le traitement tertiaire des boues. L'intégration de ce code dans l'environnement Visual Studio offre une plateforme robuste et efficace pour la gestion des paramètres critiques tels que le débit, le pH, la température, ainsi que les charges surfacique et volumique lors des processus d'épaississement, de digestion et de déshydratation des boues. Grâce à l'utilisation d'organigrammes détaillés pour décrire les paramètres à surveiller, nous avons pu concevoir un système de diagnostic capable d'optimiser les performances des traitements et de garantir leur conformité avec les normes de qualité.

La mise en œuvre réussie de ce code de diagnostic automatique marque une avancée significative dans l'automatisation et l'optimisation des méthodes de traitement des boues. Ce système ne se contente pas de surveiller les conditions opérationnelles en temps réel, mais il fournit également des outils analytiques permettant d'ajuster les paramètres pour améliorer l'efficacité du traitement. Cette approche non seulement facilite la gestion des boues mais aussi réduit les risques d'erreurs humaines, offrant ainsi une meilleure fiabilité et une amélioration de l'efficacité globale du traitement. ●



Références bibliographiques

- MAZARI, L., ET AL.** "Evaluating Reuse of Alum Sludge as Coagulant for Tertiary Wastewater Treatment." *Journal of Environmental Engineering*, vol. 144, no. 12, Dec. 2018, p. 04018119. DOI.org (Crossref), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001462](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001462).
- FORUOHAR VAJARGAH, M., RAMZANIPOUR, M. M., & MOUSAVI, S. P.** "An Overview of Municipal Wastewater and Sludge Treatment Process." *Ecol Conserv Sci*, vol. 2, no. 5, May 2023, DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.19080/ECO.A.2023.02.555596>.
- TAHERIPOUR, FARZAD, ET AL.** *Water Scarcity in Morocco*. World Bank, Washington, DC, 2020. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1596/33306>.
- TEKKEN, VERA, AND JÜRGEN KROPP.** "Climate-Driven or Human-Induced: Indicating Severe Water Scarcity in the Moulouya River Basin (Morocco)." *Water*, vol. 4, no. 4, Dec. 2012, pp. 959–82. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3390/w4040959>.
- MININNI, G., ET AL.** "An Innovative Sludge Management System Based on Separation of Primary and Secondary Sludge Treatment." *Water Science and Technology*, vol. 50, no. 9, Nov. 2004, pp. 145–53. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0557>.
- DEMIRBAS, AYHAN, ET AL.** "Sludge Production from Municipal Wastewater Treatment in Sewage Treatment Plant." *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 39, no. 10, May 2017, pp. 999–1006. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1283551>.
- SAHIN, N., & ŞIBİL, R.** "Hydrodynamic Performance Evaluation of Screening on the Physical Unit Operations in Wastewater Treatment Based on Experimentally Validated CFD Computations." *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 171, 2023, pp. 136–151. Available online 2 January 2023. DOI: 0957-5820/© 2023 Institution of Chemical Engineers. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.
- ZAGKLIS, DIMITRIS P., AND GEORGIOS BAMPOS.** "Tertiary Wastewater Treatment Technologies: A Review of Technical, Economic, and Life Cycle Aspects." *Processes*, vol. 10, no. 11, Nov. 2022, p. 2304. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3390/pr10112304>.
- MARTI, ERICA J., AND JACIMARIA R. BATISTA.** "Impact of Secondary Treatment Types and Sludge Handling Processes on Estrogen Concentration in Wastewater Sludge." *Science of The Total Environment*, vol. 470–471, Feb. 2014, pp. 1056–67. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.070>.
- KALLOUM, S., BOUABDESSALEM, H., TOUZI, A., & IDDOU, A.** "La Digestion Anaérobie des Boues des Stations d'Épuration des Eaux Usées : Une Opportunité Énergétique et Environnementale." *Unité de Recherche en Énergie Renouvelable en Milieu Saharien, Adrar, Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique, Oran, Université Mohammed Boudiaf, USTOran.*
- FALIPOU, EVA, ET AL.** *La digestion des boues de station d'épuration : état de l'art et paramètres clés.*
- GÓRKA, JUSTYNA, ET AL.** "Use of a Water Treatment Sludge in a Sewage Sludge Dewatering Process." *E3S Web of Conferences*, edited by M. Cimochoicz-Rybicka, vol. 30, 2018, p. 02006. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183002006>.
- SLUDGE DEWATERING.** DIRECTION ASSAINISSEMENT ET ENVIRONNEMENT. *Marché n°1188/A/DAE/2016. "Etude d'Optimisation et d'Extension de la Station d'Épuration des Eaux Usées de la Ville d'Al Hoceima. Mission III : Étude d'Impact sur l'Environnement. Version Définitive."*
- CANLER, J.-P., GAUCHI, A., DUCHENE, PH., FERNANDES, P., LARIGAUDERIE, A., LÉBOUCHER, G., & PUJOL, R.** "L'Épaulement des Boues : Les Règles de la Bonne Gestion."
- AMORCE.** "Boues de Station d'Épuration : Techniques de Traitement, Valorisation et Élimination." *Série Technique DT 51*, novembre 2012. Boues de station d'épuration : technique, valorisation et élimination – DT 51. 36/36.
- VAXELAIRE J, BONGIOVANNI JM, PUIGGALI JR (1999)** Mechanical dewatering and thermal drying of residual sludge. *Environ Technol* 20:29–36
- MAHMOUD, A., OLIVIER, J., VAXELAIRE, J., & HOADLEY, A. F. A.** "Chapter 9: Advances in Mechanical Dewatering of Wastewater Sludge Treatment."