



**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES  
ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE  
POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE  
MASTER  
SPECIALITE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 15/07/2024 par

**Roland Césair NGAKANOU NJOYA (20210492)**

**Encadrant 2iE : Dr. Sayon dit Sadio SIDIBE Enseignant Chercheur / Maitre de  
Conférence – Département Génie Electrique, Energétique et Industriel (GEEI)**

**Maître de stage : Ing. Assane NOMBRE 1<sup>er</sup> Jumeau, Chef de Station de Pompage SP3  
de l'ONEA Ouagadougou.**

Structure (s) d'accueil du stage : Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Marie SAWADOGO

Membres et correcteurs : M. Souleymane BARRO  
M. Ahmed ZONGO

**Promotion [2023/2024]**

## **DEDICACES**

Je dédie ce travail

À ma famille pour l'éducation, les valeurs morales et sociales qu'elle m'a inculquées et son soutien inébranlable qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

En particulier à ma maman KAKMENI GENEVIEVE de m'avoir soutenu dans toutes mes prises de décisions et pour tous ses sacrifices.

À toi mon Oncle LEUMADJIE Jean, ceci est ma profonde gratitude pour ton accompagnement dans ma vie professionnelle et ton éternel amour.

À mes frères (MIENGUE Léopold, TEUMAWE N. Maurice, TEUMAWE K. Pascal, WENDEWA E. Landry, KAMENI Honoré, NGADJEU N. Hervé...) et sœurs (NGAKANOU E. Marie-Claire, MONKAM E. Doris, ONSI N. Edwige, DJIENTCHEU E. Viviane, TEUMAWE D. Caroline, WESSIKOUA N. Inès, BOUENDEU Josephine...) qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

## CITATIONS

« *Labor omnia vinci improbus : un travail opiniâtre vient à bout de tout* »

*Citation reprise de deux vers des Géorgiques de Virgile (Virgile, Géorgiques, Les Belles  
Lettres, Paris, 2003, p. 7.)*

## REMERCIEMENTS

Nous ne saurons poursuivre la rédaction ce mémoire sans toutefois exprimer notre profonde gratitude à ceux qui nous ont apporté leurs soutiens durant notre travail. Ainsi, nos remerciements les plus sincères vont à l'égard :

- ❖ Des dirigeants de l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) de Ouagadougou Burkina Faso ;
- ❖ De Directeur de mémoire **Dr. Ing. SAYON dit Sadio SIDIBE**, Enseignant-chercheur au département Génie Electrique, Energétique et Industriel de l'Institut 2iE pour ses prestigieux conseils professionnels et son accompagnement académique ;
- ❖ Des dirigeants de l'entreprise d'accueil du stage dont le Directeur Général **M. Flandion Idrissa SOURABIE**, le Directeur de l'Exploitation Eau Potable **M. Barnabé MILLOGO** et le Chef de Département Maintenance **M. Salifou OUEDRAOGO** pour tous les moyens d'accompagnement et dispositions prises en vue du bon déroulement de ce stage ;
- ❖ De mon maitre de stage **Ing. Assane NOMBRE 1<sup>er</sup> Jumeau**, Chef de Station de Pompage 3 (SP3) de Ouagadougou, pour son suivi et sa contribution ;
- ❖ De l'ensemble du personnel **la Direction d'Exploitation Eau Potable**, en particulier **M. SANDWIDI J. François** (Chef de Service Réduction Perte d'Eau) **et M. Samuel YALPOUDGOU** (Chef de Station de Traitement d'Eau ZIGA), pour leur assistance et leur aimable attention à l'enrichissement professionnel de mon séjour à l'ONEA ;
- ❖ De ma **famille** et de **mes proches** pour leur soutien et l'exécution inébranlable de leurs devoirs fraternels et amicale.

## **RESUME**

Dans une Station de Pompage (SP), la connaissance du débit est nécessaire pour la gestion des approvisionnements et la minimisation des pertes. Dans ce contexte, les débitmètres utilisés sont des technologies électromagnétiques ou ultrasoniques. Cependant, leur fiabilité est d'autant plus importante dans le domaine de l'eau de boisson que la qualité du produit fini en dépend. Cette étude vise principalement à détecter et identifier les pannes des débitmètres électromagnétiques à partir des symptômes observés, inspectés et testés sur les sites de SP3. Plus d'une dizaine de débitmètres électromagnétiques fournissent des mesures erronées (ou incohérentes), des mesures sous-estimées, des mesures figées ou des mesures négatives à des points stratégiques des sites (Entrée Bâche – Refoulement au Château – Distribution). Cette situation constitue une contrainte pour l'évaluation correcte des bilans de production et l'efficacité opérationnelle des agents d'exploitation. Après une revue de la littérature sur les méthodes de diagnostic des capteurs de débit, nous avons vérifié des hypothèses formulées à partir de la collecte de données en utilisant un organigramme de diagnostic conçu à cet effet, afin de qualifier les pannes selon les différents cas. L'analyse des résultats obtenus, incluant les valeurs de résistances et tensions des circuits, les codes d'erreurs des dispositifs et de configuration, ainsi que les débits simulés sur site, montre que ces pannes sont causées par une électronique défectueuse, une rupture du signal de courant de champ, une absence de compensation de potentiel et des paramètres de mise en service non conformes. Les solutions proposées comprennent : (i) à court terme : le remplacement des composants électroniques défectueux, l'étalonnage et le reparamétrage, ainsi qu'un diagnostic avancé sous l'expertise du fabricant ; (ii) à long terme : la compensation du potentiel et la formation du personnel exploitant. En outre, la mise en œuvre des recommandations formulées permettrait de résoudre les problèmes à long terme, garantissant ainsi la qualité sanitaire de l'eau et réduisant les coûts d'exploitation.

### ***Mots Clés :***

- 
- 1 - Capteur***
  - 2 - Défaillance***
  - 3 - Diagnostic***
  - 4 - Electromagnétique***
  - 5 - Transmetteur***

## **ABSTRACT**

In a pumping station, knowing the flow rate is essential for managing supplies and minimizing losses. In this context, the flow meters used are either electromagnetic or ultrasonic technologies. However, their reliability is particularly crucial in the field of drinking water, as the quality of the final product depends on it. This study mainly aims to detect and identify failures in the electromagnetic flow meters based on the symptoms observed, inspected, and tested at the SP3 sites. More than ten electromagnetic flow meters provide erroneous (or inconsistent) readings, underestimated measurements, frozen readings, or negative measurements at strategic points in the sites (Basin Entry - Discharge to the Castle - Distribution). This situation poses a challenge for the accurate assessment of production balances and the operational efficiency of the operating agents. After reviewing the literature on flow sensor diagnostic methods, we tested hypotheses formulated from data collection using a diagnostic flowchart designed for this purpose to classify the failures according to different cases. The analysis of the obtained results, including resistance and voltage values of the circuits, error codes from the devices and configuration, as well as simulated flow rates on-site, shows that these failures are caused by defective electronics, signal loss from the field current, lack of potential compensation, and non-compliant commissioning parameters. The proposed solutions include: (i) in the short term: replacing defective electronic components, calibration and reconfiguration, as well as advanced diagnostics under the manufacturer's expertise; (ii) in the long term: potential compensation and training for operating personnel. Furthermore, implementing the recommended measures would help resolve long-term issues, thereby ensuring the hygienic quality of the water and reducing operating costs.

***Key words:***

- 
- 1 - Sensor***
  - 2 - Failure***
  - 3 - Diagnosis***
  - 4 - Electromagnetic***
  - 5 - Signal Converter***

## LISTE DES ABREVIATIONS

**AEP** : Approvisionnement en Eau Potable

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**AMDE** : Analyse des Modes de Défaillances et leurs Effets

**AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillances, leurs Effets et de leur criticité

**API** : Automate Programmable Industriel

**CEMEAU** : Centre des Métiers de l'Eau

**Cf** : Confère

**CH1/CH2** : Chanel 1/ Chanel 2

**DEM** : Débitmètre Electromagnétique

**DN** : Diamètre Nominale

**DRO** : Direction Régionale de Ouagadougou

**EEPROM** : Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

**E+H** : Endress+Hauser

**EN** : Normes Européennes

**EPD** : Empty Pipe Detection (Détection de tube vide)

**HART** : Highway Addressable Remote Transducer

**IP** : Internet Protocol

**MT/BT** : Moyenne Tension/Basse Tension

**OED** : Open Electrode Detection

**PROFIBUS DP** : Process Field Bus – Decentralised Peripheral

**PROFINET** : Process Field Network

**PTFE** : Polytétrafluoéthylène

**RTU** : Remote Terminal Unit

**SAV** : Service Après-Vente

**S-DAT / T-DAT** : Exchangeable Data Storage

**SP3** : Station de Pompage N°3

**TT** : Temps de Transit

**WLAN** : Wireless Local Area Network

**2iE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

## SOMMAIRE

DEDICACES .....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTE DES ABREVIATIONS .....	vi
SOMMAIRE .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
INTRODUCTION.....	1
<b>I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>2</b>
<b>I.1. Présentation de l'ONEA.....</b>	<b>2</b>
<b>I.2. Présentation de la zone d'étude .....</b>	<b>5</b>
<b>II. PRESENTATION DE L'ETUDE .....</b>	<b>7</b>
<b>II.1. Contexte et enjeux de l'étude .....</b>	<b>7</b>
<b>II.2. Objectif de l'étude (général et spécifiques).....</b>	<b>8</b>
<b>II.3. Hypothèse de travail .....</b>	<b>8</b>
<b>III. METHODOLOGIE/PLANIFICATION DE L'ETUDE.....</b>	<b>10</b>
<b>III.1. Méthodologie de travail.....</b>	<b>10</b>
<b>III.2. Matériels nécessaires .....</b>	<b>12</b>
<b>IV. ETAT DE L'ART DES DEBITMETRES DES SITES RELEVANTS DE LA SATION SP3 DE L'ONEA .....</b>	<b>15</b>
<b>IV.1. Technologie des débitmètres des sites de pompage.....</b>	<b>15</b>
<b>IV.1.1. Technologie des débitmètres électromagnétiques.....</b>	<b>15</b>
<b>IV.1.2. Technologie des débitmètres à ultrasons .....</b>	<b>19</b>
<b>IV.2. Avantages et inconvénients/limites d'utilisation .....</b>	<b>24</b>
<b>IV.3. Application dans le domaine de l'eau potable : étude de cas des débitmètre     ENDRESS+HAUSER et KROHNE des sites de SP3 .....</b>	<b>26</b>
<b>IV.5. Analyse des impacts sur la chaîne de production .....</b>	<b>32</b>
<b>V. DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEMs.....</b>	<b>35</b>
<b>V.1. Typologie des dysfonctionnements des débitmètres électromagnétiques.....</b>	<b>35</b>

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

VI.2. Définition des méthodes traditionnelles de diagnostic de DEMs.....	38
<b>VI. DIAGNOSTIC DES DEMs DES SITES DE SP3 .....</b>	<b>51</b>
VI.1. Proposition d'une méthode de diagnostic des DEMs .....	51
VI.2. Pratique du diagnostic des DEMs sur le site RA .....	51
VI.3. Validation de la méthode de diagnostic .....	57
<b>VII. ETUDE TECHNIQUE DES SOLUTIONS PROPOSEES : SOLUTION A COURT TERME ET SOLUTION A LONG TERME .....</b>	<b>59</b>
VII.1. Solution à court terme : .....	59
VII.2. Solution à long terme : .....	60
<b>VIII. ETUDE DES COÛTS DES SOLUTIONS PROPOSEES.....</b>	<b>61</b>
VIII.1. Option 1 : Solutions à court terme .....	61
VIII.2. Option 2 : Solution à long terme .....	62
<b>IX. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>63</b>
<b>X. RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>I</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>VI</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> avantages des technologies de débitmètres retrouvés sur les sites de l'ONEA ....	24
<b>Tableau 2:</b> limites d'utilisations des technologies de débitmètres retrouvés sur les sites de l'ONEA .....	25
<b>Tableau 3:</b> situation des débitmètres des sites RA, R11AD, RI, RC .....	26
<b>Tableau 4:</b> check-list de dépannage de base : extrait du manuel de mise en service Promag 50 [1] .....	47
<b>Tableau 5:</b> erreur de processus (extrait du manuel d'opération Promag 50) [1].....	49
<b>Tableau 6 :</b> Devis estimatif pour remplacement des pièces défectueuses.....	62
<b>Tableau 7 :</b> Devis quantitatif estimatif pour compensation de potentiel des débitmètres.....	62

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Cartographie des régions et centres de l'ONEA (source : ONEA,2018).....	5
<b>Figure 2:</b> Synoptique de fonctionnement du système (extrait du manuel d'O&M du site RC- Marché No54/2003/MFB/MAHRH/ONEA/MOZ).....	6
<b>Figure 3:</b> Cartographie des sites et réseaux de refoulement d'eau de la ville de Ouagadougou et environnants (ONEA).....	7
<b>Figure 4:</b> Méthodologie de l'étude et du diagnostic.....	11
<b>Figure 5:</b> débitmètre à ultrasons clamp-on portable (source : SeFlow400 V2-1, SEWERIN Sarl, 2020).....	12
<b>Figure 6:</b> Simulateur de débit calibré GS8 (photo : Krohne) .....	13
<b>Figure 7:</b> Proline FieldCheck E+H (photo : ALL-Pribors.ru).....	13
<b>Figure 8:</b> Débitmètres électromagnétiques version séparée (à gauche) et version compact (à droite) ; (source : Schneider Electric & SupmeaAutomation) .....	15
<b>Figure 9:</b> Capteur à tube de mesure : Vue éclaté d'un débitmètre à champ uniforme constant ; montage à brides (Photo : Krohne) [20].....	16
<b>Figure 10:</b> Sonde électromagnétique à insertion (photo : Krohne) [20].....	17
<b>Figure 12:</b> Transmetteur intégré au tube de mesure .....	17
<b>Figure 11 :</b> Transmetteur déporté/mural pour mesure de débit .....	17
<b>Figure 13:</b> Schéma du principe de mesure des débitmètres électromagnétiques (source : Krohne) [8].....	18
<b>Figure 14:</b> architecture de communication (source : Proline Promag W 400 E+H) .....	19
<b>Figure 15:</b> Capteur à ultrasons clamp-on ; source : Endress+Hauser.....	20
<b>Figure 16:</b> Capteur à ultrasons inline ; (photos : siemens ; Endress+Hauser).....	20
<b>Figure 17:</b> Débitmètres à ultrasons avec mesure à deux voies (source : Endress+Hauser) ....	21
<b>Figure 18:</b> Débitmètres à ultrasons à deux cordes de mesures (source : Endress+Hauser) ....	22
<b>Figure 19:</b> Schéma du principe de mesure par la méthode Doppler (source : Fuji Electric) ..	23
<b>Figure 20:</b> Schéma du principe de mesure par la méthode Temps de Transit ; (source : Fuji Electric) .....	23
<b>Figure 21:</b> porte du coffret RTU.....	27
<b>Figure 22:</b> connexion des câbles du capteur (fig.17/18 extrait du manuel de mise en service) .....	28
<b>Figure 23:</b> connexion du transmetteur (fig.19 extrait.....	29
<b>Figure 24:</b> connexion du transmetteur (fig.19 extrait) .....	29

<b>Figure 25:</b> raccordement de la version séparée (extrait du manuel du produit Promag 50L) .	29
<b>Figure 26:</b> Conception de la version murale IFC100W [7].....	30
<b>Figure 27:</b> Schéma de raccordement du câble de signal et du câble de courant de champ [7]	30
<b>Figure 28:</b> Différentes combinaisons de sorties du convertisseur de mesure [7].....	31
<b>Figure 29:</b> Identification (numéro CG) du module électronique et de la version de sortie.....	31
<b>Figure 30:</b> Bornes de raccordement des sorties.....	31
<b>Figure 31:</b> Connexion à la terre version séparée et version compacte (source : Euromag International).....	32
<b>Figure 32:</b> Classification des méthodes de diagnostic.....	39
<b>Figure 33:</b> messages d'erreurs sur l'afficheur (exemple) [E+H Promag 50] .....	48
<b>Figure 34:</b> Promag 400 /L : Erreur S441 Sortie Courant 1 .....	54
<b>Figure 35:</b> Promag 50W : Erreur de dispositif S...#012 .....	54
<b>Figure 36 :</b> Symptômes de modules d'affichage défectueux : Promag 50W.....	54
<b>Figure 37 :</b> Vue intérieur du regard de capteur de débit électromagnétique .....	55
<b>Figure 38 :</b> Test de résistance sur Promag et Optiflux .....	55
<b>Figure 39 :</b> Messages d'erreur des défauts de fonctionnement du débitmètre Krohne Optiflux2000-IFC100W .....	56
<b>Figure 40:</b> Réglage de l'échelle de mesure sur IFC100W .....	56
<b>Figure 41:</b> Test de résistance (résistance des bobines .....	56

## **INTRODUCTION**

Au Burkina Faso comme dans plusieurs pays en voie de développement, l'eau est une ressource essentielle pour les populations et les activités qui en sont tributaires. L'utilisation des dispositifs métrologiques fiables et précis, est primordial pour garantir la qualité de l'eau produite. A l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA), les débitmètres sont utilisés pour mesurer (ou compter) les débits d'eau au prélèvement, au traitement et à la distribution. Sur les sites de pompage de la Station SP3, l'on retrouve deux technologies de débitmètres couramment utilisées dans le domaine de l'eau : les débitmètres électromagnétiques et les débitmètres ultrasoniques. Cependant, les exploitants rencontrent des difficultés pour évaluer les bilans de production et gérer efficacement la maintenance des équipements de débitmétrie sur site. Cela s'explique par la présence accrue de débitmètres défectueux sur l'ensemble des sites de distribution et la méconnaissance des technologies associées à ces débitmètres. Ainsi, notre thème intitulé « Etude et Diagnostic de pannes des débitmètres électromagnétiques des sites de la Station de Pompage N°3 (SP3) » a été retenu pour répondre à cette problématique. L'objectif de cette étude est d'identifier et localiser les pannes des débitmètres électromagnétiques des sites de la Station SP3. Des travaux précédents réalisés dans ce domaine ont montré que les défaillances des débitmètres électromagnétiques peuvent être attribuées à des facteurs tels que le manque de maintenance préventive [16], des erreurs d'installation [11], et des influences environnementales externes [14]. Ces études antérieures fournissent des informations clés qui éclairent la compréhension des problèmes que nous cherchons à résoudre. Afin d'atteindre notre objectif, nous avons dans un premier temps, établi un organigramme de diagnostic inspiré de notre revue de littérature. Ensuite, à partir des données sur l'historique de fonctionnement desdits débitmètres, nous avons émis des hypothèses de travail. Enfin, pour nos diagnostics sur sites, nous avons appliqués les méthodes de diagnostic des dispositifs de mesure directe des volumes d'eau...[46], combinées à notre organigramme de diagnostic. Ce mémoire est le fruit de l'observation de toutes les réalités pratiques auxquelles nous avons été confrontés durant cette période de stage. Il est structuré comme suit :

Après la présentation du cadre d'étude, nous ferons l'état de l'art desdits débitmètres. Ensuite, nous poursuivrons avec l'étude et le diagnostic des pannes, pour conclure avec la proposition de solutions.

# I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

## I.1. Présentation de l'ONEA

Dans cette première partie de notre mémoire, nous ferons une brève présentation de l'entreprise d'accueil du stage. Il s'agira pour nous de faire un historique synthétique de l'ONEA, présenter ensuite son organisation et ses missions, y compris ses produits et services offerts et enfin sa situation géographique.

### I.1.1. Historique

Avant l'avènement de l'indépendance et de la nationalisation du Burkina Faso (avant 1960 jusqu'en 1977), la gestion du système d'approvisionnement en eau potable (AEP) relevait d'entreprises privées : **Energie AOF** (Afrique occidentale Française), Société Africaine d'Eau et d'Electricité (**SAFELEC**), Société Voltaïque d'Eau et d'Electricité (**VOLTELEC**) et Société Nationale des Eaux (**SNE**).

Un des faits marquants de cette époque est celui de l'entrée en application de l'ordonnance N°77/006/PRES du 23/02/77, qui nationalisera la gestion des systèmes collectifs d'AEP avec la création de l'Office National de l'Eau (**ONE**) sous forme d'établissement public d'Etat à caractère industriel et commercial. Au même moment, l'Office reçut le monopole de la gestion de toutes les entités et opérations de stockage, de traitement, d'épuration, de transport et de distribution d'eau brute et potable.

Cependant, le décret du 26 avril 1977 portant statut de l'ONE, précisait que la création de ce dernier avait également pour objet la réalisation des programmes de traitement d'eaux usées en vue de leur recyclage dans les circuits de distribution (Historique – ONEA). C'est ainsi qu'après décision du ministre de l'eau le 10 octobre 1984, l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (**ONEA**) verra le jour par décret n°85/387/CNR/PRES/EAU du 28 Juillet 1985, pour pallier les problèmes de pollution et d'assainissement liés à l'accroissement de la consommation d'eau dans les villes et au manque d'infrastructures.

## I.1.2. Missions et Organisation

Pour commencer, nous tenons à mentionner que les rapports entre l'Etat et l'ONEA sont régis par un plan triennal et un cahier des charges fixant les conditions de création, d'exploitation et de protection des infrastructures d'eau et d'assainissement sous gestion de l'ONEA. – (Missions – ONEA) – Cet Office est placé sous la tutelle : technique du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) ; de gestion du Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat ; financière du Ministère de l'Economie et des Finances.

### ❖ Missions

Les missions principales de l'ONEA sont :

- **Secteur de l'eau** : La création, la gestion et la protection des installations de captage, d'adduction, de traitement et de distribution d'eau potable pour les besoins urbains et industriels.

Dans le secteur de l'eau, il effectue le traitement et la distribution des eaux de surface et souterraine à ses abonnés sur l'ensemble du territoire national. L'Office dispose également de dispositifs de contrôle et suivi de la qualité des eaux distribuées, à travers son **Service Qualité Eau** et ses différents **laboratoires** qui œuvrent dans : **le contrôle de la qualité des eaux usées et épurées ; le contrôle de la potabilité de l'eau de boisson et des eaux naturelles** (puits, forages, eaux de surface...) ; y compris des **études et bilans de pollution industrielle, agricole, etc.**

- **Secteur de l'assainissement** : La création, la gestion, la promotion et l'amélioration des installations d'assainissement collectif, individuel ou autonome pour l'évacuation de eaux usées et excréta en milieu urbain et semi-urbain.

Le Gouvernement a confié à l'ONEA la responsabilité générale de l'assainissement des eaux usées et excréta en milieu urbain et semi-urbain. – (Service en assainissement – ONEA) – . L'accomplissement de cette mission s'effectue à travers deux types de service offert : l'assainissement autonome et l'assainissement collectif.

### ❖ Organisation

L'ONEA dispose à sa tête d'un conseil d'administration (CA) qui est obligatoirement saisi de toutes les décisions importantes pouvant influencer la marche générale de la structure. L'Office est dirigé par une Direction Générale qui regroupe les Directions Régionales et départements suivants l'organigramme fourni en **annexe 20** de ce document.

### I.1.3. Localisation

L'Office national de l'eau et de l'assainissement (ONEA) est depuis 1994 une société d'Etat burkinabé dont la mission est l'approvisionnement en eau potable et assainissement (AEP) en milieu urbain et péri-urbain. – (Carte d'implantation – ONEA, 2018) – Son siège est basé à Ouagadougou et assure la gestion de 59 centres dotés de système d'AEP sur l'ensemble du territoire national. Ci-après sur la figure 02 la répartition des directions régionales et centres de l'ONEA :



Figure 1: Cartographie des régions et centres de l'ONEA (source : ONEA,2018)

## I.2. Présentation de la zone d'étude

Sous l'autorité de la Direction Régionale de Ouagadougou (DRO), la Station de Pompage No 3 (SP3) constitue le point de distribution principale de la ville. Son approvisionnement provient de la Station de traitement d'eau de Ziga (SP1 & SP2) et permet desservir plus d'une quinzaine de sites de pompage répartis dans toute la ville. Il s'agit des sites R2A, R8, RC, RC3, RG, RH, RD, RE, R11AD, R2, RB, RI, RJ, RA, R4A, RK, etc., ayant tous un mode de fonctionnement similaire.

### I.2.1. Présentation des Sites de la Station de Pompage N°3

Les sites susmentionnés font office de stations de pompage pour la distribution et/ou le refoulement de l'eau potable d'un site à un autre.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Chaque site comprend trois ou quatre principaux ensembles :

- 01 bache d'aspiration ou de reprise 2000m<sup>3</sup>
- 01 ou 02 station de pompage comprenant des groupes électropompes
- 01 château d'eau de 2000m<sup>3</sup>

L'installation est équipée de sondes de niveau ultrasonique et d'électrodes reliés à un relais « manque d'eau », de débitmètres à ultrasons et/ou électromagnétiques placés respectivement sur les baches et les conduites d'aspiration/refoulement/distribution. L'alimentation des sites est réalisée par un ou plusieurs transformateur MT/BT et d'un groupe électrogène de secours dont les caractéristiques varient d'un site à un autre. Un coffret RTU équipé d'un commutateur « Distant/Local » donne le choix entre deux modes de fonctionnement de la station de pompage : (i) Distant : les démarrages et arrêts des pompes sont faits en tenant compte des données transmises depuis le superviseur ; (ii) Local : le démarrage et l'arrêt de chaque pompe est fait en tenant compte du réglage de l'horloge industrielle dédiée à chaque pompe. L'eau est pompée de la bache d'aspiration vers le château d'eau avant d'être distribuée à travers toute la ville.

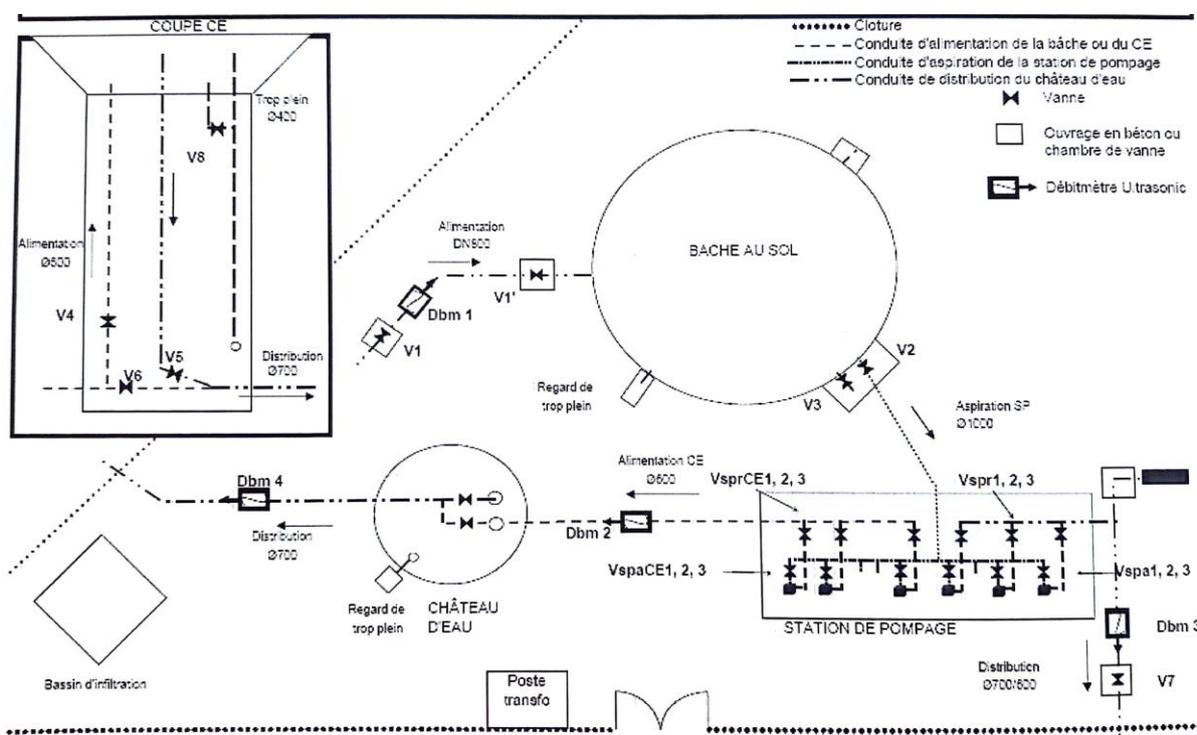


Figure 2: Synoptique de fonctionnement du système (extrait du manuel d'O&M du site RC-Marché No54/2003/MFB/MAHRH/ONEA/MOZ)

## I.2.2. Situation géographique

La desserte en eau potable dans la ville de Ouagadougou assurée grâce aux multiples stations de pompage et réservoirs répartis dans différentes zones de la ville (Karpala, Bendogo, Pissy, Ouaga 2000, Tampouy, Goughin...). L'eau est refoulée d'un site à un autre afin de rendre sa distribution plus efficace et garantir un débit acceptable en tout point de consommation. Ci-après la cartographie du réseau de refoulement d'eau de la ville de Ouagadougou :

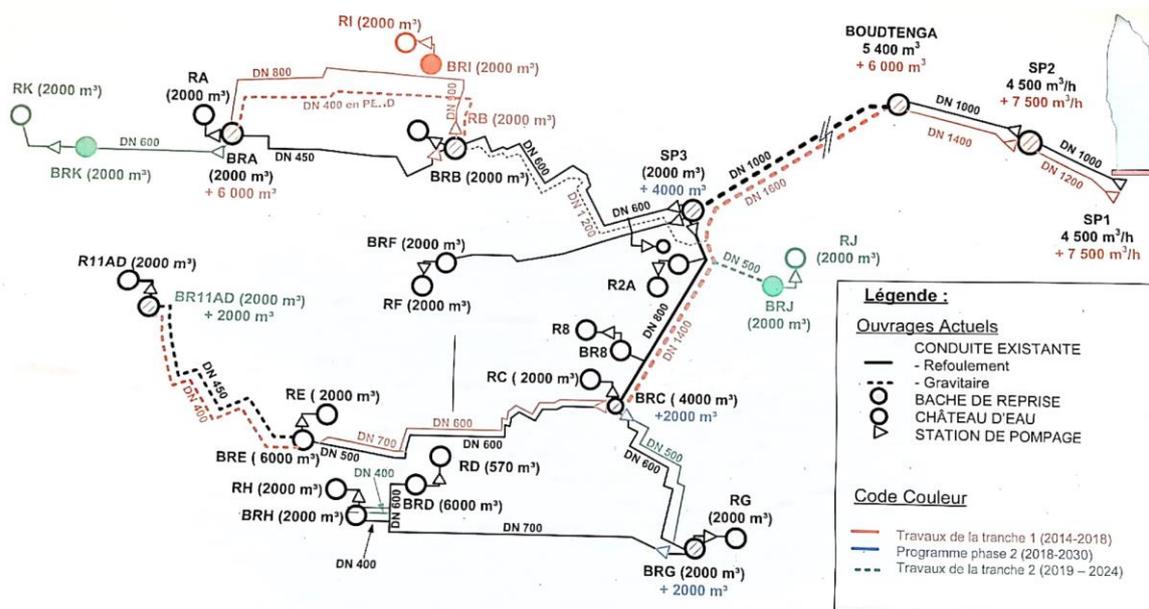


Figure 3: Cartographie des sites et réseaux de refoulement d'eau de la ville de Ouagadougou et environnants (ONEA)

## II. PRESENTATION DE L'ETUDE

### II.1. Contexte et enjeux de l'étude

La station de pompage SP3 de Ouagadougou dispose d'un ensemble d'infrastructure de distribution d'eau potable et d'une multitude de sites de pompage relevant de celui-ci. Cependant, l'on a pu relever dans l'ensemble des 17 sites de pompage, un dysfonctionnement des débitmètres placés sur les conduites à des points stratégiques des sites (Entrée/Sortie Château, Entrée Bâche, Refoulement/distribution...). C'est le cas des sites **RA**, **R11AD**, **RI** et **RC** où nous avons des débitmètres qui sous-comptent comparés aux débits nominaux des électropompes en place et d'autres hors service. Cette situation ne permet pas aux exploitants d'acquiescer des mesures de débits correctes et de les contrôler en temps réel, ce qui rend difficile le suivi et l'évaluation de la production en temps voulu, y compris la réalisation des bilans de production.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Cette situation présente des répercussions à deux niveaux de la chaîne de production à savoir : (i) au point de prélèvement et traitement de l'eau brute et (ii) coté distribution de l'eau traitée. Ces effets se manifestent par la sous/surconsommation des réactifs (floculant ou coagulant, correcteur de ph et désinfectant), la mauvaise filtration de l'eau et la détermination des rendements et indicateurs de production erronés. Face à tout cela, la maîtrise des débits (ou des volumes) d'eau à chaque étape du procédé est primordial pour **garantir la qualité sanitaire de l'eau distribuée et la réduction des coûts d'exploitation**. De toute évidence, un dysfonctionnement des débitmètres dans le processus de distribution de l'ONEA, ne permettrait pas aux exploitants d'équilibrer les charges distribuées et d'identifier les fuites/pertes potentielles sur le réseau d'approvisionnement. Sachant que la configuration des sites est similaire et que les technologies de débitmètres installés étant identiques sur l'ensemble des sites, la résolution des défaillances des dispositifs de débitmètrie des sites susmentionnés, permettrait d'implémenter les mêmes solutions sur les autres sites relevant de la Direction Régional de Ouagadougou.

### II.2. Objectif de l'étude (général et spécifiques)

De façon générale, l'objectif général de ce stage est de réaliser une étude permettant de garantir la sûreté des relevés de taux d'approvisionnement (eaux distribuées et consommées) et/ou des rendement de production. Spécifiquement, Cette étude nous conduira à :

- Analyser et représenter la chaîne d'acquisition de données des débitmètres électromagnétiques des sites de la station SP3 ;
- Identifier les irrégularités/anomalies des débitmètres électromagnétiques des sites et leurs origines ;
- Evaluer les dommages potentiels ou les pertes liées aux mesures incorrectes des débitmètres ;

### II.3. Hypothèse de travail

A l'issue de notre première visite d'inspection des débitmètres des sites de SP3 et après entretien avec le Chef de station SP3, sur les premières interventions de diagnostic qui avait été réalisé auparavant, nous nous permettons d'émettre des hypothèses qui nous guideront dans nos opérations de diagnostics des pannes de débitmètres électromagnétiques et au passage, de faire des recommandations pour le cas des débitmètres à ultrasons du dit site.

Considérant le fait que les **débitmètres électromagnétiques** (et/ou à ultrasons) **sous-comptent ou fournissent des mesures erronées**, nous pourrions dire ici à première vue qu'il s'agirait d'un **problème d'encrassement au niveau des crépines des électropompes** ou de **l'endommagement du système de turbinage des pompes**. Cependant, ces hypothèses avaient été vérifiées auparavant après le nettoyage des crépines (Entrée bêche) et l'inspections visuelles des composants hydrauliques des pompes. En plus de cela, plusieurs tests de mesure de débit (à l'entrée bêche et au refoulement) avaient été effectués à l'aide d'un débitmètre monovoie portable à ultrasons (**Seflow400**). Les valeurs de débits affichés correspondaient à celles attendues (avoisinant celles marquées sur les plaques signalétiques des électropompes), d'où ces hypothèses avaient été écartées. A cet effet, nous émettrons les hypothèses suivantes que nous vérifierons par la suite afin de proposer une méthode de diagnostic des pannes ou des défauts :

- **Hypothèse 1** : contamination des électrodes du débitmètre par dépôt de particules sur les surfaces et extrémités (encrassement). Ceci pourrait influencer sur les valeurs de courants renvoyés au niveau du transmetteur par les électrodes (et/ou sonde à ultrasons) du fait qu'elles ne correspondront pas aux valeurs calibrées ou attendues (4mA...20mA).
- **Hypothèse 2** : mauvaise compensation de potentiel via la borne de terre et la bride de conduite ou absence de réalisation de la mise à la terre de masse (brides du capteur et brides de conduite non mises au potentiel de terre). On pourrait assister dans ce cas à une mauvaise précision dans la mesure.
- **Hypothèse 3** : mauvaise configuration des paramètres de base et défaut de conversion au niveau du transmetteur (Paramétrage). Ceci peut entraîner l'obtention de faibles ou de fortes valeurs de débits mesurés par rapport à ce qui est attendus.
- **Hypothèse 4** : Enroulement électromagnétique défectueuse dû aux infiltrations d'eau dans les parois internes du capteur.
- **Hypothèse 5** : Insuffisance et/ou manque d'opération d'étalonnage effectué sur les débitmètres régulièrement ou à fréquence recommandée.

### III. METHODOLOGIE/PLANIFICATION DE L'ETUDE

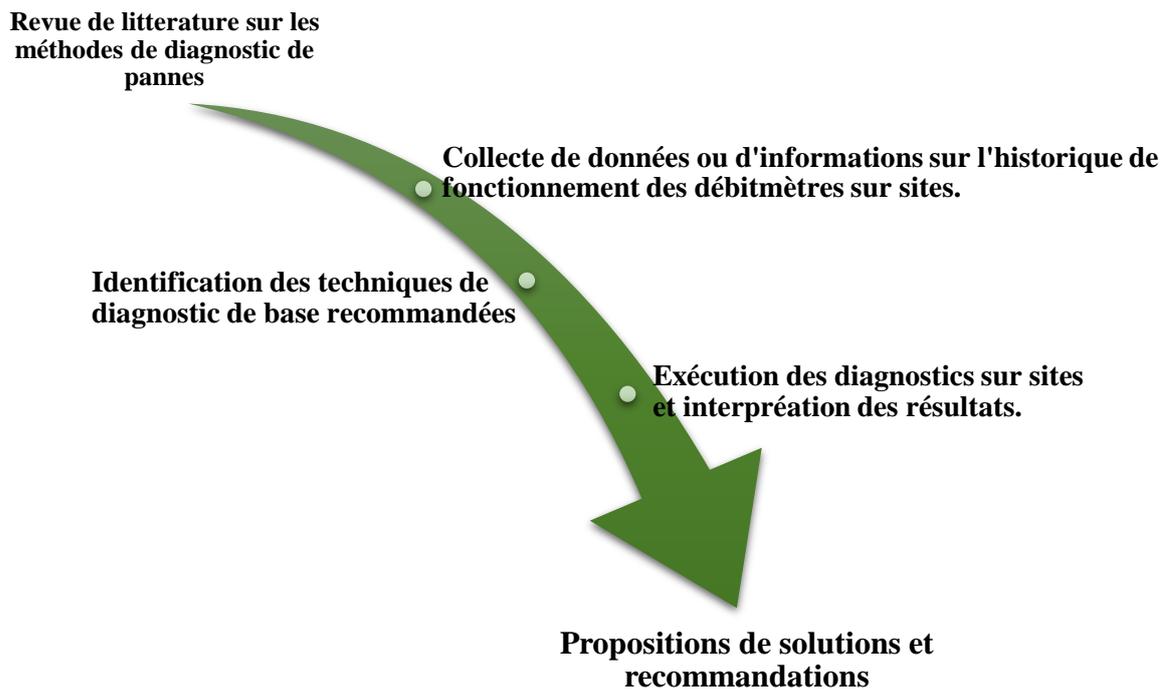
#### III.1. Méthodologie de travail

Dans cette étude, nous aborderons les différents points selon une approche basée sur une revue de littératures relatives aux méthodes de diagnostic des capteurs (en général) et des débitmètres électromagnétiques (en particulier). Nous collecterons également les données sur le terrain par des entretiens avec quelques responsables des sites de pompage de l'ONEA d'une part, et auprès des entreprises prestataires exécutant les travaux d'installation et mise en service des débitmètres d'autre part.

Nous utiliserons les guides d'utilisateurs, les manuels d'opération et les manuels de maintenance des débitmètres électromagnétiques correspondant à notre utilisation afin d'en tirer les techniques de diagnostic et les mesures préventives ou correctives. Une approche basée sur les hypothèses des pannes à vérifier et sur les informations fournies par l'historique de fonctionnement des débitmètres, renseignées dans les registres des agents de maintenance au cours des opérations d'inspection de routine des processus.

Après avoir fait ressortir tous les éléments précédents, nous effectuerons un diagnostic des débitmètres défectueux proprement dit sur site à l'aide d'instrument de mesure et d'autres accessoires d'intervention de maintenance. Les comportements ou symptômes relevés à l'issue de nos opérations de diagnostic nous permettront de qualifier l'objet des défauts/pannes afin de proposer des solutions (à court et à long terme) selon le cas de figure. Ceci conformément aux directives de réalisation de diagnostic sur site des dispositifs métrologiques de comptage d'eau distribuée et/ou prélevée par les agences d'eau. Ci-dessous la méthodologie suivis pour l'atteinte de nos objectifs.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA



*Figure 4: Méthodologie de l'étude et du diagnostic*

- **Revue de littérature sur les méthodes de diagnostic de pannes** : il s'agira de faire ressortir toutes les méthodes de diagnostic de défaillance traité dans les littératures existante et de dire en quoi chacun d'eux consiste.
- **Collecte de données sur l'historique de fonctionnement des débitmètres** : pour cela, nous utiliserons l'outil de questionnaire structuré « **QOQCPC** (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi, Combien) » pour analyser la situation afin de collecter le données nécessaires et suffisantes pour rendre compte du problème.
- **L'identification des techniques de diagnostic de base recommandées** : elle aura pour objet la consultation des manuels d'installation, de maintenance, d'utilisateur et de manuel de fonctionnement fournis par divers fournisseurs de débitmètre que l'on trouvera sur les sites de pompage de l'ONEA.
- **Exécution des diagnostics sur site et interprétation des résultats** : cette étape sera essentiellement basée sur les diverses interventions de diagnostic que nous effectuerons sur les sites de la station de pompage n°3 (SP3).
- **Proposition de solutions et recommandations** : nous proposerons des solutions résultantes de l'appréciation des résultats de diagnostic et les recommandations ferons l'objet de nos observations effectuées tout au long de notre stage.

### III.2. Matériels nécessaires

Au cours de nos opérations de collectes de données et d'exécution de diagnostic, nous utiliserons un certain nombre de biens matériels que nous énumérerons ci-dessous par catégorie :

#### ❖ Les instruments de mesure

- **Le multimètre numérique** : pour effectuer les différentes mesures des caractéristiques des composants (tension d'alimentation, courant d'entrée/sortie, résistance, continuité électrique...).
- **Un débitmètre portatif Seflow 400** : c'est un débitmètre à ultrasons clamp-on portatif pour les mesures temporaires de débits, le contrôle de débitmètres / compteurs et la surveillance des essais de pompage pour les gestionnaires de réseau d'eau potable. Nous l'utiliserons au besoin pour vérifier et comparer les débits relevés au niveau des débitmètres installés avec ceux fournis par l'équipement portatif.



Figure 5: débitmètre à ultrasons clamp-on portable (source : SeFlow400 V2-1, SEWERIN Sarl, 2020)

- **Un simulateur de débit calibré GS8 B** : Le simulateur de débit calibré GS 8B fournit un retour d'information calibré au convertisseur du compteur/capteur électromagnétique par simulation des conditions de débit calibrées spécifiques à la place du tube d'écoulement du débitmètre. – [8] – Il dispose de 5 plages de débit simulé sélectionnables, plus le débit nul, et est utilisable avec de nombreux systèmes de mesure.

Il est utilisable avec de nombreux convertisseurs 4 fils KROHNE. Lorsqu'il est connecté au convertisseur à la place du tube d'écoulement, il fournit au convertisseur un signal précis et cohérent représentatif de conditions d'écoulement spécifiques.



Figure 6: Simulateur de débit calibré GS8 (photo : Krohne)

- **Le Simulateur FieldCheck** : c'est un simulateur de signaux qui permet à l'utilisateur de réaliser une simulation manuelle des fonctions du débitmètre ou un contrôle complet du débitmètre, seulement de son électronique ou de son capteur.– [15] –L'outil comprend des procédures pour le contrôle automatique de toutes les opérations électroniques d'une part (linéarité de l'amplificateur, des sorties analogiques et de la fréquence) et de toutes les opérations du capteur d'autre part (intégrité du champ magnétique et de l'électrode de mesure).



Figure 7: Proline FieldCheck E+H (photo : ALL-Pribors.ru)

#### ❖ Matériels et outils divers

- **Le jeu de tournevis isolés et le jeu de clés mécaniques** : nous servirons respectivement pour le montage/démontage et le câblage/raccordement des équipements sur site.
- **Le mètre ruban** : pour la mesure et la vérification des longueurs droites de montage.
- **Un ordinateur portable** : pour la lecture des instructions du manuel de maintenance et la simulation du fonctionnement des débitmètres sur site.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DÉBITMÈTRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

- **Le logiciel FieldCare** : est un outil de configuration (FieldCare standard) et d'Asset Management (FieldCare professionnel) fournis par le fabricant Endress+Hauser pour mener le test et le contrôle des débitmètres sur site. Avec le logiciel FieldCare, l'utilisateur peut télécharger les résultats de tests dans un PC, les incorporer dans un certificat, les imprimer ou les archiver, et satisfaire ainsi aux différentes exigences en matière de procédures de qualité [15].

## IV. ETAT DE L'ART DES DEBITMETRES DES SITES RELEVANTS DE LA STATION SP3 DE L'ONEA

### IV.1. Technologie des débitmètres des sites de pompage

Sur l'ensemble des sites de l'ONEA, nous retrouvons deux types de technologies des débitmètres : la technologie électromagnétique et la technologie à ultrasons. Plusieurs marques de fabricants y sont installées, à savoir : **Endress+Hauser**, **Siemens** et **Krohne**. Dans ce qui suit, nous aborderons tour à tour la technologie de deux types de débitmètres susmentionnés.

#### IV.1.1. Technologie des débitmètres électromagnétiques

##### 1.1.1. Les éléments constitutifs

Les débitmètres électromagnétiques (DEM) sont commercialisés sous deux versions : la version compact (capteur et transmetteur montés en seul bloc) et la version séparée (capteur et transmetteur montés à des emplacements différents l'un de l'autre). Ci-dessous des images illustratives des deux (02) versions suscitées :



*Figure 8: Débitmètres électromagnétiques version séparée (à gauche) et version compact (à droite) ; (source : Schneider Electric & SupmeaAutomation)*

##### a. Le capteur

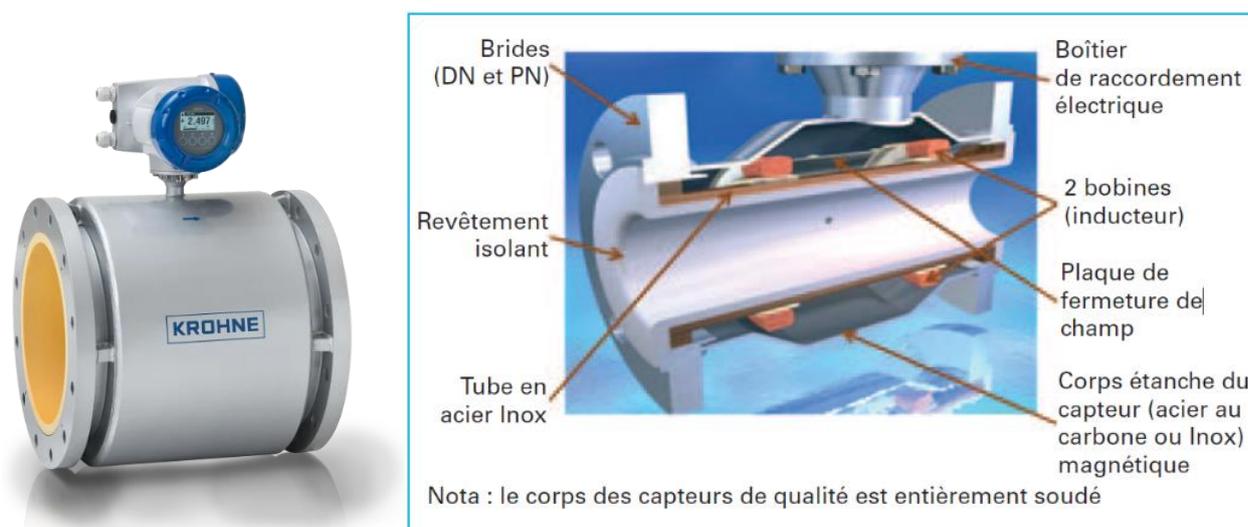
Deux variétés de débitmètres électromagnétiques existent sur le marché selon la technologie du capteur. Nous avons : **les capteurs électromagnétiques à tube de mesure et les capteurs électromagnétiques à sonde ou sonde à insertion.**

##### ❖ Capteur électromagnétique à tube de mesure

Communément appelé « **tube de mesurage** », il est fait d'un tube en acier inoxydable amagnétique (non magnétique) de diamètre normalisé (jusqu'à DN3000mm), associé à deux brides permettant de le fixer ou de le monter sur une conduite. Il dispose de **deux inducteurs (bobines d'induction)** placés diamétralement opposés dans le tube, qui génèrent un champ électromagnétique (B) lorsque alimentés par un courant alternatif à basse fréquence (ou d'un courant continu impulsionnel).

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Afin d'éviter tout contact entre le fluide et les parois inductrices et toute perturbation du champ électromagnétique par des masses ferromagnétiques voisines du corps du tube, un revêtement intérieur (le plus souvent en néoprène, caoutchouc, téflon, polyuréthane, céramique, émail...) est réalisé en tenant compte des paramètres physico-chimiques (Agressivité chimique et mécanique) du fluide selon l'application considérée. De plus, **deux électrodes** (généralement en inox, monel, hastelloy, platine, titane...) situées perpendiculairement à l'axe du tube de mesure et aux lignes de champ, permettent de recueillir le **signal (tension induite + tensions parasites)** résultant du déplacement du fluide dans la conduite.



### ❖ Capteur « sonde à insertion »

Contrairement à son prédécesseur, **les sondes électromagnétiques à insertion** ne nécessitent pas de tube de mesure et peuvent être installées sur des conduites existantes. Ils disposent également de **deux bobines d'induction magnétique** qui génèrent un champ magnétique concentré sur une portion de section du conduit. **Deux électrodes** recueillent la tension induite au passage du fluide conducteur qui est directement proportionnelle à la vitesse d'écoulement en un seul point de la conduite. Par ailleurs, pour des mesures de fluide peu homogènes, très chargés ou si la vitesse d'écoulement n'est pas homogène à l'intérieur de la conduite, ce type d'équipement est fortement déconseillé [20]. La sonde à insertion est le plus souvent déployée à titre de contrôleur de débit et sa précision peut être renforcée en installant plusieurs autres sondes pour des applications à grand diamètre de conduit.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

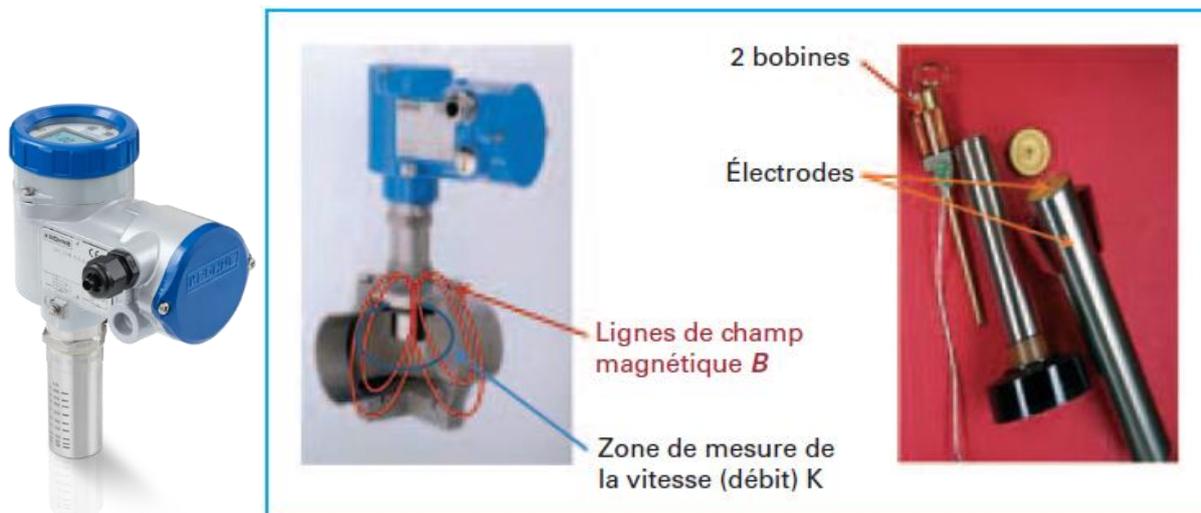


Figure 10: Sonde électromagnétique à insertion (photo : Krohne) [20]

### ❖ Le transmetteur

C'est un convertisseur de signal que l'on peut retrouver, soit directement monté sur le capteur ou à un emplacement éloigné suivant une distance bien définie par les directives d'installations données par le fabricant. Son circuit électronique lui permet de convertir le signal prélevé par les électrodes (différence de potentiel) en un signal analogique (signal de débit) directement exploitable. Il dispose d'un microprocesseur et d'un afficheur alphanumérique qui permet la lecture des valeurs de débits. De plus, il réalise à la fois la conversion des signaux provenant du capteur en signaux standards de type courant (4...20mA) et assure l'alimentation électrique des bobines d'induction (bobine d'électroaimants) en courant constant.



Figure 12: Transmetteur intégré au tube de mesure



Figure 11 : Transmetteur déporté/mural pour mesure de débit

(Sources : Endress+Hauser ; Siemens ; Krohne)

### 1.1.2. Protocole de mesure

Qu'il s'agisse d'un DEM de marque Krohne, Siemens ou Endress+Hauser, le principe de mesure du débit reste le même pour les trois fabricants. Ce dernier est basé essentiellement sur la **Loi d'induction électromagnétique de Faraday**, qui stipule que : « **lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique il en résulte la naissance d'une tension induite (force électromotrice)** ».

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DÉBITMÈTRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

En transposant ce qui précède au cas de l'écoulement d'un fluide conducteur (eau brute/potable, eaux usées, boues de vidange) de vitesse  $\mathbf{V}$  se déplaçant dans un champ électromagnétique  $\mathbf{B}$ , généré par des bobines d'induction à travers une section de conduite de diamètre  $\mathbf{D}$ , une tension induite  $U_e$  proportionnelle à sa vitesse d'écoulement est produite par séparation des particules chargées positivement et négativement. Cette tension induite disponible sur deux électrodes (+/- ou E1/E2) montées sur la paroi interne du capteur, est acheminée à un transmetteur qui la convertira en vitesse d'écoulement. Un ensemble de blocs fonctionnels contenu dans le circuit du transmetteur permet de calculer et d'afficher la valeur du débit volumique instantané à partir de cette vitesse d'écoulement  $\mathbf{V}$  connue et la surface  $\mathbf{S}$  du tube de mesure :  $\mathbf{Q}=\mathbf{V}\times\mathbf{S}$  (en  $\mathbf{m}^3/\mathbf{s}$ ). On a :  $Q_v = V \times \frac{\pi \times D^2}{4}$ , sachant  $U_e = k \times B \times D \times V \Leftrightarrow$

$$V = \frac{U_e}{k \times B \times D} \quad \text{On peut donc écrire que : } Q_v = \frac{U_e}{k \times B \times D} \times \frac{\pi \times D^2}{4} = K \cdot \frac{U_e}{B} \quad \text{avec } K = \frac{\pi D}{4k} \text{ . où :}$$

$Q_v$  : le débit volumique du fluide ( $\mathbf{m}^3/\mathbf{s}$ ).

$V$  : la vitesse d'écoulement du fluide ( $\mathbf{m}/\mathbf{s}$ ).

$S$  : section de la conduite ou du tube de mesure (en  $\mathbf{m}^2$ ).

$U_e$  : tension ou force électromotrice induite (en volt ou millivolt).

$D$  : la distance entre les électrodes (équivalent au diamètre de la conduite) en mètre.

$B$  : l'intensité du champ magnétique (en Tesla).

$k$  : la constante constructeur liée au capteur ou constante de proportionnalité.

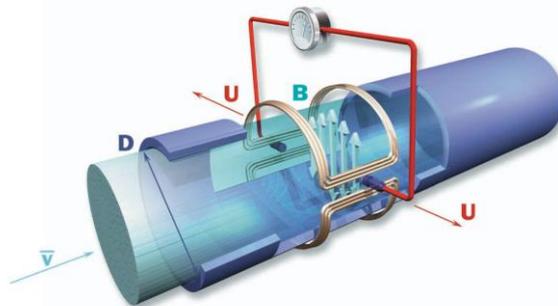


Figure 13: Schéma du principe de mesure des débitmètres électromagnétiques (source : Krohne) [8]

### 1.1.3. Architecture de communication de l'équipement

Comme mentionné plus haut, les débitmètres sont commercialisés en ensemble transmetteur + capteur que l'on peut retrouver en version compact ou déporté selon le besoin ou l'application. Généralement montés et connectés à un système de régulation ou à un automate/API pour la télémessure ou la télégestion des installations. Selon la nature l'interface/protocole de communication, on distinguera la communication numérique (le protocole HART, EtherNet/IP, PROFIBUS DP et Modbus RS485) et celle via interface de service (l'interface service CDI-RJ45 et l'interface WLAN).

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

L'appareil peut être commandé et configuré via un navigateur web avec le serveur web intégré [1]. La connexion se fait via l'interface service (CDI-RJ45) ou l'interface WLAN. Pour les versions d'appareil avec les protocoles de communication EtherNet/IP et PROFINET, la connexion peut également être réalisée via la borne de raccordement de la transmission de signal avec EtherNet/IP ou PROFINET (connecteur RJ45) [1]. Ci-dessous un schéma illustratif de mode de communication entre le débitmètre et l'ensemble du processus via un automate.

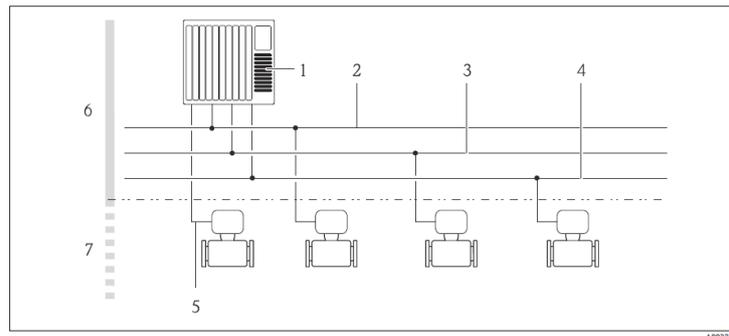


Figure 14: architecture de communication (source : Proline Promag W 400 E+H)

- (1) Système/automate (par ex. API)
- (2) EtherNet/IP
- (3) PROFIBUS DP
- (4) Modbus RS485
- (5) 4-20 mA HART, sortie impulsion/fréquence/tor
- (6) Zone non explosible
- (7) Zone non explosible et Zone 2/Div. 2

### IV.1.2. Technologie des débitmètres à ultrasons

#### 1.2.1. Constitution

Tout comme les débitmètres électromagnétiques, on les retrouve en modèle tout en un (transmetteur et capteur forment une seule unité mécanique) ou modèle séparé (transmetteur et capteurs distants l'un de l'autre). L'aspect physique étant la plupart du temps similaire à celle des débitmètres électromagnétiques, à l'exception de la présence de sonde à ultrasons plutôt que d'électrodes.

##### a. Le capteur

Les capteurs à ultrasons se présente sous deux formes, dont l'une formé d'un tube de mesure à bride de fixation à l'intérieur duquel circule le fluide et de deux paires de sondes à ultrasons placés opposés de part et d'autre du tube. L'autre forme comprend juste des sondes à clapet de fixation sur conduite et connecté à un transmetteur.

Pour les deux cas, les sondes à ultrasons fonctionnent chacune comme **émetteur** et **récepteur** (bidirectionnellement) de signaux (ondes ultrasonores). Un revêtement interne en époxy est quelques fois présent en fonction de l'application de mesure (eau potable, eaux usées...). Les **transducteurs ou sondes à ultrasons convertissent les signaux électriques provenant du transmetteur en vibration et inversement** (de manière réversible). Selon le type de sonde à ultrasons (clamp-on ou inline) employé par le constructeur, on distinguera deux sous types de capteurs ultrasoniques : les **capteurs à ultrasons clamp-on** et les **capteurs à ultrasons inline**. Contrairement aux débitmètres électromagnétiques, le tube de mesure des capteurs à ultrasons ne représente pas une partie active du système de mesure. Cependant, il sert à transférer les paramètres d'étalonnage d'usine au point d'utilisation, afin de garantir l'exactitude de mesure.

❖ **Les capteurs à ultrasons « clamp-on »**

Les sondes à ultrasons sont montées à l'extérieur sur la conduite existante à l'emplacement où l'on vous mesurer le débit d'écoulement du fluide correspondant. Ils sont principalement dédiés pour les conduites perméables au son et contenant des fluides faiblement chargés.



Figure 15: Capteur à ultrasons clamp-on ; source : Endress+Hauser

❖ **Les capteurs à ultrasons « inline »**

Il dispose d'une conduite ou tube de mesure monté à l'aide de bride et de diamètre identique à celui de la conduite correspondante. Il intègre dans son corps, des sondes à insertion à **une ou deux cordes de mesure** selon la gamme.

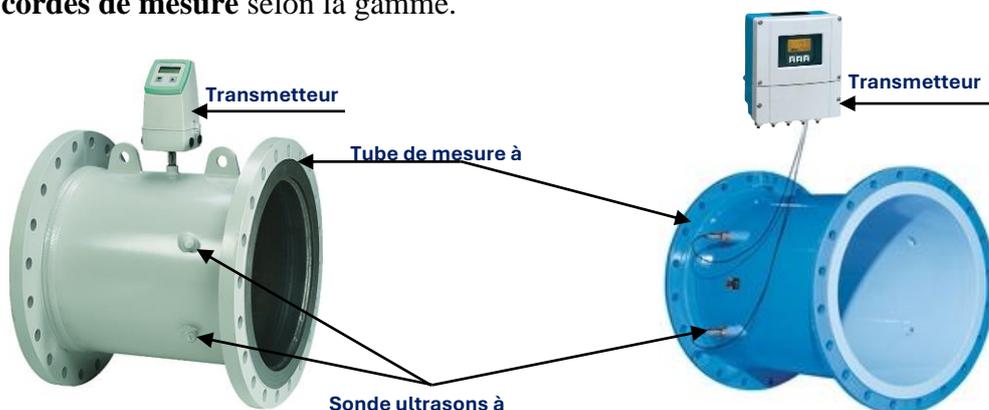
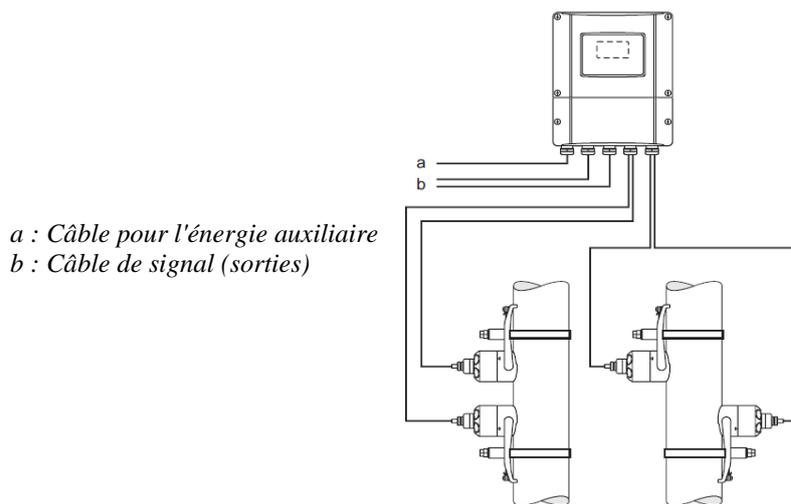


Figure 16: Capteur à ultrasons inline ; (photos : siemens ; Endress+Hauser)

*b. Le transmetteur*

Quel que soit le type ou la gamme de capteurs (clamp-on/inline et/ou une ou deux cordes de mesure), le transmetteur permet à la fois de **commander, préparer, traiter et évaluer les signaux de mesure afin de les convertir en une grandeur souhaitée**. Ceci est possible grâce à son circuit électronique et d'un logiciel incorporé qui lui permet de traiter et d'exploiter les données et/ou les signaux. Il est capable de supporter plusieurs configurations : **mesure à deux voies et mesure à deux cordes**.

**Mesure à deux voies** : les transmetteurs de capteurs à ultrasons possèdent généralement deux voies de mesures indépendantes l'une de l'autre et peuvent supporter le fonctionnement simultané de deux paires de sondes placées sur des voies individuelles. Pour cette mesure, il traite et affiche les valeurs mesurées des deux points de mesure selon un réglage commun ou séparé des paramètres.



*Figure 17: Débitmètres à ultrasons avec mesure à deux voies (source : Endress+Hauser)*

**Mesure à deux cordes** : les deux paires de sondes ultrasoniques sont installées sur la même conduite (capteur clamp-on) et/ou intégré directement au tube de mesure (capteur à insertion et capteur inline). Les valeurs mesurées et reçues sur les voies 1 et 2, la valeur affichée par le transmetteur est la moyenne arithmétique des deux voies ( $\text{CH1} + \text{CH2} / 2$ ). Ce qui offre l'avantage d'obtenir des valeurs plus stables et précises par rapport à celle à une corde, grâce à sa mesure à deux niveaux dans la conduite. Cette technique est en général moins sensible aux variations du profil de vitesse d'écoulement du fluide, notamment dans les conditions non idéales ou imparfaites (dissymétrie, tourbillons, etc.) et aux obstacles présents selon l'application.

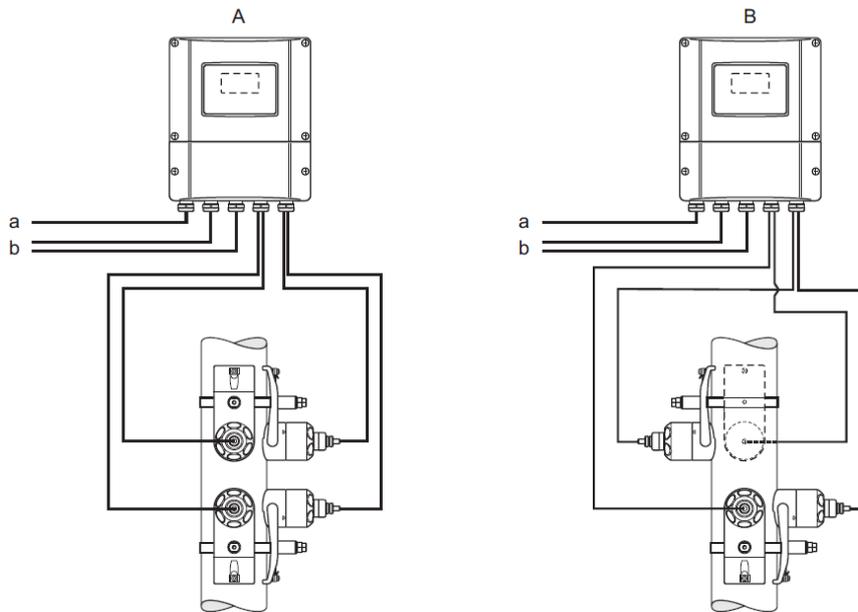


Figure 18: Débitmètres à ultrasons à deux cordes de mesures (source : Endress+Hauser)

### 1.2.2. Protocole de mesure

Les débitmètres à ultrasons mesurent la vitesse d'écoulement des fluides conducteurs/porteurs d'ondes acoustiques dans les canalisations, par transfère d'ondes ultrasoniques à travers le fluide correspondant (liquide et gaz). Leur principe de mesure repose sur l'émission/réception de signaux acoustiques (ultrasons) à travers un obstacle. Deux techniques/technologies sont utilisées pour la mesure de débit par ultrasons : **la technique d'ultrasons Doppler** et **la technologie Transit Time** ou Temps de Transit (TT).

#### ❖ Technologie d'ultrasons Doppler

Le principe de l'effet Doppler est la **mesure de fréquence** des impulsions ultrasonores envoyés et reçues (alternativement) lorsque celles-ci sont réfléchies par des particules ou des bulles de gaz en mouvement, contenues dans le flux d'écoulement du conduit. De ce fait, cette méthode est destinée principalement pour les mesures de débit des fluides chargés (contenant des particules ou bulles de gaz), car ne fonctionne pas dans le cas des fluides très légers en raison de l'absence d'obstacle permettant de faire rebondir le signal ultrasonique pour la mesure de fréquence. La fréquence d'ondes sonores réfléchies (reçues par le transducteur de réception) étant proportionnelle à la vitesse de bulle ou de particule présentes dans le fluide traversé, permet au transmetteur de calculer et d'afficher la valeur du débit du fluide à partir de de la section du conduit correspondant.

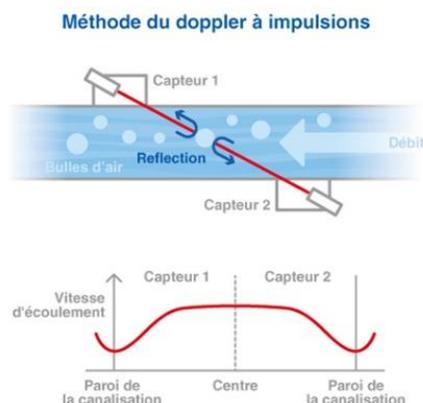


Figure 19: Schéma du principe de mesure par la méthode Doppler (source : Fuji Electric)

### ❖ Technologie Temps de Transit

C'est la méthode la plus courante (utilisée dans 95% des débitmètres à ultrasons) [XVIII] et elle consiste en la **mesure de la différence de temps** entre le signal (salve d'énergie acoustique à fréquence modulée) émis en amont et en aval du fluide qui s'écoule. Comme vu précédemment, deux ou quatre transducteurs à ultrasons (intégrés au tube ou installés à l'extérieur) s'émettent et reçoivent des ondes ultrasonores en traversant le fluide en déplacement. Le signal se propageant moins vite à contre-courant que le sens d'écoulement, il en résulte une différence de temps de parcours directement proportionnelle à la vitesse d'écoulement du fluide. Ainsi, cet écart de temps de transit entre le point d'envoi/réception mesurée, permet au transmetteur de calculer le débit en tenant compte des dimensions de la conduite (superficie).

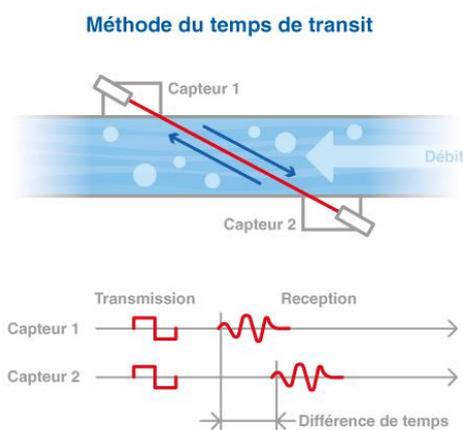


Figure 20: Schéma du principe de mesure par la méthode Temps de Transit ; (source : Fuji Electric)

### 1.2.3. Architecture de communication de l'équipement

La technologie de communication reste identique à celle présenté plus haut pour le cas des débitmètres électromagnétiques. De ce fait, il faudrait se reporter à la **page 12** du document.

## IV.2. Avantages et inconvénients/limites d'utilisation

Il est d'une grande importance pour les opérateurs de process de production de choisir une technologie de comptage de débit répondant aux critères de leurs installations et aux spécifications du fabricant. L'utilisation des débitmètres est donc cruciale pour la sauvegarde des ressources, la préservation de l'environnement et la surveillance des indicateurs de production. Ce rôle est le plus souvent assuré par les débitmètres électromagnétiques et les débitmètres ultrasoniques, pour mesure les débits volumiques des fluides selon l'application. Il faudra donc avoir un droit de regard sur les différents avantages et limites d'utilisation de chacune des deux technologies afin d'effectuer un choix optimal.

### IV.2.1. Avantages des deux technologies de débitmètres

Chaque technologie offre un certain nombre d'avantages qui ont été regroupés dans le tableau ci-après. Cependant il ne s'agit pas d'une comparaison entre les deux, ceci est fait pour laisser l'appréciation aux concepteurs et aux responsables d'unité de production afin qu'ils puissent juger ce qui répondra le mieux à leurs besoins.

*Tableau 1: avantages des technologies de débitmètres retrouvés sur les sites de l'ONEA*

<b>Débitmètres électromagnétiques</b>	<b>Débitmètres à ultrasons</b>
<b>Mesure fiable</b> : les mesures sont légèrement plus précises ( $\pm 0.5\%$ ou mieux) que celles à ultrasons avec une longueur droite d'entrée de $0 \times DN$ pour certains capteurs de caractéristique de commande 'construction' (Option C, H, I...) et sans perte de charge [4].	<b>Mesure bidirectionnelle</b> : son capteur est adapté pour des mesures dans les deux sens de circulation de fluide (purs ou faiblement chargé en particule solide), ce qui les rends idéaux pour les applications dont le sens d'écoulement change fréquemment (indépendamment de la température, de la pression, de la conductivité et de la viscosité du fluide).
<b>Aptitude à l'application</b> : ils sont conçus pour supporter les conditions extrêmes de fonctionnement, comme dans les zones dangereuses des industries pétrolières et chimiques	<b>Possibilité d'installation sans interruption du process</b> : ceci est surtout valable pour les technologies enfichables et à pince, y compris pour le remplacement des sondes à ultrasons quel que soit le type de capteur.
<b>Utilisable sur de large variété de liquide</b> : ils peuvent effectuer avec précision des mesures sur tous les types de liquide quel que soit leur viscosité, y compris ceux chargés de particules lourdes (les boues minérales des industries du ciment et des métaux, ou la cellulose utilisée dans la fabrication du papier et du textile, etc.).	<b>Flexibilité de mise en œuvre</b> : les débitmètres à ultrasons sont pour la plupart non envahissant du fait de leur capacité à mesurer sans entrer en contact avec le fluide. Ils sont recommandés pour la mesure de débit des fluides corrosifs, dangereux, confinés... et peuvent être installés pour un usage temporaire ou permanent.

	<p><b>Application de mesure sur liquide conducteur ou non et fluide gazeux :</b> ils sont utilisés pour plusieurs types de fluides homogènes et à faible teneur en particules solides (Eau, huile, alcool...) dans le secteur industriel pour des températures comprises entre -30°C et +160°C.</p>
	<p><b>Grande précision :</b> ils sont dotés une précision de mesure de débits de fluide pouvant atteindre <math>\pm 1\%</math>.</p>

#### IV.2.2. Inconvénients/limites d'utilisations des deux technologies débitmètres

Plusieurs limites peuvent être relevées pour chacune des technologies et doivent cependant être observés de prêt dans le choix de ces derniers.

*Tableau 2: limites d'utilisations des technologies de débitmètres retrouvés sur les sites de l'ONEA*

Débitmètres électromagnétiques	Débitmètres à ultrasons
<p><b>Impossibilité de mesure de liquides en milieu non conducteur et/ou de faible conductivité :</b> ils mesurent exclusivement le débit des liquides électriquement conductible. En d'autres termes, leur technologie de ne leurs permettent pas de mesurer le débit des liquides comme l'eau distillé, l'alcool et le fioul par exemple.</p>	<p><b>Faible capacité anti-interférence :</b> ils sont sensibles aux perturbations internes (interférences d'encrassement, de bulles...) et externes telles que les bruits de processus (machine, pompe...) et d'autres sources sonores pouvant affecter la précision de mesure.</p>
<p><b>Possibilité d'interruption de process :</b> dans certaine situation l'installation et/ou le remplacement d'un débitmètre électromagnétique requiert une interruption du processus industriel engendrant ainsi des pertes de production.</p>	<p><b>Incapacité de mesure à des températures très élevées :</b> leur plage de mesure est relativement faible et ne peuvent généralement être utilisé pour des fluides de température en dessous de 200°C [IV].</p>
<p><b>Complexité de mise en œuvre :</b> l'installation et la maintenance de ces débitmètres demande des exigences plus strictes que celui des autres types. Partant de la sélection du site d'installation jusqu'à la mise en service, le respect des conformités et des spécifications du produit est extrêmement crucial pour leur bon fonctionnement. Cela dit, ils sont plus sensibles aux vibrations et aux champs magnétiques puissants qui faussent les mesures.</p>	<p><b>Gamme de fluide de mesure limitée :</b> en raison des courtes longueurs d'ondes des ultrasons émis et reçus, ils ne sont pas adaptés aux fluides très lourds ou chargés de particules en suspension et encore moins lorsque les conduites sont partiellement remplies de fluide.</p>

### IV.3. Application dans le domaine de l'eau potable : étude de cas des débitmètre ENDRESS+HAUSER et KROHNE des sites de SP3

Sur les sites de la station SP3, nous avons repéré les débitmètres ultrasoniques de type Prosonic Flow 93C, les débitmètres électromagnétiques de type Proline Promag W/L 400 et Proline Promag 50W/L du fabricant Endress+Hauser, y compris les DEMs de type Optiflux 2000 – IFC100 du fabricant Krohne, localisable sur trois points stratégiques des sites ; Le tableau suivant nous présente la situation :

Tableau 3: situation des débitmètres des sites RA, R11AD, RI, RC

Sites de SP3	Nomenclature du DEM	Emplacement / Localisation	Etat
RA	Prosonic Flow 93C E+H, DN450	Conduite d'alimentation de la bêche au sol	Sous-comptent
	Proline Promag 50L E+H, DN700	Conduite de refoulement au château d'eau	
	Prosonic Flow 93C E+H, DN800	Conduite de distribution en sortie de château d'eau	
R11AD	Prosonic Flow 93C E+H,	Conduite de refoulement au château d'eau	Fonctionnel
	Prosonic Flow 93C E+H,	Conduite de distribution en sortie de château d'eau	Fonctionnel
	Prosonic Flow 93C E+H,	Conduite d'alimentation de la bêche au sol	Fonctionnel
	Sitrans FM MAG 5000 Siemens	Conduite d'alimentation de la bêche gravitaire 1 au sol	Non fonctionnel depuis installation
	Optiflux 2000 NL-3313LC12 / IFC100W Krohne	Conduite d'alimentation de la bêche gravitaire 2 au sol	Non fonctionnel depuis installation
RI	Optiflux 2000 NL-3313LC12 / IFC100W Krohne, DN800	Conduite d'alimentation de la bêche au sol	Fonctionnel
	Optiflux 2000 NL-3313LC12 / IFC100W Krohne, DN600	Conduite de refoulement au château d'eau	En panne
	Optiflux 2000 NL-3313LC12 / IFC100W Krohne, DN800	Conduite de distribution en sortie de château d'eau	En panne
		Conduite d'alimentation de la bêche gravitaire au sol	Fonctionnel
RC	Prosonic Flow 93C E+H,	Conduite de refoulement au château d'eau	En panne
	Prosonic Flow 93C E+H,	Conduite de distribution en sortie de château d'eau	Fonctionnel
	Optiflux 2000 NL-3313LC12 / IFC100W Krohne, DN700	Conduite de refoulement vers RD-RE	En panne
	Optiflux 2000 NL-3313LC12 / IFC100W Krohne, DN600	Conduite de sortie la bêche RC vers RE	Non fonctionnel depuis installation

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Un coffret dénommé « coffret RTU » sert d'interface acquisition et de retransmission du signal de débit au centre de supervision de la station de pompage III (SP3). Le coffret permet également aux opérateurs du site de relever les valeurs de débits et de niveau d'eau en temps réel via des afficheurs postés sur la porte du dit coffret comme l'indique la **figure 21** ci-dessous.

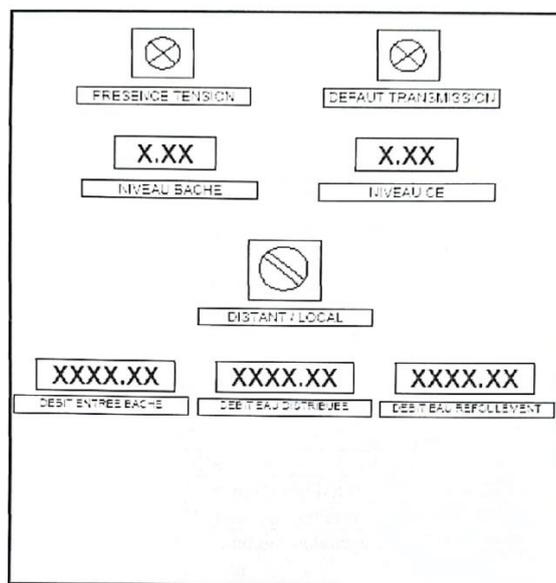


Figure 21: porte du coffret RTU

- **Description des boutons, voyants et indicateurs de niveau de l'armoire.**

- Le voyant blanc 'présence tension' allumé indique que l'armoire est sous tension ;
- Le voyant rouge 'défaut transmission' allumé indique le défaut de communication avec le central de supervision ;
- L'afficheur 'Niveau bache' donne le niveau de la bache d'aspiration en mètres ;
- L'afficheur 'Niveau château d'eau' donne le niveau le niveau du château d'eau en mètres ;
- L'afficheur 'Débit entrée bache' donne le débit d'entrée de la bache en  $m^3/h$  ;
- L'afficheur 'Débit eau distribuée' donne le débit d'eau distribuée en  $m^3/h$  ;
- L'afficheur 'Débit eau refoulement' donne le débit de refoulement vers le CE en  $m^3/h$ .
- Le commutateur 'Distant/Local' donne le choix entre deux modes de fonctionnement de la station de pompage sur chacun des sites : (i) Distant : le démarrage et l'arrêt des pompes sont faits en tenant compte des données transmises depuis le superviseur ; (ii) Local : le démarrage et l'arrêt de chaque pompe est fait en tenant compte du réglage de l'horloge industrielle dédiée à chaque pompe.

Nous présenterons tour à tour les deux technologies de mesure (ou de comptage) de débit afin de savoir si leur choix et leur installation correspondent au type d'application dont le traitement et la distribution d'eau potable.

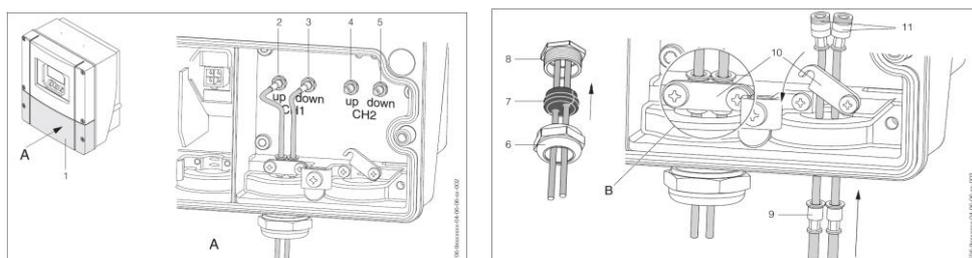
## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

### • Description du débitmètre Proline Prosonic Flow 93C

Le débitmètre 'Proline Prosonic Flow 93C' a été conçu pour les applications industrielles de mesure de débit de procédé d'eau (**eau potable, eau salée et eaux usées**) pour des diamètres de conduite allant de DN 300 à 2000. La mesure du débit se fait de manière bidirectionnelle sans engendrer de perte de pression. Les détails sur sa technologie et son principe de fonctionnement sont donnés au **V.1.2. (Page 12 – 16)**. Le débitmètre 'Prosonic Flow 93C Inline' est constitué des composants suivants :

- Un transmetteur Prosonic Flow 93
- Un tube de mesurage Prosonic Flow C Inline
- Des capteurs ou transducteurs Prosonic Flow W

Les informations techniques relatives à chaque composant se trouve sur les plaques signalétiques insérées en **annexe 1** du document. Ci-dessous les schémas de câblage ou de connexion des unités de mesure :

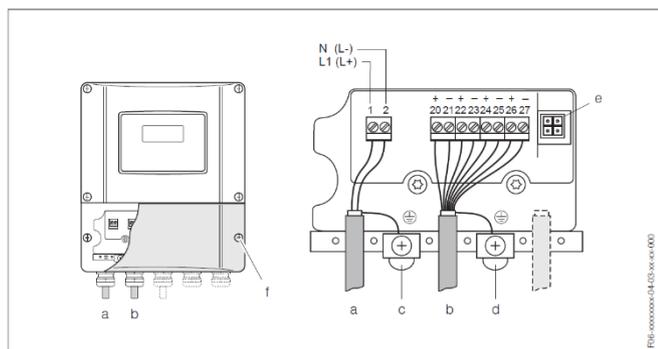


*Figure 22: connexion des câbles du capteur (fig.17/18 extrait du manuel de mise en service)*

#### Légende :

- 1 : Cache borne du compartiment de connexion
- 2 : Connecteur du câble du capteur, voie 1, en amont (upstream)
- 3 : Connecteur du câble du capteur 1, en aval (downstream)
- 4 : Connecteur du câble du capteur, voie 2 (upstream)
- 5 : Connecteur du câble du capteur, voie 2, downstream
- 6 : Couvercle du presse-étoupe
- 7 : Joint en caoutchouc
- 8 : Support de presse-étoupe
- 9 : Manchons de fixation du câble
- 10 : Bornes de contact à la terre
- 11 : Connecteur du câble du capteur

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA



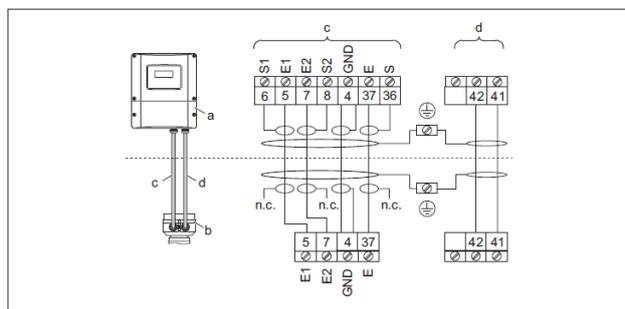
### Légende :

- a* : Câble d'alimentation : 85...260 V AC, 20...55 V AC, 16...62 V DC
- Borne No. 1* : L1 pour AC, L+ pour DC
- Borne No. 2* : N pour AC, L- pour DC
- b* : Câble de signal : Borniers Nos. 20-27 → (Cf. Page 30 du manuel de mise en service)
- c* : Borne de mise à la terre pour la terre de protection (PE)
- d* : Borne de mise à la terre pour l'écran du câble de signal
- e* : Adaptateur de service pour connexion de l'interface de service FXA 193 (FieldCheck, FieldTool)
- f* : Cache borne du compartiment de connexion

Figure 23: connexion du transmetteur (fig.19 extrait)

### • Description du débitmètre Proline Promag 50L/50W/W400/L400

Le 'Promag 50/400' est un débitmètre électromagnétique parfaitement adapté pour les applications standards dans l'industrie de l'eau, des eaux usées et autres liquides conducteurs pour un diamètre nominal allant de DN 25 à 2400. Sur les sites de SP3, on le retrouve installé au processus sous sa version séparée (Cf. **V.1.1. Page 7**). Les détails sur son principe de mesure et sa technologie son donné plus haut dans ce document (Cf. **V.1.1**). Son schéma de raccordement électrique est le suivant :



### Légende :

- a* : Compartiment de raccordement boîtier mural
- b* : Boîtier de raccordement capteur
- c* : Câble de signal
- d* : Câble de bobine
- n.c.* : Blindages de câble isolés non raccordés
- Numéros de borne et couleurs des câbles :  
5/6 = brun, 7/8 = blanc, 4 = vert, 37/36 = jaune

Figure 25: raccordement de la version séparée (extrait du manuel du produit Promag 50L)

### • Description du débitmètre IFC100W : Optiflux 2000 (NL-3313LC12)

L'ensemble Optiflux 2000 (Capteur de mesure) et IFC100W (transmetteur ou convertisseur de mesure) constitue le dispositif de débitmétrie du fabricant Krohne. C'est un débitmètre électromagnétique conçu exclusivement pour la mesure de débit et de conductivité des produits liquides conducteurs. Il est disponible sous des diamètres (IFC100 : DN25...1200), longueurs et pressions nominales spécifiques selon le besoin du client. Sur les sites de SP3, nous le retrouvons sous sa version séparée muni de revêtements robustes homologués pour l'eau potable.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

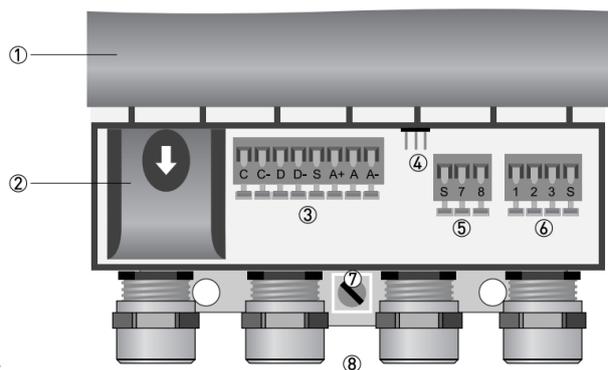


Figure 26: Conception de la version murale IFC100W [7]

- (1) Couvercle de boîtier ouvert
- (2) Compartiment de raccordement pour l'alimentation avec couvercle de protection (protection au toucher)
- (3) Bornes de raccordement des sorties
- (4) Interface bus GDC (uniquement pour maintenance)
- (5) Bornes de raccordement du câble de courant de champ
- (6) Bornes de raccordement du câble signal
- (7) Vis de raccordement pour la mise à terre du boîtier
- (8) Entrées de câble ; à l'exemple de la version séparée (la version compacte est sans l'entrée de câble tout à droite et celle tout à gauche)

Le raccordement du câble de signal et du câble de courant de champ au convertisseur de mesure (version séparée) se fait suivant le schéma ci-dessous :

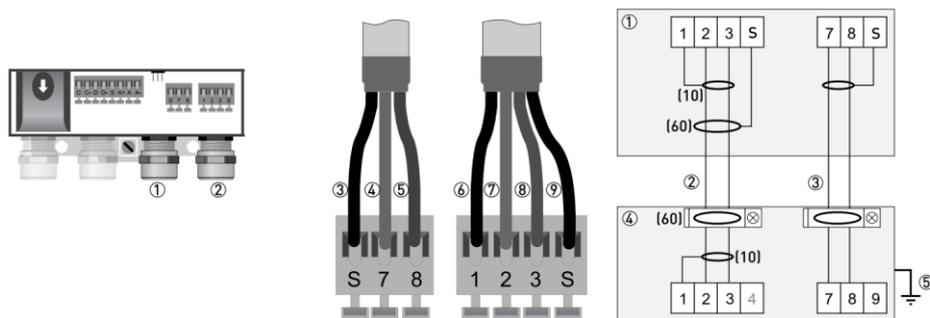


Figure 27: Schéma de raccordement du câble de signal et du câble de courant de champ [7]

### Légende :

- (1) Entrée pour câble de courant de champ
- (2) Entrée pour câble signal
- (3) Raccordement du blindage du câble de courant de champ
- (4) Conducteur électrique (7)
- (5) Conducteur électrique (8)
- (6) Tresse de contact (1) du blindage interne (10) du câble signal
- (7) Conducteur électrique (2)
- (8) Conducteur électrique (3)
- (9) Tresse de contact (S) du blindage externe (60)

### Légende :

- (1) Compartiment de raccordement électrique dans le convertisseur de mesure
- (2) Câble signal A
- (3) Câble de courant de champ C
- (4) Compartiment de raccordement électrique dans le capteur de mesure
- (5) Terre de mesure FE

Pour le raccordement des sorties : sortie courant active  $I_a$ /passive  $I_p$ , sortie impulsions/fréquence passive  $P_p$ , sortie d'état passive/détecteur de seuil passif  $S_p$ , le choix de la combinaison de sortie à raccorder est fait par l'utilisateur selon la facilité de mise en œuvre et le protocole de communication (HART, Profibus...) mise en place pour les besoins de télémessure ou de télégestion. Ci-dessous la description des versions de sorties fixes, non variables seule :

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

N° CG	Bornes de raccordement						
	A+	A	A-	C	C-	D	D-

### Sorties de base (E/S) standard

1 0 0		$I_p + \text{HART}^{\text{®}}$ passive ①	$S_p$ passive	$P_p / S_p$ passive ②
		$I_a + \text{HART}^{\text{®}}$ active ①		

① Changement de fonction par reconnexion

② paramétrable

Figure 28: Différentes combinaisons de sorties du convertisseur de mesure [7]

Note : les combinaisons des sorties ci-dessus sont données selon le numéro CG qui permet d'identifier le module électronique et la version des sortie (Cf. figure 27).



Figure 29: Identification (numéro CG) du module électronique et de la version de sortie

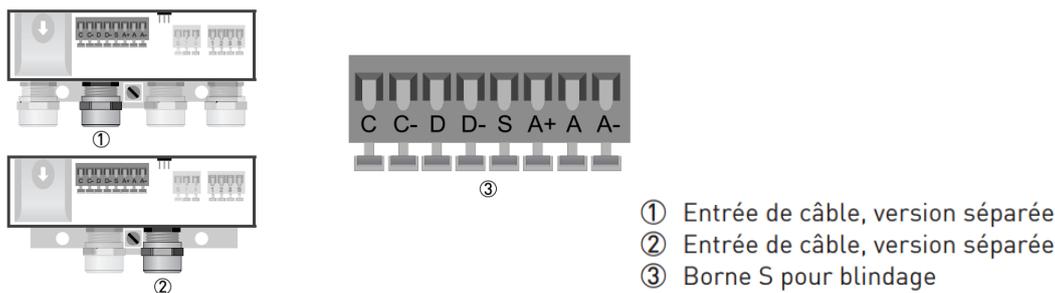


Figure 30: Bornes de raccordement des sorties

De manière générale, le montage des débitmètres (le capteur) a été fait sur les sites dans des chambres souterraines à l'abri des influences environnementales externes d'origine atmosphérique (soleil, pluie...) et accessible via un système couvercle métallique à manchette de levage. Les diamètres des conduites étant importants, les tubes de mesure sont supportés par des structures de fondations afin de sécuriser la conduite et le capteur dans le cas où les vibrations liées à l'écoulement de l'eau s'avèrent importantes.

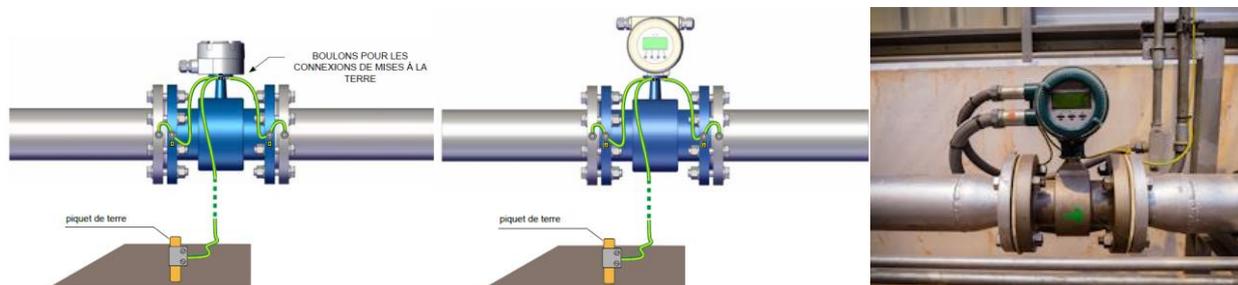
L'emplacement d'installation des tubes de mesure 'Prosonic Flow C', 'Promag W/L', 'Optiflux 2000'... a été défini dans les cahiers de charge des marchés de travaux de construction des sites sous l'observation du manuel d'installation du produit et leurs transmetteurs de type déporté (ou mural) sont installés à l'intérieur du local de pompage du site ou à proximité des chambres souterraines et à des distances conformes aux instructions du fabricant (5 à 30m du capteur ou plus).

- **Quelques anomalies relevées au cours de notre visite sur site**

Nous avons constaté lors d'une visite sur site que, la compensation du potentiel de terre au niveau du capteur 'Promag 50' du site RA n'a pas été réalisée. C'est -à-dire que la mise à la terre des masses métalliques des tubes de mesurage (les brides) via l'électrode de mise à la terre et de la conduite d'eau n'a pas été fait. Ceci représente une anomalie dans le fonctionnement du débitmètre car la compensation de potentiel est obligatoire pour les débitmètres électromagnétiques.

**C'est quoi la compensation de potentiel d'un débitmètre électromagnétique ?**

La compensation de potentiel est une opération qui consiste en la mise à la terre du capteur via l'électrode de mise à terre incorporée (la 3<sup>ème</sup> électrode) afin d'assurer la fixation de potentiel, la réduction du bruit (signaux parasites) et de garantir une continuité électrique dans le cas des conduites métalliques. L'électrode de mise à la terre lie électriquement le liquide à l'appareil pour donner un mesurage stable et précis. – [12] – **Le capteur doit toujours être mis à la terre ! Une connexion à la terre incorrecte peut conduire à un mesurage erroné (La valeur de résistance de terre recommandée est  $\leq 5\Omega$ )**. Le figure ci-après illustre un exemple de mise à la terre du capteur :



*Figure 31: Connexion à la terre version séparée et version compacte (source : Euromag International)*

Une compensation correcte du potentiel (liaison équipotentielle) est une condition préalable à une mesure stable et fiable du débit. Une compensation inadéquate ou incorrecte du potentiel peut entraîner une défaillance de l'appareil et présenter un risque pour la sécurité [3].

#### **IV.5. Analyse des impacts sur la chaîne de production**

L'analyse des impacts liés aux défaillances des débitmètres sur la chaîne de production se fait à deux niveaux de la production d'eau potable. Nous distinguerons : les impacts côté prélèvement et traitement de l'eau brute et les impacts au niveau de la distribution de l'eau traitée (ou potable).

#### IV.5.1. Impacts côté prélèvement et traitement de l'eau brute

Dans les stations de traitement d'eau approvisionnant les sites de pompage relevant de SP3, l'eau est d'abord prélevée à l'état brut au niveau d'un barrage de retenue pour être dirigée ensuite dans une station de traitement où elle subira une transformation via un procédé potabilisation (**Prétraitement – Clarification – Désinfection**). Ce procédé de potabilisation implique l'utilisation de produits chimiques dans l'eau à savoir **les coagulants** (le sulfate d'Alumine), **les correcteurs de PH** (Lait de chaux si ph trop faible ou l'acide sulfurique/chlorhydrique si ph trop élevé) et **les désinfectants** (le Chlore ou dérivés chlorés/hypochlorite de sodium). La maîtrise du débit d'eau brute est cruciale à l'étape d'injection du coagulant et du lait de chaux afin d'obtenir une bonne coagulation/floculation. De plus, un débit spécifique est requis au niveau de chaque filtre à sable afin de garantir une bonne qualité de filtration et de désinfection. De ce fait, une défaillance d'un ou plusieurs débitmètres sur les conduites de prise d'eau peut engendrer un surdosage ou sous dosage de produits chimiques. Cela étant, les impacts des débitmètres défectueux sur le processus de traitement depuis l'arrivée d'eau brute jusqu'à sa désinfection sont :

- **La sur/sous-consommation des réactifs au prétraitement et à la clarification** : le dosage des coagulants et floculants d'origine chimique doit être effectué avec précision. Si le dosage n'est pas maîtrisé, ces composants vont se diluer dans l'eau traitée lorsqu'ils sont en excès et l'eau pourrait alors devenir impropre à la consommation. – [45] – Afin de maintenir la turbidité de l'eau dans les normes prescrites, les laboratoires de l'ONEA déterminent les dosages à partir de tests successifs sur l'eau à traiter et/ou en cours de traitement (ou Jar-test). Tout sous dosage ne permettrait pas de traiter convenablement la turbidité de l'eau, en revanche un surdosage doit également être évité sous peine de rendre l'eau impropre à la consommation [45].

- **La mauvaise qualité de filtration** : le réglage de la vitesse de filtration est une opération nécessaire pour une bonne filtration et une maîtrise de la turbidité de l'eau. Le réglage peut se faire à l'entrée du filtre (vanne d'arrivée eau brute) ou en sortie des filtres (vanne de sortie eau filtrée) (*RéFEA-OiEau*). Des débitmètres placés donc en amont et en aval du dispositif permettent d'apprécier la qualité de filtration. Une indication de débit erroné peut conduire à un colmatage des filtres, une augmentation de la turbidité de l'eau, au développement de bactéries et à une filtration incorrecte.

#### IV.5.2. Impacts côté distribution de l'eau traitée

Pendant notre séjour à la station de traitement d'eau de Ziga, nous avons vu que l'eau traitée est refoulée vers plusieurs sites de pompage pour être distribuée dans toute la ville de Ouagadougou. A ce niveau, il est important de surveiller les paramètres de performance à la distribution et de connaître les volumes d'eau traitée (ou produit) et consommée (ou vendue) utilisés pour réaliser le bilan de production (détermination du rendement de production, des pertes...). Lors de notre stage, nous avons noté que la défaillance des débitmètres ne permet pas d'effectuer correctement l'évaluation des performances, ceci en raison du manque de données de débit ou de volume d'eau réel. Ci-après quelques conséquences principales rencontrées par les agents du service de réduction des pertes d'eau de l'ONEA :

- **Le calcul incorrect des chiffres de rendements** : les rendements permettent d'apprécier les pertes en eau existantes sur le réseau et peuvent être déterminer globalement ou par secteur. On a le **rendement primaire  $R_p$**  (rapport du volume facturé par le volume mis en distribution), le **rendement net  $R_n$**  (rapport de la somme des volumes consommés comptabilisés + non comptabilisés + volume de service par le volume mis en distribution) et le **rendement hydraulique  $R_h$**  (rapport de la somme des volumes exportés + volumes comptabilisés + volume sans comptage + volume de service + volume détourné + volume défaut comptage par le volume mis en distribution) [19].

- **Le calcul erroné des indices caractéristiques du réseau** : il s'agit notamment de l'**indice linéaire de pertes  $I_{lp}$**  (rapport du volume des pertes par la longueur des conduites hors branchements) qui permet d'évaluer les pertes par fuites sur le réseau de distribution et de comparer deux réseaux quelle que soit leur longueur ; – [19] – l'**indice linéaire de consommation  $I_{ln}$**  ( rapport du volume consommé par la longueur des conduites hors branchements qui permet de caractériser la densité d'un réseau et l'**indice linéaire de production  $I_{lp}$**  (rapport du volume produit par la longueur des conduites hors branchements)... Si donc on veut apprécier les performances d'un réseau il convient d'observer l'indice linéaire de fuites en fonction de l'**indice linéaire de consommation** (JL Demassue · 1994).

## V. DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEMs

### V.1. Typologie des dysfonctionnements des débitmètres électromagnétiques

De manière générale, nous constatons d'après nos recherches que les dysfonctionnements des capteurs-transmetteurs de débit électromagnétiques peuvent être catégorisés en deux types de défauts : **les défauts propres aux débitmètres** et **les défauts issues des effets externes et de process**. Les dysfonctionnements du débitmètre électromagnétique se manifestent par **des indications erronées du débit en sortie, l'apparition de messages d'erreur ou l'échec de tests** [10]. Une étude menée par les experts en débitmètre d'Endress+Hauser, a permis de déduire que de nombreuses défaillances découlent d'une mauvaise installation ou d'un mauvais réglage.

#### V.1.1. Les défauts propres aux débitmètres

Nous qualifions ces défauts comme ceux causés par l'endommagement de ses composants ou par un mauvais réglage des paramètres de fonctionnement. Un choix inapproprié et un non-respect des conditions d'installation du capteur peuvent engendrer plusieurs défaillances que sont :

##### *a. Les erreurs de mesure*

Elles peuvent avoir plusieurs origines :

**Le court-circuit des électrodes** : Le court-circuit des électrodes se produit lorsque le fluide véhiculé contient des particules de métal. Le fluide étant chargé de particules sa viscosité est élevée, ce qui favorise son adhérence aux parois de la conduite et par conséquent le dépôt de particules. Le milieu étant à haute viscosité, si la conductivité du liquide à mesurer est inférieure à celle du milieu joint, il se produira un shunt du potentiel de signal des électrodes et l'on assistera au phénomène de court-circuit. Les conséquences d'un tel phénomène se manifestent selon le **type d'encrassement** à l'intérieur du tube de mesure : **(i)** si l'encrassement est constitué de sédiment métallique, sa conductivité étant supérieure à celle du liquide mesuré, **la valeur de débit réel sera supérieur à celle mesurée par le débitmètre** ; **(ii)** si la nature des sédiments encrassés est sous la forme d'une couche tarte comme du carbonate de calcium, la conductivité du liquide mesurer étant supérieure à celle du sédiment, **le débit mesuré sera inférieur à la valeur réelle** [VI].

**La présence de bulles d'air dans le fluide** : la présence de microbulles dans le liquide à mesurer est d'autant moins forte qu'elles n'affectent généralement pas le fonctionnement normal des débitmètres électromagnétiques. Cependant, si la taille des bulles est suffisamment grande et que leur récurrence devient plus importante, elles couvriront les électrodes à leur passage dans le tube de mesure, entraînant ainsi l'ouverture instantanée du circuit des électrodes (rupture du signal d'entrée) [VI]. Il en résultera alors **des fluctuations du signal de sortie**. De plus, pour la mesure des fluides mélangé si le débit est mesuré avant que le milieu ne soit uniforme ou homogène, le signal de sortie fluctuera. Par ailleurs, lors de l'écoulement des boues chargés de particules solides en suspension génèrent un bruit capable de faire fluctuer également le signal de sortie des débitmètres électromagnétique à mesure de longueur d'onde basse fréquence.

**La corrosion des électrodes** : en raison l'état agressif ou corrosif de certains fluides dans les processus de production industriel, les électrodes du débitmètre peuvent se corroder et entrainer une défaillance du capteur. En conséquence à cela, le débitmètre tombera en panne et sa sortie fluctuera.

#### *b. Echecs de mise en service*

Ils se produisent généralement à la phase d'installation et de mise en service de l'instrument de mesure. Il s'agit des défauts de débogage courants qui apparaissent lors du débogage du débitmètre au cours d'une période donnée et qui, lorsque éliminé ne se reproduiront plus dans les mêmes conditions de départ. Ils sont causés par une installation incorrecte, des perturbations environnementales (foudre, interférence magnétique...) et des caractéristiques du fluide (température, viscosité...).

#### *c. Instabilité du signal de mesure du transmetteur*

Les pannes liées au signal de mesure du transmetteur et communication HART survienne lorsque le dispositif n'a pas été mise à la terre ou que la mise à la terre n'a pas correcte été réalisée. Il se pourrait également que le câblage fasse office de vérification ou de contrôle pour s'assurer que le problème ne provienne de là également. Les instabilités en sortie du transmetteur sont généralement dues à des tensions parasites au niveau des électrodes de mesure. Ce 'bruit du process' peut avoir diverses origines [13]. Il peut provenir de réaction électrolytique entre le fluide et l'électrode, de réactions chimiques du process, de la présence d'ions libres dans le fluide, ou bien encore de turbulence au niveau de la couche capacitive fluide/électrode [13]. Le tableau récapitulatif des pannes de signal de mesure et de communication HART sont donnés en **annexe 2** de ce document.

### V.1.2. Défauts issus des effets externes et de process

Nous avons remarqué que, plusieurs facteurs externes (environnementaux et de processus de production) peuvent influencer le fonctionnement correct d'un débitmètre électromagnétique. Le changement des conditions externes telles que l'inondation, les phénomènes atmosphériques, les vibrations, les défauts d'isolation, les interférences...peuvent engendrer les défauts suivants :

#### *a. Echecs de l'exécution*

Ces défauts surgissent pendant la période opérationnelle du débitmètre après son débogage et son fonctionnement normal au cours d'un certain temps. (i) **L'encrassement dans le tube de mesure** provoque des pannes (court-circuit des électrodes et/ou rupture du signal d'entrée) dues à la conductivité électrique (trop grande ou trop petite) de la couche d'adhérence au parois les coups de foudre. – [VIII] – (ii) Aussi, **les coups de foudre** introduisent des surtensions à travers les câbles d'alimentation ou la bobine d'excitation ou entre la liaison capteur et transmetteur pouvant endommager le débitmètre. (iii) **les sources d'interférences** (champ magnétique, ondes électromagnétique et ondes acoustiques) tels que les transformateurs de forte puissance du réseau d'alimentation du process situé à proximité, les vibrations des moteurs/turbines, les lignes électriques à très haute tension, les antennes de télécommunication à haute transmission ou même les travaux réalisés sur la conduite (soudage électrique sur la canalisation proche du débitmètre, démontage d'un composant du process défectueux...) interfèrent avec le fonctionnement normal du débitmètre et occasionnent des fluctuations du signal de débit [VIII].

#### *b. Les échecs de mesures*

Elles sont la conséquence des **pannes d'étanchéité**, elles-mêmes résultant du vieillissement du capteur peut conduire aux infiltrations d'eau par les orifices des boîtes de raccordement ou par les joints d'électrodes si celles-ci sont endommagés, y compris par le revêtement (généralement en polytétrafluoroéthylène ou PTFE) si détériorés. – [13] – Ces infiltrations d'eau proviennent du changement des conditions externes de l'environnement industriel dans lequel le débitmètre a été installé. Dans ce cas-là, nous aurons donc du liquide qui arrive soit directement dans le transmetteur (débitmètre compact) ou soit dans un bornier (fixé sur le corps du débitmètre) qui permet d'installer un transmetteur déporté.

Deux situations se présenteront à nous : (i) pour les débitmètres électromagnétiques compact : **soit l'électronique du transmetteur est hors service ou soit l'alimentation électrique du transmetteur a disjoncté et le transmetteur serait récupérable.** – [13] – (ii) pour les débitmètres électromagnétiques à transmetteur déporté : **le bornier pourrait être complètement oxydé et la mesure ne fonctionnera plus.**

## VI.2. Définition des méthodes traditionnelles de diagnostic de DEMs

### V.2.1. Terminologie des mots clés

Un **diagnostic** est une intervention de maintenance corrective qui consiste à identifier et/ou localiser les causes de défaillance d'un composant ou un ensemble de processus. En outre, le **diagnostic de pannes** est une action menée pour la détection de la panne, sa localisation et l'identification de la cause (EN13306, 2001).

Une **défaillance** quant à elle est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble (de composants) à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques (AFNOR : X60 – 500). Une **panne** se définit comme l'état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures (EN13306, 2001).

### V.2.2. Les méthodes de diagnostic des pannes

De manière générale, les littératures parcourues nous permettent de classer les méthodes de diagnostic de procédés industriels ou de systèmes de production, de façon non exhaustive en deux grandes familles : **les méthodes à base de modèles mathématiques/analytiques** et **les méthodes sans modèle** (ou **basée sur l'historique du procédé**). Cette classification des méthodes de détection et de diagnostic des défauts/pannes a fait l'objet d'études, de proposition et de comparaison dans plusieurs littératures notamment [21], [22], [24]. Cependant, les méthodes de diagnostic diffèrent selon l'application, la connaissance du procédé et la facilité de mise en œuvre.

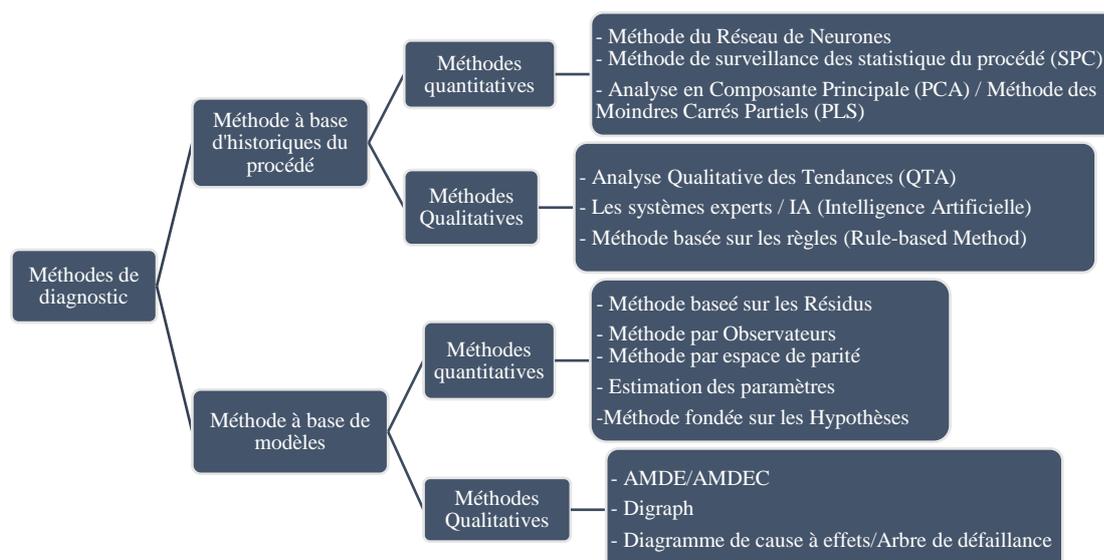


Figure 32: Classification des méthodes de diagnostic

### V.2.2.1. Méthode à base de modèles analytiques :

Pour tout type de fonctionnement donné, les relations liants les entrées et sorties du système peuvent être représentées sous forme de modèles mathématiques. **Un modèle** est un ensemble d'équations mathématiques susceptibles de représenter au mieux les relations existantes entre les entrées et les sorties d'un processus (Bernard D, 1989).

Cette méthode repose sur la connaissance des fondamentaux de la physique des procédés que l'on souhaite diagnostiquer. Elle est subdivisée en deux sous méthodes : quantitative et qualitative. La **méthode quantitative** utilise les relations entre les fonctions mathématiques des entrées et sorties du système tant dis que la **méthode qualitative** exploite les symboles et les graphes pour analyser les relations entre les variables du processus.

#### ❖ Méthode qualitative à base de modèles analytiques (Model-based Method)

Les stratégies employées par la méthode qualitative sont : (i) Le **diagramme de cause à effets** (Cause-effects graph) ou **Arbre de défaillance** (Fault-Tree) : communément utilisé en analyse de risque, c'est une représentation graphique des causes potentielles/possibles pouvant influencer un processus ou ayant contribué à l'apparition d'une défaillance sur un système. L'évènement dont l'on veut élucider les causes se trouve en tête de l'arbre et les éléments susceptibles de conduire à lui sont rattachés à ce dernier par des lignes inférieures. L'arbre de défaillance est construit en posant des questions telles que : qu'est-ce qui pourrait causer un évènement de niveau supérieur ? En répondant à cette question, on génère d'autres évènements reliés par des nœuds logiques [23] ;

(ii) l'**AMDE** (Analyse des Modes de Défaillances et leurs Effets) et l'**AMDEC** (Analyse des Modes de Défaillances, leurs Effets et de leur criticité) sont des pratiques utilisées pour assurer la sûreté de fonctionnement d'un produit ou d'un processus. La démarche consiste à examiner comment et pourquoi les fonctions du système étudié risquent de ne plus être assurés correctement, en définissant les modes de défaillances potentielles, en recherchant les causes possibles de l'apparition de chaque mode de défaillance et enfin en étudiant pour chaque combinaison cause-mode de défaillance, les effets sur le système et sur l'utilisateur [25]. En addition, elle sera complétée par une évaluation de criticité des défaillances à partir de facteurs suivants : la gravité des défaillances (G), la fréquence d'apparition (F) et la capacité de détection (D) des défaillances (à l'aide d'indices sur une échelle bien définie). Ce qui conduira à mettre sur pieds des mesures préventives ou correctives sur le système ; (iii) le **Digraph** (Signed Digraph) quant à lui est une représentation graphique visant à isoler la cause racine d'un défaut système pour y remédier par une intervention de maintenance [26].

#### ❖ **Méthode Quantitative à base de modèle analytique**

Elle repose sur les relations mathématiques qui existent entre les variables et un modèle. [21] Les modèles sont élaborés à partir des premiers principes d'équilibre de chaleur, de masse, de quantité de mouvement, de cinétique de réaction, etc. ou de données d'entrée-sortie et peuvent être dynamiques, statiques, linéaires ou non linéaires. Les approches de diagnostic les plus utilisés sont : (i) **la méthode basé sur les résidus** (Residuals-based Method) : c'est l'une des approches de détection et/ou diagnostic de défaut qui consiste à introduire un élément fondamental, le plus souvent sous forme de signal à temps variable dans un système de diagnostic comme et connu sous l'appellation de détecteur de défaut ; **Un résidu** est un signal qui est nul lorsque le système diagnostiqué est exempt de défauts, et non nul lorsque des défauts particuliers sont présents dans le système. [27] Les résidus sont souvent générés en utilisant un modèle mathématique du système diagnostiqué et des mesures provenant de capteurs et d'actionneurs, le processus est appelé génération de résidus. Un résidu ( $r$ ) est généralement produit par filtrage de signaux de mesures ( $y$ ) et de commande ( $u$ ) à partir d'un filtre appelé générateur de résidus ( $Q(s)$ ) :  $r = Q(s)\binom{y}{u}$ . [28] On parlera donc de générateur de résidu linéaire, proprement dit MISO (Multiple Input and Single Output). (ii) **la méthode par l'observateur** (Observer-based method) : encore connu sous le l'appellation « estimation d'état », elle consiste à estimer les états d'un système à partir des sorties de mesures en utilisant différents observateurs (observateur de Luenberger, observateur généralisé...ou filtre de Kalman, etc.).

Sachant que l'erreur d'estimation de cette sortie génèrera un résidu ou indicateur de défaut [29]. Un **observateur** peut se définir comme étant un ensemble d'équations différentielles permettant de reconstituer les variables, parfois non mesurables, du système à partir des mesures disponibles [30]. L'idée de base de l'approche par observateur est de reconstruire les sorties du système à partir des mesures ou de sous-ensembles de mesures à l'aide d'observateurs ou de filtres de Kalman en utilisant l'erreur d'estimation, respectivement, comme résidu pour la détection et l'isolation des défauts [31] ; (iii) **la méthode par espace de parité** (Parity-Space method) : cette approche est utilisée pour la détection des défauts par génération de résidus et pour le diagnostic de pannes. **L'espace de parité** est un espace dans lequel tous les éléments compris sont des résidus (ou des vecteurs de parité) générés par une relation (ou équation) appelée équation de parité [32]. Globalement cette méthode consiste à vérifier la cohérence des modèles du procédé ou les relations mathématiques du système avec les mesures issues des capteurs et des entrées connues (consignes, signaux de commande, etc.) [25].

#### ***VI.2.2.2. Méthode basée sur l'historique du procédé (Process-history based Method)***

Cette méthode fait usage d'une grande quantité de données provenant de l'historique de fonctionnement (normal ou défaillant) d'un procédé ou du composant d'un système. Ces données sont exploitées et présentées suivant différentes techniques, qui peuvent être de nature quantitative ou qualitative.

##### **❖ Méthodes qualitatives à base d'historique du procédé**

L'extraction d'informations ou de données d'historique de fonctionnement du procédé par la méthode qualitative s'opère de plusieurs manières dont les plus courantes sont : (a) **l'analyse Qualitative des Tendances** (Quality Trends Analysis) : cette méthode est utilisée dans la détection et le diagnostic de défauts de processus par extraction et évaluation des tendances de signaux mesurés. Elle se réalise en deux étapes fondamentales qui sont : l'identification des tendances dans les mesures (ou l'extraction des tendances basée sur le découpage en intervalles) et l'interprétation de ces tendances sous forme de scénarios de défaillance [21]. Les littératures de [33][34] décrivent ces deux étapes comme étant l'extraction des tendances basée sur le découpage en intervalles et l'appariement (ou mise en correspondance) des tendances floues. Le terme "flou" signifie qu'une concordance partielle plutôt qu'une concordance stricte entre les formes est prise en compte. Le principe de l'extraction des tendances est une représentation des signaux mesurés sous la forme d'une séquence de formes de base (croissante, constante, décroissante, etc.), appelées primitives [33][35].

Dans la phase de mise en correspondance des tendances, la similarité entre deux signaux est calculée en évaluant la similarité entre les tendances correspondantes [36]. ; (b) **Les systèmes experts** : c'est une méthode d'implémentation d'approches basées sur les connaissances, mise en œuvre lorsque la panne du système ou le système lui-même est complexe, voir difficile à modéliser. Par cette méthode, la localisation et le diagnostic de pannes des capteurs sont réalisés à partir d'informations sur l'historique des défauts et les connaissances du capteur. La structure des systèmes experts est généralement composée de 02 parties : une base de connaissances comprenant elle-même une base de règles (ensemble de règles logiques) et une base de faits (information sur l'état du système traité), un mécanisme de résonnement incluant un moteur d'inférence. Le processus de diagnostic consiste à extraire la valeur mesurer du capteur diagnostiqué, l'insérer dans un interface homme-machine et donc le système de diagnostic sélectionne une étape inférence appropriée pour le résonnement indéterminé basé sur les règles existantes [37] ; (c) **La méthode basée sur des règles** (Rule-based Method) est appliquée pour le diagnostic initial des défauts, en particulier pour le diagnostic de l'état des capteurs.

Les seuils des règles sont tous définis par les données historiques normales et l'algorithme ; il n'est donc pas nécessaire d'avoir des connaissances préalables dans ce domaine. En outre, les méthodes basées sur des règles peuvent améliorer la précision du diagnostic final lorsque les capteurs sont bloqués ou s'écartent du fonctionnement normal [38].

#### ❖ **Méthodes quantitatives à base d'historiques du procédé**

Elles se mettent en œuvre par l'utilisation des méthodes suivantes :

**Méthode du réseau de neurones** : utilisée dans plusieurs domaines industriels pour la détection, le diagnostic et l'isolation des défauts des capteurs ou des composants de processus de production. Le réseau neuronal est entraîné à apprendre la dynamique de l'observateur, ce qui permet des prédictions de sortie précises du système. – [39] – Les défauts des capteurs sont détectés en comparant les mesures de sortie réelles aux valeurs prédites. Si la différence dépasse un seuil théorique, une défaillance du capteur est détectée.

**Méthode de surveillance des statistiques du procédé** (Statistical Process Control Method) : elle est mise en œuvre pour la détection et le diagnostic des défauts qui surgissent sur des procédés.

**L'Analyse en Composante Principale (ACP)** : elle peut se faire par l'analyse du comportement du système à diagnostiquer, c'est-à-dire que l'approche comprendra l'analyse du modèle ACP dans les conditions de fonctionnement normal et celui dans les conditions de défaillance [40].

L'ACP est une méthode d'analyse multivariable qui permet de réduire la dimensionnalité de données émises sachant un large nombre de variables, tout en conservant le plus que possible les variations présentes dans ces données. Ceci est finalisé par la transformation des données mesurées en un nouvel ensemble de variable connu comme composantes principales (non corrélées) [24]. Le diagnostic de défauts/pannes de processus de données multivariées se fait généralement en utilisant les valeurs statistiques  $T^2$  de Hotelling et Q (ou SPE : squared prediction error) et les littératures ci-après de [40],[41],[42]... développement les techniques dans des applications variées. En raison du fait que l'ACP ne prenne en compte qu'un certain nombre de variable et qu'il est quelques fois nécessaire d'ajouter des variables additionnelles (la qualité du produit par ex.), Il est souhaitable d'inclure toutes les données disponibles pour la surveillance du procédé et d'utiliser de cette façon les variables du processus pour prédire et détecter des changements dans les variables de qualité du produit. – [43] – Pour cela, la **méthode des Moindres Carrés Partiels (MCP)** peut être utilisée [22].

### **V.2.3. Les méthodes de diagnostic de pannes appliquées aux DEMs**

Les études que nous avons menées auprès de certains fabricants et les entretiens avec leurs supports techniques, nous ont révélés que, les méthodes usuelles de diagnostic de pannes appliquées aux débitmètres électromagnétiques (**DEMs**) sont fournies par les fabricants à travers des tutoriels (ou des formations) et les solutions de dépannage (et de réparation) peuvent varier d'un fabricant à l'autre selon les spécifications techniques de chaque produit. Ces pratiques de diagnostic sont réglementés par un certain nombre de directives que nous verrons plus bas. Cependant, Il n'existe pas de méthode de diagnostic standard dédiée à la maintenance de débitmètres électromagnétique. Les méthodes que nous expliciterons dans cette étude sont issues des expériences des fabricants fournisseurs d'équipements de métrologie et d'instrumentation en matière d'installation et de service après-vente, y compris les retours d'expériences des professionnels de l'industrie de procédé (Traitement d'eau, agroalimentaire, hydrocarbure, chimique, etc.).

### 2.3.1 Inspection générale de routine du débitmètre électromagnétique

Elle vise à dans un premier temps à une **inspection visuelle** conduisant à vérifier l'état de fonctionnement du débitmètre c'est-à-dire : **vérifier si les indications affichées par l'instrument de mesure sont normales** (valeur de débit, de volume et code d'erreur le cas échéant) ; **vérifier l'aspect du corps du capteur** (la conduite raccordée, le boîtier de raccordement...) afin de prévenir tout dommage, fuite de liquide et corrosion ;

**Vérifier également la présence de toute nouvelle source d'interférence** autour du débitmètre pouvant influencer sur le câble de signal. Dans un second temps, elle consiste en la réalisation de trois (03) tests de diagnostic (**inspection à base instrument**) à savoir : le test de résistances, le test de courant et le test de tension afin de s'assurer que les valeurs répondent aux normes de pré-conformité.

#### a. Le test de résistance

C'est un ensemble de mesures de résistances effectuées sur le débitmètre en vue de vérifier les résistances de conduction (**Résistance de contact des électrodes** et **Résistance de la bobine d'excitation**) et d'isolation (**Résistance d'isolement de l'électrode par rapport à la terre** et la **Résistance d'isolement de la bobine d'excitation par rapport à la terre**) de chaque liaison (câble de signal et câble d'excitation) afin de s'assurer qu'elles sont bonnes. On peut ajouter à cela la mesure de la résistance de mise à la terre du tube de mesurage (Brides du capteur et conduite raccordée).

- La mesure de résistance de la bobine d'excitation permet de déterminer s'il y'a un **court-circuit** entre les spires des enroulements électromagnétiques du tube de mesurage et sa valeur doit être comprise entre 30 Ohms et 170 Ohms [X]. Par ailleurs, si cette valeur est égale à celle obtenue à l'usine, dans ce cas les bobines d'induction sont en bonne état.
- La résistance de contact des électrodes est un paramètre qui permet de connaître la conductivité des électrodes (de l'ordre des micro-ohms). C'est la résistance entre l'électrode et la borne de mise à la terre mesurée lorsque le capteur (ou tube de mesure) est rempli de liquide. Sa valeur doit être sensiblement également pour les deux électrodes et comprise entre 1kΩ et 1MΩ. Un changement de cette valeur indique que les électrodes sont susceptibles d'être contaminées. Par exemple, selon la nature la couche d'adhérence (ou des dépôts) on peut avoir deux scénarios : la résistance de contact augmente et les contaminants peuvent être des dépôts isolants ; – [XIV] – la résistance de contact diminue et les contaminants peuvent être des dépôts conducteurs.

La résistance des électrodes d'un débitmètre magnétique peut varier de quelques ohms à quelques centaines d'ohms [XVII] selon le matériau des électrodes, la taille du capteur et le type.

- La mesure de la résistance d'isolement de la bobine d'excitation est une opération qui permet de déterminer si le capteur est humide et sa valeur doit être supérieure à 20 mégaOhms [XII]. Sa mesure se fait lorsque le capteur est rempli d'eau au repos.
- La mesure de la résistance d'isolement des électrodes est une action qui consiste à diagnostiquer la détérioration de l'isolation des électrodes. Cette mesure se fait entre l'électrode et la borne de terre et lorsque le capteur est n'est pas rempli de fluide (ou que le tube de mesure est sec).

#### **b. Le test de courant**

Cette opération consiste à mesurer **le courant d'excitation** (et la fréquence d'entrée) et **le courant de sortie du capteur** (et la fréquence de sortie) afin de vérifier que les valeurs obtenues sont dans les plages ou les limites de fonctionnement normal. Par ailleurs, une hausse ou une baisse de l'une ou l'autre de ces valeurs entraîne généralement un signal d'alarme (Alarme limite supérieure ou Alarme limite inférieure). Suivant la configuration du mode supervision du transmetteur l'on peut également lire sur son afficheur les codes d'erreur relatifs au défaut de limite courant.

Les courants d'excitation des débitmètres électromagnétiques peuvent être très importants, de 50 mA pour les petits diamètres jusqu'à 500 mA ou 1 A pour les conduites de plus grand diamètre [44]. Lorsque le débit est nul, le courant de sortie du convertisseur doit être de 4,00 mA ; pour un débit de 100 %, le courant de sortie doit être de : 20,00 mA. L'erreur de la valeur du courant de sortie doit être supérieure à 1,5 % [44].

#### **a) Le test de tension**

Le test de vérification de tension se traduit par le mesurage de la tension d'alimentation du capteur et du convertisseur. Il faut confirmer que l'accès à l'alimentation électrique est normal ; ensuite, il faut vérifier que la tension de sortie de la carte de circuit imprimé du débitmètre est normale ; – [XI] – s'il est difficile de juger de la situation, il faut remplacer toute la carte de circuit imprimé ; mais il faut aussi vérifier si le fusible d'alimentation est intact. De plus, la mesure de la tension de polarisation entre l'électrode et liquide doit également faire l'objet d'un jugement afin de diagnostiquer tout défaut d'instabilité du point zéro ou fluctuation en sortie.

En mesurant la tension continue entre les points de contact en bout DS1 et DS2 (électrode de contact, anneau de contact, tuyau métallique), respectivement, la valeur doit être inférieure à 1V, et la différence de tension continue entre les deux électrodes doit être inférieure à 50mV. – [XVI] – Dans le cas contraire, l'électrode du capteur est polarisée.

### ***2.3.2. Méthode par substitution***

Cette méthode ne permet pas de déterminer si un composant ou une pièce est défectueux (se) ; il faut donc effectuer l'interchangeabilité entre le convertisseur et le capteur et entre les composants de la carte électronique interne du convertisseur pour déterminer la localisation du défaut par la méthode de substitution [XV].

### ***2.3.3. Méthode par élimination***

La méthode d'élimination consiste à analyser la panne pour trouver les causes possibles, puis à les éliminer une à une (ou les unes après les autres) ;

### ***2.3.3. Méthode de traçage du signal***

Il s'agit ici de remplacer le capteur par un annonceur analogique (un simulateur GS8 ou Field Check par exemple) et fournir un signal de débit lorsque le liquide ne s'écoule pas pour tester le convertisseur de débit électromagnétique.

## **V.2.4. Quelques défauts/pannes courantes et mesures correctives associées**

Dans cette section, nous verrons les différents types de pannes courantes (ou symptômes les plus courants des défaillances), leurs causes probables et les mesures correctives associées pour le cas des débitmètres électromagnétiques installés sur site et en fonctionnement depuis une longue durée déjà.

Il s'agit des tableaux renseignant sur les différentes pannes ou symptômes de défauts détectés (et/ou diagnostiqués) et identifiés par plusieurs fabricants de débitmètres électromagnétiques, notamment Endress+Hauser et Krohne pour le cas de notre étude. A l'aide des guides de maintenance, des manuels de référence technique (ou Mode d'emploi), les manuels de mise en service et les manuels d'instructions de fonctionnement [10] [17], nous avons reproduit des tableaux récapitulatifs que vous trouverez dans la suite de l'étude (*Cf. Tab.4, Tab.5, Annexe 3,5,6...21*).

**a. Cas de débitmètres électromagnétiques Proline Promag 50 E+H**

**a.1. Instruction de dépannage de base**

Le tableau ci-dessous est une check-list de diagnostic des défauts (ou des pannes) qui surviennent pendant le fonctionnement du débitmètre électromagnétique de la gamme Proline Promag 50 d'Endress+Hauser.

*Tableau 4: check-list de dépannage de base : extrait du manuel de mise en service Promag 50 [1]*

Dysfonctionnements	Procédure de diagnostic ou dépannage
<b>Aucun affichage n'est visible et aucun signal de sortie n'est présent.</b>	1. Vérifier la tension d'alimentation → bornes 1, 2 2. Vérifier le fusible de la ligne d'alimentation →  (voir procédure de remplacement du fusible : pg.98 du manuel de mise en service) : - 85 à 260 V CA : 0,8 A à action retardée / 250 V - 20 à 55 V AC / 16 à 62 V DC : 2 A à action retardée / 250 V 3. Electronique de mesure défectueuse → commander des pièces de rechange  (voir procédure de remplacement des pièces rechange : pg.93 du manuel de mise en service).
<b>Aucun affichage n'est visible, mais les signaux de sortie sont présents.</b>	1. Vérifier que le connecteur du câble plat du module d'affichage est correctement branché sur la carte de l'amplificateur →  (voir procédure de dépose et installation des cartes de circuits imprimés : pg.94 du manuel de mise en service). 2. Module d'affichage défectueux → commander des pièces de rechange →  (voir page 93 du manuel de mise en service). 3. Électronique de mesure défectueuse → commander des pièces de rechange →  (voir page 93 du manuel de mise en service).
<b>Les textes affichés sont dans une langue étrangère.</b>	Coupez l'alimentation électrique. Appuyez sur les deux boutons OS et maintenez-les enfoncés, puis allumez l'appareil de mesure. Le texte de l'affichage apparaît en anglais (par défaut) et est affiché avec un contraste maximal.
<b>La valeur mesurée est indiquée, mais il n'y a pas de signal à la sortie de courant ou d'impulsion.</b>	Carte électronique défectueuse → commander des pièces de rechange →  (voir page 93 du manuel de mise en service).

**a.2. Diagnostic des messages d'erreur**

En règle générale, les messages d'erreur d'un équipement sont des codes ou des signes que l'on peut reconnaître sur l'afficheur de ce dernier et qui matérialise soit un défaut ou une panne, soit un avertissement ou un danger probable. Pour le cas des débitmètres électromagnétiques (DEMs) E+H, les erreurs qui surviennent lors de la mise en service ou de l'opération de mesure sont affichées immédiatement. Les messages d'erreur sont constitués de diverses icônes ; la signification de ces icônes est la suivante (exemple) :

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

- Type d'erreur : **S** = erreur de système, **P** = erreur de processus
- Type de message d'erreur : ⚡ = message d'erreur, ! = message d'avertissement
- **EMPTY PIPE** = Type d'erreur, par exemple tube de mesure partiellement rempli ou complètement vide.
- 03:00:05 = durée de l'erreur (en heures, minutes et secondes)
- **#401** = numéro de l'erreur

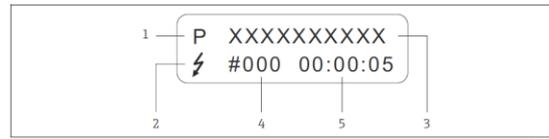


Figure 33: messages d'erreurs sur l'afficheur (exemple) [E+H Promag 50]

### Légende :

(1) Type d'erreur :

- P = erreur de processus

- S = erreur système

(2) Type de message d'erreur :

- ⚡ = message d'erreur

- ! = message d'avertissement

(3) Désignation de l'erreur : p.ex. EMPTY PIPE = le tube de mesure n'est que partiellement rempli ou complètement vide

(4) Numéro d'erreur : par exemple #401

(5) Durée de l'erreur la plus récente (en heures, minutes et secondes)

Nota : Le système de mesure interprète les simulations et le retour à zéro positif comme des erreurs du système, mais les affiche en tant que message d'avertissement seulement.

Il est important de mentionner qu'il faut faire la différence entre **les erreurs de système** (ou erreur de dispositif) et **les erreurs de processus** (ou erreur d'application).

L'on peut les reconnaître à partir numéro d'erreur n° 001 – 399 pour les erreurs de système et n° 401 – 499 (respectivement pour les erreurs de process). Par ailleurs, certaines erreurs liées à une catégorie de dysfonctionnement peuvent se produire sans messages d'erreur ; nous aborderons également dans cette étude, le diagnostic et la rectification de celles-ci afin de renforcer les capacités d'intervention de maintenance.

### **a.2.1. Identification et résolution des erreurs de dispositif**

Les erreurs graves du système sont toujours reconnues par l'appareil comme "message d'erreur" et sont affichées sous la forme d'un éclair de foudre (⚡) sur l'écran. Les messages d'erreur affectent immédiatement les sorties [1]. Cependant, en cas de défaillance grave, il peut être nécessaire de renvoyer le débitmètre au fabricant pour réparation. Le tableau récapitulatif des erreurs de dispositifs de mesure (extrait du manuel de mise en service Promag 50) fourni en **annexe 3** de ce document nous donne tous les détails possibles.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

### a.2.2. Identification et résolution des erreurs de processus

Comme annoncé plus haut certaines pannes peuvent être la conséquence d'une défaillance du procédé ou d'un composant du procédé. Elles peuvent être matérialisées sur l'afficheur du transmetteur sous forme de message d'erreur et le tableau qui suit nous permet de déceler l'origine et d'en trouver des mesures correctives.

Tableau 5: erreur de processus (extrait du manuel d'opération Promag 50) [1]

No.	Message d'erreur / Type	Cause(s)	Remédiation
<b>S = Erreur du système</b> <b>⚡ = Message d'erreur (avec effet sur les sorties)</b> <b>! = Message d'avertissement (sans effet sur les sorties)</b>			
401	EMPTY PIPE \$: # 401	Tube de mesure partiellement rempli ou vide	1. Vérifier les conditions de fonctionnement de l'installation 2. Remplir le tube de mesure
461	ADJ. NOT OK !: # 461	L'étalonnage de l'EPD n'est pas possible parce que la conductivité du fluide est trop faible ou trop élevée.	La fonction EPD ne peut pas être utilisée avec des fluides de cette nature.
463	FULL = EMPTY \$: # 463	Les valeurs d'étalonnage EPD pour un tube vide et un tube plein sont identiques, donc incorrectes.	Répéter l'étalonnage en s'assurant que la procédure est correcte →  (voir procédure d'ajustement conduite vide/ conduite pleine page 80).

### a.2.3. Identification et résolution des défauts de processus sans message d'erreur

Comme abordé plus haut, certaines pannes de processus peuvent surgir sans signalement d'un message d'erreur sur l'afficheur du transmetteur et peuvent avoir de lourde conséquence sur l'ensemble du procédé de production (Cf. *Annexe 21*).

#### b. Cas des débitmètre Optiflux 2000 : IFC100W

Nos investigations nous ont permis de découvrir que le convertisseur de signal IFC100 de Krohne dispose d'une fonction « *self-diagnosis* » qui lui permet d'opérer des diagnostics en continue au cours de son fonctionnement. Il s'agit notamment du diagnostic de procédé tels que : *la détection des dépôts de couches ou d'encrassement sur les électrodes du capteur Optiflux, les changements de température et de conductivité du médium (eau brute/potable), la détection de présence des particules solides ou des bulles d'air dans le capteur, la détection de canalisation vide (EPD)...*

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Les informations relatives aux valeurs mesurées et au diagnostic sont affichées sur l'afficheur du convertisseur et peuvent être transmises via un interface HART à un module de télégestion pour le besoin des opérateurs de production. La signalisation d'état et informations diagnostiques relative aux défauts de fonctionnement de l'appareil, aux mesures hors spécifications, à la simulation des valeurs mesurées et autres informations sont consultable en **annexe 5,6,7 et 8** de ce document.

### *c. Cas des débitmètres Sitrans FM MAG 5000 de Siemens*

Siemens considère les débitmètres comme des appareils irréparables. Le fabricant poursuit en mentionnant que le débitmètre Sitrans FM MAG 5000 ne nécessite pas de maintenance [9]. Cependant, nous recommandons d'effectuer des inspections périodiques dans le respect des directives et réglementations en vigueur. Toute activité d'inspection doit inclure : la vérification des conditions ambiantes, de l'intégrité des joints des raccords process, des entrées de câbles et des vis de recouvrement et la vérification de la fiabilité de l'alimentation, de la protection contre la foudre, et des mises à la terre [9]. Nous proposons l'utilisation d'un *vérificateur SITRANS F M*, pour effectuer une vérification scrupuleuse de l'ensemble du débitmètre sous paramétrage d'usine (ou brevets Siemens). Nous remarquons que pour le type de débitmètre étudié, les erreurs de mesure sont souvent dues à une mise à la terre ou à une équipotentialité insuffisante ou incorrecte. Si la liaison de terre est bonne, il suffit juste de contrôler le transmetteur de mesure comme indiqué sur la liste de contrôle du transmetteur de mesure (*voir annexe 14*) et le capteur comme instruit sur les listes de contrôle du capteur (*voir annexe 15-17*).

La liste des messages d'erreur est également disponible pour aider l'utilisateur au diagnostic et dépannage du débitmètre (*Cf. Annexe 18-19*).

## VI. DIAGNOSTIC DES DEMs DES SITES DE SP3

### VI.1. Proposition d'une méthode de diagnostic des DEMs

La méthode de diagnostic des défaillances que nous nous proposons d'employer ici est celle **basée sur l'organigramme** ou Flowchart-based Method (*voir annexe 9*). C'est un outil méthodologique visuel de recherche de défaillances, qui aide à résoudre les problèmes au sein d'un système ou d'un processus. Elle consiste à schématiser chaque étape d'un processus à suivre pour identifier les points de défaillance potentiels (ou pour diagnostiquer une défaillance). Cette méthode permet un examen systématique et peut aider à localiser l'origine d'un problème ; notre **organigramme de diagnostic** peut inclure des étapes telles que la recherche de défaillance au moyen d'instruments de mesures (voltmètre, la mesure d'isolement, la recherche de défaillance à l'ohmmètre, etc.) et/ou à l'aide protocoles ou de directives de vérification disponibles dans les manuels du produit (le manuel de l'utilisateur, le manuel d'installation ou le manuel de fonctionnement).

Il est important de savoir que l'utilisation de cette méthode fait l'objet d'une préférence personnel motivé par notre sens de l'observation et notre capacité à effectuer un diagnostic dans un délais court en se basant sur les recommandations de dépannage issues des documentations des fournisseurs de débitmètre électromagnétique. Notre méthode s'avère adaptée pour ce cas d'étude en raison de sa facilité d'exécution et du fait qu'elle ne nécessite pas l'arrêt du processus de distribution d'eau sur les sites. La conception de cet organigramme nous a été inspiré du manuel de maintenance de débitmètre électromagnétique séries CA de YOKOGAWA (Cf. **Annexe 9**).

### VI.2. Pratique du diagnostic des DEMs sur le site RA

#### i.1. Enoncé de protocole de diagnostic des DEMs sur site

Au Burkina Faso, l'**Agence Burkinabé de Normalisation, de la Métrologie et de la Qualité (ABNORM)** est la seule structure au niveau national chargée d'élaborer des normes. Elle a pour mission la mise en œuvre de la politique nationale en matière de normalisation, certification, contrôle, métrologie, accréditation, etc.

Cependant, après notre prise de contact avec cet Agence, ils nous ont fait savoir qu'il n'existe pas encore d'arrêté ou de décret fixant les modalités d'exécution de diagnostic des instruments de comptage dédiés aux sociétés de production et distribution d'eau.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DÉBITMÈTRES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Par conséquent, nous nous baserons sur la notice *Note technique du 23/08/16 relative aux modalités d'habilitation des organismes pour la réalisation de diagnostics sur site de dispositifs métrologiques utilisés pour le calcul des redevances pour prélèvement sur la ressource en eau et pour pollution non domestique de l'eau perçues par les agences de l'eau*. Cette notice que nous avons trouvée sur le site internet de AIDA – INERIS (*Institut national de l'environnement industriel et des risques – France*), décrit les méthodes à appliquer pour effectuer un diagnostic des dispositifs de mesure directe (Compteurs mécaniques, débitmètres électromagnétiques, sondes à insertion, débitmètres à ultrasons, etc.) des volumes d'eau prélevés sur une conduite d'eau en charge (*sous-titres 2/2.1 – chapitre III, du 23/08/16 : portant méthode à appliquer pour la réalisation de diagnostic sur site*). Elle est employée par les fabricants de débitmètres tels que **Krohne** et **Endress+Hauser** dans leurs opérations de contrôle, d'étalonnage et de diagnostic sur site. Son protocole que nous emploierons sur site pour nos opérations de diagnostic, se déroulera succinctement comme suit :

- **Vérification préalable de la conformité de l'installation de l'appareil de mesure avec les conditions d'installation définies dans les normes en vigueur et par les constructeurs :** longueurs droites amont et aval disponibles, présence de stabilisateurs d'écoulement, valeurs des angles de convergence, etc. [46] ;
- **Mesures comparatives des débits instantanés avec un débitmètre portatif installé lors du diagnostic** (débitmètre à ultrasons à temps de transit ou à effet doppler, débitmètre à insertion). Ces mesures devront couvrir l'ensemble de la plage de débits rencontré sur site [46] ;
- **Mesures comparatives des volumes cumulés avec un débitmètre portatif installé lors du diagnostic** (débitmètre à ultrasons à temps de transit ou à effet doppler, débitmètre à insertion) ou par empotement à l'aide d'une capacité jaugée. Cette mesure sera d'une durée significative du fonctionnement normal de l'ouvrage (au moins 30 minutes et 10 m<sup>3</sup>) [46] ;
- **Pour les débitmètres électromagnétiques, une méthode alternative consiste à vérifier sur site l'électronique et de la section de mesure.** Cette vérification conduit à l'établissement d'une attestation ou d'un certificat de vérification au sein desquels figureront les résultats des mesures effectuées et une conclusion sur la conformité de fonctionnement du débitmètre vis-à-vis des données d'origine de l'appareil [46].

## i.2. Diagnostic du débitmètre électromagnétique

### i.2.1. Organigramme de diagnostic

La *méthode basée sur l'organigramme de diagnostic* que nous avons réalisé, nous permettra d'identifier les causes de défaillance du débitmètre électromagnétique de type Proline Promag 50 ou 400 (L/W), Sitrans FM MAG 5000 et Optiflux 2000 IFC100 et d'établir les mesures correctives (*Cf. Annexe 9*). Nous procéderons à ce diagnostic dans le respect des prescriptions du protocole de la notice technique susmentionnée.

### i.2.2. Résultats du diagnostic et interprétation

Au cours de nos visites d'inspection et de diagnostic des débitmètres sur sites de pompage, nous avons effectué un constat technique sur plusieurs débitmètres défaillants, qui a été synthétisé dans un tableau récapitulatif (*Cf. Annexe 13*). L'analyse des résultats fait nous montre que :

Les conditions de montage des capteurs « Promag » ont été respectées lors de l'installation ; en nous référant aux tests de résistance (*voir fig.36*) réalisé sur site, nous pouvons dire que les enroulements électromagnétiques (bobines) des capteurs de la gamme Proline Promag 50W et/ou Promag W/L 400, sont en bonne état mais fournissent **des mesures instables, des mesures erronées** pour certains et **des erreurs de mesure** pour d'autres. Les causes potentielles que nous avons identifiées sont : **l'absence de compensation de potentiel** pour l'élimination des signaux parasites liés aux bruits et vibrations du process, **câblage incorrect du transmetteur de mesure, l'encrassement des électrodes et les sources génératrices de champs magnétiques** à proximité (transformateurs du site). Par ailleurs, tous les débitmètres de type Promag 50W présentant une *erreur de dispositif de type : S : AMP SW EEPROM #012* (*Cf. Annexe 4, fig.35*), visible sur l'afficheur du transmetteur doivent être soumis à une réinitialisation si après redémarrage l'erreur n'est pas acquittée. à ce stade, nous pouvons confirmer que **cette erreur de fonctionnement survient lors d'un problème d'accès aux données de l'EEPROM de l'amplificateur du module électronique**. Additionnellement, les débitmètres de type Promag W/L 400 faisant apparaître l'erreur "*S441 : Sortie cour.1*" (*Cf. Annexe 11, fig.34*) renvoie à une **panne liée au réglage de la sortie courant ou d'un problème de clapet anti-retour fuyard engendrant un débit négatif**.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA



Figure 35: Promag 50W : Erreur de dispositif S...#012



Figure 34: Promag 400 /L : Erreur S441 Sortie Courant I

Au cours de nos inspections, nous avons constatés que certains transmetteurs présentent des défaillances telles que : (i) **la lisibilité compromise de l'afficheur local** qui se manifeste par des scintillements et un floutage des données sur l'afficheur, rendant toute lecture ou manipulation impossible ; (ii) **la commande par touche optique inactive** qui empêche le déverrouillage de l'afficheur local (*cas de la touche optique "Enter" défectueux*) et/ou altère la navigation pendant les manipulations (*cas des touches optiques "+" ou "-" défectueux*). Cependant, nous avons relevé également que « l'écran alterne entre message d'erreur et l'affichage opérationnel » sur d'autres afficheurs dont le transmetteur est fonctionnel. Ceci survient lorsqu'un événement de d'autodiagnostic s'est produit, il ne s'agit donc pas d'une panne du module d'affichage. Il convient de prendre donc des mesures pour la suppression des défauts relevés par leur code d'erreur suivant les instructions du fabricant.



Figure 36 : Symptômes de modules d'affichage défectueux : Promag 50W

Lorsque nous prenons les transmetteurs (ou convertisseur) dont aucun texte n'est affiché sur le module d'affichage, autrement dit en arrêt ou hors service, nous pouvons constater que la panne est due soit à une **rupture du câble d'alimentation**, à une **tension d'alimentation inadaptée** au module électronique, au **fusible de l'appareil défectueux** ou même à **l'électronique de mesure défectueuse**.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

D'après le guide de maintenance des fabricants, ces trois causes sont probables et la réalisation d'un test de tension ou d'un test de la platine électronique confirmerait la nature de la panne. En ce qui concerne les débitmètres de la gamme Optiflux 2000-IFC100W que nous avons diagnostiqués sur site, l'appréciation des conditions de pose reste pareil à celle de la gamme Endress+Hauser pour le cas du site RC. En revanche, après inspection interne des regards desdits capteurs, nous constatons qu'ils se remplissent d'eau par moment, ce qui peut conduire à des infiltrations dans la boîte de raccordement et engendrer des courts-circuits (*voir fig.37*). De plus les convertisseurs IFC100W installés sur l'ensemble des sites et présentant des codes d'erreurs (et/ou de défauts de fonctionnement) similaires à ceux du site RC (*voir fig.38*), doivent faire l'objet d'un diagnostic avancé et d'une réparation sous assistance d'un expert du service support technique du fabricant.



Figure 38 : Test de résistance sur Promag et Optiflux



Figure 37 : Vue intérieure du regard de capteur de débit électromagnétique

**Les défauts de fonctionnement de l'appareil** relevés sur le terrain (*fig.38*) sont signalés par **les codes d'erreur** « F erreur d'application », « F débit hors limites », « F DC Offset », « F D/A Saturé », répertoriés dans la liste des messages d'erreur d'application (*Cf. Annexe 6*) fourni dans le guide de référence de l'appareil. L'analyse des messages de mesures hors spécifications (*Cf. Annexe 7*) portant respectivement pour message d'erreur "S Hors spécifications" et "S Bobines coupées" montre qu'ils renvoient à une **intervention de maintenance** (respectivement) à une **panne de court-circuit ou de rupture du signal de courant de champ**, qui se manifeste par une valeur de résistance des bobines de courant de champ supérieure à la normale (*voir fig.40*). De ce fait, nous recommandons aux techniciens de maintenance d'intervenir en ligne direct avec le support technique du fabricant, pour identifier la nature exacte des pannes liées. Nous ajoutons à cela le message d'information « I Défaillance secteur » qui lui aussi est répertorié, mais que nous assimilons à **absence prolongée de la tension d'alimentation délivrée par le transformateur 230V/24VAC/DC** (*Cf. Annexe 8*) ;

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

D'autres messages d'informations "I Saturé affichage 1/2" et "I Plage de conductivité" que nous avons relevés, sont relatif quant à eux, au paramétrage de l'échelle de mesure (et/ou limitation) qui peuvent être ajusté suivant les instructions du guide de référence (*voir fig.39*). Le défaut lié au message "**F erreur d'application**" signifie que aucune mesure ne peut être faite en raison des conditions du procédé/de l'application et représente un message collectif pour tous les autres défauts susmentionnés. Après un entretien téléphonique que nous avons eu avec le support technique Krohne, il en ressort que la résolution de l'erreur "**F DC Offset**" (relative au manque de compensation de potentiel) et "**S Bobines coupées**" (relative à une rupture du câble de signal de champ) permettrait de résoudre toutes les autres erreurs de l'appareil.



Figure 39 : Messages d'erreur des défauts de fonctionnement du débitmètre Krohne Optiflux2000-IFC100W



Figure 41: Test de résistance (résistance des bobines de courant de champ) Optiflux 2000



Figure 40: Réglage de l'échelle de mesure sur IFC100W

Ces défauts de fonctionnement de l'appareil conduisent à l'obtention **d'un désaccord entre le débit affiché et le débit réel**, en d'autres termes le débitmètre peut afficher une valeur de débit figée à l'écran même en cas d'absence d'écoulement de l'eau ou de tube vide. L'on peut aussi être dans une situation de sous-comptage ou de sur-comptage de débit. Afin d'en avoir le cœur net, un **diagnostic avancé** par l'utilisation simultanée d'un simulateur de débit (*Field Check pour la gamme Promag et OPTICHECK pour la gamme Optiflux*) et d'un débitmètre portatif (Seflow 400 par exp.) nous rassurerait avec certitude sur la nature de la panne et dans la nôtre prise de décision.

A la lumière des résultats précédents, nous donnerons nos impressions quant à la validation de la méthode de diagnostic employée et proposerons des solutions relatives aux défauts (et/ou pannes) soulevés précédemment, qui pourront être appliquées sur l'ensemble des sites de pompage de la DRO.

### **VI.3. Validation de la méthode de diagnostic**

Le protocole de diagnostic que nous avons suivi sur le terrain, est celle **basé sur l'application des directives techniques** en matière de diagnostic sur site, des dispositifs de débitmètrie placés sur des conduites d'eau en charge. Cependant, sa mise en œuvre dans le cadre de notre étude présente des insuffisances en raison de la non-disponibilité de débitmètres portatifs et de simulateurs de débit pour effectuer des mesures comparatives lors du diagnostic. En dépit de cela, nous avons effectué une vérification préalable des conditions d'installations des appareils de mesure conformément aux spécifications du fabricant, y compris l'appréciation l'état de l'électronique (intégrité physique des composants) sur site de façon visuelle et à l'aide d'un multimètre. Au regard de tous les manquements mentionnés précédemment, nous émettons des réserves quant à la validation de ce protocole dans notre processus de diagnostic sur site.

**La méthode de diagnostic basée sur l'organigramme** que nous avons exécuté sur site conjointement avec l'application des directives techniques s'est avéré plus utile pour le diagnostic des débitmètres électromagnétiques Proline Promag 50/400 qui affichent des valeurs de débits contradictoires aux mesures attendues. Cette méthode nous a permis de vérifier certains prérequis au bon fonctionnement des débitmètres : **(i)** Les paramétrages de base (unité de mesure, grandeur mesurée, sortie courant, section de mesure...), **(ii)** Les conditions de pose : la conductivité mesurable, la compensation du potentiel (mise à la terre), l'emplacement du capteur (environnement externe), la longueur droite (d'entrée et de sortie), les câblages (ou raccordement), la distance du transmetteur par rapport au capteur... De plus, en l'absence de logiciel d'assistance (Field Care par exp.) au dépannage ou de simulateur de débit (Field Check par exp.) pour un diagnostic de l'électronique de mesure, nous avons employé un multimètre numérique pour réaliser un **test de résistance partiel** et un **test de tension** afin d'apprécier les valeurs obtenues sous l'appui du service technique du fabricant. Ne disposant pas de Terminal portable HART (Field Xpert SFX100 par exp.) ou d'un modem HART (Commubox FXA 195 par exp.) ou tout autre appareil de mesure adéquat, **aucun test de courant** (mesure des courants d'excitation des bobines et de sortie HART) ne fut effectué au cours de nos diagnostics.

## **ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

Par ailleurs, la fonction supervision dont dispose chaque convertisseur (transmetteur) lui permet d'afficher les codes d'erreurs ou de défauts de fonctionnement qui nous ont servis pour identifier les défauts ou pannes à l'aide du manuel de référence ou d'opération du débitmètre. Bien qu'ayant été réalisé incomplètement, cette méthode nous a été d'une grande utilité pour notre étude et nous la retenons pour les travaux futurs en vue de compléter celle-ci.

## VII. ETUDE TECHNIQUE DES SOLUTIONS PROPOSEES : SOLUTION A COURT TERME ET SOLUTION A LONG TERME

### VII.1. Solution à court terme :

#### 1.1. Remplacement des composants électroniques défectueux

Cette solution s'appliquera uniquement aux débitmètres électromagnétiques Promag 50 et Promag W400 dont le transmetteur présente des défaillances matérielles : **module d'affichage défectueux, module d'amplificateur défectueux, fusible de l'appareil, carte d'alimentation défectueuse, module d'entrées/sorties défectueux, module mémoire S-DAT/T-DAT défectueux, etc.**

Cependant, pour des raisons d'indisponibilité des pièces de rechange du transmetteur de la gamme "Promag 50WT0-HC0A1AC2A4AA" et "Promag W400-5L4CT2" à partir de Décembre 2024 (respectivement à compter de Décembre 2027), Il convient de remplacer tous les débitmètres (capteur + transmetteur) de cette série Promag 50WT0 (et/ou Promag W400-5L4CT2 si nécessaire) par leur successeur "**Promag W400-5W4C**", répondant aux applications plus diverses. Pour le remplacement des composants électroniques des **Convertisseur de mesure IFC100W** des débitmètres électromagnétiques KROHNE, seul le convertisseur lui-même est proposé comme pièce de rechange par le fabricant. En raison du fait que sa platine électronique soit compacte, il n'est donc pas possible de remplacer des modules ou cartes électroniques débrochable ou décrochable. En revanche le câble d'alimentation, le câble de signal et les disques de masses (en acier) sont fournis comme pièce de rechange sur commande.

#### 1.2. Reparamétrage et étalonnage des débitmètres sur site

La nécessité de cette solution intervient dans le cadre d'une mise en conformité des paramètres des transmetteurs (ou convertisseur de mesure) par un spécialiste du fabricant. Cela permettra de lever le doute quant à la bonne mise en œuvre des paramètres de mise en service des débitmètres, par les prestataires (CGCINT Burkina, ASI BF par exemple) de l'ONEA au moment de l'installation. De plus, tous les débitmètres fonctionnels et ceux fournissant des valeurs de débits figés ou erronées pendant ou hors écoulement devront également faire l'objet d'un étalonnage tube vide ou tube plein (détection présence produit), pour palier au défaut de « valeur de mesure affichée malgré un tube de mesure vide » et « sur-comptage / sous-comptage ».

Nous proposons également un contrôle des débitmètres pendant leur fonctionnement à l'aide d'un OPTICHECK (pour les produits Krohne) et d'un Field Check (pour les produits Endress+Hauser), afin de vérifier que les performances de mesure de ces derniers se situent dans la plage d'étalonnage d'origine. A l'issue de cela il serait important d'établir un calendrier d'étalonnage comme le fait Endress+Hauser, par application d'algorithmes brevetés aux données d'étalonnage afin de déterminer les intervalles d'étalonnage spécifique à chaque appareil de mesure durant son cycle de vie (E+H).

### **1.3. Réalisation d'un diagnostic avancé sous expertise du fabricant**

En raison des limites de notre diagnostic effectué sur site, il est plus que préférable de faire expertiser et réparer ces appareils de mesure de débits par un spécialiste du constructeur au moyen d'outils de contrôle certifiés (Field Check par exp.) ou par simulation sur le convertisseur de signal.

## **VII.2. Solution à long terme :**

### **2.1. Compensation du potentiel sur l'ensemble des débitmètres**

**La compensation du potentiel** est une technique qui consiste mettre le produit à mesurer (eau brute/eau traitée) et le capteur (tube de mesure) au même potentiel électrique. En effet, cette pratique permet de garantir les mesures de débits fiables (ou correctes) et précises. Elle permet également de corriger les erreurs de fonctionnement de l'appareil et les erreurs de mesure liées aux variations de conductivité du fluide, les fluctuations et l'instabilité du zéro (ajustement du point zéro) lors de la mesure de débit. Pour la mise en œuvre de cette solution, trois cas se présentent à nous :

- **La compensation de potentiel en conduite métallique non mise à la terre** : il s'agit de raccorder les deux brides de la conduite et le boîtier de raccordement du transmetteur ou du capteur au potentiel de terre à l'aide de la borne de terre prévue à cet effet. Elle est le plus souvent conseillé par le fabricant au moment du montage du débitmètre.

- **La compensation de potentiel en conduite synthétique ou revêtue** : cette situation est appropriée lorsque la conduite est en matériau non métallique (PVC ou fonte) ou que la compensation de potentiel usuelle ne peut être assurée. Pour ce fait, l'on utilise des anneaux métalliques (en cuivre ou acier inoxydable) de mise à la terre (ou disques de masse) qui entreront en contact avec le liquide mesuré lorsque fixées par boulonnage entre les brides du tube de mesure et la conduite du procédé.

- **La compensation de potentiel en conduite avec protection cathodique** : elle est la plus simple à réaliser et ne nécessite pas toujours le démontage du tube de mesure. Il suffit de relier les deux brides de la conduite à l'aide d'un câble de terre monté avec les vis de brides. En revanche, la protection cathodique requiert d'autres moyens et s'applique aux conduites en matériaux métalliques enterrées (dans le sol) ou immergées (dans l'eau) exposées à la corrosion. On distinguera deux techniques : la protection cathodique à anode sacrificielle et la protection cathodique par courant imposé.

## **2.2. Formation du personnel d'exploitation/maintenance**

La formation du personnel de maintenance est essentielle pour le bon déroulement des opérations de réparation et d'étalonnage selon les exigences du fabricant. A l'ONEA, il n'existe pas de techniciens spécialisés en maintenance d'instrumentation industriel, encore moins des électromécaniciens ou d'Agents de Production d'Eau (APE) formés pour l'entretien des débitmètres électromagnétique ou à ultrasons installés.

Il serait bénéfique pour la Direction d'Exploitation Eau Potable de l'ONEA, de faire former des opérateurs auprès des centres de formations Endress+Hauser et Krohne (KROHNE Academy) ou dans les locaux du CEMEAU. Les modules de formation devront couvrir le diagnostic, la mise en service et la maintenance des instruments de mesure en particulier les sondes de niveau d'eau, débitmètres, capteur de turbidité, transmetteur pH/redox, etc.

# **VIII. ETUDE DES COÛTS DES SOLUTIONS PROPOSEES**

## **VIII.1. Option 1 : Solutions à court terme**

Nous proposerons un devis estimatif pour cette étude des coûts et les prix des pièces détachées et/ou de rechange figurant dessus, tiennent leur origine des sites internet des fabricants (Endress+Hauser et Krohne). Les tarifs relatifs aux interventions du service SAV (vérification sur site, vérification OPTICHECK, expertise et réparation sur site) du fabricant, sont reportées sous négociation entre la DEX de l'ONEA et le support technique de Krohne France.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Tableau 6 : Devis estimatif pour remplacement des pièces défectueuses

	Désignation de la pièce de rechange/détachée	Quantité	Prix Unitaire HT (XOF)	Prix Total HT (XOF)
<b>Remplacement des pièces défectueuse du Promag 50W S/N 57034619000 / 57034819000</b>	Set 10 fusibles 250 VAC T 800mA Model no.: 50094002	A définir après diagnostic global	60 725,5	60 725,5
	**Set ampli. mesure PMAG 50 WEA Model no.: 50106073	A définir après diagnostic global	424 518,6	424 518,6
	Set commodule sort. courant/fréquence Ex Model no.: 50096757	A définir après diagnostic global	615 490,4	615 490,4
	Set bus/carte rac. 5X/8X/9X/65 boît.mur. Model no.: 50094017	A définir après diagnostic global	175 120,8	175 120,8
	**Set S-Dat Promag 50 programmée Model no.: 71003946	A définir après diagnostic global	231 319,8	231 319,8
	<b>La liste du matériel électronique ci-dessus est non exhaustive.</b>	<b>Total HT (taxes et frais d'expédition exclus)</b>		<b>1 507 175</b>
<b>Remplacement du débitmètre par son successeur Promag W 400/5W4CT</b>		A définir après diagnostic global	21 920 570,6	21 920 570,6
	Promag W 400, 5W4CT0-LHP3CHD3K0A +ACBACAEAEBECEI7JAL3L5PAPBPC70Z2	<b>Total HT (taxes et frais d'expédition exclus)</b>		<b>21 920 570,6</b>

### VIII.2. Option 2 : Solution à long terme

Nous établirons un devis quantitatif estimatif pour la solution de compensation de potentiel et pour ce qui est de la formation des Agents d'exploitation, les tarifs à cet effet relèveront d'une discussion entre le service formation du CEMEAU, des ressources humaines de l'ONEA et le service formation de KROHNE Academy et/ou le service support et formation d'Endress+Hauser.

Tableau 7 : Devis quantitatif estimatif pour compensation de potentiel des débitmètres

Désignation des pièces accessoires	Quantité	Prix Unitaire HT	Prix Total HT
Kit câble de terre, Promag L/W/P/S/E Model no.: DK5GC-10V6/0 (DK5GC-3FC) DN350 - DN3000, PN16, EN1092-1, Un kit comprend 2 câbles.	03(+/-)	30 785	92 355(+/-)
Promag, disque de masse/de protection Model no.: DK5GD-1JR8/0 (DK5GD-T0AHC), comporte 1 disque de masse/de protection. DN1000 40", 1.4435/316L, Hard rubber, PN16 EN1092-1(DIN2501).	03(+/-)	1 429 747	4 289 241(+/-)
Piquet de terre 100% cuivre 1/1,5m	06(+/-)		
Rouleau de câble de terre isolé 6mm <sup>2</sup> (100m)	01(+/-)	150 000	150 000(+/-)
Disques de masse en acier inox pour OPTIFLUX, En acier inox 1.4404 / 316 L (OPTIFLUX 2000/4000), 3 mm d'épaisseur, Convient pour revêtement en caoutchouc dur / PFA / PP avec une épaisseur de 4 mm OPTIFLUX 2000/4000, KROHNE V-Number : VN990456S170000	03(+/-)	21 615	64 845(+/-)
	<b>Total HT (taxes et frais d'expédition exclus)</b>		<b>4 596 441</b>

## **IX. CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Parvenu au terme de ce mémoire de fin d'études dont l'objet porte sur l'étude et le diagnostic des pannes des débitmètres rencontrés sur les sites de pompage de l'ONEA, notre objectif principal était de détecter et d'identifier les pannes des débitmètres électromagnétiques. Cette étude intervient après une série de difficultés rencontrées par les exploitants des sites de pompage, entravant l'évaluation des bilans de production, la maîtrise des coûts d'exploitation et la qualité sanitaire de l'eau produite. Nos recherches nous ont conduit à explorer les documentations pertinentes, à établir un organigramme de diagnostic des symptômes de mesures erronées et à clarifier les différentes pannes rencontrées. À partir de l'étude des symptômes observés, des inspections et des tests sur site, nous avons proposé des mesures correctives pour garantir la fiabilité des relevés de taux d'approvisionnement et la qualité de l'eau potable. Nos résultats montrent que les pannes identifiées sont liées aux défauts de fonctionnement des appareils, à leur vieillissement et à la non-conformité des conditions de mise en service, confirmant ainsi les hypothèses 2, 3 et 5 de notre étude. Pour atténuer les effets de cette situation à court terme, il faudrait remplacer certains débitmètres par leurs successeurs (et/ou les composants électroniques défectueux), reparamétrer et vérifier les débitmètres par diagnostic avancé ; (et à long terme, compenser le potentiel des débitmètres et former les exploitants). L'application de ces solutions permettrait de pallier les problèmes de sous-comptage, de mesures erronées, de fluctuations et d'indisponibilité des valeurs mesurées, améliorant ainsi l'efficacité de production, les performances de maintenance et l'évaluation correcte des bilans d'exploitation/production. Cependant, au regard des limites de notre études justifiées plus haut et du fait que plus de 65% des débitmètres sont ultrasoniques et seulement moins de 35% sont électromagnétiques, avec une dominance des débitmètres ultrasoniques défectueux, corriger les pannes de ces derniers et réaliser un diagnostic global constituerait un complément important pour cette étude. Une future étude dans ce sens aurait un impact plus significatif sur toute la chaîne de production jusqu'aux points de distribution. Par ailleurs, la prise en compte des recommandations suivantes serait bénéfique non seulement pour les études futures, mais aussi pour les agents d'exploitation de l'ONEA dans l'exécution de leurs travaux.

## **X. RECOMMANDATIONS**

Les recommandations suivantes s'adressent au département Maintenance de la Direction d'Exploitation Eau Potable (DEX) de l'ONEA. Elles sont le résultat de nos observations et remarques durant notre stage. En nous basant sur l'étude menée et les résultats obtenus, nous constatons que les diagnostics réalisés sont insuffisants pour en tirer des conclusions fiables, en raison du manque de moyens matériels, des difficultés d'accès aux sites et du manque d'assistance par des experts spécialisés. Nous recommandons que le service de réduction des pertes d'eau, responsable de ce type d'étude, s'équipe de kits de diagnostic sur site comprenant des mégohmmètres, des débitmètres portatifs Seflow 400, des multimètres multifonctions JUPITER, des calibrateurs de boucle de courant de précision Fluke 709/709H avec communication HART, des simulateurs de débits certifiés (Simulateur de débit calibré GS8 B de Krohne, Field Check d'Endress+Hauser et accessoires), ainsi que des vérificateurs de débitmètres (Proline Prosonic Flow 93T, MAGCHECK et OPTICHECK), et les mette à disposition des stagiaires pour leurs travaux de recherche et d'ingénierie. Il est également crucial d'accorder une attention particulière aux études ayant un impact significatif sur la production d'eau, notamment l'étude et le diagnostic des pannes des débitmètres, dont les conséquences affectent la consommation des réactifs, la qualité de l'eau traitée et les pertes éventuelles le long de la chaîne de distribution. Nous suggérons également de faire preuve de rigueur technique lors des missions de contrôle et de réception des chantiers d'installation des débitmètres pour s'assurer du respect des normes, des instructions du fabricant et de la conformité des tests de mise en service, afin de garantir le bon fonctionnement des appareils sur le long terme. Notre étude s'est focalisée sur les débitmètres électromagnétiques, bien que les débitmètres ultrasoniques soient majoritaires sur les sites de pompage et nombreux à être défectueux. Nos inspections sur site nous amènent à proposer le remplacement des débitmètres ultrasoniques Proline Prosonic Flow 93C hors service par leurs versions successeurs Proline Prosonic Flow W 400 Clamp-On ou par un Promag W 300/400/500, comme conseillé par M. Robin Kroesing (Technico-Commercial E+H France), étant donné qu'ils ne sont plus disponibles sur le marché. Nous recommandons également un diagnostic approfondi des débitmètres Prosonic Flow 93C présentant des erreurs de fonctionnement (comme l'erreur d'accès à la mémoire EEPROM et l'erreur sur le totalisateur #101) et des mesures de débit incorrectes. Cela pourrait constituer un sujet de mémoire d'ingénierie pour l'ONEA.

## BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages et articles

- [1]. **Endress+Hauser**, Operating Instructions – Proline Promag 50 HART electromagnetic flowmeter, n°26BAD00046D (2013), page 86 – 110.
- [2]. **Endress+Hauser**, Information technique – Proline Promag 50L débitmètre électromagnétique, n°TI00097D (2005), page 1 – 44.
- [3]. **Endress+Hauser**, Manuel de mise en service – Proline Promag W 400 HART débitmètre électromagnétique, n°BA01063D (2021), page 41 – 193.
- [4]. **Endress+Hauser**, Information technique – Proline Promag W 400 débitmètre électromagnétique, n°TI01046D (2020), page 5 – 98.
- [5]. **Endress+Hauser**, Technical Information – Proline Prosonic Flow 93C Ultrasonic flow measuring system « volume flow measurement for standard applications with drinking water, wastewater and process water », n°TI108DEN (2011), page 3 – 24.
- [6]. **Endress+Hauser**, Operating Instructions – Proline Prosonic Flow 93C Ultrasonic Flow Measuring System, n°BAD087D (2005), page 9 – 98.
- [7]. **Krohne**, Manuel de référence – IFC100 Convertisseur de mesure pour débitmètres électromagnétiques, n°MA IFC100 R03 (2009), page 13 – 84.
- [8]. **Krohne**, Débitmètre électromagnétique – Catalogue de produit (2022)
- [9]. **Siemens**, Instruction de service – Débitmètre électromagnétique SITRANS FM MAG 5000/6000, n°A5E02944990-AD (2019), page 15 – 78.
- [10]. **Emerson**, Manuel de référence – Débitmètre électromagnétique Rosemount 8732EM avec système électronique Révision 4 (2014), page 161 – 189.
- [11]. **Yuichi Kaneko, Masakazu Saitou, Gouki Nakayama, Norio Yasuda, Daisuke Harigane and Tooru Shimura**, The ADMAG TI Series Magnetic Flowmeter – Yokogawa Technical Report English Edition Vol. 60 No. 2 (2017), page 111 – 117.
- [12]. **Euromag International**, Débitmètre électromagnétique – Mode d'emploi du capteur, n°TD-217-1-FRA (2019), page 28 – 50.
- [13]. **Total Energies**, Maintenance Instrumentation : « Principales Pannes en Instrumentation » – Manuel de Formation : Cours EXP-MN-SI170 (2008), page 6 – 10.
- [14]. **Friedrich Holfmann**, KROHNE Messtechnik, Diagnostics in the OPTIFLUX 300 Electromagnetic Flowmeter | Diagnosis OPTIFLUX 040312 MJones FH.doc, Erstelldatum (2004), page 1 – 5.
- [15]. **Endress+Hauser**, Guide de la Maintenance Endress+Hauser : Conseils et astuces pour garder votre base installée opérationnelle, (2008) page 7 – 41.
- [16]. **Franck Ardin Kamga Tuegno**. (2012). Master's minor dissertation : « Electromagnetic Flow Meter Maintenance Practices ». Johannesburg : University of Johannesburg. Available from : <http://hdl.handle.net/102000/0002> (2023), page 10 – 22.

- [17]. **Yokogawa**, User's Manual : Magneric Flowmeter CA Series | Maintenance Manual, n°IM01E40A01-02EN 1st Edition 2022, page 2 – 21.
- [18]. **ABB**, Technical Information : Magmeter Basics | A Technical Reference Guide, No TI-F-MagmeterBasics\_3 (2009) page 3 – 31.
- [19]. **Agence de l'eau Rhin Meuse**, Diagnostic des systèmes d'alimentation en eau potable – Guide rédactionnel, Ministère de l'Ecologie et du développement durable (2004), page 14 – 77.
- [20]. **MONTEL Jean-Michel**, Débitmètres électromagnétiques (DEM). *Techniques de l'ingénieur Mesures physiques* base documentaire : TIP672WEB (2011).
- [21]. **S. Dash, V. Venkatasubramanian**, Challenges in the industrial applications of fault diagnostic systems. *Computers & Chemical Engineering* **24**, 785–791 (2000).
- [22]. **V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, K. Yin, S. N. Kavuri**, A review of process fault detection and diagnosis : Part I : Quantitative model-based methods. *Computers & chemical engineering* **27**, 293–311 (2003).
- [23]. **V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, S. N. Kavuri**, A review of process fault detection and diagnosis : Part II : Qualitative models and search strategies. *Computers & chemical engineering* **27**, 313–326 (2003).
- [24]. **R. Isermann**, *Fault-Diagnosis Systems : An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance* (Springer Science & Business Media, 2006).
- [25]. **S. Methnani**, “Diagnostic, reconstruction et identification des défauts capteurs et actionneurs : application aux stations d'épurations des eaux usées,” thesis, Université de Toulon ; École nationale d'ingénieurs de Sfax (Tunisie) (2012).
- [26]. **C. Simon, P. Weber, B. Iung, F. Peysson**, “Isolation de défaillances par réseaux bayésiens augmentés de REX” in *21e Congrès de Maîtrise Des Risques et de Sûreté de Fonctionnement*, \backslashlambda\backslashmu21 (2018 ; <https://hal.science/hal-02073981/>).
- [27]. **C. Svärd**, Residual Generation Methods for Fault Diagnosis with Automotive Applications. (2009).
- [28]. **E. Frisk**, RESIDUAL GENERATION FOR FAULT DIAGNOSIS. *Linköping studies in science and technology. Dissertations* (2001).
- [29]. **R. J. Patton, J. Chen**, Observer-based fault detection and isolation : Robustness and applications. *Control Engineering Practice* **5**, 671–682 (1997).
- [30]. **S. Courtine**, “Détection et localisation de défauts dans les entraînements électriques,” thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG (1997).
- [31]. **P. M. Frank**, Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy : A survey and some new results. *Automatica* **26**, 459–474 (1990).
- [32]. **R. J. Patton, J. Chen**, A Review of Parity Space Approaches to Fault Diagnosis. *IFAC Proceedings Volumes* **24**, 65–81 (1991).
- [33]. **M. R. Maurya, R. Rengaswamy, V. Venkatasubramanian**, A Signed Directed Graph and Qualitative Trend Analysis-Based Framework for Incipient Fault Diagnosis. *Chemical Engineering Research and Design* **85**, 1407–1422 (2007).

- [34]. **M. R. Maurya, P. K. Paritosh, R. Rengaswamy, V. Venkatasubramanian**, A framework for on-line trend extraction and fault diagnosis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **23**, 950–960 (2010).
- [35]. **M. E. Janusz, V. Venkatasubramanian**, Automatic generation of qualitative descriptions of process trends for fault detection and diagnosis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **4**, 329–339 (1991).
- [36]. **S. Dash, R. Rengaswamy, V. Venkatasubramanian**, Fuzzy-logic based trend classification for fault diagnosis of chemical processes. *Computers & Chemical Engineering* **27**, 347–362 (2003).
- [37]. **D. Li, Y. Wang, J. Wang, C. Wang, Y. Duan**, Recent advances in sensor fault diagnosis: A review. *Sensors and Actuators A : Physical* **309**, 111990 (2020).
- [38]. **H. Liao, W. Cai, F. Cheng, S. Dubey, P. B. Rajesh**, An Online Data-Driven Fault Diagnosis Method for Air Handling Units by Rule and Convolutional Neural Networks. *Sensors* **21**, 4358 (2021).
- [39]. **J. Cao, M. U. B. Niazi, M. Barreau, K. H. Johansson**, Sensor Fault Detection and Isolation in Autonomous Nonlinear Systems Using Neural Network-Based Observers, *arXiv.org* (2023). <https://arxiv.org/abs/2304.08837v2>.
- [40]. **T. Villegas, M. J. Fuente, M. Rodríguez**, Principal component analysis for fault detection and diagnosis. experience with a pilot plant. *Advances in Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics*, 147–152 (2010).
- [41]. **B. Mnassri, E. M. E. Adel, B. Ananou, M. Ouladsine**, Fault Detection and Diagnosis Based on PCA and a New Contribution Plot. *IFAC Proceedings Volumes* **42**, 834–839 (2009).
- [42]. **S. M. Shaikh, I. A. Halepoto, N. H. Phulpoto, M. S. Memon, A. Hussain, A. A. Laghari**, Data-driven based fault diagnosis using principal component analysis. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* **9** (2018).
- [43]. **S. CHEBIRA**, “Diagnostic et évaluation du risque incendie par la démarche RNA-Analyse statistique : cas de l’industrie Algérienne,” thesis, Université de Batna 2 (2021).
- [44]. **C. Slattery, K. Li**, Electromagnetic flow meters : Design considerations and solutions. *Analog Dialogue* **50**, 1–5 (2016).
- [45]. **DINEPA, OIEau**, Référentiel technique national EPA, République d’Haïti : directives techniques 1.2.2 DIT2 « Réactifs utilisés dans le traitement de l’eau de boisson » (projet DINEPA-OIEau-UNICEF 2012/2013)
- [46]. **Aida Ineris**, République Française – Note technique du 23/08/16 relative aux modalités d’habilitation des organismes pour la réalisation de diagnostics sur site de dispositifs métrologiques utilisés pour le calcul des redevances pour prélèvement sur la ressource en eau et pour pollution non domestique de l’eau perçues par les agences de l’eau. Chapitre III : Méthodes à appliquer pour la réalisation des diagnostics sur site (BO du MEEM n° 2016/17 du 25 septembre 2016).

## Sites internet

- [I]. Method of operating an electromagnetic flowmeter - Endress &plus ; Hauser Flowtec AG. [https://www.freepatentsonline.com/6634238.html#google\\_vignette](https://www.freepatentsonline.com/6634238.html#google_vignette). Consulté le 17/02/2024
- [II]. Principe des débitmètres électromagnétiques | Emerson FR. <https://www.emerson.com/fr-fr/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/about-magnetic>. Consulté le 19/02/2024.
- [III]. Débitmètres électromagnétiques (DEM): Généralités | Techniques de l'Ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/metrologie-relative-aux-fluides-vitesses-et-debits-42402210/debitmetres-electromagnetiques-dem-r2275/generalites-r2275v2niv10001.html>. Consulté le 23/02/2024.
- [IV]. Le principe, les avantages et les inconvénients du débitmètre à ultrasons - Connaissances - Henan Junyuan Automation Equipment Co., Ltd. <https://fr.jyflowmeter.com/info/the-principle-and-advantages-and-disadvantages-64601883.html>. Consulté le 05/03/2024.
- [V]. Stephane.montbrizon@fujielectric.fr, Ultrasonic flow meter advantages and disadvantages vs magmeter, *Fuji Electric* (2023). <https://www.fujielectric.fr/en/blog/ultrasonic-flow-meter-advantages-and-disadvantages-vs-magmeter/>. Consulté le 15/03/2024.
- [VI]. Comment diagnostiquer les défauts et les cas de débitmètre électromagnétique - Actualités - Henan Junyuan Automation Equipment Co., Ltd. <https://fr.jyflowmeter.com/news/how-to-diagnose-electromagnetic-flowmeter-fault-57628411.html>. Consulté le 19/03/2024.
- [VII]. Analyse des défauts du débitmètre électromagnétique E + H. <https://fr.fmuser.org/news/Electron/Fault-Analysis-of-E--H-Electromagnetic-Flow-Meter.html>. Consulté le 19/03/2024.
- [VIII]. Analyse des défauts courants du débitmètre électromagnétique - Connaissances - Henan Junyuan Automation Equipment Co., Ltd. <https://fr.jyflowmeter.com/info/common-fault-analysis-of-electromagnetic-flowm-67959345.html>. Consulté le 19/03/2024.
- [IX]. Principal component analysis for fault detection and diagnosis. Experience with a pilot plant. [https://www.researchgate.net/publication/229022215\\_Principal\\_component\\_analysis\\_for\\_fault\\_detection\\_and\\_diagnosis\\_Experience\\_with\\_a\\_pilot\\_plant](https://www.researchgate.net/publication/229022215_Principal_component_analysis_for_fault_detection_and_diagnosis_Experience_with_a_pilot_plant). Consulté le 02/04/2024
- [X]. How To Judge The Quality Of Electromagnetic Flowmeter | Sure. <https://www.suremeter.com/how-to-judge-the-quality-of-electromagnetic-flowmeter>. Consulté le 08/04/2024.
- [XI]. Electromagnetic flowmeter common faults and solutions. <https://www.hawsd.com/news/industry-news/electromagnetic-flowmeter-common-faults-and-solutions.html>. Consulté le 08/04/2024.
- [XII]. Electromagnetic Flowmeter Installation And Maintenance | Sure. <https://www.suremeter.com/electromagnetic-flowmeter-installation-and-maintenance>. Consulté le 08/04/2024.
- [XIII]. How To Diagnose Electromagnetic Flowmeter Faults And Cases - News - Henan Junyuan Automation Equipment Co., Ltd. <https://www.jyflowmeter.com/news/how-to-diagnose-electromagnetic-flowmeter-fault-57363315.html>. Consulté le 09/04/2024.
- [XIV]. admin\_zero, Magnetic meter Preparation and debugging before operation, *Just Measure it* (2021). <https://zeroinstrument.com/magnetic-meter-preparation-and-debugging-before-operation/>. Consulté le 10/05/2024.
- [XV]. Fault detection method of electromagnetic flowmeter-News-20224191339473.png. <https://www.shybdzh.cn/en/news-1.html>.

## ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

- [XVI]. Electromagnetic flowmeter parameters and adjustment methods-Vacorda Level Gauge,Flowmeter,Level Meter,Flow Meter,Level Switch,Level Sensor,Temperature Transmitter,Pressure Transmitter Manufacturer. <https://www.vacorda.com/news-detail/17.html>.
- [XVII]. What is the magnetic flow meter electrodes resistance range, specially for 2 inch size | Automation & Control Engineering Forum. <https://control.com/forums/threads/what-is-the-magnetic-flow-meter-electrodes-resistance-range-specially-for-2-inch-size.49890/>.
- [XVIII]. Ultrasonic Flow Meters: An Introduction To Principles And Applications - SmartMeasurement (2023). <https://smartmeasurement.com/blog/ultrasonic-flow-meters-an-introduction-to-principles-and-applications/>.

## ANNEXES

### *Sommaire des annexes*

<b>Annexe 1: Plaques signalétiques du débitmètre ultrasonique.....</b>	<b>VII</b>
<b>Annexe 2: Plaques signalétiques du transducteur ultrasonique .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Annexe 3: Récapitulatif des pannes de signal de mesure et de communication HART (Rosemount).....</b>	<b>IX</b>
<b>Annexe 4: Récapitulatif des erreurs de dispositifs de mesure.....</b>	<b>XIV</b>
<b>dAnnexe 5: Défauts de fonctionnement de l'appareil (Optiflux 2000 :IFC100).....</b>	<b>XVIII</b>
<b>Annexe 6: Erreur d'application (Optiflux 2000 :IFC100).....</b>	<b>XIX</b>
<b>Annexe 7: Erreur de mesure hors spécifications et de Simulation des valeurs mesurées (Optiflux 2000 :IFC100).....</b>	<b>XX</b>
<b>Annexe 8: Message d'information de fonctionnement lors de la mesure (Optiflux 2000 :IFC100) .....</b>	<b>XXI</b>
<b>Annexe 9: Organigramme de diagnostic du débitmètre pour motif de désaccord entre la valeur mesurée et la valeur réelle du débit .....</b>	<b>XXII</b>
<b>Annexe 10: Signaux d'état de fonctionnement et Information de diagnostic du Capteur (Promag W/L 400).....</b>	<b>XXIV</b>
<b>Annexe 11: Information de diagnostic de l'électronique et de la configuration (Promag W/L 400).....</b>	<b>XXV</b>
<b>Annexe 12: Information de diagnostic du process (Promag W/L 400) .....</b>	<b>XXVI</b>
<b>Annexe 13: Tableau récapitulatif de l'inspection et du diagnostic sur site.....</b>	<b>XXVII</b>
<b>Annexe 14: Vérification du transmetteur de mesure (Sitrans FM MAG 5000-Siemens) .....</b>	<b>XXVIII</b>
<b>Annexe 15: Vérification du Capteur (Sitrans FM MAG 5000-Siemens) .....</b>	<b>XXIX</b>
<b>Annexe 16: Tableau de Résistance de la bobine du Tube de mesure (Sitrans FM MAG 5100-Siemens) .....</b>	<b>XXX</b>
<b>Annexe 17: Contrôle de la résistance des électrodes et Fluctuations du débit mesuré (Sitrans FM MAG 5100-Siemens).....</b>	<b>XXXI</b>
<b>Annexe 18: Identification des messages d'erreur pour diagnostic et dépannage (Sitrans FM MAG 5000-Siemens) .....</b>	<b>XXXII</b>
<b>Annexe 19: Liste des numéros d'erreur (Sitrans FM MAG 5000-Siemens).....</b>	<b>XXXIII</b>
<b>Annexe 20: Organigramme de l'ONEA (réalisé à partir de la version original) .....</b>	<b>XXXVII</b>
<b>Annexe 21: Défauts sans affichage de message d'erreur (manuel d'opération Promag 50) [1] .....</b>	<b>XXXVIII</b>

*Annexe 1: Plaques signalétiques du débitmètre ultrasonique*

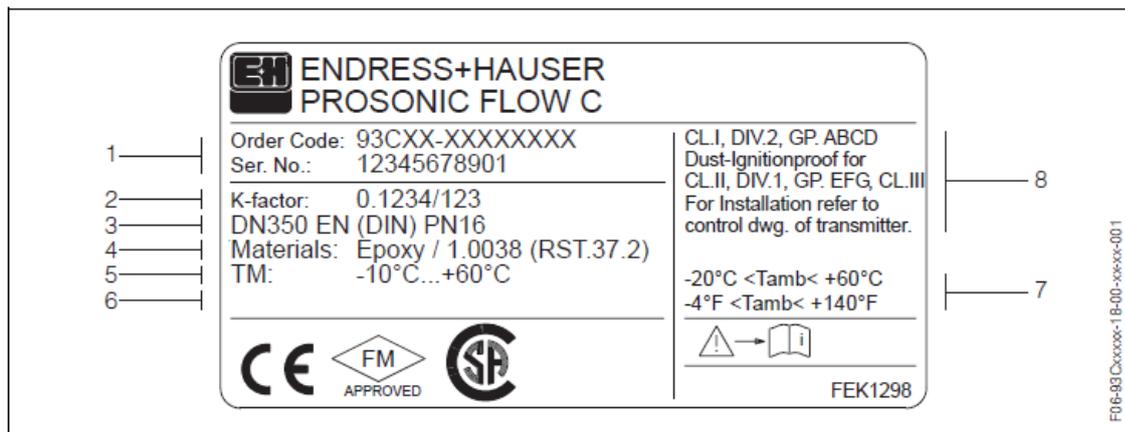


Fig. 2: Nameplate specifications for measuring tube "Prosonic Flow C Inline" (example)

- 1 Order code/serial number: see the specifications on the order confirmation for the meanings of the individual letters and digits.
  - 2 K-factor of measuring tube
  - 3 Range of nominal diameter: DN 300...2000; range of nominal pressure: EN (DIN) PN 6... 16
  - 4 Measuring tube lining material
  - 5 Max. fluid temperature range: -10 °C... +60 °C
  - 6 Reserved for information on special products
  - 7 Ambient temperature range
  - 8 Data on explosion protection
- Refer to the Ex-specific Control Drawing. Please do not hesitate to contact your E+H sales office if you have any questions.

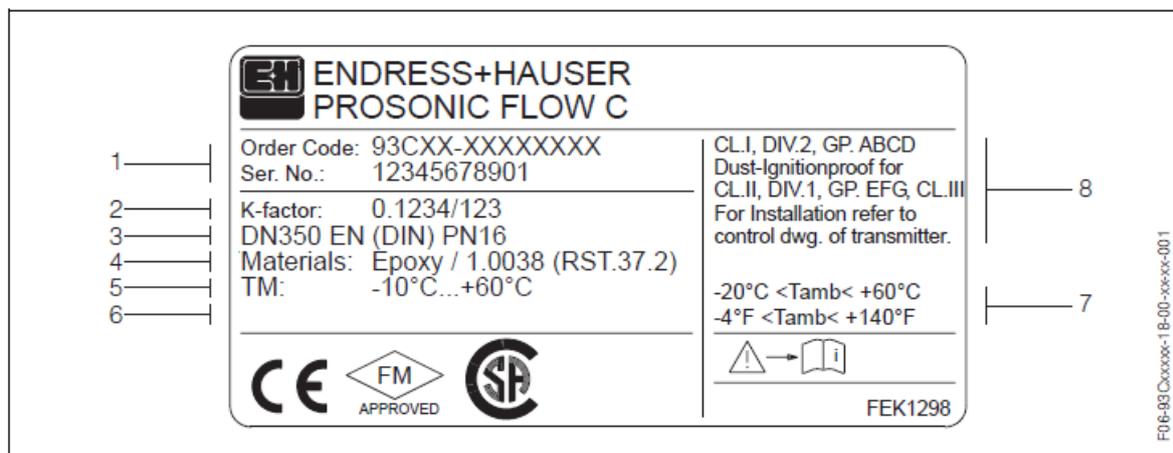


Fig. 2: Nameplate specifications for measuring tube "Prosonic Flow C Inline" (example)

- 1 Order code/serial number: see the specifications on the order confirmation for the meanings of the individual letters and digits.
  - 2 K-factor of measuring tube
  - 3 Range of nominal diameter: DN 300...2000; range of nominal pressure: EN (DIN) PN 6... 16
  - 4 Measuring tube lining material
  - 5 Max. fluid temperature range: -10 °C... +60 °C
  - 6 Reserved for information on special products
  - 7 Ambient temperature range
  - 8 Data on explosion protection
- Refer to the Ex-specific Control Drawing. Please do not hesitate to contact your E+H sales office if you have any questions.

**Annexe 2: Plaques signalétiques du transducteur ultrasonique**

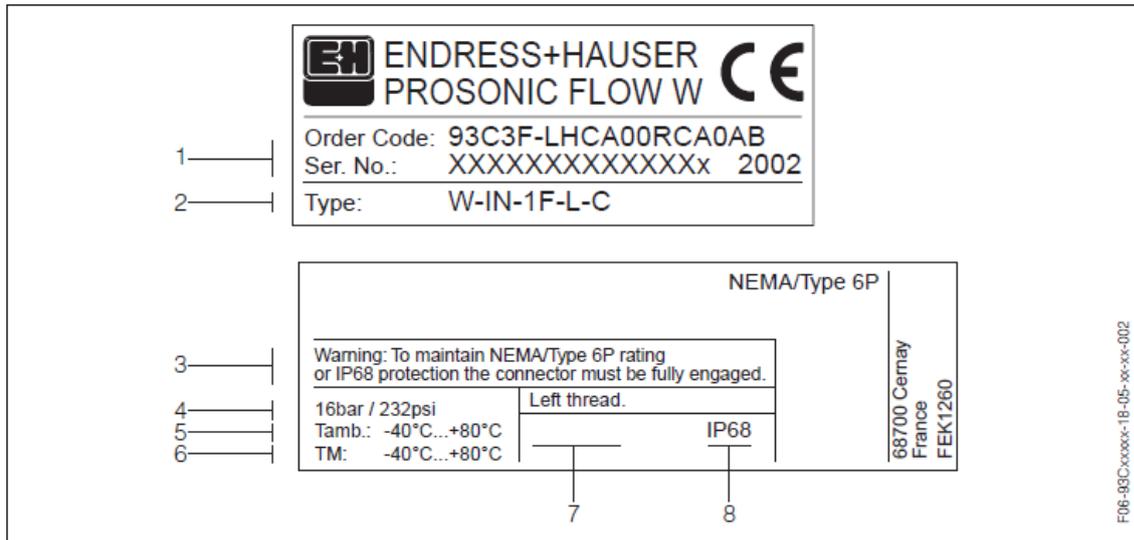


Fig. 3: Nameplate specifications for the "Prosonic Flow W" sensors (example)

- 1 Order code/serial number: see the specifications on the order confirmation for the meanings of the individual letters and digits.
- 2 Sensor type
- 3 Warning notice
- 4 Maximum nominal pressure: 16 bar (232 psi)
- 5 Ambient temperature range: -40 °C...+80 °C
- 6 Medium temperature range: -40 °C...+80 °C
- 7 Note that the sensor holder and sensor nozzle are screwed together with a left thread.
- 8 Degree of protection: IP 68 (NEMA 6P)

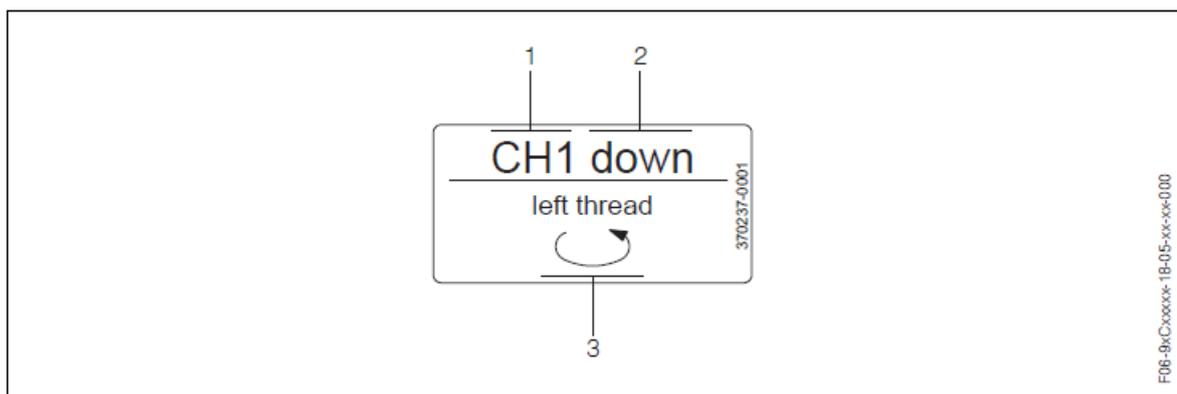


Fig. 4: Stick-on label for sensor channel designation, measuring tube (example)

- 1 Channel designation CH 1...CH 4
- 2 Information on flow direction; upstream, downstream
- 3 Note that the internal thread of the sensor nozzle is a left thread for safety reasons

*Annexe 3: Récapitulatif des pannes de signal de mesure et de communication HART (Rosemount)*

SYMPTÔME	CAUSE PROBABLE	ACTION CORRECTIVE
Sortie à 0 mA	Transmetteur hors tension	Vérifier la source d'alimentation et son raccordement au transmetteur
	Mauvaise configuration de la sortie analogique	Vérifier la position du sélecteur d'alimentation de la sortie analogique
	Panne électronique	Remplacer les cartes électroniques
Sortie à 4 mA	Le transmetteur est en mode multipoint.	Assigner l'adresse multipoint 0 au transmetteur pour le sortir du mode multipoint
	Le seuil de coupure bas débit est trop élevé	Régler le seuil de coupure bas débit à une valeur plus basse ou augmenter le débit pour qu'il soit supérieur à la valeur de seuil
	Débit en sens inverse	Activer la fonction Débit Inverse
	Bobine en court-circuit	Vérifier l'intégrité des bobines
	Tube vide	Remplir le tube
	Panne électronique	Remplacer les cartes électroniques

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

SYMPTÔME	CAUSE PROBABLE	ACTION CORRECTIVE
Sortie à 21,6 mA	L'échelle du transmetteur n'est pas correcte	Modifier les valeurs d'échelle du transmetteur Vérifier que le diamètre du tube mis en mémoire dans le transmetteur correspond à la taille réelle du tube de mesure
Sorties à leur valeur de défaut	Panne électronique	Couper l'alimentation du transmetteur pendant quelques instants. Si le problème persiste, remplacer les cartes électroniques
Sortie impulsions reste à 0 quelque soit le débit	Le transmetteur est hors tension	Vérifier la source d'alimentation et son raccordement au transmetteur
	Câblage incorrect	Vérifier le câblage de la sortie fréquence
	Débit inverse	Activer la fonction Débit Inverse
	Largeur d'impulsion incorrecte	Régler la largeur d'impulsion
	Panne électronique	Remplacer les cartes électroniques

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

SYMPTÔME	CAUSE PROBABLE	ACTION CORRECTIVE
Les mesures semblent ne pas correspondre aux limites d'incertitudes spécifiées	Mauvaise configuration du transmetteur, du système de contrôle ou de l'appareil récepteur	<p>Vérifier les variables de configuration du transmetteur, du tube de mesure, de l'interface de communication, et/ou du système de contrôle.</p> <p>Vérifier aussi la configuration des paramètres suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coefficient d'étalonnage du tube de mesure</li> <li>• Unité</li> <li>• Diamètre du tube</li> </ul> <p>Effectuer un test de boucle pour vérifier l'intégrité du circuit.</p>
	Encrassement des électrodes	<p>Sur le modèle 8705, remplacer les électrodes</p> <p>Diminuer la taille du tube de mesure afin d'augmenter le débit au-dessus de 1fms.</p> <p>Nettoyer régulièrement le tube de mesure</p>
	Présence d'air dans la ligne de mesurage	Placer le tube de mesure à un autre endroit dans la ligne du process de sorte qu'il soit constamment rempli du fluide
	Le débit est inférieur à 1 ft/s (problème de spécification).	Voir les spécifications en précision pour le transmetteur et le tube de mesure utilisés
	La procédure d'auto-zéro n'a pas été effectuée lorsque la fréquence d'excitation a été changée de 6 à 30 Hz	Effectuer un auto-réglage du zéro
	Panne du tube de mesure - électrode en court-circuit.	Effectuer des tests - Voir le manuel d'instructions
	Panne du tube de mesure – bobine coupée ou en court-circuit	Effectuer des tests - Voir le manuel d'instructions
	Panne du transmetteur	Remplacer les cartes électroniques

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

SYMPTÔME	CAUSE PROBABLE	ACTION CORRECTIVE
<b>Bruit du process</b>	Injection d'un additif chimique en amont du débitmètre	Suivre la procédure d'élimination du bruit. Placer le point d'injection en aval du débitmètre, ou modifier l'emplacement du débitmètre
	Liquides chargés–industrie minière/charbon/sable/boues (fluides avec particules solides).	Diminuer le débit en dessous de 3 m/s
	Particules non conductrices dans le process	Suivre la procédure d'élimination du bruit Contacter Fisher-Rosemount
	Ecrasement des électrodes	Sur le modèle 8705, remplacer les électrodes Diminuer la taille du tube de mesure afin d'augmenter le débit au-dessus de 1 m/s Nettoyer régulièrement le tube de mesure
	Présence d'air dans la ligne de mesurage	Placer le tube de mesure à un autre endroit dans la ligne du process de sorte qu'il soit constamment rempli du fluide
<b>Instabilité en sortie du débitmètre</b>	Electrodes non compatibles avec le process	Consulter le guide de sélection des matériaux des débitmètres électromagnétiques (00816-0100- 3033) et vérifier la compatibilité chimique du process avec le matériau des électrodes
	Mise à la terre défectueuse	Vérifier le câblage de mise à la terre
	Présence de champs magnétiques ou électriques importants à proximité du débitmètre.	Déplacer le débitmètre (une distance de 6 à 7 mètres est recommandée).
	La boucle de régulation n'est pas réglée correctement	Vérifier le réglage de la boucle
	Vanne de régulation grippée (défaut mis en évidence par une oscillation périodique en sortie).	Réparer ou changer la vanne

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

<b>Problèmes de communication avec l'interface HART</b>	Configuration de la sortie 4–20 mA	Vérifier la position du sélecteur d'alimentation de la sortie analogique (interne/externe). L'interface de communication HART doit être raccordée à la sortie analogique
	Mauvais raccordement de l'interface de communication	Résistance de charge inappropriée (250 $\Omega$ minimum). Consulter les schémas de câblage.
	Les piles de l'interface de communication sont déchargées	Remplacer les piles de l'interface de communication HART. Voir le manuel d'instructions de l'interface
	La version du logiciel de l'interface de communication n'est pas à jour.	Contactez Fisher-Rosemount pour obtenir une version plus récente du logiciel
<b>Message d'erreur sur la L.O.I. ou sur l'interface de communication HART</b>	La cause dépend du message	Voir le tableau des messages d'erreur de la L.O.I. ou celui des messages de diagnostic de l'interface HART

SYMPTÔME	CAUSE PROBABLE	ACTION CORRECTIVE
	Panne du tube de mesure	Effectuer des tests - Voir le manuel d'instructions
	Défaut sur la boucle de la sortie analogique	Vérifier que la mesure sur la boucle 4–20 mA correspond à celle de la sortie numérique. Effectuer un test de la sortie analogique

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES  
DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

**Annexe 4: Récapitulatif des erreurs de dispositifs de mesure**

No.	Message d'erreur / type	Cause(s)	Remédiation
<p><b>S</b> = Erreur du système  <b>⚡</b> = Message d'erreur (avec effet sur les sorties)  <b>!</b> = Message d'avertissement (sans effet sur les sorties)</p>			
<b>No. 0xx→Erreur matérielle</b>			
001	S : DÉFAILLANCE CRITIQUE \$ : # 001	Erreur grave de l'appareil	Remplacer la carte de l'amplificateur.
011	S : AMP HW EEPROM \$ : # 011	Amplificateur : EEPROM défectueuse	Remplacer la carte de l'amplificateur.
012	S : AMP SW EEPROM \$ : # 012	Amplificateur : Erreur d'accès aux données EEPROM	<p>Les blocs de données EEPROM dans lesquels une erreur s'est produite sont affichés dans la fonction DÉPANNAGE.</p> <p>Appuyer sur Enter pour acquitter les erreurs en question ; les valeurs par défaut sont automatiquement insérées à la place des valeurs erronées.</p> <p>Les valeurs par défaut sont automatiquement insérées à la place des valeurs des paramètres erronés.</p> <p>! Remarque : L'appareil de mesure doit être redémarré si une erreur s'est produite dans un bloc totalisateur (voir erreur n° 111 / CHECKSUM TOTAL).</p>
031	S: SENSOR HW DAT \$ : # 031	<p>1. Le S-DAT n'est pas branché correctement sur la carte de l'amplificateur (ou est manquant).</p> <p>2. Le S-DAT est défectueux.</p>	<p>1. Vérifier si le S-DAT est correctement branché sur la carte de l'amplificateur.</p> <p>2. Remplacez le S-DAT s'il est défectueux.</p> <p>Vérifier que le nouveau DAT de remplacement est compatible avec l'électronique de mesure.</p> <p>Vérifier le :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le numéro du jeu de pièces de rechange</li> <li>- Code de révision du matériel</li> </ul> <p>3. Remplacer les cartes de l'électronique de mesure si nécessaire.</p> <p>4. Brancher le S-DAT sur la carte de l'amplificateur.</p>
032	S: SENSOR SW DAT \$ : # 032		
<b>No. 1xx→Erreur logicielle</b>			
101	S: GAIN ERROR AMP \$ : # 101	Écart de gain par rapport au gain de référence > 25 %.	Remplacer la carte de l'amplificateur.
111	S: CHECKSUM TOTAL \$ : # 111	Erreur de somme de contrôle du	1. Redémarrer l'appareil de mesure.

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES  
DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

		totalisateur.	2. Remplacer la carte d'amplificateur si nécessaire.
121	S: A / C COMPATIB. !: # 121	En raison de versions logicielles différentes, la carte d'E/S et la carte d'amplificateur ne sont que partiellement compatibles (fonctionnalité éventuellement restreinte). (Possibilité d'une fonctionnalité restreinte). ! Remarque ! - Ce message est uniquement répertorié dans l'historique des erreurs. - Rien n'est affiché à l'écran.	Le module dont la version logicielle est inférieure doit être mis à jour par FieldCare avec la version logicielle requise ou le module doit être remplacé.
<b>No. # 2xx → Erreur dans le DAT / pas de communication</b>			
251	S: COMMUNICATION I/O \$: # 251	Défaut de communication interne sur la carte de l'amplificateur.	Remplacer la carte de l'amplificateur.
261	S: COMMUNICATION I/O \$: # 261	Pas de réception de données entre l'amplificateur et la carte E/S ou transfert de données interne défectueux.	Vérifier les contacts du BUS.
<b>No. # 3xx → Limites du système dépassées</b>			
321	S: TOL. COIL CURR. \$: # 321	Captur : Le courant de la bobine est hors tolérance.	▲ Avertissement ! Couper l'alimentation électrique avant de manipuler le câble de courant de la bobine, le connecteur du câble de courant de la bobine ou les cartes électroniques de mesure ! Version à distance : 1. Vérifier le câblage des bornes 41/42 → à 44 2. Vérifier le connecteur du câble de courant de la bobine. Version compacte et à distance : Remplacer les cartes électroniques de mesure si nécessaire
339 à 342	S: STACK CUR OUT n !: # 339 to 342	Les portions de débit temporairement mises en mémoire tampon (mode de mesure du débit pulsé) n'ont pas pu être effacées ou sorties dans les 60	1. Modifier le réglage de la limite supérieure ou inférieure, selon le cas. 2. Augmenter ou réduire le débit, selon le cas. Recommandations en cas de catégorie de défaut =
343 à	S: STACK FREQ. OUT n		

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES  
DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

346	!: # 343 to 346	secondes.	MESSAGE DE DEFAUT (\$) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Configurer la réponse de défaut de la sortie sur "VALEUR ACTUELLE" de manière à ce que la mémoire tampon temporaire puisse être effacée.</li> <li>- Effacer la mémoire tampon temporaire en appliquant les mesures décrites au point 1.</li> </ul>
347 à 350	S: STACK PULSE OUT n !: # 347 to 350	Les portions de débit temporairement mises en mémoire tampon (mode de mesure du débit pulsé) n'ont pas pu être effacées ou sorties dans les 60 secondes.	1. Augmenter le réglage de la pondération des impulsions 2. Augmenter la fréquence maximale des impulsions si le totalisateur peut traiter un plus grand nombre d'impulsions. 3. Augmenter ou réduire le débit, selon le cas. Recommandations en cas de catégorie de défaut = MESSAGE DE DEFAUT (\$) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Configurer la réponse de défaut de la sortie sur "VALEUR RÉELLE" de façon à ce que la mémoire tampon temporaire puisse être effacée.</li> <li>- Effacer la mémoire tampon temporaire en appliquant les mesures décrites au point 1.</li> </ul>
351 à 354	S: CURRENT RANGE n !: # 351 to 354	Sortie de courant : Le débit est en dehors de la plage.	1. Modifier le réglage de la limite supérieure ou inférieure, selon le cas. 2. Augmenter ou réduire le débit, selon le cas.
355 à 358	S: FREQ. RANGE n !: # 355 to 358	Sortie de fréquence : Le débit est hors plage.	1. Modifier le réglage de la limite supérieure ou inférieure, selon le cas. 2. Augmenter ou réduire le débit, selon le cas.
359 à 362	S: PULSE RANGE !: # 359 to 362	Sortie d'impulsions : la fréquence de sortie des impulsions est en dehors de la plage.	1. Augmenter le réglage de la pondération des impulsions 2. Lors de la sélection de la largeur d'impulsion, choisir une valeur qui peut encore être traitée par un compteur connecté (par exemple, compteur mécanique, PLC, etc.). Déterminer la largeur d'impulsion : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Variante 1 : Indiquez la durée minimale pendant laquelle une impulsion doit être présente au niveau du compteur connecté pour être enregistrée.</li> <li>- Variante 2 : Saisir la fréquence (d'impulsion) maximale en tant que demi-« valeur réciproque » qu'une impulsion doit être présente au niveau du</li> </ul>

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES  
DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

			<p>compteur connecté pour assurer son enregistrement.</p> <p>Exemple :</p> <p>La fréquence d'entrée maximale du compteur connecté est de 10 Hz. La largeur d'impulsion à saisir est :</p> $\frac{1}{2 \times 10Hz} = 50ms$ <p>3. Réduire le débit</p>
<b>Non. # 5xx → Erreur d'application</b>			
501	S: SW.-UPDATE ACT. !: # 501	Une nouvelle version du logiciel de l'amplificateur ou de communication (module E/S) est chargée. Aucune autre fonction n'est actuellement possible.	Attendez la fin de la procédure. L'appareil redémarrera automatiquement.
502	S: UP-/DOWNLOAD ACT !: # 502	Chargement ou téléchargement des données de l'appareil via le programme d'exploitation. Aucune autre fonction n'est actuellement possible.	
<b>Non. # 6xx → Mode de simulation actif</b>			
601	S: POS. ZERO-RETURN !: # 601	Retour du zéro positif actif Attention ! Ce message a la priorité d'affichage la plus élevée !	Arrêt de la simulation
611 à 614	S: SIM. CURR. OUT. n !: # 611 to 614	Sortie de courant de simulation active	Arrêt de la simulation
621 à 624	S: SIM. FREQ. OUT. n !: # 621 to 624	Sortie de fréquence de simulation active	Arrêt de la simulation
631 à 634	S: SIM. PULSE n !: # 631 to 634	Sortie d'impulsions de simulation active	Arrêt de la simulation
641 à 644	S: SIM. STAT. OUT n !: # 641 to 644	Sortie d'état de simulation active	Arrêt de la simulation
671 à 674	S: SIM. STATUS IN n !: # 671 to 674	Sortie d'état de simulation active	Arrêt de la simulation
691	S: SIM. FAILSAFE !: # 691	Simulation de la réponse à l'erreur (sorties) active	Arrêt de la simulation
692	S: SIM. MEASURAND !: # 692	Simulation d'une variable mesurée active (par exemple, débit massique).	Arrêt de la simulation
698	S: DEV. TEST ACT. !: # 698	Le dispositif de mesure est contrôlé sur place par l'intermédiaire de l'appareil de test et de simulation.	

### Annexe 5: Défautes de fonctionnement de l'appareil (Optiflux 2000 :IFC100)

Messages affichés	Description	Actions
État : F _ _ _ _ _	Défaut de fonctionnement de l'appareil, sortie courant $\leq 3,6$ mA ou courant de défaut programmé (selon gravité de l'erreur), sortie d'état ouverte, sortie impulsions / de fréquence : pas d'impulsions	Réparation nécessaire.
F Erreur d'appareil	Erreur ou défaillance de l'appareil. Défaut de paramètre ou de matériel. Pas de mesure possible.	Message collectif pour les erreurs suivantes ou d'autres erreurs graves.
F ES 1	Erreur, défaut de fonctionnement de l'ES 1. Défaut de paramètre ou de matériel. Pas de mesure possible.	Charger les programmations (C4.6.3) (Backup 1, Backup 2 ou Paramétrage usine). Si le message d'état ne disparaît pas, remplacer le module électronique.
F Paramètres	Erreur, défaut de fonctionnement gestion de données, unité électronique, défaut de paramètre ou de matériel. Les paramètres ne sont plus utilisables.	
F Configuration	Configuration non valide : le logiciel d'affichage, les paramètres bus ou le logiciel principal ne conviennent pas à la configuration existante.	Si la configuration de l'appareil est inchangée : défaut, remplacer l'unité électronique.
F Affichage	Erreur, défaut de fonctionnement de l'affichage. Défaut de paramètre ou de matériel. Pas de mesure possible.	Défectueux, remplacer l'unité électronique
F Electronique du capteur	Erreur, défaut de fonctionnement de l'électronique du capteur de mesure. Défaut de paramètre ou de matériel. Pas de mesure possible.	Défectueux, remplacer l'unité électronique
F Capteur global	Erreur dans les données globales de l'électronique du capteur de mesure.	Charger les programmations (C5.6.3) (Backup 1, Backup 2 ou Paramétrage usine). Si le message d'état ne disparaît pas, remplacer le module électronique.
F Capteur local	Erreur dans les données locales de l'électronique du capteur de mesure.	Défectueux, remplacer l'unité électronique
F Courant de champ local	Erreur dans les données locales de l'alimentation en courant de champ.	Défectueux, remplacer l'unité électronique
F Sortie courant A	Erreur, défaut de fonctionnement de la sortie courant. Défaut de paramètre ou de matériel. Pas de mesure possible.	Défectueux, remplacer l'unité électronique
F Sortie courant C		
F Interface utilisateur logicielle	Erreur au cours du contrôle CRC du logiciel de l'interface utilisateur.	Remplacer l'unité électronique.
F Param. config. électr.	Les paramètres programmés pour le matériel ne conviennent pas au matériel identifié. Un dialogue s'affiche.	Répondre aux questions en mode dialogue et suivre les instructions. Défectueux, remplacer l'unité électronique
F Détection config. électr.	Le matériel existant ne peut pas être identifié.	Défectueux, remplacer l'unité électronique
F Erreur RAM/ROM ES1	Détection d'une erreur RAM ou ROM au cours du contrôle CRC.	Défectueux, remplacer l'unité électronique

Tableau 6-17: Défautes de fonctionnement de l'appareil

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

**Annexe 6: Erreur d'application (Optiflux 2000 :IFC100)**

Messages affichés	Description	Actions
État : F _ _ _ _ _	Erreur d'application, l'appareil est OK mais les valeurs mesurées sont « douteuses ».	Contrôle d'application ou intervention de l'utilisateur nécessaire.
F Erreur d'application	Erreur d'application, appareil cependant en ordre.	Message collectif pour les erreurs suivantes ou autres erreurs d'application.
F Tube vide	1 ou 2 électrodes de mesure ne sont pas en contact avec le produit ; la valeur mesurée est mise à zéro. Pas de mesure possible.	Tube de mesure non rempli ; cette fonction dépend de C1.3.2. Contrôler l'installation. Ou : électrodes entièrement isolées, par ex. par un film d'huile. Nettoyer !
F Débit hors limites	Dépassement d'échelle de mesure, la programmation de filtre limite les valeurs mesurées. Pas de message en cas de tube vide.  Si ce dépassement de la valeur limite intervient sporadiquement pour les cas de liquides avec bulles d'air, particules ou présentant une faible conductivité, la valeur limite doit alors être augmentée ou bien un filtre impulsions doit être installé pour réduire les messages d'erreurs et les erreurs de mesure.	Limitation de C1.2.1 : augmenter les valeurs.
F Fréq. de champ trop élev.	Le courant de champ n'atteint pas d'état stable, la valeur du débit mesuré continue d'être fournie, elle peut toutefois comporter des erreurs. Les valeurs mesurées continuent d'être fournies, mais elles sont constamment trop faibles. Pas de message en cas de bobine défectueuse ou court-circuitée.	Si « C1.1.14 Temps établis. » est réglée sur « Manuel », augmenter la valeur dans C1.1.15. Si elle est réglée sur « Standard », programmer la fréquence de champ dans C1.1.13 en fonction de la plaque signalétique du convertisseur de mesure.
F DC offset	CAN saturé par niveau d'entrée CC. Pas de mesure possible, valeur de débit mesurée à zéro. Pas de message en cas de tube vide.	Pour les convertisseurs de mesure en version séparée, contrôler le raccordement du câble signal.
F Interruption A	Charge trop élevée à la sortie courant A, courant effectif trop faible.	Courant incorrect, ligne de sortie courant interrompue ou charge trop élevée. Contrôler le câble, réduire la charge (doit être < 750 Ω).
F Interruption C		
F A saturé	Le courant ou la valeur mesurée correspondante sont limités par la programmation filtre.	A l'appui de « C2.1 Hardware » ou de l'étiquette dans le compartiment de raccordement, vérifier quelle sortie est branchée sur la borne. Pour la sortie courant : augmenter les valeurs de « C2.x.6 Echelle de mesure » et « C2.x.8 Limitation ». Pour la sortie fréquence : augmenter les valeurs dans « C2.x.5 » et « C2.x.7 ».
F C saturé		
F D saturé	Le taux d'impulsions ou la valeur mesurée correspondante sont limités par la programmation filtre. Ou bien le taux d'impulsions recherché est trop élevé.	
F Paramétrage actif	Détection d'une erreur au cours du contrôle CRC des paramétrages actifs.	Charger, vérifier et, le cas échéant, adapter les paramétrages Backup 1 ou Backup 2.
F Program. usine	Détection d'une erreur au cours du contrôle CRC des programmations usine.	-
F Paramétr. Backup 1	Détection d'une erreur au cours du contrôle CRC des paramétrages Backup (Sauvegarde) 1 ou 2.	Enregistrer les paramétrages actifs dans la mémoire Backup (Sauvegarde) 1 ou 2.
F Paramétr. Backup 2		

Tableau 6-18: Erreur d'application

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

***Annexe 7: Erreur de mesure hors spécifications et de Simulation des valeurs mesurées (Optiflux 2000 :IFC100)***

Messages affichés	Description	Actions
État : S _ _ _ _ _	Hors spécifications, la mesure continue, éventuellement moins précise.	Maintenance requise.
S Mesure incertaine	Maintenance de l'appareil nécessaire ; les valeurs mesurées ne sont utilisables que sous réserve.	Message collectif pour les erreurs suivantes et autres influences.
S Tube vide	1 ou 2 électrodes de mesure ne sont pas en contact avec le produit ; la valeur mesurée est mise à zéro. Pas de mesure possible.	Tube de mesure non rempli ; cette fonction dépend de C1.3.2. Contrôler l'installation. Ou : électrodes entièrement isolées, par ex. par un film d'huile. Nettoyer !
S Bruits d'électrode	Bruits d'électrode trop forts. Les valeurs mesurées continuent d'être fournies. Pas de message en cas de tube vide.	a) Electrodes extrêmement encrassées ; b) Conductivité trop basse : activer le filtre de bruit ou d'impulsions dans C1.2.4, C1.2.7 ; c) Bulles d'air, particules solides ou réactions chimiques dans le produit à mesurer : activer le filtre de bruit ou d'impulsion dans C1.2.4, C1.2.7 ; d) Corrosion des électrodes (si le message apparaît aussi pour débit nul) : utiliser un capteur avec un matériau d'électrode approprié.
S Bobines coupées	Résistance trop grande des bobines de courant de champ.	Contrôler si les raccordements de courant de champ au module électronique (pour les versions séparées : câble de courant de champ) sont interrompus ou court-circuités.
S Court-circuit bobine	Résistance trop faible des bobines de courant de champ.	
S Température électronique	La limite supérieure de la température admissible de l'électronique est dépassée.	Température ambiante trop élevée, exposé directement au soleil ou, pour la version C, température du produit trop élevée.
S Temp. de bobine	La limite supérieure de la température admissible de bobine est dépassée. Pas de message en cas de bobine défectueuse ou court-circuitée.	Température ambiante et du produit trop élevée.
S Totalisateur 1 dépas.	Concerne le totalisateur 1. Après saturation, le totalisateur est reparti à zéro.	-
S Totalisateur 2 dépas.	Concerne le totalisateur 2. Après saturation, le totalisateur est reparti à zéro.	-
S Fond panier n. valide	Les données du fond de panier ne sont pas valides. Le contrôle CRC a révélé une erreur.	En cas de remplacement de l'électronique, il n'est pas possible de charger des données du fond de panier. Enregistrer à nouveau les données dans le fond de panier (Maintenance).
S Fréq. de champ trop élev.	La fréquence de champ est programmée sur une valeur si élevée que le courant de champ ne peut pas se stabiliser. Les valeurs mesurées affichées sont trop basses.	Programmer la fréquence de champ sur une valeur plus basse ; consulter C1.1.13.

Tableau 6-19: Mesures hors spécifications

Messages affichés	Description	Actions
État : C _ _ _ _ _	Valeurs de sortie en partie simulées ou fixes	Maintenance requise.
C Tests en cours	Mode test de l'appareil. Les valeurs mesurées sont éventuellement des valeurs simulées ou fixes programmées.	Message via HART® ou FDT selon la situation.
C Test capteur	La fonction test de l'électronique du capteur est activée.	-

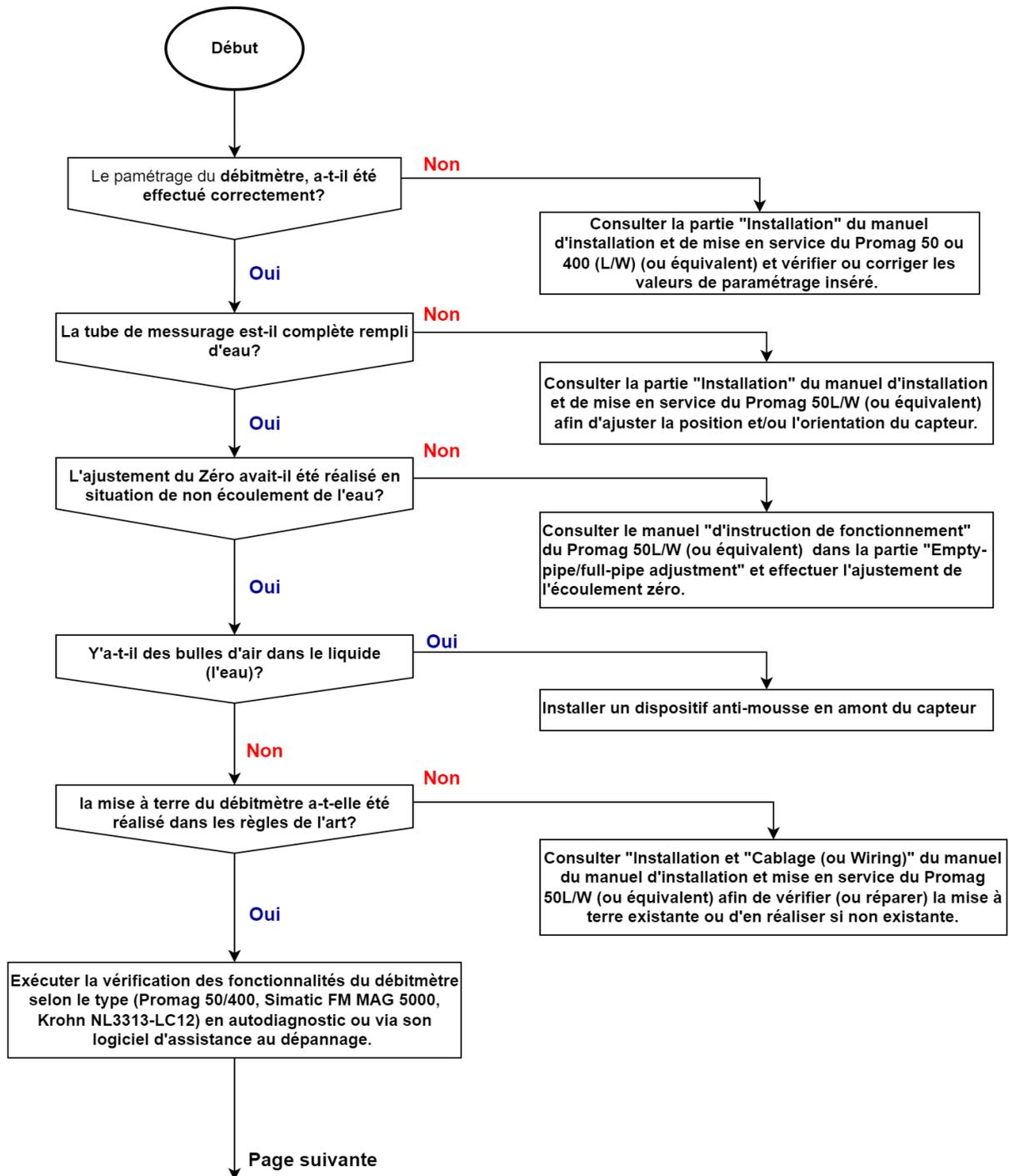
Tableau 6-20: Simulation des valeurs mesurées

**Annexe 8: Message d'information de fonctionnement lors de la mesure (Optiflux 2000 :IFC100)**

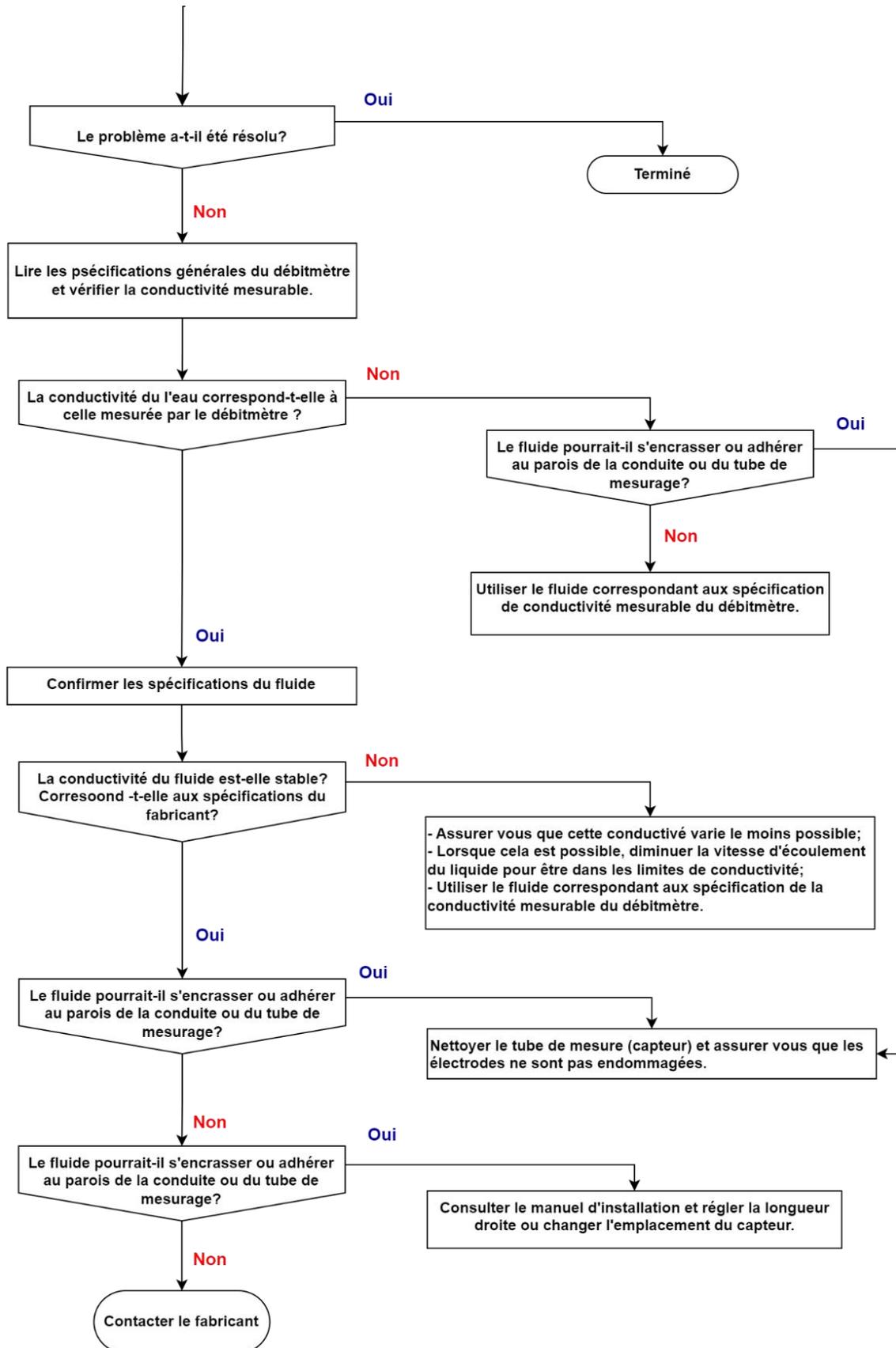
Messages affichés	Description	Actions
État : I _ _ _ _ _	Information (mesure en cours est en ordre)	
I Totalisateur 1 arrêté	Concerne le totalisateur 1. Le totalisateur a été arrêté.	Si le totalisateur doit continuer de compter, activer « Oui » dans « C2.y.9 Lancer totalisateur ».
I Totalisateur 2 arrêté	Concerne le totalisateur 2. Le totalisateur a été arrêté.	
I Défaillance secteur	L'appareil a été hors service pendant un temps indéterminé, le courant ayant été désactivé. Ce message ne sert qu'à titre d'information.	Défaillance de secteur passagère. Les totalisateurs étaient arrêtés pendant ce temps.
I Saturé affichage 1	La 1ère ligne sur la page d'affichage 1 (ou 2) est limitée par le réglage de filtre.	Dans l'affichage du menu C4.3 et/ou C4.4, sélectionner « Mesure page 1 ou 2 », et augmenter les valeurs dans « C4.z.3 Echelle de mesure » et/ou « C4.z.4 Limitation ».
I Saturé affichage 2		
I Ech. dépassée conductivité	Les limites pour la mesure de conductivité ont été dépassées (>10000 µS/cm) ou sont plus basses que permis (<0,1 µS/cm).	Si le capteur de mesure a été raccordé correctement et rempli de produit, ceci n'a pas d'effet sur la mesure de débit. Les valeurs mesurées pour la conductivité ne peuvent pas être utilisées.
I Entrée com. C actif	Ce message apparaît quand l'entrée de commande est active.	-
I fond de panier capteur	Les données sur le fond de panier ne sont pas utilisables car elles ont été générées avec une version non compatible.	-
I param. fond de panier	Le paramétrage global sur le fond de panier n'est pas utilisable car il a été généré avec une version incompatible.	-
I différ. fond panier	Les données du fond de panier sont différentes de celles affichées. Un dialogue s'affiche si les données du fond de panier sont utilisables.	-
I dépass. cycl. écriture	Dépassement du nombre maximal de cycles d'écriture sur l'EEPROM.	-
I Conductivité arrêt	La mesure de conductivité est désactivée.	Modifier les paramètres dans C1.3.1.
I Tube vide	1 ou 2 électrodes de mesure ne sont pas en contact avec le produit ; la valeur mesurée est mise à zéro. Pas de mesure possible.	Tube de mesure non rempli ; cette fonction dépend de C1.3.2. Contrôler l'installation. Ou : électrodes entièrement isolées, par ex. par un film d'huile. Nettoyer !
I Valeur diagnostic arrêt	La valeur diagnostic est arrêtée.	Modifier les paramètres dans C1.3.17.

Tableau 6-21: Information

*Annexe 9: Organigramme de diagnostic du débitmètre pour motif de désaccord entre la valeur mesurée et la valeur réelle du débit*



**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**



**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

**Annexe 10: Signaux d'état de fonctionnement et Information de diagnostic du Capteur (Promag W/L 400)**

Symbole	Signification
<b>F</b> <small>A0013956</small>	<b>Défaut</b> Un défaut de l'appareil s'est produit. La valeur mesurée n'est plus valable.
<b>C</b> <small>A0013959</small>	<b>Contrôle du fonctionnement</b> L'appareil se trouve en mode service (par ex. pendant une simulation).
<b>S</b> <small>A0013958</small>	<b>En dehors des spécifications</b> L'appareil fonctionne : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En dehors de ses spécifications techniques (par ex. en dehors de la gamme de température de process)</li> <li>▪ En dehors du paramétrage effectué par l'utilisateur (par ex. débit maximal dans paramètre Valeur 20 mA)</li> </ul>
<b>M</b> <small>A0013957</small>	<b>Maintenance nécessaire</b> La maintenance de l'appareil est nécessaire. La valeur mesurée reste valable.
<b>N</b> <small>A0023076</small>	N'a aucun effet sur le Condensed Status.

Numéro de diagnostic	Texte court	Mesures correctives	Signal d'état [au départ usine]	Comportement du diagnostic [au départ usine]
<b>Diagnostic du capteur</b>				
043	Court-circuit capteur	1. Vérifiez câble capteur et capteur 2. Exécutez Heartbeat vérification 3. Remplacez câble capteur ou capteur	S	Warning <sup>1)</sup>
082	Mémoire de données	1. Contrôler les connexions des modules 2. Contacter le service technique	F	Alarm
083	Contenu mémoire	1. Redémarrez appareil 2. Restaurez la sauvegarde HistoROM S-DAT (paramètre 'Reinitialiser appareil') 3. Remplacez HistoROM S-DAT	F	Alarm
170	Résistance de la bobine	Vérifiez la température ambiante et de process	F	Alarm
180	Capteur de température défectueux	1. Vérifiez les connexions du capteur 2. Remplacez le câble capteur ou le capteur 3. Arrêtez la mesure de température	F	Warning
181	Connexion capteur	1. Vérifiez câble capteur et capteur 2. Exécutez Heartbeat vérification 3. Remplacez câble capteur ou capteur	F	Alarm

# ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

## *Annexe 11: Information de diagnostic de l'électronique et de la configuration (Promag W/L 400)*

Numéro de diagnostic	Texte court	Mesures correctives	Signal d'état [au départ usine]	Comportement du diagnostic [au départ usine]
<b>Diagnostic de l'électronique</b>				
201	Défaillance de l'appareil	1. Redémarrer appareil 2. Contacter service après-vente	F	Alarm
242	SW incompatible	1. Contrôler Software	F	Alarm
252	Module incompatible	1. Vérifier les modules électroniques 2. Changer les modules électroniques	F	Alarm
261	Module électronique	1. Redémarrer capteur 2. Contrôler modules électroniq. 3. Chang.mod.E/S ou électronique princ.	F	Alarm
262	Connexion électronique capteur défaillant	1. Vérifier/remplacer câble connexion entre le module capteur élec. (ISEM) et élec.principale 2. Vérifier ou remplacer ISEM ou électronique principale	F	Alarm
270	Défaut électronique principale	Changer électronique principale	F	Alarm
271	Défaut électronique principale	1. Redémarrer appareil 2. Changer électronique principale	F	Alarm
272	Défaut électronique principale	1. Redémarrer appareil 2. Contacter service après-vente	F	Alarm
273	Défaut électronique principale	Changer électronique	F	Alarm
275	Module E/S défectueux	Changer module E/S	F	Alarm
276	Module E/S défaillant	1. Redémarrer appareil 2. Changer module E/S	F	Alarm
283	Contenu mémoire	1. Reset de l'appareil 2. contactez le service technique	F	Alarm
302	Vérification appareil active	Dispositif de vérification actif, s'il vous plaît attendre.	C	Warning
311	Défaut électronique	1. Ne pas redémarrer l'appareil 2. Contacter le service technique	M	Warning
372	Electronique capteur (ISEM) défectueuse	1. Redémarrez appareil 2. Vérifiez si défaut se reproduit 3. Remplacer le module électronique du capteur (ISEM)	F	Alarm
373	Electronique capteur (ISEM) défectueuse	1. Transférer données ou RAZ capteur 2. Contactez SAV	F	Alarm
375	Erreur communication module E/S-	1. Redémarrez appareil 2. Vérifiez si défaut se reproduit 3. Remplacez le module rack incluant les modules électroniques	F	Alarm
376	Electronique capteur (ISEM) défectueuse	1. Remplacez module électronique capteur (ISEM) 2. Arrêtez message diagnostic	F	Warning <sup>1)</sup>
377	Electronique capteur (ISEM) défectueuse	1. Vérifiez le câble du capteur et le capteur 2. Effectuez Heartbeat vérification 3. Remplacez le câble du capteur ou le capteur	F	Warning <sup>1)</sup>
382	Mémoire de données	1. Insérer T-DAT 2. Remplacer T-DAT	F	Alarm
383	Contenu mémoire	1. Redémarrez appareil 2. Supprimez la T-DAT via le paramètre RAZ appareil 3. Remplacez la T-DAT	F	Alarm
512	Electronique capteur (ISEM) défectueuse	1. Vérifiez temps de récupération ECC 2. Arrêtez ECC	F	Alarm
<b>Diagnostic de la configuration</b>				
410	Transmission données	1. Vérifier liaison 2. Réessayer le transfert de données	F	Alarm
412	Download en cours	Download en cours, veuillez patienter	C	Warning
431	Ajustement 1	Carry out trim	C	Warning
437	Configuration incompatible	1. Redémarrer appareil 2. Contacter service après-vente	F	Alarm
438	Bloc de données	1. Contrôler fichier données 2. Contrôler configuration 3. Up/download de la nvelle config	M	Warning
441	Sortie courant	1. Vérifier process 2. Vérifier réglages sortie courant	S	Warning <sup>1)</sup>
442	Sortie fréquence 1 ... n	1. Contrôler process 2. Contrôler réglages sortie fréquence	S	Warning <sup>1)</sup>
443	Sortie impulsion 1 ... n	1. Contrôler process 2. Contrôler réglages sortie impulsion	S	Warning <sup>1)</sup>
453	Dépassement débit	Désactiver le dépassement débit	C	Warning
484	Simulation mode défaut	Désactiver simulation	C	Alarm
485	Simulation variable mesurée	Désactiver simulation	C	Warning
491	Simulation sortie courant 1	Désactiver simulation	C	Warning
492	Simulation sortie fréquence 1 ... n	Désactiver simulation sortie fréquence	C	Warning
493	Simulation sortie impulsion 1 ... n	Désactiver simulation sortie impulsion	C	Warning
494	Simulation sortie commutation 1 ... n	Désactiver simulation sortie tout ou rien	C	Warning
495	Simulation événement diagnostic	Désactiver simulation	C	Warning
496	Simulation de l'entrée état	Désactiver la saisie de l'état de simulation	C	Warning
502	Echec activation/désactivation TC	Suivez la séquence d'activation/désact. du mode TC: d'abord login utilisateur autorisé, puis réglez le commutateur DIP sur le module électron. princ.	C	Warning
511	Electronique capteur (ISEM) défectueuse	1. Vérifiez la période de mesure et le temps d'intégration 2. Vérifiez les propriétés du capteur	C	Alarm
530	Nettoyage des électrodes en marche	Désactivez ECC	C	Warning
531	Détection de tube vide	Executer le réglage de détection de tube vide (DPP)	S	Warning <sup>1)</sup>
537	Configuration	1. Vérifier les adresses IP dans le réseau 2. Changer l'adresse IP	F	Warning
540	Mode transaction commerciale a échoué	1. Désactivez le mode transaction commerciale 2. Réactiver le mode transaction commerciale	F	Alarm
599	Logbook transaction commerciale plein	1. Désactiver mode transaction commerciale 2. Effacer le logbook transaction commerciale (les 30 entrées) 3. Activer mode transaction commerciale	F	Warning

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

***Annexe 12: Information de diagnostic du process (Promag W/L 400)***

Diagnostic du process				
803	Courant de boucle	1. Contrôler câblage 2. Changer module E/S	F	Alarm
832	Température électronique trop élevée	Réduire température ambiante	S	Warning <sup>1)</sup>
833	Température électronique trop basse	Augmenter température ambiante	S	Warning <sup>1)</sup>
834	Température de process trop élevée	Réduire température process	S	Warning <sup>1)</sup>
835	Température de process trop faible	Augmenter température process	S	Warning <sup>1)</sup>
842	Valeur limite process	Suppression débit de fuite actif! 1. Vérifier la configuration suppression débit de fuite	S	Warning
882	Signal d'entrée	1. Vérifiez la configuration des entrées 2. Vérifiez le capteur externe ou les conditions process	F	Alarm
937	Interférence EMC	1. Éliminez champ magnétique externe à proximité du capteur 2. Arrêtez message de diagnostic	S	Warning <sup>1)</sup>
938	Interférence EMC	1. Vérifiez les conditions ambiantes concernant l'influence de la compatibilité électromagnétique 2. Arrêtez le message de diagnostic	F	Alarm <sup>1)</sup>
962	Tube vide	1. Effectuez un réglage de tube plein 2. Effectuez un réglage de tube vide 3. Désactivez détection de tube vide	S	Warning <sup>1)</sup>

ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Annexe 13: Tableau récapitulatif de l'inspection et du diagnostic sur site

SITUATION DES DEBITMETRES INSPECTES AU COURS DE LA MISSION DE COLLECTE DE DONNEES						
SITE	DEBITMETRE	DESIGNATION DE L'APPAREIL (Indications paortées sur la plaque signalétique)	ETAT	Nature des pannes/défaillances après inspection sur site	Commentaires	Période du Constat technique (ou de l'Inpection) sur site
ZIGA SP1/SP2	Arrivée eau brute ZIGA 1	Proline Promag 50W Endress+Hauser, DN1000 DIN PN16, TM max: 80°C/175°F, -20°C<Tamb<+60°C, Ser No:57034619000	En panne	Module d'affichage défectueux : lisibilité compromise de l'afficheur local (impossible de lire les grandeurs mesurées et d'effectuer toute manipulation)	Transmetteur mal protégé contre les intempéries (pluie, vent...); Quelques valeurs mesurées: <b>Tension aux bornes (5/7) des électrodes de mesure=8,4mV</b> , Transmetteur Promag 50 raccordé à la terre mais aucune mise à la terre du capteur Promag W.	Du 21/05/2024 au 23/05/2024
	Arrivée eau brute ZIGA 2	Proline Promag L400 Endress+Hauser, DN1200 DIN/EN PN10 PN=PS=10bar, Tm:0...+80°C, Tamb= -10°C...+60°C, Qmax(L): 4000m3/h, 100...240V/ AC/DC 24V, 50/60Hz, 2016. Ser No: L5186E19000	Fonctionnel avec touche optique "E" du transmetteur endommagée.	La touche optique "Enter" de configuration du transmetteur défectueuse.	Capteur monté en aval d'une vanne, à une longueur droite de sortie de 4,53m(>2"DN); Longueur droite d'entrée du capteur=6,6m (>5"DN). Transmetteur Promag L raccordé à la terre mais aucune mise à la terre du capteur. Quelques valeurs mesurées: <b>Résistance de la bobine d'excitation du capteur=108,4Ω</b> ; <b>Tension aux bornes (5/7) des électrodes de mesure=6,9mV</b> .	
	sortie eau filtré ZIGA1	OPTIFLUX 2000, Altomterter NL-3313LC12 Krohne, IFC 100, GK/GKL 84461, DN800mm/32inch, 24VAC/DC Manufact. 2019, S/N:A18310379	Fonctionnel	Aucune défaillance détectée.	Longueurs droites amont/aval respectée : Amont=13m>(4m ou 5"DN) et Aval=7m>(1,6m ou 2"DN); Transmetteur déporté à 10m du Capteur (Lmax=600m); Conductivité du liquide: 122,176μS/cm. Transmetteur IFC100 raccordé à la terre mais aucune mise à la terre du capteur Optiflux 2000. <b>Message d'erreur de type "S441:sortie cour.1"</b> survenu au cours de l'inspection et acquis par inversion des fils du câble d'électrodes du capteur (connexion du fil d'électrode blanc à la borne 5/6 en lieu et place du fil d'électrode brun, respectivement le fil brun à la borne 7/8).	
	sortie eau filtré ZIGA2	Proline Promag L400 Endress+Hauser, DN1200 DIN/EN PN10 PN=PS=10bar, Tm:0...+80°C, Tamb= -10°C...+60°C, Qmax(L): 4000m3/h, 100...240V/ AC/DC 24V, 50/60Hz, 2016. Ser No: L5186E19000	Fonctionnel	Aucune défaillance détectée	Transmetteur déporté à 10m du Capteur (Lmax=600m); Transmetteur Promag L raccordé à la terre mais aucune mise à la terre du capteur. Capteur complètement immergé dans l'eau.	
	Sortie eau traité ZIGA 1	Proline Promag 50W Endress+Hauser, DN1000 DIN PN16, TM max: 80°C/175°F, -20°C<Tamb<+60°C, Ser No:57034819000	En panne	Module d'affichage défectueux : lisibilité compromise de l'afficheur local (impossible de lire correctement les grandeurs mesurées et d'effectuer toute manipulation); Une erreur de type "S:AMP SW-EEPROM #012" (qui signifie "erreur d'accès aux données EEPROM") est perçu sur l'afficheur local du transmetteur. On note également une <b>Instabilité de la valeur de débit mesurée</b> .	Capteur monté en amont d'une vanne (recommandé), à une longueur droite d'entrée de 9m(>5"DN); Longueur droite de sortie du capteur=3,5m (>2"DN). Quelques valeurs mesurées: <b>Résistance de la bobine d'excitation du capteur =143Ω-149,6Ω</b> ; <b>Tension aux bornes (5/7) des électrodes de mesure = 4,7mV</b> , Transmetteur exposé au vibration du process et aucune mise à la terre du capteur.	
	Sortie eau traité ZIGA 2	Proline Promag L400 Endress+Hauser, DN1200 DIN/EN PN10 PN=PS=10bar, Tm:0...+80°C, Tamb= -10°C...+60°C, Qmax(L): 4000m3/h, 100...240V/ AC/DC 24V, 50/60Hz, 2016. Ser No: L5186D19000	Fonctionnel	Aucune défaillance détectée.	Capteur monté en aval d'une vanne (peu recommandé), à une longueur droite de sortie de 2,32m(>2"DN); Longueur droite d'entrée du capteur=7,2m (>5"DN). Quelques valeurs mesurées: <b>Résistance de la bobine d'excitation du capteur=108Ω</b> ; Capteur potentiellement exposé au champ magnétique des transformateur de puissance et aucune mise à la terre du capteur.	
	Eau de recyclage ZIGA2	Proline Promag W400 Endress+Hauser, DN250 DIN/EN PN10 PN=PS=10bar, Tm:0...+80°C, Tamb= -10°C...+60°C, Qmax(L): 1700m3/h, 100...240V/ AC/DC 24V, 50/60Hz, 2016. Ser.no: L519C319000	Fonctionnel	Aucune défaillance détectée.		
	Approvisionnement Lait de chaux	Proline Promag W400 Endress+Hauser, DN150 DIN/EN PN16 PN=PS=16bar, Tm:0...+80°C, Tamb= -20°C...+60°C, Qmax(L): 600m3/h, 100...240V/ AC/DC 24V, 50/60Hz, 2016. Ser.no: L519C419000	Fonctionnel	Aucune défaillance détectée.		
OUAGA_SP3 (Site de Bendogo)	Entrée bache eau traitée Ziga 2	Proline Promag W400 Endress+Hauser, DN1000 DIN/EN PN16 PN=PS=16bar, Tm:0...+80°C, Tamb= -20°C...+60°C, 100...240V/ AC/DC 24V, 50/60Hz, 2019. Ser.no: 57034719000; Promag 400 Ser. No: PA18DF19000	Fonctionnel	Aucune défaillance détectée	Capteur monté en amont d'une vanne (recommandé), à une longueur droite d'entrée de 6,15m(>5"DN); Longueur droite de sortie du capteur=6,5m (>2"DN). Transmetteur exposé au bruit du process et aucune mise à la terre du capteur.	30/05/2024
Site RC (RC1 &RC2)	REFOULEMENT VERS RD-RE	KROHNE NL-3313LC12 / 2018; IFC 100 / S/N A18300827 / GKL8 4578 / DN700mm; Wetted matris : H / IP66/67 / HC22; 12-24 VDC / 4W / SPRC 49 3 6 600 2 2 ; Capteur OPTIFLUX 2000	En panne	Valeur de débit figée sur l'afficheur du convertisseur de signal. Des messages d'erreurs d'application (F Débit hors limites, F Erreur d'application, F DC Offset, F A/D Saturé) et d'erreur hors spécification sont (S Bruit des électrodes, S Bobines coupées) sont affichés.	Le débitmètre nécessite une intervention de maintenance. La longueur droite de montage du tube de mesure a été respectée (entrée 13m et sortie 7m). En revanche, la mise à la terre du tube de mesure n'a pas été faite ce qui engendre l'erreur DC Offset et il se peut qu'il y ait rupture du câble de bobine (câble de courant de champ) ou qu'il soit en court-circuit d'où l'erreur S Bobines coupées. Ce qui engendre tous autres messages d'erreur.	04/06/2024
	SORTIE BACHE RC VERS RE	KROHNE NL-3313LC12 / 2018; IFC 100 / S/N A17317289 / GKL9 1740 / DN600mm; Wetted matris : H / IP66/67 / HC22; 12-24 VDC / 4W / SPRC 48 3 6 600 2 1 ; Capteur OPTIFLUX 2000	En panne			

Rédigé et soutenu par NGAKANOU NJOYA Roland Cesair, promotion : 2023-2024

XXVII

**Annexe 14: Vérification du transmetteur de mesure (Sitrans FM MAG 5000-Siemens)**

Si aucun transmetteur de remplacement n'est disponible, vérifier l'appareil selon le tableau de contrôle suivant :

<b>Mettre le transmetteur sous tension</b>		
0	Ecran allumé ?	oui ⇒ 1
		non ⇒ 2
1	Triangles d'erreur clignotants ?	oui ⇒ voir la table des erreurs
		non ⇒ 1.2
1.2	Valeurs de sortie et d'affichage OK ?	oui ⇒ 1.2.1
		non ⇒ 1.2.2
1.2.1	Transmetteur de mesure OK.	Vérifier l'application Vérifier installation/capteur/borne de terre, etc.
1.2.2	Contrôler les câbles/raccordements Contrôler la plaque de raccordement Contrôler les broches du connecteur multiple du transmetteur	OK ⇒ 1.2.1
		pas OK ⇒ corriger l'erreur
2	Contrôler les câbles/raccordements Contrôler la plaque de raccordement Contrôler les broches du connecteur multiple du transmetteur	OK ⇒ 2.1
		pas OK ⇒ corriger l'erreur
2.1	Valeurs de sortie OK ?	oui ⇒ 2.1.1
		non ⇒ 2.1.2.
2.1.1	Affichage défectueux	Remplacer l'affichage
2.1.2	Transmetteur de mesure défectueux	Remplacez le transmetteur.

**Remarque**

**Liste de contrôle du capteur**

Les listes de contrôle des capteurs se trouvent dans les instructions d'utilisation des capteurs concernés.

## *Annexe 15: Vérification du Capteur (Sitrans FM MAG 5000-Siemens)*

### Condition requise

Les équipements d'essai suivants sont nécessaires pour procéder au contrôle des capteurs SITRANS FM :

- appareil de mesure/multimètre numérique
- mégohmmètre
- (appareil de mesure à cadre mobile)

### Contrôle du capteur

Retirez le transmetteur du capteur ou de l'emplacement distant avant de procéder aux vérifications suivantes.

### Contrôle de la résistance de la bobine

- Mesurez la résistance de la bobine entre les raccordements numéros 85 et 86 à l'aide d'un appareil de mesure numérique.  
La résistance doit être comprise dans la plage indiquée dans le tableau de résistance de la bobine.

Une valeur faible peut indiquer la présence d'humidité dans le boîtier de la bobine ou le raccourcissement des spires de la bobine.

Une valeur élevée peut indiquer une bobine dont le circuit est ouvert.

---

### Remarque

Si un écart par rapport aux valeurs nominales de la bobine est constaté, le capteur est endommagé et doit être remplacé

---

### Contrôle de l'isolation de la bobine

 <b>ATTENTION</b>
<b>Danger potentiel !</b>
Ne procédez au contrôle de l'isolation de la bobine que dans des zones non dangereuses.

- Positionnez le mégohmmètre entre le raccordement numéro 85 et le corps du capteur.  
La résistance doit être supérieure à 20 mégohms.

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

***Annexe 16: Tableau de Résistance de la bobine du Tube de mesure (Sitrans FM MAG 5100-Siemens)***

Tableau B-5 Résistance de la bobine [ $\Omega$ ]

DN	Pouces	MAG 1100, MAG 1100 F		MAG 3100, MAG 3100 P, MAG 5100 W (N° de référence 7ME6580)		MAG 5100 W (N° de référence 7ME6520)	
		Résistance	Tolérance	Résistance	Tolérance	Résistance	Tolérance
2	1/12	104	+/- 5	104			
3	1/8	104	+/- 5	104			
6	1/4	99	+/- 17	104			
10	3/8	99	+/- 17	104			
15 <sup>1)</sup>	1/2	91	+/- 9	104			
25	1	91	+/- 17	104	+/- 2	104	+/- 10
40	1 1/2	91	+/- 9	92	+/- 2	92	+/- 10
50	2	91	+/- 9	92	+/- 2	119.4	+/- 10
65	2 1/2	99	+/- 17	100	+/- 2	127	+/- 10
80	3	91	+/- 17	94	+/- 2	126	+/- 10
100	4	91	+/- 9	92	+/- 2	125	+/- 10
125	5	92	+/- 2	126	+/- 10		
150	6	94	+/- 2	116	+/- 10		
200	8	90	+/- 2	109	+/- 10		
250	10	92	+/- 2	104	+/- 10		
300	12	100	+/- 2	108	+/- 10		
350	14	112	+/- 2	100	+/- 6		
400	16	100	+/- 4	100	+/- 6		
450	18	108	+/- 4	100	+/- 6		
500	20	122	+/- 4	100	+/- 6		
600	24	115	+/- 4	98	+/- 6		
700	28	128	+/- 4	98	+/- 6		
750	30	133					
800	32	128	+/- 4	98	+/- 6		
900	36	131	+/- 4	98	+/- 6		
1000	40	131	+/- 4	88	+/- 6		

## *Annexe 17: Contrôle de la résistance des électrodes et Fluctuations du débit mesuré (Sitrans FM MAG 5100-Siemens)*

### *7.2 Valeurs de processus fluctuantes*

Une valeur de mégohmmètre faible indique que l'isolation diminue. Ce phénomène est généralement dû à l'infiltration d'un fluide dans le boîtier de la bobine.

Des capteurs ayant une résistance d'isolation de 1 MΩ sont susceptibles de fonctionner correctement, mais leur fonctionnement n'est toutefois pas garanti.

#### **Contrôle de la résistance des électrodes**

- Mesurez la résistance des électrodes entre les raccordements 82 et 0 à l'aide d'un appareil de mesure à cadre mobile.  
Dans le cas d'un capteur rempli de fluide, la résistance doit être comprise entre 5 KΩ et 50 KΩ.  
Si le capteur est vide, la résistance sera infinie.
- Répétez les opérations de mesure de résistance entre les raccordements 83 et 0.  
Les résultats doivent être identiques.

Si la résistance est faible, il peut y avoir un court-circuit au niveau des électrodes ou du câblage (dans le cas d'un transmetteur distant). L'eau ou l'humidité peut également s'être infiltrée dans la boîte de raccordement.

Si la résistance est élevée et si la conduite est complètement remplie de liquide, contrôlez les points suivants :

1. Le fluide est conducteur.
2. Les électrodes ne sont pas couvertes de graisse, ni de dépôt.
3. Le circuit des électrodes n'est pas ouvert.
4. Le transmetteur en montage déporté possède un câble tripolaire avec blindage intégral continu depuis le capteur jusqu'au transmetteur, incluant les boîtes de jonction et les rails de raccordement à l'intérieur des armoires.
5. Le blindage est raccordé au 0 ou à la borne de terre (PE) sur le capteur.

---

#### **Remarque**

##### **Capteurs hors conduite**

Pour des capteurs hors conduite avec alésage sec, utilisez un mégohmmètre entre la borne 82 et la plaque de compression, et la borne 83 et la plaque de compression afin de détecter une infiltration d'eau derrière les électrodes ou à l'intérieur de l'enveloppe.

---

### **Valeurs de processus fluctuantes**

#### **Pourquoi les valeurs de processus affichées sont-elles fluctuantes lorsque le câble d'électrode est déplacé ?**

La fluctuation des valeurs de processus peut être due à plusieurs causes :

- Dépôts sur les électrodes
  - Nettoyez les électrodes.
- Câble d'électrode défectueux
  - Remplacez le câble
- Raccordement incorrect du câble
  - Raccordez le câble d'électrode (82, 83, 0 et blindage) conformément aux instructions dans Installation distante (Page 36).

## *Annexe 18: Identification des messages d'erreur pour diagnostic et dépannage (Sitrans FM MAG 5000-Siemens)*

### Système d'erreurs

Le transmetteur dispose d'un système d'erreurs et de journalisation d'état contenant 4 groupes d'informations.

(I) Information - le système continue les mesures normalement, les sorties courant et à relais ne sont pas affectées.

(W) Warning (Attention) - le système continue les mesures, mais un événement pouvant entraîner un dysfonctionnement et demander l'attention de l'opérateur est survenu. La cause de l'erreur peut disparaître sans intervention.

(P) Erreur permanente - peut entraîner un dysfonctionnement de l'application et l'attention de l'opérateur est requise.

(F) Erreur fatale - est essentiel au fonctionnement du débitmètre. L'opérateur doit intervenir immédiatement.

Deux menus permettent d'enregistrer les informations et les erreurs dans les menus affichage et utilisation.

- Défauts actuels
- Journal d'état

---

#### Remarque

##### Enregistrement d'erreurs dans différents modes

- En mode de configuration (dialogues locaux), les erreurs sont entrées uniquement dans la liste des défauts actuels et non pas dans la liste du journal des défauts, et elles ne sont pas enregistrées sur les sorties physiques (courant ou relais).
- En mode d'utilisation, les erreurs sont entrées à la fois dans la liste des défauts actuels et dans celle du journal des défauts mais elles ne sont pas enregistrées sur les sorties physiques (courant ou relais).

---

#### Remarque

##### Mise hors tension

Les défauts actuels et le journal d'état sont tous deux réinitialisés lors d'une mise hors tension.

---

### Défauts actuels

Les 9 premières erreurs en cours sont enregistrées dans la liste défauts actuels. Une fois que l'erreur est corrigée, elle disparaît de la liste.

La tolérance des "défauts actuels" est personnalisable pour une application donnée.

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

*Annexe 19: Liste des numéros d'erreur (Sitrans FM MAG 5000-Siemens)*

N° d'erreur	Message d'erreur Solution	Commentaire	Sortie Etat	Entrée Etat
1	<i>I1 - Mettre sous tension</i> Contrôler validité	Appareil sous tension	Actif	Active
2	<i>I2 - Module additionnel</i> Ajout	Un nouveau module a été ajouté au système	Actif	Active
3	<i>I3 - Module additionnel</i> Installation	Un module additionnel est défectueux ou a été retiré. Il peut s'agir d'un module interne	Actif	Active
4	<i>I4 - Param. corrigé</i> Contrôler validité	Un paramètre moins important du transmetteur a repris sa valeur par défaut	Actif	Active
20	<i>W20 - Compteur 1</i> Remise à 0 manuelle	Pendant l'initialisation, échec du contrôle de la valeur enregistrée. La valeur du compteur enregistrée n'est plus fiable. La valeur du compteur doit être remise à 0 manuellement pour que les valeurs futures soient fiables.	Actif	Active
20	<i>W20 - Compteur 2</i> Remise à 0 manuelle	Pendant l'initialisation, échec du contrôle de la valeur enregistrée. La valeur du compteur enregistrée n'est plus fiable. La valeur du compteur doit être remise à 0 manuellement pour que les valeurs futures soient fiables.	Actif	Active
21	<i>W21 Dépassement d'impulsions</i> Ajuster paramètres d'impulsion	Le débit actuel est trop important par rapport à la largeur d'impulsion et au volume/impulsion	Largeur d'impulsion réduite	Active
22	<i>W22 - Dépassement de délai d'attente du lot</i> Contrôler installation	La durée du traitement par lots a dépassé un temps max. prédéfini.	Sortie par lot sur 0.	Active
23	<i>W23 - Dépassement de lot</i> Contrôler installation	Le volume du traitement par lots a dépassé un volume max. prédéfini.	Sortie par lot sur 0.	Active
24	<i>W24 Lot débit nég.</i> Vérifier le sens d'écoulement	Sens d'écoulement négatif pendant le traitement par lots	Actif	Active
30	<i>W30 - Débordement</i> Ajuster $Q_{max}$	Le débit est supérieur à $Q_{max}$	max. 120 %	Active
31	<i>W31 - Conduite vide</i>	Conduite vide	Zéro	Active
40	<i>P40 - SENSORPROM®</i> Ajouter/modifier	Unité SENSORPROM® non installée	Actif	Active

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

N° d'erreur	Message d'erreur Solution	Commentaire	Sortie Etat	Entrée Etat
41	<i>P41 - Plage de paramètres</i> marche/arrêt	Un paramètre est en dehors de la plage. Le paramètre n'a pas pu être remplacé par sa valeur par défaut. L'erreur disparaîtra à la prochaine mise sous tension	Actif	Active
42	<i>P42 - Sortie courant</i> Vérifier les câbles	La boucle courant est débranchée ou la résistance de boucle est trop forte	Actif	Active
43	<i>P43 - Erreur interne</i> marche/arrêt	Un trop grand nombre d'erreurs sont apparues simultanément. Certaines erreurs ne sont pas détectées correctement	Actif	Active
44	<i>P44 - CT SENSORPROM®</i> Remplacer	Unité SENSORPROM® utilisée comme version CT	Actif	Actif
49	<i>P49 - Violation de protection</i> Marche/arrêt	La protection interne de l'appareil a été violée.	Actif	
60	<i>F60 - Erreur de communication</i> CAN Transmetteur/AOM.	Erreur de communication bus CAN. Un module additionnel, le module d'affichage ou le transmetteur est défectueux	Zéro	Inactive
61	<i>F61 - Erreur SENSORPROM®</i> Remplacer	Les données dans la mémoire SENSORPROM® ne sont plus fiables.	Actif	Active
62	<i>F62 - ID SENSORPROM</i> Remplacer	L'ID de l'unité SENSORPROM® ne correspond pas à l'ID produit. L'unité SENSORPROM® est d'un type différent du produit SITRANS F C, SITRANS F US, etc.	Zéro	Inactive
63	<i>F63 - SENSORPROM®</i> Remplacer	Les données dans la mémoire SENSORPROM® ne sont plus lisibles.	Actif	Active
70	<i>F70 - Courant bobine</i> Vérifier les câbles	Echec de l'excitation de la bobine	Actif	Active
71	<i>F71 - Erreur interne</i> Remplacer le transmetteur.	Erreur interne de conversion dans ASIC	Actif	Actif

Symptôme	Signaux de sortie	Code d'erreur	Cause	Solution
Affichage vide	Minimum		1. Pas d'alimentation	Alimentation Vérifier que les broches du connecteur MAG 5000/6000/6000 I ne sont pas pliées
			2. MAG 5000/6000/6000 I défectueux	Remplacer MAG 5000/6000/6000 I

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

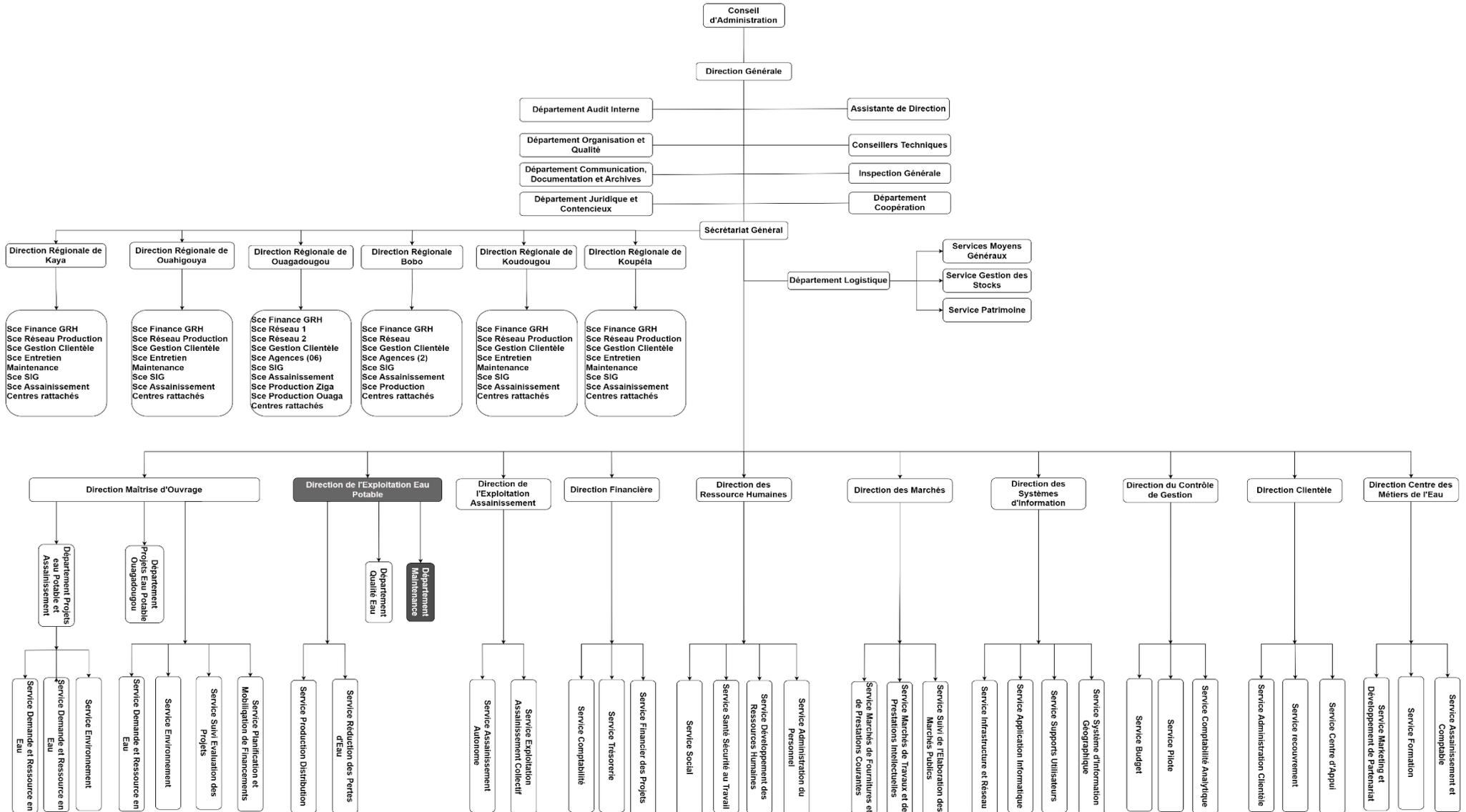
Symptôme	Signaux de sortie	Code d'erreur	Cause	Solution
Pas de signal de débit	Minimum		1. Sortie courant inactive	Activer la sortie courant
			2. Sortie TOR inactive	Activer la sortie TOR
			3. Sens d'écoulement inverse	Changer le sens
		F70	Courant de bobine incorrect ou absent	Vérifier les branchements/câbles
		W31	Conduite de mesure vide	Vérifier que la conduite de mesure est pleine
		F60	Erreur interne	Remplacer MAG 5000/6000/6000 I
		Indéfini	P42	1. Pas de charge sur la sortie courant
			2. MAG 5000/6000/6000 I défectueux	Remplacer MAG 5000/6000/6000 I
		P41	Erreur d'initialisation	Mettre MAG 5000/6000/6000 I à l'arrêt, attendre 5 sec, remettre en marche
indique un débit sans débit dans la conduite	Indéfini		Conduite de mesure vide	Sélectionner coupure conduite vide
			Coupure conduite vide est OFF	Vérifier que la conduite de mesure est pleine
			Connexion électrode manquante/câble d'électrode mal blindé	Vérifier que le câble d'électrode est branché et suffisamment blindé
Signal de débit instable	Instable		1. Débit pulsatoire	Augmenter la constante de temps
			2. Conductivité du fluide trop faible	Utiliser un câble d'électrode spécial
			3. Bruit électrique potentiel entre le fluide et le capteur	Assurer une égalisation de potentiel suffisante
			4. Bulles d'air dans le fluide	Vérifier que le fluide ne contient pas de bulles d'air
			5. Forte concentration de particules ou de fibres	Augmenter la constante de temps

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

Symptôme	Signaux de sortie	Code d'erreur	Cause	Solution
Erreur de mesure	Indéfini		Installation incorrecte	Contrôler installation
		P40	Absence d'unité SENSORPROM®	Installer l'unité SENSORPROM®
		P44	Unité CT SENSORPROM®	Remplacer l'unité SENSORPROM® ou remettre à 0 l'unité SENSORPROM® avec le transmetteur MAG CT
		P49	Violation de protection	Mettre MAG 5000/6000/6000 I à l'arrêt, attendre 5 sec, remettre en marche.
		F61	Unité SENSORPROM® défectueuse	Remplacer l'unité SENSORPROM®
		F62	Type d'unité SENSORPROM® incorrect	Remplacer l'unité SENSORPROM®
		F63	Unité SENSORPROM® défectueuse	Remplacer l'unité SENSORPROM®
		F71	Perte de données internes	Remplacer MAG 5000/6000/6000 I
	Maximum	W30	Le débit est supérieur à 100% de $Q_{max}$ .	Vérifier $Q_{max}$ (paramètres de base)
		W21	Dépassement d'impulsions Volume/impulsion trop faible	Modifier volume/impulsion
Largeur d'impulsion trop grande	Modifier la largeur d'impulsion			
Valeur mesurée 50% env.			Un branchement d'électrode manquant	Vérifier les câbles
Perte de données compteur	OK	W20	Erreur d'initialisation	Remise à 0 manuelle du compteur
Caractères ##### affichés	OK		Dépassement du compteur	Remettre le compteur à 0 ou augmenter l'unité du compteur
Message de défaut conduite vide alors que Conduite vide est désactivée	OK	W31	Défaut de conduite vide	Mettre MAG 5000/6000/6000 I à l'arrêt, attendre 5 sec, remettre en marche

ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA

Annexe 20: Organigramme de l'ONEA (réalisé à partir de la version original)



Rédigé et soutenu par NGAKANOU NJOYA Roland Cesair, promotion : 2023-2024

## Annexe 21: Défaux sans affichage de message d'erreur (manuel d'opération Promag 50) [1]

Symptômes	Rectification de la panne
<b>Remarque</b> : Il se peut que vous deviez modifier ou corriger certains paramètres des fonctions de la matrice des fonctions afin de remédier à l'erreur.	
Les valeurs de débit sont négatives, même si le fluide s'écoule vers l'avant dans la conduite.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Version à distance : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Couper l'alimentation électrique et vérifier le câblage →  (voir câblage de la version déportée : pg.51 du manuel de mise en service)</li> <li>- Si nécessaire, inverser les connexions aux bornes 41 et 42.</li> </ul> </li> <li>Modifiez le réglage de la fonction "<b>CAPTEUR DE DIRECTION D'INSTALLATION</b>" en conséquence.</li> </ol>
Symptômes	Rectification de la panne
La valeur mesurée fluctue alors que le débit est constant.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Vérifier la mise à la terre et l'égalisation du potentiel →  (voir égalisation du potentiel : pg.60 du manuel de mise en service)</li> <li>Vérifier la présence de bulles de gaz dans le fluide.</li> <li>Dans la fonction "<b>SYSTEM DAMPING</b>" → augmenter la valeur.</li> </ol>
La valeur mesurée est affichée sur l'écran, bien que le fluide soit à l'arrêt et que le tube de mesure soit plein.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Vérifier la mise à la terre et l'égalisation du potentiel →  (se référer à la page 60 du manuel de mise en service)</li> <li>Vérifier la présence de bulles de gaz dans le fluide.</li> <li>Activer la fonction "<b>LOW FLOW CUTOFF</b>", c'est-à-dire entrer ou augmenter la valeur du point de commutation.</li> </ol>
La valeur mesurée est affichée sur l'écran, même si le tube de mesure est vide.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Effectuer le réglage tuyau vide/tuyau plein, puis activer la détection du tuyau vide →  (voir procédure d'ajustement conduite vide/ conduite pleine : pg.80).</li> <li>Version à distance : Vérifier les bornes du câble EPD →  (voir câblage de la version déportée : pg.51 du manuel de mise en service)</li> <li>Remplissez le tube de mesure.</li> </ol>
Le signal de sortie de courant est toujours de 4mA, quel que soit le signal de débit à un moment donné.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Sélectionnez la fonction "<b>BUS ADDRESS</b>" et mettez le réglage sur "<b>0</b>".</li> <li>Valeur de la ligne de fuite trop élevée. Réduire la valeur de la fonction "<b>LOW FLOW CUTOFF</b>".</li> </ol>
<b>Le défaut ne peut être corrigé ou un autre défaut</b>	Les options suivantes sont disponibles pour résoudre les

**ÉTUDE ET DIAGNOSTIC DES PANNES DES DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES DES SITES  
DE LA STATION DE POMPAGE N°3 (SP3) DE L'ONEA**

<p><b>non décrit ci-dessus est apparu.</b> <i>Dans ce cas, veuillez contacter votre service après-vente Endress+Hauser.</i></p>	<p>problèmes de cette nature :</p> <p><b><i>Demander les services d'un technicien Endress+Hauser</i></b></p> <p>Si vous contactez notre service après-vente pour qu'un technicien soit envoyé sur place, veuillez fournir les informations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Brève description de la panne</li> <li>- Caractéristiques de la plaque signalétique (→ voir « désignation de la plaque signalétique » : pg.6 du manuel de mise en service) : code de commande, numéro de série...</li> </ul>
<p><b>Symptômes</b></p>	<p><b>Rectification de la panne</b></p>
<p><b>(Suite)</b></p>	<p><b><i>Renvoi des appareils à Endress+Hauser</i></b></p> <p>Les procédures nécessaires (→ voir « retour de l'appareil chez E+H » : pg.5 du manuel de mise en service) doivent être suivies avant de renvoyer à Endress+Hauser un débitmètre nécessitant une réparation ou un étalonnage.</p> <p><b><i>Remplacer l'électronique du transmetteur</i></b></p> <p>Composants de l'électronique de mesure défectueux → commander des pièces de rechange →  93 Joignez toujours au débitmètre un formulaire de "déclaration de conformité" dûment rempli. Vous trouverez un exemplaire de ce formulaire à la fin de ce document.</p> <p><b><i>Remplacer l'électronique du transmetteur</i></b></p> <p>Composants de l'électronique de mesure défectueux → commander des pièces de rechange →  93.</p>