



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

**Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem**

كلية العلوم والتكنولوجيا

**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**

N° d'ordre : M...../GE/2020

**MEMOIRE**

Présenté pour obtenir le diplôme de

**MASTER Académique**

Option : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

- MORSLI Mohamed Abd El Wahab
- BOUICH Mohamed

**Intitulé du sujet**

**Techniques de Mesure et d'Etalonnage des Débitmètres au niveau  
de l'Usine de Dessalement d'Eau de Mer de Mostaganem.**

Président :	M.	Université ST
Examineur 1 :	M.	Université ST
Examineur 2 :	M.	Université ST
Encadreur :	M. Hadri Baghdad Professeur	Université ST
Co-encadreur :	M. Fattah Abdelkader	Université ST

Année Universitaire 2019/2020

## **REMERCIEMENT**

*Nous tenons à remercier nos encadreurs Monsieur HADRI Baghdad et Monsieur FATAH Abdelkader pour leurs orientations et leurs conseils, et tous les enseignants du département de génie électrique.*

*Nous remercions vivement le directeur monsieur Solis Pérez Enrique, monsieur Abdelkrim, monsieur GOULMANE Abderrezak, messieurs: Houari, Noureddine, Mohamed, Abdellah, madame GOULMANE et tous les cadres de l'usine de dessalement de Mostaganem.*

*Nos profonds respects et vifs remerciements à notre directeur, nos collègues de travail qui nous ont soutenues pendant notre formation et la réalisation de ce modeste projet.*

# **DEDICACE**

Je dédie ce modeste travail à :

- Ma chère femme.
- Mes chers enfants (Fatima Zohra, Ibrahim).
- Mes frères et sœurs et leurs enfants.
- Mes collègues de travail de l'Annexe ONML Mostaganem.
- Mon collègue qui m'a partagé cette réalisation et tous mes collègues de la spécialité de Master électrotechnique industriel et tous les professeurs de l'université de Mostaganem surtout les professeurs de la faculté des Science et de la technologie.

**Mohamed BOUICH**

# **DEDICACE**

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

- Ma très chère mère.
- Mes frères et mes sœurs.
- Mes collègues de travail de l'Annexe ONML Mostaganem.
- Mon binôme qui m'a aidé durant notre formation et à la réalisation de notre projet de fin d'étude.
- Tous mes collègues de Master II électrotechnique industriel (2019/2020).
- Tous les professeurs de la faculté des Science et de la technologie de l'université de Mostaganem.

**Merci**

**MORSLI Mohamed Abd El Wahab**

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux .....	III
Nomenclature .....	IV
Introduction Générale .....	V
<b>Chapitre I : Description de la station de Dessalement de l'eau de de mer de Mostaganem</b>	
1.1 Introduction .....	02
1.2 Définition du dessalement de l'eau de mer .....	02
1.3 Station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem .....	02
1.4 Description du système de traitement de la station .....	03
1.4.1 Captage et pompage de l'eau de mer .....	03
1.4.1.1 Tours de captage et tuyauterie de captage .....	03
1.4.1.2 Système anti-méduses .....	03
1.4.1.3 Système d'amorçage des pompes de l'eau de mer .....	04
1.4.1.4 Système de pompage de l'eau de mer .....	04
1.4.2 Système de prétraitement .....	04
1.4.2.1 La coagulation .....	04
1.4.2.2 La floculation .....	05
1.4.2.3 La décantation .....	05
1.4.2.4 Conditionnement chimique .....	05
1. Dosage d'hypochlorite de sodium .....	05
2. Dosage de permanganates de potassium .....	05
3. Dosage d'acide sulfurique .....	05
4. Dosage de coagulant (chlorure ferrique) .....	05
5. Dosage de poly électrolyte .....	06
6. Dosage de la soude caustique .....	06
7. Dosage de Meta bisulfite de sodium .....	06
8. Dosage du dispersant .....	06
1.4.2.5 Système de filtration .....	06
• Filtration de première étape .....	07
• Filtration de deuxième étape .....	07
1.4.2.6 Système de nettoyage des filtres .....	08
1.4.2.7 Système de microfiltration .....	08
1.4.3 Système d'osmose inverse .....	08
1.4.3.1 Système de pompage haute pression, pompes boosters et récupérateurs d'énergie .....	09
1.4.3.2 Châssis d'osmose inverse .....	09
1.4.3.3 Le nettoyage chimique .....	09
1.4.4 Système de reminéralisations .....	10
1.4.5 Stockage et impulsion de l'eau produite .....	10
1.5 Les avantages et les inconvénients liés au dessalement .....	11
1.5.1 Les avantages .....	11
1.5.2 Les inconvénients .....	11
1.6 Conclusion .....	12

**Chapitre II : Généralité sur les débitmètres**

2.1	Introduction .....	14
2.2	Débit .....	14
2.2.1	Définition du débit .....	14
2.2.2	Propriétés générale du débit .....	15
2.2.2.1	La viscosité .....	15
2.2.2.2	Le nombre de Reynolds .....	15
2.2.2.3	Ecoulements laminaire et turbulent .....	15
2.2.2.3.1	Ecoulement laminaire .....	15
2.2.2.3.2	Ecoulement turbulent .....	16
2.2.2.4	La vitesse .....	16
2.2.2.5	Relation débit /vitesse .....	16
2.2.2.6	Mesurage du débit .....	16
2.3	Qu'est-ce qu'un débitmètre ? .....	17
2.4	Les différents types de débitmètres .....	17
2.4.1	Débitmètre à effet Coriolis .....	18
2.4.1.1	Définition .....	18
2.4.1.2	Principe de fonctionnement de débitmètre Coriolis .....	18
2.4.1.3	Domaine d'utilisation .....	19
2.4.1.4	Conditions d'utilisation & performances et d'installation .....	19
2.4.1.5	Les avantages et Les inconvénients .....	20
2.4.1.5.1	Les avantages .....	20
2.4.1.5.2	Les inconvénients .....	20
2.4.2	Débitmètre à Ultrasons .....	20
2.4.2.1	Domaine d'utilisation .....	21
2.4.2.2	Conditions d'utilisation & performances et d'installation .....	21
2.4.2.3	Les avantages et Les inconvénients .....	21
2.4.2.3.1	Les avantages .....	21
2.4.2.3.2	Les inconvénients .....	21
2.4.3	Débitmètre à Orifice .....	22
2.4.4	Débitmètre à Turbine .....	22
2.4.4.1	Domaine d'utilisation .....	22
2.4.4.2	Conditions d'utilisation & performances et d'installation .....	23
2.4.4.3	Les Avantages et les inconvénients .....	23
2.4.4.3.1	Avantages .....	23
2.4.4.3.2	Inconvénients .....	23
2.4.5	Débitmètre électromagnétique .....	24
2.4.5.1	Domaine d'utilisation .....	24
2.4.5.2	Conditions d'utilisation & performances et d'installation .....	25
2.4.5.3	Les Avantages et les Inconvénients .....	25
2.4.5.3.1	Avantages .....	25
2.4.5.3.2	Inconvénients .....	25

2.4.6 Débitmètre à effet vortex .....	25
2.4.6.1 Domaine d'utilisation .....	26
2.4.6.2 Conditions d'utilisation & performances et d'installation .....	27
2.4.6.3 Les Avantages et les Inconvénients .....	27
2.4.6.3.1 Les Avantages .....	27
2.4.6.3.2 Les Inconvénients .....	27
2.4.7 Débitmètre Massique Thermique .....	27
2.4.7.1 Domaine d'utilisation .....	28
2.4.7.2 Conditions d'utilisation & performances et d'installation .....	28
2.4.7.3 Les Avantages et les Inconvénients .....	28
2.4.7.3.1 Les Avantages .....	28
2.4.7.3.2 Les Inconvénients .....	29
2.5 Choix d'un débitmètre .....	29
2.6 Conclusion .....	30

### **Chapitre III : Techniques de mesure de Débit**

3.1 Introduction .....	32
3.2 Débitmètres utilisées dans l'Usine .....	32
3.2.1 Débitmètres Electromagnétiques .....	32
3.2.1.1 Fonctionnement : Mesure de débit .....	32
3.2.1.2 Descriptif .....	32
3.2.1.2.1 Débitmètre électromagnétique Proline Promag 10W .....	32
3.2.1.2.1.1 Principe de fonctionnement et construction .....	33
3.2.1.2.1.2 Les avantages .....	34
3.2.1.2.1.3 Domaine d'application .....	34
3.2.1.2.1.4 Caractéristiques et spécifications de l'appareil .....	34
3.2.1.2.2 Débitmètre électromagnétique Proline Promag 50W .....	35
3.2.1.2.2.1 Principe de fonctionnement et construction .....	35
3.2.1.2.2.2 Les avantages .....	35
3.2.1.2.2.3 Domaine d'application .....	36
3.2.1.2.2.4 Caractéristiques et spécifications de l'appareil .....	36
3.2.1.3 Conditions de Montage et d'implantation des débitmètres Promag10/50 .....	37
3.2.1.3.1 Montage .....	37
3.2.1.3.1.1 Point de montage .....	37
3.2.1.3.1.2 Montage de pompes .....	37
3.2.1.3.1.3 Conduites partiellement remplies .....	37
3.2.1.3.1.4 Ecoulements gravitaires .....	38
3.2.1.3.2 Implantation .....	38
3.2.1.3.2.1 Implantation verticale .....	38
3.2.1.3.2.2 Implantation horizontale .....	39
3.2.1.3.2.3 Longueurs droites d'entrée et de sortie .....	39
3.2.2 Débitmètre massique .....	40
3.2.2.1 Débitmètre massique à effet Coriolis ROTAMASS TI .....	40

## SOMMAIRE

3.2.2.1.1	Descriptif .....	40
A-	Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Prime .....	40
-	Caractéristiques et spécifications .....	41
B-	Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Supreme .....	42
-	Caractéristiques et spécifications Supreme .....	42
3.2.2.1.2	Domaine d'utilisation .....	44
3.2.2.1.3	Les avantages et les utilités .....	44
3.2.2.1.4	Les avantages supplémentaires du modèle Ultimate .....	44
3.2.2.1.5	Principe de mesure ROTAMASS TI Prime / Supreme .....	44
3.2.2.1.5.1	Débit massique .....	45
3.2.2.1.5.2	Mesure de densité .....	46
3.2.2.1.5.3	Mesure de température .....	46
3.2.2.1.6	Identification du débitmètre .....	46
-	Plaques signalétiques .....	46
3.2.2.1.7	Conception Débitmètre Prime / Supreme .....	46
3.2.2.1.8	Conditions de Montage des débitmètres à effet Coriolis ROTAMASS TI Prime/Supreme ...	47
3.2.2.1.8.1	Indications de montage .....	47
A-	Position de montage .....	47
01	Position latérale .....	47
02	Montage horizontal .....	47
03	Montage vertical (recommandé) .....	47
B-	Lieu de montage .....	48
3.2.2.2	Débitmètre massique thermique proline t-mass65 .....	49
3.2.2.2.1	Identification .....	49
3.2.2.2.1.1	Désignation de l'appareil .....	49
3.2.2.2.2	Domaine d'application .....	50
3.2.2.2.3	Descriptif .....	50
A-	Débitmètre massique thermique proline t-mass 65F .....	50
-	Caractéristiques et spécifications t-mass 65F .....	50
B-	Débitmètre massique thermique proline t-mass 65I .....	51
-	Caractéristiques et spécifications t-mass 65I .....	51
3.2.2.2.4	Caractéristiques en plus de t-mass 65 .....	52
3.2.2.2.5	Principe de fonctionnement et construction du système .....	53
3.2.2.2.6	Les avantages .....	53
3.2.2.2.7	Conditions d'implantation des débitmètres massique thermique proline t-mass 65 .....	54
3.2.2.2.7.1	Orientation .....	54
a)	Orientation verticale .....	54
b)	Orientation horizontale .....	54
3.2.2.2.7.2	Longueurs droites d'entrée et de sortie .....	55
3.2.2.2.7.3	Sections de sortie avec prises de pression .....	55
3.2.2.2.7.4	Tranquillisateur de débit à plaque perforée .....	56
3.3	Conclusion .....	56

**Chapitre IV : Principe d'Etalonnage des débitmètres 57-72**

4.1	Introduction .....	58
4.2	Les systèmes d'étalonnage et de vérification des débitmètres .....	59
4.2.1	Méthode gravimétrique .....	59
4.2.1.1	Principe .....	60
4.2.2	Méthode volumétrique .....	60
	A- La méthode par réservoir volumétrique à volume fixe .....	61
	B- La méthode par sphère-étalon à volume fixe .....	61
4.2.3	Méthode par comparaison .....	61
4.3	Etalonnage des débitmètres utilisés .....	62
4.3.1	Débitmètre Massique .....	62
4.3.2	Calibration du débit massique .....	62
4.3.3	Essais gravimétriques des débitmètres massiques à effet de Coriolis .....	63
4.3.3.1	Application .....	63
4.3.3.2	Matériel .....	63
4.3.3.3	Facteurs à prendre en considération et vérifications préalables aux essais .....	63
4.3.3.4	Méthode d'exécution des essais .....	64
4.3.3.5	Méthode de réalisation de chaque essai .....	64
4.3.3.6	Interprétation des résultats .....	64
4.4	Etalonnage de débitmètre transactionnel .....	65
4.4.1	Procédure d'étalonnage d'un débitmètre électromagnétique .....	65
4.4.1.1	Méthode d'étalonnage d'un débitmètre électromagnétique transactionnel sur site .....	65
4.4.1.2	Les étapes de la méthode d'étalonnage .....	65
	- Etape1 : détermination de la capacité de réservoir .....	65
	- Etape2 : contrôle et vérification les paramètres .....	66
	- Etape3 : les essais avec le coefficient d'étalonnage du fabricant .....	67
	- les résultats d'étalonnage .....	68
	- la courbe d'étalonnage .....	69
	- Interprétation des résultats .....	69
	- Etape4 : les essais avec correction du coefficient d'étalonnage par l'ONML .....	69
	- les résultats d'étalonnage .....	71
	- la courbe d'étalonnage .....	72
	- Interprétation des résultats .....	72
4.5	Conclusion .....	72
	Conclusion Générale .....	74
	Références Bibliographie .....	76
	L'Annexe .....	78

**Chapitre I : Description de la station de Dessalement de l'eau de de mer de Mostaganem**

Figure I.1 : La station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem .....	03
Figure I.2 : Description du procédé de captage .....	04
Figure I.3 : Système de dosage d'hypochlorite de sodium .....	06
Figure I.4 : Filtration 1 <sup>ère</sup> étape .....	07
Figure I.5 : Filtration 2 <sup>ème</sup> étape .....	08
Figure I.6 : Système de pompage de l'eau produite .....	11
Figure I.7 : La station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem vue par Google Earth .....	12

**Chapitre II : Généralité sur les débitmètres**

Figure II.1 : Débit d'une canalisation de section S .....	14
Figure II.2 : Différents types d'écoulement .....	16
Figure II.3 : Un débitmètre .....	17
Figure II.4 : débitmètre à effet CORIOLIS .....	18
Figure II.5 : débitmètre à effet CORIOLIS .....	19
Figure II.6 : Schéma principe de mesure à ultrasons .....	20
Figure II.7 : débitmètre à orifice .....	22
Figure II.8 : débitmètre à turbine .....	22
Figure II.9 : débitmètre électromagnétique .....	24
Figure II.10 : Débitmètre à effet Vortex .....	26
Figure II.11 : Débitmètre massique thermique .....	28

**Chapitre III : Techniques de mesure de Débit**

Figure III.1 : Débitmètre électromagnétique Proline Promag 10 .....	33
Figure III.2 : Principe de fonctionnement des Débitmètres électromagnétiques Proline Promag .....	33
Figure III.3 : Débitmètre électromagnétique Proline Promag 50 .....	35
Figure III.4 : Point de montage .....	37
Figure III.5 : Montage de pompes .....	37
Figure III.6 : Montage lors de conduites partiellement remplies .....	38
Figure III.7 : Conditions d'implantation dans le cas d'écoulements gravitaires .....	38
Figure III.8 : Implantation verticale .....	39
Figure III.9 : Implantation horizontale .....	39
Figure III.10 : Longueurs d'entrée et de sortie .....	39
Figure III.11 : Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Prime .....	40
Figure III.12 : Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Supreme .....	42
Figure III.13 : Principe de mesure de Coriolis .....	45
Figure III.14 : Forces de Coriolis et déformations des tubes de mesure .....	45
Figure III.15 : Le déphasage $\Delta\phi$ entre les signaux des bobines S1 et S2 .....	45
Figure III.16 : Conception du type intégré de Rotamass Prime/Supreme .....	47

Figure III.17 : Positions latérale de débitmètre .....	47
Figure III.18 : Montage horizontal tubes de mesure vers le bas / vers le haut .....	48
Figure III.19 : Montage vertical .....	48
Figure III.20 : Vannes d'arrêt et conduite de dérivation .....	49
Figure III.21 : débitmètres Proline t-mass 65 F (à bride) .....	50
Figure III.22 : débitmètres Proline t-mass 65 I (à insertion) .....	51
Figure III.23 : Principe de fonctionnement de Proline t-mass 65 .....	53
Figure III.24 : Les longueurs droites minimales E/S en multiples du diamètre de conduite .....	55
Figure III.25 : Installation d'une prise de pression (PT = transmetteur de pression) .....	56
Figure III.26 : Les longueurs droites minimales E/S en multiples du diamètre de conduite .....	56

### Chapitre IV : Principe d'Etalonnage des débitmètres

Figure IV.1 : Etalonnage du compteur d'eau par la méthode de jaugeage avec balance de pesée (Gravimétrique) .....	59
Figure IV.2 : La méthode d'étalonnage Gravimétrique .....	59
Figure IV.3 : La méthode d'étalonnage Volumétrique .....	60
Figure IV.4 : étalonnage débitmètre par tube –étalon .....	61
Figure IV.5 : La méthode d'étalonnage par comparaison (débitmètre de référence) .....	61
Figure IV.6 : Courbe du 1 <sup>er</sup> étalonnage de débitmètre électromagnétique .....	69
Figure IV.7 : Courbe du 2 <sup>eme</sup> étalonnage de débitmètre électromagnétique .....	72

Liste des tableaux

**Chapitre II : Généralité sur les débitmètres**

Tableau II.1 : Les critères de choix d'un débitmètre ..... 29

**Chapitre IV : Principe d'Etalonnage des débitmètres**

Tableau IV.1 : Les conditions de référence de calibration de débit massique ..... 62

Tableau IV.2 : Tableaux des résultats du 1<sup>er</sup> étalonnage de débitmètre électromagnétique ..... 68

Tableau IV.3 : Tableaux des résultats d'étalonnage de débitmètre électromagnétique ..... 72

Nomenclature

Symbole	Grandeur	Unité SI
la région MENA	Middle East North Africa	-
MRE	Ministère des Ressources en Eaux	-
STMM	Shariket Tahlyat Miyah Mostaganem	-
ADE	Algérienne Des Eaux	-
les pompes HP	les pompes Haute Pression	-
MTD garanties	Matière Total Dissolue garanties	-
$Q_m$	le débit massique	kg/s
$Q_v$	débit volumique	m <sup>3</sup> /s
$\rho$	la masse volumique	kg/m <sup>3</sup>
$\nu$	la viscosité dynamique	Pa.s
Re	Le nombre de Reynolds	-
v	Vitesse du liquide	m/s
D	Diamètre interne de la conduite	m
DN	Diamètre nominale	mm
$\mu$	viscosité du liquide	Pa.s
F	La force de CORIOLIS	-
m	La masse	Kg
t	Temps de d'écoulement	s
S	Surface	m <sup>2</sup>
L	distance entre émetteur et récepteur	m
C	vitesse de propagation du son dans le	m/s
ISO	International Standard Organisation	-
$f$	fréquence des tourbillons	Hz
<b>E</b>	force électromotrice induite	Volt
<b>B</b>	intensité d'induction magnétique	Tesla
IP	Indice de protection	-
DPP	Détection présence produit	-
SD	Sauvegarde de données sur carte micro	-
CSR	Conditions du Site de Référence	-
DPT	transmetteur de pression différentielle	Pa
$\Delta p$	Différence de pression	Bar
m.c.e	mètre de colonne d'eau	-

# Introduction Générale

### Introduction Générale

L'eau est un élément indispensable à toute forme de vie. Elle n'est, malheureusement pas disponible en quantité infinie sur notre planète et elle n'est pas toujours disponible là où on en a le plus besoin. Avec le développement de l'Homme et des mégapoles où il vit désormais, le problème de la disponibilité de l'eau se pose avec acuité et se posera d'avantage dans un avenir proche, ce qui constitue une perspective inquiétante. [1]

Il se pose en matière de qualité pour les pays du Nord et en matière de quantité pour les pays du Sud.

L'Algérie n'échappe malheureusement pas à cette situation de raréfaction de ce précieux liquide. Cette situation est due à un essor démographique très important, à un exode rural vers la zone côtière qui abrite les grandes villes, à une élévation du niveau de vie, à une agriculture irriguée croissante qui nécessite de grandes quantités d'eau et à une activité industrielle grandissante. De plus, les changements climatiques, qui provoquent de longue période de sécheresse, viennent augmenter la pression due au déficit en ressource en eaux.

Pour la résolution de cette problématique, l'Algérie, comme beaucoup d'autres pays de la région MENA, a eu recours, depuis une quinzaine d'années, à des ressources en eaux dites «non conventionnelles». La plus importante méthode sur laquelle s'est basée l'excellente politique de notre Ministère des Ressources en Eaux (MRE) pour mettre fin à cette situation de crise, est la technique de dessalement de l'eau de mer. [1]

L'investissement dans un projet de réalisation d'une station de dessalement de l'eau de mer coûte très cher, La rentabilité de ce projet nécessite une exploitation rationnelle du réseau et des équipements installés, d'où une détermination de la mesure de débit transporté avec une précision satisfaisante et nécessaire.

La distribution de l'eau par canalisation des champs de production vers l'utilisateur, nécessite un suivi strict et rigoureux de la part des opérateurs chargés de la détermination des quantités de produits. Pour réaliser cette opération de comptage plusieurs facteurs entrent en jeu. L'objectif est de faire un acheminement des produits avec le minimum des pertes car la moindre erreur sur les quantités des fluides transportées peut causer des pertes financières considérables. Pour cela, la mesure de débit des fluides joue un rôle primordial. Il n'existe pas une technologie unique permettant de répondre aux exigences de chaque application de mesure, mais il y en a toujours une plus adaptée. Par conséquent, le suivi de l'évolution des technologies de comptage en vue de l'augmentation de la précision doivent intéresser pour la société (STMM) et ses partenaires.

La mesure du débit de fluides est tout simplement primordiale et capitale. Cette mesure s'effectue à l'aide d'un appareil dit « débitmètre ». [2]

Tout débitmètre est étalonné et vérifié par son constructeur sur banc d'essai afin de déterminer ces coefficients caractéristiques. [2]

L'objectif de ce travail est faire une étude sur quelques débitmètres importants représentant en même temps la grande majorité de ceux utilisés dans l'industrie. Le principe du fonctionnement, la mise en œuvre industrielle et les conditions d'installation et d'utilisation seront explicités pour chaque débitmètre. Des tableaux récapitulant les avantages et les Inconvénients de chaque débitmètre faciliteront le choix de l'appareil le mieux adapté. Nous allons appliquer un type des systèmes d'étalonnage d'un débitmètre sur site en montrant l'importance cette méthode.

Nous avons planifiés notre travail comme suit :

Chapitre I : Description de la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem.

Chapitre II : Généralités sur les débitmètres.

Chapitre III : Technique mesure de débit.

Chapitre IV : Principe d'étalonnage des débitmètres.

# CHAPITRE I

## **Description de la station de Dessalement de l'eau de mer de Mostaganem**

## 1.1 Introduction :

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. En 1964, trois petits blocs de 8 m<sup>3</sup>/h chacun, ont été installés au complexe gaz fondu d'Arzew (ville côtière à l'Ouest du pays), et en 1969, une autre station a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m<sup>3</sup>/jour, ainsi de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mises en place en parallèle avec les nouveaux complexes. [3]

L'une des stations à grande capacité est celle d'El-Hamma (fonctionnelle en 2007) à Alger, elle produit 200 000 m<sup>3</sup>/jour (plus grande usine de dessalement d'Afrique). Elle permettra de couvrir le tiers des besoins en eau de la capitale d'Alger. L'autre grand projet de dessalement celui d'Oran (ouest du pays), le projet de Mactaa près de Mersa El Hadjadj, d'une capacité estimée à 500 000 m<sup>3</sup>/jour est considéré comme l'un des plus grands projets dans le monde. A Tlemcen, deux projets d'une capacité respective de 200.000 m<sup>3</sup>/jour à la commune de Souk Tlata et à Honein, alors que Beni Saf abritera une station de 200.000 m<sup>3</sup> et Mostaganem deux projets de dessalement de l'eau de mer de 200 000 m<sup>3</sup>.

## 1.2 Définition du dessalement de l'eau de mer :

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale. [4]

L'eau de mer contient en moyenne 35g/l de sel qui sont essentiellement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium (11%), des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%). Dans l'eau, Les sels sont sous forme d'anions : chlorures et sulfates parallèlement aux cations : sodium, magnésium, calcium et potassium. La salinité de l'eau de mer n'est pas constante. Dans les zones maritimes chaudes et partiellement fermées elle est plus élevée : en méditerranée elle varie de 36 à 39g/l, dans Le Golfe Persique elle peut monter au-delà de 60g/l. C'est l'inverse dans les mers froides recevant de forts apports fluviaux : 7g/l dans la Baltique.

## 1.3 Station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem :

La station de dessalement de l'eau de mer est située à une dizaine de kilomètres à l'est de la Wilaya de Mostaganem et implantée dans la zone de Sonachther, elle a une capacité de production de 200.000 m<sup>3</sup> /jour pour satisfaire les besoins en eau potable d'une population de 1 333 320 habitants, elle est entrée définitivement en production en Octobre 2011 en application d'un programme de production et de livraison de l'eau potable.

Le processus du dessalement appliqué dans cette station est basé sur l'osmose inverse, ce type d'installation se compose de sections à procédés industriels suivant :

- Une prise d'eau de mer.

- Un poste de prétraitement.
- Les unités d'osmose inverse.
- Un poste de conditionnement de l'eau potable



**Figure I.1 :** La station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem.

## 1.4 Description du système de traitement de la station :

### 1.4.1 Captage et pompage de l'eau de mer

Il a pour but d'impulser vers le prétraitement de l'eau de mer en quantité et à la pression nécessaire pour produire la quantité d'eau potable désirée. Il comprend les sous-systèmes suivants.

#### 1.4.1.1 Tours de captage et tuyauterie de captage

Le captage se fait à travers deux tours de prise connectées au réservoir de pompage d'eau de mer par deux tuyauteries en PEHD de 1.8m de diamètre où l'eau doit circuler à une vitesse de 1m/s. Les tours de prise sont submergées à une distance de la côte d'environ 2500 m et 16.5 m de profondeur. L'eau de mer passe à l'intérieur de chaque tour de prise à travers quatre grilles en PRFV rectangulaires de 3.89×1.42 m et de trous de 3.54×1.3cm installées pour éviter le passage de poissons, méduses, cailloux, Ces grilles peuvent être extraites par plongeurs pour éliminer des éventuelles incrustations.

Chacune des tuyauteries de prise peut être isolée pour réaliser des activités d'entretien à l'intérieur sans arrêter la station à l'aide des vannes murales installées dans le réservoir de captage.

#### 1.4.1.2 Système anti-méduses :

Une des raisons pour laquelle le niveau dans le réservoir de captage d'eau de mer peut être éventuellement trop bas est l'obturation des grilles des tours de captage, occasionnée par des méduses, algues et poissons. Le système anti-méduses a été conçu pour générer un rideau d'air autour des grilles que fasse flotter ces éléments vers la surface.

### 1.4.1.3 Système d'amorçage des pompes de l'eau de mer

L'aspiration des pompes d'eau de mer sera normalement plus haute que le niveau d'eau du réservoir du captage. Le système d'amorçage des pompes d'eau de mer a pour objet d'extraire l'air des conductions d'aspiration des pompes d'eau de mer. Le système ne peut pas amorcer qu'une pompe à la fois.

### 1.4.1.4 Système de pompage de l'eau de mer :

Ce système a pour objet de fournir à l'eau de mer prétraitée la quantité et la pression nécessaire pour avoir la quantité d'eau produite désirée. Ces systèmes ont été conçus pour pomper un débit de 2380 m<sup>3</sup>/h à une pression de 67 m.c.e. (mètre de colonne d'eau)

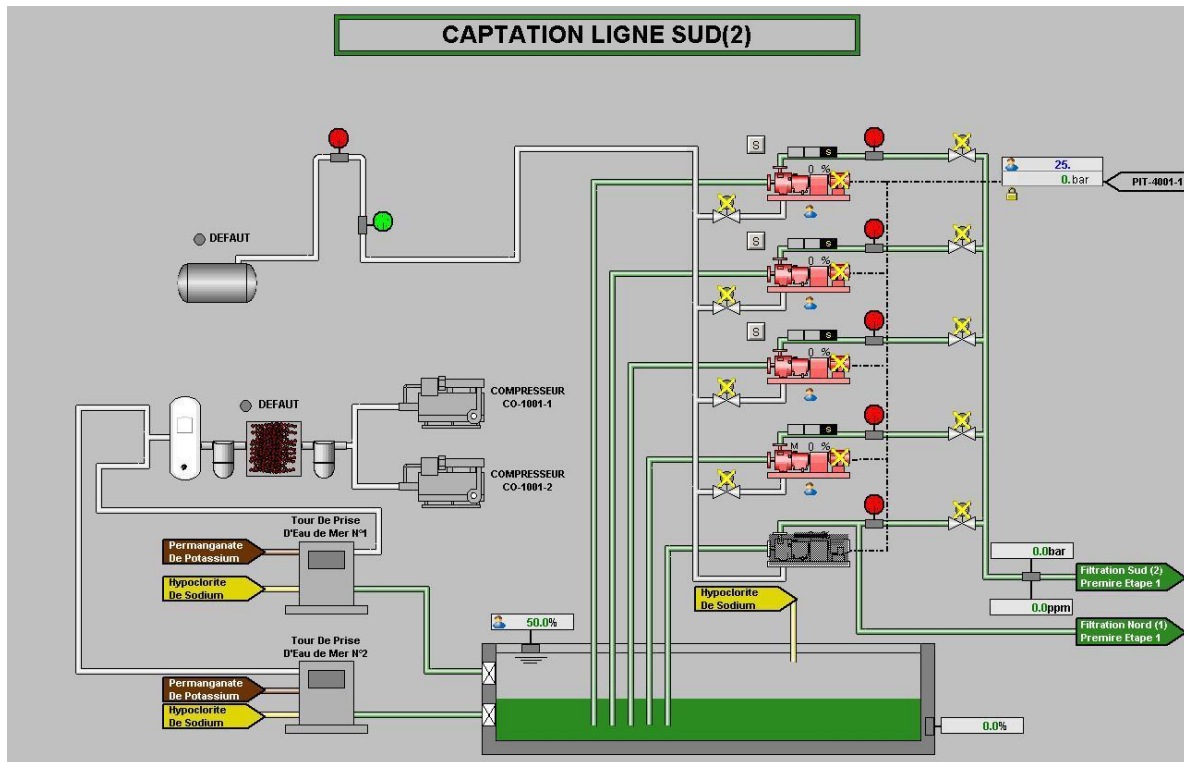


Figure I.2 : Description du procédé de captage

### 1.4.2 Système de prétraitement :

L'objet du système de prétraitement est de conditionner l'eau de mer du point de vue physicochimique pour protéger et maximiser la performance du système d'osmose inverse, de même augmenter la durée de vie des membranes. Les principaux modes du prétraitement sont les suivants :

#### 1.4.2.1 La coagulation :

La coagulation est l'élimination des substances indésirables présentes dans les eaux naturelles, qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales causant la turbidité) et celles qui sont dissoutes (matières organiques causant la coloration de l'eau) par l'introduction des réactifs chimiques appelés coagulants. [5]

Donc, le but de la coagulation c'est la neutralisation des charges primaires qui permet d'annuler les forces de répulsion suivie par le piégeage dans les précipités. Cette neutralisation se déroule par l'intermédiaire des composés de deux métaux lourds  $Al^{+3}$  et Fe.

### 1.4.2.2 La floculation :

La floculation consiste à agglomérer sous forme de floccs les particules colloïdales neutralisées au paravent par coagulation. Les membranes d'osmose inverse étant chargées négativement, il est recommandé d'utiliser des floculants anioniques ou non ioniques, les floculants sont des composés agissant par pontage, par les quelles des éléments solubilisés sont mécaniquement transportés sous une forme séparable. On distingue des floculants naturels et synthétiques. Parmi celles du dernières : les polymères chargés ou polyélectrolytes, qui définissent également par leur densité de charge. D'après, les polyélectrolytes jouent un rôle important dans l'adhésion des bactéries sur les surfaces et la floculation biologique. [6]

### 1.4.2.3 La décantation :

Après l'étape de coagulation floculation, si la densité de ces floccs est supérieure à celle de l'eau, il y'a décantation. Toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces : la force de pesanteur qui est l'élément moteur, permet la chute de ces particules et les forces de frottement dues à la traînée du fluide s'opposent à ce mouvement. [6]

### 1.4.2.4 Conditionnement chimique :

Après filtration à sable, des équipements de dosage font partie de prétraitement chimique appliqué à l'eau de mer avant l'entrée dans les membranes :

#### 1. Dosage d'hypochlorite de sodium :

Il s'agit d'un système de dosage (figure I.3) pour la désinfection de l'eau de mer qui se compose de 3 réservoirs (60 000 l). La détermination de la dose de NaClO nécessaire doit être faite à l'eau de mer au laboratoire pour assurer sa désinfection ainsi que celles des filtres permettant ainsi la réduction de la croissance biologique dans l'eau.

#### 2. Dosage de permanganates de potassium :

Pour l'oxydation et la désinfection l'emploi d'hypochlorite est efficace, mais l'emploi de permanganates de potassium est plus utile pour les micros incrustations qui pouvant apparaître dans les tours de captage et/ou tuyauteries de prise.

#### 3. Dosage d'acide sulfurique :

L'efficacité du procès de coagulation-floculation est normalement plus élevée pour valeurs du pH bas, le rôle du dosage d'acide sulfurique est réduire le pH de l'eau de mer pour optimiser le rendement de ces procès. La dose nécessaire sera déterminée après l'analyse du pH.

#### 4. Dosage de coagulant (chlorure ferrique) :

Il s'agit d'un système de dosage composé de deux réservoirs(40 000 l) qui vise la coagulation de l'eau brute préalablement à l'étape de filtration qui est appliquée dans le cas où l'eau de mer a une turbidité élevée.

## 5. Dosage de poly électrolyte :

Il s'agit d'un système de dosage de flocculant dans l'eau brute. Il est composé de deux réservoirs (2 500 l). Sa dose nécessaire sera déterminée en laboratoire.

## 6. Dosage de la soude caustique :

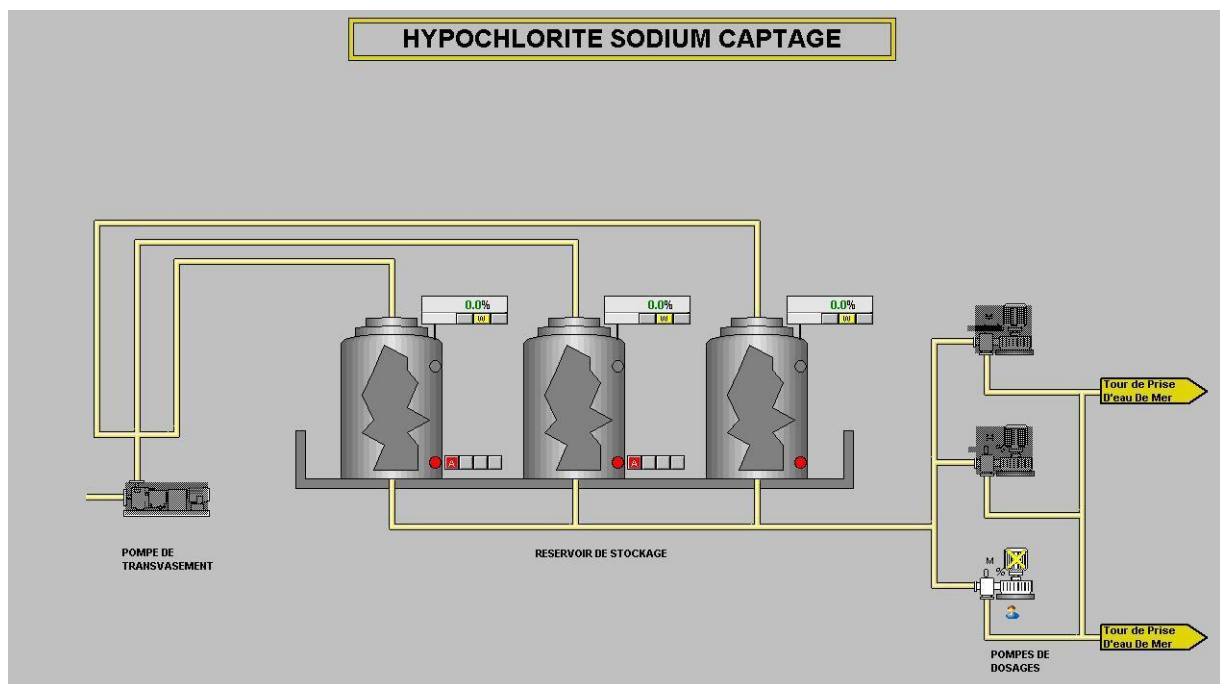
L'élimination de certains ions par le système d'osmose inverse, comme le bore, est plus efficace pour des valeurs de pH élevées, la fonction du système de dosage de soude caustique est d'augmenter le pH de l'eau micro-filtrée. Il est composé d'un réservoir de 40 000 l.

## 7. Dosage de Meta bisulfite de sodium :

L'efficacité de ce procès est la réduction et l'élimination des résidus de chlore dans l'eau d'entrée aux membranes. Il est composé de deux réservoirs (2 500 l).

## 8. Dosage du dispersant :

Il s'agit d'un système de dosage pour inhiber le tartre dans le procès de l'osmose inverse qui s'applique à l'eau d'entrée aux membranes.



**Figure I.3 :** Système de dosage d'hypochlorite de sodium.

#### 1.4.2.5 Système de filtration :

Ce système élimine les flocons formés par les systèmes de coagulation-floculation et les particules en suspension de l'eau de mer pour protéger et améliorer la performance du système de l'osmose inverse. L'usine est équipée avec deux étapes de filtration, une première étape avec des filtres mixtes à sable-anthracite et une seconde étape avec des filtres à sable.

Pour optimiser la durabilité des membranes d'osmose et des cartouches des micro-filtres, il est recommandé de maintenir la SDI en aval du système de filtration et en amont du système de microfiltration au-dessous de 3 SDI. Si leur valeur recommandée est atteinte à la sortie de la première étape de filtration, la deuxième pourra être by passée.

- **Filtration de première étape :**

L'usine est équipée avec deux lignes de filtration de première étape avec douze (12) filtres horizontaux à pression chacune, travaillant à une vitesse de  $8.45\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  et chaque filtre est construit en acier au carbone recouvert à l'intérieur de caoutchouc naturel de 3mm d'épaisseur et il a une surface moyenne de filtration de  $91.39\text{ m}^2$  et un diamètre de 4.00 m d'une longueur totale de 24.04 m.

Le nettoyage des filtres se fasse avec de l'air et de la saumure provenant du procès d'osmose inverse. Afin d'améliorer une distribution homogène de l'eau et de l'air de nettoyage des crépines en polypropylène par  $1\text{m}^2$  s'installent sur les faux fonds des filtres.

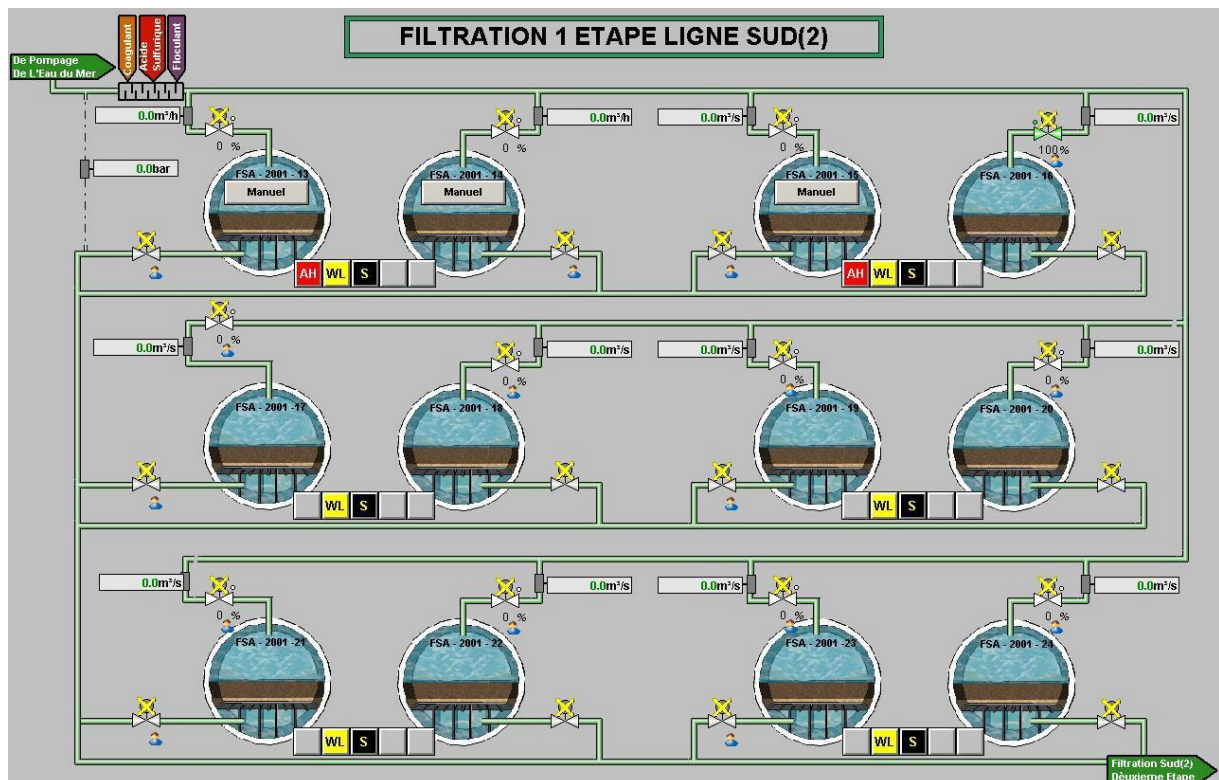


Figure I.4 : Filtration 1<sup>ère</sup> étape.

- **Filtration de deuxième étape :**

Ils existent deux batteries munies de huit filtres de pression horizontale (figure I.5) chacun travaillant à une vitesse de  $12.87\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ , chaque filtre a une surface filtrante moyenne  $90.04\text{ m}^2$  et leurs dimensions sont les mêmes que celles des filtres à sable de la première étape. Le sable se compose par des grains propres et libres d'argile, de poussière et des matières organiques. Il est libre de fer et de manganèse dans des quantités ou des morphologies qui risqueraient de nuire la qualité de l'eau filtrée.

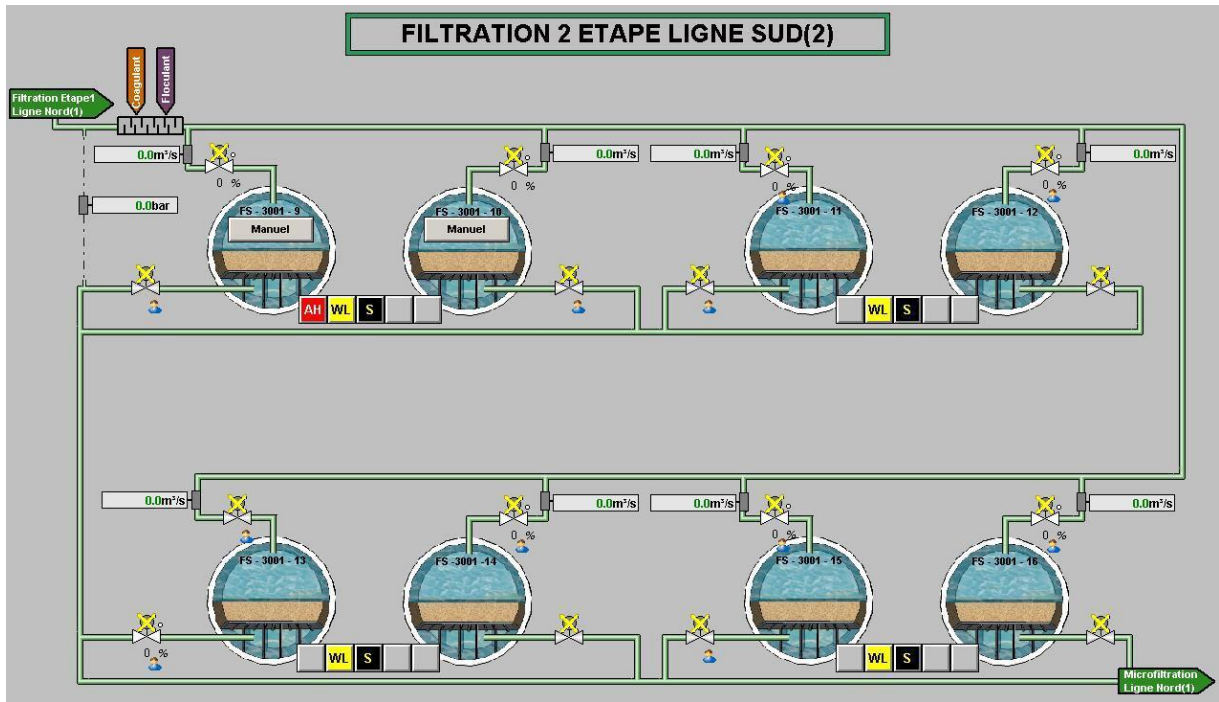


Figure I.5 : Filtration 2<sup>ème</sup> étape.

**1.4.2.6 Système de nettoyage des filtres :**

Le procès de nettoyage est appliqué parce que la porosité de la masse filtrante des filtres sera réduite progressivement au fur et à mesure que les floccules et la matière suspendue soit déposées sur elle. Cette situation causera :

- Une augmentation des pertes de charge du système portant à une augmentation de la consommation électrique de l'usine.
- Une augmentation de la vitesse de l'eau de mer traversant le reste des filtres portant à une réduction d'efficacité du procès de filtration.

La vitesse maximale de nettoyage est 30 m/h.

**1.4.2.7 Système de microfiltration :**

La fonction du système de microfiltration est protéger le système d'osmose inverse empêchant le passage des particules suspendues dans l'eau filtrée non-retenues par les filtres au système de pompage d'haute pression. La microfiltration ne permet pas passer que des particules de tailles <5µm.

Chaque filtre est muni de 360 cartouches logées dans une carcasse en PRFV et sont fabriqués en polypropylène de 1250 mm de longueur, le débit unitaire par cartouche est de 2.85m<sup>3</sup>/h lorsque les 9 seront en activité, et il atteindra le 3.20 m<sup>3</sup>/h lorsque l'un d'entre eux est isolé pour le changement de ses cartouches.

**1.4.3 Système d'osmose inverse :**

Le système de l'osmose inverse est le cœur de l'usine et sa fonction est de réduire la teneur en sels de l'eau micro-filtrée, il est composé des sous-systèmes suivants :

### 1.4.3.1 Système de pompage haute pression, pompes boosters et récupérateurs d'énergie :

La fonction du système de pompage d'haute pression est d'impulser l'eau micro-filtrée vers les châssis d'osmose inverse avec la pression nécessaire pour vaincre la pression osmotique en assurant la production du débit d'eau déminéralisée désirée. Approximativement 65% du débit d'eau micro-filtrée requis sera impulsée vers les châssis et les pompes HP. Le reste du débit sera pressurisé jusqu'à atteindre la pression d'attaque aux membranes nécessaires avec les échangeurs de pression et de pompes booster.

Dans les chambres isobariques l'énergie hydraulique résiduelle de la saumure est transmise à l'eau micro-filtrée. Ensuite, les pompes boosters augmentent la pression d'alimentation aux châssis de membranes d'osmose inverse.

### 1.4.3.2 Châssis d'osmose inverse :

Les membranes proposées sont de surface élevée de la marque FILMTEC. Elles sont fabriquées en polyamide aromatique et leurs configurations sont spirales.

### 1.4.3.3 Le nettoyage chimique :

Par leurs usages les membranes d'osmose inverse sont obstruées lentement diminuant ainsi le débit produit par les mêmes. L'encrassement peut être dû aux matériaux colloïdes, aux petites précipitations...etc. Dans le but de maintenir sous contrôle ces encrassements et restituer aux membranes une partie des propriétés perdues, il est nécessaire de les laver périodiquement, lorsque :

- La perte de pression des membranes accroît de plus de 20 % par rapport à la valeur initiale.
- Le passage des sels du module dépasse 30% des valeurs initiales.
- Le débit produit est inférieur à 15% du débit initial.

La fréquence des nettoyages dépend de la nature de l'eau, il est conseillé de laver les membranes une fois tous les 6 mois avec une solution pour le nettoyage qui traverse 2 filtres à cartouche jusqu'au différent châssis d'osmose inverse.

Le système de nettoyage se compose d'un réservoir de 80 m<sup>3</sup> de capacité où se prépare la solution pour le nettoyage, des résistances pour chauffer la solution si nécessaire, des interrupteurs de niveau, thermomètre et transmetteur de température. Il est équipé aussi d'un système d'agitation constitué à son tour par des éjecteurs et des pompes de refoulement avec un débit (flow) unitaire 31m<sup>3</sup>/h.

Après la dilution des produit chimique dans l'eau osmotique à l'aide des pompes de refoulement, l'eau est pousser par les pompes centrifuge à débit unitaire 684 m<sup>3</sup>/h et le tube d'impulsion est équipé avec un débitmètre. Le circuit de nettoyage chimique travaille à basse pression et isolé de tous les châssis par des robinets à boisseau à commande manuelle muni des fins de course.

En outre, pendant les opérations de nettoyage chimique le contacte entre les échangeurs de pression et la solution chimique doit être évité. Pour y arriver, on installe dans le collecteur de rejet un robinet à boisseau à commande manuelle par châssis. La sortie de l'eau depuis les châssis d'osmose inverse en prévenance du rejet et du perméat est refoulée au réservoir de nettoyage chimique, donc il est

conseillé de rejeter 10% du volume de la station refoulée car son taux d'encrassement peut avoir augmenté.

#### 1.4.4 Système de reminéralisations :

A la fin du procès de l'osmose inverse, l'eau osmotique est reminéralisée pour diminuer l'agressivité de l'eau et atteindre les valeurs d'alcalinité, dureté, pH, Indice de Langelier et MTD garanties. L'eau est stockée dans un réservoir de 6m d'hauteur, c.à.d. à un quota suffisant pour permettre le passage de l'eau osmotique à travers les lits à calcite par l'effet de la gravite, et atteindre ainsi, le réservoir de stockage de l'eau produite. Ce réservoir est devisé en deux de telle sorte que les lignes de production restent indépendantes jusqu'à l'entrée du réservoir de l'eau potable.

Le système de reminéralisations est constitué de deux ensembles de lits de calcite (chacun est composé de 30 cellules de 14 m<sup>2</sup> de surface) et d'un procès de dosage de CO<sub>2</sub> fait dans la tuyauterie de raccordement du réservoir de l'eau osmotique avec les réservoirs des couches de calcite. L'eau rentre par le bas des cellules et distribuée à travers des faux fonds des lits de calcite. L'anhydride carbonique dissous dans l'eau réagit avec le carbone calcique du lit formant le bicarbonate calcique soluble, avec lequel le pH augmente.

Une fois passée la réaction de reminéralisations, on aura amélioré la dureté et l'alcalinité de l'eau, et il existera un résiduel de CO<sub>2</sub> en équilibre avec le HCO<sub>3</sub> qui déterminera le pH de l'eau produite.

#### 1.4.5 Stockage et impulsion de l'eau produite :

Ce système a pour objet de pomper l'eau produite vers le réseau de distribution à travers le réseau de transport d'eau externe géré par l'Algérienne Des Eaux. Le système d'impulsion et de stockage d'eau produite comme le représente la Figure I.6 est composé de :

✓ **Réservoir d'eau reminéralisée :**

Le réservoir d'eau reminéralisé a une capacité de 4000 m<sup>3</sup> et il fabriqué en béton armé. Le réservoir est muni avec des capteurs de niveau, des interrupteurs de niveau et des transmetteurs de pH.

✓ **Système de pompage d'eau reminéralisée :**

L'eau commercialisable est pompée vers le réseau de distribution par 8+1 pompes assurent 1150 m<sup>3</sup>/h par pompe, dans le pompage s'installent : un débitmètre, des transmetteurs de pH, un analyseur de chlore, un transmetteur de conductivité et un turbidimètre.

✓ **Regard de livraison.**

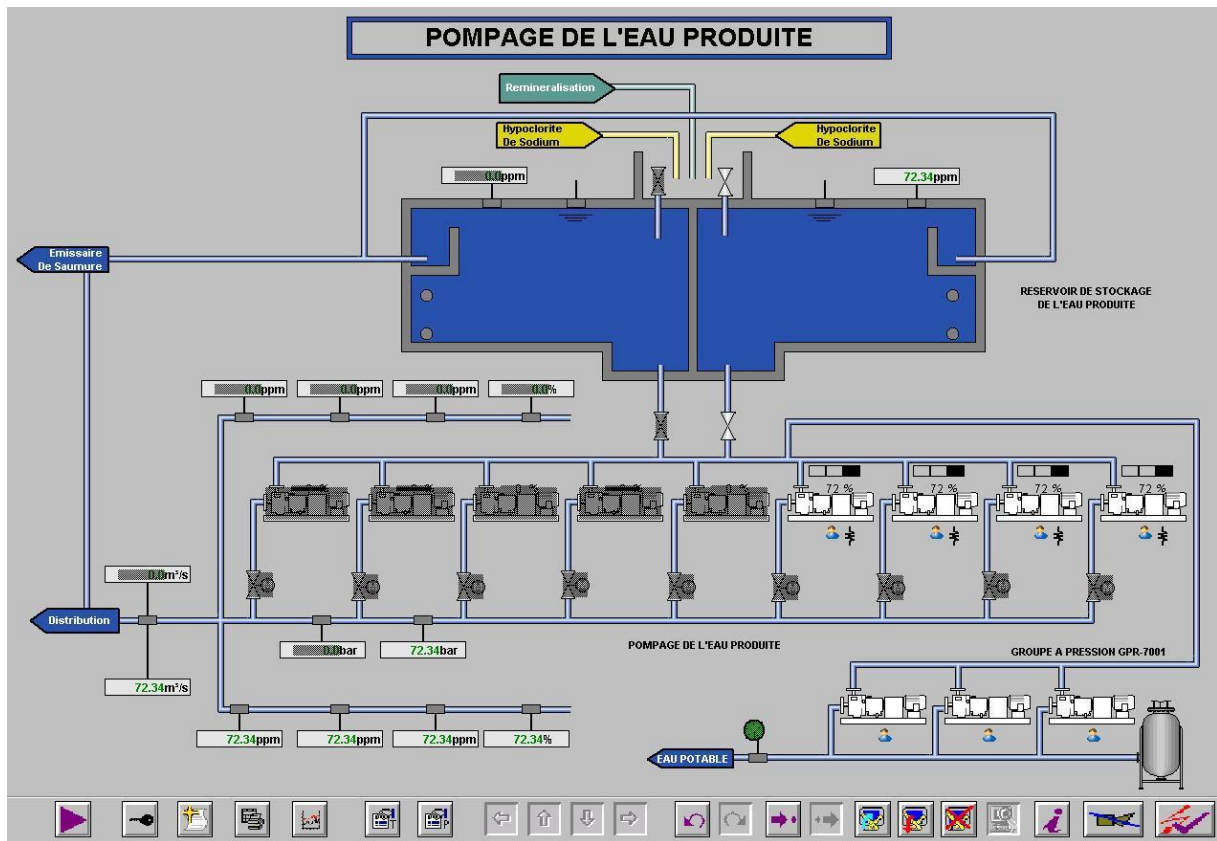


Figure I.6 : Système de pompage de l'eau produite

## 1.5 Les avantages et les inconvénients liés au dessalement :

### 1.5.1 Les avantages :

- ✓ d'ailleurs le dessalement à une très forte augmentation (+10% par an) du volume d'eau.
- ✓ facile à réaliser, de conception rustique, et peu coûteux.
- ✓ C'est un processus qui permet de supprimer le sel de l'eau salée ou saumâtre pour la rendre potable.
- ✓ le dessalement d'eau de mer est une technique aujourd'hui fiable et moins onéreuse que la technique dite de recyclage des eaux usées.
- ✓ L'utilisation vitale (boire, s'alimenter).
- ✓ La production de sel activité liée au Japon, le devient avec de l'eau de mer pompée en profondeur. Le sel est ensuite vendu à des fabricants de produits alimentaires (chips, frites...).
- ✓ En cosmétologie, l'eau de mer aurait des capacités reminéralisantes, anti-infectieuse, anti-stress, anti-douleur et revitalisante
- ✓ La réfrigération des bâtiments, L'eau de mer à la sortie de la centrale reste froide (10°C). Elle pourrait assurer la climatisation des bâtiments aussi efficacement que les méthodes classiques et à des coûts inférieurs.

### 1.5.2 Les inconvénients :

Le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau douce. Toutefois, quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- ✓ Besoins énergétiques importants.

- ✓ Rejet des saumures concentrées (et chaudes dans le cas de la distillation) en mer ou injectées dans le sol.
- ✓ Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes.
- ✓ Traces de métaux lourds échappés des installations.
- ✓ Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements.



**Figure I.7 :** La station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem vue par Google Earth.

## 1.6 Conclusion

Durant notre étude pratique effectuée au niveau de la station de dessalement de Mostaganem nous avons constaté que la technique de dessalement passe par plusieurs opérations ou étapes et sont très intéressantes. Le dessalement va s'imposer comme une ressource alternative essentielle à la pérennité de grandes zones urbaines.

# CHAPITRE II

## **Généralités sur les débitmètres**

## 2.1. Introduction :

Au cours de ces dernières années, la mesure de débit des fluides a connu une très grande importance et application dans plusieurs domaines. Le choix de l'instrument approprié pour une application particulière est soumis à beaucoup de variables, y a compris le coût. Le choix technique et le profil économique de la mesure du débit a motivé des actions dans plusieurs laboratoires de recherche dans le monde.

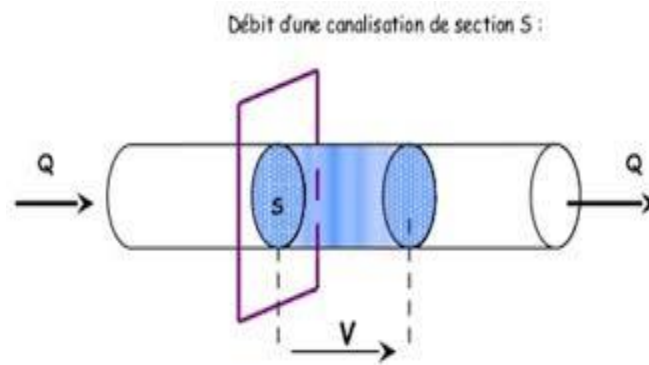
En raison des variations des propriétés physiques et chimiques du débit, beaucoup de techniques de comptage ont été élaborés chacun pour une application donnée. Chacun des dispositifs de mesure du débit a ses propres avantages et inconvénients. L'objectif de ce chapitre est de décrire les propriétés physiques du fluide et de montrer quelques débitmètres utilisés dans l'industrie.

## 2.2. Débit :

En génie thermique, il est essentiel de pouvoir connaître la quantité du fluide qui circule à l'intérieur des différents éléments (gaines, pompes, tuyauterie...). Par conséquent, il est nécessaire de définir la notion de débit. Considérons, par exemple, une conduite dans laquelle circule un fluide. On appellera section de passage la surface à travers laquelle s'écoule le fluide.

### 2.1.1. Définition du débit :

Le débit est la quantité de matière (exprimée par une masse ou un volume) qui passe à chaque unité de temps à travers cette section.



**Figure II.1 :** Débit d'une canalisation de section S

Si on veut savoir la quantité de matière d'un fluide, alors on parlera de débit massique ( $Q_m$ ) qui s'exprime en kg/s, Cependant si on veut savoir le volume de ce fluide, on parlera de débit volumique ( $Q_v$ ) qui s'exprime en  $m^3/s$ .

Si  $\rho$  est la masse volumique du fluide qui s'exprime en  $kg/m^3$ , on a la relation liant le débit massique au débit volumique [7] :

$$Q_m = \rho \times Q_v \quad (2.1)$$

## 2.1.2. Propriétés générale du débit :

### 2.1.2.1. La viscosité :

Pour savoir si la viscosité dynamique est assez forte pour freiner les tourbillons, il faut la comparer à l'inertie de l'écoulement. La viscosité tend à faire disparaître les tourbillons, alors que l'inertie les propage.

$$\mathbf{v} = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

$v$  : viscosité cinématique du liquide (m<sup>2</sup>/s).

$\mu$  : viscosité dynamique du liquide (en Pa.s).

$\rho$  : Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>).

### 2.1.2.2. Le nombre de Reynolds :

Pendant l'écoulement d'un fluide avec une vitesse moyenne  $v$  dans une conduite de diamètre  $D$ , cependant la masse volumique du fluide et l'énergie cinétique du fluide est en gros proportionnelle et par conséquent la viscosité est ce qui fait que le fluide a tendance de coller à la paroi de cette conduite.

Les forces de viscosité sont d'autant plus importantes que la viscosité du liquide est élevée, que sa vitesse  $v$  est importante, et que le diamètre du tube est petit. Au final, l'énergie dissipée par les forces de viscosité est proportionnelle à la quantité Pour calculer le ratio inertie/frottement dans le liquide, on fait le rapport des deux formules que nous venons de détailler, et on obtient cette quantité appelée le nombre de Reynolds de l'écoulement. [8]

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (2.3)$$

$v$  : Vitesse du liquide (m/s).

$\rho$  : Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>).

$D$  : Diamètre interne du conduit (m).

$\mu$  : viscosité du liquide (en Pa.s).

Si  $Re < 2300$  : l'écoulement est laminaire.

Si  $Re > 2300$  : l'écoulement est turbulent.

### 2.1.2.3. Écoulements laminaire et turbulent :

#### 2.1.2.3.1. Écoulement laminaire :

Lorsque les forces de viscosité sont importantes par rapport aux forces d'inertie, l'écoulement est régulier, le champ des vitesses, ou plus généralement des paramètres du fluide, varie de façon monotone aussi bien dans l'espace que, éventuellement, dans le temps.

Les lignes de courant demeurent parallèles entre elles, les couches de fluide glissant les unes sur les autres sans se mélanger. Les pertes de charge sont alors proportionnelles à la vitesse.

### 2.1.2.3.2. Écoulement turbulent :

Dans ce cas les forces d'inertie deviennent importantes par rapport aux forces de viscosité. Les instabilités, inévitables en pratique, se développent sous forme de tourbillons de tailles variées.

Les lignes de courant ne gardent plus leur individualité, mais s'enchevêtrent. Les pertes de charge sont proportionnelles au carré de la vitesse. [8]

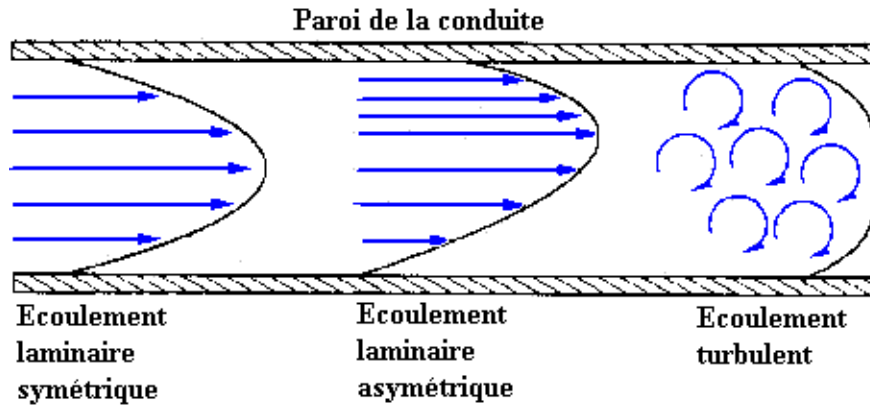


Figure II.2 : Différents types d'écoulement.

### 2.1.2.4. La vitesse :

Débit (Q) de fluide dépend directement de la vitesse (V) linéaire de ce fluide et de la section (S), on peut déterminer le débit d'un fluide à partir de sa vitesse :

$$Q = \frac{v}{s} \quad (2.4)$$

### 2.1.2.5. Relation débit /vitesse :

Pour avoir le même débit amont et aval, la vitesse du liquide devra augmenter au passage de cette restriction.

La vitesse sera supérieure en 'B' car la pression peut être utilisée pour permettre au fluide d'aller plus vite.

Quand la vitesse d'un liquide(ou gaz) augmente sa pression diminue.

### 2.1.2.6. Mesurage du débit :

Pour mesurer le débit d'un fluide, il est nécessaire d'avoir un débitmètre qui est considéré un instrument ayant le rôle de mesurer les différents types du débit que ce soit linéaire ou non linéaire.

Lors de la sélection d'un débitmètre, on doit considérer les facteurs intangibles tels que la familiarité du personnel de l'usine, leur expérience avec l'étalonnage et l'entretien, la disponibilité des pièces de rechange, et le temps moyen de l'histoire d'échec...etc., dans l'usine en question.

Il est également recommandé que le coût de l'installation soit calculé qu'après la prise de ces mesures. Une des erreurs les plus courantes lors de la sélection d'un débitmètre est le renversement de cette séquence : au lieu de sélectionner un capteur qui pourra exécuter correctement, une tentative est

faite pour justifier l'utilisation d'un dispositif parce qu'il est moins cher. Ces achats "économiques" peuvent devenir les installations les plus coûteuses. [9]

## 2.2. Qu'est-ce qu'un débitmètre ?

Un débitmètre est un appareil ou instrument destiné à mesurer le débit linéaire, non linéaire, de masse ou volumétrique d'un liquide ou d'un gaz.



Figure II.3 : Un débitmètre.

## 2.3. Les différents types de débitmètres :

Selon le niveau du débit et la nature du fluide, le principe du débitmètre adapté est très variable :

- certains sont basés sur la mesure de la vitesse du fluide comme les anémomètres, on utilisera dans ce cas un tube de Pitot, un débitmètre à turbine, pistons ou rotors, un débitmètre à Ultrasons, un débitmètre ionique ou un courantomètre.
- on peut également utiliser la mesure de la perte de charge (perte de pression) ou pression différentielle entre un repère amont et un repère aval, ceci à l'aide d'un organe déprimogène tel qu'une plaque à orifice, une tuyère (comme dans le cas d'un débitmètre à tube de venturi) ou un diaphragme.
- Un débitmètre à flotteur, également un organe déprimogène, affiche la position d'équilibre d'un flotteur soumis à un courant dans un tube conique vertical.
- Un débitmètre à effet vortex mesure des variations de pression engendrées par des tourbillons de Karman.
- Un débitmètre électromagnétique mesure la réponse d'un fluide conducteur à un champ magnétique.
- Il existe aussi les débitmètres massiques : thermique ou à effet Coriolis.
- Un melt indexer mesure un débit massique à chaud.

### 2.3.1. DEBITMETRE A EFFET CORIOLIS :

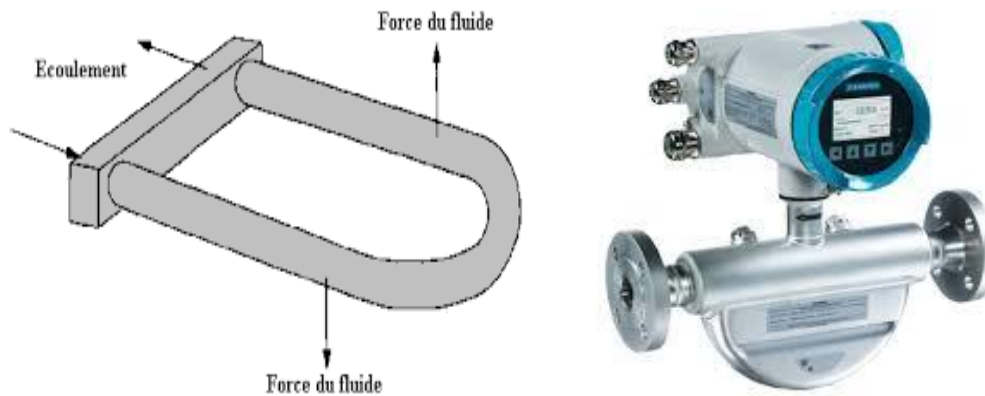
#### 2.3.1.1. Définition :

Le débitmètre massique à effet CORIOLIS est une application de la mesure directe de débit massique .Ce capteur mesure la vitesse de déplacement du tube de mesure.

La force de CORIOLIS (Mathématicien français) explique notamment pourquoi les cyclones tournent dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud et dans le sens inverse dans l'hémisphère Nord. Il est question, dans un système en rotation, de la force qui agit perpendiculairement sur la masse en mouvement dans le système, selon la vectrice vitesse relative et sur l'axe de rotation du système. Pour une masse  $m$  se déplaçant à une vitesse  $v$ , dans un système en rotation ayant lui-même une vitesse angulaire à la force de CORIOLIS vaut :

$$F = 2 \times m \times a \times v \quad (2.5)$$

Le débitmètre à CORIOLIS utilise comme détecteur un tube en U sans obstacle.



**Figure II.4 :** débitmètre à effet Coriolis.

Le tube de mesure vibre à sa fréquence naturelle à l'intérieur du boîtier du capteur. Le tube de mesure est actionné par un bobinage électromagnétique situé au centre de la courbure du tube et vibre comme un diapason. Le fluide s'écoule dans le tube de mesure et contraint de suivre le mouvement vertical du tube vibrant. Lorsque le tube monte pendant une moitié de sa période vibratoire, le fluide traversant le détecteur résiste à son entraînement vers le haut en repoussant le tube vers le bas. [9]

#### 2.3.1.2. Principe de fonctionnement de débitmètre Coriolis :

A la sortie du détecteur, le fluide a un mouvement ascendant, induit par le mouvement du tube. Lorsqu'il franchit le coude du tube, le fluide résiste aux modifications de son mouvement vertical en repoussant le tube vers le haut. La différence de forces entraîne une torsion du tube de mesure. Lorsque le tube descend pendant la seconde moitié de sa période vibratoire, il se tord dans le sens opposé. C'est cette caractéristique de torsion qui est appelé effet CORIOLIS. Du fait de la seconde loi de mouvement de NEWTON, l'amplitude de la torsion du tube de mesure est directement proportionnelle au débit massique du fluide traversant le tube. Les détecteurs électromagnétiques situés de part et d'autre du tube

de mesure enregistrent la vitesse du tube vibrant. Le débit massique se détermine en mesurant la différence de temps entre les signaux de détecteurs de vitesse. En effet la torsion du tube de mesure, pendant l'écoulement du fluide, entraîne une différence de temps entre les deux signaux de vitesse. C'est cette différence de temps qui est directement proportionnelle au débit massique traversant le tube et demeure indépendante des propriétés de ce fluide. [9]

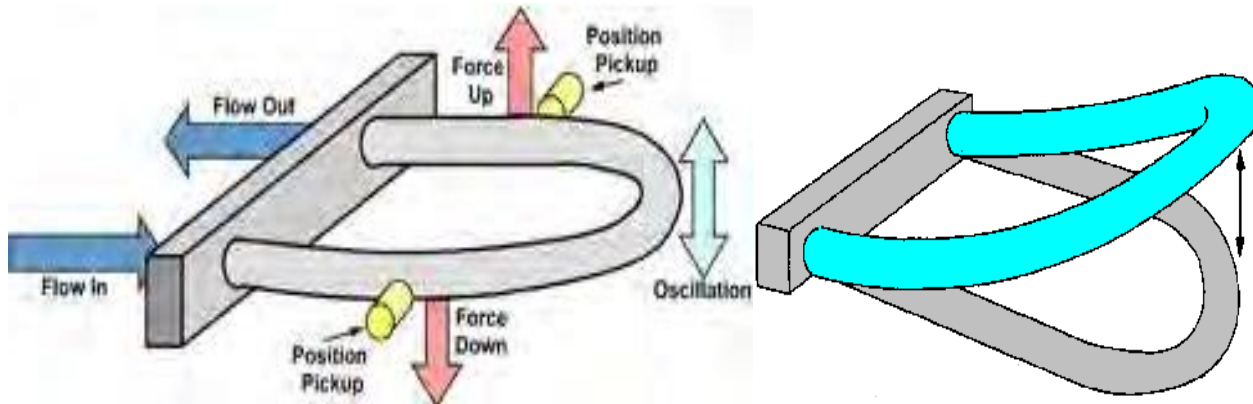


Figure II.5 : débitmètre à effet Coriolis.

### 2.3.1.3. Domaine d'utilisation :

Liquide propre et visqueux (pâtes, boues). Ce dispositif exige l'absence de toute bulle de vapeur formée momentanément dans le liquide et susceptible de perturber la mesure.

Diamètre de canalisation : < 13 mm

Précision : 1 %

Dynamique : 1-50.

### 2.3.1.4. Conditions d'utilisation & performances et d'installation :

Fluides :	Tous types de fluides
Pression :	jusqu'à 400 Bar.
Température :	-240°C à +200°C.
Nombre de Reynolds :	pas de limitation.
Conductivité minimale :	aucune influence.
Viscosité :	aucune influence.
Dynamique de mesure :	de 1: 200
Exactitude attendue :	0,2 à 0,5% de la lecture.
Reproductibilité et Répétabilité :	0,1% à 0,2% de la pleine échelle.
Diamètre de canalisation (D) :	2 à 200 mm
Longueurs droites amont :	2 D
Longueur droites aval :	2 D
Montage :	entre brides

### 2.3.1.5. Les Avantages et les Inconvénients :

#### 2.3.1.5.1. Les Avantages :

- Très bonne exactitude.
- Absence de phénomènes d'usure.
- Indépendant des caractéristiques du fluide.
- Indépendant du profil de vitesse.
- Fonctionne sur des fluides extrêmement visqueux.
- Ne nécessite pas de longueur droite amont / aval.
- Fonctionne pour les liquides ou les gaz et pour les mélanges de liquides.

#### 2.3.1.5.2. Les Inconvénients :

- Perte de charge non négligeable.
- Attention aux fluides diphasiques.
- Coût élevé.
- Procéder au réglage du zéro du capteur à débit nul (instabilité à évaluer).

### 2.3.2. DEBITMETRE A ULTRASONS :

Un émetteur et un récepteur sont montés en opposition de manière à ce que les ondes acoustiques allant de l'un à l'autre soient à 45 ° par rapport au sens d'écoulement dans la conduite. La vitesse du son allant de l'émetteur au récepteur constitue la vitesse intrinsèque du son, plus un apport dû à la vitesse du fluide. La mesure du temps  $t$  mis par le signal pour parcourir la distance  $L$  permet de connaître la vitesse du fluide et d'en déduire le débit. [10]

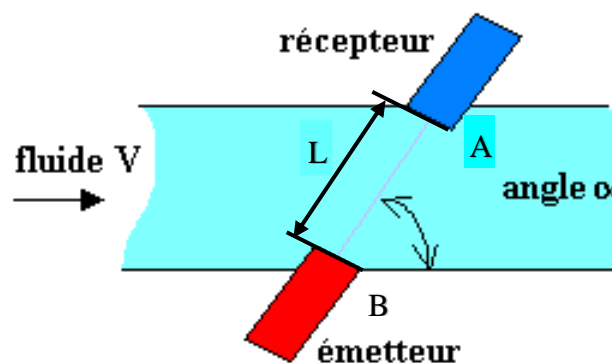


Figure II.6 : Schéma principe de mesure à ultrasons.

Le temps d'écoulement : 
$$T_{AB} = \frac{L}{C + V \cos \alpha} \quad (2.6)$$

$$T_{BA} = \frac{L}{C - V \cdot \cos \alpha} \quad (2.7)$$

C : vitesse de propagation du son dans le fluide.

V : vitesse du fluide.

L : distance entre émetteur et récepteur.

L'ensemble du dispositif, à l'extérieur de la conduite, est insensible à l'agressivité du fluide et n'entraîne aucune perte de charge.

### **2.3.2.1. Domaine d'utilisation :**

Fréquemment utilisé pour les écoulements turbulents, pour les fluides non conducteurs (notamment hydrocarbures), là où les débitmètres électromagnétiques ne conviennent pas.

Diamètre de canalisations : généralement important (6000 mm).

Précision : peut atteindre 0,5 %.

Temps de réponse très rapide jusqu'à 1 ms.

### **2.3.2.2. Conditions d'utilisation & performances et d'installation :**

Fluides :	liquides monophasiques et gaz.
Pression :	jusqu'à 300 Bar.
Température :	-250°C à +200°C.
Nombre de Reynolds :	> 2000 pour certains appareils.
Conductivité minimale :	aucune influence.
Viscosité :	fluides newtoniens ou connus.
Dynamique de mesure :	de 1 : 10 à 1 : 50.
Exactitude attendue :	0,3 à 5 % de la lecture en fonction des fluides et des conditions d'installation.
Reproductibilité et Répétabilité :	0,5% à 1% de la pleine échelle.
Diamètre de canalisation (D) :	10 à 4000 mm
Longueurs droites amont :	15 D à 50 D
Longueur droites aval :	4 D à 10 D
Montage :	précautions nécessaires.
Installation :	30 minutes à 1 heure pour les clamps - on à environ 1 à 2 jours pour les modèles intrusifs.

### **2.3.2.3. Les Avantages et les Inconvénients :**

#### **2.3.2.3.1. Les avantages :**

- Aucune perte de charge.
- Absence de phénomènes d'usure.
- Indépendant des caractéristiques du fluide.
- Système de mesure adapté pour les liquides et les gaz.

#### **2.3.2.3.2. Les inconvénients :**

- Respect des longueurs droites (profil des vitesses).
- Attention au choix de la vitesse du fluide.
- Sensibilité à la température.

### 2.3.3. DEBITMETRE A ORIFICE :

La procédure de mesure du débit par orifice fait partie du champ d'application de la norme ISO 5167. Elle ne requiert aucun calibrage particulier, la précision de la mesure étant définie par la norme. Le contrôleur saisit les valeurs mesurées au niveau de l'orifice, calcule le débit ainsi que la densité du gaz et ses autres caractéristiques. Les mesures définies dans la norme ISO 5167 sont préprogrammées et disponibles dans une bibliothèque de programmation. [10]

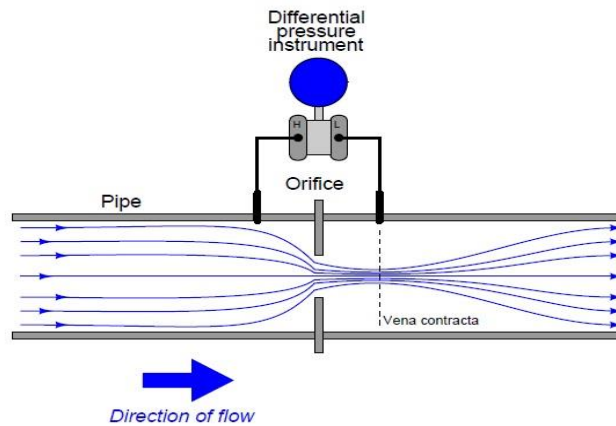


Figure II.7 : débitmètre à orifice.

### 2.3.4. DEBITMETRE A TURBINE :

L'écoulement du fluide entraîne la rotation d'une turbine (rotor à plusieurs ailettes, reposant sur des paliers) placée dans la chambre de mesure, la vitesse de rotation du rotor est proportionnelle à celle du fluide, donc au débit volumique total. La vitesse de rotation est mesurée en comptant la fréquence de passage des ailettes détectée à l'aide d'un bobinage (un aimant permanent est parfois solidaire de l'hélice). Chaque impulsion représente un volume de liquide distinct. [11]

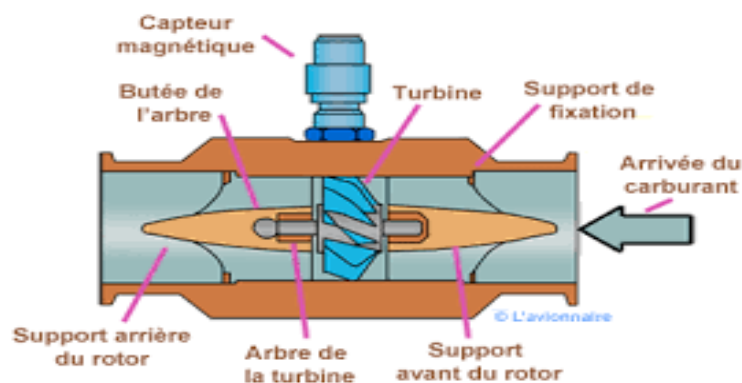


Figure II.8 : débitmètre à turbine.

#### 2.3.4.1. Domaine d'utilisation :

Compatible avec de nombreux liquides (rotor en acier inoxydable). Toutefois la propreté du liquide est essentielle, afin de ne pas encombrer les paliers de butée du rotor qui peut tourner à haute vitesse. De par leur principe ils sont réservés aux fluides peu visqueux, exempt de bulles ou de matières

granuleuses. Ils sont destinés aux applications industrielles générales (eau, alcools, carburants, acides, gaz liquéfiés, liquides cryogéniques...).

Diamètre de canalisations : 10 mm à 30 cm environ.

Précision : 0,2 à 2 % de l'étendue de mesure, selon les appareils.

Temps de réponse : plusieurs milli secondes.

#### **2.3.4.2. Conditions d'utilisation & performances et d'installation :**

Fluides :	liquides monophasiques et gaz propre, vapeur saturée et surchauffée.
Pression :	jusqu'à 350 Bar.
Température :	-40°C à +450°C.
Nombre de Reynolds :	> 2000 pour certains appareils.
Conductivité minimale :	aucune influence.
Viscosité :	inférieure à 10 cps.
Dynamique de mesure :	de 1 : 10 à 1 : 30.
Exactitude attendue :	0,5 à 2 % de la lecture en fonction des modèles et des conditions d'installation.
Reproductibilité et Répétabilité :	0,25% à 1% de la pleine échelle.
Diamètre de canalisation (D) :	mini 50 mm.
Longueurs droites amont :	10 D à 15 D
Longueur droites aval :	5 D à 10 D
Montage :	précautions nécessaires et filtration amont impérative à 150 µm maximum.

#### **2.3.4.3. Les Avantages et les Inconvénients :**

##### **2.3.4.3.1. Les avantages :**

- Linéaire sur sa plage normale de fonctionnement.
- Dispositif peu encombrant.
- Bonne exactitude.
- Système de mesure adapté pour les liquides et les gaz.
- Faible perte de charge.
- Diamètres important.
- Intéressant pour les mesures sur la vapeur saturée ou sur chauffée.

##### **2.3.4.3.2. Les inconvénients :**

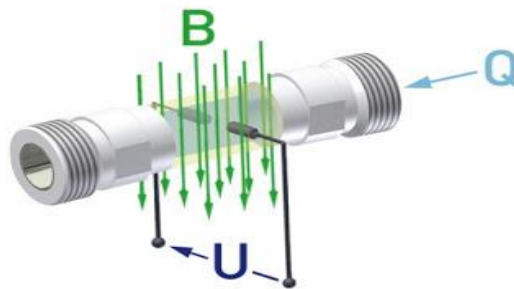
- Respect des longueurs droites (profil de vitesse).
- Attention aux choix de la vitesse du fluide.
- Sensibilité à la température.
- Utilisation sur des fluides propre (filtre 150 µm).

- Influence de la viscosité cinétique.
- Sensibilité aux chocs.
- Attention à la CEM.
- Usure mécanique.
- Détérioration en cas de survitesse.
- Détérioration en cas de changement de phase du fluide.
- Mesure locale de vitesse attention à l'implantation.
- Prix élevé.

### 2.3.5. DEBITMETRE ELECTROMAGNETIQUE :

Les débitmètres électromagnétiques sont une application de la mesure des débits par mesure directe de la vitesse d'écoulement.

Il utilise la loi de Faraday : Quand un conducteur rectiligne se déplace dans un champ magnétique, une force électromotrice est induite dans ce conducteur.



**Figure II.9 :** débitmètre électromagnétique.

Un champ magnétique est créé par deux enroulements inducteurs placés de part et d'autre d'un même diamètre de la canalisation. Le conducteur est le fluide lui-même, il circule dans une canalisation isolée électriquement à l'intérieur. La force électromotrice est mesurée par deux électrodes au contact avec les fluides et placées aux deux extrémités d'un diamètre perpendiculaire aux lignes d'induction. La force électromotrice mesurée est proportionnelle à la vitesse moyenne du liquide, donc au débit volumique du liquide. Le signal de sortie à une amplitude de quelques millivolts et indique également le sens de l'écoulement. [10]

#### 2.3.5.1. Domaine d'utilisation :

Liquide visqueux, pâteux, chargés d'impuretés, abrasifs ou très corrosifs à condition qu'ils soient conducteurs de l'électricité (ce qui n'est pas le cas des hydrocarbures).

Diamètre de canalisations : 3 mm à 3 m.

Bonne précision de l'ordre de 1 % (limitée pour les faibles vitesses d'écoulement).

Mesure ne dépendant pas des caractéristiques physique du liquide (viscosité, densité, granulométrie) et possible à haute température (450 °C) et haute pression (1000 bar).

**2.3.5.2. Conditions d'utilisation & performances et d'installation :**

Fluides :	divers types d'eaux conductrices, boues, produits chimiques, liquides conducteurs.
Pression :	20 à 500 Bar.
Température :	-60°C à +220°C.
Nombre de Reynolds :	pas de limitation.
Conductivité minimale :	5 $\mu$ S/cm à 20 $\mu$ S/cm.
Dynamique de mesure :	de 1 : 20 à 1 : 100.
Exactitude attendue :	0,3 à 2 % de la lecture.
Reproductibilité et Répétabilité :	0,1% à 0,2% de la pleine échelle.
Diamètre de canalisation (D) :	2 à 3000 mm
Longueurs droites amont :	5 D à 25 D
Longueur droites aval :	2 D à 5 D
Montage :	tout type de montage intrusif possible.

**2.3.5.3. Les Avantages et les Inconvénients :****2.3.5.3.1. Les Avantages :**

- Aucune perte de charge.
- Absence de phénomènes d'usure.
- Indépendant des caractéristiques du fluide.

**2.3.5.3.2. Les Inconvénients :**

- Fluide nécessairement conducteur.
- Respect des longueurs droites (profil des vitesses).
- Attention au choix de la vitesse du fluide.
- Attention aux fluides diphasiques.

**2.3.6. DEBITMETRE A EFFET VORTEX :**

Le principe est basé sur le phénomène de génération de tourbillons, appelé effet Karman. Lorsque le fluide rencontre un corps non profilé, il se divise et engendre des tourbillons, de part et d'autre et en aval du corps non profilé. Le nombre de tourbillons formés en aval par unité de temps est proportionnel au débit moyen. Une vitesse précise d'écoulement du fluide est déterminée par le comptage des tourbillons. Cette vitesse est mesurée à l'aide d'un capteur sensible aux variations oscillatoires de pression. [10]

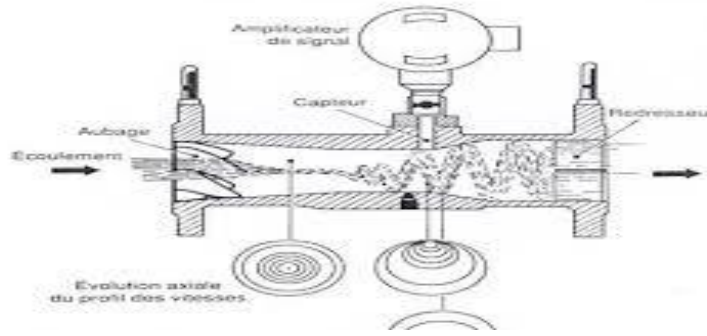


Figure II.10 : Débitmètre à effet Vortex.

$$v = \frac{f}{K} \quad (2.8)$$

**Avec :**

v : Vitesse du fluide.

f : fréquence des tourbillons.

K : facteur.

Le facteur K dépend du nombre de REYNOLDS, mais est pratiquement constant sur une vaste plage de débit.

**2.3.6.1. Domaine d'utilisation :**

Il est destiné au liquide propre, gaz ou vapeur et non recommandé pour la mesure de faibles débits. Il entraîne une perte de charge, supporte des vitesses de fluide importantes.

Diamètre de canalisations : 12 à 500 mm.

Précision : 1 %.

Bonne dynamique : 1-20.

Par mesure de pression différentielle à l'aide d'organes déprimogène Ces débitmètres de type manométrique sont les plus utilisés pour la mesure des débits de fluide. Ils exploitent la loi de BERNOULLI qui indique la relation existant entre le débit et la perte de charge résultant d'un changement de section de la conduite. Ces dispositifs sont utilisables que lorsque l'écoulement est turbulent. En partant de la relation.

$$Q_v = S \times V \quad (2.9)$$

Et en supposant une masse volumique constante (fluide incompressible), on peut écrire l'équation de continuité :

$$Q_v = S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2 \quad (2.10)$$

Celle-ci montre qu'avec un écoulement régulier et uniforme, une réduction de diamètre de la canalisation entraîne une augmentation de la vitesse du fluide, donc de l'énergie potentielle ou de la pression de la canalisation. La pression différentielle est convertie en débit volumique, à l'aide de coefficients de conversion, selon le type de débitmètre manométrique utilisé et le diamètre de la conduite.

**2.3.6.2. Conditions d'utilisation & performances et d'installation :**

Fluides :	Tout fluide peu visqueux
Pression :	jusqu'à 300 Bar.
Température :	-200°C à +400°C.
Nombre de Reynolds :	$Re > 2000$ .
Conductivité minimale :	sans effet.
Viscosité :	0,5 à 25 cst.
Dynamique de mesure :	de 1 : 10 à 1 : 15 fonction du fluide.
Exactitude attendue :	1 à 3 % de la lecture.
Reproductibilité et Répétabilité :	de l'ordre de 1%.
Diamètre de canalisation (D) :	25 à 300 mm
Longueurs droites amont :	5 D à 30 D
Longueur droites aval :	5 D à 10 D
Montage :	tout type de montage intrusif possible. Attention au sens de montage.

**2.3.6.3. Les Avantages et les Inconvénients :****2.3.6.3.1. Les Avantages**

- Absence de phénomènes d'usure.
- Adapté pour les gaz, les liquides et les vapeurs
- Adapté aux hautes pressions et température
- Résistant aux coups de bélier et choc thermiques.

**2.3.6.3.2. Les Inconvénients**

- Attention à l'orientation du capteur par rapport au flux.
- Faible perte de charge.
- Non linéaire en régime laminaire.
- Ne fonctionne pas sur les fluides visqueux.
- Attention à l'aspect température qui peut avoir une influence.
- Longueurs droites nécessaires.

**2.3.7. DEBITMETRE MASSIQUE THERMIQUE :**

Le principe est basé sur la mesure des transferts caloriques par le fluide lui-même. Ces dispositifs sont constitués d'un tube métallique à paroi mince, des résistances chauffantes sont bobinées à l'extérieur du tube, la circulation du fluide provoque un déséquilibre thermique entre l'amont et l'aval du tube, le déséquilibre est proportionnel au débit massique. [10]

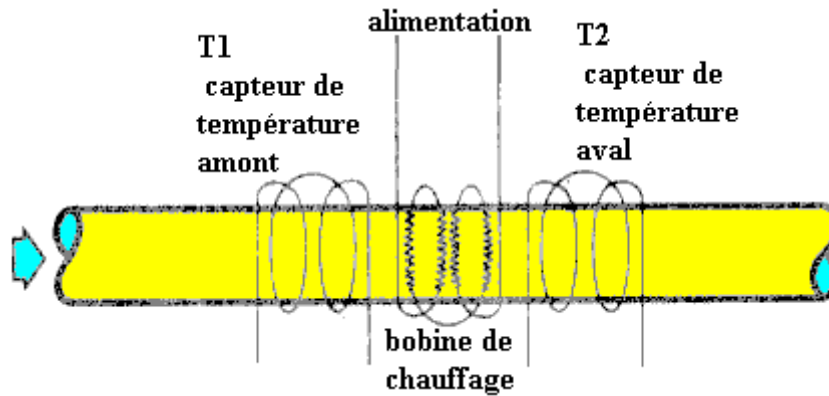


Figure II.11 : Débitmètre thermique.

### 2.3.7.1. Domaine d'utilisation :

Liquide propre, gaz, vapeur.

Diamètre de canalisation : tous diamètres.

Précision : de l'ordre de 1 %.

Dynamique : 1-10.

### 2.3.7.2. Conditions d'utilisation & performances et d'installation :

Fluides : Tous types de fluide monophasique propre pour les gaz.

Pression : jusqu'à 3000 Bar.

Température : jusqu'à +200°C.

Nombre de Reynolds : pas de limitation.

Conductivité minimale : aucune influence.

Viscosité : aucune influence.

Dynamique de mesure : de 1 : 20 voire plus selon les modèles.

Exactitude attendue : 0,5 à 1 % de la lecture si bonne connaissance du fluide à mesurer  
Sinon exactitude pouvant aller jusqu'à 5%.

Reproductibilité et Répétabilité : 0,2% de la pleine échelle pour un fluide donné connu.

Diamètre de canalisation (D) : 10 à 100 mm en technologie passage direct.

Longueurs droites amont : 2 D.

Longueur droites aval : 2 D.

Montage : entre brides.

### 2.3.7.3. Les Avantages et les Inconvénients :

#### 2.3.7.3.1. Les Avantages

- Mesure du débit massique.
- Absence de phénomènes d'usure.
- Pas ou peu de perte de charge.

### 2.3.7.3.2. Les Inconvénients

- Coût moyen.
- Attention aux fluides diphasiques.
- Filtration très recommandée sur les gaz.
- Dépendant du profil de vitesse.
- Attention aux conditions de température et de pression.
- Attention aux changements de composition des fluides.
- Attention aux variations de chaleur spécifique des fluides.

### 2.4. Choix d'un débitmètre :

Une première sélection peut avoir lieu en se basant sur les critères fondamentaux, c'est à dire :

- nature du fluide transporté.
- type de signal de mesure.
- plage de mesure.
- diamètre de la canalisation.

Les critères de choix sont très nombreux, le tableau ci-dessous donne une liste des principaux éléments à considérer pour le choix de notre débitmètre [11] :

Caractéristiques du fluide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nature du fluide (gaz, liquide chargé, conducteur...)</li> <li>- Viscosité</li> <li>- Régime d'écoulement</li> <li>- Température</li> <li>- Pression</li> <li>- Agressivité</li> <li>- Compressibilité</li> </ul>
Critères métrologiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nature du signal de sortie (0-10 V, 4-20 mA...)</li> <li>- Dynamique</li> <li>- Précision</li> <li>- Etendue de mesure</li> <li>- Bande passante</li> </ul>
Caractéristiques de l'installation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre de canalisation</li> <li>- Perte de charge engendrée</li> <li>- Encombrement</li> <li>- Etalonnage</li> <li>- Usure</li> </ul>

**Tableau II.1 :** Les critères de choix d'un débitmètre.

### 2.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentés presque tous les types des débitmètres qui existent, citons leurs principes de fonctionnement et leurs domaines d'utilisations. Nous avons montré aussi, les critères de choix des débitmètres qui se base sur les caractéristiques métrologique, la nature du fluide transporté, le type de signal de mesure, la plage de mesure et le diamètre de la canalisation.

# CHAPITRE III

## **Techniques de mesure de Débit**

### 3.1. Introduction :

Au début des années 2000, face aux enjeux environnementaux de la gestion de l'eau d'un pays marqué par le stress hydrique, les pouvoirs publics algériens ont engagé une série de grands projets de construction d'infrastructures dans le domaine hydrique avec des entreprises étrangères tel que la réalisation et l'exploitation des stations de traitement d'eau potable, il est obligatoire de mesurer, surveiller et réguler avec fiabilité le débit des liquides. L'utilisation des méthodes précises et uniformes est requise.

En effet, la mesure du débit répond à des objectifs multiples et peut être mesuré dans différents types de conduites utilisés pour le prélèvement, le transport ou le rejet de l'eau. Il s'agit des conduites découvertes, des conduites partiellement fermées et des conduites fermées, telles que les réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable, le type de conduite influencera directement l'écoulement rencontré dans une installation donnée. [12]

Les méthodes pour effectuer cette mesure varient selon les types de conduites et d'écoulement ainsi que l'importance du débit de l'écoulement utilisant des différents types de débitmètres. [12]

### 3.2. Débitmètres utilisées dans l'Usine :

Notre recherche va nous servir à étudier une catégorie importante de débitmètres :

#### 3.2.1. Débitmètres Electromagnétiques :

Les débitmètres électromagnétiques sont idéalement adapter pour la mesure du débit de tous les liquides avec une conductivité minimale de  $5\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $20\ \mu\text{S}/\text{cm}$  pour l'eau déminéralisée) et occupent une place quasi indétrônable dans le secteur de l'eau potable. Ces compteurs sont fiables, très précis, en plus d'être économiques, et la mesure du débit est indépendante de la densité, de la température et de pression du milieu. Mais, une fois prise la décision d'avoir un tel appareil, sur quels critères s'appuyer pour choisir le modèle ? Des principales questions se posent.

##### 3.2.1.1. Fonctionnement : Mesure de débit

Les débitmètres électromagnétiques sont composés d'un transmetteur et d'un capteur, qui associés et mesurent le débit. Le capteur du débitmètre magnétique est placé en ligne et mesure une tension induite générée par le fluide lors de son passage dans une conduite. Le transmetteur enregistre la tension générée par le capteur, la convertit en mesure de débit et transmet cette mesure à un système de régulation. [13]

##### 3.2.1.2. Descriptif :

###### 3.2.1.2.1. Débitmètre électromagnétique Proline Promag 10 W :

Le Promag W est le spécialiste des applications sur les réseaux de distribution d'eau potable. Combiné au transmetteur Promag 10 pour les applications standard et une intégration directe, le Promag 10W offre une mesure précise des liquides pour une vaste gamme d'applications.



**Figure III.1 :** Débitmètre électromagnétique Proline Promag 10.

Le débitmètre comprend les éléments suivants :

- Transmetteur Promag 10
- Capteur Promag W

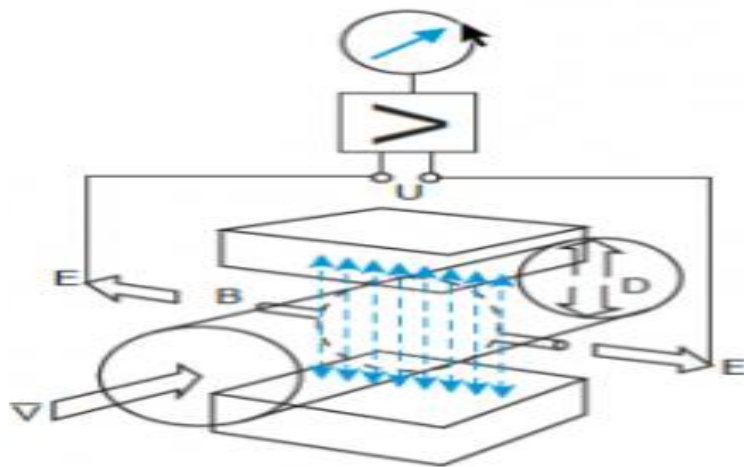
**3.2.1.2.1.1. Principe de fonctionnement et construction :**

Le principe de fonctionnement du débitmètre électromagnétique se base sur la loi d'induction électromagnétique de Faraday. Les deux bobines électromagnétiques des parties supérieure et inférieure) génèrent un champ magnétique constant ou en alternance et la force électromotrice ainsi créée peut être détectée par les électrodes situées à gauche et à droite du tube de mesure quand le liquide passe au travers du débitmètre. La force électromotrice est proportionnelle à la vitesse d'écoulement du fluide, la densité du champ magnétique, la largeur du tube de mesure. [13]

Équation de la force électromotrice :

$$E = K * B * V * D \tag{3.1}$$

- E** : force électromotrice induite
- B** : intensité d'induction magnétique
- V** : vitesse moyenne
- D** : diamètre du tube de mesure
- K** : coefficient en rapport à la distribution du champ magnétique et de la longueur axiale.



**Figure III.2 :** Principe de fonctionnement des Débitmètres électromagnétiques Proline Promag.

**3.2.1.2.1.2. Les avantages**

- ✓ Fonctionnement sûr et fiable à long terme.
- ✓ Capteur robuste.
- ✓ Mesure de débit économe en énergie.
- ✓ Pas de perte de charge, pas de restriction du diamètre nominal.
- ✓ Sans entretien, Pas de pièces mobiles et Economique.
- ✓ Conçu pour des applications simples et une intégration directe

**3.2.1.2.1.3. Domaine d'application :**

- Le principe de mesure bidirectionnel est quasiment insensible à la pression, la masse volumique, la température et la viscosité.

**3.2.1.2.1.4. Caractéristiques et spécifications de l'appareil : [13]**

- ❖ Liquides.
- Principe de mesure : Electromagnétique.
- En-tête produit : Le capteur avec indice de protection IP67 associé à un transmetteur très économique.
- Gamme de diamètre nominal : DN 25...2000
- Matériaux en contact avec le produit : Revêtement du tube de mesure : polyuréthane, ébonite.
- Variables mesurées : Débit volumique
- Erreur de mesure max :  $\pm 0,5\%$  de m.  $\pm 2$  mm/s ( $\pm 0,5\%$  de m.  $\pm 0,08$  in/s)
- Gamme de mesure : 9 dm<sup>3</sup>/min à 110 000 m<sup>3</sup>/h
- Pression de procès max : PN 40,
- Gamme de température du produit : 0 à +80 °C, -20 à +50 °C.
- Gamme de température ambiante : - 40 à +60 °C
- Matériau du boîtier du capteur :
  - DN 25 à 300 (1 à 12") : AISi10Mg, revêtu.
  - DN 25 à 2000 (1 à 78") : acier au carbone avec vernis protecteur.
- Matériau du boîtier du transmetteur : Fonte d'alu moulée avec revêtement pulvérisé.
- Indice de protection : IP66/67, boîtier type 4X.
- Sorties : 4...20mA
- Alimentation :
  - AC 20 à 28 V et AC 85 à 250 V
  - AC 20 à 28 V / DC 11 à 40 V
- Sécurité du produit : Marquage CE, C-Tick, EAC
- Agréments et certificats pression : Certificat/Test : DESP/VDS
- Agréments et certificats hygiéniques : Eau potable : ACS, KTW/W270, NSF61, WRAS BS6920

### 3.2.1.2.2. Débitmètre électromagnétique Proline Promag 50 W :

Le Promag W est le spécialiste de toutes les applications dans l'industrie de l'eau. Combiné au transmetteur éprouvé Promag 50 avec bouton-poussoir. Le Promag 50W offre une mesure extrêmement précise des liquides pour une vaste gamme d'application standard. Il est disponible en version compacte ou séparée. [14]



**Figure III.3 :** Débitmètre électromagnétique Proline Promag 50.

Le débitmètre comprend les éléments suivants :

- Transmetteur Promag 50
- Capteur Promag W

Débitmètre électromagnétique Proline Promag 50W DN1400 utilisé pour la transaction commerciale dans l'usine de dessalement avec les caractéristiques métrologiques suivantes :

- Gamme de mesure : 0 à 110 000 m<sup>3</sup>/h.
- Signale de sortie : 4...20mA.
- Gamme d'étalonnage : 2000 à 6000 m<sup>3</sup>/h.
- Ecart maximal toléré :  $\pm 0,5$  %.
- Valeur d'impulsion : 2m<sup>3</sup>.
- Valeur d'impulsion/ Largeur : 200ms.
- Facteur d'étalonnage : 1.1998.

#### 3.2.1.2.2.1. Principe de fonctionnement et construction :

Selon la loi d'induction de Faraday une tension est induite dans un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique.

Appliqué au principe de mesure électromagnétique, c'est le liquide traversant le capteur qui correspond au conducteur. La tension induite, proportionnelle à la vitesse de passage, est transmise à l'amplificateur par deux électrodes de mesure. On calcule le débit volumique par le biais de la section de tube. Le champ magnétique est engendré par un courant continu alterné. [14]

### 3.2.1.2.2.2. Les avantages :

Les appareils de mesure Promag permettent une mesure de débit économique, sans compromis quant à la précision pour différentes conditions de procès.

- ✓ Fonctionnement sûr et fiable à long terme.
- ✓ Sans entretien – pas de pièces mobiles
- ✓ Conçu pour des applications simples et une intégration directe
- ✓ Le transmetteur Proline offre :
  - Un concept d'appareil et de configuration modulaire très économique.
  - des options logicielles pour batching, nettoyage des électrodes et débit pulsé.
  - une grande fiabilité et une bonne stabilité de la mesure.
- ✓ Le capteur Promag éprouvé et robuste :
  - absence de perte de charge.
  - insensibilité aux vibrations.

### 3.2.1.2.2.3. Domaine d'application : [14]

Débitmètre électromagnétique pour la mesure bidirectionnelle de liquides avec une conductivité minimale  $\geq 5 \mu\text{S/cm}$  dans l'industrie d'eau potable, eaux usées et boues d'épuration.

- Mesure de débit jusqu'à 110000 m<sup>3</sup>/h.
- Température du produit jusqu'à +80 °C.
- Pressions de procès jusqu'à 40 bar.

### 3.2.1.2.2.4. Caractéristiques et spécifications de l'appareil : [14]

- ❖ Liquides.
- Principe de mesure : Electromagnétique
- En-tête produit : Le capteur avec indice de protection IP68 (boîtier de type 6P) et un concept d'électronique modulaire.
- Gamme de diamètre nominal : DN 1400
- Variables mesurées : Débit volumique
- Erreur de mesure max :  $\pm 0,5 \% \pm 0,2 \%$  (option)
- Gamme de mesure : 0...110 000 m<sup>3</sup>/h
- Pression de procès max : PN6...40
- Gamme de température du produit : -20 à +80 °C
- Gamme de température ambiante : -20 à +60 °C,
- Indice de protection : IP67 (NEMA 4x), IP68 (Nema 6P)
- Sorties : 4...20mA  
Impulsion/Fréquence
- Certificats Ex : ATEX, IECEx, NEPSI, FM, CSA
- Sécurité du produit : Marquage CE, C-Tick, EAC

### 3.2.1.3. Conditions de Montage et d'implantation des débitmètres électromagnétiques

#### Promag 10 et 50 :

#### 3.2.1.3.1. Montage

##### 3.2.1.3.1.1. Point de montage

La formation de bulles d'air ou de gaz dans le tube de mesure génère des erreurs de mesure fréquentes, et pour ce fait il faut éviter l'installation au plus haut point de la conduite et immédiatement avant une sortie de conduite dans le cas d'un écoulement gravitaire.

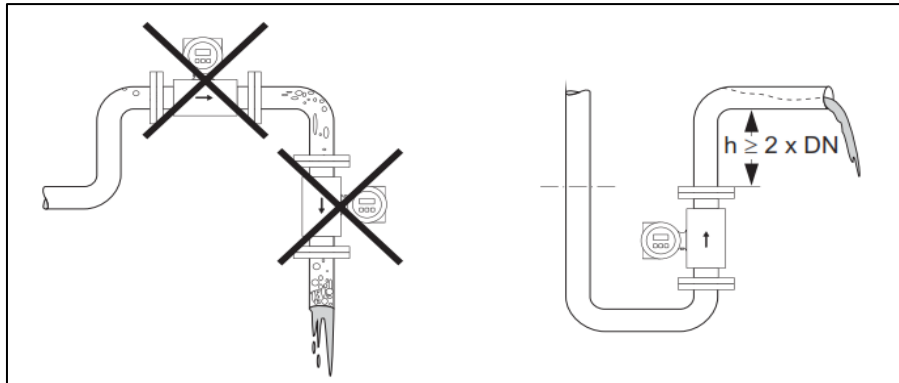


Figure III.4 : Point de montage.

##### 3.2.1.3.1.2. Montage de pompes

On évite de monter les capteurs côté aspiration des pompes, les risques de dépression, et l'utiliser des amortisseurs de pulsations pour éviter les vibrations et les chocs lors d'utilisation des pompes à piston ou à membranes. [14]

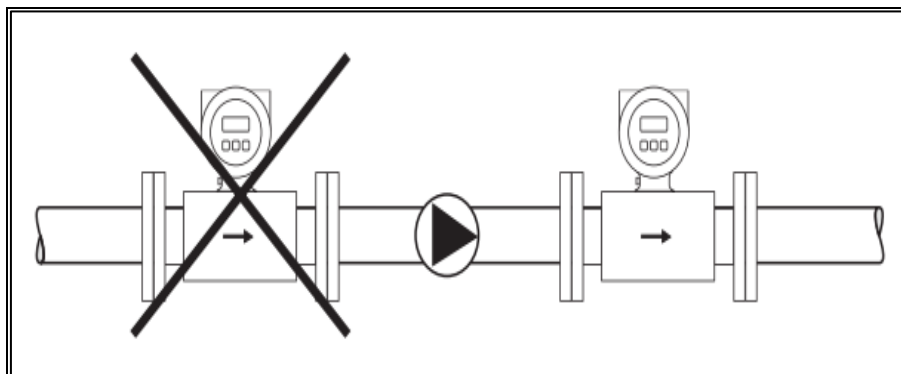
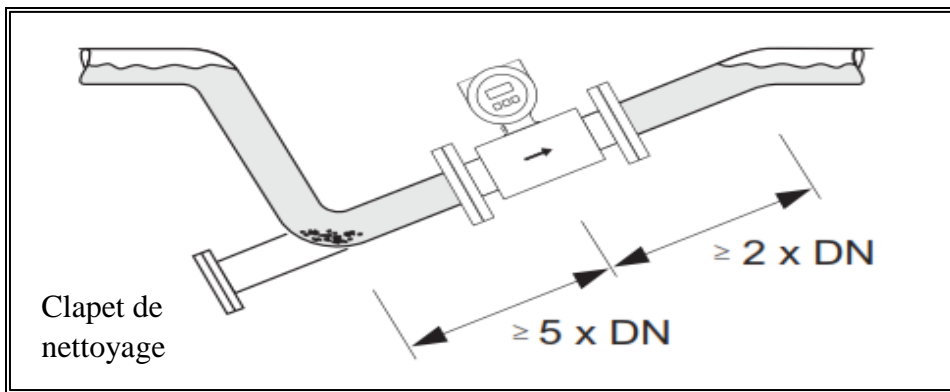


Figure III.5 : Montage de pompes.

##### 3.2.1.3.1.3. Conduites partiellement remplies

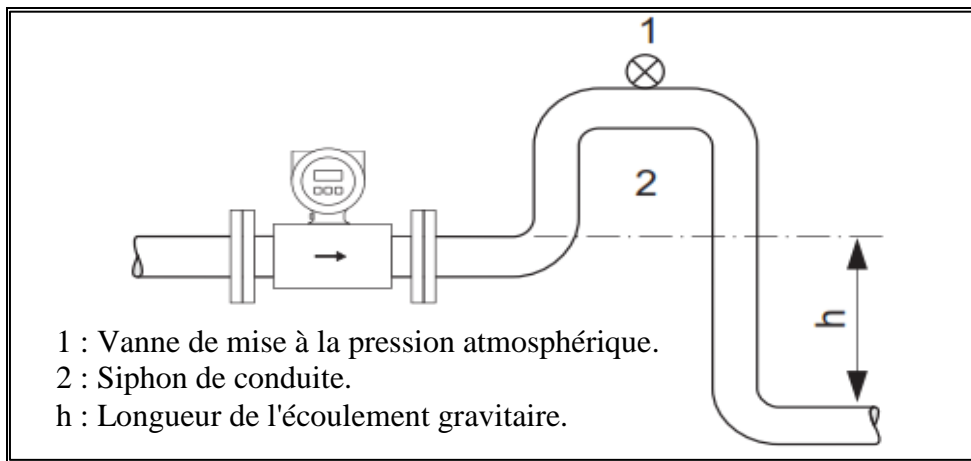
Il convient de prévoir un montage du type siphon pour les conduites partiellement remplies, et la fonction (Système) de détection présence produit pour une sécurité supplémentaire en permettant la détection des conduites vides ou partiellement remplies. [14]



**Figure III.6 :** Montage lors de conduites partiellement remplies.

#### 3.2.1.3.1.4. Ecoulements gravitaires

Le cas d'écoulements gravitaires d'une longueur  $h = 5\text{m}$ , prévoir un siphon ou une vanne de mise à la pression atmosphérique en aval.



**Figure III.7 :** Conditions d'implantation dans le cas d'écoulements gravitaires.

#### 3.2.1.3.2. Implantation :

Par une implantation optimale il est possible d'éviter les bulles d'air ou poches de gaz ainsi que les dépôts dans la conduite. Promag offre la fonction supplémentaire de détection présence produit (DPP) pour les conduites partiellement remplies ou pour les produits ayant tendance à dégazer ou dans le cas d'une fluctuation de la pression de procès pour Promag 10/50. [13], [14]

##### Et pour Promag 50 en plus :

- Fonction de nettoyage des électrodes (ECC) afin d'éviter la formation de dépôts conducteurs, par ex.
- Electrodes de mesure rétractables pour produits abrasifs.

#### 3.2.1.3.2.1. Implantation verticale

Cette implantation est optimale pour les systèmes de conduites montantes et lors de l'utilisation de la détection présence produit.

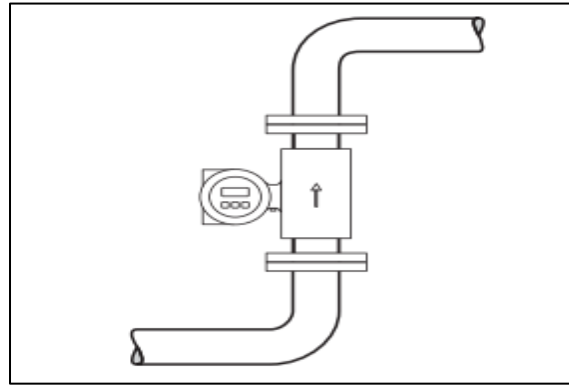


Figure III.8 : Implantation verticale.

3.2.1.3.2.2. Implantation horizontale

L'axe des électrodes devrait être horizontal. Une brève isolation des deux électrodes de mesure en raison de bulles d'air est ainsi évitée.

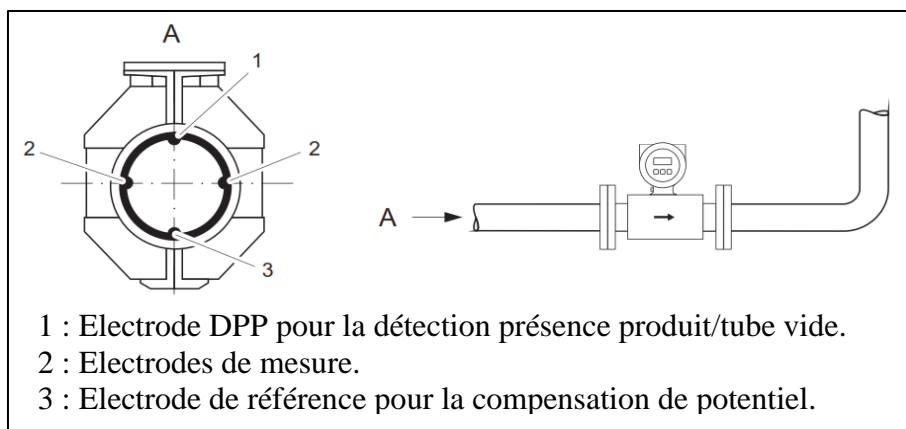


Figure III.9 : Implantation horizontale.

3.2.1.3.2.3. Longueurs droites d'entrée et de sortie

Le capteur doit être monté en amont d'éléments comme les vannes, T, coudes ... etc. Tenir compte des longueurs d'entrée et de sortie afin de respecter les spécifications relatives à la précision de mesure : [14]

- Longueur droite d'entrée : = 5 x DN
- Longueur droite de sortie : = 2 x DN

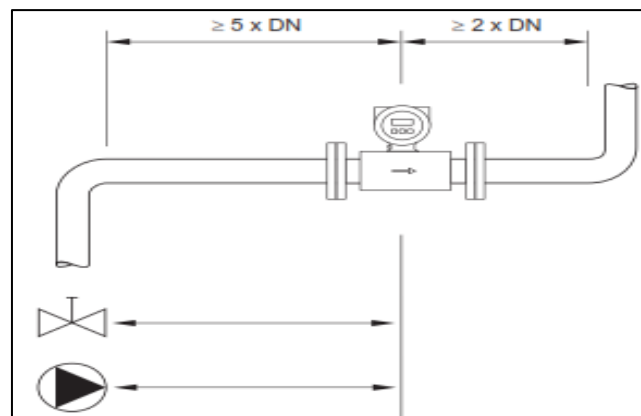


Figure III.10 : Longueurs d'entrée et de sortie.

### 3.2.2. Débitmètres Massiques :

Les débitmètres massiques sont exigées partout où une grande dynamique de mesure ou de faibles pertes de charge, il existe : thermique ou à effet Coriolis.

Les débitmètres massiques à effet de Coriolis sont recommandées pour la mesure directe et continue de la masse des liquides s'écoulant indépendamment de leur conductivité, densité, température, pression et viscosité, dans l'industrie agroalimentaire, chimique et pétrochimique. Ils sont parfaitement adaptés pour mesurer les produits chimiques, aliments liquides, suspensions, mélasses, encres, laques, pâtes, ...etc.

Les débitmètres massiques thermiques sont recommandés pour une mesure directe du débit massique de gaz industriels, d'air comprimé et fluides aqueux. Ils constituent une véritable alternative aux méthodes de mesure traditionnelles, que ce soit en commande de processus, en contrôle de la consommation, en détection de fuite ou en surveillance de réseaux de distribution. Les versions à insertion permettent également de mesurer les flux gazeux dans de très grandes conduites ou dans des canaux rectangulaires.

#### 3.2.2.1. Débitmètre massique à effet Coriolis ROTAMASS TI :

La famille ROTAMASS TI fait appel à un transmetteur commun qui se décline en débitmètres :

- Version Essential : la solution à moindre coût, pour la plupart des utilisations courantes
- Version Ultimate : ajoute diverses caractéristiques avancées qui en font le meilleur de l'industrie.

##### 3.2.2.1.1. Descriptif :

###### A- Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Prime :

Le débitmètre massique à effet Coriolis « Rotamass TI » est destiné à la mesure du débit massique de liquides et de gaz et enregistre simultanément leur densité et leur température. D'autres quantités mesurées, il utilise le principe de mesure de Coriolis. [15]

Le débitmètre massique à effet Coriolis « Rotamass TI » est constitué des composants principaux Capteur et Convertisseur.



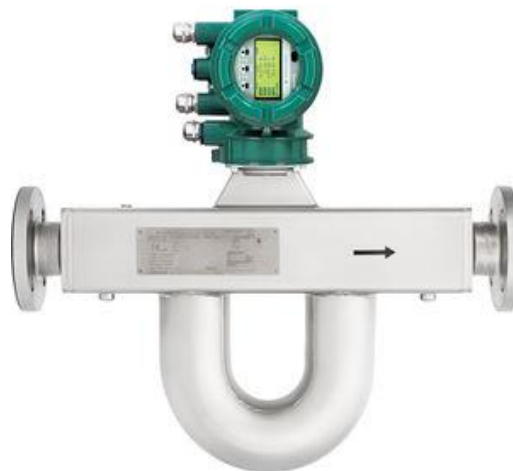
**Figure III.11 :** Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Prime.

- **Caractéristiques et spécifications** : [15]

- ❖ Liquides et gaz.
- Principe de mesure : Massique (principe de mesure de Coriolis)
- En-tête produit : le capteur avec indice de protection IP66/67, un concept de bride multi-taille et polyvalent avec de faibles coûts pour l'exploitant d'industrie de l'eau.
- Caractéristiques du capteur :
  - Fonctionnement fiable et sûr à long terme - capteur robuste et entièrement assemblé - pas de perte de charge due aux restrictions de section - Fonctionnement sans entretien - pas de pièces en mouvement. Agréments internationaux pour l'eau potable. Indice de protection IP66/67.
- Caractéristiques du transmetteur :
  - Orientation du boîtier du transmetteur tournée de 180°.
  - Sauvegarde de données sur carte micro SD.
  - Fonctions de diagnostic.
  - Plus large gamme de combinaisons d'entrées/sorties de l'industrie.
  - Gestionnaire d'évènements aide à l'exploitation efficace et sécuritaire du procédé
- Gamme de diamètre nominal : DN 15...80
- Précision de mesure :
  - Débit massique liquide : jusqu'à 0,2 % pour Essential et jusqu'à 0,1 % pour Ultimate.
  - Débit massique gaz : jusqu'à 0,75 % pour Essential et jusqu'à 0,5 % pour Ultimate.
  - Densité : jusqu'à 4 g/l pour Essential et jusqu'à 0.5 g/l pour Ultimate.
- Gamme de mesure : 0...76 m<sup>3</sup>/h
- Pression de procès max. : Jusqu'à 100 bars.
- Gamme de température ambiante
  - Capteur : 10 – 35 °C
  - Transmetteur : -40 – 60 °C
- Plage de température du fluide à mesurer :
  - Type intégré : -50 – 150°C
  - Type déporté : -70 – 200°C
- Température de stockage
  - Capteur : -50 – 80 °C
  - Transmetteur : -40 – 60 °C
- Indice de protection : IP66/67 pour transmetteur et capteur en utilisant les presse-étoupes correspondants, NEMA 4X
- Sorties : 4...20 mA
- Communication numérique : HART7
- Certificats Ex : Type intégré / Capteur déporté / Transmetteur déporté : ATEX, IECEx, FM.

- Sécurité du produit : les débitmètres massiques à effet Coriolis Rotamass respectent les exigences légales des directives UE en vigueur. Avec l'apposition du sigle CE.
- Plage de débit massique : Taille de raccord typique DN40  $Q_{nom} = 4,7$  t/h;  $Q_{max} = 7$  t/h
- Plage de densité du fluide à mesurer 0 – 5 kg/l
- Humidité relative de l'air : 0 – 95 %
- Matériau capteur et transmetteur : les parties en contact avec le fluide sont : Acier inoxydable 1.4301/304 et 1.4404/316L
- Matériau du boîtier capteur et transmetteur : Acier inoxydable / Aluminium
- Tension d'alimentation
  - Tension alternative (effective) : 24 VAC ou 100 – 240 VAC
  - Tension continue : 24 VDC ou 100 – 120 VDC
- Fréquence du réseau : 47 – 63 Hz

### B- Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Supreme :



**Figure III.12 :** Débitmètre à effet Coriolis ROTAMASS TI Supreme.

#### - Caractéristiques et spécifications Supreme : [15]

- ❖ Liquides et gaz.
- Principe de mesure : Massique (principe de mesure de Coriolis).
- En-tête produit : le capteur avec indice de protection IP66/67 et un concept de bride multi-taille. Polyvalent avec de faibles coûts pour l'exploitant d'industrie de l'eau.
- Caractéristiques du capteur :
  - Fonctionnement fiable et sûr à long terme - capteur robuste et entièrement assemblé - pas de perte de charge due aux restrictions de section - Fonctionnement sans entretien - pas de pièces en mouvement. Agréments internationaux pour l'eau potable. Indice de protection IP66/67.
- Caractéristiques du convertisseur :
  - Orientation du boîtier du transmetteur tournée de 180°.
  - Sauvegarde de données sur carte micro SD.

- Fonctions de diagnostic.
- Plus large gamme de combinaisons d'entrées/sorties de l'industrie.
- Gestionnaire d'évènements aide à l'exploitation efficace et sécuritaire du procédé
- Aide intelligente pour le paramétrage et la navigation dans la configuration principale.
- Le bloc d'alimentation universel permet d'utiliser le débitmètre partout dans le monde.
- Gamme de diamètre nominal : DN 15...125
- Précision de mesure
  - Débit massique liquide : jusqu'à 0,15 % pour Essential et jusqu'à 0,1 % pour Ultimate.
  - Débit massique gaz : jusqu'à 0,75 % pour Essential et jusqu'à 0,5 % pour Ultimate.
  - Densité : jusqu'à 4 g/l pour Essential et jusqu'à 0.5 g/l pour Ultimate.
- Gamme de mesure : 0...170 m<sup>3</sup>/h
- Pression de procès max : Jusqu'à 100 bar
- Gamme de température ambiante
  - Capteur : -40 à 60°C pour le type intégré et 0 à 80°C pour le type déporté
  - Convertisseur : -40 – 60 °C
- Plage de température du fluide à mesurer :
  - Type intégré : -50 – 150°C
  - Type déporté : -70 – 150°C
- Température de stockage
  - Capteur : -50 – 80 °C
  - Convertisseur : -40 – 60 °C
- Indice de protection : IP66/67 pour convertisseur et capteur en utilisant les presse-étoupes correspondants.
- Affichage/Exploitation : Affichage matriciel à 4 lignes avec boutons poussoirs
- Sorties : 4...20 mA analogique, impulsion / fréquence
- Communication numérique : HART
- Certificats Ex : ATEX, IECEX.
- Sécurité du produit : les débitmètres massiques à effet Coriolis Rotamass respectent les exigences légales des directives UE en vigueur. Avec l'apposition du sigle CE.
- Plage de débit massique : Taille de raccord typique DN40/ 1½" Q<sub>nom</sub>= 32 t/h ; Q<sub>max</sub>= 50 t/h
- Plage de densité du fluide à mesurer : 0 – 5 kg/l
- Humidité relative de l'air : 0 – 95 %
- Matériau capteur et convertisseur : les parties en contact avec le fluide sont : Acier inoxydable 1.4301/304 et 1.4404/316L
- Matériau du boîtier capteur et convertisseur : Acier inoxydable 1.4301/304 et Aluminium
- Tension d'alimentation :

- Tension alternative (effective) : 24 VAC ou 100 – 240 VAC
- Tension continue : 24 VDC ou 100 – 120 VDC
- Fréquence du réseau : 47 – 63 Hz

#### 3.2.2.1.2. Domaine d'utilisation

- Mesure précise du débit de liquides et de gaz, de fluides à mesurer polyphasiques et de fluides à mesurer avec une certaine teneur en gaz à l'aide du principe de mesure de Coriolis.
- Mesure directe du débit massique et de la densité indépendamment des caractéristiques physiques du fluide à mesurer comme la densité, la viscosité et l'homogénéité.
- Mesure de concentration de solutions, de suspensions et d'émulsions. [15]

#### 3.2.2.1.3. Les avantages et les utilités : [15]

- ✓ Le débitmètre générera un signal valide dans les 20 secondes suivant sa mise sous tension au démarrage.
- ✓ Enregistrement en ligne de plusieurs variables du procès comme la masse, la densité et la température.
- ✓ Montage sans adaptateur grâce au concept de bride multi-taille.
- ✓ Aucune longueur droite amont ou aval nécessaire.
- ✓ Mise en service et fonctionnement rapide et convivial du débitmètre.
- ✓ Fonctionnement sans entretien.
- ✓ Fonctions à activation ultérieure.
- ✓ Insensible aux vibrations grâce au débitmètre à double tube équilibré.

#### 3.2.2.1.4. Les avantages supplémentaires du modèle Ultimate :

- ✓ Les vérifications brevetées de l'état des tubes et de l'appareil (Tube Health Check & Total Health Check) permettent l'évaluation de l'état du débitmètre en ligne, sans interférer avec la mesure.
- ✓ « Fonctions sur demande » par clé d'activation informatique pour enrichir la librairie de fonctions spéciales.
- ✓ Mode de fonctionnement « par lot », combiné à plusieurs configurations pré-paramétrées, facilite les changements rapides de produit.
- ✓ La compensation dynamique de la pression assure une mesure stable et exacte, même quand la pression du procédé fluctue considérablement.
- ✓ Mesure de la concentration en ligne.

#### 3.2.2.1.5. Principe de mesure ROTAMASS TI Prime / Supreme :

Le principe de mesure se base sur la génération de forces de Coriolis. Un système d'excitation (E) excite pour cela les deux tubes de mesure ( $M_1$ ,  $M_2$ ) à leur première fréquence de résonance. Les deux tubes oscillent en opposition de phase tel un diapason qui résonne. [15]

- $M_1, M_2$  : Tubes de mesure.
- $S_1, S_2$  : Bobine réceptrice.
- $F_1, F_2$  : Forces de Coriolis.
- E : Système d'excitation.
- A : Direction d'oscillation du tube de mesure.
- Q : Sens d'écoulement du fluide à mesurer.

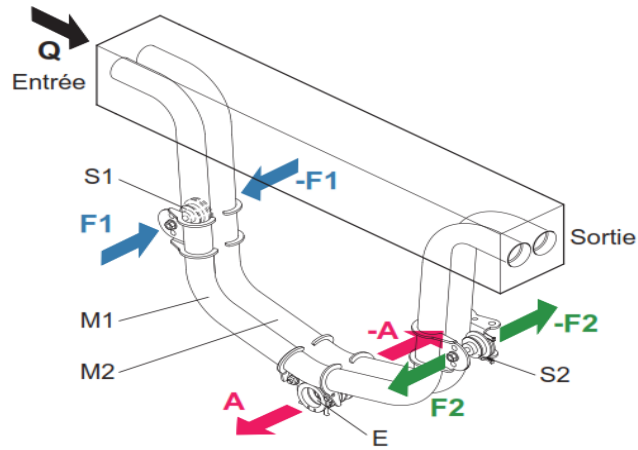


Figure III.13 : Principe de mesure de Coriolis.

3.2.2.1.5.1. Débit massique :

- 1 : Support tubes de mesure.
- 2 : Fluide à mesurer.
- 3 : Tubes de mesure.
- $A_E$  : Axe de rotation.
- $F_1, F_2$  : Forces de Coriolis.
- $\alpha$  : Angle de torsion

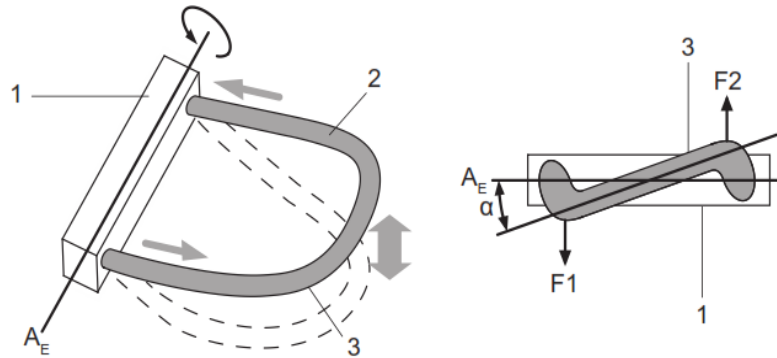


Figure III.14 : Forces de Coriolis et déformations des tubes de mesure.

Des forces de Coriolis ( $F_1, -F_1$  et  $F_2, -F_2$ ), qui agissent sur les tubes avec des signes précurseurs différents entre l'entrée et la sortie, sont générées lorsqu'un fluide à mesurer circule à travers les tubes de mesure qui oscillent. Ces forces sont directement proportionnelles au débit massique et conduisent à la déformation (torsion) des tubes de mesure. [15]

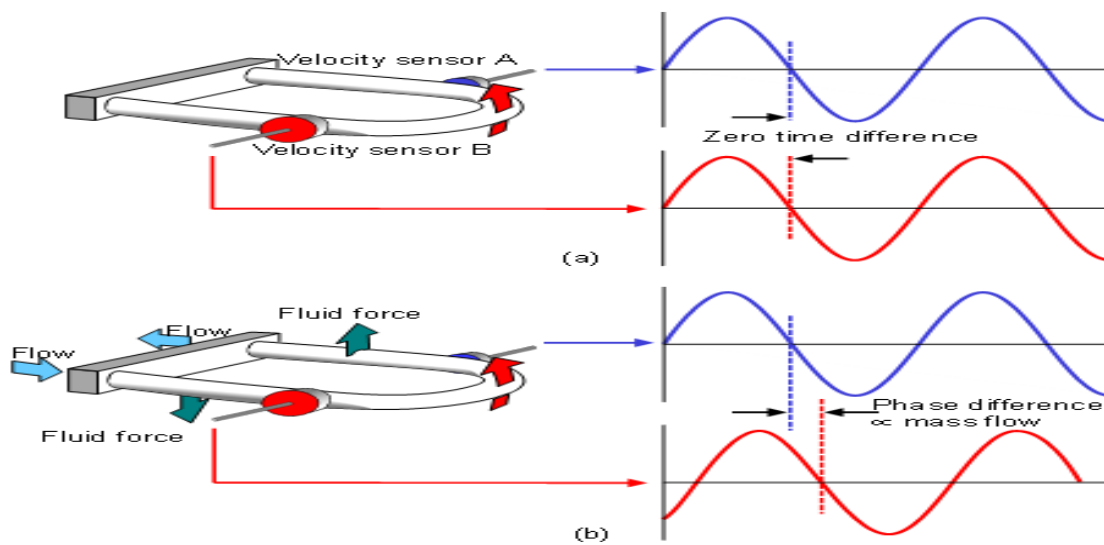


Figure III.15 : Le déphasage  $\Delta\phi$  entre les signaux des bobines  $S_1$  et  $S_2$ .

Une petite déformation, qui se superpose à l'oscillation de base, est détectée par les bobines réceptrices ( $S_1, S_2$ ) qui sont placées à des endroits appropriés des tubes de mesure.

Le déphasage  $\Delta\varphi$  entre les signaux des bobines réceptrices  $S_1$  et  $S_2$  qui en résulte est proportionnel au débit massique.

$$\Delta\varphi \sim Fc \sim \frac{dm}{dt} \quad (3.2)$$

$\Delta\varphi$  : Déphasage

$m$  : Masse déplacée

$t$  : Durée

$dm/dt$  : Débit massique

### 3.2.2.1.5.2. Mesure de densité

Les tubes de mesure fonctionnent à leur fréquence de résonance  $f$  à l'aide d'une bobine d'excitation et d'un régulateur électronique. Cette fréquence de résonance est fonction de la géométrie du tube de mesure, des caractéristiques du matériau et de la masse du fluide à mesurer qui oscille dans les tubes de mesure. Une modification de la densité et ainsi la modification de masse qui l'accompagne entraîne une modification de la fréquence de résonance. Le transmetteur mesure la fréquence de résonance et calcule à partir de là la densité à l'aide de l'équation suivante. Les constantes qui dépendent de l'appareil sont déterminées individuellement lors de la calibration. [15]

$$\rho = \frac{\alpha}{f^2} + \beta \quad (3.3)$$

$\rho$  : Densité du fluide à mesurer.

$f$  : Fréquence de résonance des tubes de mesure.

$\alpha, \beta$  : Constantes qui dépendent de l'appareil.

### 3.2.2.1.5.3. Mesure de température

La température du tube de mesure est mesurée pour compenser les influences de la température sur le débitmètre. Cette température correspond approximativement à la température du fluide à mesurer et elle est également transmise comme quantité mesurée au transmetteur.

### 3.2.2.1.6. Identification du débitmètre :

Le débitmètre avec sa spécification peut être identifié via le code article. Le code article figure sur la plaque signalétique principale respective.

#### - Plaques signalétiques

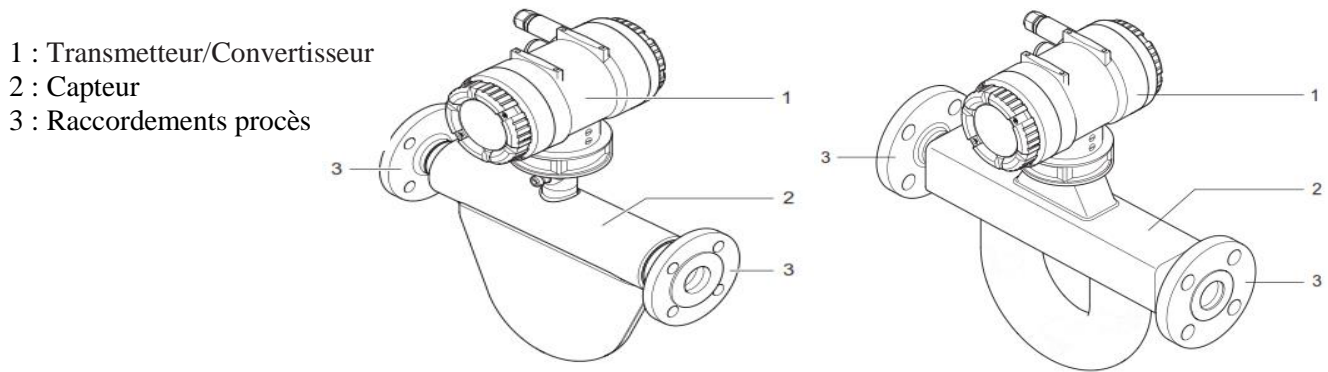
Une plaque signalétique principale et une plaque signalétique additionnelle qui contiennent des informations différentes sont apposées autant sur le capteur que sur le convertisseur. Voir l'Annexe III.1.

### 3.2.2.1.7. Conception Débitmètre Prime / Supreme

Le débitmètre massique à effet Coriolis Rotamass TI Prime/ Supreme est constitué des composants principaux :

- Capteur
- Transmetteur / Convertisseur

Sur le type intégré, le capteur et le convertisseur sont solidement assemblés.



**Figure III.16 :** Conception du type intégré de Rotamass Prime/Supreme.

### 3.2.2.1.8. Conditions de Montage des débitmètres à effet Coriolis ROTAMASS TI Prime / Supreme :

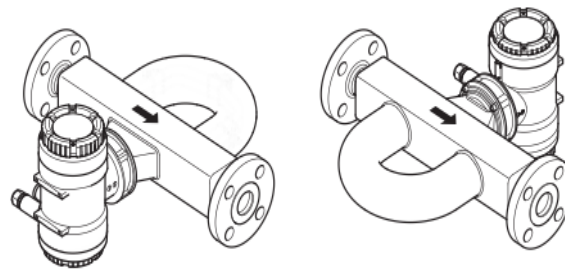
#### 3.2.2.1.8.1. Indications de montage

##### A- Position de montage

Les débitmètres massiques à effet Coriolis Rotamass peuvent être montés à l'horizontale, à la verticale et en position oblique. Les tubes de mesure doivent être remplis complètement avec le fluide à mesurer car la concentration d'air ou la formation de bulles de gaz dans le tube de mesure peuvent provoquer des erreurs de mesure. Aucune longueur droite amont ou aval n'est nécessaire. [15]

##### 01- Position latérale

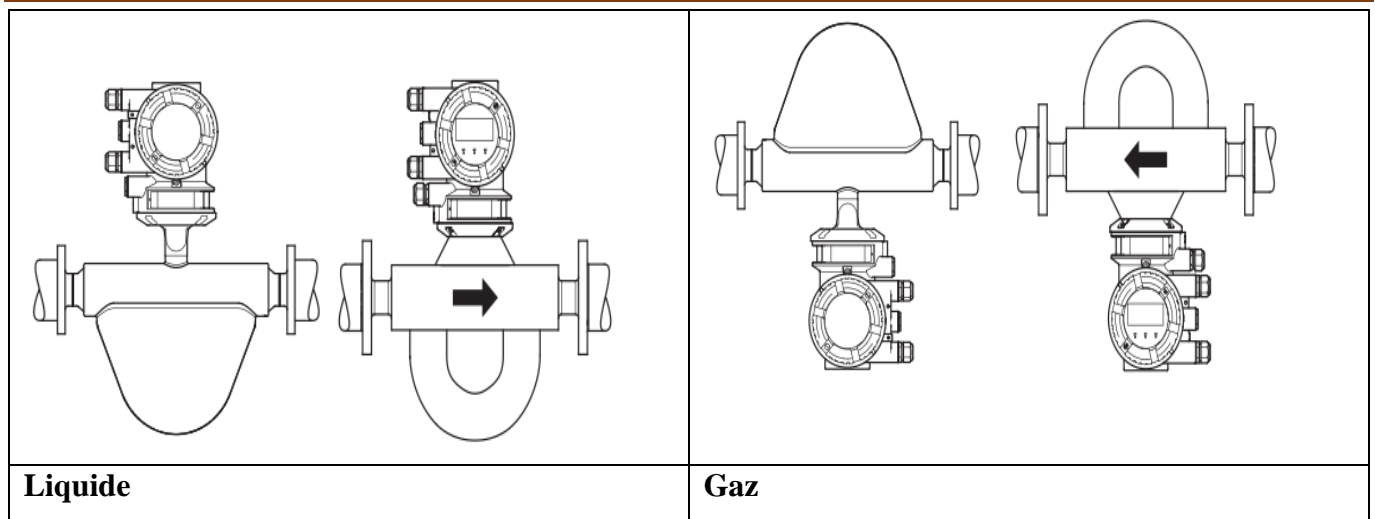
Le montage du débitmètre en position latérale est à éviter car cela pourrait influencer la précision de mesure.



**Figure III.17 :** Positions latérale de débitmètre.

##### 02- Montage horizontal

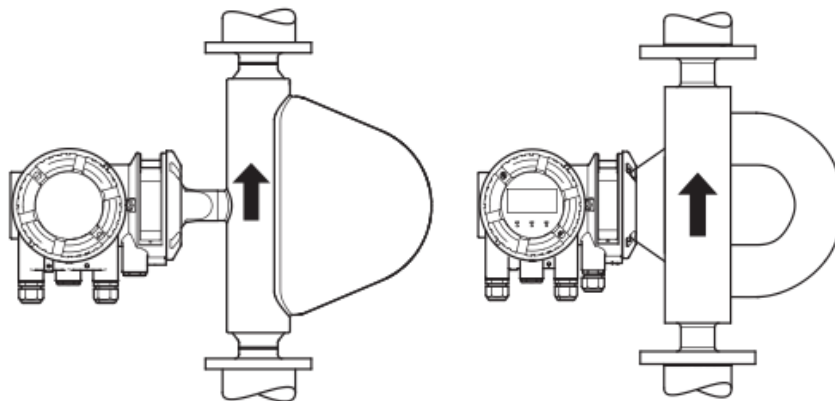
- ▶ Liquides : les tubes de mesure vers le bas pour que le gaz ne puisse pas s'accumuler.
- ▶ Gaz : les tubes de mesure vers le haut pour que le liquide ne puisse pas s'accumuler.



**Figure III.18 :** Montage horizontal tubes de mesure vers le bas / tubes de mesure vers le haut.

### 03- Montage vertical (recommandé)

- Facilite la vidange de la conduite pour l'entretien, le démarrage de production ou le changement de produit.
- Facilite l'échappement des bulles de gaz.
- Ne nécessite qu'une seule vanne d'arrêt pour assurer un débit nul lors de l'auto-zéro.



**Figure III.19 :** Montage vertical.

### B- Lieu de montage

Pour exploiter le débitmètre de manière stable, il faut respecter les règles de positionnement suivantes :

#### - Montage sans liberté suffisante de mouvements

- Choisir le lieu de montage de telle manière qu'il y ait suffisamment de place pour le montage, l'installions électrique, l'entretien, etc.

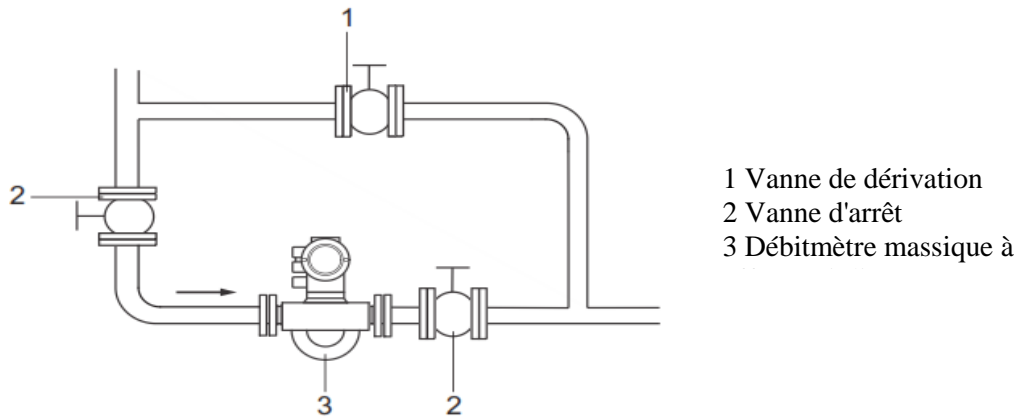
#### - Conditions climatiques extrêmes

- Ne pas monter le débitmètre dans des lieux avec de fortes variations de température.
- Ne pas monter le débitmètre dans des lieux avec un rayonnement solaire direct ou monter une protection solaire complémentaire.

#### - Autres règles

- Éviter les lieux de montage où il y a de la cavitation.

- Monter le débitmètre si possible éloigné des moteurs, transformateurs ou variateurs.
- Exploiter le débitmètre à une altitude inférieure à 2000 m au-dessus du niveau de la mer.
- Le montage du débitmètre à une sortie de conduite en descente doit si possible être évité.
- Monter le débitmètre si possible sans chocs ni vibrations.
- Utiliser des vannes d'arrêt et une conduite de dérivation pour faciliter le réglage du zéro.



**Figure III.20 :** Vannes d'arrêt et conduite de dérivation.

- Éviter le montage au point le plus haut de la tuyauterie pour les applications avec des liquides. Des accumulations de bulles de gaz et de gaz dans le tube de mesure peuvent occasionner des incertitudes de mesure accrues.
- Éviter le montage juste avant le point le plus bas de la tuyauterie pour les mesures de gaz. Des accumulations de liquides.

### 3.2.2.2. Débitmètre massique thermique proline t-mass65 :

Débitmètre haute performance avec adaptation intelligente et dynamique aux conditions de procès fluctuantes.

Proline t-mass 65 est conçue pour la mesure directe du débit massique de gaz industriels et d'air comprimé, Avec une rangeabilité typique de 100:1, il peut mesurer avec précision les débits de procès et les fuites de ligne. [15]

#### 3.2.2.2.1. Identification :

##### 3.2.2.2.1.1. Désignation de l'appareil

Le débitmètre t-mass 65 comprend les éléments suivants :

- Transmetteur t-mass 65
- Capteurs t-mass F, t-mass I

Deux versions sont disponibles :

- Version compacte : le transmetteur et le capteur constituent une unité mécanique.
- Version séparée : le transmetteur et le capteur sont montés à distance

La version à insertion t-mass 65I est appropriée pour les grandes conduites et les gaines d'aération rectangulaires. Voir l'Annexe III.2 et l'Annexe III.3.

### 3.2.2.2.2. Domaine d'application

- Ce principe de mesure se caractérise par une dynamique de mesure élevée et une mesure directe du débit massique
- Mesure de gaz et de mélanges de gaz dans de petites conduites pour t-mass65F et des conduites circulaires et gaines rectangulaires pour t-mass65I.

### 3.2.2.2.3. Descriptif :

#### A- Débitmètre thermique proline t-mass 65 F



Figure III.21 : débitmètres Proline t-mass 65 F (à bride).

#### - Caractéristiques et spécifications t-mass 65F :

- ❖ Gaz.
- Principe de mesure : Thermique
- En-tête produit : Débitmètre haute performance avec adaptation intelligente et dynamique aux conditions de procès fluctuantes. Mesure de gaz et de mélanges de gaz dans de petites conduites.
- Caractéristiques du capteur :  
Sécurité de l'installation - précision et reproductibilité élevées pour une large gamme de gaz industriels et de gaz de procès - Mesure économique - installation aisée - perte de charge négligeable et absence de maintenance - Mesure de débit fiable - mesure multivariable - Version in-line: diamètre nominal DN 15 à 100 (1/2" à 4") - Pression de procès jusqu'à PN 40, classe 300. [16]
- Caractéristiques du transmetteur :  
Configuration flexible de l'appareil pour adaptation à l'application - fonctionnalité "Gas Engine" intégrée - Pour applications exigeantes - mélanges de gaz définis par l'utilisateur - reproductibilité et précision élevées - Récupération automatique des données pour la maintenance - Appareil en version compacte ou séparée. 4-20 mA HART, PROFIBUS PA/DP, Modbus RS485, FF. [16]
- Gamme de diamètre nominal : DN 15 à 100 (1/2" à 4")
- Matériaux en contact avec le produit :  
Élément sensible : 1.4404 (316L) ; Alloy C22, 2.4602 (UNS N06022)  
Raccords procès : 1.4404 (316L/316)  
Corps du capteur : DN 15 à 25 (1/2" à 1") : CF3M-A351

DN 40 à 100 (1-1/2" à 4") : 1.4404 (316/316L)

Variables mesurées : Débit massique, température, débit volumique

- Erreur de mesure max : Gaz : 1,5% de m. (10 à 100% de P.E.), 0,15% de P.E. (1 à 10% de P.E.)
- Gamme de mesure : 0,5 à 3750 kg/h
- Pression de procès max : PN40 bar
- Gamme de température du produit : -40 °C à +100 °C
- Gamme de température ambiante : -20 °C à +60 °C),
- Matériau du boîtier du transmetteur :

Compact : fonte d'alu moulée avec revêtement pulvérisé

Boîtier de raccordement (version séparée) : fonte d'alu moulée avec revêtement pulvérisé

- Indice de protection : IP 67, NEMA 4x
- Entrées / Sorties : 4-20mA,
- Alimentation : 85 à 260 VAC, 45 à 65 Hz  
20 à 55 VAC, 45 à 65 Hz  
16 à 62 VDC
- Certificats Ex : ATEX, FM, CSA, NEPSI
- Sécurité du produit : Marquage CE, C-Tick, EAC

#### B- Débitmètre massique thermique proline t-mass 65 I



**Figure III.22** : débitmètres Proline t-mass 65 I (à insertion).

#### - Caractéristiques et spécifications t-mass 65I :

##### ❖ Gaz.

- Principe de mesure : Thermique
- En-tête produit : Débitmètre haute performance avec adaptation intelligente et dynamique aux conditions de procès fluctuantes. Mesure de gaz et de mélanges gazeux dans des conduites circulaires et gaines rectangulaires.
- Caractéristiques du capteur :

Sécurité de l'installation - précision et reproductibilité élevées pour une large gamme de gaz industriels et de gaz de procès - Mesure économique - installation aisée - perte de charge négligeable et absence de maintenance - Mesure de débit fiable - mesure multivariable - Version à insertion pour diamètre nominal DN 80 à 1500 (3 à 60") - Température du produit jusqu'à +130 °C (266 °F).

- Caractéristiques du transmetteur :

Configuration flexible de l'appareil pour adaptation à l'application - fonctionnalité "Gas Engine" intégrée - Pour applications exigeantes - mélanges de gaz définis par l'utilisateur - reproductibilité et précision élevées - Récupération automatique des données pour la maintenance - Appareil en version compacte ou séparée. 4-20 mA. [16]

- Gamme de diamètre nominal : DN 80 à 1500

- Matériaux en contact avec le produit :

Élément sensible : 1.4404 (316L) ; Alloy C22, 2.4602 (UNS N06022)

Tube d'insertion : 1.4404 (316/316L)0; Alloy C22, 2.4602 (sur demande)

Capot élément sensible : 1.4404 (316L)

Raccord ajustable : 1.4404 (316/316L)

- Variables mesurées : Débit massique, température, débit volumique, flux énergétique

- Erreur de mesure max : Gaz : 1,5% de m. (10 à 100% de P.E.), 0,15% de P.E. (1 à 10% de P.E.)

- Gamme de mesure : 20 à 720000 kg/h

- Pression de procès max : - 0,5 à 20 bars relatifs.

- Gamme de température du produit : -40 °C à +130 °C

- Gamme de température ambiante : -20 °C à +60 °C,

- Matériau du boîtier du transmetteur :

Compact : fonte d'aluminium moulée avec revêtement pulvérisé

Séparé : fonte d'aluminium moulée avec revêtement pulvérisé

Boîtier de raccordement (version séparée) : fonte d'aluminium moulée avec revêtement pulvérisé

- Indice de protection : IP67 (NEMA 4X) pour transmetteur et capteur

- Entrées / Sorties : 4-20mA,

- Alimentation : 85 à 260 VAC, 45 à 65 Hz

20 à 55 VAC, 45 à 65 Hz

16 à 62 VDC

- Certificats Ex : ATEX, FM, CSA, NEPSI

- Sécurité du produit : Marquage CE, C-Tick, EAC

#### 3.2.2.2.4. Caractéristiques en plus de t-mass 65 :

- Précision élevée :  $\pm 1,5$  % de la valeur mesurée (10 à 100 % de la pleine échelle)

- **t-mass 65F :**

- Version in-line : diamètre nominal DN 15 à 100 (1/2 à 4")
- Pression de procès jusqu'à PN 40, classe 300.

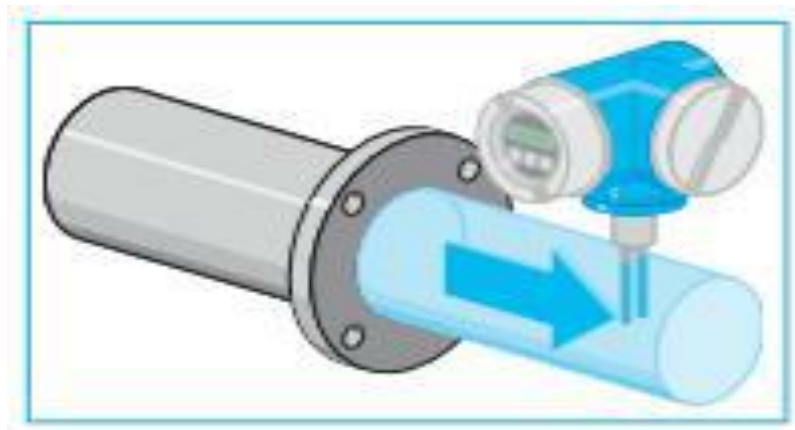
- **t-mass 65I :**

- Version à insertion pour diamètre nominal DN 80 à 1500.
- Température du produit jusqu'à +130 °C.

### 3.2.2.2.5. Principe de fonctionnement et construction du système :

Le principe de mesure thermique repose sur le refroidissement d'une thermorésistante (PT100) chaude, par le passage d'un gaz.

Dans la section de mesure, le gaz passe sur deux thermorésistances PT 100, l'une d'entre elles servant de sonde de température classique, l'autre d'élément chauffant. La sonde de température surveille et enregistre la température de procès réelle, tandis que la thermorésistante chauffée est maintenue à une différence de température constante (par rapport à la température du gaz mesurée) grâce à une régulation du courant électrique consommé par l'élément chauffant. Le refroidissement et de ce fait l'intensité du courant nécessaire au maintien d'une différence de température constante sont d'autant plus importants que le débit massique passant sur la thermorésistante réchauffée est grand. Le courant de réchauffement mesuré est de ce fait une mesure directe du débit massique du gaz. [16]



**Figure III.23 :** Principe de fonctionnement de Proline t-mass 65.

### 3.2.2.2.6. Les avantages

- ✓ Mesure multivariable directe et affichage du débit massique et de la température du fluide.
- ✓ Compensation en pression ou en température inutile.
- ✓ Grande dynamique de mesure (100:1).
- ✓ Grande sensibilité de mesure.
- ✓ Réaction rapide aux fluctuations de débit.
- ✓ Perte de charge négligeable.
- ✓ Sans entretien, pas de pièces mobiles.

### 3.2.2.2.7. Conditions d'implantation des débitmètres massique thermique proline t-mass 65 :

Les appareils de mesure thermiques nécessitent un profil d'écoulement bien développé pour une mesure de débit correcte. Pour cette raison, il est nécessaire de respecter les points suivants lors du montage de l'appareil de mesure :

- Le principe de dispersion thermique est très sensible aux faibles débits et aux profils d'écoulement perturbés.
- Des longueurs droites d'entrée et de sortie.
- Les conduites et l'installation doivent être réalisées d'après les bonnes pratiques de l'ingénierie.
- Garantir un alignement et une orientation corrects du capteur.
- Eviter la condensation à proximité du capteur.
- Prendre en compte la nature du gaz ou du mélange gazeux (sécheresse, propreté, stabilité, fraction...).
- Des températures max, admissibles et de la gamme de température du produit.
- Si possible implanter le capteur de manière à éviter les fluctuations extrêmes de la température ambiante et des conditions du procès.
- Des raisons mécaniques, et de manière à protéger la conduite, il est judicieux de prévoir un support pour les capteurs lourds.

#### 3.2.2.2.7.1. Orientation

L'appareil peut généralement être installé dans n'importe quelle position sur la conduite. Dans le cas de gaz humides/encrassés, les conduites verticales montantes sont à préférer afin de réduire la condensation/contamination. Dans le cas d'une condensation libre (par ex. biogaz), le capteur devrait être orienté de manière à ce que l'eau ne puisse condenser sur l'élément sensible ou à proximité.

S'assurer que la flèche située sur le capteur est orienté dans le sens de l'écoulement du fluide dans la conduite. [16]

##### a) Orientation verticale :

Il est important de souder le piquage sur la conduite de manière à ce que le capteur soit placé avec un angle de 90° par rapport au sens d'écoulement, tout écart par rapport à cet angle peut entraîner des perturbations de l'écoulement à proximité du point de mesure qui pourraient engendrer des erreurs.

Pour la version à bride l'orientation est recommandé pour le compacte et le séparée, mais pour la version à insertion l'orientation est recommandé pour le séparée et recommandé dans certains cas pour le compacte. [16]

##### b) Orientation horizontale :

L'orientation transmetteur en haut et capteur en bas est recommandé dans la deux versions pour le compacte et le séparée et déconseillé dans le sens inverse (transmetteur en bas et capteur en haut).

### - Pour la version à bride

Les flèches situées sur les parois du boîtier sont orientées dans le sens de l'écoulement.

### - Pour la version à insertion

Il est primordial que le capteur soit correctement aligné sur le sens d'écoulement. Il y a deux règles à respecter pour une orientation correcte :

- Les flèches situées sur les parois du boîtier sont orientées dans le sens de l'écoulement.
- La graduation sur le tube à insertion devrait être orientée vers le sens d'écoulement à l'entrée.

Afin que l'élément sensible soit exposé de manière optimale au débit de gaz, le capteur ne doit pas être tourné de plus de  $7^\circ$  par rapport au repère.

#### 3.2.2.7.2. Longueurs droites d'entrée et de sortie :

Le principe de mesure thermique est très sensible aux perturbations du profil d'écoulement.

- Aussi l'appareil de mesure devrait être monté aussi loin que possible d'éléments perturbateurs du débit selon la norme ISO 14511. [16]
- Le capteur doit, dans la mesure du possible, être monté en amont d'éléments comme les vannes, T, coudes etc. Pour atteindre la précision de mesure spécifiée pour l'appareil de mesure, il convient de respecter au moins les longueurs droites d'entrée et de sortie indiquées ci-dessous. En présence de plusieurs perturbations du profil d'écoulement, il faut respecter la longueur droite d'entrée la plus longue indiquée. [16]

1 : Convergent.

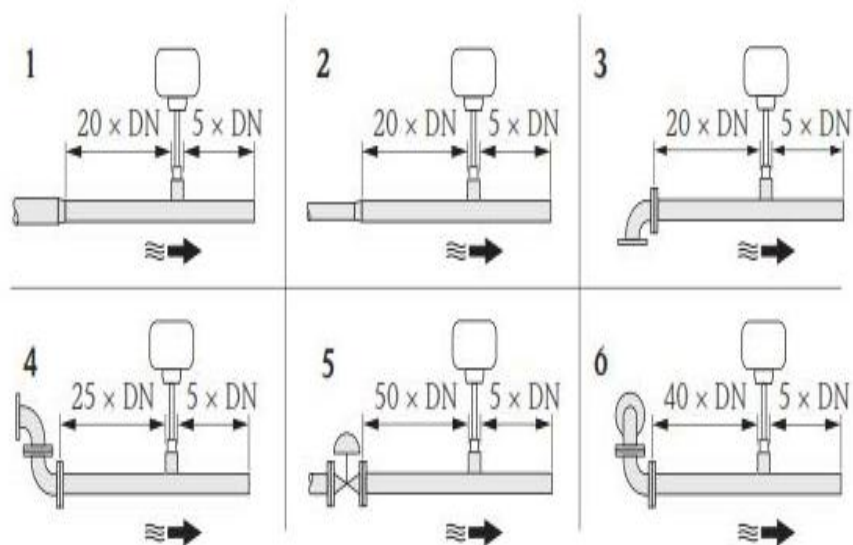
2 : Divergent.

3 : coude  $90^\circ$  ou T.

4 : 2 x coude  $90^\circ$

5 : vanne de régulation.

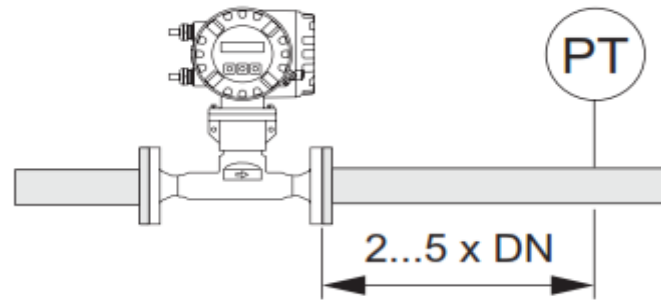
6 : 2 x coude  $90^\circ$ , tridimensionnel.



**Figure III.24 :** Les longueurs droites minimales d'E / S en multiples du diamètre de conduite.

#### 3.2.2.7.3. Sections de sortie avec prises de pression

La prise de pression devrait se trouver à la sortie de l'appareil de mesure, afin d'éviter toute influence potentielle du raccord procès du transmetteur de pression sur le profil d'écoulement du gaz.

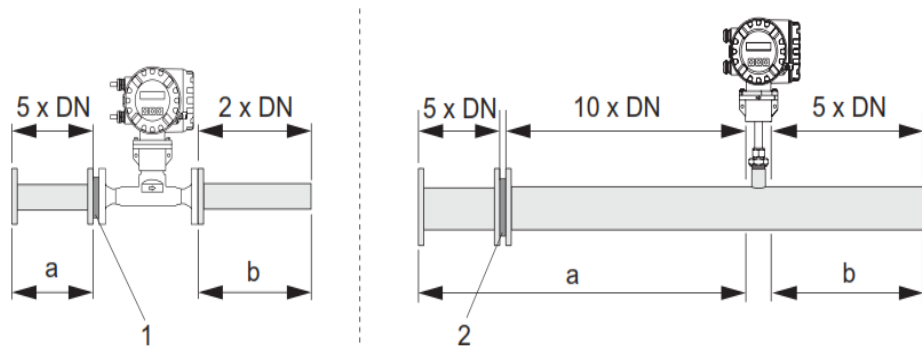


**Figure III.25 :** Installation d'une prise de pression (PT = transmetteur de pression).

**3.2.2.7.4. Tranquillisateur de débit à plaque perforée**

Si les longueurs droites d'entrée recommandées ne peuvent être respectées, il est conseillé d'installer un tranquillisateur de débit à plaque perforée. [16]

- 1 : Tranquillisateur de débit en version à bride.
- 2 : Tranquillisateur de débit en version à insertion.
- a : Longueur droite d'entrée.
- b : Longueur droite de sortie.



**Figure III.26 :** Les longueurs droites minimales d'entrée / de sortie en multiples du diamètre de conduite.

**3.3. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons décrit les principaux débitmètres utilisés par la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem. Nous avons étudié deux types de débitmètre (Volumétrique et Massique). A cet effet, nous avons fait une étude technique selon les conditions de service opérationnelles, et les paramètres et les caractéristiques de chaque type pour que nous puissions choisir le plus optimale aux intérêts de l'industrie de l'eau potable.

# CHAPITRE IV

## **Principes d'Etalonnage des débitmètres**

## 4.1 Introduction :

Aujourd'hui, la métrologie des liquides en écoulement joue un rôle essentiel pour un grand nombre d'industriels de maîtriser leurs dispositifs de mesure au regard des enjeux et exigences liées à la qualité, à la sécurité, à l'efficacité d'un procédé et à la protection de l'environnement.

Pour conserver la précision de mesure de ces instruments sur le long terme est une difficulté majeure pour les applications de comptage transactionnel. La performance des débitmètres étant influencée par de nombreux facteurs, les systèmes de mesure doivent faire l'objet de vérifications régulières selon un étalon de référence afin de prouver la conformité aux exigences en matière de précision et de répétabilité. [17]

Les procédures de mesure de référence, appelée aussi « méthodes d'étalonnage » en débitmètre liquide doivent permettre de réaliser des opérations de vérification et d'étalonnage des débitmètres au plus près des conditions d'utilisation et métrologiquement traçables aux étalons nationaux permettent de garantir que le système de comptage transactionnel fournit la mesure la plus précise possible et la satisfaction aux exigences spécifiées. [17]

Les débitmètres étalons représentent un élément très important dans le processus d'étalonnage des débitmètres. Ils doivent être maîtrisés et vérifiés régulièrement.

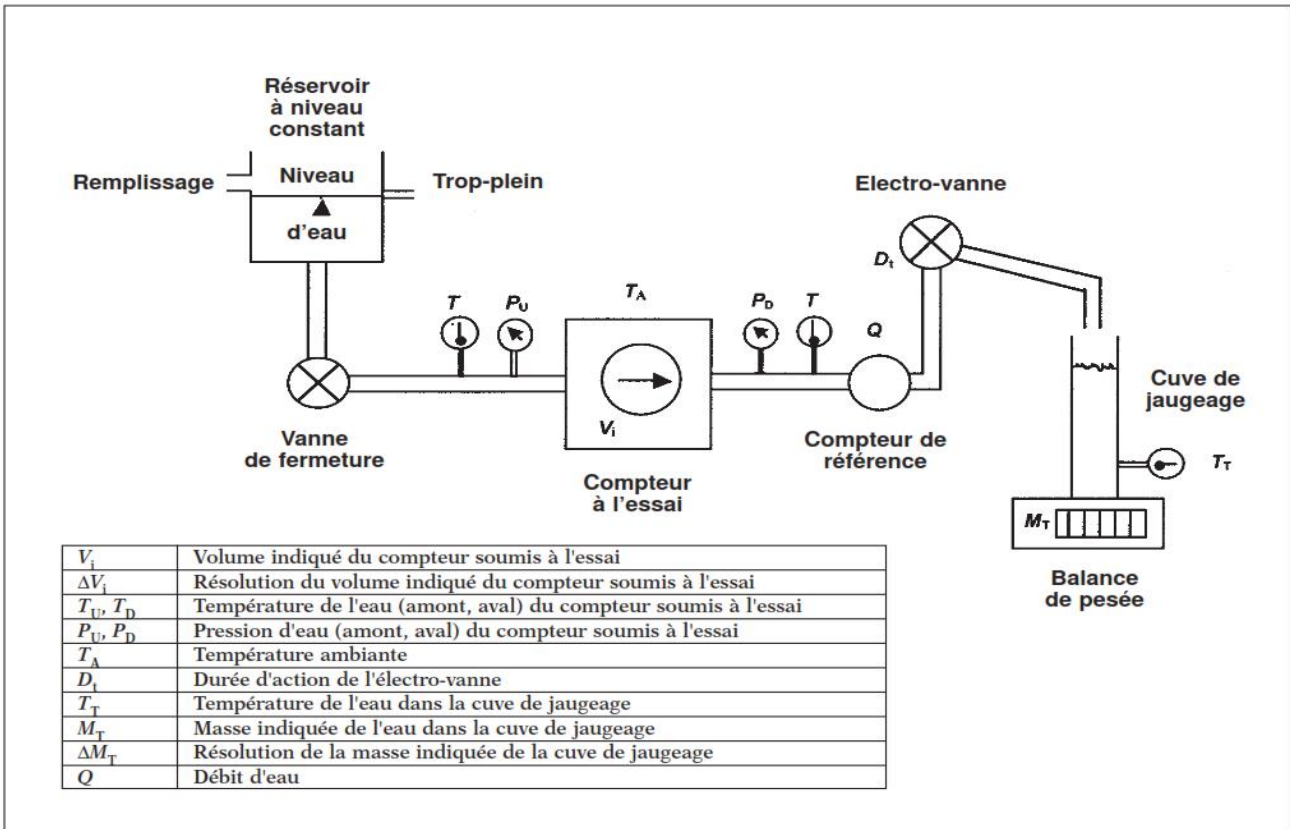
La sélection d'une méthode d'étalonnage et de vérification en débitmètre liquide se basera d'une part sur l'adéquation du principe de mesure à la grandeur dont on souhaite réaliser le mesurage, et d'autre part, sur le besoin exprimé en termes d'incertitude d'étalonnage.

La terminologie et les définitions utilisées sont conformes au document de référence « Vocabulaire international de métrologie », JCGM 200:2012, et à la norme NF EN 24006/ISO 4006:1991 « Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Vocabulaire et symboles ». Voir l'Annexe IV.1

L'ensemble des prestations d'étalonnage donnent lieu à l'émission d'un certificat d'étalonnage, et/ou à un constat de vérification statuant sur la conformité.

L'ensemble des prestations d'étalonnages proposées sont réalisées en conformité avec le référentiel ISO 17025.

Un exemple de système d'étalonnage pour compteur d'eau, utilisant la méthode par jaugeage avec balance de pesée.

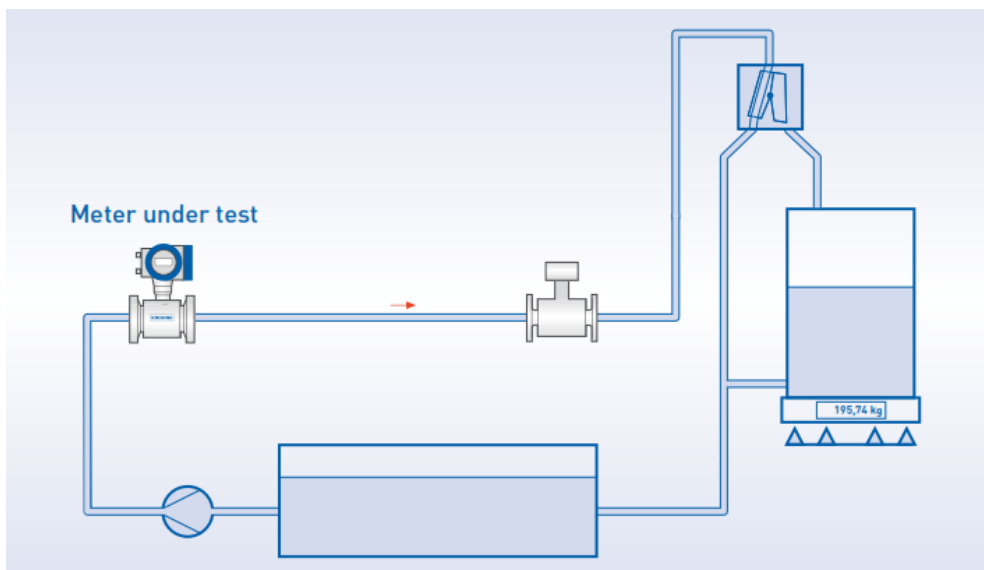


**Figure IV.1 :** Etalonnage du compteur d'eau par la méthode de jaugeage avec balance de pesée. (Gravimétrie)

**4.2 Les systèmes d'étalonnage et de vérification des débitmètres :**

Pour des raisons techniques, historiques et économiques, il existe trois grandes familles de méthodes d'étalonnage en débitmètre liquide. Chacune se fonde sur un principe de mesure adapté aux types d'instrument pouvant être étalonnés. Pour chaque méthode, on retrouvera des éléments communs liés au fluide en écoulement, et distincts, car liés au principe de mesure. [17]

**4.2.1 Méthode gravimétrique :**



**Figure IV.2 :** La méthode d'étalonnage Gravimétrique. [19]

### 4.2.1.1 Principe :

La méthode gravimétrique permet de mesurer une masse de liquide et seront donc utilisées préférentiellement pour étalonner des dispositifs de mesure en grandeur massique, que ce soit en débit massique pour un débitmètre ou en masse dynamique pour un compteur.

Parmi la méthode gravimétrique, on distingue plusieurs types de fonctionnement :

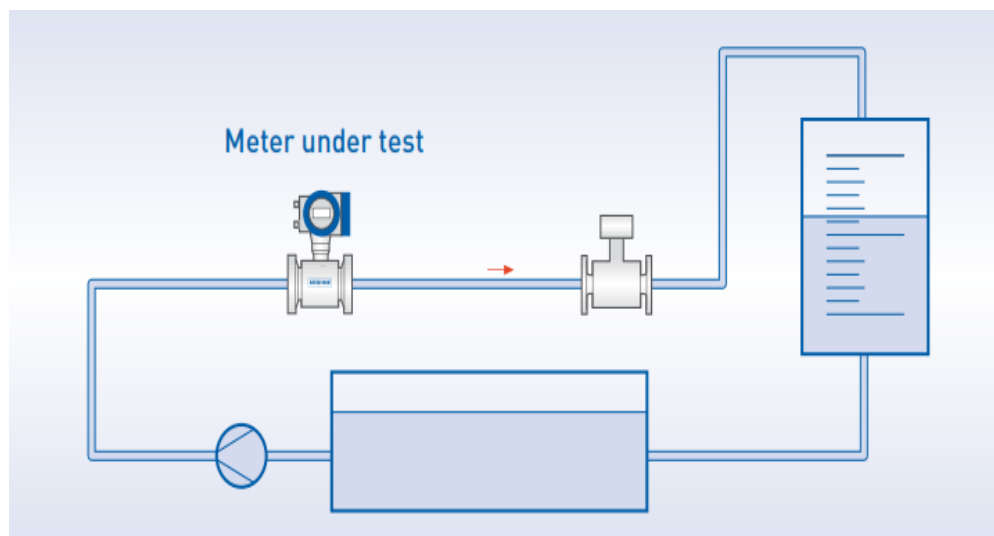
- « statique » ou « dynamique ».

Quel que soit le type de fonctionnement, la méthode consiste à réaliser le mesurage d'une masse de liquide par pesée, et dans le cas d'un étalonnage en débit, de réaliser le mesurage de l'intervalle de temps nécessaire à l'obtention de cette masse. La figure IV.2 présente le schéma de principe général pour la méthode gravimétrique.

Les bancs d'étalonnage basés sur cette méthode sont généralement constitués des éléments suivants :

- Une cuve de stockage, dont le volume dépend de la plage de débit (ou de volume) couverte par le banc d'étalonnage. Dans le cas de liquides volatils ou dangereux, cette cuve est fermée, et, le cas échéant, elle peut également être pressurisée.
- Une ou plusieurs pompes, entraînant l'écoulement du liquide dans le banc d'étalonnage.
- Un vase à niveau constant, autrement appelé « réservoir à débordement ». [17]

### 4.2.2 Méthode volumétrique :



**Figure IV.3 :** La méthode d'étalonnage Volumétrique. [19]

La méthode volumétrique consiste à la mesure d'un volume d'un liquide écoulé pendant une période déterminé (aussi appelée méthode par capacité, méthode par empotement et dépotement) ou en la mesure du temps nécessaire au remplissage d'un récipient comme ou mesurée.

Il existe deux méthodes principales pour l'étalonnage volumétrique :

### A- La méthode par réservoir volumétrique à volume fixe :

Cette méthode fonctionne de manière similaire à la méthode gravimétrique, mais le flux provenant de l'instrument est dérivé dans un réservoir dont la capacité volumétrique est connue. Cela élimine le besoin de recourir à un système de pesée ou de calculer le volume de l'eau à partir de son poids. [12]

### B- La méthode par sphère-étalon à volume fixe :

Avec cette méthode, la vanne de dérivation dirige le flux provenant de l'instrument vers un étalon de contrôle. L'étalon est une section de tuyau fabriquée avec précision qui contient une sphère dont le diamètre est supérieur de 3 % à celui du tuyau. Deux détecteurs de position se trouvent dans le tuyau, espacés d'une distance fixe. Le volume d'eau contenu dans le tuyau entre les détecteurs est ce qu'on appelle le volume calibré. [20]

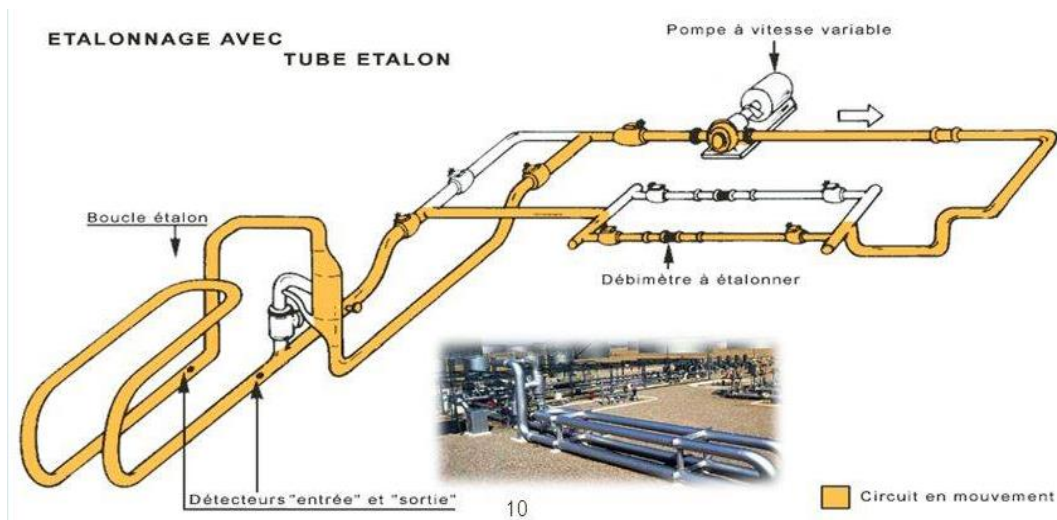


Figure IV.4 : étalonnage débitmètre par tube –étalon. [21]

### 4.2.3 Méthode par comparaison :

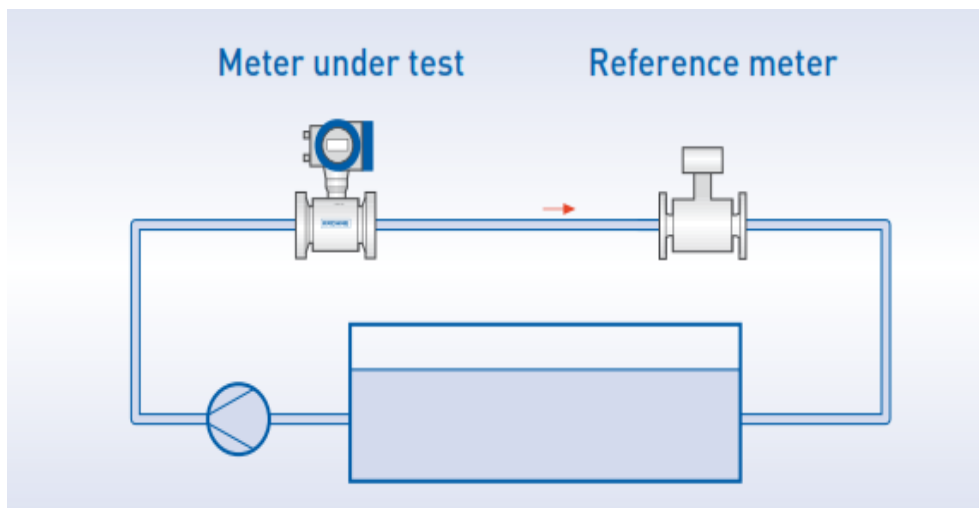


Figure IV.5 : La méthode d'étalonnage par comparaison (débitmètre de référence). [19]

Avec cette méthode, le débitmètre à étalonner est installé dans une conduite en série avec un débitmètre de référence, ou « maître » dont l'étalonnage est connu. Une fois que le débit d'eau dans les deux instruments est stable, on déclenche un minutage et l'on surveille simultanément les sorties des

deux instruments. Après une durée donnée, on arrête le minutage. Grâce à données obtenues pendant le cycle d'étalonnage, il est possible de comparer le débit moyen du débitmètre à étalonner à celui du débitmètre de référence, la différence indiquant l'erreur. [21]

### 4.3 Etalonnage des débitmètres utilisés :

#### 4.3.1 Débitmètres Massiques :

La mesure repose sur le principe de la force de Coriolis. Cette force est générée lorsqu'un système est simultanément soumis à des mouvements de translation et de rotation, cette force est donnée par :

$$F_C = 2 \cdot \Delta m (v \cdot \omega) \quad (4.1)$$

Ou :  $F_C$  : force de Coriolis.

$\Delta m$  : masse déplacée.

$\omega$  : vitesse de rotation.

$v$  : la vitesse radiale dans des systèmes en rotation ou en oscillation.

Le débitmètre a été étalonné sur un banc à haute pression afin d'inclure la courbe d'erreur dans le calculateur et ramener l'erreur au plus près de l'incertitude du banc.

La méthode utilisée pour cette vérification c'est la méthode gravimétrique. Le principe de cette méthode d'essais de contrôle consiste de faire une comparaison de la valeur affichée par le débitmètre massique Coriolis avec la valeur de référence du banc d'étalonnage (balance de précision).

L'essai utilisé pour la vérification de débitmètre massique est l'essai d'exactitude, en respectant Recommandation OIML R117 (4) et R105 (5) et l'ISO 5725 (6). Par définition, l'exactitude d'un appareil est essentiellement liée à deux types de caractéristiques : la justesse et la fidélité. Un appareil est exact s'il est à la fois juste et fidèle. [21]

#### 4.3.2 Calibration du débit massique :

Tous les Rotamass sont calibrés chez Rota Yokogawa selon les règles de l'art. Il est possible de laisser effectuer la calibration selon un procédé accrédité par DAkkS selon DIN EN ISO/IEC 17025:2005

La calibration est effectuée selon les conditions de référence. Les valeurs exactes figurent dans le certificat de calibration standard.

	Conditions de référence
Fluide à mesurer	Eau
Densité	0,9...1,1 kg/l
Température du fluide à mesurer	10...35 °C Température moyenne : 22,5 °C
Température ambiante	10...35 °C
Pression de service (absolue)	1...2 bar

**Tableau IV.1** : les conditions de référence de calibration de débit massique.

La précision de mesure spécifiée est atteinte au moment de la livraison aux conditions de calibrage indiquées.

Un certificat de calibration standard est joint à chaque Rotamass. Voir l'Annexe IV.2.

### 4.3.3 Essais gravimétriques des débitmètres massiques à effet de Coriolis :

#### 4.3.3.1 Application

La méthode gravimétrique applique à tout débitmètre massique à effet Coriolis installé pour mesurer la masse ou le volume d'un liquide.

Les débitmètres massiques à effet de Coriolis ont la capacité de mesurer directement le débit massique et la masse volumique d'un liquide. Les compteurs à effet de Coriolis peuvent être réglés pour calculer le débit volumétrique à partir des mesures du débit massique et de la masse volumique.

Cette méthode est utilisée aussi pour mettre à l'essai des systèmes de mesure dotés de débitmètres massiques à effet de Coriolis qui indiquent les valeurs en unités de masse. Cette méthode de comparaison des unités de masse est couramment appelée essai masse-masse.

Lorsqu'un compteur à effet de Coriolis est configuré pour mesurer en unités de volume et qu'il est destiné à mesurer un ou plusieurs produits, il doit être mis à l'essai avec des étalons volumétriques de tailles appropriées.

#### 4.3.3.2 Matériel :

- Balance ayant un rendement, une résolution et une portée appropriés.
- Récipient d'une capacité suffisante fait de matériaux compatibles avec le produit mesuré.
- Étalons de masse locaux de taille et en quantité suffisantes.
  - Les étalons locaux doivent permettre de réaliser les essais aux charges brutes maximales.
- Chronomètre utilisé pour chronométrer les livraisons et calculer les débits (pas requis si l'appareil soumis à l'essai peut afficher le débit).

#### 4.3.3.3 Facteurs à prendre en considération et vérifications préalables aux essais

- Vérifier si l'installation est conforme aux dispositions de l'avis d'approbation et aux exigences du fabricant.
- Vérifier si le compteur à effet de Coriolis est approuvé pour l'installation, le type de liquide et le débit utilisés.
- Vérifier si les paramètres de configuration obligatoires ont été programmés conformément à l'avis d'approbation. Cela comprend habituellement, sans toutefois s'y limiter, de s'assurer que :
  - a) La valeur associée au point de coupure à faible débit a été adéquatement réglée.
  - b) Le sens de l'écoulement est réglé pour l'installation (sens normal ou sens normal et inverse).
  - c) Le signal de sortie est réglé en mode totalisation.
  - d) La valeur d'amortissement a été adéquatement réglée.
  - e) Les coefficients des capteurs ont été programmés dans l'émetteur.

#### 4.3.3.4 Méthode d'exécution des essais

Faire circuler le liquide dans le compteur et dans la tuyauterie connexe pour éliminer l'air ou la vapeur et stabiliser les conditions d'écoulement. Déterminer les réglages appropriés du robinet de commande pour obtenir le débit massique souhaité.

- Effectuer au moins un essai à débit faible.
- Effectuer au moins un essai à débit élevé.
- Effectuer les essais de fidélité au même débit, conformément à la MEN-07.

#### Remarque :

Les essais de fidélité sont obligatoires pour les compteurs à effet de Coriolis.

- Au besoin, réaliser un essai à débit intermédiaire.
- Au besoin, réaliser un essai d'épuisement du produit.

#### 4.3.3.5 Méthode de réalisation de chaque essai :

- 1) Déterminer la tare du récipient avant la livraison.
- 2) Remettre l'indicateur du débitmètre à zéro et commencer le transfert.
- 3) Démarrer le chronomètre et transférer la quantité d'essai souhaitée du produit dans le récipient.
- 4) Fermer le robinet au point de transfert, arrêter immédiatement le chronomètre et consigner la durée chronométrée de l'essai.
- 5) Consigner l'indication du compteur.
- 6) Consigner la masse du produit transféré à partir de la balance de référence.
- 7) Calculer le débit.

$$\text{Débit (kg/min)} = \frac{\text{quantité transférée (kg)}}{\text{temps écoulé (s)}} \times 60 \text{ s/min} \quad (4.2)$$

- 8) Calculer l'erreur du compteur pour l'essai comme suit :

$$\text{Erreur du compteur (\%)} = \frac{(\text{indication du compteur} - \text{indication corrigée de la balance})}{\text{indication corrigée de la balance}} \times 100 \quad (4.3)$$

#### 4.3.3.6 Interprétation des résultats :

L'erreur du compteur doit se situer à l'intérieur de la marge de tolérance applicable à l'appareil soumis à l'essai, à tous les débits.

Les débits minimal et maximal du compteur doivent se situer à l'intérieur de la marge de tolérance indiquée dans l'avis d'approbation.

L'erreur de fidélité du compteur doit se situer à l'intérieur de la marge de tolérance applicable à l'appareil.

#### 4.4 Etalonnage de débitmètre transactionnel :

##### 4.4.1 Procédure d'étalonnage d'un débitmètre électromagnétique :

Tout débitmètre électromagnétique utilisé pour des transactions commerciales doit faire l'objet de son approbation par l'organisme de métrologie légale (ONML) qui assure l'approbation par l'installation qu'un débitmètre au niveau de point d'utilisation.

La procédure est définie par des textes règlements à un tel système de comptage. Elle comprend généralement :

- La constitution d'un dossier technique définissant le compartiment d'un système de comptage.
- Des essais contrôlés par l'ONML, permettant de vérifier la conformité d'un système aux exigences réglementaires.
- La délivrance d'un certificat d'examen type de l'organisme ayant instruit la procédure.

##### 4.4.1.1 Méthode d'étalonnage d'un débitmètre électromagnétique transactionnel sur site :

Concernant la méthode d'étalonnage proposé par l'ONML notamment à l'usine de dessalement de Mostaganem est la méthode volumétrique, le principe de cette méthode d'étalonnage consiste de faire une comparaison de la mesure du volume d'eau passé dans le débitmètre avec la mesure du même volume d'eau dans le réservoir d'eau traité, l'essai volumétrique peut être réalisé tant sur une vidange que sur un remplissage de réservoir, selon que le débitmètre est situé en amont ou en aval du réservoir.

L'essai utilisé pour l'étalonnage de débitmètre est l'essai d'exactitude, en respectant la recommandation OIMLR49, par définition, l'exactitude d'un appareil est essentiellement liée à deux types de caractéristique (la justesse et fidélité), un appareil est exact si est juste et fidèle à la fois.

Pour notre travail, nous avons mis en œuvre le matériel et les moyens (les étalons de référence) suivant : Voir l'Annexe IV.3.

- Une Jauge étalon (5000 l).
- Un Thermomètre.
- Un Ruban.
- La pâte indicatrice
- Chronomètre
- Un appareil de mesure topographique Theodolyte.

##### 4.4.1.2 Les étapes de la méthode d'étalonnage :

###### Etape1 : détermination de la capacité de réservoir

On prend le réservoir intermédiaire d'ADE comme réservoir étalon et pour cela on va calculer la surface.

Le réservoir a une forme circulaire, contient dedans un (01) mur et treize (13) piliers avec chevrons.

On calcule à l'aide d'un topographe :

1. le diamètre D et la surface S du réservoir.
2. les dimensions des piliers et leurs chevrons.
3. les dimensions de mur.

On a les résultats suivants :

### 1°/ Hauteur de réservoir H :

$$H = 7.70 \text{ m}$$

### 2°/ Les piliers :

04 Piliers de (40x45) cm

09 Piliers de (40x40) cm

### Surface des 04 piliers S<sub>4P</sub> :

$$S_{4P} = 4 * (0.40 * 0.45) = 0.72 \text{ m}^2$$

### Surface des 09 piliers S<sub>9P</sub> :

$$S_{9P} = 9 * (0.40 * 0.40) = 1.44 \text{ m}^2$$

### Surface chevron S<sub>c</sub> :

$$S_c = (0.025 * 0.025) * 4 * 13 = 0.01625 \text{ m}^2$$

### 3°/ Le mur :

#### Longueur L<sub>m</sub> :

$$L_m = 13.842 \text{ m}$$

#### Largeur H<sub>m</sub> :

$$H_m = 22 \text{ cm} = 0.22 \text{ m}$$

#### Surface de mur S<sub>m</sub> :

$$S_m = L_m * H_m = 13.842 * 0.22 = 3.04524 \text{ m}^2$$

#### Surface des contenus S<sub>cont</sub> :

$$S_{cont} = S_{4P} + S_{9P} + S_m - S_c = 0.72 + 1.44 + 3.04524 - 0.01625 = 5.18899 \text{ m}^2$$

#### Calcul de la surface de réservoir S<sub>R</sub> :

$$D_{cal/Topo} = 21.388 \text{ m}$$

$$S_{cal} = \pi R^2 = \pi (D/2)^2 = \pi (21.388/2)^2 = 359.08937 \text{ m}^2$$

$$S_{R/Topo} = S_{cal} - S_{cont} = 359.94991 - 5.18899 = 353.90038 \text{ m}^2$$

$$S_{R/Topo} = 354.08937 \text{ m}^2$$

#### **Etape2 : contrôle et vérification des paramètres :**

- Avant de commencer l'opération, l'installation du débitmètre doit être vérifiée, on doit aussi assurer qu'elle est conforme à la prescription du fabricant (dimension, matériaux, longueur droite amont et aval).
- Inspection visuelle du l'élément primaire.
- Vérifiant la mesure du signal de sortie (4-20mA).

- Réglage l'appareil à zéro.
- Inspection de toutes les vannes, de façon à s'assurer qu'il n'y a aucune fuite interne ainsi que la fixation des accessoires utilisés pour l'étalonnage et le bon fonctionnement des systèmes d'alimentation électrique.

### Étape3 : les essais avec le coefficient d'étalonnage du fabricant :

$$K_{\text{facteur}} = 1.2213$$

Les résultats de topographe :

- Le diamètre :  $D_{\text{cal/Topo}} = 21.388 \text{ m}$

- La surface de réservoir :  $S_{R/\text{Topo}} = 354.08937 \text{ m}^2$

#### 1<sup>er</sup> Essai : (avec 02 Pompes)

On remplit le réservoir avec de l'eau jusqu'à une hauteur  $h_1$  connu de l'indicateur d'hauteur.

On mesure la même hauteur  $h_1$  utilisant le ruban et la pâte indicatrice.

$$h_{1 \text{ mes}} = 527 \text{ mm} = 0.527 \text{ m}$$

On détermine ce niveau de remplissage  $h_1$ , comme repère ou point Zéro et on suit l'opération.

#### Remise à zéro

On garde la hauteur  $h_1$  mes et redémarrons les pompes de zéro (le volume et le débit), calculons le temps nécessaire pour avoir un volume  $V_1$  équivalent à une hauteur  $h_2$  et un débit  $Q_1$  connus.

$$Q_1 = 2160 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_1 = 718.200 \text{ m}^3$$

On mesure la même hauteur  $h_{2\text{mes}}$  utilisant le ruban et la pâte indicatrice.

$$V_{1\text{cal}} = S_R * \Delta h \tag{4.4}$$

$$h_{2\text{mes}} = 2543 \text{ mm} = 2.543 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_{2\text{mes}} - h_{1\text{mes}} = 2.543 - 0.527 = 2.016 \text{ m}$$

$$\Delta h = 2.016 \text{ m}$$

$$V_{1\text{cal}} = S_R * \Delta h = 354.08937 * 2.016 = 713.844 \text{ m}^3$$

$$V_{1\text{cal}} = 713.844 \text{ m}^3$$

#### Erreur E

$$E = ((V_1 - V_{1\text{cal}}) / V_1) * 100 = ((718.200 - 713.844) / 718.200) * 100 = +0.60 \%$$

$$E = +0.60 \% > +0.5 \%$$

#### 2<sup>eme</sup> Essai : (avec 05 Pompes)

On ouvre la vanne de vidange du réservoir gardons toujours un volume d'eau de hauteur  $h_1$  connu de l'indicateur.

$$h_{1 \text{ mes}} = 567 \text{ mm} = 0.567 \text{ m}$$

#### Remise à zéro

On redémarre les pompes à nouveau de zéro pour avoir un volume  $V_2$  équivalent à une hauteur  $h_2$  et un débit  $Q_2$  connus.

$$Q_2 = 5090 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_2 = 777.482 \text{ m}^3$$

$$h_{2 \text{ mes}} = 2747 \text{ mm} = 2.747 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_{2 \text{ mes}} - h_{1 \text{ mes}} = 2.747 - 0.567 = 2.180 \text{ m}$$

$$\Delta h = 2.180 \text{ m}$$

$$V_{1 \text{ cal}} = S_{\text{topo}} * \Delta h = 354.08937 * 2.180 = 771.915 \text{ m}^3$$

$$V_{1 \text{ cal}} = 771.915 \text{ m}^3$$

#### Erreur E

$$E = ((V_2 - V_{3 \text{ cal}}) / V_2) * 100 = ((777.482 - 771.915) / 777.482) * 100 = +0.72 \%$$

$$E = +0.72 \% > +0.5 \%$$

#### 3<sup>ème</sup> Essai : (avec 05 Pompes)

On suit les mêmes étapes :

$$h_{1 \text{ mes}} = 592 \text{ mm} = 0.592 \text{ m}$$

$$Q_3 = 5620 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_3 = 822.464 \text{ m}^3$$

$$h_{2 \text{ mes}} = 2895 \text{ mm} = 2.895 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_{2 \text{ mes}} - h_{1 \text{ mes}} = 2.895 - 0.592 = 2.303 \text{ m}$$

$$\Delta h = 2.303 \text{ m}$$

$$V_{3 \text{ cal}} = S_{\text{topo}} * \Delta h = 354.08937 * 2.303 = 815.468 \text{ m}^3$$

$$V_{3 \text{ cal}} = 815.468 \text{ m}^3$$

#### Erreur E

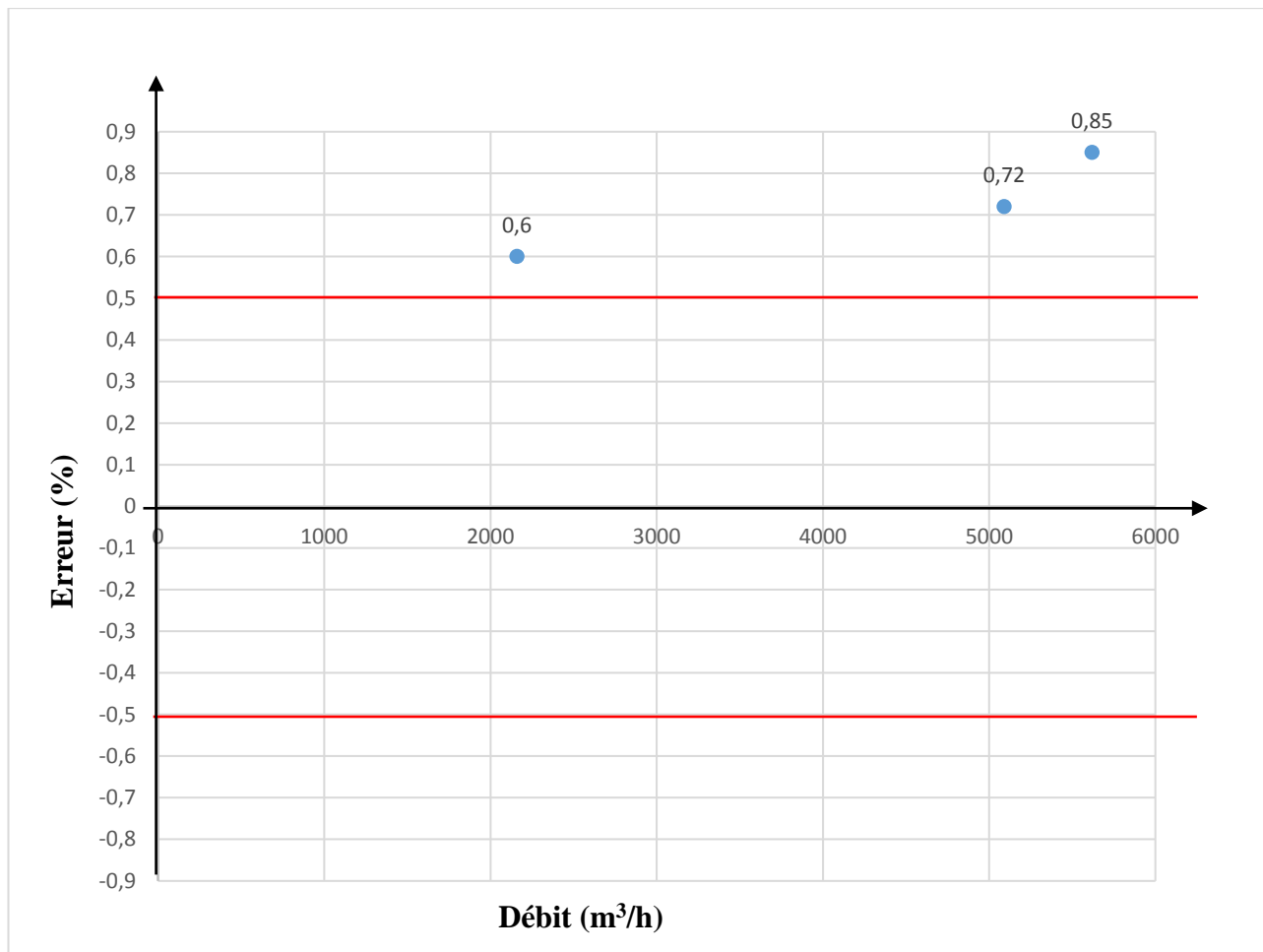
$$E = ((V_3 - V_{3 \text{ cal}}) / V_3) * 100 = ((822.464 - 815.468) / 822.464) * 100 = +0.85 \%$$

$$E = +0.85 \% > +0.5 \%$$

#### Les résultats d'étalonnage :

Test n	Consigne (m <sup>3</sup> /h)	Valeur de référence (m <sup>3</sup> )	Valeur d'affichage (m <sup>3</sup> )	Erreur (%)	E <sub>mt</sub> (+/- %)
1	2160	713.844	718.200	+0,60	0,5
2	5090	771,915	777,482	+0,72	0,5
3	5620	815,468	822,464	+0,85	0,5

**Tableau IV.2 :** tableaux des résultats du 1<sup>er</sup> étalonnage de débitmètre électromagnétique.

La courbe d'étalonnage :

**Figure IV.6 :** Courbe du 1<sup>er</sup> étalonnage de débitmètre électromagnétique.

Interprétation des résultats :

Les résultats d'étalonnage illustré dans le tableau IV.2 montre que l'erreur de mesure de débit est inférieure de la valeur d'erreur maximal tolérée définie par la recommandation international OIML R49.

Les résultats sont Non Conforme, le changement ou la correction du coefficient d'étalonnage est obligatoire par l'ONML et refaire les essais à nouveau.

**Etape4 : les essais avec correction du coefficient d'étalonnage par l'ONML :**

Ancien  $K_{\text{facteur}} = 1.2213$

Nouveau  $K_{\text{facteur}} = 1.1988$

On fait les mêmes étapes pour chaque essai des essais suivant :

1<sup>er</sup> Essai : (avec 02 Pompes)

On remplit le réservoir avec de l'eau jusqu'une hauteur  $h_1$  connu de l'indicateur.

On mesure la même hauteur  $h_1$  utilisant le ruban et la pâte indicatrice.

$h_{1 \text{ mes}} = 527 \text{ mm} = 0.527 \text{ m}$

On détermine ce niveau de remplissage  $h_1$ , comme repère ou point Zéro et on suit l'opération.

Remise à zéro

On garde la hauteur et redémarrons les pompes de zéro (le volume et le débit), calculons le temps nécessaire pour avoir un volume  $V_1$  équivalent à une hauteur  $h_2$  et un débit  $Q_1$  connus.

$$Q_1 = 2150 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$T = 20 \text{ mn}$$

$$V_1 = 718.135 \text{ m}^3$$

On mesure la même hauteur  $h_{2\text{mes}}$  utilisant le ruban et la pâte indicatrice.

$$h_{2\text{mes}} = 2547 \text{ mm} = 2.547 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_{2\text{mes}} - h_{1\text{mes}} = 2.547 - 0.527 = 2.020 \text{ m}$$

$$\Delta h = 2.020 \text{ m}$$

$$V_{1\text{cal}} = S_R * \Delta h = 354.08937 * 2.020 = 715.344 \text{ m}^3$$

$$V_{1\text{cal}} = 715.344 \text{ m}^3$$

#### Erreur E

$$E = ((V_1 - V_{1\text{cal}}) / V_1) * 100 = ((718.135 - 715.344) / 718.135) * 100 = +0.388\%$$

$$E = +0.38 \%$$

#### 2<sup>ème</sup> Essai : (avec 05 Pompes)

Les résultats de topographe :

- Le diamètre :  $D_{\text{cal/Topo}} = 21.388 \text{ m}$

- La surface de réservoir :  $S_{R/\text{Topo}} = 354.08937 \text{ m}^2$

On ouvre la vanne de vidange du réservoir gardons toujours un volume d'eau de hauteur  $h_1$  connu de l'indicateur.

$$h_{1\text{mes}} = 455 \text{ mm} = 0.455 \text{ m}$$

#### Remise à zéro

On redémarre les pompes à nouveau de zéro pour avoir un volume  $V_2$  équivalent à une hauteur  $h_2$  et un débit  $Q_2$  connus.

$$Q_2 = 5550 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_2 = 823.215 \text{ m}^3$$

$$h_{2\text{mes}} = 2790 \text{ mm} = 2.790 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_{2\text{mes}} - h_{1\text{mes}} = 2.790 - 0.455 = 2.335 \text{ m}$$

$$\Delta h = 2.335 \text{ m}$$

$$V_{1\text{cal}} = S_{\text{topo}} * \Delta h = 354.08937 * 2.335 = 826.798 \text{ m}^3$$

$$V_{1\text{cal}} = 826.798 \text{ m}^3$$

#### Erreur E

$$E = ((V_2 - V_{3\text{cal}}) / V_2) * 100 = ((823.215 - 826.798) / 823.215) * 100 = -0.43 \%$$

$$E = -0.43 \%$$

3<sup>ème</sup> Essai : (avec 05 Pompes)

On suit les mêmes étapes :

$$h_{1 \text{ mes}} = 570 \text{ mm} = 0.570 \text{ m}$$

$$Q_3 = 5590 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_3 = 795.730 \text{ m}^3$$

$$h_{2 \text{ mes}} = 2826 \text{ mm} = 2.826 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_{2 \text{ mes}} - h_{1 \text{ mes}} = 2.826 - 0.570 = 2.256 \text{ m}$$

$$\Delta h = 2.256 \text{ m}$$

$$V_{3 \text{ cal}} = S_{\text{topo}} * \Delta h = 354.08937 * 2.256 = 798.826 \text{ m}^3$$

$$V_{3 \text{ cal}} = 798.826 \text{ m}^3$$

**Erreur E**

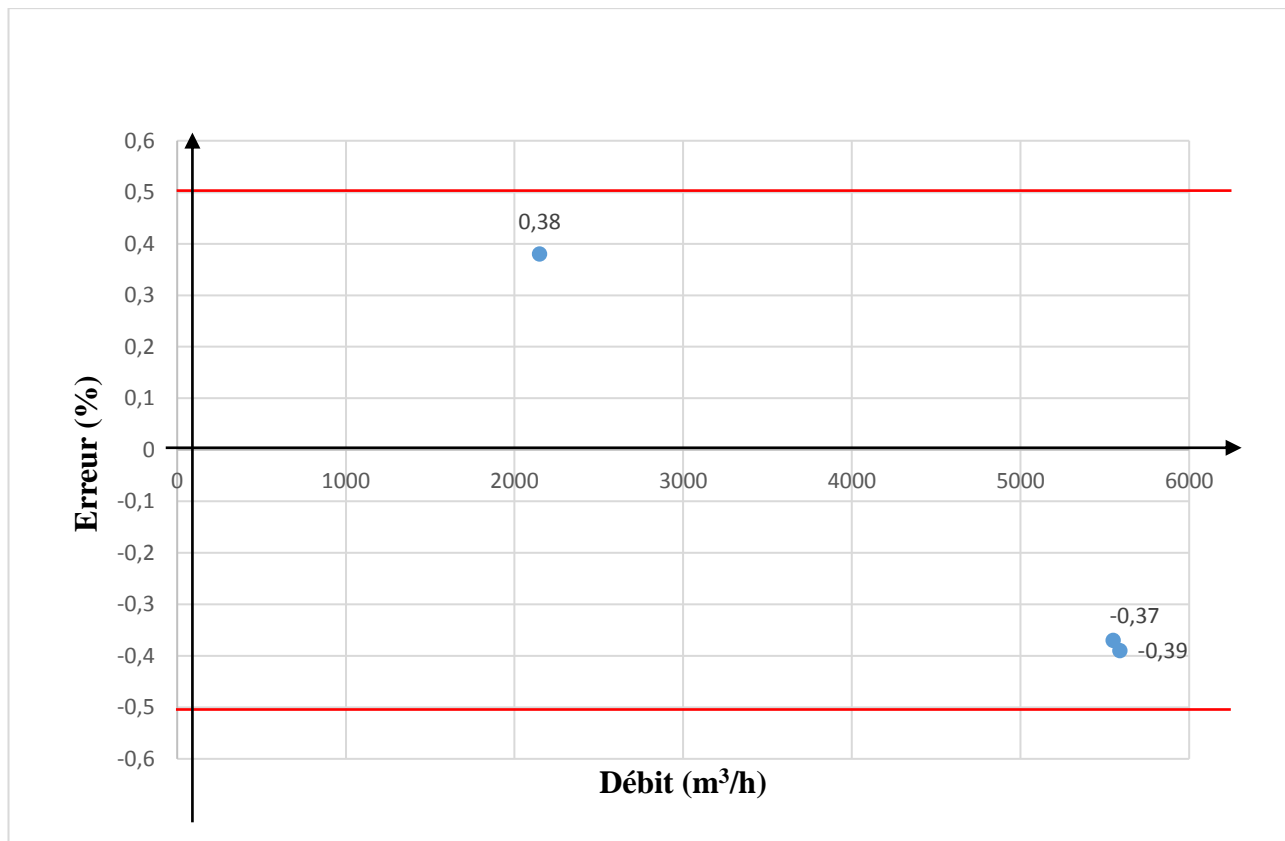
$$E = ((V_2 - V_{3 \text{ cal}}) / V_2) * 100 = ((795.730 - 798.826) / 795.730) * 100 = -0.39 \%$$

$$E = -0.39 \%$$

Les résultats d'étalonnage :

Test n	Consigne (m <sup>3</sup> /h)	Valeur de référence (m <sup>3</sup> )	Valeur d'affichage (m <sup>3</sup> )	Erreur (%)	E <sub>mt</sub> (%)
1	2150	718,135	715,344	+0,38	0,5
2	5550	786,787	783,910	-0,37	0,5
3	5590	798,826	795,730	-0,39	0,5

**Tableau IV.3 :** Tableaux des résultats du 2<sup>ème</sup> étalonnage de débitmètre électromagnétique.

La courbe d'étalonnage :

**Figure IV.7 :** Courbe du 2<sup>ème</sup> étalonnage de débitmètre électromagnétique.

Interprétation des résultats :

Les résultats d'étalonnage illustré dans le tableau IV.3 montre que l'erreur de mesure de débit est dans la marge de l'erreur maximale tolérée définie par la recommandation international OIML R49.

**4.5 CONCLUSION :**

Dans ce chapitre, nous avons réalisé les essais d'étalonnage et de contrôle métrologique d'un débitmètre électromagnétique transactionnel sur site selon les normes et les recommandations internationaux.

Les différents essais effectués sur ce débitmètre ont donnés des résultats satisfaisant, les erreurs relevées sont dans la marge d'erreur maximale tolérées par le règlement en vigueur. [21]

L'intérêt de cette méthode d'étalonnage et contrôle métrologique est d'assurer une grande flexibilité et réactivité quand il est impossible de déplacer le débitmètre du site, les opérations de vérification et d'étalonnage peuvent s'effectuer sur place en site. Ainsi déterminer son erreur relative au moment d'examiner les systèmes de mesurage de liquides.

# Conclusion Générale

### Conclusion Générale

La connaissance de quantité du volume d'eau distribué entre STMM et ADE par la canalisation, le débit mesuré et la précision de mesure désirée et exigée par l'ONML ainsi que les conditions d'installation et du service utilisé par STMM sont tous des critères qui nous obligent à diversifier.

L'utilisation de différents types de débitmètre, tels que les débitmètres électromagnétiques, les débitmètres massiques à Coriolis et les débitmètres massiques thermiques, en raison de leur rôle important dans les unités de comptage.

Généralement, le choix d'un type de débitmètre dépend de divers facteurs. La prise de décision finale se fait par un compromis entre plusieurs contraintes qui sont souvent antagonistes et dont l'importance relative peut être différente d'un cas à un autre.

Par conséquent, ce choix ne peut être fait qu'après la détermination de la précision nécessaire et la prise en considération des limites d'emploi des différents systèmes en vérifiant les caractéristiques de l'écoulement et les conditions d'installation imposées du liquide dont on doit mesurer le débit. Ainsi leur étude économique en fonction des conditions de service.

Le débitmètre électromagnétique est considéré le plus utilisé dans le domaine transaction commercial, puisqu'il porte beaucoup d'avantages.

Après l'installation de débitmètre sur site et avant le mettre en service transactionnel, l'opération d'étalonnage est nécessaire pour connaître l'exactitude et les caractéristiques métrologiques de ce débitmètre.

Dans le dernier chapitre on a traité les diverses méthodes permettent de réaliser des étalonnages et vérification des débitmètres, qu'elles soient gravimétriques, volumétriques ou par comparaison à un débitmètre étalon, chacune d'entre elles doit faire l'objet d'une analyse rigoureuse afin de choisir la méthode la plus adaptée à une problématique donnée. Pour l'étalonnage de débitmètre électromagnétique transactionnel sur site, nous avons choisi une méthode volumétrique (méthode par empotement) à cause des conditions d'installation et aussi ses avantages (la fiabilité, le cout).

Enfin, l'étalonnage d'un débitmètre a pour but de déterminer son erreur relative ou/ et son facteur de correction et de vérifier si ce débitmètre fonctionne à l'intérieur de limites d'erreur prescrites.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

### Références Bibliographique

[1] : D.E Moudjeber, « utilisation des énergies renouvelable dans le dessalement-cas de l'Algérie », thèse de doctorat, département génie mécanique université Mostaganem, Algérie, 2015.

[2] : Mohamed Cherigui, « Etude expérimentale des effets d'installations sur les débitmètres à organes déprimogènes utilisés pour le comptage des fluides industrielles », mémoire de magister en mécanique des fluides appliquée, Université de Mostaganem 2003.

[3] : S.Kehal, Rétrospective et perspective du dessalement en Algérie, Désaliénation (136) ,35-42,2001

[4] : I. Ahmouda et H.Biaa, « Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de - les dunes – Oran », mémoire de master, Université Larbi Tebssi, Tebessa 2015-2016

Site internet : <http://www.univ-tebessa.dz/fichiers/masters/st160099.pdf>

[5] : F.Valiron, « Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement » (Tome 1) Edition : Tec et Doc. Paris. 435p, 1994

[6] : I. Bendahmane et M. Zebbar, « l'évaluation des performance d'osmose inverse membranaire », mémoire master, université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem,Algerie, 2019

Site internet : <http://e-biblio.univ-mosta.dz/handle>

[7] : C.Gailledreau, «techniques de mesure des débits des fluides industriels», techniques d'ingénieur1989.

Site internet : [techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/metrologie-relative-aux-fluides-vitesses-et-debits-42402210/](http://techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/metrologie-relative-aux-fluides-vitesses-et-debits-42402210/)

[8] : M.Guemana. « Mesure des gros débits de gaz contribution venturi- tuyères a col sonique » ; Thèse de Magister/Université de Boumerdes 2002.

Site internet : <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/handle/123456789/1950>

[9] : S Oulhadj, L Bakadir, « modélisation et simulation des débitmètres dans l'industrie du gaz », mémoire de master, département des sciences de matière, université Adrar, 2017.

Site internet : <https://dspace.univ-adrar.edu.dz/>

[10] : Pascal Dereumaux, « Mesure et capteurs de débit », 2001.

Site internet : <https://sitelec.org/cours/dereumaux/mesurdebit.htm>

[11] : C. Gailledreau, 01-1992 « Choix d'un débitmètre », Technique de l'ingénieur, Traité Mesures et Contrôle, R 2200.

Site internet : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/metrologie-relative-aux-fluides-vitesses-et-debits-42402210/choix-d-un-debitmetre-r2200/>

## Références Bibliographiques

---

[12] : Cahier 7 – Méthodes de mesure du débit, Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Québec, 2019.

Site internet :

[http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/debit\\_conduit\\_ouvC7.pdf](http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/debit_conduit_ouvC7.pdf)

[13] : Manuel de mise en service Proline Promag 10 Débitmètre électromagnétique, Endress+hauser

[14] : Manuel Description des fonctions Proline Promag 50 Débitmètre électromagnétique, Endress+hauser

[15] : Manuel spécification général ROTAMASS Total Insight, débitmètre massique à effet Coriolis-Prime, Yokogawa 2<sup>e</sup> Edition, 06-06-2017

[16] : Manuel d'Information technique Proline t-mass 65F, 65I Débitmètre massique thermique, Mesure directe du débit massique de gaz, Endress+hauser.

[17] : Florestan OGHEARD, étalonnage et vérification de débitmètres et compteurs de liquide, techniques de l'ingénieur, R2005 V2.

Site internet: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/metrologie-relative-aux-fluides-masses-et-volumes-42399210/etalonnage-et-verification-de-debitmetres-et-compteurs-de-liquide-r2005/>

[18] : « Vocabulaire international de métrologie », JCGM 200:2012.

Site internet : <https://www.oiml.org/fr>

[19] : Nicolaus Mathies, calibration in the measuring technology industry, technical fundamentals, KROHNE, 10/2013.

Site internet : [file:///C:/Users/pc/Downloads/Krohne+BR\\_CALIBRATION\\_en\\_131112](file:///C:/Users/pc/Downloads/Krohne+BR_CALIBRATION_en_131112)

[20] : manuel ABB Measurement & Analytics | Fiche de données AquaMaster4 FEW4 et FET4 Débitmètre électromagnétique.

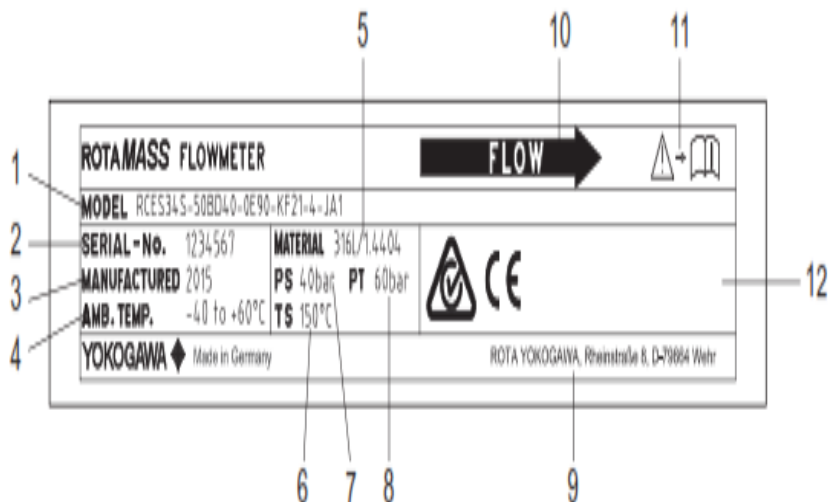
Site internet : [https://library.e.abb.com/public/e5fc5837928648bc9bcfeedc04d3c853/DS\\_FET400-EN\\_C.pdf](https://library.e.abb.com/public/e5fc5837928648bc9bcfeedc04d3c853/DS_FET400-EN_C.pdf)

[21] : A.Harrouz, Etude expérimentale de contrôle et de vérification d'un système de comptage dynamique de l'hydrocarbure, 05/06/2013.

Site internet : <http://manifest.univ-ouargla.dz/documents/Archive>

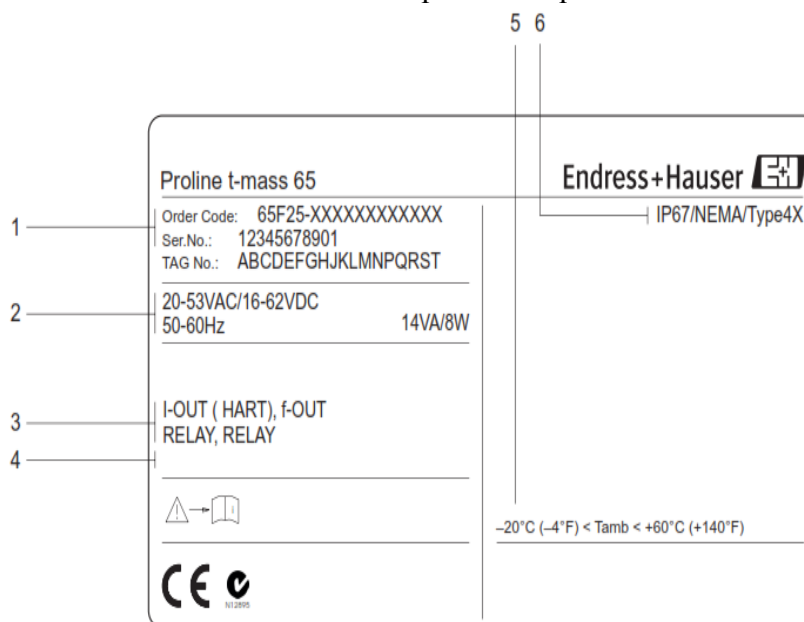
**Annexe III.1 :** Plaque signalétique du capteur d'un débitmètre à effet Coriolis Prime / Supreme.

- 1 : Code article.
- 2 : Numéro de série.
- 3 : Année de fabrication.
- 4 : Plage de température ambiante.
- 5 : Matériau des pièces en contact avec le fluide.
- 6 Température de service maximale admissible.
- 7 : Pression maximale admissible à température ambiante.
- 8 : Pression d'épreuve.
- 9 : Adresse du fabricant.
- 10 : Sens d'écoulement.
- 11 : Remarque de danger qui demande expressément de lire la documentation.
- 12 Homologations et autres marquages.



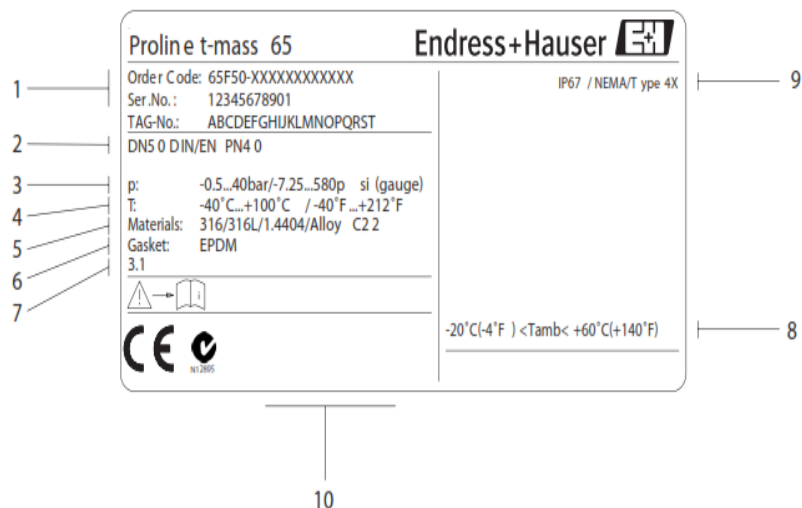
**Annexe III.2 :** Plaque signalétique du transmetteur d'un débitmètre massique thermique t-mass 65.

- 1 : Reference/Numéro de série
- 2 : Alimentation/fréquence : 20à55 VAC  
16à62 VDC / 50à60 Hz  
Consommation de courant: 14 VA/8W
- 3 : Entrées / sorties disponibles :  
I-OUT (HART) : avec sortie courant (HART)  
F-OUT : avec sortie impulsion/fréquence  
Relais : avec sortie relais  
I-IN : avec entrée courant  
STATUS-IN : avec entrée état (entrée auxiliaire)
- 4 : Emplacement réservé aux informations sur les produits spéciaux
- 5 : Gamme de température ambiante
- 6 : Degré de protection.



**Annexe III.3 :** Plaque signalétique du capteur d'un débitmètre massique thermique t-mass 65 F.

- 1 : Reference/Numéro de série
- 2 : Diamètre nominal appareil : DN 50/2"
- 3 : Gamme de pression : -0.5 à 40 bar / -7.25 à 580 psi (relative)
- 4 : Gamme de température: -40°C à 100°C / -40°F à +212°F
- 5 : Matériau des tubes de mesure : inox 316/316L/1.4404/Alloy C22
- 6 : Matériau joint : EPDM
- 7 : Réserve aux informations sur les produits spéciaux.
- 8 : Gamme de température ambiante.
- 9 : Degré de protection.
- 10 : Réserve aux informations complémentaires sur la version de l'appareil (agrément, certificats).



**Annexe IV.1 : Terminologie.****1. Termes généraux relatifs aux mesurages :****1.1 Mesurage :**

Processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur. [18]

**1.2 Métrologie : Science des mesurages et ses applications.**

La métrologie comprend tous les aspects théoriques et pratiques des mesurages, quels que soient l'incertitude de mesure et le domaine d'application. [18]

**1.3 Mesurande : Grandeur que l'on veut mesurer. [18]****1.4 Résultat de mesure :**

Ensemble de valeurs attribuées à un mesurande, complété par toute autre information pertinente disponible. [18]

**1.5 Valeur mesurée : Valeur d'une grandeur représentant un résultat de mesure. [18]****1.6 Valeur vraie :**

Valeur d'une grandeur compatible avec la définition de la grandeur. [18]

**1.7 Valeur de référence :**

Valeur d'une grandeur servant de base de comparaison pour les valeurs de grandeurs de même nature. [18]

**1.8 Exactitude de mesure :**

Etroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et une valeur vraie d'un mesurande. [18]

**1.9 Justesse de mesure :**

Etroitesse de l'accord entre la moyenne d'un nombre infini de valeurs mesurées répétées et une valeur de référence. [18]

**1.10 Fidélité de mesure :**

Etroitesse de l'accord entre les indications ou les valeurs mesurées obtenues par des mesurages répétés du même objet ou d'objets similaires dans des conditions spécifiées. [18]

**1.11 Erreur de mesure :**

Différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence. [18]

**1.12 Etalonnage :**

Opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication. [18]

**1.13 Traçabilité métrologique**

Propriété d'un résultat de mesure selon laquelle ce résultat peut être relié à une référence par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue et documentée d'étalonnages dont chacun contribue à l'incertitude de mesure. [18]

**1.14 Vérification :**

Fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées. [18]

**1.15 Grandeur d'influence :**

Grandeur qui, lors d'un mesurage direct, n'a pas d'effet sur la grandeur effectivement mesurée, mais a un effet sur la relation entre l'indication et le résultat de mesure. [18]

**2. Termes généraux relatifs aux dispositifs de mesure :****2.1 Instrument de mesure :**

Dispositif utilisé pour faire des mesurages, seul ou associé à un ou plusieurs dispositifs annexes. [17]

**2.2 Débitmètre**

Instrument de mesurage qui indique le débit mesuré. [17]

**2.3 Compteur**

Instrument de mesurage qui indique la quantité totale de fluide écoulé durant un intervalle de temps déterminé. [17]

**2.4 Système de mesure :**

Ensemble d'un ou plusieurs instruments de mesure et souvent d'autres dispositifs, comprenant si nécessaire réactifs et alimentations, assemblés et adaptés pour fournir des informations destinées à obtenir des valeurs mesurées dans des intervalles spécifiés pour des grandeurs de natures spécifiées. [17]

**2.5 Transducteur de mesure :**

Dispositif employé en mesurage, qui fait correspondre une grandeur d'entrée à une grandeur de sortie selon une loi déterminée.

**2.6 Jauge étalon :**

Récipient utilisé pour l'étalonnage ou la vérification d'ensembles de mesurage de liquide ou d'autres récipients. [18]

**2.7 Tube ou piston étalon :**

Dispositif matérialisant un volume utilisé pour l'étalonnage ou la vérification d'ensembles de mesurage de liquide, dans lequel circule un organe mobile et dont le volume (étalon) est déterminé par la section d'étanchéités et la distance parcourue par l'organe mobile définie par des capteurs de position ou déterminé en moyen d'un dispositif de mesure de déplacement, cet organe mobile peut avoir différentes formes en particulier il peut être sphérique ou cylindrique. [18]

**2.8 Certificat d'étalonnage**

La définition de l'étalonnage inclut le mot « documenté ». Cela signifie que toute comparaison d'étalonnage doit être enregistrée. Ce document s'appelle la plupart du temps « certificat d'étalonnage ».

Un certificat d'étalonnage inclut le résultat de la comparaison ainsi que toute autre information pertinente à l'étalonnage comme le type d'équipement utilisé, les conditions environnementales, les signataires, la date de l'étalonnage, le numéro de certificat, les incertitudes de mesure, etc. [18]

## Annexe IV.2 : Certificat de calibration standard jointe.

YOKOGAWA **Calibration  
Certificate****ROTAMASS****Device Data**

Product Name: **Rotamass**  
 Model Code: **RCUP25S-25BD40-  
 0500-NN00-4-JB1/BG/PS**

Order No: **4505214191**  
 Serial No: **D1TA01043**

Tag No (HW): **-**  
 Tag No (SW):  
 Measuring Range:  
 Nominal Flow: **1550 kg/h**

**Calibration Information**

Calibration Method: **Dynamic Weighing**  
 Calibration No: **D1TA01043-3**  
 Test Unit Id No; **T 401**  
 Ref. Id No: **See actual flow test table**  
 Uncert. of Ref.Flow: **< 0.05 % of rate**  
 Uncert.ofTemp.Ref.: **< 0.2 K**  
 Medium: **Water**  
 Temperature: **25,1 °C**  
 Density: **0,9973 kg/l**

**Actual Flow Test**

Weighing System			Rotamass		
Ref.ID	Qm	m	m	Dm	Dm
	kg/h	kg	kg	kg	% o.rate
W401	1059,1	24,533	24,540	+ 0,006	+0,026
W401	773,3	24,534	24,539	+ 0,005	+0,022
W401	193,1	24,533	24,527	- 0,006	-0,026
W401	1060,4	24,533	24,537	+ 0,004	+0,015

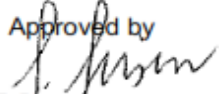
**Actual Temperature Test**

Reference		Rotamass	
Ref.ID	Temp.	Temp.	Dev.
	° C	° C	° C
TF401	+25,10	+25,11	+ 0,01

**Results: Flow Calibration**

Sensor Coefficient SK20: 45,336  
 Auto Zero Value: + 0,04 kg/h

Date  
 19.10.2017

Approved by  
  
 G. Gesen  
 Head of calibration RYG

**Density Calibration**

Density Coefficient KD: 4,8916 kg/l  
 Frequency FL20: 376,895 Hz

Inspector

*Mr. P. Staudenmayer*

This certificate was generated electronically and is valid with printed signature

**Remark:**

The calibration results are obtained by means of the applicable calibration procedure. The calibration data are based on the pulse output of the device. The RYG Calibration Facility is traceable to Standards of National Standard Organizations in Europe. Rota Yokogawa is member of the German Calibration Service (DKD).

Annexe IV.3 : le matériel et les moyens mis en œuvre.

- Une Jauge étalon (5000 l).



- La pâte indicatrice d'eau.



- Chronomètre.



- Un appareil de mesure topographique Théodolite.

