

DIAGNOSTIC MAINTENANCE D'UNE STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DE PAPETERIE

P.-X. Thivel*, P. Hus**, M. Depriester**, F. Rougeot***

* Université Joseph Fourier

** Université du Littoral – Côte d'Opale

*** Norampac Avot-Vallée

Cette étude présente une application de méthodes standards utilisées en milieu industriel sur une station d'épuration des eaux usées de papeterie (Norampac – Avot Vallée, Pas-de-Calais, France). Une analyse fonctionnelle de type interne et externe, une analyse de Pareto et une analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité (Amdec) ont été appliquées sur l'usine de dépollution. Elles ont permis d'établir une liste des éléments critiques de la station (dégrilleur, convoyeur) conduisant à une non conformité des rejets (sortie de station, boues) puis de proposer des améliorations sous la forme d'un plan de maintenance préventive. Enfin un indice de conformité des eaux en sortie a été proposé pour pérenniser l'étude.

The installation under study is a water treatment plant used by the paper industry (Norampac Avot-Vallée, Pas-de-Calais, France). The aim is to develop an indicator which shows how well the installation is functioning and to create preventive maintenance schemes. First, an external and internal functional analysis and a Pareto analysis will be used to specify the critical points of the installation. Then a failure analysis will be completed using the FMEA method (Failure Mode and Effects Analysis). This method will permit us to elaborate on the details of the maintenance plans. Finally, an indicator of the treatment plant's efficiency will be proposed. This monthly computed indicator will link the treatment plant operation and the water output quality. It can be defined as a target to reach or as a low threshold. This work is a first step towards a more elaborate model which will allow us to optimize the treatment plant efficiency.

INTRODUCTION

Le renforcement des exigences réglementaires et le respect des normes de rejets (définies dans le cadre de l'arrêté préfectoral ICPE DCVC-EIM-CP/GM n°99-195 de 1999 en ce qui concerne l'usine étudiée ici) obligent les entreprises à entretenir et à maîtriser leur station de traitement des effluents de la même manière que leur

outil de production. La méthodologie générale de conception d'un système diagnostic / maintenance s'applique donc aux matériels périphériques à la production telle que la station d'épuration, unité fonctionnelle importante qu'il convient de ne pas oublier dans la classification générale du matériel telle que l'a décrite Monchy^[1].

L'amélioration de la fiabilité de la station d'épuration, et donc la maîtrise de la qualité des effluents qui en sont issus, fait partie intégrante du travail du service de maintenance. Comme le proposent Toscano et Lyonnet^[2], la mise en place d'un plan de maintenance préventive s'appuie sur trois étapes :

- une analyse fonctionnelle de l'installation,
- une analyse dysfonctionnelle,
- une définition des actions préventives à mettre en place.

Il s'agit, à partir de données brutes et de terrain, d'extraire les informations nécessaires à la synthèse d'un système diagnostic et d'établir « les actions destinées à maintenir un bien dans un état spécifié, pour accomplir une fonction requise »^[3].

L'étude présentée ici concerne la mise en place d'un plan de maintenance préventive et d'un indicateur de bon fonctionnement sur la station d'épuration de la papeterie « Norampac Avot-Vallée » et repose sur un travail pluridisciplinaire regroupant des compétences du génie des procédés et de la maintenance. Les données utilisées pour réaliser ce travail nous ont été fournies par les services maintenance et environnement. Il s'agit du suivi des données physico-chimiques de l'effluent le long de la filière de traitement, de l'historique des pannes sur l'ensemble de la station d'épuration ainsi que les plans de l'installation et de certains gros équipements. La démarche suivie utilise les outils classiques de la maintenance à savoir une analyse fonctionnelle de type externe / interne, une analyse par diagramme de Pareto et une analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité (Amdec). L'objectif est d'améliorer la disponibilité de la station d'épuration et donc d'améliorer la qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel ou des eaux

recyclées vers le cycle de fabrication. Enfin, un indicateur de performance global de la station a été développé à l'image du taux de rendement synthétique (TRS) traditionnellement utilisé en production.

MÉTHODOLOGIE ET OUTILS UTILISÉS

L'étude a été découpée en plusieurs étapes :

- constitution d'un dossier technique regroupant les données de terrain,
 - élaboration d'une analyse fonctionnelle et d'une analyse de Pareto,
 - élaboration d'une analyse dysfonctionnelle à partir de laquelle sera construit le plan de maintenance préventive.
- La première étape du travail consiste à rassembler l'ensemble des documents nécessaires à l'élaboration du diagnostic/maintenance. La gestion de la documentation, du bon de livraison au plan constructeur en passant par le mode d'utilisation des matériels, fait partie intégrante des tâches du service de maintenance^[1]. Le dossier technique a donc été réalisé en partenariat avec ce service. Ce dossier peut contenir le plan d'ensemble du procédé étudié, les plans mécaniques des équipements, les plans électriques, l'ensemble des références des matériels, l'historique des interventions de maintenance corrective. La masse d'information ainsi accumulée sert de base à l'élaboration des analyses fonctionnelle et dysfonctionnelle.

Dans un deuxième temps, une analyse fonctionnelle du système « station d'épuration » a été effectuée. Il s'agit d'une « démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions » attendues d'un processus par un utilisateur^[4]. Cette ana-

lyse constitue le préalable à la mise en œuvre de la sûreté de fonctionnement et de l'analyse dysfonctionnelle. Son objectif est de déterminer et d'identifier clairement le rôle des différents processus de la station d'épuration ainsi que les interactions existant entre ceux-ci. Cette démarche s'appuie sur des approches méthodiques basées sur différents outils^[5,6]. L'analyse fonctionnelle effectuée est de type analyse fonctionnelle externe (Afe) / analyse fonctionnelle interne (Afi). L'Afe permet d'obtenir une liste des fonctions précises de l'installation et des liens avec les éléments externes. L'Afi établit l'ensemble des fonctions de chaque équipement de l'installation et leurs interactions. Afin de compléter l'analyse fonctionnelle et de cibler l'étude dysfonctionnelle, une analyse de Pareto^[7] y a été associée. Basée sur le principe des 80/20 (80 % des richesses sont détenues par 20 % des individus) l'analyse de Pareto permet sur un ensemble de phénomènes observés (pannes) de faire apparaître les principales causes d'un problème et de les hiérarchiser. Elle se met sous la forme d'un diagramme sur lequel apparaît le pourcentage de défaillances de chaque équipement (classé par ordre décroissant) représenté sous forme différentielle et cumulée.

Enfin dans un troisième et dernier temps, l'objectif de l'analyse dysfonctionnelle est de déterminer les points faibles du procédé et dans la mesure du possible d'y remédier par la mise en place d'un plan de maintenance préventive. La méthode choisie pour réaliser cette étude est l'analyse des modes de défaillances, de leur effet et de leur criticité (Amdec)^[8]. L'Amdec est une méthode structurée et systématique permettant de détecter et d'évaluer les défaillances d'un système ou d'un moyen de production à partir d'une hiérarchisation

des défaillances suivant leur criticité (C). Celle-ci tient compte de la fréquence d'apparition de la défaillance (F), de la gravité de son effet (G) et de sa détectabilité (D) par simple calcul :

$$C = F \cdot G \cdot D$$

Chaque critère est codifié (tableau n°1).

La réalisation d'une Amdec repose sur une connaissance précise du système et de son environnement (rôle de l'analyse fonctionnelle) et du retour d'expérience (historique des pannes et des interventions techniques). Elle est ciblée sur la zone et les éléments a priori les plus critiques.

Tableau 1 : Cotation des critères de l'Amdec

F		Fréquence	G		Gravité
1	Très faible	Probabilité d'apparition très faible (moins d'une fois tous les six ans)	1	Sans influence	Pas d'arrêt de ligne, pas de non qualité
2	Faible	Probabilité d'apparition faible (observé environ 1 à 2 fois en six ans)	2	Significatif	Arrêt de ligne inférieur à 15 min, Non qualité sans arrêt de ligne
3	Moyenne	Probabilité d'apparition moyenne (observé environ 1 fois l'an)	3	Grave	Arrêt de ligne de 15 minutes à 8 heures, Non qualité avec arrêt de ligne
4	Elevée	Probabilité d'apparition élevée (observé plusieurs fois par an)	4	Très grave	Arrêt de ligne supérieur à 8 heures, Non qualité non détectée sur la ligne
D		Détectabilité	C		Criticité C = F x G x D
1	Très aisée	Signe avant-coureur Alerte automatique	1		minimum
2	Moyenne	Signe avant-coureur Pas d'alerte automatique	8		Seuil de criticité à fixer
3	Faible	Signe avant-coureur difficilement décelable	27		Seuil de criticité à fixer
4	Nulle	Pas de signe avant-coureur	64		maximum

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Dossier technique

Dans le cadre de cette étude, un lot de documents regroupant le plan d'ensemble de la station, le synoptique de traitement des effluents, un schéma d'ensemble mécanique de la presse à boues, les cahiers de suivi journalier des interventions techniques a été constitué en partenariat avec le service maintenance. À ce dossier technique, a été ajouté, afin de répondre aux objectifs fixés (garder dans le temps une qualité des eaux conformes), le relevé quotidien des mesures physico-chimiques effectuées le long de la filière de traitement par le personnel de la station dans le cadre de l'auto-surveillance.

La station d'épuration étudiée traite les eaux usées provenant de l'usine de production de papier pour ondulé écru ou blanc de Norampac-Avot Vallée située à Blendecques dans le Pas-de-Calais (France). La figure 1 (construite sur le principe de l'arbre des procédés^[9]) montre que la station d'épuration a pour fonction de traiter les eaux usées de l'unité de production en vue d'obtenir :

- une eau épurée de qualité acceptable par le milieu naturel,
- une eau épurée de qualité acceptable pour une réutilisation en production,
- des boues de qualité acceptable pour une valorisation par épandage agricole,
- des boues papetières recyclées dans le procédé de fabrication.

Les trois premiers points seront pris comme étant les fonctions principales de la station d'épuration, le dernier étant alors une fonction complémentaire de la station. L'unité de traitement considérée est une filière de type classique comprenant une étape de traitement primaire (dégrillage, dessablage, décantation), suivie d'une étape biologique (bassin à boues activées et clarificateur). Le traitement biologique s'effectue dans un réacteur de

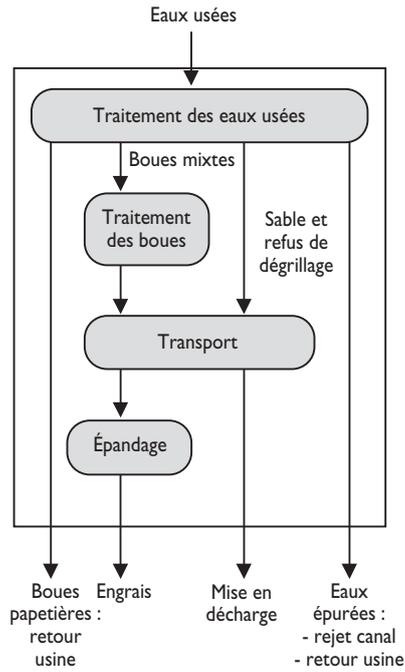


Figure 1 : Entrées et sorties de la station d'épuration

7 000 m³. L'aération et le brassage des effluents sont assurés par 6 turbines (55 kW chacune) et 2 agitateurs de fond (15 kW chacun). Le temps de séjour dans le réacteur est de l'ordre de 30 h. Le clarificateur est de type cylindro-conique. Il présente une surface de 707 m² pour une hauteur de 3,5 m. Le temps de séjour est d'environ 10 h. Le débit moyen journalier mesuré est de 5 682 m³/j pour le mois de septembre 2001. Le taux de recirculation est de l'ordre de 200 %. La figure 2 propose une représentation schématique de l'installation de traitement ainsi que les différentes boucles de recirculation. La station a été découpée en quatre zones distinctes pour établir l'analyse fonctionnelle (zone 1 : pré-traitement, zone 2 : décantation primaire, zone 3 : traitement biologique, zone 4 : traitement des boues).

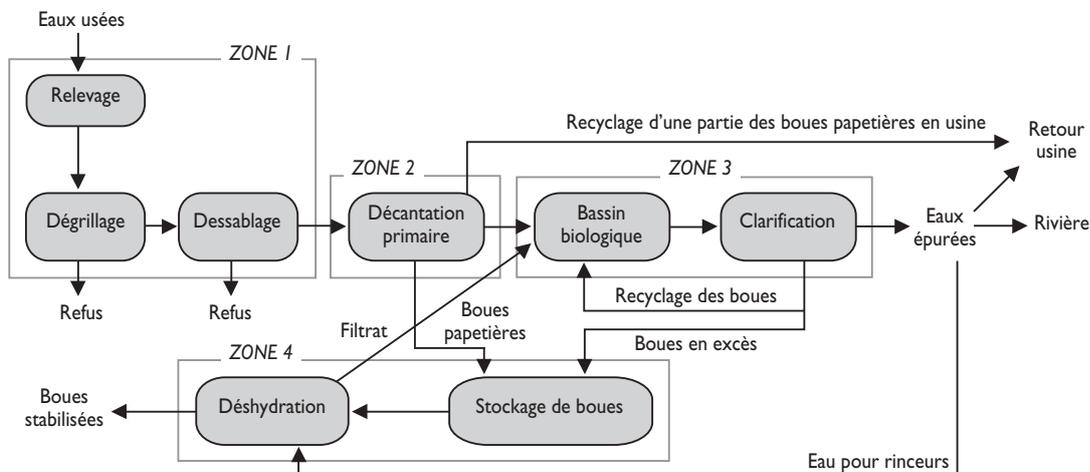


Figure 2 : Représentation par blocs de l'usine de dépollution

Tableau 2 : Points de contrôle et données physico-chimiques (septembre 2001)		
Points de contrôle	Mesure	Valeur moyenne
Sortie fosse de relevage	Débit	5 682 m ³ /j
	MES	6,732 kg/m ³
Sortie dégrilleur	Température	28 °C
Sortie décanteur primaire	Débit boues	1376 m ³ /j
	Débit effluent	4994 m ³ /j
	MES effluent	0,252 kg/m ³
	DCO effluent	1,953 kg/m ³ O ₂
	DBO5 effluent	0,763 kg/m ³ O ₂
Bassin d'aération	MES	6,39 kg/m ³
	Volume après décantation 30' (V30)	112 mL
	Âge des boues	187 j
	Matières volatiles	47 %
	O ₂ dissous	0,0032 kg/m ³
Sortie clarificateur biologiques)	Niveau de lit de boues	25 %
	Taux de recirculation des boues	200 %
	MES dans la recirculation	10,627 kg/m ³
	débit de boues en excès	306 m ³ /j (boues)
Canal de rejet	Débit d'eau recyclée	2 837 m ³ /j
	Débit d'eau rejetée	1 934 m ³ /j
	MES	0,048 kg/m ³
	DCO	0,205 kg/m ³ O ₂
	DBO5	0,030 kg/m ³ O ₂
	Température	26,3 °C
	pH	7,9
	P	0,0002 kg/m ³
	N	0,0011 kg/m ³
Sortie du stockeur de boues	Débit (boues biologiques et primaires)	526 m ³ /j
	Concentration	13,116 kg/m ³
Sortie	Siccité	28 %

tement biologique et clarification, zone 4 : traitement des boues).

L'ensemble des interventions techniques curatives ou préventives est consigné et enregistré au niveau de la station d'épuration et du service maintenance. Le registre de l'historique des pannes et des interventions de 1999 à 2001 nous a été confié et nous a permis de connaître l'ensemble des défaillances du système. Dans un premier temps, seul l'historique de l'installation sur l'année 2001 a été pris en compte.

Par ailleurs, les données physico-chimiques disponibles sur cette unité (débits, demande chimique en oxygène DCO, matières en suspension MES, demande biochimique en oxygène DBO5, indice de Mohlmann IM, oxygène dissous O₂) sont relevées ou mesurées périodiquement à différents points de contrôle. Les points de contrôle et les valeurs moyennes sur le mois de septembre 2001 sont donnés dans le tableau 2. La production de boues, pesée à la bascule, pour ce mois est de 694 T. L'âge des boues indiqué dans ce tableau est important (187 jours) alors que la moyenne observée

sur l'année 2000 est de 13 ± 3 jours. L'âge des boues représente leur temps de séjour dans l'étage biologique. Il est égal au rapport entre la quantité de boues contenue dans le bassin biologique et dans le clarificateur sur la quantité de boues passée en presse quotidiennement. Cette valeur élevée provient d'un dysfonctionnement du traitement des boues (multiples arrêts suite à des problèmes sur la toile d'égouttage et arrêt de 3 jours suite à un problème d'alimentation en eau de rinçage de la presse).

Analyse fonctionnelle externe et interne

Cette analyse fonctionnelle a été réalisée d'abord sur l'ensemble du processus puis sur chacune des quatre zones définies sur la figure 2.

L'Afe et l'Afi globales sont représentées sur les figures 3 et 4. Celles-ci font apparaître les fonctions principales de l'installation (ex : épurer) ainsi que les flux entrants (ex : énergie électrique) ou sortants (ex : macro-déchets) de l'installation.

Une description et une définition fonctionnelle de chaque zone de traitement sont détaillées dans le tableau 3 qui fait également apparaître les différents sous-processus. La figure 5, quant à elle, correspond à l'analyse interne du processus de pré-traitement. À ce niveau d'analyse apparaissent les différents équipements constitutifs du processus (vannes, pompes, vis d'extraction...) dont les références sont imposées par le service

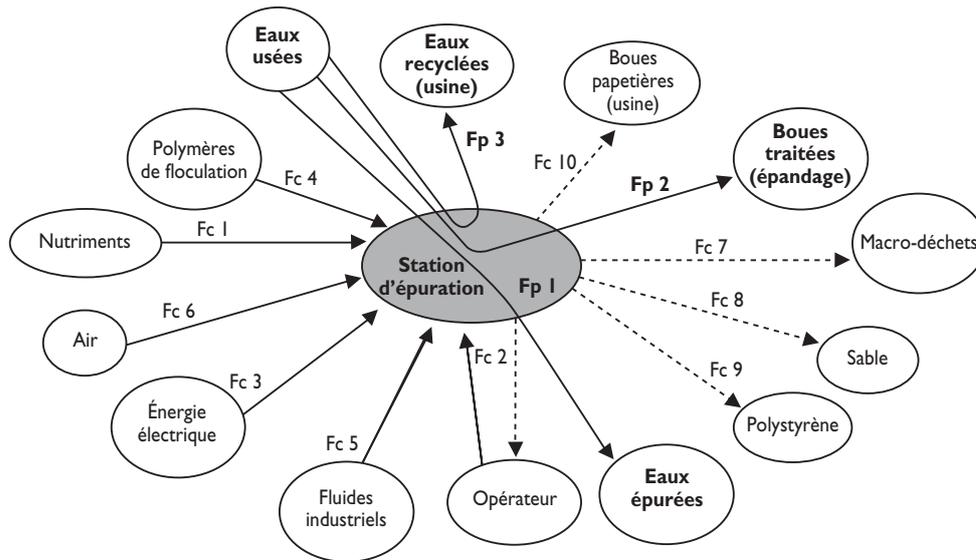
maintenance qui gère l'ensemble des matériels.

L'analyse fonctionnelle établie pour chaque zone permet ainsi de connaître en détail chaque équipement, ses fonctions et les matériels concernés (pompes, vannes...).

Complétée par une analyse de Pareto basée sur la fiabilité, l'analyse fonctionnelle a permis de déterminer les éléments critiques des différentes zones. La figure 6 présente l'analyse Pareto obtenue pour la zone 1. Sur cette figure, il apparaît que 80 % des pannes sont dues aux éléments S2020 (dégrilleur), Z2010 (convoyeur) et P1022 (pompe de relevage).

L'Afe/Afi et l'analyse Pareto ont permis de mettre en évidence les éléments critiques de chaque zone. Ainsi, ont été repérés par zone :

- zone 1 : dégrilleur S 2020 et convoyeur Z2010 (60 % des pannes), la pompe P1022 est un élément redondant,
- zone 2 : pompes P 2070 et P 2080 (70 % des pannes),
- zone 3 : réducteur et agitateur (83 % des pannes),
- zone 4 : rouleaux du PressDeg, vérins du PressDeg, pompe P 4060, agitateur A 4010 (85 % des pannes).



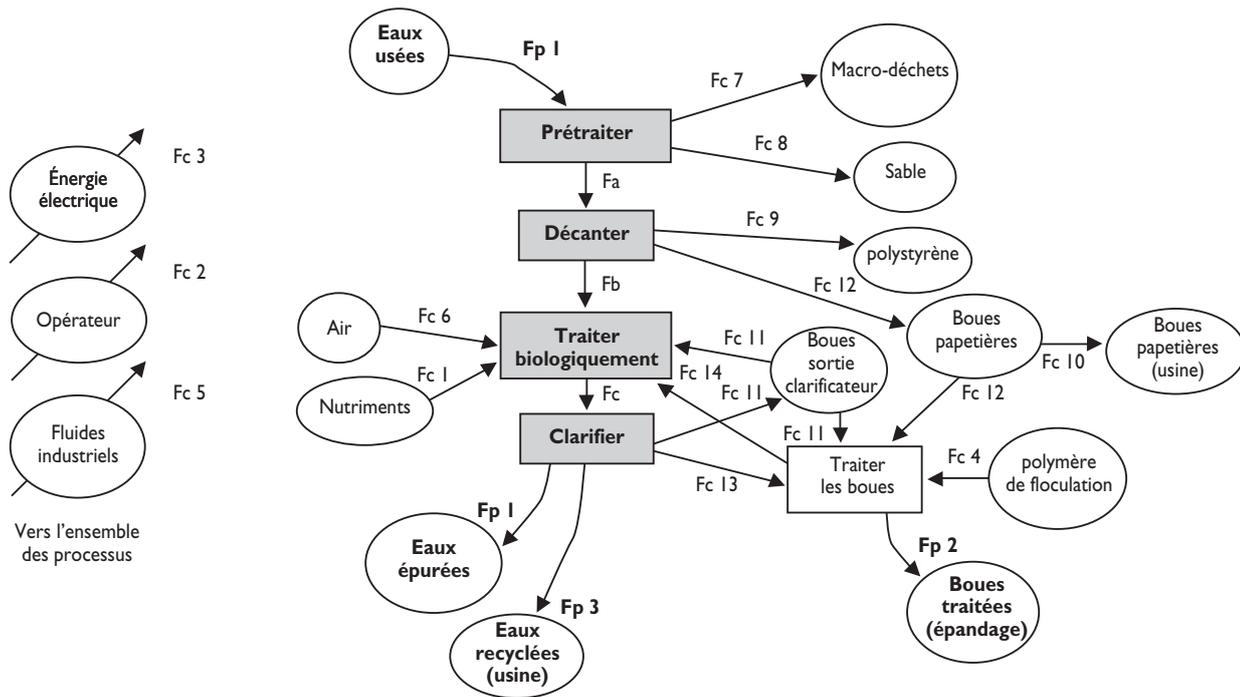
Fonctions principales	Fonctions contraintes	
→	Éléments entrant dans la station →	Éléments sortant de la station -->
Fp 1 : Épurer l'eau	Fc 1 : Ajouter des nutriments	Fc 7 : Évacuer les déchets
Fp 2 : Traiter les boues	Fc 2 : Commander la station	Fc 8 : Dessabler
Fp 3 : Recycler l'eau	Fc 3 : Alimenter en énergie électrique de puissance et de commande	Fc 9 : Rejeter le polystyrène
	Fc 4 : Ajouter des polymères	Fc 10 : Amener les boues papetières à l'usine
	Fc 5 : Alimenter en fluides industriels (A.C., Eau...)	
	Fc 6 : Amener de l'oxygène et brasser le bassin biologique	

Figure 3 : Analyse fonctionnelle externe globale

Tableau 3 : Description fonctionnelle de la station d'épuration par zone			
Zone	Actigramme	Processus	Sous-processus
1	<p>eau usée → pré-traitement → eau dégrillée et dessablée</p>	<p>Pré-traiter Enlever de l'eau usée les matériaux pouvant entraîner des problèmes de maintenance ou de fonctionnement dans les étapes ultérieures.</p>	<p>Relevage : relever l'effluent afin d'alimenter la filière de traitement gravitairement. Dégrillage : arrêter les macro - déchets. Dessablage : décanter le sable présent dans l'effluent.</p>
2	<p>eau dégrillée et dessablée → décanteur primaire → eau décantée</p>	<p>Décanter Enlever de l'eau dégrillée et dessablée, par décantation et flottation, une partie des matières en suspension.</p>	<p>Décantation et évacuation des boues : éliminer les boues papetières, une partie étant recyclée vers l'usine, l'autre envoyée vers la presse. Flottation et élimination des flottants : éliminer le polystyrène en surface</p>
3	<p>eau décantée → traitement secondaire → eau épurée</p>	<p>Traiter biologiquement Réduire la matière organique et extraire les boues de l'effluent.</p>	<p>Bassin biologique : développer et maintenir une population de micro-organismes, dégrader et éliminer la matière organique dissoute par les microorganismes. Clarification : clarifier l'effluent avant rejet et concentrer les boues avant traitement.</p>
4	<p>boues fraîches → traitement des boues → boues stabilisées</p>	<p>Traiter les boues Stabiliser les boues fraîches avant transport et épandage.</p>	<p>Stockage : stockage des boues papetières et des boues biologiques en excès avant traitement. Mélange et floculation : ajouter des polymères d'aide à la floculation et homogénéiser les boues. Egouttage : éliminer une partie de l'eau contenue dans les boues. Presse : éliminer l'eau des boues et obtenir une siccité autour de 30 %. Vis sans fin : évacuer les boues vers la benne.</p>

Tableau 4 : Tableau Amdec

Tableau 4 : Tableau Amdec										
Processus		Zone 1 : Pré-traiter								
Fonction		Eliminer les déchets – dégraisser - dessabler								
Identification du composant				Défaillances			Améliorations proposées			
Équipement	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets locaux	Effets intermédiaire	Effets environnementaux	F	G	C	
S 2020	Fa : enlever les éléments indésirables	Perte de la fonction	Roulements Peigne Amortisseur Moteur	Les éléments indésirables ne sont plus enlevés	La grille se colmate et gêne le passage de l'eau	Certains déchets peuvent être by-passés et retrouvés dans le stockeur, pas d'épannage de boues possible	4	2	8	
Processus		Zone 2 : Décanter								
Fonction		Eliminer les matières décantables et les corps flottants								
Identification du composant				Défaillances			Améliorations proposées			
Équipement	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets locaux	Effets intermédiaire	Effets environnementaux	F	G	C	
P 2070 et P2080	F5 et F7 : évacuer les boues papetières	Perte de la fonction	Moteur Corps de pompe Roulements Bielle	Perte de la fonction évacue les boues papetières	La pompe n'aspire plus, accumulation de boue dans le décanteur primaire	Dégradation de la qualité de l'eau prétraitée, diminution du rendement de la station, rejet hors normes	4	2	8	Graissage pompe et visite préventive mécanique, fréquence : 3 mois
M2041 (pont racleur) :	F2 et F16 Racler les flottants et favoriser la décantation	Perte de la fonction	Roue motrice Roulements	Perte des deux fonctions	Les flottants ne sont plus raclés et les boues ne sont plus poussées vers P2070 et P2080	Risque de retrouver des flottants en sortie, diminution de la quantité de boues extraites, rejets hors normes	2	4	8	Changement des roulements Fréquence : 3 mois Graissage semestriel
P2040 (pompes vide cave)	F3 : éviter l'immersion des pompes P2070 et P2080	Perte de la fonction	Accouplement moteur	Immersion des pompes	Eaux de lavage ou d'infiltration non évacuées, P2070, P2080 et P 4010 HS	Dégradation de la qualité de l'eau prétraitée, diminution du rendement de la station, rejet hors normes	4	2	8	Changement d'accouplement Fréquence : 3 ans
Processus		Zone 3 : Traiter biologiquement								
Fonction		Développer des microorganismes, traiter biologiquement la pollution dissoute								
Identification du composant				Défaillances			Améliorations proposées			
Équipement	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets locaux	Effets intermédiaire	Effets environnementaux	F	G	C	
A3011 à A3015 et A3019	F14 : aérer le bassin	Perte de la fonction	Turbine Moteur Agitateur Réducteur	Perte de la fonction aérer le bassin biologique	Plus d'oxygène dans le bassin d'aération	Les microorganismes ne sont plus alimentés en oxygène, la pollution dissoute n'est plus traitée, dégradation des boues, rejet hors norme	3	2	6	Organisation d'un plan de maintenance préventive sur les réducteurs tous les 18 mois
Processus		Zone 4 : Traiter les boues								
Fonction		Traiter les boues								
Identification du composant				Défaillances			Améliorations proposées			
Équipement	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets locaux	Effets intermédiaire	Effets environnementaux	F	G	C	
A4010 (agitateur)	F7 : agiter la boue non traitée dans le stockeur	Perte de la fonction Défaillance	Casse mécanique agitation de la puissance ou du réseau électrique	Perte de la fonction de H ₂ S des boues	Fermentation, dégagement	Risque toxique	4	4	16	Organisation d'un plan de maintenance préventive
P4060	F17 : alimenter en polymère V4603	Perte de la fonction	Casse mécanique Usure Panne électrique	Perte de la fonction	Perte du processus de floculation	Contamination du bassin aéré par le mélange boues biologiques et primaires, perte de la fonction traiter les boues Fp2	3	3	9	Organisation d'un plan de maintenance préventive
Rouleaux	F46, F49, F15, F27 : (entraînement des toiles)	Dégradation de la fonction	Usure des roulements Panne électrique	F46, F49, F15, F27 ne sont plus assurées correctement suivant l'usure	F47, F31, F16, F28 ne fonctionnent plus correctement suivant l'usure	Arrêt de la chaîne, plus d'extraction des boues Possibilité de non qualité des boues traitées	4	3	12	Organisation d'un graissage centralisé



Fonctions internes		
Fa : Enlever de l'eau les éléments indésirables	Fb : Enlever de l'eau les MES et les flottants	Fc : Réduire biologiquement la pollution
Fc 11 : Gérer l'excès de boues biologiques	Fc 12 : Gérer les boues papetières	Fc 13 : Relever une partie de l'eau épurée pour la presse
Fc 14 : Recirculer les eaux de filtration des boues		

Figure 4 : Analyse fonctionnelle interne globale

Analyse dysfonctionnelle

Un extrait de l'Amdec obtenue est présenté dans le tableau 4. Celui-ci ne reprend que les éléments dont la criticité calculée, $C = F \cdot G$, est supérieure à 6 et sur lesquels une attention toute particulière doit être portée. Dans un premier temps, la détectabilité n'a pas été prise en compte, les défaillances des éléments ciblés étant dans la majorité des cas rapidement détectables et détectées. Des propositions d'amélioration sont notées en face des éléments critiques.

L'Amdec de cette installation de traitement des eaux montre que la fiabilité de l'installation passe par la mise en place d'un plan de maintenance préventive sur les organes suivants : dégrilleur, pompes d'évacuation des boues, pont racler, pompes vide cave, aérateurs, mélangeur des boues, pompe à floculant, rouleaux de la presse à boues.

Indicateur de performance

Afin de pérenniser l'étude effectuée et d'améliorer en continu la fonction principale de la station d'épuration qui est de produire, quelles que soient les variations des flux entrants, un effluent et des boues répondant aux normes de rejets et acceptables par le milieu naturel, un

indicateur de performance a été proposé.

Dans le cas d'une station d'épuration, dont l'objectif est la production en continu d'eau épurée de qualité conforme à la réglementation en vigueur, nous pouvons définir un taux de qualité synthétique (TQS), ou taux de conformité, comme étant :

$$TQS = \frac{\text{temps de bonne qualité du rejet}}{\text{temps de fonctionnement de la station d'épuration}}$$

La mesure de la qualité des eaux s'appuie sur quatre grandeurs mesurées quotidiennement sur le canal de sortie : MES, DCO, DBO_5 et Azote global. Une notation binaire est attribuée à chaque mesure telle que :

- valeur inférieure à la norme 1,
- valeur supérieure à la norme 0.

Lorsqu'une seule valeur est égale à 0, on attribue une note globale de zéro à la journée concernée. Les normes de rejet, en concentration et en flux, fixées par l'arrêté préfectoral sont données dans le tableau 5. L'indice que nous avons calculé est basé sur les concentrations mesurées quotidiennement et comparées aux normes journalières maximales. Le suivi des analyses d'autosurveillance de la station de Norampac Avot-Vallée est réalisé sur

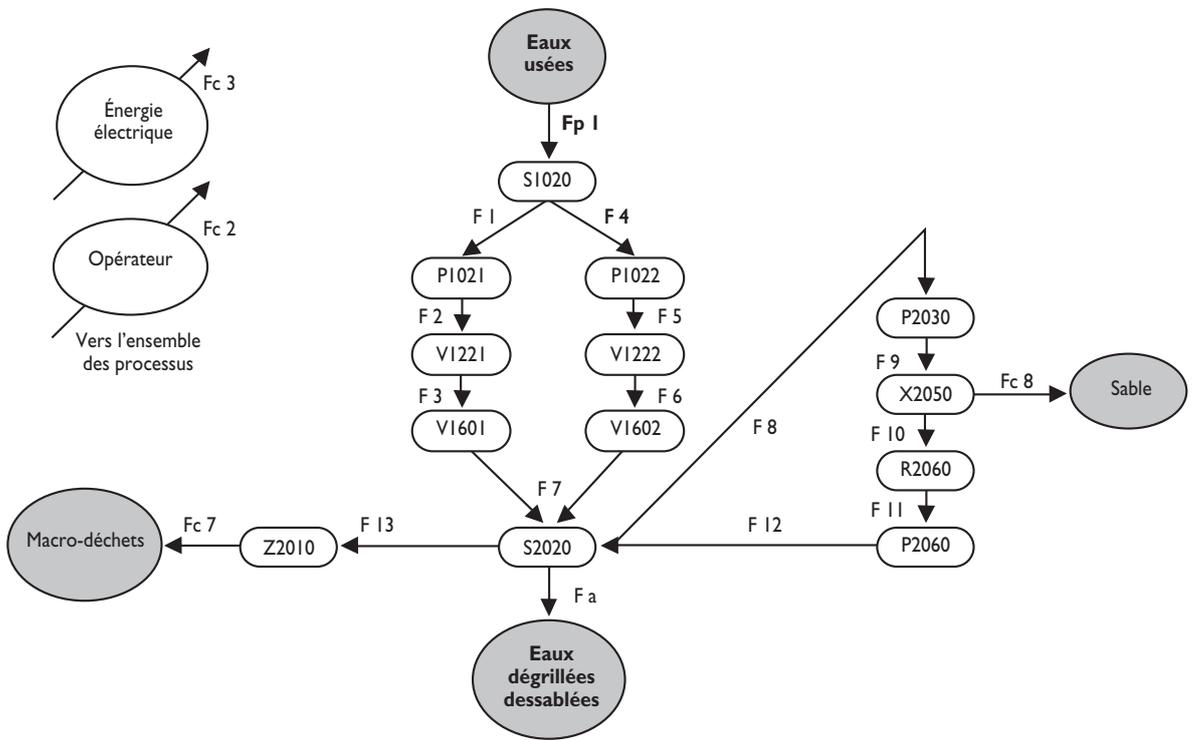
Tableau 5 : Extrait de l'arrêté préfectoral, normes de rejet

	Concentration en kg/m ³		Flux		Spécifique en moyenne mensuel kg/T
	Max journalier	Moyen mensuel	Max journalier kg/j	Moyen mensuel kg/j	
MES	0,080	0,075	280	224	0,7
DCO	0,350	0,320	1200	960	0,6
DBO5	0,075	0,060	240	192	3
N global	0,030	0,030	75	50	-

une feuille de calcul Excel. Celle-ci permet, entre autres, de visualiser automatiquement par changement de couleur les valeurs non conformes et donc de calculer facilement le TQS. Ainsi sur la période durant laquelle a été faite une partie de ce travail (250 jours) une note globale égale à 0 a été observée pendant 50 jours, le TQS est alors de

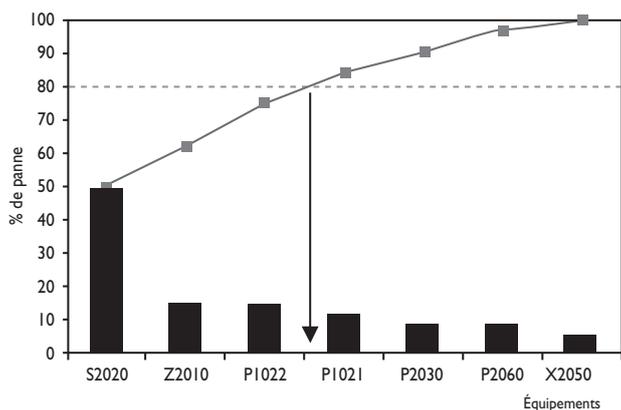
Tableau 6 : TQS année 2002 (%)

janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
87	89	73	83	87	63	84	87	87	90	93	74



Références		Fonctions de la zone I	
S1020 : Poste de relèvement	X2050 : Vis d'extraction des sables	F1 : Amener l'eau usée vers la pompe P1021	F8 : Envoyer les sables décantés vers P2030
P1021 et P1022 : Pompes de relevage	Z2010 : Convoyeur sortie dégrilleur	F2 : Amener l'eau vers l'électrovanne V1221	F9 : Amener les sables vers la vis X2050
V1211 et V1222 : Electrovanes R2060		F3 : Amener l'eau vers la vanne V1601	F10 : Récupérer l'eau dans
V1601 et V1602 : Vannes manuelles		F4 : Amener l'eau vers la pompe P1022	F11 : Amener l'eau vers la pompe P2060
S2020 : Dégrilleur		F5 : Amener l'eau vers l'électrovanne V1222	F12 : Envoyer l'eau dessablée vers la suite du traitement
P2030 : Pompe aspirant le sable au fond de S2030		F6 : Amener l'eau vers la vanne V1602	F13 : Envoyer les macro déchets vers Z 2010
R2060 : Fosse eau		F7 : Amener l'eau au dégrilleur	

Figure 5 : Analyse fonctionnelle interne de la zone I



S2020	Z2010	P1022	P1021	P2030	P2060	X2050
dégrilleur	convoyeur	pompe				vis d'extraction

Figure 6 : Diagramme de Pareto de la zone I

80 % pour la période considérée. Le TQS mensuel pour l'année 2002 est donné dans le tableau 6. Il est à noter que si les concentrations mesurées quotidiennement peuvent ponctuellement dépasser la norme (traduisant alors un dysfonctionnement de l'installation), les flux mensuels sont, quant à eux, inférieurs aux valeurs cibles. Cet indice évalué mensuellement ou trimestriellement permet d'évaluer la sûreté de fonctionnement de l'installation d'épuration liée à une bonne tenue de ses équipements et donc à un plan de maintenance adapté. Il peut s'agir d'un objectif à atteindre ou d'une limite en deçà de laquelle il convient de ne pas tomber.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'objectif de ce travail est d'établir un diagnostic/maintenance d'une installation périphérique à l'outil de production en appliquant les méthodes classiques de la maintenance. L'équipement concerné, capital pour le respect de l'environnement, est la station de traitement des eaux usées issues de la production du papier. Le diagnostic ainsi établi repose sur l'analyse fonctionnelle de l'usine de dépollution et sur l'Amdec du procédé de traitement. Le calcul d'un indice de performance a été développé, il permet de contrôler le bon fonctionnement de l'usine dans le temps et de se fixer pour objectif d'obtenir mensuellement un TQS constant et voisin de 100 %. Si la démarche ainsi proposée peut paraître longue et fastidieuse, il reste que son suivi dans le temps devrait permettre l'amélioration des rejets aqueux de la station d'épuration mais aussi de la qualité des eaux recyclées en production ainsi que celle des boues mises à l'épandage. Le problème essentiel rencontré sur le terrain est le manque de retour d'expérience. De nombreuses micro-interventions ou interventions banales ne sont pas forcément répertoriées. La collecte d'informations nécessite la mise en place de fiches de suivi des interventions et la participation des hommes de terrain grâce à leur connaissance et à leur maîtrise du procédé.

A terme une telle étude devrait conduire à relier les entrées et les sorties du système via les différents processus (et leur défaillance possible) en vue d'établir un modèle permettant l'optimisation du rendement épuratoire de la station de traitement des eaux et l'obtention en continu de rejets acceptables par le milieu naturel.

* **P.-X. Thivel**,
Université Joseph Fourier, IUT I dpt Chimie, 39 – 41 Bd Gambetta, 38000 Grenoble, pierre-xavier.thivel@ujf-grenoble.fr

** **P. Hus**,
M. Depriester, Université du Littoral - Côte d'Opale, Centre Universitaire Descartes, avenue René Descartes, 62968 Longuenesse Cedex

*** **F. Rougeot**,
Norampac Avot Vallée, service environnement, 71 rue Jean Jaurès, 62575 Blendecques, floriane_rougeot@norampac.com

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier messieurs A. Coffin et B. Epifani respectivement responsables des services environnement et maintenance, l'ensemble du personnel de la station d'épuration de Norampac Avot-Vallée, pour leur aide et leur connaissance du terrain ainsi que la promotion 2001/2003 de l'IUP Maintenance Industrielle, option Environnement de l'Université du Littoral - Côte d'Opale qui a contribué, à travers les projets de licence et de maîtrise, à la réalisation de ce travail (M. Depriester, E. Doutrelant, C. Guerbois, V. Leuregans, S. Margerin, A. Otende, P. Van-Tuyckom).

Nomenclature

- AFE / AFI : analyse fonctionnelle externe/interne
- Amdec : analyse des modes de défaillances, de leur effet et de leur criticité
- DBO : demande biochimique en oxygène (kg/m³ d'O₂)
- DCO : demande chimique en oxygène (kg/m³ d'O₂)
- IM : Indice de Mohlmann (mL/g)
- MES : matière en suspension (kg/m³)
- TQS : taux de qualité synthétique

Bibliographiques

- [1] Monchy F., *Maintenance, méthode et organisation*, Dunod, Paris, 2000, 512p
- [2] Toscano R., Lyonnet P., *Méthodologie générale d'aide à la conception d'un système de diagnostic/maintenance*, 8^e congrès français de génie des procédés, CDRom, Nancy, 2001
- [3] Norme NF X60 – 010, Afnor, Paris, 1994, (remplacée depuis par NF EN 13306, Afnor, Paris, 2001 et FD X 60-000, Afnor, Paris, 2002)
- [4] Norme NF EN 1325-1, Afnor, Paris, 1995
- [5] Zwingelstein G., *La maintenance basée sur la fiabilité*, Hermes, Paris, 1996, 666p
- [6] Chatain J.-N., *Diagnostic par système expert*, Hermes, Paris, 1993, 234p
- [7] Francastel J.-C., Jourden P., *Pratique de la maintenance industrielle : méthodes, outils, applications*, Dunod, Paris, 2003, 3500p
- [8] Norme NF X60 – 510, Afnor, Paris, 1986
- [9] Pierre F., Pons M.-N., Potier O., Chanel S., *Analyse du cycle de vie d'une installation de traitement de eaux urbaines*, 8^e congrès français de génie des procédés, CD Rom, Nancy, 2001