



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université D'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département** : de Maintenance en Instrumentation

## MÉMOIRE

Pour obtention du diplôme de Master

**Filière** : Génie Industriel

**Spécialité** : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation

## Thème

**GESTION DE CALIBRATION DES INSTRUMENTS  
DE MESURE**

Présenté et soutenu publiquement par :

**Chafou Abd Elaziz Moukhlis**

**Dehaba Khaled**

Devant le jury composé de :

| Nom et Prénom          | Grade | Etablissement                                       | Qualité     |
|------------------------|-------|---|-------------|
| TITAH Mawloud          | MAA   | Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle | Président   |
| HAIMOUR Rachida        | MCB   | Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle | Encadreur   |
| MEKKI Ibrahim Elkhalil |       | Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle | Examinateur |

Année Universitaire : 2023/2024

# *Remerciement*

*Nous remercions ALLAH qui nous à donne la force de la patience*

*Pour terminer ce travail ;*

*On tient à exprimer toute reconnaissance à notre enseignant et encadreur de ce mémoire Madame Haimour Rachida. Nous avons eu le privilège de travail parmi votre équipe et d'apprécier vos qualités et vos valeurs. Votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marques.*

*On adresse nos sincère remerciements à tous les professeurs, Intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, Leurs conseils*

*Et leurs critiques ont guide nos réflexions et ont accepté A nous rencontrer et répondre à nos questions durant nos recherches.*

*On tient à présenter tous nos respects à notre gratitude à Mr. Abd Elkader Norin ingénieur d'instrumentation de SONATRAC pour leur suivi et encouragement tout au long de la période de stage pratique.*

*On remercie également toute L'équipe administrative de notre institut de maintenance et sécurité industriel, et les nombres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A toute ma famille*

*A mon frère CH. MOSBAH qui m'a toujours soutenu moralement,  
Ma encouragé et ma poussé à poursuivre mes études que dieu  
Le garde en bonne santé.*

*A mes très chères sœurs et mes frères*

*A ma cousin BN. ABD ELGHANI.*

*A tous mes amis spécialement mes frères AHMED, RAMI, SIDAHMED, IMADE*

*A tout la promo IMI 2023/2024 et a*

*Tous ceux que J'aime.*

**CHAFOU ABD ELAZIZ MOKHLIS**

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma très chère mère qui m'a tout donné, de son amour, ses  
Sacrifices pour que je puisse avoir une vie dans les meilleurs  
Conditions.*

*A mon très cher père qui m'a toujours soutenu moralement,  
Ma encouragé et ma poussé à poursuivre mes études que dieu  
Le garde en bonne santé.*

*A mes très chères sœurs et mes frères*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis spécialement mes frères BRAHIM LARBI, LOKMANE,  
HAITHEM, WASSIM*

*A Mon binôme CHAFOU ABD ELAZIZ MOKHLIS*

*A tout la promo IMI 2023/2024 et a*

*Tous ceux que J'aime.*

**DEHABA KHALED**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction générale</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>Chapitre I Etat de l'art</b> .....   | <b>3</b>  |
| I.1 Introduction .....  | 4         |
| I.2 Présentation du groupement BIR SEBA .....   | 4         |
| I.2.1 Présentation de l'association GBRS .....  | 4         |
| I.2.2 Organigramme de groupement Bir Seba .....   | 5         |
| I.2.3 Composition du champ Bir Seba .....   | 6         |
| I.2.4 Présentation du département maintenance .....   | 7         |
| I.2.5 Documents utilisés dans le domaine de l'instrumentation .....                           | 7         |
| I.3 Vérification des instruments de mesure .....  | 10        |
| I.4 Différence entre l'étalonnage et la vérification .....                                    | 10        |
| I.5 Choix entre étalonnage et vérification .....  | 11        |
| I.6 Importance de la calibration des instruments dans divers domaines industriel .....        | 12        |
| I.7 Importance de la calibration des instruments dans divers domaines Scientifique .....      | 12        |
| I.8 Revue des pratiques actuelles de gestion de calibration .....                             | 13        |
| I.9 Garantie d'un fonctionnement correct d'un instrument de mesures .....                     | 14        |
| I.10 Technologies de calibration des instruments .....  | 14        |
| I.10.1 Technologie de calibration par comparaison .....                                       | 14        |
| I.10.2 Technologie de calibration par correction .....  | 14        |
| I.10.3 Calibration automatisée des instruments de mesure .....                                | 15        |
| I.11 outils disponible pour la calibration des instruments .....                              | 16        |
| I.11.1 Étalonneurs multifonction .....  | 16        |
| I.11.2 Calibrateurs à bloc sec et micro-bains .....   | 16        |
| I.11.3 Etalonnage a l'aide d'un calibrateur HART .....  | 16        |
| I.11.4 Etalonnage à l'aide d'un calibrateur BEAMAX .....                                      | 17        |
| I.11.5 Pompes manuelles et manomètres pour tests de pression .....                            | 17        |
| I.11.6 Images des outils de calibration .....   | 18        |
| I.12 Conclusion .....   | 19        |
| <b>Chapitre II Analyse des besoins</b> .....  | <b>20</b> |
| II.1 Identification des exigences règlementaires et normative en matière de calibration ..... | 21        |
| II.1.1 Les normes internationales .....   | 21        |
| II.1.2.Secteur industriel .....   | 21        |
| II.1.3 Réglementation nationale .....   | 21        |
| II.1.4 Documentation et traçabilité .....   | 21        |
| II.1.5 Fréquence de calibration .....   | 22        |
| II.1.6 Qualification des fournisseurs de services de calibration .....                        | 22        |
| II.2 Etude des processus de calibration existants .....                                       | 23        |

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| II.2.1              | Évaluation des besoins en calibration .....   | 23        |
| II.2.2              | Selection des Standard de référence .....   | 23        |
| II.2.3              | La réalisation des mesures des références .....   | 23        |
| II.2.4              | Comparaison des Mesure de l'instrument a calibrer .....                                 | 24        |
| II.2.5              | Correction des écarts et ajustement de l'instrument .....                               | 25        |
| II.3                | Défis associes des processus de calibration des instruments .....                       | 26        |
| II.4                | Risques lies a un mauvais calibration .....   | 27        |
| II.5                | Conséquence financières d'une mauvaise calibration .....                                | 27        |
| II.6                | Mesure de prévention et de correction pour les risques d'une mauvaise calibration ..... | 28        |
| II.6.1              | Les mesures de prévention .....   | 28        |
| II.6.2              | Les mesures de correction .....   | 29        |
| <b>Chapitre III</b> | <b>Conception et développement .....</b>  | <b>30</b> |
| III.1               | Étalonnage des instruments de pression .....  | 31        |
| III.1.1             | Étalonnage d'un transmetteur de pression HART .....                                     | 31        |
| III.1.2             | Étalonnage d'un transmetteur de pression en laboratoire .....                           | 33        |
| III.1.3             | Étalonnage de pressostat .....  | 36        |
| III.2               | Étalonnage des instruments de débit .....   | 37        |
| III.2.1             | Étalonnage d'un transmetteur de débit .....   | 37        |
| III.2.2             | Vérification d'un manomètre (analogiques et numériques) .....                           | 39        |
| III.2.3             | Étalonnage en laboratoire avec comparateur de pression .....                            | 41        |
| III.3               | Étalonnage des instruments de température .....   | 42        |
| III.3.1             | Etalonnage et test des sondes RTD .....   | 43        |
| III.3.2             | Automatisation de l'étalonnage de la température sur banc .....                         | 44        |
| III.3.2             | Etalonnage de transmetteur de température intelligent HART .....                        | 45        |
| III.3.3             | Élimination des erreurs des capteurs de température .....                               | 47        |
| III.4               | Étalonnage des instruments de niveau .....  | 48        |
| III.5               | Etalonnage d'une vanne automatique .....  | 49        |
| <b>Chapitre IV</b>  | <b>Procédure d'étalonnage et de vérification .....</b>                                  | <b>52</b> |
| IV.1                | Introduction .....  | 53        |
| IV.2                | L'importance de la mesure de pression .....   | 53        |
| IV.3                | L'importance de l'étalonnage d'un transmetteur de pression .....                        | 53        |
| IV.4                | Nuances d'étalonnage des capteurs de pression .....                                     | 53        |
| IV.5                | Processus d'étalonnage des transmetteurs de pression .....                              | 54        |
| IV.6                | Exemple pratique l'étalonnage d'un transmetteur de pression 4-20mA .....                | 54        |
| IV.7                | Matériel nécessaire pour l'étalonnage du transmetteur de pression .....                 | 56        |
| IV.8                | Étapes Cruciales pour l'étalonnage d'un Transmetteur de Pression 4-20mA .....           | 59        |
| IV.9                | Étalonnage avec la vis externe pour un capteur de pression analogique .....             | 59        |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| IV.10   | Étalonnage avec un indicateur local pour un transmetteur de pression intelligent ..... | 61        |
| IV.11   | Étalonnage avec une pocket HART pour un capteur de pression HART intelligent .....     | 62        |
| IV.12   | Finalisation de la procédure d'étalonnage : .....                                      | 62        |
| <b>Chapitre V Documentation d'étalonnage.....</b> |  | <b>63</b> |
| V.1   | Gestion des enregistrements de calibration : .....                                     | 64        |
| V.1.1   | Enregistrement de calibration : .....  | 64        |
| V.1.2   | Instruments de mesure : .....  | 64        |
| V.1.3   | Informations enregistrées : .....  | 64        |
| V.1.4   | Périodicité de calibration : .....   | 64        |
| V.1.5   | Critères d'acceptation : .....   | 64        |
| V.1.6   | Certificats de calibration : .....   | 65        |
| V.2   | Configuration et suivi des étalonnages internes et/ou externes : .....                 | 65        |
| V.2.1   | Étalonnage interne : .....   | 65        |
| V.2.2   | Étalonnage externe : .....   | 65        |
| V.3   | Établissement et suivi d'un plan de maintenance préventive des équipements : .....     | 66        |
| V.3.1   | Suivi du plan de maintenance préventive : .....  | 66        |
| V.4   | Documentation d'étalonnage : .....   | 67        |
| V.4.1   | L'arrivée des logiciels : .....  | 67        |
| V.4.1.1   | Solutions dédiées à l'étalonnage : .....   | 67        |
| V.5   | Logiciels de métrologie industrielle et de documentation d'étalonnage : .....          | 68        |
| V.6   | Importance des logiciels de documentation d'étalonnage : .....                         | 69        |
| <b>Conclusion générale : .....</b>                |  | <b>70</b> |

|  |    |
|--|----|
| Figure I.1 : Emplacement de GBRS dans la carte d'Algérie .....   | 4  |
| Figure I.2 Organigramme du Groupement BIR SEBA .....   | 5  |
| Figure I.3 : les unités et les systèmes du process de GBRS .....   | 6  |
| Figure I.4 Exemple d'un P&ID (système production du nitrogène système 64.....)                             | 8  |
| Figure I.5. La différence entre l'étalonnage et la vérification .....                                      | 11 |
| Figure I.6 Le choix entre l'étalonnage et la vérification .....  | 11 |
| Figure I.7 Le Schéma d'étalonnage de transmetteur de pression .....  | 15 |
| Figure I.8 Le Schéma d'un étalonneur multifonction .....   | 18 |
| Figure I.9 Schéma d'un four d'etalonnage.....  | 18 |
| Le Schéma d'un étalonneur BEAMAX HART .....  | 18 |
| Figure I.11 Le Schéma d'un calibrateur .....   | 18 |
| Figure I.12 Le Schéma d'une Pompe manuelle et manomètre.....   | 18 |
| Figure II.1 Le Schéma simplifié de la méthode de comparaison .....   | 25 |
| Figure III.1 Le montage simplifié d'étalonnage d'un transmetteur de pression.....                          | 32 |
| Figure III.2 Calibrateur de pression portable Fluke 3130.....  | 34 |
| Figure III.3 Calibrateur de process a memoires Fluke 754,HART.....   | 34 |
| Figure III.4 Calibrateur intelligent BEAMAX-MC6.....   | 34 |
| Figure III.5 Le montage simplifié d'étalonnage d'un transmetteur de pression par le calibrateur portable . | 35 |
| Figure III.6 Le montage simplifié d'étalonnage d'un pressostat.....  | 36 |
| Figure III.7 Le montage simplifié d'étalonnage d'un transmetteur de debit.....                             | 38 |
| Figure III.8 Le montage simplifié d'étalonnage d'un manomètre.....   | 40 |
| Figure III.9 Le montage simplifié d'étalonnage d'un manomètre avec comparateur de pression .....           | 42 |
| Figure III.10 Le montage simplifié d'étalonnage d'une sonde RTD.....                                       | 43 |
| Figure III.11 Le montage simplifié sur automatisation de l'étalonnage de la température sur banc .....     | 45 |
| Figure III.12 Le montage simplifié d'un transmetteur de température intelligent HART.....                  | 46 |
| Figure III.13 Testeur de valves de boucle en mA Fluke 710 .....  | 51 |
| Figure III.14 Composition d'une vanne de régulation.....   | 51 |
| Figure IV.1 transmetteur de pression modèle EJA110E – Yokogawa.....  | 55 |
| Figure IV.2 calibrateur HART BEAMAX-MC6.....   | 55 |
| Figure IV.3 Montage de calibration d'un transmetteur de pression .....                                     | 56 |
| Figure IV.4 Analyse des résultats avant l'étalonnage d'un transmetteur de pression .....                   | 57 |
| Figure IV.5 Analyse des résultats après l'étalonnage d'un transmetteur de pression .....                   | 58 |
| Figure IV.6 graphe des résultats d'étalonnage d'un transmetteur de pression.....                           | 59 |
| Figure IV.7 Transmetteur de pression intelligent (SMART .....  | 61 |
| Figure V.1 Importance de la documentation dans le processus d'étalonnage.....                              | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 résumées les activités requises pour le bon fonctionnement d'un instrument de mesure..... | 14 |
| Tableau 2 les résultats avant l'étalonnage .....  | 57 |
| Tableau 3 les résultats après l'étalonnage.....   | 58 |

**PVEP:** Petrovietnam Exploration and Production.

**PTTEP :** L'autorité pétrolière de Thaïlande.

**HMD :** Champ pétrolier de Hassi Messaoud

**JGC:** Japanese Gas Corporation.

**CPF :** Central processing facilities.

**BVS :** Les stations des vannes de sectionnement

**GS :** Les stations de collecte

**ISO :** International Organizations for standardizations.

**EMT :** Erreur Maximale Tolérée

**TTS-90 :** Echelle Internationale de Température de 1990.

**DKD-R :** service allemand d'étalonnage.

**ADT :** Calibrateur de pression digitale.

**RTD:** Resistance temperature detector.

**AC:** Alternative courant.

**IEC :** Electroacoustique en coopération avec l'organisation internationale.

**LRV:** Lower range value.

**URV:** Upper range value.

**GMAO :** Gestion de maintenance assistée par ordinateur.

**CEI :** Commission électrotechnique internationale.

**MID :** Directive européenne sur les instruments des mesures.

**BS 4142 :** Norme britannique qui fournit des lignes directrices pour évaluer le bruit provenant des sources industrielles.

**TC:** Thermocouples

**USB:** Universal serial bus.

# *Introduction générale*

# INTRODUCTION GENERALE :

L'application de la mesure est très large dans le domaine industriel, la maîtrise du processus de mesure et de la qualité de la mesure est devenue un véritable enjeu économique, commercial et réglementaire

.Dans le domaine de l'instrumentation, la mesure la plus intéressante est la mesure de la température et le débit, la pression, le Niveaux. La connaissance de ces grandeurs permet de maîtriser les méthodes de mesure et d'utiliser des instruments de mesure pour développer des résultats, la qualité des mesures ce réfèrent a certains paramètres parmi lesquels figurent les conditions d'environnement (température, hygrométrie, pression atmosphérique, ...), et aussi des instruments qui dérivent dans le temps.

Ce phénomène de dérivation peut apparaitre sur les instruments au fur à mesure de temps, pour vérifier ce phénomène il faudra un étalonnage de l'instrument par un autre instrument de haut calibre, en suit faire la comparaison entre l'instrument de mesure avec un étalon et déterminer à la fin les erreurs de l'instrument.

L'étalonnage des instruments de mesure est important dans plusieurs disciplines, notamment les sciences et l'ingénierie, la médecine et l'industrie. Il s'agit d'ajuster et de vérifier l'exactitude des instruments de mesure afin de garantir des résultats fiables et précis. L'étalonnage est crucial pour garantir la qualité des données collectées et pour que les instruments répondent aux normes et spécifications requises.

La fréquence de calibration varie selon le type d'instrument, son utilisation et les normes de l'industrie. Certains instruments nécessitent une calibration régulière, tandis que d'autres peuvent être calibrés moins fréquemment. Cependant, il est généralement recommandé de calibrer les instruments de manière périodique pour garantir leur précision continue.

D'après tous ca quelles est la gestion de calibration des instruments de mesure ? et quelle est la différence entre la calibration et l'étalonnage de ces instruments ? et quelle est l'importance de cet calibration dans la divers industriel ?

Dans l'objectif d'assurer la fiabilité des mesures et d'améliorer l'efficacité de nos processus d'étalonnage dans industries il est impératif de garantir l'exactitude des valeurs délivrées par nos instruments de mesure. Ceci impose le bon choix et le suivi métrologique rigoureux des instruments de mesure.

Notre travail est constitué de la présente introduction et de cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré à définir les notions des bases liés à la gestion de calibration des instruments de mesure et les technologies et outils disponibles pour la gestion des données de calibration.

Le deuxième chapitre est consacré à des exigences réglementaires et normative en matière de calibration et à l'étude des processus de calibration et les différents types des instruments.

Le troisième chapitre est études des procédures d'étalonnage des instruments

Le quatrième chapitre étudies des procédures spécifique d'étalonnage d'un transmetteur de pression et analyser les résultats d'étalonnage.

Le dernier chapitre contient les informations sur la manière de documentation d'étalonnage et l'importance des logiciels de documentation.

# *Chapitre I*

## *Etat de l'art*

## I.1 Introduction :

La calibration des instruments de mesure est un processus crucial dans divers domaines allant de la science et de l'ingénierie à l'industrie et même à la médecine. Elle consiste à ajuster et à vérifier la précision des instruments de mesure afin de garantir des résultats fiables et précis. La calibration est essentielle pour assurer la qualité des données collectées et pour s'assurer que les instruments fonctionnent conformément aux normes et aux spécifications requises [1].

Lorsqu'on parle d'**instruments de mesure**, il est essentiel de s'assurer que les résultats obtenus sont précis et fiables. Pour ce faire, deux termes sont souvent utilisés **étalonnage** et **calibration**. Bien qu'ils soient souvent utilisés de manière interchangeable, il est important de comprendre qu'il existe une différence entre les deux termes [1].

## I.2 Présentation du groupement BIR SEBA :

### I.2.1. Présentation de l'association GBRS :

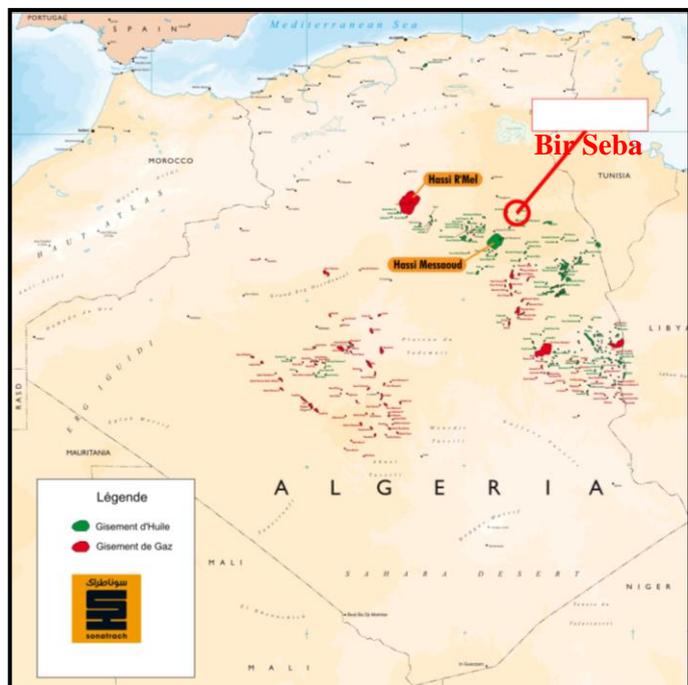
Le 10 juillet 2002, Sonatrach, Petrovietnam Exploration and Production Corporation – PVEP et l'Autorité pétrolière de Thaïlande (PTTEP) ont signé un Contrat de partage de production des gisements de champ Bir Seba ;

Ce champ est situé dans le périmètre de Touggourt et à 130 km au nord-est du champ pétrolier de Hassi Messaoud (HMD) s'étend sur une superficie de 6 472 km<sup>2</sup> ;

Ce contrat porte sur la réalisation d'un centre de traitement du brut d'une capacité de 20.000 barils/jour, d'une unité de compression et d'expédition du gaz vers Hassi Messaoud, d'une capacité d'un million de Standard mètres cubes/jour, ainsi que deux pipelines de 130 km chacun destinés à l'acheminement du brut vers Hassi Messaoud (HEH) ;

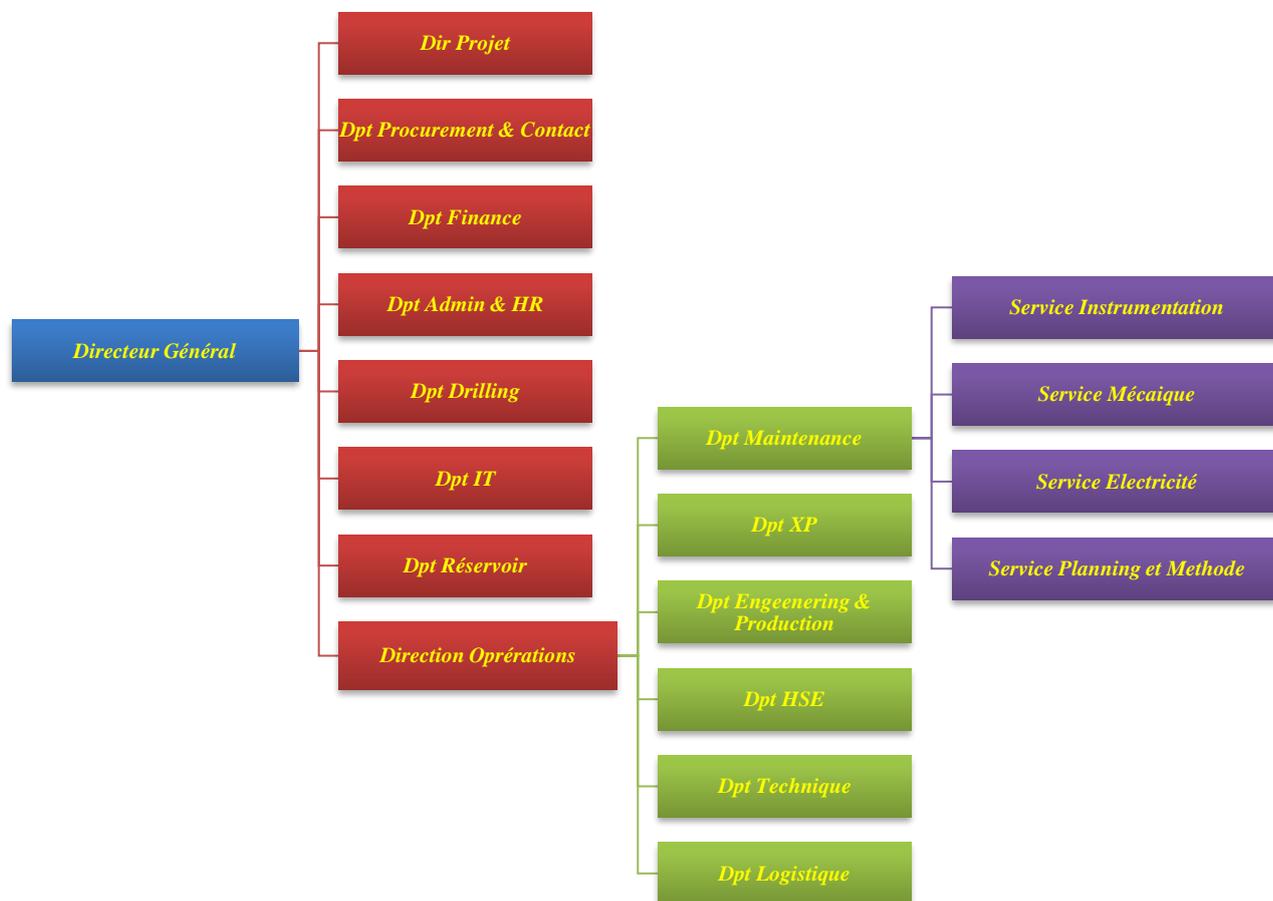
Il comprend également la construction d'une centrale électrique composée de deux turbogénérateurs identiques et d'une unité de

Déshydratation. Le groupement Algéro-vietnamo-thaïlandais Bir Sebaa a achevé les travaux d'exploration en 2008. Il a signé, en 2011, un contrat avec le consortium japonais Japanese Gas Corporation (JGC) et JGC Algérie SPA pour réaliser les installations industrielles de traitement de pétrole CPF, de pipelines d'expédition de pétrole et de gaz ainsi qu'une base industrielle sur le champ de Bir Seba, et il est mis en service aout 2015.



*Figure I.1 : Emplacement de GBRS dans la carte d'Algérie*

### I.2.2 Organigramme de groupement Bir Seba :



*Figure I.2* Organigramme du Groupement BIR SEBA

I.2.3 Composition du champ Bir Seba :

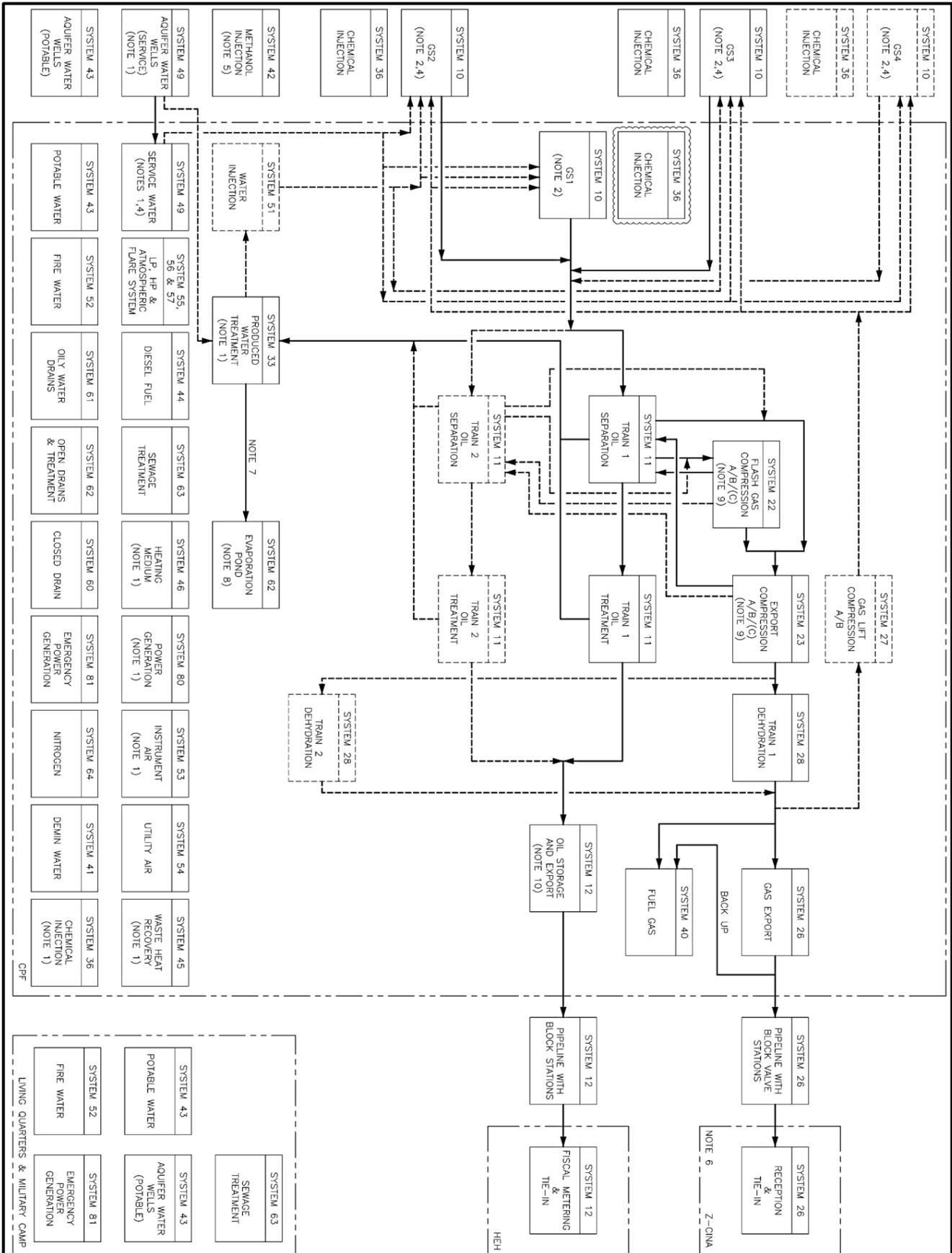
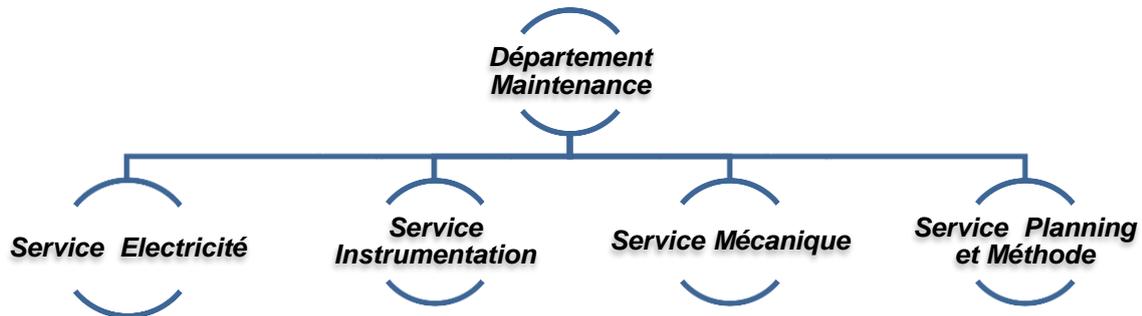


Figure I.3 : les unités et les systèmes du process de GBRS

### I.2.4 Présentation du département maintenance :

Ce département est composé de 4 services qui s'occupent de la maintenance préventive et curative de tous les équipements au niveau de GBRs.



- **Service électricité** : Ce service a pour mission d'assurer la maintenance préventive et curative (en cas de panne) de tous les équipements électriques. Il concerne également la production d'électricité. L'électricité nécessaire à l'alimentation des différents appareils de la centrale est générée à partir des turbines. Les turbines génèrent 11 volts par une fréquence 50 Hz et sont converties via des Transformateurs électriques pour alimenter les différentes unités de l'usine.
- **Service mécanique** : ce service a pour rôle d'assurer l'entretien mécanique des équipements statiques et les machines tournantes, préventive et curative.
- **Service Planning et méthode** : a pour rôle de faire le planning et la gestion des travaux à réaliser pour les services électricité, mécanique et instrumentation il s'en charge aussi de la préparation des arrêts de l'usine et la préconisation des pièces de rechange.
- **Service Instrumentation** :

Ce service a pour rôle de suivre et intervenir sur les différents appareils et instruments de contrôle et de sécurité installés au niveau de CPF, les stations de collecte (GS), les têtes de puits et les stations des vannes de sectionnement (BVS). La maintenance de ces équipements peut être à caractère curatif ou préventif ;

Les équipements et les instruments sujets à la maintenance préventive ou curative sont :

Les transmetteurs de différents types, les détecteurs de flammes, les détecteurs du gaz, les vannes tout ou rien, les vannes de régulation, les analyseurs ... etc.

### I.2.5. Documents utilisés dans le domaine de l'instrumentation :

Les documents les plus utilisés dans le domaine de l'instrumentation pétrolière sont :

- Process Flow Diagrams (PFDs).
- Process and Instrument diagrams (P&IDs).
- Loop diagrams ("loop sheets").
- La fiche technique de l'instrument (data-sheet).

**PFD** : c'est une représentation en bloc du processus industriel.

**P&ID** : est une représentation plus détaillée du processus industriel. Dans ce schéma on trouve tous les équipements statiques (exemple, Vessel), les équipements dynamiques (machines tournantes) mais surtout les instruments de mesure et de contrôle installés. **Loop diagramme** : ce document représente la façon dont l'instrument est connecté depuis le site jusqu'au système de contrôle.

**La fiche technique (Data-sheet)** : La fiche technique est un document contenant les spécifications et les informations d'un instrument. Il spécifie les informations générales de l'instrument telles que le numéro d'identification (Tag), la description du service, l'emplacement (numéro de ligne / numéro d'équipement), le numéro d'identificateur ou le numéro de référence, les données de procédé, la plage étalonnée (la précision, la linéarité, ...etc.) ; Exemple d'un PFD (séparation d'huile système 11)

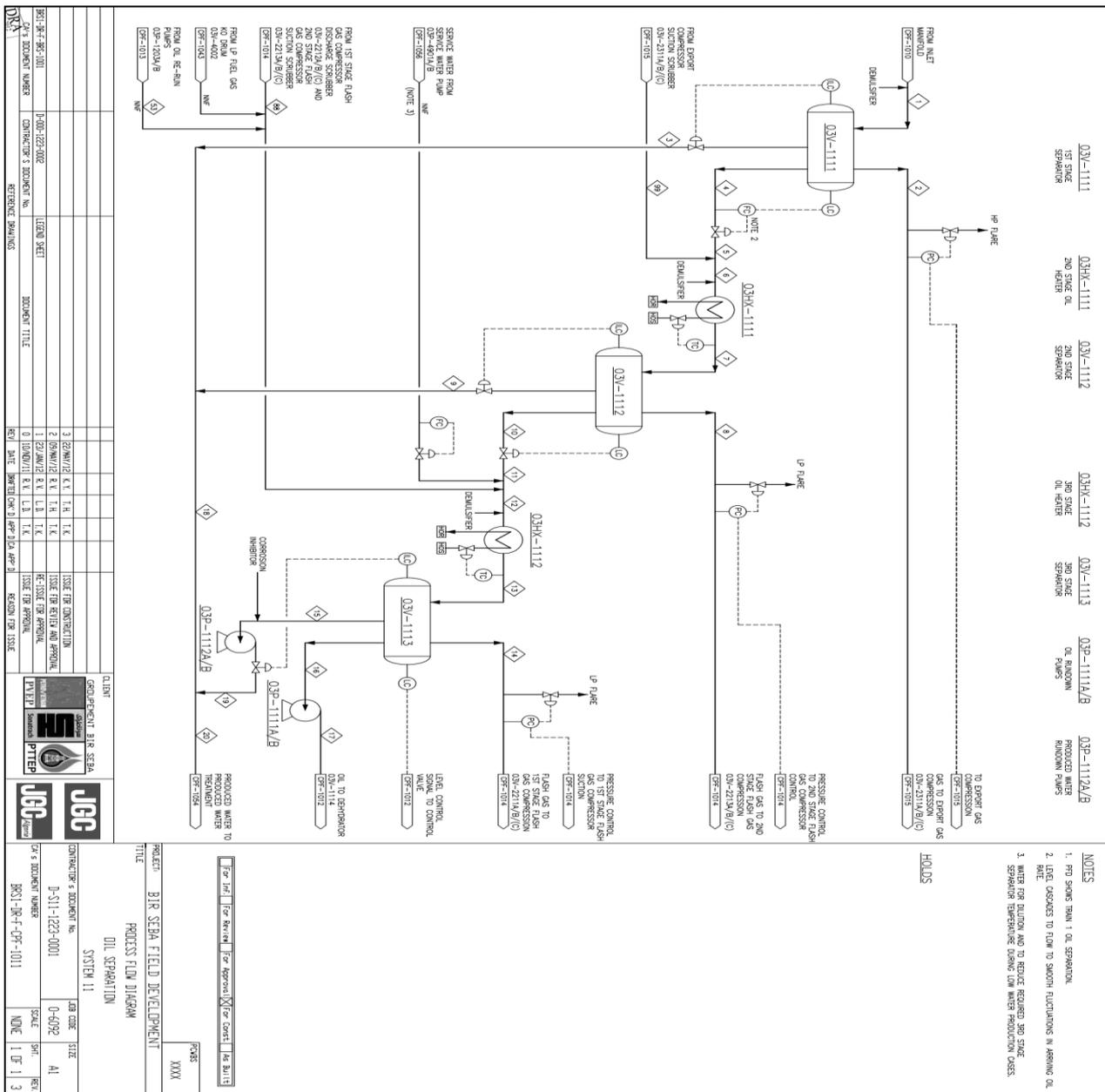


Figure I.4 Exemple d'un P&ID (système production du nitrogène système 64)

Dans la pratique, les termes relatifs aux installations de mesures, instruments de mesures et également à leurs contrôles, examens, calibrages, étalonnage et ajustements sont en partie utilisés indifféremment. Pour cette raison, les termes importants pour ce document sont définis comme suit.

**Calibration :**

La calibration des instruments de mesure consiste à comparer et documenter la mesure d'un instrument avec celle d'un étalon de référence traçable. Cela implique une comparaison documentée entre l'instrument à étalonner et un instrument de référence plus précis, appelé étalon, afin de garantir la fiabilité des mesures. L'étalonnage permet de réduire l'incertitude associée aux mesures en appliquant des corrections systématiques, assurant ainsi que les moyens de mesure respectent les prescriptions et sont fiables. Un certificat d'étalonnage est délivré pour fournir à l'utilisateur les résultats de l'étalonnage, permettant de prendre en compte les écarts de justesse lors de l'utilisation de l'instrument. Cette étape garantit que l'instrument a été étalonné conformément aux normes établies [3].

La calibration des instruments de mesure est un processus similaire à l'étalonnage, mais elle est utilisée pour ajuster l'instrument de mesure afin qu'il produise des résultats plus précis. En d'autres termes, la calibration est une procédure pour ajuster l'instrument de mesure pour qu'il corresponde à une référence connue.

La calibration peut être utilisée pour corriger des défauts d'instrumentation qui peuvent affecter les résultats de mesure, tels que des erreurs systématiques ou des dérives de l'instrumentation au fil du temps. Par exemple, une balance de laboratoire peut être calibrée pour corriger toute erreur de pesée qui peut affecter les résultats de mesure.

Les étapes de la calibration des instruments de mesure peuvent varier en fonction de l'instrument et de l'application, mais elles impliquent généralement une comparaison des résultats de mesure de l'instrument à calibrer avec une référence connue et la mise en œuvre d'ajustements nécessaires pour corriger les erreurs de mesure [1].

### **Etalonnage :**

L'étalonnage d'un instrument de mesure consiste à utiliser un étalon pour déterminer le rapport entre la valeur affichée par l'instrument et la valeur réelle. C'est un processus qui permet de garantir la fiabilité de l'instrument en comparant sa précision avec celle d'un étalon de référence. L'étalonnage est généralement effectué avant et après l'utilisation de l'instrument, et la fréquence de l'étalonnage dépend de l'utilisation de l'instrument et des recommandations du fabricant. L'étalonnage est essentiel pour obtenir des mesures précises et garantir la qualité des produits [4].

### **Instrument de mesure :**

Les instruments de mesures servent à la détermination de grandeurs physiques. Ils conduisent dans le cadre d'une mesure au moyen d'un affichage à échelle ou digital, à une prévision quantitative de la grandeur à mesurer. La valeur mesurée, est donnée comme produit d'une valeur chiffrée et d'une unité.

### **Redondance :**

La redondance signifie la mise à disposition multiple de mesures fonctionnellement égales ou comparables.

Remarque : Des dispositifs de mesures redondants devraient être installés partout où cela est possible et économiquement supportable (par ex. 2 thermomètres pour la mesure de la même température, où les thermomètres peuvent être de constructions différentes) [2].

### **Tolérances :**

Les tolérances d'un instrument de mesures sont les déviations maximales autorisées d'une valeur lors d'une mesure de contrôle. Elles sont fixées par le fabricant.

### **Contrôle :**

Le contrôle d'un instrument de mesures doit permettre de déterminer si les résultats des mesures de cet instrument respectent les tolérances définies, par ex. à l'aide d'une plaque de contrôle. Ce procédé se fait en général sur site.

### **Mise à zéro :**

La mise à zéro permet de déterminer le point „zéro“ de l'instrument de mesure. Pour les balances, c'est la notion de tarage qui est utilisée. Ce procédé se fait en général sur site

### **Examen :**

L'examen est une partie du calibrage. Le fabricant ou le fournisseur examine l'instrument de

mesures en ce qui concerne les tolérances, par ex. à l'aide de plaques de contrôle qui couvrent tout le domaine de mesures.

### **Ajustement :**

L'ajustement est une partie du calibrage. Il est nécessaire lorsque les tolérances de mesures ne sont pas respectées lors de l'examen.

Remarque : Certains instruments de mesures nécessitent un procédé d'ajustement avant leur utilisation. Selon les instruments, ce procédé doit être répété à la fin des mesures ou de la série de mesures. Ceci concerne cependant exclusivement des mesures que le fabricant/fournisseur exécute lui-même.

### **I.3 Vérification des instruments de mesure :**

La vérification nécessite la réalisation des mesures sur l'instrument pour vérifier qu'il respecte les standards de performance et de précision définies. C'est-à-dire qu'on spécifie un niveau de tolérance (EMT : Erreur Maximale Tolérée) sur l'instrument et on le compare aux résultats du test. À la suite de cette comparaison, nous émettons une décision de conformité ou de non-conformité et donc un constat de vérification.

La vérification est généralement effectuée avant la mise en service d'un instrument de mesure pour s'assurer qu'il remplisse les critères de qualité requis. Dans l'industrie, les vérifications sont, le plus souvent, effectuées par les instrumentistes lors de périodes d'arrêt ou de maintenance.

À la suite d'une vérification, un constat de vérification doit être délivré pour garantir la traçabilité sur l'instrument et documenter le fait que l'instrument réponde aux tolérances process [6].

Voici quelques exemples sur la vérification :

- Confirmer qu'un matériau de référence donné est bien conforme aux déclarations.
- Confirmation que des propriétés relatives aux performances ou des exigences légales sont satisfaites par un système de mesure.
- Confirmation qu'une incertitude cible peut être atteinte.

### **I.4 Différence entre l'étalonnage et la vérification :**

Un étalonnage c'est l'estimation d'erreur d'instrument et de compenser le défaut de justesse par une correction. La vérification nous permet de savoir c'est une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées, et de confirmer que l'erreur de mesure reste plus petite que l'erreur maximale tolérée dans l'étalonnage on connaît quelques caractéristiques de l'instrument, cependant dans la vérification on connaît que notre instrument à une erreur petite qu'une valeur définie a priori.

L'étalonnage ne permet pas de prendre une décision de conformité par contre la vérification  
 C'est la seule qui le permet [11].

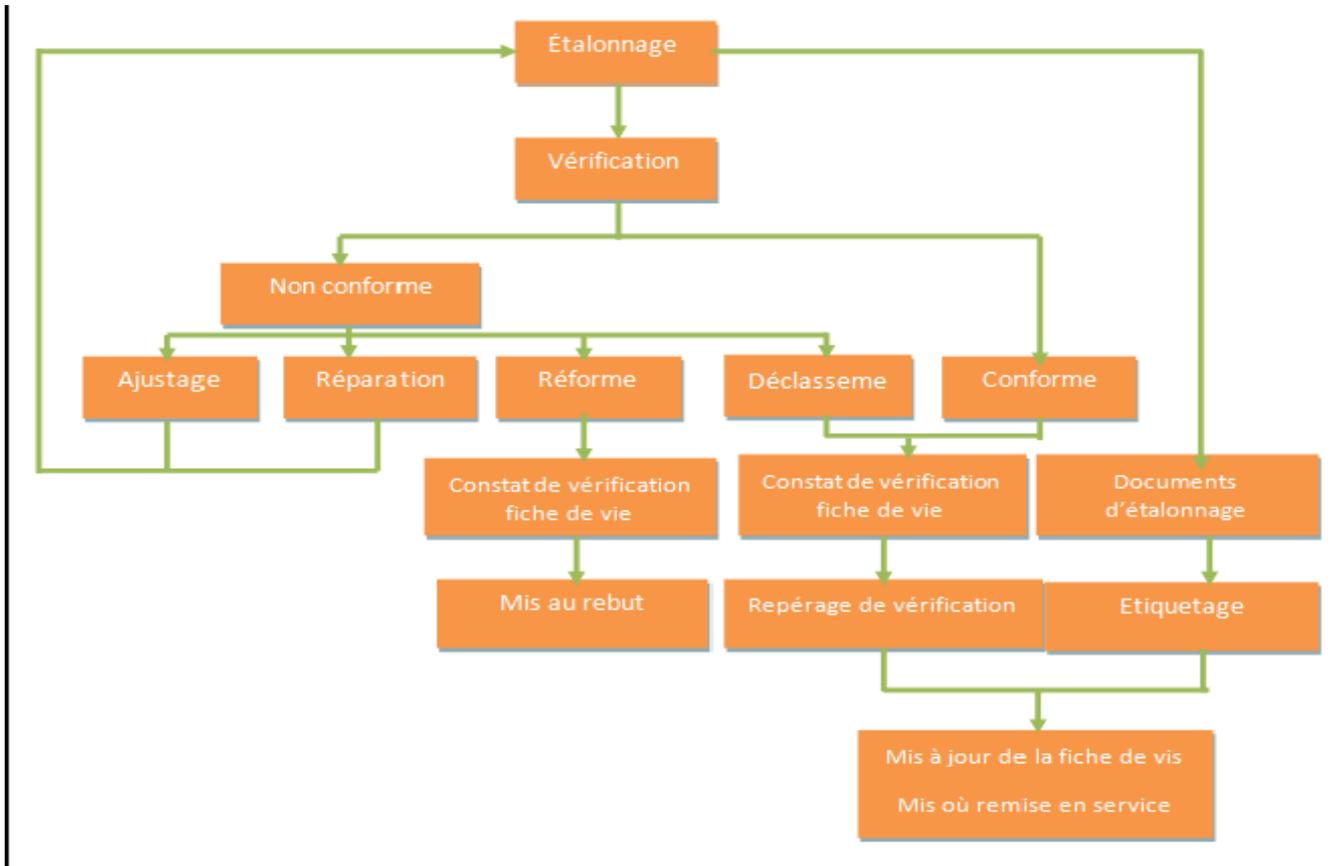


Figure I.5. La différence entre l'étalonnage et la vérification

**I.5 Choix entre étalonnage et vérification :**

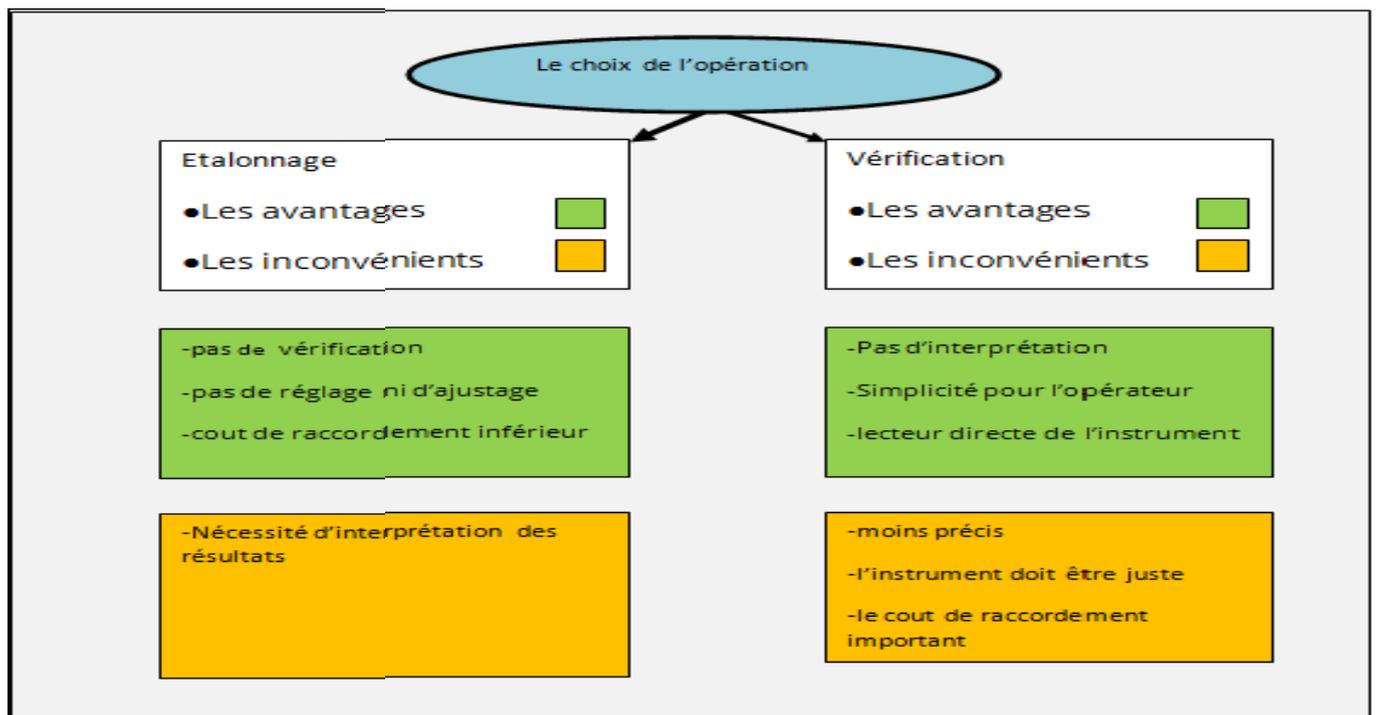


Figure I.6 Le choix entre l'étalonnage et la vérification

## **I.6 Importance de la calibration des instruments dans divers domaines industriel :**

Les sociétés industrielles étalonnent leurs instruments pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les normes de mesure doivent être stables dans le temps pour garantir la cohérence et la comparabilité des mesures. Ensuite, l'étalonnage permet de vérifier que les instruments de mesure sont conformes aux normes en vigueur et de détecter d'éventuelles dérives ou erreurs. Enfin, l'étalonnage permet de garantir la traçabilité des mesures, c'est-à-dire de remonter jusqu'à la source de référence pour justifier la précision des mesures.

Les calibrations doivent être effectuées par des laboratoires accrédités selon la norme ISO 17025, qui garantit la compétence et l'indépendance des laboratoires. Les certificats de calibration doivent comporter toutes les informations nécessaires pour garantir la traçabilité des mesures, telles que la date de calibration, la valeur de référence, l'incertitude de mesure, etc.

Les calibrations doivent être effectuées régulièrement en fonction de la fréquence d'utilisation de l'instrument et des normes en vigueur. En effet, les instruments de mesure peuvent subir des dérives ou des erreurs au fil du temps, qui peuvent affecter la précision des mesures. Les calibrations permettent de détecter et de corriger ces dérives avant qu'elles n'aient des conséquences sur les mesures.

En conclusion, la calibration des instruments de mesure est une procédure essentielle dans de nombreux domaines industriels pour garantir la qualité et la fiabilité des mesures. Les calibrations doivent être effectuées régulièrement par des laboratoires accrédités selon la norme ISO 17025 et les certificats de calibration doivent comporter toutes les informations nécessaires pour garantir la traçabilité des mesures [7].

## **I.7 Importance de la calibration des instruments dans divers domaines Scientifique :**

La calibration des instruments de mesure revêt une importance cruciale dans divers domaines scientifiques pour garantir la précision et la fiabilité des mesures effectuées. En science, la précision des mesures est essentielle pour obtenir des données fiables et reproductibles, ce qui est fondamental pour la recherche et le développement. Voici quelques points clés sur l'importance de la calibration des instruments dans divers domaines scientifiques :

- **Recherche Scientifique :** En recherche scientifique, la précision des mesures est primordiale pour valider les hypothèses, confirmer les théories et obtenir des résultats significatifs. La calibration des instruments de mesure garantit que les données collectées sont exactes et peuvent être utilisées en toute confiance pour tirer des conclusions scientifiques.
- **Médecine et santé :** Dans le domaine médical, la calibration des instruments de mesure est essentielle pour des applications telles que les diagnostics médicaux, les analyses de laboratoire et la surveillance des patients. Des mesures précises sont cruciales pour établir des diagnostics précis et assurer des traitements efficaces.

- **Industrie Pharmaceutique** : Dans l'industrie pharmaceutique, la calibration des instruments de mesure est cruciale pour garantir la qualité des médicaments, des dispositifs médicaux et des procédés de fabrication. Des mesures précises sont nécessaires pour respecter les normes de sécurité et d'efficacité des produits pharmaceutiques.
- **Environnement et Écologie** : Pour surveiller et évaluer l'impact environnemental, la calibration des instruments de mesure est indispensable. Des mesures précises sont nécessaires pour suivre les changements environnementaux, évaluer la qualité de l'air, de l'eau et du sol, ainsi que pour prendre des décisions éclairées en matière de conservation de la biodiversité [10].

## I.8 Revue des pratiques actuelles de gestion de calibration :

- **Planification de la calibration** : Les organisations élaborent des plans de calibration pour déterminer quels équipements et instruments doivent être calibrés, avec quelle fréquence et selon quelles normes. Cette planification est généralement basée sur les exigences réglementaires, les recommandations des fabricants et les bonnes pratiques de l'industrie.
- **Identification des équipements** : Chaque équipement ou instrument soumis à la calibration est identifié de manière unique pour faciliter le suivi et la gestion. Cela peut impliquer l'utilisation de codes-barres, de numéros de série ou d'autres systèmes d'identification.
- **Suivi des échéances** : Les systèmes de gestion de la calibration permettent de suivre les dates de dernière calibration et les dates d'échéance pour les équipements. Des rappels automatiques peuvent être configurés pour s'assurer que les calibrations sont effectuées en temps opportun.
- **Calibration interne et externe** : Les organisations décident souvent s'il est plus rentable ou plus pratique de réaliser les calibrations en interne ou de les externaliser à des laboratoires d'étalonnage tiers. Les instruments critiques peuvent nécessiter une calibration externe certifiée, tandis que d'autres peuvent être calibrés en interne.
- **Documentation et traçabilité** : Toutes les calibrations sont documentées de manière appropriée, y compris les procédures de calibration utilisées, les résultats obtenus et les certificats de calibration. Cette documentation garantit la traçabilité des mesures effectuées et est essentielle pour répondre aux exigences réglementaires.
- **Évaluation des fournisseurs de services de calibration** : Les organisations évaluent régulièrement les laboratoires d'étalonnage externes pour s'assurer qu'ils répondent aux normes de qualité requises. Cela peut impliquer des audits sur site, des examens des certificats de calibration et des évaluations de la compétence technique des fournisseurs.
- **Maintenance préventive** : En plus de la calibration régulière, les équipements peuvent nécessiter une maintenance préventive pour garantir leur bon fonctionnement. Cette maintenance peut inclure le nettoyage, le remplacement des pièces d'usure et d'autres mesures visant à prévenir les pannes.

- **Utilisation de logiciels de gestion de la calibration :** De nombreux logiciels spécialisés sont disponibles pour faciliter la gestion de la calibration, y compris la planification, le suivi des échéances, la gestion des certificats de calibration et la génération de rapports. Ces outils automatisent de nombreuses tâches et contribuent à garantir la conformité aux normes de qualité. La gestion de la calibration repose sur une planification minutieuse, un suivi rigoureux, une documentation précise et l'utilisation d'outils appropriés pour garantir la précision et la fiabilité des mesures effectuées par les équipements et instruments.

## I.9 Garantie d'un fonctionnement correct d'un instrument de mesures :

Dans la tablelle suivante sont résumées les activités requises pour le bon fonctionnement d'un instrument de mesure, ainsi que qui les exécutent et où.

*Tableau I.1* résumées les activités requises pour le bon fonctionnement d'un instrument de mesure

| QUI         | Exploitant         | Fabricant/fournisseur         | Centre étalonnage      |
|-------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| QUOI / OU   | ouvrage (sur site) | Chez le fabricant/fournisseur | Au centre d'étalonnage |
| Contrôle    | X                  |                               |                        |
| Mise à zéro | X                  |                               |                        |
| Calibrage   |                    | X                             |                        |
| Examen      |                    | Partie du calibrage           |                        |
| Ajustement  |                    | Partie du calibrage           |                        |
| Etalonnage  |                    |                               | X                      |

## I.10 Technologies de calibration des instruments :

### I.10.1 Technologie de calibration par comparaison :

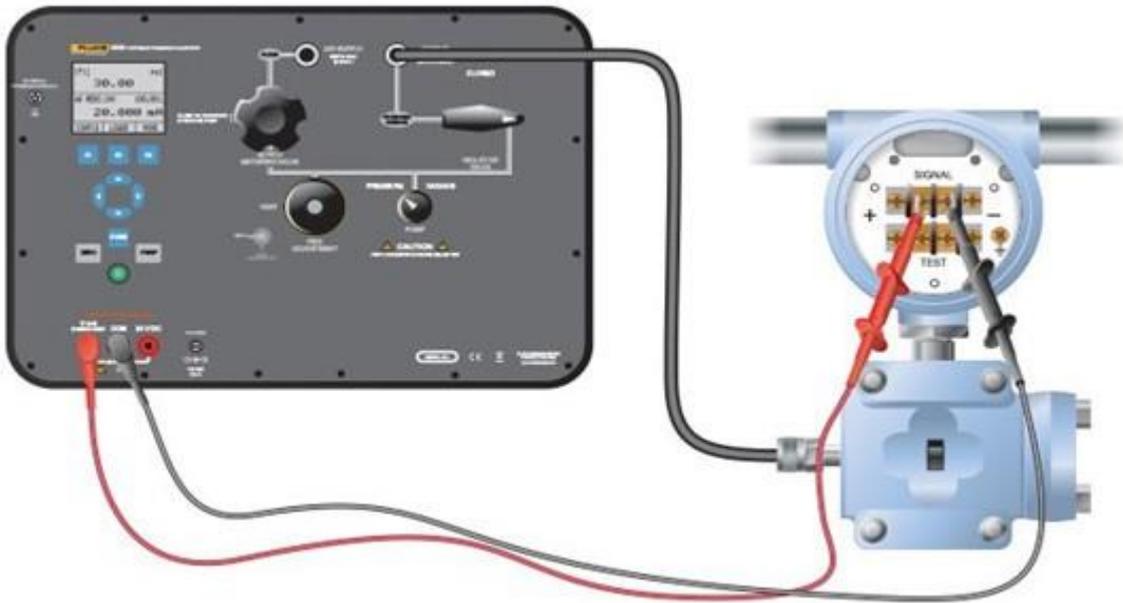
La technologie de calibration par comparaison implique la comparaison d'un instrument de mesure avec un instrument de référence ou un étalon pour déterminer l'erreur ou vérifier l'exactitude du DUT (dispositif à tester). Cette méthode est largement utilisée pour les instruments de mesure de température, où les points fixes de référence sont définis selon l'Echelle Internationale de Température de 1990 (ITS-90). Les laboratoires d'étalonnage effectuent une comparaison entre la valeur théorique et la valeur réelle, et le résultat du calibrage est documenté sur le certificat de calibrage, qui contient des informations sur l'objet calibré, le référentiel, l'appareillage de vérification, le déroulement de la vérification et les conditions ambiantes pendant le calibrage. Le calibrage par comparaison ne constitue pas une intervention durable sur l'appareil de mesure, mais il est nécessaire de vérifier la précision des instruments après le calibrage [5].

### I.10.2 Technologie de calibration par correction :

La calibration des instruments de mesure par correction implique l'ajustement de la mesure pour éliminer les erreurs systématiques et inhérentes au système de mesure par exemple dans la mesure de pression. Cela peut être réalisé en utilisant un calibreteur pour simuler une pression précise, ou en utilisant des balances de pression haute précision avec des pièces de masse connues pour créer une pression de référence. Les contrôleurs de pression peuvent être utilisés pour s'approcher de manière exacte et automatisée de la valeur de pression mesurée désirée, en comparant la valeur de l'appareil testé à la valeur de consigne de la référence et en documentant le résultat. Les capteurs de pression peuvent être calibrés en utilisant des appareils portatifs combinant les normes et les générations de pression, en effectuant un étalonnage du point zéro avec les vannes ouvertes, et en vérifiant les points de contrôle de pression individuels à l'aide de la pompe intégrée. Les procédures d'étalonnage

des capteurs de pression doivent être effectuées dans des conditions environnementales idéales, en prenant en compte la position de montage prescrite et en suivant les cycles d'étalonnage spécifiés par la directive DKD-R 6-1 du DKD.

Le schéma ci-dessous détaille les points de connexion de transmetteur de pression équipement :



**Figure I.7** Le Schéma d'étalonnage de transmetteur de pression

Ce schéma montre comment effectuer une procédure d'étalonnage sur un transmetteur de pression à l'aide d'un P3130.

### **I.10.3 Calibration automatisée des instruments de mesure :**

La calibration automatisée des instruments de mesure est une méthode qui permet de vérifier et d'ajuster les paramètres de mesure d'un instrument en utilisant des processus automatisés. Cette méthode est utilisée pour garantir la précision et la fiabilité des mesures, et peut être utilisée pour tous types d'instruments de mesure, tels que les instruments de mesure de pression, de température, de débit, etc [8].

Les systèmes de mesure automatisés permettent de réaliser des mesures précises de toutes les caractéristiques nécessaires, entièrement automatisées. Ils peuvent être utilisés pour des systèmes de mesure vidéo sur 3 axes, pour des appareils de contrôle entièrement automatiques des cadrans de mesure et des écrans de précision, pour des calibrateurs de ruban de mesure, pour des systèmes de contrôle de longueur, etc.

Les calibrateurs de pression, tels que le calibrateur de pression digital ADT 672, peuvent mémoriser manuellement ou de manière automatisée jusqu'à 30 fichiers de 40 enregistrements chacun, et peuvent être utilisés pour l'étalonnage et la calibration de pression.

Les systèmes de mesure automatisés peuvent également être utilisés pour des essais modaux expérimentaux automatisés, pour des systèmes de contrôle de longueur, pour des installations de mesure de l'épaisseur pour l'évaluation de la densité brute, pour des installations de mesure de la qualité de panneaux et des économies significatives de coûts de matériaux et de production, pour des systèmes de mesure à disposition jusqu'à présent qui ne sont pas en mesure de détecter un grand nombre d'erreurs de mesure, etc [8].

Les systèmes de mesure automatisés peuvent être utilisés dans divers domaines, tels que l'industrie, la recherche, la médecine, etc. Ils permettent de réaliser des mesures précises et fiables, de réduire les coûts de production, d'améliorer la qualité des produits, etc .

Les systèmes de mesure automatisés peuvent être utilisés pour des mesures semi-automatiques, avec des points de mesure définis à l'aide d'une porte de commutation, pour des réglages locaux pour le découplage thermique, pour des mesures très précises, pour des économies de la table de pesage, pour des mesures de l'épaisseur pour l'évaluation de la densité brute, pour des installations de mesure de l'épaisseur pour l'évaluation de la densité brute, pour des installations de mesure de la qualité de panneaux et des économies significatives de coûts de matériaux et de production, etc[8].

## **I.11 outils disponible pour la calibration des instruments :**

### **I.11.1. Étalonneurs multifonction :**

Ces calibrateurs de terrain et de table génèrent, simulent et mesurent avec une précision exceptionnelle la pression, la température et les signaux électriques. Ils peuvent automatiser les procédures d'étalonnage, stocker les données et même étalonner et dépanner les équipements compatibles HART. Vous pouvez même utiliser cet calibrateur de table pour étalonner le calibrateurs de terrain. Nous proposons également des multimètres de précision à 5,5 et 6,5 chiffres pour une variété d'applications de tests et d'étalonnage [9].

### **I.11.2 Calibrateurs à bloc sec et micro-bains :**

Un calibrateur à bloc sec (puits sec) et les micro-bains sont des sources thermiques de précision qui fournissent un environnement thermique stable et uniforme pour étalonner les capteurs thermiques, les thermomètres et les commutateurs thermiques. Fluke Calibration offre une variété de calibrateurs à bloc sec et de micro-bains qui proposent un niveau élevé de précision, une plage thermique élargie, des étalonnages thermiques rapides, des inserts interchangeable et la capacité de lire les sondes de référence, les commutateurs thermiques et la sortie 4-20 mA des transmetteurs thermiques. [9]

### **I.11.3 Etalonnage a l'aide d'un calibrateur HART :**

Les fabricants de transmetteurs de pression ont amélioré ces appareils de mesure de pression intelligents, pour offrir plus de précision et une meilleure technologie. De nombreux outils d'étalonnage conventionnels sont devenus inadaptés ou tout simplement incapables de tester et d'étalonner ces transmetteurs de pression haute précision. Des solutions de test plus perfectionnées sont nécessaires.

La vérification et la documentation des performances et le réglage d'un transmetteur de pression intelligent HART peuvent nécessiter de nombreux outils. L'exécution de ces tâches avec un calibrateur compatible HART comme le Fluke 754 simplifie votre travail et réduit le nombre d'outils à transporter.

Avant d'aller sur le terrain, raccordez l'adaptateur de module de pression à la pompe manuelle à l'aide d'un joint fileté. Une fois l'adaptateur correctement installé sur la pompe, il est très facile de régler les modules à différentes plages de pression, sans aucun outil [9].

Afin d'obtenir la précision nécessaire pour tester ces nouveaux transmetteurs haute précision, faites parfaitement correspondre la plage standard de mesure de pression à l'appareil testé. Utilisez par exemple un module de pression 100 psi pour étalonner et tester un transmetteur avec une plage de 100 Psi. Les normes de l'industrie recommandent que l'étalon de mesure soit 4 à 10 fois plus précis que l'appareil testé. Une précision extrême est donc requise.

Le calibrateur de process à mémoires Fluke 754 HART utilise le module de pression de la série 750P et dispose de la fonction HART intégrée pour activer les compensations intelligentes sur les transmetteurs. Il permet également de documenter les performances du transmetteur avant et après le réglage et de calculer les erreurs réussite/échec .

Grâce au double écran lumineux, vous pourrez visualiser simultanément les paramètres générés et mesurés. La batterie Li-ion rechargeable permet d'utiliser l'appareil sans interruption pendant 10 heures. Vous pouvez ainsi terminer une tâche entreprise à la suite d'une autre sans devoir vous arrêter. L'instrument peut également être utilisé comme alimentation AC directe. Pour finir, communiquez avec les transmetteurs numériques intelligents HART directement par l'intermédiaire des prises jack de mesure en mA. Vous réduisez ainsi le nombre de connexions, ce qui simplifie le processus d'étalonnage

#### **I.11.4 Etalonnage à l'aide d'un calibrateur BEAMAX :**

Le calibrateur Beamex est un outil d'étalonnage de précision qui peut être utilisé pour étalonner des instruments de mesure de température, de pression et de signaux électriques. Le calibrateur Beamex MC6-T est un exemple de calibrateur multifonction qui combine un four d'étalonnage à air sec avec un calibrateur de process et un communicateur de terrain. Ce système d'étalonnage de température automatisé est extrêmement polyvalent et offre la possibilité de générer, mesurer et simuler des températures ou des signaux électriques [6].

Le calibrateur Beamex MC6 est également un calibrateur multifonction et communicateur de terrain qui offre des capacités d'étalonnage en pression, température et signaux électriques.

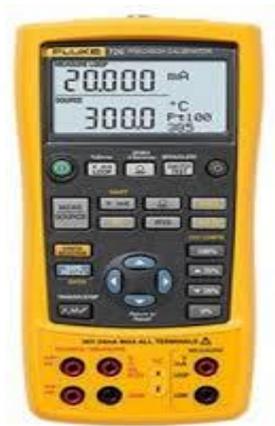
Le calibrateur Beamex MC4 est un calibrateur de process et de documentation qui permet de documenter les données de l'étalonnage au fur et à mesure [6].

En résumé, le calibrateur Beamex est un outil d'étalonnage de précision qui peut être utilisé pour étalonner différents types d'instruments de mesure, y compris les instruments de mesure de température, de pression et de signaux électriques. Les calibrateurs Beamex sont disponibles en différentes configurations et fonctionnalités pour répondre aux besoins spécifiques des applications.

#### **I.11.5 Pompes manuelles et manomètres pour tests de pression :**

Il est important de sélectionner la pompe et le manomètre adéquats pour l'application des tests à la main. Il est recommandé que l'appareil de test soit 4 à 10 fois plus précis que l'appareil testé. Pour ce faire, faites correspondre autant que possible la mesure à faire avec la valeur à pleine échelle du manomètre de test. Le manomètre assurera ainsi une précision optimale.

**I.11.6 Images des outils de calibration :**



*Figure I.8* Le Schéma d'un étalonneur multifonction



*Figure I.9* Schéma d'un four d'étalonnage



*Figure I.10* Le Schéma d'un étalonneur BEAMAX HART



*Figure I.11* Le Schéma d'un calibrateur



*Figure I.12* Le Schéma d'une Pompe manuelle et manomètre

## I.12 Conclusion :

La calibration des instruments de mesure présente des défis variés, tels que la complexité des modèles, le manque de données suffisantes, l'erreur humaine, le manque de standardisation et les contraintes de temps. Pour surmonter ces défis, il est crucial d'identifier les données pertinentes, de simplifier les modèles, d'impliquer plusieurs personnes dans le processus, d'établir des procédures d'étalonnage standard et de prioriser les aspects critiques de la calibration. L'utilisation d'outils logiciels tels qu'Excel, MATLAB et R peut faciliter l'automatisation du processus de calibration et garantir sa précision en outre, la calibration des instruments de mesure, qu'il s'agisse de pression, de température ou d'autres grandeurs physiques, est essentielle pour assurer la précision des mesures et la fiabilité des équipements. Les nouvelles technologies telles que la "Calibration Check Technology" offrent une surveillance en temps réel de la précision des instruments, contribuant ainsi à réduire les coûts d'exploitation et à garantir des mesures précises. la calibration des instruments de mesure est un processus crucial pour garantir la qualité des mesures, la conformité aux normes et la fiabilité des équipements. En surmontant les défis associés à la calibration, en utilisant des outils appropriés et en adoptant des bonnes pratiques, il est possible d'assurer des mesures précises et fiables, essentielles dans de nombreux domaines d'application.

***Chapitre II***  
***Analyse des besoins***

## **II.1 Identification des exigences réglementaires et normative en matière de calibration :**

Les exigences réglementaires en matière de calibration des instruments de mesure sont définies par plusieurs normes et recommandations.

### **II.1.1 Les normes internationales :**

- ISO 9001 : Cette norme internationale spécifie les exigences pour les systèmes de gestion de la qualité (QMS) et peut être utilisée pour améliorer la précision et la répétabilité des mesures dans un système de calibration.
- ISO 17025 : C'est le standard international pour l'accréditation en matière de calibration et de tests. Il s'agit d'un standard qui démontre la compétence des laboratoires de calibration et de tests
- ISO 5393 : Cette norme spécifie la méthode de test de performance pour les outils rotatifs pour les fixations filetées, ce qui est utile pour la mesure de la répétabilité d'outils de calibration.
- ISO 6789-2 : Cette norme spécifie la procédure d'étalonnage pour les clés de serrage manuel, ce qui est utile pour la calibration de clés de serrage utilisées dans le domaine oil & gas par exemple
- ISO/CEI 17025 : Cette norme détaille les exigences générales concernant la compétence, l'impartialité et la cohérence du fonctionnement des laboratoires effectuant l'étalonnage.
- CEI : Les instruments de mesure doivent être conformes aux normes CEI pour garantir leur sécurité et leur fiabilité.
- MID, EN ou CEI : Les systèmes de mesure du débit de pétrole et de gaz doivent être conformes aux normes MID, EN ou CEI pour garantir leur précision et leur fiabilité.
- NF EN ISO/CEI 17025 : Cette norme détaille les exigences générales concernant la compétence, l'impartialité et la cohérence du fonctionnement des laboratoires effectuant l'étalonnage.
- NF EN ISO 10012 : Cette norme spécifie les exigences pour la calibration des instruments de mesure et leur vérification périodique [12].

### **II.1.2 Secteur industriel :**

Les industries spécifiques, telles que l'industrie pharmaceutique, l'industrie alimentaire, l'aérospatiale, l'automobile, etc., peuvent avoir des exigences spécifiques en matière de calibration des instruments de mesure en raison de la nature critique de leurs processus.

### **II.1.3 Réglementation nationale :**

Chaque pays peut avoir ses propres réglementations et exigences en matière de calibration des instruments de mesure. Ces réglementations peuvent être définies par des organismes gouvernementaux ou des organismes de normalisation nationaux.

### **II.1.4 Documentation et traçabilité :**

Les réglementations exigent souvent que les entreprises tiennent des documents détaillés sur la calibration de leurs instruments de mesure, y compris des certificats de calibration, des procédures de calibration et des enregistrements de résultats. La traçabilité des étalons utilisés pour la calibration est également essentielle.

À l'inverse des méthodes plus archaïques, les logiciels de métrologie industrielle génèrent automatiquement les rapports et toutes les données d'étalonnage sont enregistrées dans une base de données unique plutôt que dans de multiples systèmes disparates. Les certificats d'étalonnage constats de vérification, les rapports et les étiquettes peuvent tous être imprimés sur papier ou envoyés au format électronique.

La documentation et l'archivage des résultats d'étalonnage incluent habituellement une signature ou une validation électronique de tous les résultats d'étalonnage ainsi générés [13].

### **II.1.5 Fréquence de calibration :**

Les réglementations peuvent spécifier la fréquence à laquelle les instruments de mesure doivent être calibrés. Cela peut être basé sur des facteurs tels que la stabilité de l'instrument, la fréquence d'utilisation, les exigences de précision, etc ...

Les réglementations peuvent spécifier la fréquence à laquelle les instruments de mesure doivent être calibrés en fonction de différents facteurs tels que la stabilité de l'instrument, la fréquence d'utilisation, les exigences de précision, etc. Par exemple, dans le domaine de la mesure acoustique, la norme ISO 11202 :2010 et la BS 4142 : 2014 stipulent que les instruments doivent satisfaire aux exigences de la norme IEC 61672 : 2002, classe 1, et les filtres doivent satisfaire aux prescriptions de la CEI 61260 : 1995, classe 1. Pour les instruments de mesure utilisés dans l'industrie, la fréquence de calibrage doit être équilibrée entre le risque et le coût. Des mesures correctes et fiables sont essentielles pour la production industrielle de qualité, et tous les dispositifs utilisés pour les mesures, y compris les dispositifs de mesure auxiliaires, doivent être étalonnés avant leur mise en service. La fréquence d'étalonnage dépend de l'environnement dans lequel les instruments sont utilisés. Si les systèmes sont régulièrement exposés à des températures extrêmes ou fluctuantes, ils devront être réétalonnés plus fréquemment que s'ils sont conservés dans un environnement contrôlé. Un certificat d'étalonnage doit documenter les résultats réels d'un étalonnage effectué conformément aux exigences, et il sert de référence pour la qualité et les performances d'un instrument. La norme ISO 9001 exige un étalonnage régulier des instruments de mesure, et la fréquence de l'étalonnage est déterminée par l'entreprise en fonction de la fréquence d'utilisation et des propriétés et conditions des instruments [14].

### **II.1.6 Qualification des fournisseurs de services de calibration :**

Certains secteurs peuvent exiger que les fournisseurs de services de calibration soient accrédités par des organismes de normalisation reconnus. L'objectif de la qualification dans le contexte des fournisseurs de services de calibration est d'évaluer et de sélectionner les fournisseurs les plus compétents pour répondre aux besoins de calibration des instruments. La qualification vise à s'assurer que les fournisseurs possèdent les certifications et les accréditations nécessaires, ainsi que l'expertise et l'expérience requises. Cela permet de minimiser les risques associés à l'utilisation de fournisseurs non qualifiés, en garantissant la qualité et la conformité des résultats de calibration. L'objectif final est d'assurer la fiabilité des résultats de calibration et de répondre aux exigences des clients en termes de précision et de conformité aux normes [15].

En résumé, les exigences réglementaires en matière de calibration des instruments de mesure sont variées et dépendent du type d'instrument et de son utilisation. Il est important de suivre les recommandations du fabricant et de respecter les normes et règlements applicables pour garantir la précision et la conformité des instruments aux normes réglementaires.

## II.2 Etude des processus de calibration existants :

### II.2.1. Évaluation des besoins en calibration :

L'évaluation des besoins en calibration des instruments est une étape cruciale dans la gestion de la qualité et de la précision des mesures dans divers domaines tels que l'industrie, la santé, etc. :

- Identification des instruments à calibrer : Commencez par dresser une liste de tous les instruments de mesure utilisés dans votre domaine d'activité. Cela peut inclure des équipements de laboratoire, des outils de production, des instruments médicaux, etc.
- Analyse des spécifications et des tolérances : Examinez les spécifications du fabricant pour chaque instrument, ainsi que les tolérances acceptables pour les mesures. Cela vous permettra de déterminer les fréquences de calibration recommandées par le fabricant.
- Évaluation de l'utilisation et de l'environnement : Considérez comment les instruments sont utilisés dans votre environnement de travail. Les conditions environnementales telles que la température, l'humidité, les vibrations, etc., peuvent affecter la précision des mesures et influencer la fréquence de calibration nécessaire.
- Évaluation du risque : Identifiez les conséquences potentielles d'une mesure incorrecte due à un instrument non calibré. Les risques varient en fonction de l'application et peuvent inclure des dommages matériels, des risques pour la sécurité ou des conséquences sur la santé publique.
- Développement d'un plan de calibration : Sur la base des informations recueillies, élaborer un plan de calibration qui spécifie la fréquence de calibration pour chaque instrument, les procédures à suivre, les normes de référence, les compétences requises pour effectuer la calibration, etc.
- Mise en œuvre du plan et suivi : Mettez en œuvre le plan de calibration en suivant les procédures établies. Assurez-vous de documenter toutes les calibrations effectuées et de tenir à jour les enregistrements de calibration pour chaque instrument. Effectuez également un suivi régulier pour vous assurer que les instruments restent conformes aux spécifications.
- Réévaluation périodique : Périodiquement, réévaluez vos besoins en calibration en tenant compte de tout changement dans l'utilisation des instruments, des nouvelles exigences réglementaires, des avancées technologiques, etc. ajustez notre plan de calibration en conséquence.

En suivant ces étapes, vous pouvez élaborer un plan de calibration efficace qui garantit la précision et la fiabilité des mesures effectuées avec vos instruments[16].

### II.2.2. Sélection des Standard de référence :

Le choix des normes de référence pour la calibration des instruments de mesure dépend largement du type d'instrument, de l'industrie dans laquelle il est utilisé et des exigences réglementaires spécifiques. Voici quelques normes internationales et nationales couramment utilisées dans ce domaine

### II.2.3 La réalisation des mesures des références :

La réalisation de mesures de référence dans le processus de calibration des instruments de mesure est essentielle pour établir une base fiable permettant d'évaluer et de corriger les erreurs de mesure :

- Sélection des normes de référence : Identifiez les normes de référence appropriées pour les

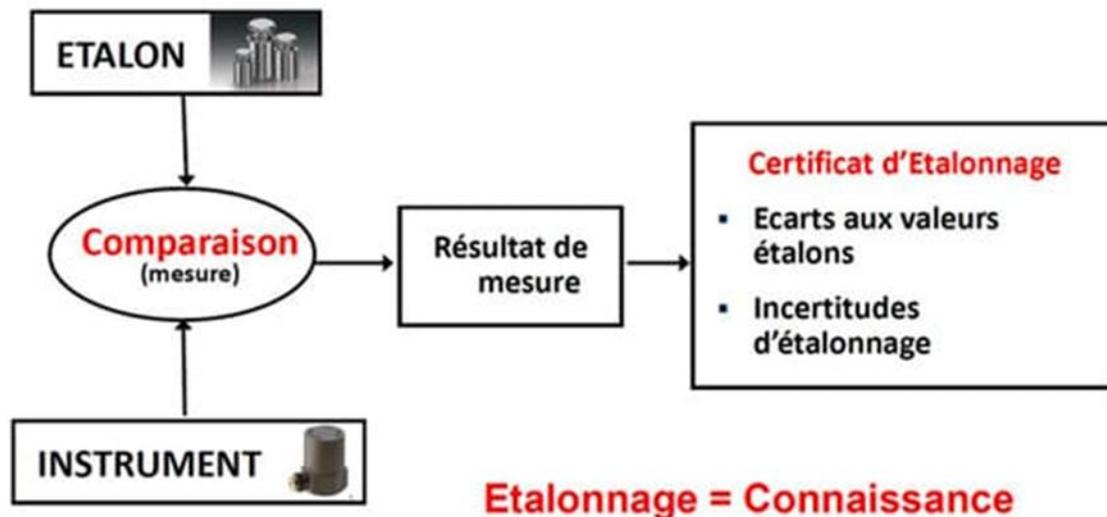
grandeurs que vous souhaitez mesurer. Ces normes peuvent être des étalons de mesure traçables à des organisations métrologiques nationales ou internationales, des matériaux de référence certifiés, des dispositifs de référence etc .

- Préparation des normes de référence : Avant de procéder aux mesures, assurez-vous que les normes de référence sont correctement préparées et certifiées. Cela peut inclure des procédures de stabilisation, de conditionnement ou de vérification de la traçabilité métrologique.
- Planification des mesures : Élaborez un plan détaillé pour les mesures de référence, en déterminant les grandeurs à mesurer, les conditions d'essai, les méthodes de mesure, les intervalles de temps, etc .
- Configuration de l'équipement de mesure : Assurez-vous que l'équipement de mesure utilisé pour effectuer les mesures de référence est correctement configuré et étalonné. Vérifiez également que les conditions environnementales sont contrôlées pour minimiser les erreurs de mesure.
- Exécution des mesures : Effectuez les mesures de référence conformément au plan établi. Assurez-vous de suivre scrupuleusement les procédures de mesure et de documenter toutes les données pertinentes.
- Analyse des résultats : Analysez les résultats des mesures de référence pour déterminer les écarts par rapport aux valeurs attendues. Identifiez et évaluez les sources potentielles d'erreur afin de comprendre et de corriger les écarts observés [17].
- Certification des résultats : Une fois les mesures de référence terminées et les résultats analysés, certifiez les valeurs mesurées et documentez-les de manière appropriée. Assurez-vous de fournir des rapports de calibration détaillés qui incluent toutes les informations pertinentes sur les mesures de référence effectuées.
- Suivi et maintenance : Effectuez un suivi régulier des normes de référence utilisées dans les mesures et assurez-vous qu'elles restent conformes aux spécifications. Effectuez également des recalibrations périodiques de ces normes pour garantir leur exactitude continue [17].

#### **II.2.4. Comparaison des Mesure de l'instrument a calibrer :**

Lorsque l'on compare les mesures de l'instrument à calibrer avec les mesures de référence, plusieurs éléments doivent être pris en compte pour assurer une calibration précise et fiable :

- Traçabilité des étalons de référence : Les étalons de référence utilisés pour la calibration doivent avoir une traçabilité bien établie, c'est-à-dire qu'ils doivent être rattachés à des standards de mesure reconnus au niveau national ou international. Cela garantit que les mesures effectuées sont fiables et comparables.
- Conditions environnementales : Il est essentiel de s'assurer que les conditions environnementales lors de la calibration sont stables et contrôlées. Des variations de température, d'humidité ou de pression peuvent affecter les mesures et introduire des erreurs.
- Méthode de comparaison : La méthode utilisée pour comparer les mesures de l'instrument à celles des étalons de référence doit être appropriée au type d'instrument et à la grandeur mesurée. Cela peut impliquer l'utilisation de techniques de mesure directe, de comparaison avec des étalons de référence connus, ou d'autres méthodes spécifiques [17].



*Figure II.1* Le Schéma simplifié de la méthode de comparaison

- Incertitude de mesure : L'incertitude de mesure doit être évaluée pour prendre en compte toutes les sources d'erreur possibles. Cela comprend l'incertitude liée à l'instrument à calibrer, aux étalons de référence, ainsi qu'aux conditions environnementales et aux méthodes de mesure [17].
- Répétabilité et reproductibilité : Il est important de vérifier la répétabilité et la reproductibilité des mesures de l'instrument à calibrer. La répétabilité se réfère à la capacité de l'instrument à produire des résultats cohérents lorsqu'il est mesuré plusieurs fois dans des conditions similaires, tandis que la reproductibilité se réfère à la capacité de différents opérateurs ou équipements à produire des résultats similaires.
- Analyse des résultats : Une fois les mesures comparées, une analyse des résultats est effectuée pour déterminer si l'instrument satisfait aux spécifications de performance requises. Si des écarts significatifs sont détectés, des ajustements ou des corrections peuvent être nécessaires pour améliorer la précision de l'instrument [17].

### II.2.5. Correction des écarts et ajustement de l'instrument :

Une fois que des écarts significatifs entre les mesures de l'instrument à calibrer et les mesures de référence ont été identifiés lors du processus de calibration, des corrections et des ajustements peuvent être nécessaires pour améliorer la précision de l'instrument. Voici les étapes générales pour corriger les écarts et ajuster l'instrument :

- Identification des écarts : Tout d'abord, il est essentiel d'identifier les écarts entre les mesures de l'instrument à calibrer et les mesures de référence. Cela peut être fait en comparant les résultats de calibration avec les spécifications de performance requises ou en utilisant des critères de tolérance définis [19].
- Analyse des causes des écarts : Une fois les écarts identifiés, il est important d'analyser les causes potentielles de ces écarts. Les sources d'erreur peuvent inclure des problèmes liés à l'instrument lui-même, des erreurs de mesure, des variations environnementales, etc. Une analyse approfondie est nécessaire pour déterminer la meilleure approche de correction [19].
- Calibration ou ajustement de l'instrument : Selon la nature des écarts identifiés, différentes actions

peuvent être entreprises pour corriger les problèmes. Dans certains cas, un simple recalibrage de l'instrument peut être suffisant pour ramener les mesures dans les limites acceptables. Cependant, dans d'autres cas, des ajustements physiques ou électroniques de l'instrument peuvent être nécessaires.

- Vérification de l'efficacité des ajustements : Après avoir effectué les corrections ou les ajustements nécessaires, il est crucial de vérifier l'efficacité de ces actions. Cela implique généralement de reprendre le processus de calibration pour s'assurer que les mesures de l'instrument sont maintenant en accord avec les mesures de référence et qu'elles respectent les spécifications de performance requises [19].
- Documentation des actions prises : Toutes les actions de correction et d'ajustement doivent être soigneusement documentées. Cela comprend les détails des écarts identifiés, les causes analysées, les actions prises pour corriger les écarts, ainsi que les résultats des vérifications post-ajustement.
- Surveillance continue de la performance de l'instrument : Une fois les ajustements effectués, il est important de surveiller continuellement la performance de l'instrument pour s'assurer qu'il continue de fournir des mesures précises et fiables. Cela peut impliquer des recalibrages réguliers, des inspections périodiques, ou d'autres mesures de maintenance préventive.

### II.3 Défis associés des processus de calibration des instruments :

Les défis associés aux processus de calibration des instruments de mesure peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment :

- Complexité des instruments : Certains instruments de mesure sont très complexes, ce qui rend leur calibration plus difficile. Cela peut être dû à la présence de multiples paramètres à ajuster ou à la nécessité de calibrer des parties internes difficiles d'accès [18].
- Variabilité des conditions environnementales : Les conditions environnementales telles que la température, l'humidité et la pression peuvent avoir un impact sur les performances des instruments de mesure. Assurer des conditions stables et reproductibles pendant la calibration peut être un défi.[13].
- Traçabilité des étalons de référence : Il est crucial que les étalons de référence utilisés pour la calibration soient traçables à des standards internationaux reconnus. Cela peut parfois poser problème en raison de la disponibilité limitée de certains étalons ou de la nécessité de les faire vérifier régulièrement [13].
- Variabilité des résultats de calibration : Même avec des procédures de calibration standardisées, il peut y avoir une certaine variabilité dans les résultats obtenus. Cela peut être dû à des erreurs humaines, à des limitations des équipements de calibration ou à d'autres facteurs imprévus.
- Coût : La calibration des instruments peut être coûteuse, en particulier lorsqu'elle doit être effectuée régulièrement ou lorsqu'elle nécessite l'utilisation d'équipements de haute précision. Les coûts peuvent comprendre ceux des étalons de référence, des équipements de calibration et des services de techniciens qualifiés.
- Maintenance et étalonnage réguliers : Pour maintenir la précision des instruments de mesure, il est souvent nécessaire de les calibrer régulièrement, ce qui peut être chronophage et nécessiter des ressources supplémentaires en termes de personnel et d'équipement.
- Contrôle de la qualité et conformité réglementaire : Dans certains secteurs, tels que la santé, l'industrie pharmaceutique ou l'aérospatiale, il peut exister des réglementations strictes en matière

de calibration des instruments de mesure. Assurer la conformité à ces normes peut représenter un défi supplémentaire [13].

En surmontant ces défis, les organisations peuvent garantir que leurs instruments de mesure fournissent des résultats précis et fiables, ce qui est essentiel pour assurer la qualité des produits, la sécurité des processus et la conformité aux réglementations.

## **II.4 Risques liés à une mauvaise calibration :**

Les risques liés à une mauvaise calibration des instruments de mesure sont multiples et peuvent avoir des conséquences sérieuses sur la qualité, la sécurité et l'efficacité des processus industriels. Voici quelques-uns des risques associés à une mauvaise calibration :

### **II.4.1 Erreurs de mesure :**

Un instrument de mesure mal calibré peut donner des résultats inexacts, ce qui peut entraîner des décisions erronées basées sur des données incorrectes.

### **II.4.2 Défaillance de l'équipement :**

Un instrument de mesure mal calibré peut fonctionner de manière inefficace ou inexacte, ce qui peut entraîner des défaillances ou des problèmes de performance.

### **II.4.3 Risques de sécurité :**

Dans les industries où la précision est cruciale, une mauvaise calibration peut entraîner des risques de sécurité, notamment dans les domaines de la santé, de l'environnement et de la sécurité des transports.

### **II.4.4 Coûts supplémentaires :**

La mauvaise calibration peut entraîner des coûts supplémentaires en raison de la nécessité de réparer ou de remplacer l'équipement, ou de réexécuter des tests ou des opérations qui ont été affectées par les mauvaises mesures [20].

### **II.4.5 Perte de confiance :**

Une mauvaise calibration peut entraîner une perte de confiance dans les instruments de mesure et les résultats qu'ils fournissent, ce qui peut entraîner une perte de confiance dans les processus et les décisions qui s'y rapportent [20].

Pour réduire les risques associés à une mauvaise calibration, il est important de suivre les bonnes pratiques de calibration et de maintenir les instruments de mesure en bon état. Cela comprend la sélection d'un instrument de haute qualité adapté aux besoins spécifiques, la formation des techniciens chargés de la calibration, le respect des procédures appropriées et la régularité de la calibration.

## **II.5 Conséquences financières d'une mauvaise calibration :**

Les conséquences financières d'une mauvaise calibration des instruments de mesure peuvent être significatives et se manifester de plusieurs façons :

### **II.5.1 Rejets de produits défectueux :**

Si des instruments de mesure mal calibrés sont utilisés dans des processus de fabrication, cela peut entraîner la production de produits défectueux. Ces produits peuvent être rejetés lors des contrôles de qualité, entraînant des pertes financières directes pour l'entreprise.

### **II.5.2 Retours et remplacements :**

Les clients mécontents de la qualité des produits peuvent retourner les articles défectueux pour remboursement ou remplacement. Cela entraîne des coûts supplémentaires pour l'entreprise, y compris les frais de transport, les coûts de remplacement et la perte de revenus associée à la période d'indisponibilité du produit.

### **II.5.3 Réclamations et litiges :**

Si des produits défectueux causent des dommages ou des blessures aux clients, cela peut entraîner des réclamations légales et des litiges. Les coûts associés à la défense juridique, aux règlements et aux dommages-intérêts peuvent être considérables.

### **II.5.4 Perte de clients et de contrats :**

Une réputation ternie par des produits de qualité inférieure peut entraîner la perte de clients existants et la difficulté à en attirer de nouveaux. De plus, des contrats futurs peuvent être perdus en raison de la méfiance des partenaires commerciaux potentiels.

### **II.5.5 Rappels de produits :**

En cas de défaut de sécurité grave ou de non-conformité réglementaire, il peut être nécessaire de rappeler les produits défectueux du marché. Les coûts associés à un rappel de produit peuvent être énormes, comprenant les coûts de récupération des produits, les amendes réglementaires et les dommages à la réputation.

### **II.5.6 Réduction de la productivité :**

Des instruments de mesure mal calibrés peuvent entraîner des erreurs de processus, des temps d'arrêt non planifiés et une baisse de la productivité. Ces perturbations opérationnelles peuvent entraîner des coûts supplémentaires en termes de main-d'œuvre et de temps de production perdus.

### **II.5.7 Coûts de remise en état :**

Une fois qu'une mauvaise calibration est identifiée, des efforts doivent être déployés pour corriger la situation. Cela peut inclure des coûts associés à la recalibration des instruments, à la formation du personnel, à la mise à jour des procédures de travail et à d'autres mesures correctives.

## **II.6 Mesure de prévention et de correction pour les risques d'une mauvaise calibration :**

Pour prévenir et corriger les risques associés à une mauvaise calibration des instruments de mesure, voici quelques mesures que les organisations peuvent mettre en œuvre :

### **II.6.1 Les mesures de prévention:**

- Établir des procédures de calibration robustes : Développer et mettre en œuvre des procédures de calibration claires et détaillées pour chaque type d'instrument de mesure utilisé dans l'organisation. Ces procédures devraient inclure des instructions précises sur la façon d'effectuer la calibration, la fréquence à laquelle elle doit être effectuée et les critères d'acceptation des résultats.
- Utiliser des étalons de référence traçables : S'assurer que les étalons de référence utilisés pour la calibration sont traçables à des standards internationaux reconnus. Cela garantit la fiabilité et la validité des résultats de calibration.
- Former le personnel : Fournir une formation adéquate au personnel chargé de la calibration des

instruments. Cela comprend la formation sur les procédures de calibration, l'utilisation d'équipements de calibration, la reconnaissance des signes de dysfonctionnement des instruments, etc.

- Mettre en place un système de gestion de la qualité : Adopter un système de gestion de la qualité tel que ISO 9001 peut aider à formaliser les processus de calibration et à garantir leur conformité aux normes internationales.
- Surveiller régulièrement les performances des instruments : Mettre en place un programme de surveillance régulière des performances des instruments de mesure pour détecter toute dérive ou toute anomalie dans les résultats de mesure.

### II.6.2 Les mesures de correction:

- Identification des écarts de calibration : Mettre en place un système pour détecter les écarts de calibration dès qu'ils se produisent. Cela peut inclure des tests périodiques des instruments de mesure ou des alertes automatiques en cas de résultats de mesure anormaux.
- Recalibrage des instruments défectueux : Dès qu'un instrument est identifié comme étant mal calibré, prendre des mesures immédiates pour le recalibrer en suivant les procédures établies.
- Analyse des causes racines : En cas de problème récurrent de calibration, mener une analyse des causes racines pour identifier les facteurs sous-jacents qui contribuent au problème et mettre en œuvre des mesures correctives appropriées.
- Documentation et suivi : Tenir des dossiers détaillés de toutes les opérations de calibration effectuées, y compris les résultats des tests, les ajustements effectués et les dates de calibration. Assurer un suivi régulier pour garantir que les instruments restent correctement calibrés dans le temps.
- Formation continue du personnel : Assurer une formation continue du personnel sur les meilleures pratiques de calibration et les nouvelles technologies pour garantir des performances optimales des instruments de mesure.

En mettant en œuvre ces mesures préventives et correctives, les organisations peuvent réduire les risques associés à une mauvaise calibration des instruments de mesure et assurer la fiabilité et la précision de leurs mesures [20].

***Chapitre III***  
***Conception et développement***

### III.1 Étalonnage des instruments de pression :

Les appareils de pression de process fournissent les mesures essentielles aux systèmes de contrôle des usines de transformation. Les performances des instruments de pression de process sont souvent cruciales pour optimiser l'exploitation de l'usine ou le bon fonctionnement de ses systèmes de sécurité.

Les instruments de pression de process sont souvent installés dans des environnements de fonctionnement difficiles, susceptibles de causer à terme des variations en matière de performance. Des vérifications, une maintenance et des étalonnages réguliers sont nécessaires pour que ces appareils fonctionnent conformément à leurs spécifications.

Il n'existe pas d'outil de test universel en mesure de répondre aux exigences de tous les utilisateurs chargés de la maintenance des instruments de pression. Cette brochure présente plusieurs méthodes et outils permettant d'étalonner et de tester les instruments de pression de process les plus communs [21].

#### III.1.1 Étalonnage d'un transmetteur de pression HART :

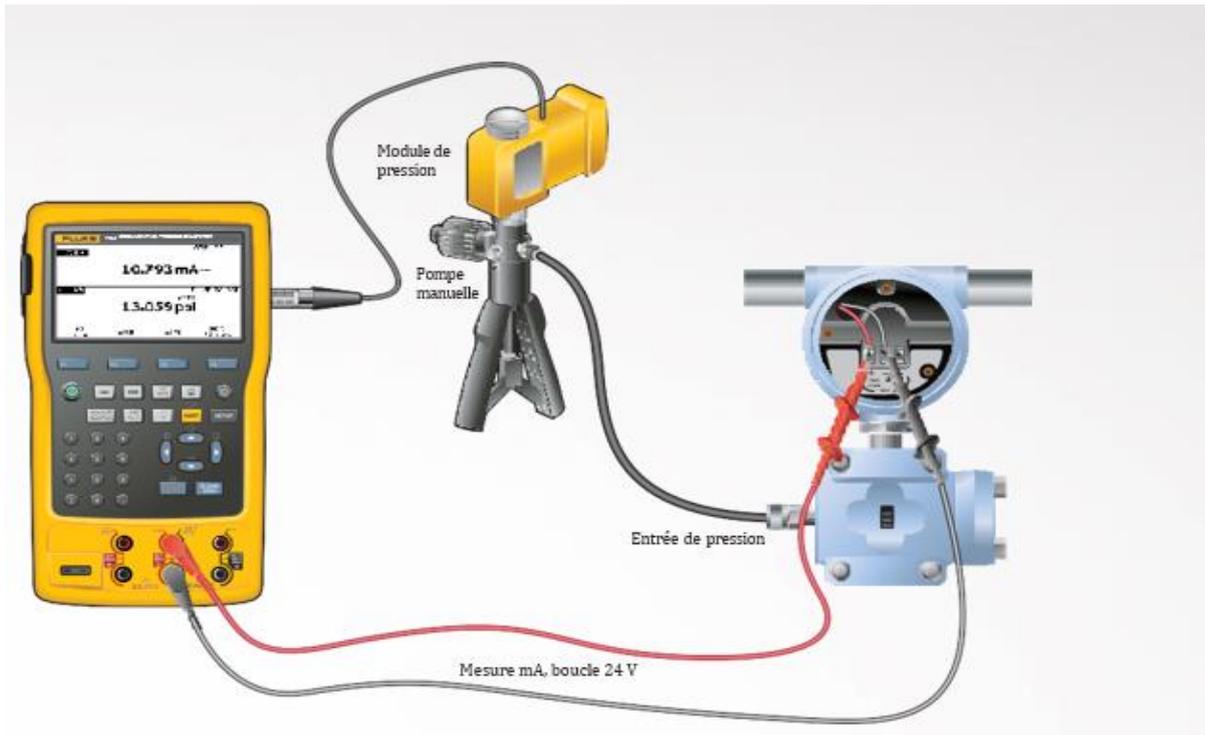
Les fabricants de transmetteurs de pression ont amélioré la précision et la technologie de ces appareils de mesure de pression. De nombreux outils d'étalonnage conventionnels ne sont plus appropriés ou ne peuvent simplement pas permettre de tester et d'étalonner ces transmetteurs de pression haute précision.

De meilleures solutions de test sont requises.

La vérification et la documentation des performances, ainsi que le réglage d'un transmetteur de pression HART, peuvent requérir un ensemble complet d'outils. Utiliser un calibrateur compatible HART, tel que le Fluke 754, simplifie la tâche et réduit le nombre d'équipements à transporter.

- ✓ **Avant d'aller sur le terrain :** installez l'adaptateur du module de pression à la pompe manuelle avec un joint de filetage. Une fois l'adaptateur correctement installé sur la pompe, il est facile de changer de module en fonction de chaque gamme de pression. Aucun outil n'est requis.
- ✓ **Obtenir la précision nécessaire :** pour tester ces nouveaux transmetteurs haute précision, utilisez un étalon de mesure de pression dont la gamme correspond à l'appareil testé. Par exemple, utilisez un module de pression 100 psi pour étalonner et tester un transmetteur réglé à 100 Psi. Les normes du secteur indiquent que l'étalon de mesure doit être 4 à 10 fois plus précis que l'appareil testé. Une précision hors pair est donc requise.

Par exemple le Fluke 754 utilise des modules de pression de la gamme 750P et intègre une fonctionnalité HART qui permet d'effectuer des compensations au niveau des transmetteurs. Il permet également de documenter les performances du transmetteur avant et après le réglage et de déterminer les résultats OK/échec [21].



**Figure III.1** Le montage simplifié d'étalonnage d'un transmetteur de pression

### Procédure de test :

#### ETAPE 1

- Isolez le transmetteur du processus et de son câblage. Si vous mesurez le signal à travers la diode, ne touchez pas aux fils. Notez que cette méthode n'offre pas la meilleure précision quant aux mesures de courant en mA.

#### ETAPE 2

- Connectez les prises de mesure mA du 754 au transmetteur.

#### ETAPE 3

- Connectez le câble du module de pression au 754 et connectez le flexible de test de la pompe manuelle au transmetteur.

#### ETAPE 4

- Appuyez sur le bouton HART du calibrateur pour afficher la configuration du transmetteur.

#### ETAPE 5

- Appuyez à nouveau sur HART, et le calibrateur proposera la combinaison mesure/source correcte pour le test. Si vous documentez l'étalonnage, appuyez sur État actuel, saisissez la tolérance de test et suivez les invites de commande. Si le signal mesuré en mA aux points de test se situe dans l'intervalle de tolérance, le test est terminé. Sinon, des réglages sont requis.

#### ETAPE 6

- Sélectionnez Régler et compensez la pression zéro, le signal mA de sortie et le capteur d'entrée.

#### ETAPE 7

- Une fois le réglage effectué, sélectionnez État final, documentez la condition du transmetteur, et si le test réussit, l'opération est terminée

Il est parfois nécessaire de compenser le capteur d'entrée du transmetteur à plusieurs reprises. Il est capital de réinitialiser le module de pression avant chaque test et chaque réglage. Optimisation du réglage :

- Après avoir appuyé sur Rechercher pour effectuer la mesure de pression, sélectionnez le bouton de compensation rapidement avant que la mesure de pression ne varie.
- Indiquez la valeur mesurée en mA et la durée de pression pour assurer de meilleurs résultats de mesure.
- Avant de vous rendre sur le terrain, vérifiez systématiquement la configuration de test de pression pour détecter de possibles fuites. Installez également l'adaptateur de connexion du module de pression à la pompe manuelle.
- Si la valeur à pleine échelle du transmetteur est inférieure à 25 % de la pleine échelle du module de pression, sélectionnez un module de pression dont la gamme est inférieure, afin d'obtenir de meilleurs résultats.
- Si vous effectuez des étalonnages à une pression plus élevée avec une pompe hydraulique, utilisez le liquide approprié, tel que de l'huile minérale ou de l'eau déminéralisée. L'eau du robinet est susceptible de laisser un dépôt dans la pompe, de nuire à son bon fonctionnement et de causer des fuites et des difficultés d'amorçage.
- Si la précision OK/échec correspond aux limites du transmetteur et que les erreurs excèdent de 25 % ces limites, ajustez le transmetteur.
- Si les erreurs sont inférieures à 25 % des limites, il est préférable de ne pas ajuster le transmetteur, car les réglages réduisent la précision [22].

### **III.1.2 Étalonnage d'un transmetteur de pression en laboratoire :**

Les techniciens effectuent des étalonnages en laboratoire pour garantir leur validité et obtenir des résultats n'entraînant pas la dégradation des performances. Ils s'assurent que tous les composants sont en bon état de fonctionnement avant l'installation et sont en mesure de les évaluer lorsqu'un composant défaillant est identifié. Tout au long des processus de mise en service, de test et d'étalonnage des transmetteurs de pression, le laboratoire fournit un environnement stable d'étalonnage, l'opportunité d'utiliser les équipements les plus précis et plus de protection par rapport aux conditions d'usine [22].

**Outils des diagnostic suggérés :**

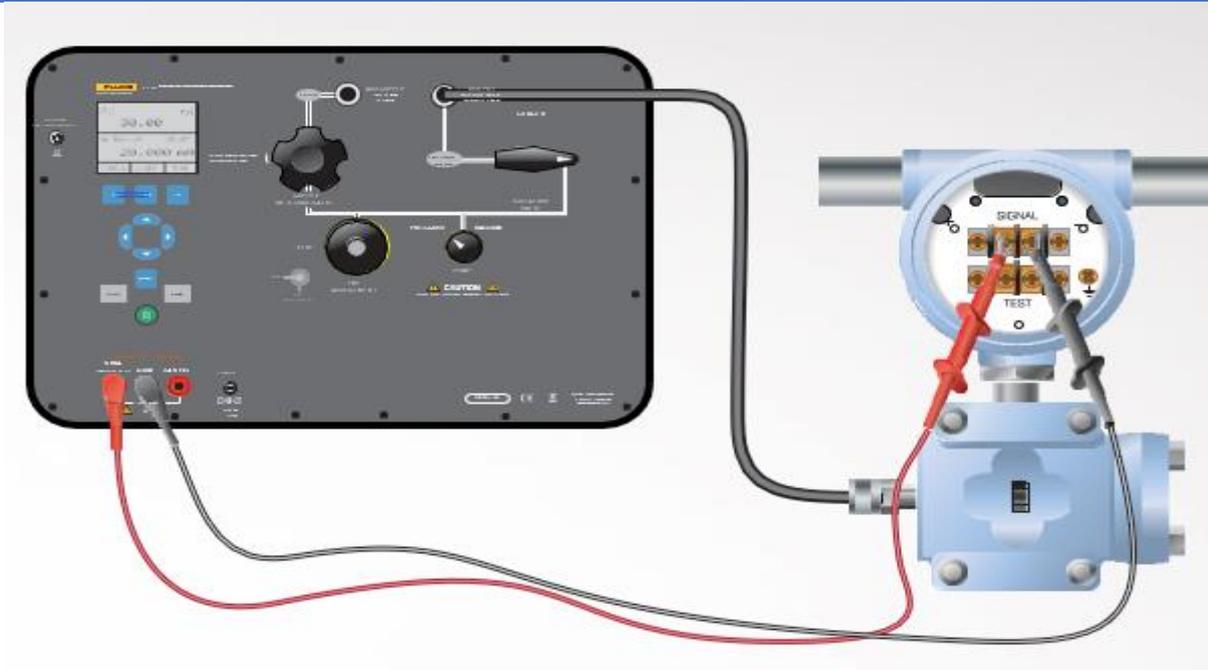
**Figure III.2** Calibrateur de pression portable  
Fluke 3130



**Figure III.3** Calibrateur de process  
à mémoires Fluke 754,HART



**Figure III.4** Calibrateur intelligent  
**BEAMAX-MC6**



*Figure III.5* Le montage simplifié d'étalonnage d'un transmetteur de pression par le calibrateur portable

#### Procédure de test :

- Connectez le calibrateur au transmetteur avec le flexible de test correspondant
- Connectez les prises de mesure mA du calibrateur au transmetteur.
- Utilisez le bouton rotatif de sélection pression/vide pour sélectionner la fonction requise.
- Fermez l'entrée d'air et la valve de réglage d'approvisionnement.
- Générez de la pression ou du vide à partir de la pompe en appuyant sur le bouton de la pompe et en le relâchant lorsque la pression nécessaire est atteinte.
- Corrigez la pression avec la fonction de réglage précis de la pression
- Relevez à l'écran la pression de référence et la sortie de courant du transmetteur
- Répétez ces étapes pour chaque point de test. Si le signal mesuré en mA aux points de test se situe dans l'intervalle de tolérance, le test est terminé. Sinon, des réglages sont requis.

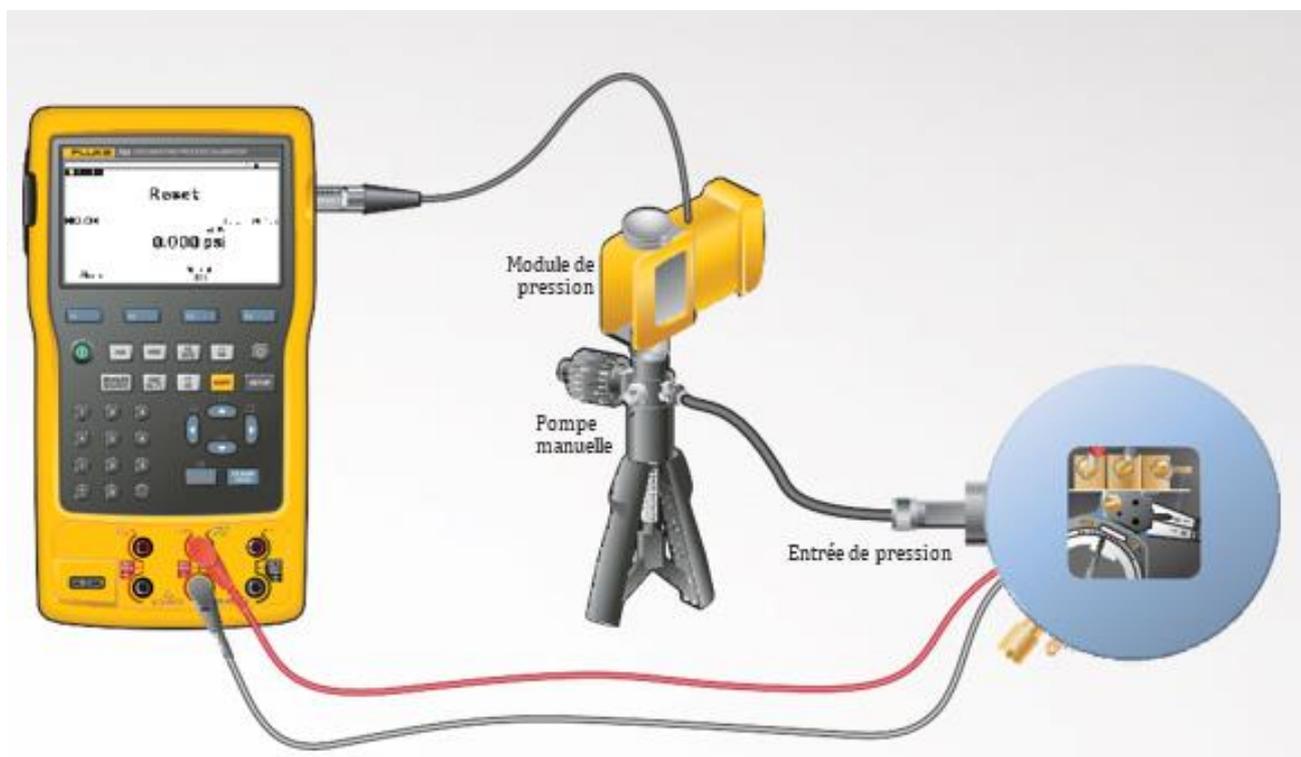
#### Remarques et recommandation :

- ✓ Les équipements d'étalonnage inexacts ne feront que dégrader les performances du transmetteur.
- ✓ Les fabricants recommandent d'utiliser des équipements d'étalonnage précis, dans des conditions ambiantes stables, afin d'obtenir de meilleurs résultats.
- ✓ Mettez en marche les transmetteurs dans le laboratoire pour que les paramètres de sécurité et la protection des modes de défaillance puissent être définis avant d'exposer les composants électroniques du transmetteur aux conditions d'usine.

### III.1.4 Étalonnage de pressostat :

Les méthodes classiques de test de pressostat ont été remplacées par l'introduction de nouveaux outils de test de pression. Aujourd'hui, la plupart des pressostats sont testés à l'aide d'un manomètre connecté à une pompe pour générer et mesurer la pression, et d'un multimètre numérique en mode continuité pour vérifier l'ouverture et la fermeture du pressostat le technicien ou l'électricien qui effectue le test doit interpréter la pression appliquée au pressostat lorsque les sons du détecteur de continuité indiquent la fermeture du pressostat. C'est une solution faisable, mais de nouveaux outils permettent de faciliter cette tâche.

Les calibrateurs modernes peuvent enregistrer automatiquement la pression appliquée lorsqu'un pressostat passe de position ouverte à fermer et inversement. Ainsi, le point de réglage et de remise à zéro, ainsi que la zone morte du pressostat sont bien plus faciles à déterminer.



*Figure III.6* Le montage simplifié d'étalonnage d'un pressostat

#### Procédure de test :

Avec un calibrateur à mémoires modernes, vous pouvez tester les ouvertures et fermetures à contact sec du pressostat ou, si vous utilisez le Fluke 753 ou 754, vous pouvez laisser le pressostat sous tension, et le calibrateur mesurera les variations de tension alternative pour identifier les ouvertures et fermetures du pressostat.

Remarque de sécurité : il est toujours plus sûr de tester un circuit hors tension, mais ce n'est pas toujours possible. En outre, n'effectuez pas de mesure supérieure à 300 V AC, car il s'agit de la capacité maximale de la gamme 75X. Les appareils sous tension triphasée à 480 V AC doivent être déchargés et déconnectés du pressostat si vous effectuez vos tests avec un appareil de la gamme 75X

**ETAPE 1 :**

Pour démarrer le test du pressostat, effectuez les raccords comme indiqué ci- dessous. Dans cet exemple, nous testerons les contacts secs et la continuité. Pour mesurer la continuité, sélectionnez la mesure de résistance. Basculez vers le mode d'écran source et sélectionnez Pression pour afficher la pression générée par la pompe manuelle et mesurée par le module de pression. Faites passer le calibrateur vers l'écran partagé du mode de test.

**ETAPE 2 :**

L'étape suivante consiste à décrire le pressostat et à indiquer s'il est normalement ouvert ou fermé à pression ambiante. L'état relâché du pressostat correspond à l'état de remise à zéro. L'état de réglage correspond à la condition modifiée du pressostat lorsque de la pression ou du vide est appliqué. Dans cet exemple, le pressostat est normalement ouvert et est sensé se fermer lorsque la pression appliquée dépasse 10 Psi. Ensuite, la variation de pression admissible de l'état de réglage du pressostat et de la taille de la zone morte doit être définie. Dans cet exemple, la valeur de réglage idéale du pressostat est 10 Psi avec une déviation admissible de  $\pm 1$  psi. La pression de remise à zéro admissible est décrite dans la tolérance de zone morte. Dans cet exemple, l'état de remise à zéro doit être supérieur à 1 psi de moins que la pression de réglage identifiée sans être supérieur à 3 Psi de moins que la pression de réglage identifiée.

**ETAPE 3 :**

Une fois les tolérances complètement définies, démarrez le test. Augmentez la pression jusqu'à ce que le calibrateur capture la valeur de pression de l'état de réglage. Ensuite, réduisez la pression jusqu'à ce que la pression de remise à zéro soit identifiée. Répétez les augmentations et réductions de pression le long du pressostat afin d'obtenir une répétabilité des mesures de pression de réglage et de remise à zéro. Dès que vous êtes satisfait par les résultats, appuyez sur OK pour obtenir l'évaluation OK/échec du pressostat. Si le test du pressostat a échoué, des réglages ou un remplacement du pressostat peuvent être nécessaires. Si le pressostat a subi des réglages, répétez le test pour documenter la condition finale du pressostat avant de le remettre en service. Ce résultat de test est documenté et prêt à être téléchargé vers le logiciel de gestion d'étalonnage.

**Remarques et recommandation :**

- ✓ La clé d'un bon test de pressostat est la répétabilité. La répétabilité est obtenue en appliquant une variation de pression lente au pressostat une fois proche des points de réglage et de remise à zéro.
- ✓ Lorsque vous effectuez le test, identifiez le point de réglage du pressostat et assurez-vous que le réglage de précision ou le vernier est suffisamment précis pour atteindre le point de réglage. Ainsi, la pression peut être modifiée doucement afin de relever la pression du point de réglage du pressostat avec précision. Répétez cette procédure pour le point de remise à zéro.
- ✓ Avec de la pratique, vous pouvez régler le vernier de la pompe dans l'intervalle de pression des points de réglage et de remise à zéro et ainsi obtenir une excellente répétabilité de vos tests (dans les limites des pressostats testés).

**III.2 Étalonnage des instruments de débit :****III.2.1 Étalonnage d'un transmetteur de débit :**

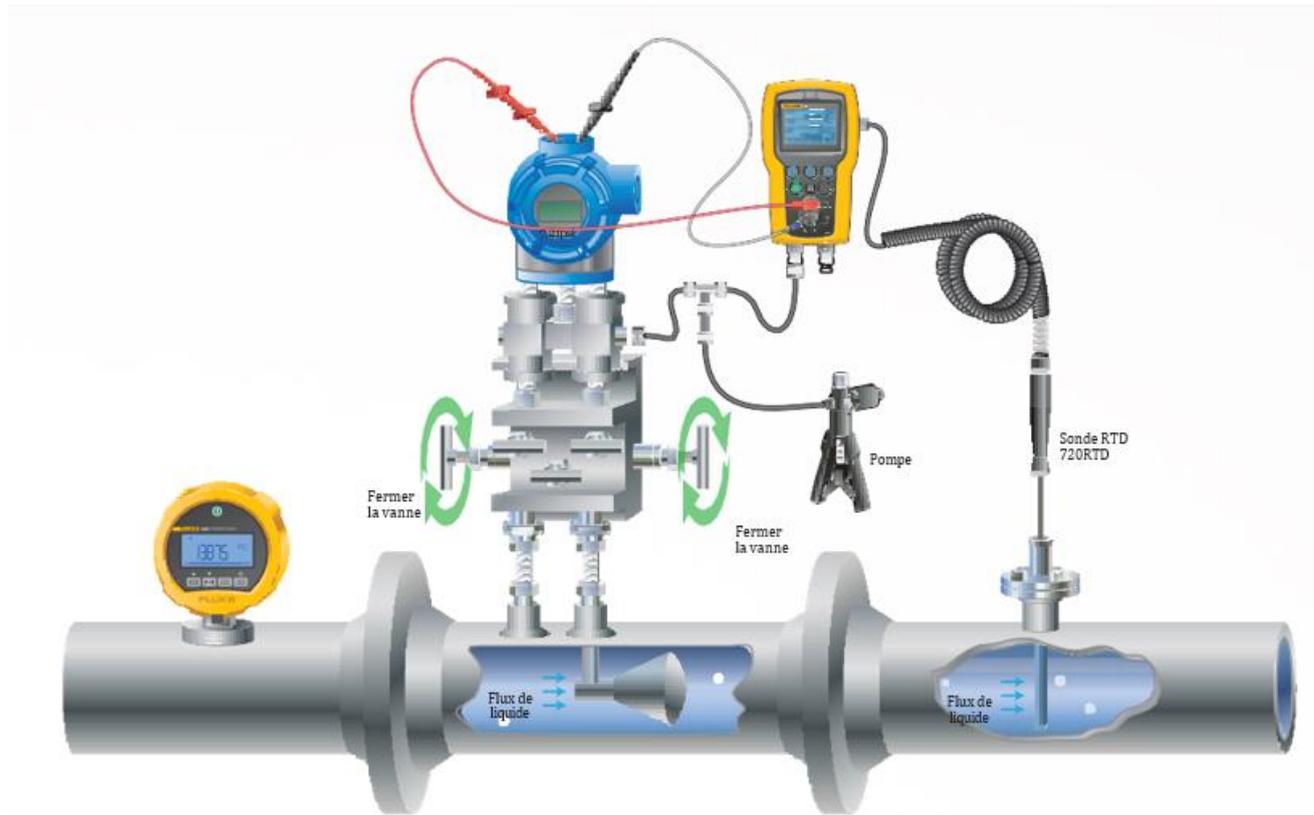
Les calculateurs de débit qui calculent le débit des pipelines en mesurant la pression différentielle à travers une restriction de débit, telle qu'un diaphragme ou tout autre appareil de débit de pression différentiel, requièrent un étalonnage particulier pour fonctionner dans des conditions de précision optimales. Les calculateurs de débit de gaz effectuent trois mesures principales pour calculer le débit :

débit volumétrique (différence de pression de chaque côté du diaphragme), pression statique dans le pipeline et température gazière.

Un calcul est effectué à l'aide de ces données pour déterminer la masse réelle et le volume de gaz répandu dans le pipeline.

Ces étalonnages peuvent être effectués avec trois calibrateurs distincts (basse pression, haute pression et thermique) ou avec un outil d'étalonnage multifonction conçu pour cette tâche spécifique.

Les Fluke 721 et 721Ex sont des exemples de calibrateurs dédiés à cette tâche. Ils disposent de deux plages de pression intégrées et sont capable de mesurer la température. La configuration la plus commune est la suivante : 16 Psi / 1 bar pour le capteur basse pression (P1) et 1 500 Psi / 100 Bar ou 3 000 Psi / 200 Bar pour le capteur haute pression (P2). La température est mesurée à l'aide d'une sonde RTD de précision, et les trois mesures peuvent s'afficher en même temps [23].



*Figure III.7* Le montage simplifié d'étalonnage d'un transmetteur de débit

#### **Procédure de test :**

Pour commencer, isolez le calculateur de débit du pipeline. Il est généralement installé avec une tubulure à 5 valves. Si c'est le cas, la fermeture des vannes de la tubulure situées à proximité du pipeline devrait l'isoler. Assurez-vous d'agir conformément aux politiques et aux procédures de sécurité locales lors de la procédure d'isolation. Configurez le capteur P1 du 721 pour effectuer des mesures en inH<sub>2</sub>O, le capteur P2 pour mesurer en PSI et le capteur thermique pour effectuer des mesures en degrés Celsius ou Fahrenheit, suivant les besoins

#### **ETAPE 1 :**

**L'étalonnage de pression différentielle à basse pression** est effectué en utilisant la pression atmosphérique comme référence de limite inférieure, ouvrez la connexion inférieure du calculateur de débit ou du transmetteur de pression, et connectez la connexion à haute pression du calculateur de débit ou du transmetteur au port basse pression (P1) du calibrateur.

Connectez l'ordinateur (PC) au port série ou USB du calculateur de débit. Le PC invitera l'utilisateur à appliquer une ou plusieurs pressions de test au calculateur de débit ou au transmetteur. Par exemple : 0, 100 et 200 inH<sub>2</sub>O. Actionnez la pompe pour vous rapprocher de la pression de test, puis utilisez le vernier ou la fonction de réglage de précision pour parfaire le réglage.

#### **ETAPE 2 :**

**L'étalonnage de pression statique** sera généralement effectué au niveau du port haute pression du calculateur de débit ou au niveau des deux ports (basse pression et haute pression). Consultez les instructions du fabricant pour plus d'informations. Connectez l'entrée du capteur haute pression (P2) au port approprié du calculateur de débit ou du transmetteur, et à la source de test haute pression. Le PC indiquera les pressions devant être appliquées par l'utilisateur à partir de la source de pression.

#### **ETAPE 3 :**

**L'étalonnage de température** des mesures thermiques du pipeline en fonctionnement effectuées avec le calculateur de débit est effectué à partir d'un seul point thermique. Insérez la sonde RTD dans le puits thermométrique de test et laissez suffisamment de temps pour que la mesure soit stable.

Le PC invitera l'utilisateur à entrer la température mesurée par le calibrateur. Retirez la sonde du puits thermométrique. L'étalonnage est terminé.

#### **ETAPE 4 :**

**Calculateurs de débit dotés d'entrées 4 à 20 mA :** Des nombreux calculateurs de débit utilisent un transmetteur basse pression, statique et thermique pour convertir les paramètres mesurés en signaux 4 à 20 mA. Dans ce cas, ces transmetteurs peuvent requérir des étalonnages individuels si les tests ne sont pas satisfaisants. Les cartes A/N du calculateur de débit constituent une autre source d'erreur dans cette configuration. Elles peuvent être testées indépendamment à l'aide d'une source de signal mA à partir d'un calibrateur de boucle [23].

#### **Remarques et recommandation :**

- ✓ Centrez systématiquement le vernier de votre pompe manuelle avant tout étalonnage de pression. Cela vous permettra d'augmenter ou de réduire la pression pour effectuer des réglages de précision.
- ✓ Rangez la sonde thermique dans un étui protecteur, tel que l'emplacement intégré de l'étui souple du 721. L'exposition de la sonde RTD à des contraintes mécaniques peut nuire à la précision de la sonde.
- ✓ Attention de ne pas connecter le côté P1 (basse tension) au calibrateur lorsque vous effectuez des étalonnages ou des mesures haute pression, sinon le capteur sera endommagé tout en créant des conditions dangereuses.
- ✓ L'insertion de la sonde RTD avant les étalonnages de pression laisse généralement suffisamment de temps pour obtenir une mesure thermique stable.

#### **III.2.2 Vérification d'un manomètre (analogiques et numériques) :**

Les jauges de process analogiques et numériques doivent être inspectées afin de détecter les erreurs liées à la dérive, à l'environnement, à l'alimentation électrique, à l'ajout de composant à la boucle de sortie et à d'autres modifications du processus. Les manomètres peuvent être inspectés sur site ou en laboratoire. L'étalonnage sur site permet de gagner du temps et d'effectuer les réglages nécessaires dans l'environnement du processus. Les calibrateurs multifonctions facilitent

La tâche avec un seul appareil, et les calibrateurs à mémoires facilitent l'exécution des procédures, la capture des données et la documentation des résultats. L'étalonnage en laboratoire offre un

environnement favorable pour nettoyer, inspecter, tester et recertifier le manomètre selon les conditions de référence pour garantir la meilleure des précisions [24].



*Figure III.8* Le montage simplifié d'étalonnage d'un manomètre

### Procédure de test :

#### ETAPE 1 :

Isolez le manomètre du processus à l'aide de valves ou en retirant la jauge du processus.

#### ETAPE 2 :

Connectez la jauge au calibrateur ou à la jauge de référence. Pour les manomètres hydrauliques, il est important de vider le gaz piégé dans le liquide de la jauge, du calibrateur et des connexions en amorçant le système. Lorsque vous générez de la pression, patientez un instant pour garantir la stabilité. Comparez le relevé de la jauge testée avec celui de la jauge principale ou du calibrateur.

#### ETAPE 3 :

En ce qui concerne les manomètres hydrauliques, il est important d'amorcer le système. Cela permet de libérer le gaz piégé dans le liquide de la jauge, du calibrateur et des connexions.

#### ETAPE 4 :

Lorsque vous générez de la pression, patientez un instant pour que la mesure soit stable. Lorsque vous utilisez une pompe manuelle hydraulique comme source de pression, quelques minutes peuvent être nécessaires pour que la pression se stabilise à cause de l'effet thermodynamique des liquides.

**ETAPE 5 :**

Comparez le relevé de la jauge testée avec celui de la jauge principale ou du calibrateur.

**Remarques et recommandation :**

- ✓ La sécurité d'abord ! Vérifiez la capacité nominale de pression de tous les raccords, adaptateurs et tubulures de branchement.
- ✓ N'oubliez pas de tapoter les jauges analogiques à chaque point à cause de la friction des parties mécaniques.
- ✓ Le gaz est préféré pour des raisons de propreté, mais faites attention lorsque vous générez des pressions supérieures à 2 000 Psi.
- ✓ Les normes du secteur indiquent généralement que l'équipement d'étalonnage doit être 4 à 10 fois plus précis que l'appareil testé.
- ✓ Lorsque vous êtes sur site, connectez les manomètres avec une tubulure ou un connecteur en T.
- ✓ Utilisez des raccords d'adaptateur lorsque les charges de travail requièrent l'étalonnage d'une grande gamme de manomètres.
- ✓ Observez d'abord l'orientation de l'appareil sur site et utilisez un adaptateur d'angle pour reproduire une orientation similaire en laboratoire.
- ✓ Utilisez un séparateur de liquides pour éviter toute contamination dans le cadre d'applications hydrauliques

**III.2.3 Étalonnage en laboratoire avec comparateur de pression :**

Un comparateur de pression est un instrument pratique pour l'étalonnage de pression en laboratoire. Les étalonnages en laboratoire permettent de garantir les conditions de référence et d'obtenir l'incertitude la plus faible possible. Le laboratoire est également un endroit commode pour inspecter, régler et réparer les appareils testés [24].



*Figure III.9* Le montage simplifié d'étalonnage d'un manomètre avec comparateur de pression

**Procédure de test :**

Le manomètre doit être monté comme dans le processus (vertical ou horizontal). Un adaptateur d'angle, tel que le P5543, peut être utilisé.

Le manomètre de référence (2700G) doit être monté de sorte que l'affichage soit visible.

Quant aux comparateurs hydrauliques, libérez les bulles en amorçant la pompe.

Les points de mesure doivent être distribués uniformément sur l'intervalle d'étalonnage. Générez commodément la pression à l'aide d'une pompe manuelle jusqu'à 300 psi. Au-delà, utilisez une source de pression externe.

Pour les comparateurs à gaz, utilisez un robinet à pointe de précision ou une presse à vis de précision pour mesurer la pression avec précision.

Avec les modèles hydrauliques, utilisez la presse à vis pour alimenter et ajuster avec précision la pression.

La pression de source peut être ajustée jusqu'à ce que l'appareil testé ou la jauge de référence relève la pression nominale[24].

**Remarques et recommandation :**

- ✓ Utilisez une jauge de référence de précision pour être conforme aux taux d'incertitude de test sur une plus grande plage de pression.
- ✓ Renoncez aux clés et à la bande PTFE. Utilisez plutôt des adaptateurs compatibles avec plusieurs tailles et types d'appareils, et dotés de joints supportant des pressions allant jusqu'à 20 000 Psi.
- ✓ La sécurité d'abord ! utilisez systématiquement des raccords, des tubulures et des joints dont les caractéristiques nominales de pression sont supérieures à la capacité à pleine échelle de l'instrument.
- ✓ Si possible, utilisez de l'huile pour garantir une meilleure lubrification.
- ✓ Préférez le gaz pour plus de propreté ou un séparateur de liquide disponible chez Fluke.
- ✓ Pour des raisons de sécurité et de facilité d'utilisation, les systèmes hydrauliques sont préférables aux systèmes à gaz lorsque la pression excède 2 000 Psi.

**III.3 Étalonnage des instruments de température :**

Les transmetteurs de température et les instruments connexes peuvent devenir moins performants, en particulier dans les environnements difficiles des milieux industriels. L'étalonnage de ces instruments permet de maintenir leur fiabilité et leur disponibilité.

Les calibrateurs, tels que le calibrateur de température Fluke 724 ou le calibrateur de process à fonction de documentation Fluke 754 offrent les trois capacités nécessaires pour étalonner avec précision un transmetteur de température : génération de température, alimentation de boucle et mesure du courant de sortie résultant.

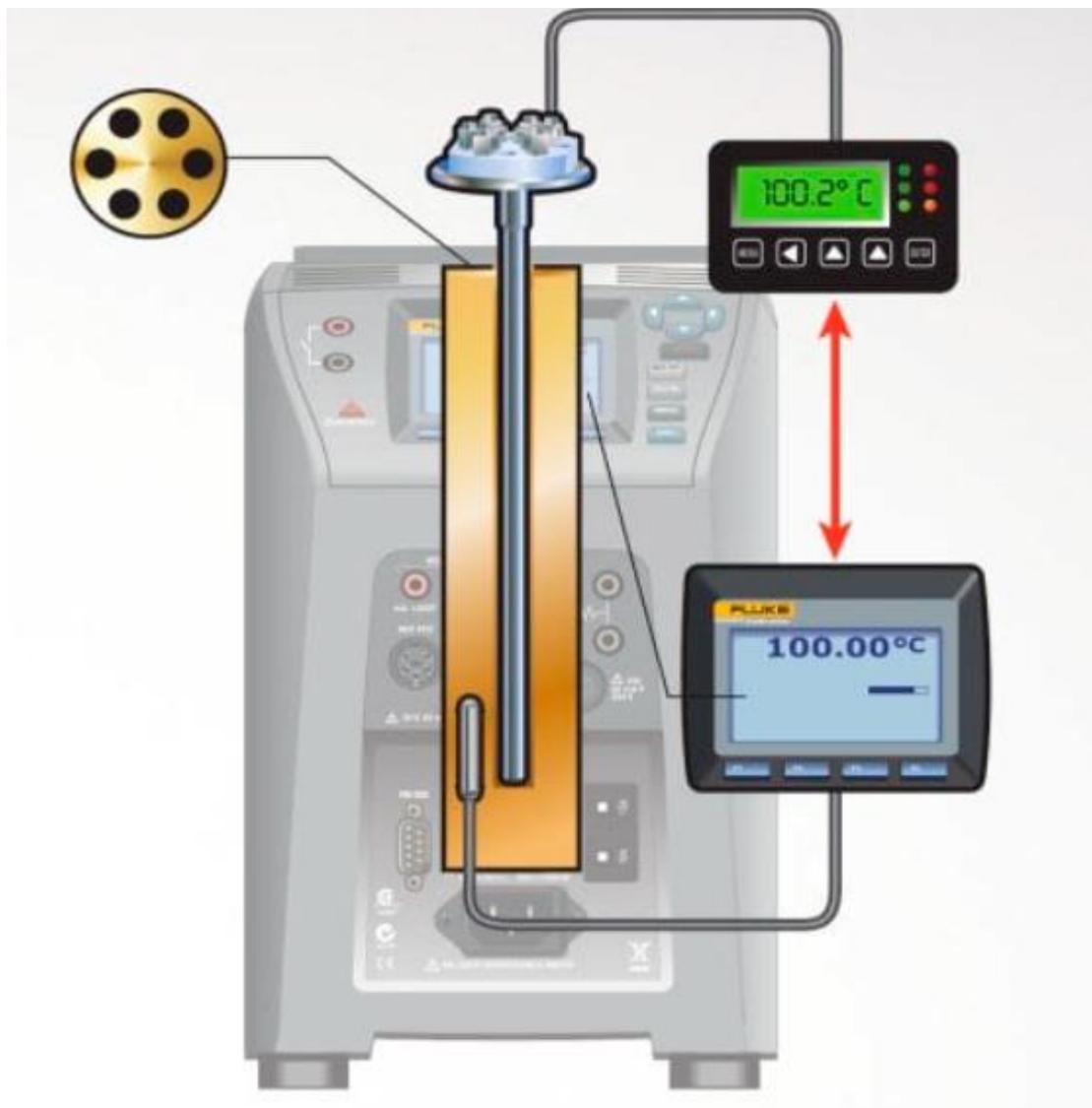
Les calibrateurs de process à fonction de documentation les plus avancés, tels que le Fluke 754, permettent également de tester et d'étalonner les instruments de température et de pression, ce qui réduit au minimum le nombre d'instruments que doit emporter un technicien. Le 754 peut même étalonner les instruments électroniques HART les plus utilisés, y compris des instruments pulsés comme des transmetteurs RDT. Un calibrateur associé à un bain sec, tel que le bain de métrologie de terrain 9142 Fluke Calibration, offre une solution complète en boucle fermée.

La traçabilité des équipements de test est également un facteur important lorsque l'on compare des calibrateurs. La traçabilité garantit que les fonctions de mesure et de test de l'étalonnage ont été vérifiées, qu'elles répondent aux spécifications requises et que ces spécifications sont traçables conformément aux normes nationales et internationales [25].

### III.3.1 Etalonnage et test des sondes RTD :

Généralement, les sondes RTD sont testées durant l'étalonnage de l'appareil connecté, comme un panneau de mesure ou un transmetteur de température. Toutefois, si l'on soupçonne un problème avec un capteur de température, il est possible de procéder à des étalonnages du capteur séparément de l'étalonnage du circuit électronique de process.

Des vérifications de champs des capteurs de température peuvent être facilement effectuées avec un appareil Dry-Block ou un micro-bain. Pour de meilleurs résultats, effectuez un étalonnage complet des capteurs de température sur table [25].



*Figure III.10* Le montage simplifié d'étalonnage d'une sonde RTD.

**Pour effectuer le test:**

1. Isolez le capteur du process.
2. Plongez complètement le capteur dans une source de température de précision, telle qu'un bain sec ou un bain capable de couvrir la plage de températures requise.
3. Pour plus de précision, plongez également complètement un étalon de température dans le bain sec ou le bain à des fins de comparaison (la version de process des puits de métrologie de terrain possède un afficheur de précision intégré pour l'étalon de température).
4. Pour vérifier l'étalonnage de la sonde RTD séparément de l'indicateur de température du système de contrôle, débranchez la sonde du circuit électronique.
5. Branchez la sonde RTD à un instrument de précision capable de mesurer la résistance. La version de process des puits de métrologie de terrain intègre le circuit électronique requis.
6. Réglez la température du bain ou du bain sec pour chacun des points de test. Avec les puits de métrologie de terrain, ces points de test peuvent être programmés et automatisés.
7. A chaque point de test, enregistrez les relevés de l'étalon de température et de la sonde RTD.
8. Si vous mesurez la sonde RTD séparément de son circuit électronique, comparez les résistances mesurées à la résistance attendue dans le tableau de températures applicable. Sinon, comparez la valeur indiquée sur l'affichage de l'instrument à la valeur de l'étalon de température (qui peut être le bain sec).

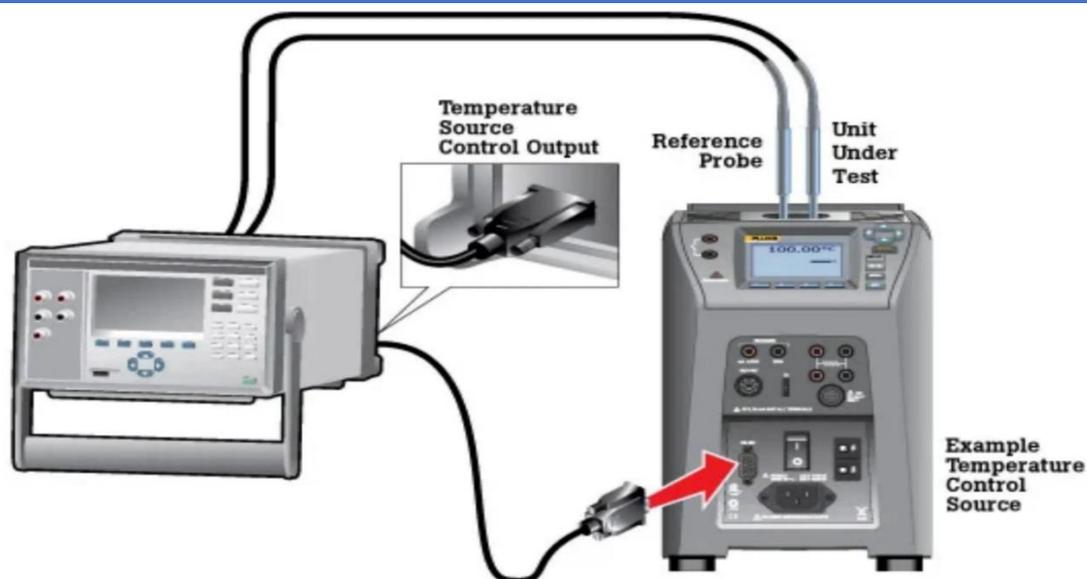
**III.3.2 Automatisation de l'étalonnage de la température sur banc :**

L'automatisation de l'étalonnage de la température présente de nombreux avantages. Par exemple, les techniciens ont besoin de l'automatisation, car ils subissent une énorme pression pour faire plus avec des ressources limitées. L'automatisation peut contribuer à réduire le nombre de tâches laborieuses et répétitives nécessaires à l'étalonnage.

Les responsables ont besoin de l'automatisation pour améliorer la productivité de leurs effectifs, réduire les compétences nécessaires pour exécuter les tâches d'étalonnage et assurer le respect systématique des procédures documentées.

L'étalonnage automatisé peut être effectué en usine ou en atelier sans logiciel lorsqu'un instrument tel que le calibrateur de process à mémoires Fluke 754 ou le scanner de température de précision Fluke 1586A est connecté à une source de température comme un bain sec ou un micro-bain Fluke. Les puits de métrologie de terrain seuls permettent également d'obtenir un certain degré d'automatisation, étant donné qu'ils peuvent enregistrer des données pendant l'exécution de programmes personnalisés pour une série de températures prédéterminées.

Dans un laboratoire ou dans un atelier de fabrication, un logiciel d'étalonnage peut être utilisé pour des étalonnages plus complexes nécessitant plusieurs sources de température ou la génération de coefficients d'étalonnage.



**Figure III.11** Le montage simplifié sur automatisation de l'étalonnage de la température sur banc

#### Pour effectuer le test :

1. Branchez le calibrateur sur la source de température avec le câble de données approprié.
2. Insérez l'étalon de température et les sondes à tester dans la source de température de précision (bain sec, par exemple).
3. Branchez les sondes à tester et l'étalon de température sur le calibrateur, et activez les canaux auxquels ils sont connectés.
4. Sélectionnez les points de test et l'ordre dans lequel ils doivent être exécutés.
5. Démarrez le programme.
6. Passez à une autre tâche.
7. Revenez pour recueillir et analyser vos données.

#### III.3.2 Etalonnage de transmetteur de température intelligent HART :

Les transmetteurs de température intelligents, avec leur flexibilité et leur précision accrue, sont devenus l'instrument d'étalonnage de la température de choix pour les professionnels de l'instrumentation.

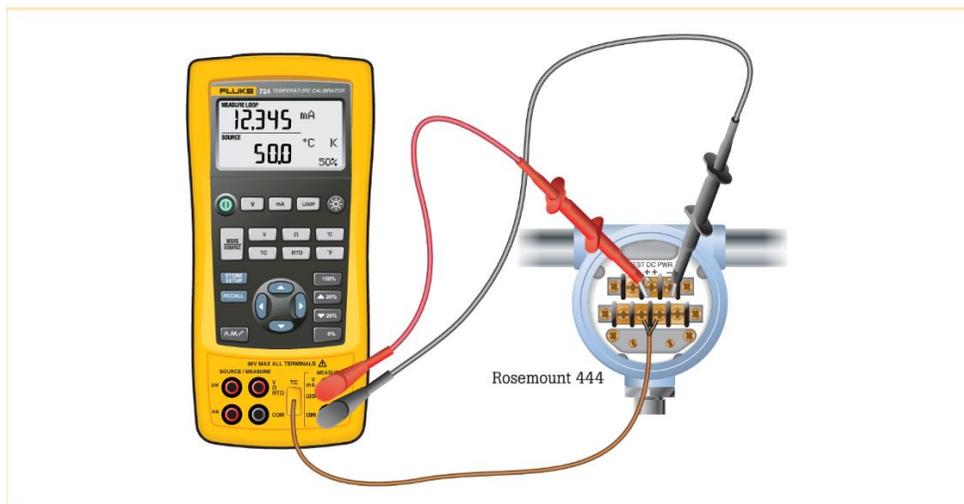
L'étalonnage d'un transmetteur de température intelligent HART nécessite un simulateur de température ou une source de température précis, des prises de mesures en mA et un outil de communication HART. Vous pouvez utiliser des outils distincts ou un calibre qui intègre tous ces trois fonctions pour effectuer cette tâche.

Avant d'aller sur le terrain : Rassemblez les outils de diagnostic d'étalonnage et de communication requis. Si vous testez un transmetteur RTD, assurez-vous d'apporter des cordons de mesure supplémentaires pour les connexions. Le test d'une sonde RTD à trois fils nécessite cinq (5) cordons de mesure (trois pour simuler la sonde RTD et deux pour mesurer l'intensité du signal en mA). Si vous utilisez un autre dispositif de communication, vous aurez également besoin de son jeu de cordons de mesure.

Pour l'étalonnage des thermocouples (TC), assurez-vous d'avoir le bon type de cordon de mesure TC avec un mini-connecteur terminé par le bon type de connecteur TC, (cordons et connecteur de type K pour simuler un thermocouple de type K. par exemple).

Pour obtenir la précision recherchée : En règle générale, votre outil de mesure mA et votre calibrateur de source de température doivent être au moins quatre fois plus précis que le périphérique testé. Pour établir le

niveau de précision, reportez-vous aux fiches de données du transmetteur et du calibrateur testés. Veillez à tenir compte de la température et de la stabilité (temps) en plus de la précision spécifiée pour les appareils. Pour plus d'informations sur la détermination de la précision et sur son interprétation [23].



**Figure III.12** Le montage simplifié d'un transmetteur de température intelligent HART

### 3.2.1 Configuration de base du calibrateur

1. Branchez les fils de test du 724 au transmetteur TC comme indiqué. La sortie des prises du thermocouple branchées sur le 724 simulera une entrée de température pour le transmetteur. Les fils de tests noir et rouges fourniront l'alimentation en boucle au transmetteur et mesureront le courant résultant des changements de température dans le transmetteur.
2. Allumez le calibrateur 724. Appuyez sur le bouton mA et le bouton LOOP (BOUCLE) pour sélectionner la mesure en milliampères avec une alimentation en boucle 24 VCC appliquée.
3. Appuyez sur le bouton Meas/Source jusqu'à ce que la partie inférieure de l'écran 724 indique le mode de la source
4. Appuyez sur le bouton TC jusqu'à ce que le type TC de K soit affiché.
5. Sélectionner le bouton C pour centigrade.
6. Réglez le point zéro de cette application dans le calibrateur. Pour ce faire, réglez d'abord l'affichage à 0,0 °C. Vous pouvez utiliser les flèches du haut et du bas pour changer la valeur de sortie. Utilisez les flèches de gauche et de droite pour contrôler la valeur de dizaine à l'écran devant être changée. Quand l'écran affiche 0,0, maintenez enfoncée la touche 0 % du 724 et notez-le 0 % affiché dans le coin en bas à droite de l'écran. Ceci établit le point zéro de l'étalonnage.
7. Réglez le point de sensibilité dans le calibrateur. Réglez l'affichage à la valeur de sensibilité désirée pour l'étalonnage. Dans cet exemple, l'écran devrait afficher 150 °C. Appuyez sur la touche 100 % et notez-le 100 % affiché dans le coin en bas à droite de l'écran. Ceci établit le point de sensibilité de l'étalonnage.

Exécution d'un test « Tel que trouvé »

Une fois que vous avez terminé les étapes précédentes, vous pouvez passer à un test « tel que trouvé » ou aux données indiquant où se trouve actuellement l'instrument.

8. Appuyez sur la touche 0 % ; enregistrez la température appliquée et la mesure en mA correspondante.
9. Appuyez sur la touche 25 %↑ (2) fois ; enregistrez la température appliquée et la mesure en mA correspondante.
10. Appuyez sur la touche 0 % ; enregistrez la température appliquée et la mesure en mA

correspondante.

11. . Calculez les erreurs pour chacun des (3) points en utilisant la formule suivante :

$$\text{ERREUR} = ((I - 4)/16) - [T/TSPAN] * 100$$

Ou Erreur est un pourcentage de la sensibilité,

I est la mesure en mA enregistrée,

T est la température enregistrée et TSPAN est

la température de la sensibilité d'entrée (point à 100 % - point à 0 %)

La table des erreurs de calcul ci-dessous montre comment appliquer la formule aux mesures enregistrées en réalité.

12. Si vos erreurs calculées sont moins que la tolérance spécifiée de l'instrument, le transmetteur a passé le test tel que trouvé. Si le test n'est pas réussi, faites les ajustements nécessaires.

### 3.2.2 Ajustement du transmetteur

Une fois que vous savez où se trouve l'instrument à ce moment-là, vous pouvez continuer à le régler.

13. Appuyez sur la touche 0 % pour appliquer la température correspondant à une sortie de 4 mA.

Ajustez le potentiomètre à zéro jusqu'à ce que la valeur du courant affiché soit 4,00 mA.

14. Appuyez sur la touche 0 % pour appliquer la température correspondant à une sortie de 4 mA.

Ajustez le potentiomètre de la sensibilité jusqu'à ce que la valeur du courant affiché soit 20,00 mA.

Appuyez encore sur la touche 0 % et ajustez de nouveau le potentiomètre à zéro si nécessaire, pour obtenir une sortie de 4,00 mA.

### Remarques et recommandation :

- ✓ Lors de la simulation d'un signal de thermocouple provenant d'un simulateur, utilisez toujours le bon câble de thermocouple pour la mesure, soit exactement le même type de fil TC ou une rallonge compatible.
- ✓ Lors de la simulation de la température avec un calibre à compensation de la jonction de référence active, n'oubliez pas que le calibre compense activement les changements de température. Les changements de température ambiante devraient être compensés automatiquement.
- ✓ Les transmetteurs intelligents avec plusieurs capteurs d'entrée déploieront certainement un courant d'excitation impulsive lors de la mesure de la résistance RTD. Dans ce cas, sélectionnez un calibre actif avec un temps de réponse rapide, comme le 754 qui répond en 1 ms

### III.3.3. Élimination des erreurs des capteurs de température :

Outre l'apport d'une tension ou résistance pour contrôler votre transmetteur ou contrôleur de température, vous souhaitez sans doute vérifier aussi votre thermocouple ou RTD. Cette vérification est particulièrement importante pour l'instrumentation critique qui pourrait compromettre le produit ou la qualité du produit si elle ne se conformait pas aux spécifications. Vous pourriez souhaiter un étalonnage de traçabilité incluant le capteur pour un certain nombre de raisons :

- Éliminer jusqu'à 75 % des erreurs lors d'une mesure de process
- Se conformer aux réglementations en matière de santé, sécurité, environnement et autres de type gouvernemental
- Respecter des normes de qualité telles qu'ISO 9000 qui exige un étalonnage régulier de tous les équipements liés à la qualité
- Réduire les déchets et améliorer la productivité

- Se conformer aux contrats clients exigeant une traçabilité selon les normes nationales
- Être certain que les mesures seront reproduites dans les limites d'erreur connues en cas de remplacement des instruments.

### III.4 Étalonnage des instruments de niveau :

Les transmetteurs de niveau sont des appareils qui mesurent la hauteur d'un matériau liquide ou solide dans un récipient ou un récipient. Ils sont largement utilisés dans les applications industrielles telles que le traitement de l'eau, le traitement chimique, le pétrole et le gaz, ainsi que les aliments et les boissons. Pour garantir la précision et la fiabilité des transmetteur de niveau, ils doivent être étalonnés périodiquement à l'aide de méthodes appropriées. L'une des méthodes courantes d'étalonnage des capteurs de niveau est la méthode hydrostatique, qui utilise le principe de la pression du fluide pour déterminer le niveau.

#### Matériel nécessaire :

Transmetteur de niveau à étalonner.

Source de pression (pour les transmetteurs de pression).

Réservoir ou simulateur de niveau.

Manomètre ou capteur de référence (étalonné).

Multimètre ou système de mesure pour lire la sortie du transmetteur.

Pompe à main ou générateur de signal (selon le type de transmetteur).

Manuel technique du transmetteur.

#### Étapes de la procédure :

##### Préparation :

Lisez le manuel du transmetteur pour comprendre ses spécifications et son fonctionnement.

Vérifiez que tous les équipements de test sont correctement étalonnés et en bon état de fonctionnement.

Assurez-vous que l'environnement de travail est sûr et approprié pour l'étalonnage.

##### Installation :

Connectez le transmetteur de niveau au réservoir ou au simulateur de niveau.

Pour un transmetteur de pression, connectez-le à la source de pression avec les adaptateurs appropriés.

##### Application des conditions initiales :

Appliquez la condition zéro (par exemple, réservoir vide ou pression zéro).

Notez la sortie du transmetteur (mA, V ou lecture numérique).

##### Ajustement du zéro :

Si la sortie du transmetteur ne correspond pas à la condition zéro, ajustez le zéro à l'aide des commandes de réglage du transmetteur.

Vérifiez et notez la lecture après ajustement.

##### Application des points d'étalonnage :

Appliquez une pression ou un niveau connu correspondant à 25%, 50%, 75% et 100% de la plage de mesure du transmetteur.

Pour chaque point, notez la sortie du transmetteur et comparez-la avec la valeur de référence.

##### Ajustement de l'échelle :

Si nécessaire, ajustez l'échelle du transmetteur pour qu'il corresponde aux points de mesure.

Après chaque ajustement, appliquez de nouveau les points d'étalonnage pour vérifier la précision.

##### Vérification finale :

Après avoir ajusté le zéro et l'échelle, appliquez de nouveau les points d'étalonnage pour vérifier que le transmetteur répond correctement sur toute la plage de mesure.

Assurez-vous que les écarts sont dans les tolérances spécifiées.

**Documentation :**

Enregistrez toutes les valeurs mesurées, les ajustements effectués et les écarts observés.

Documentez la date de l'étalonnage, les instruments utilisés, et toute autre information pertinente.

**Retour en service :**

Déconnectez le transmetteur de l'équipement de test.

Réinstallez le transmetteur dans son emplacement d'origine.

Vérifiez qu'il fonctionne correctement dans le système réel.

**Conseils supplémentaires :**

Certains transmetteurs peuvent nécessiter des outils ou des logiciels spécifiques pour l'étalonnage.

Toujours suivre les recommandations du fabricant pour l'étalonnage et l'entretien.

Effectuez des étalonnages réguliers pour maintenir la précision et la fiabilité du transmetteur.

**5 Etalonnage d'une vanne automatique :**

Les valves de régulation intelligentes proportionnelles jouent des rôles cruciaux dans les industries de process. Cependant, l'évaluation précise des performances des valves peut être une tâche fastidieuse, qui implique souvent un temps d'arrêt considérable ainsi que le démontage des valves de la ligne.

Les valves s'ouvrent et se ferment proportionnellement et font varier le degré de déplacement selon un signal variable de 4 à 20 mA appliqué à leur entrée. De nombreuses valves ont un signal de retour qui affiche la position réelle sous forme de pourcentage d'ouverture/de fermeture. Cette sortie peut être un signal de 4 à 20 mA ou une variable numérique HART qui représente 0 à 100 % de la durée de fonctionnement de la valve de régulation.

Autre indicateur clé de la performance d'une valve : la pression requise par la valve pour la déplacer vers la position souhaitée. Par exemple, une valve peut être programmée pour savoir que si 12 mA sont appliqués l'ouverture doit être de 50 %. L'électronique intelligente contrôlera ce qu'est, en clair, un régulateur de pression intelligent afin d'augmenter ou de diminuer la pression selon les besoins pour déplacer l'élément de commande vers la position souhaitée.

Appliquer un signal mA variable tout en surveillant le signal de sortie en milliampères ou le signal de pourcentage de déplacement vous permet de vérifier si une valve de régulation fonctionne correctement sur toute sa plage. De même, la surveillance et l'enregistrement de la pression appliquée à l'élément de régulation finale tout en variant le signal d'entrée de 4 à 20 mA sur la valve représentent un test clé pour déterminer si une valve est bloquée. Normalement, la relation entre la pression et les mA ou la position de la valve est linéaire, si la valve fonctionne correctement. Si une pression supplémentaire est requise, cela est souvent dû à un blocage de la valve et sera indiqué si les mesures sont consignées et tracées. En enregistrant ces signaux, les performances de la valve peuvent être documentées. Ce test et les résultats documentés sont souvent appelés la « signature » de la valve.

Les valves comprennent généralement des indicateurs manuels simples qui vous donnent une approximation du pourcentage de déplacement pour un réglage spécifique, pendant le fonctionnement. Toutefois, cet indicateur ne vous indique pas comment la valve fonctionnera dans des conditions dynamiques et changeantes et sa précision n'est pas garantie.

Voici un guide indiquant le fonctionnement typique attendu d'une valve lorsqu'un signal en milliampère est appliqué :

- **3,8 mA** - la valve doit être **totaletement fermée**
- **4,0 mA** - la valve doit rester **fermée**
- **4,2 mA** - la valve doit glisser **légèrement hors de son siège**
- **12 mA** - la valve doit être à **50 %**
- **19,8 mA** - la valve doit être **presque complètement ouverte**
- **20,0 mA** - la valve doit être **complètement ouverte**
- **20,2 mA** - la valve doit être sur **totaletement ouverte** (au repos sur stop) [24].

### III.5.1 Les indicateurs de valve offrent une mesure approximative :

« L'indicateur sur le côté de la valve pourrait vous dire qu'elle est à 50 %, mais êtes-vous vraiment sûr que ce n'est pas plutôt 51 % ou 49 % ? Impossible à dire », déclare Jim Shields, Responsable produits pour les outils de processus Fluke. « Et dans bien des processus, cela peut faire une différence ».

Les tests de performance de valves les plus sophistiqués passent par un démontage de la valve et un test de ses performances dans un « étalonneur de valve ». Ces dispositifs de test sophistiqués sont très coûteux, souvent hors de portée pour beaucoup d'usines et d'ateliers. D'autres formes de tests sont possibles avec des instruments de test spécifiques HART, mais ils peuvent être difficiles à configurer et à utiliser.

En effet, selon un instructeur en instrumentation de process, un technicien qui travaille avec un assistant toute une journée peut contrôler avec précision environ huit valves, soit environ une par heure. Cela implique que l'assistant retire la valve, apporte la valve au technicien sur un banc, puis que ce dernier exécute les tests pendant que l'assistant réalise toutes les procédures mécaniques. Il faut donc près de deux heures de travail pour une personne pour tester une seule valve[24].

### III.5.2 Le contrôle de valves et la communication HART dans un calibrateur de boucles de précision :

Grâce à la fonction de communication HART intégrée au calibrateur de boucles de test de valve 710, les utilisateurs peuvent générer un signal de 4 à 20 mA pour faire bouger la valve de régulation intelligente, tout en interprétant le signal de retour HART de la valve pour déterminer si elle se positionne correctement. En plus des informations concernant la position, la pression mesurée délivrée par l'I/P interne de la valve (qui la fait bouger) peut être déterminée via le protocole de communication HART.

Le 710 dispose de procédures de test intégrées qui augmentent et modifient automatiquement le signal mA tout en surveillant la position HART et le retour de pression de la valve de régulation, vous offrant ainsi une meilleure vue d'ensemble du fonctionnement de la valve, par une simple pression sur un bouton.

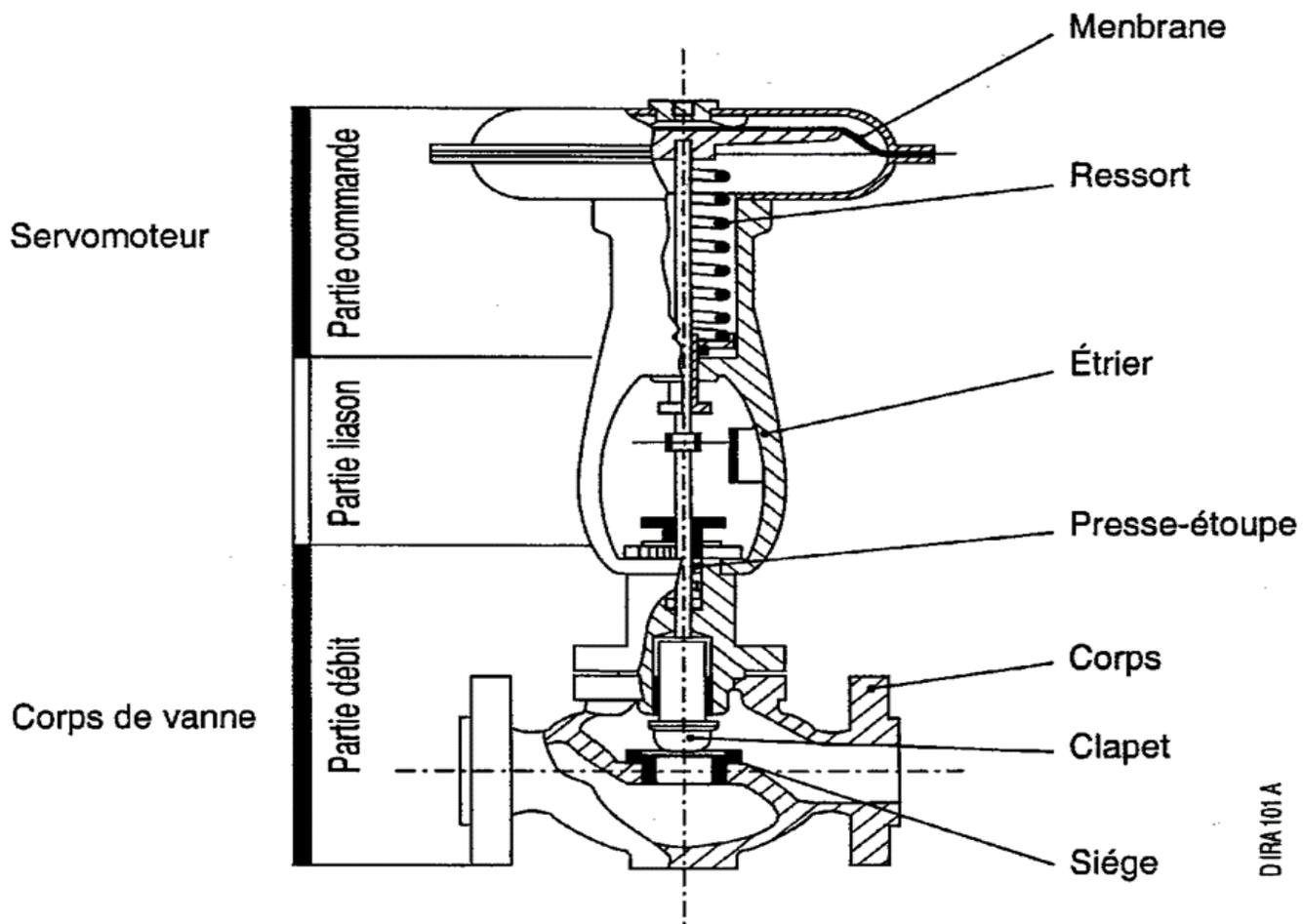
### III.5.3. Tests de valves préconfigurés, aperçu des réponses :

Les contrôles de routine des valves intégrés dans le 710 incluent :

- Test manuel ; modification manuelle du signal mA et affichage des informations relatives à la position HART et à la variable de pression
- Rampe complète du signal mA de 4 à 20 à 4 mA et enregistrement simultané de la position 0-100-0%, ou des pressions appliquées faisant bouger la valve de 0-100-0%
- Réglage du pas de l'entrée du signal mA à la valve par incréments et évaluation de la réponse des valves aux changements d'entrée mA
- Tests de vitesse pour déterminer la vitesse d'ouverture et de fermeture de la valve
- Tests de résistance aux chocs et de course partielle permettant de tester les valves sur une partie de leur plage afin de les évaluer lors d'un procédé sous tension [24].



Figure III.13 Testeur de valves de boucle en mA Fluke 710



DIRA 101A

Figure III.14 Composition d'une vanne de régulation

***Chapitre IV***  
***Procédure d'étalonnage et de***  
***vérification***

## IV.1 Introduction :

Un transducteur de pression convertit la pression en un signal de sortie électrique. Le signal électrique peut être numérique ou analogique et est utilisé par d'autres dispositifs tels que des contrôleurs, des alarmes et d'autres systèmes en boucle fermée. Les capteurs de pression sont largement utilisés dans une série d'applications résidentielles et commerciales telles que les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, les pompes, les véhicules, les avions, etc. où la mesure de la pression est nécessaire. Ils sont également appelés capteurs de pression ou transmetteurs de pression.

## IV.2 L'importance de la mesure de pression :

La pression est l'une des variables de procédé les plus mesurées dans l'industrie. La mesure de la pression permet de garantir la sécurité et la qualité dans tout un éventail de procédés industriels. Mais qu'est-ce que la pression ? Pour faire simple, la pression peut être définie comme l'application d'une force distribuée de manière homogène sur une surface. Les techniques de mesure de la pression interviennent souvent pour déterminer de manière indirecte d'autres variables du procédé, comme le flux, le niveau et la densité.

Ci-dessous, la définition mathématique de la pression :

$$\text{Pression (Pa)} = \text{Force (N)} / \text{Surface (m}^2\text{)}$$

L'unité SI pour la pression est le Pa (Pascal), qui correspond à 1 Newton par mètre carré (N/m<sup>2</sup>) ; Il est cependant possible de trouver d'autres unités d'ingénierie. Les plus communes : bar, psi, kgf/cm<sup>2</sup>, kPa, mmH<sub>2</sub>O et mm Hg.

En ce qui concerne les liquides et les gaz, la pression contenue dans un récipient est distribuée de manière homogène sur toute la surface interne - cette définition a été établie par le physicien Blaise Pascal dans la Loi de Pascal.

## IV.3 L'importance de l'étalonnage d'un transmetteur de pression :

Les **capteurs de pression** et **transmetteurs** de pression sont utilisés dans diverses applications, allant de la mise en service d'équipements industriels à la surveillance des processus de fabrication. Une petite erreur dans la mesure peut **entraîner des conséquences graves**, notamment **en termes de qualité, de sécurité et de performances**. Un étalonnage garantit que ces instruments fonctionnent avec la précision requise, minimisant ainsi les risques associés à des mesures inexactes de la chaîne de mesure [27].

## IV.4 Nuances d'étalonnage des capteurs de pression :

### IV.4.1 Types de capteurs de pression :

Il existe différents types de capteurs de pression, chacun ayant ses propres applications et besoins en matière d'étalonnage. Par exemple, un capteur de pression absolue mesure la pression par rapport au vide parfait, le capteur de pression relative mesure la pression par rapport à la pression atmosphérique, tandis

qu'un capteur de pression différentielle mesure la différence de pression entre deux points. Chaque type nécessite une procédure d'étalonnage spécifique pour garantir des mesures précises.

#### **IV.4.2 Fréquence d'étalonnage :**

La fréquence à laquelle vous devez étalonner vos transmetteurs de pression dépend de plusieurs facteurs, notamment l'utilisation, l'environnement de travail et les normes industrielles. Certains instruments peuvent nécessiter un étalonnage mensuel, tandis que d'autres peuvent être étalonnés tous les 1 à 3 ans. Il est essentiel de suivre les recommandations du fabricant et les normes industrielles pour déterminer la fréquence d'étalonnage appropriée [27].

#### **IV.4.3 Étalonnage sur site ou en laboratoire :**

Un étalonnage sur site est effectué directement sur le lieu d'utilisation de l'instrument, tandis qu'un étalonnage en laboratoire est réalisé dans un environnement contrôlé sur un banc de pression. L'étalonnage sur le terrain est souvent préféré pour les instruments qui sont difficiles à déplacer ou qui sont essentiels au processus de production. En revanche, l'étalonnage en laboratoire offre des avantages comme généralement une meilleure précision grâce à des équipements et des conditions plus stables.

#### **IV.5 Processus d'étalonnage des transmetteurs de pression :**

Le processus d'étalonnage commence par la mise en place de l'instrument sur un banc d'étalonnage. L'instrument est ensuite soumis à différentes valeurs de pression, allant du point zéro (ou vide) à sa plage de mesure maximale. À chaque étape, les mesures de l'instrument sont comparées à celles d'un étalon de référence. Si des écarts sont observés, l'instrument est ajusté en conséquence.

#### **IV.6 Exemple pratique l'étalonnage d'un transmetteur de pression 4-20mA :**

##### **IV.6.1 Préparation de l'instrument :**

Avant de commencer la calibration, il est crucial de préparer l'instrument. Cela implique de vérifier son état général, ses composants, de s'assurer qu'il est propre et de le laisser s'acclimater à l'environnement (température, humidité, pression atmosphérique) d'étalonnage pendant une période appropriée. Installez le transmetteur dans un endroit stable, à l'abri des vibrations ou des mouvements. Réglez la position zéro du transmetteur. C'est crucial, car la position d'étalonnage peut différer de la position d'installation réelle. Ignorer cette étape pourrait entraîner des inexactitudes. Précontraindre la membrane du capteur avant l'étalonnage. Cela implique d'appliquer une pression d'environ 90 % de l'échelle maximale. Par exemple, pour un capteur de 10 Bar, montez la pression à approximativement 9 Bar. Maintenez cette pression pendant une demi-minute, puis relâchez. Cette étape garantit une meilleure précision lors de l'étalonnage [27].



**Figure IV.1** transmetteur de pression modèle EJA110E - Yokogawa

#### IV.6.2 Sélection de l'étalon de référence :

L'étalon de référence ou l'équipement des tests doit avoir une précision au moins quatre fois supérieure à celle de l'instrument à étalonner. Il est essentiel de s'assurer que l'étalon lui-même a été récemment étalonné et est conforme aux normes requises.



**Figure IV.2** calibrateur HART BEAMAX-MC6

### IV.6.3. Procédure d'étalonnage :

La procédure d'étalonnage varie en fonction du type de capteur ou de transmetteur. Cependant, en général, l'instrument est soumis à une série de 3 pressions connues (0 %, 50 %, 100 % correspondant à 4 mA, 12 mA et 20 mA pour un signal de sortie de 4-20 mA) à la montée et à la descente, et ses lectures sont comparées à celles de l'étalon de référence.

Laissez chaque point de test se stabiliser avant de passer au suivant, généralement au moins 30 secondes. Si nécessaire, utilisez 5 points pour une meilleure précision. Si des écarts sont observés par rapport au calibrateur de référence, des ajustements sont effectués jusqu'à ce que l'instrument donne des lectures précises.

### IV.7 Matériel nécessaire pour l'étalonnage du transmetteur de pression :

- Transmetteur de pression
- Multimètre
- Générateur de pression (pompe ou calibrateur)
- Communicateur HART



*Figure IV.3* Montage de calibration d'un transmetteur de pression.

Tableau IV.1 Les résultats avant l'étalonnage

| Point | Entre(bar) | Mesure réel(mA) | Mesure de référence(mA) | Erreur De mesure |
|-------|------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| 1     | 0.053      | 4.834           | 4.083                   | 0.751            |
| 2     | 2.045      | 7.637           | 7.280                   | 0.357            |
| 3     | 4.091      | 10.771          | 10.548                  | 0.223            |
| 4     | 6.083      | 14.003          | 13.733                  | 0.270            |
| 5     | 8.088      | 17.118          | 16.940                  | 0.178            |
| 6     | 9.999      | 20.665          | 19.982                  | 0.683            |

Remarque : on remarque que l'erreur maximale est très élevée.

Analyse des résultats par logiciel beamax BMOBILE:

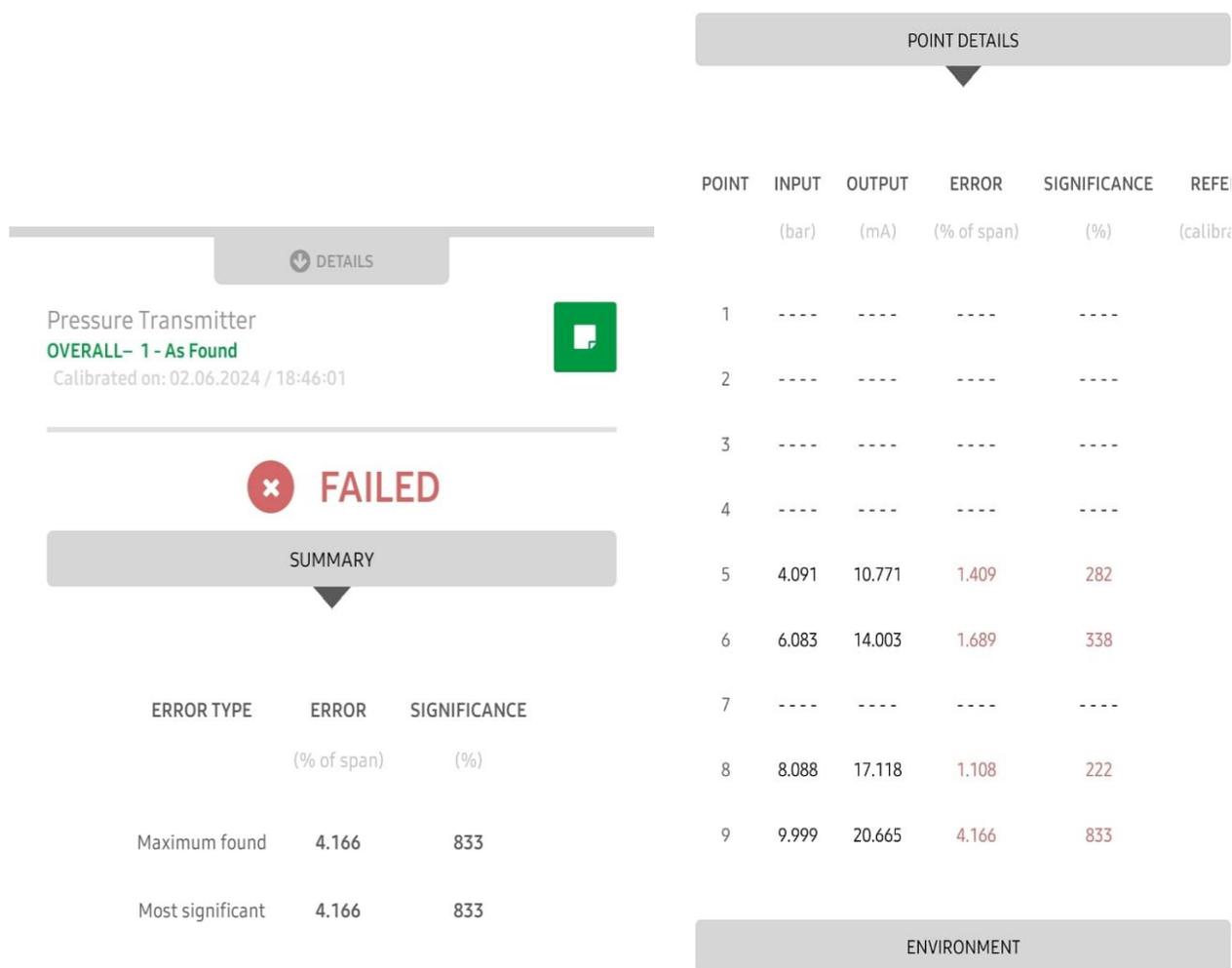


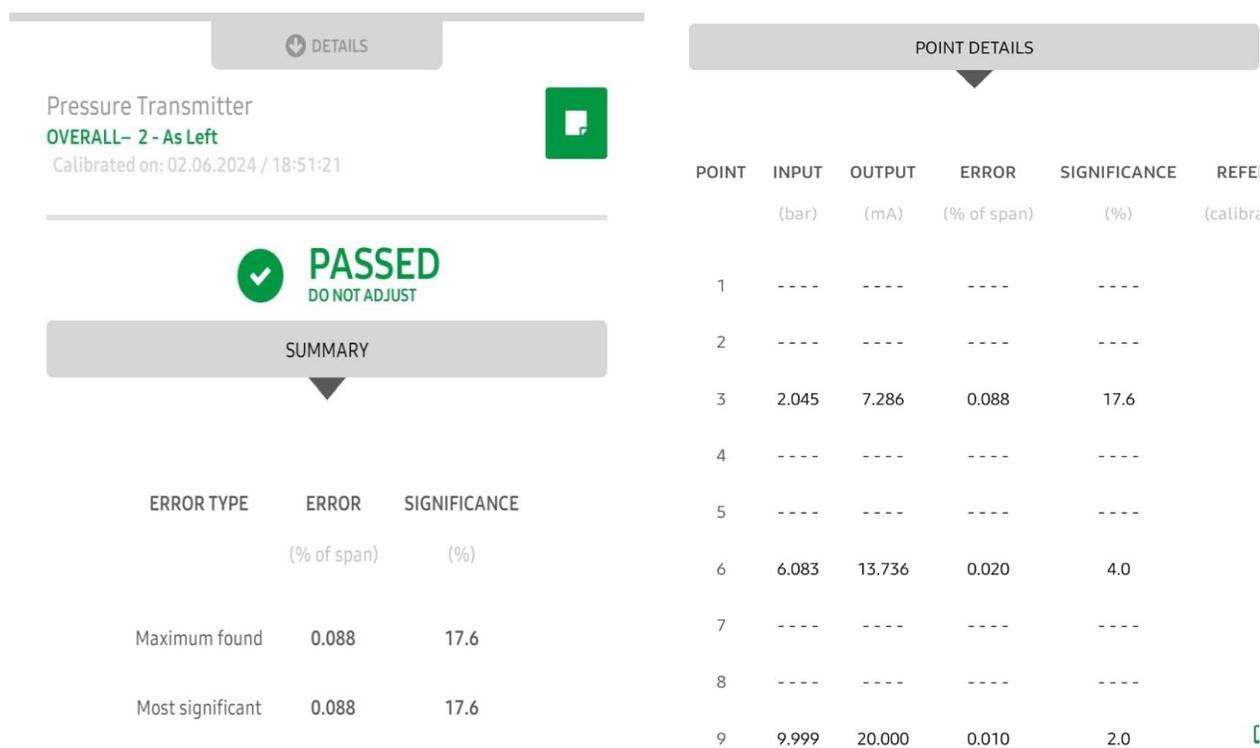
Figure IV.4 Analyse des résultats avant l'étalonnage d'un transmetteur de pression

**Tableau IV.2** Les résultats après l'étalonnage.

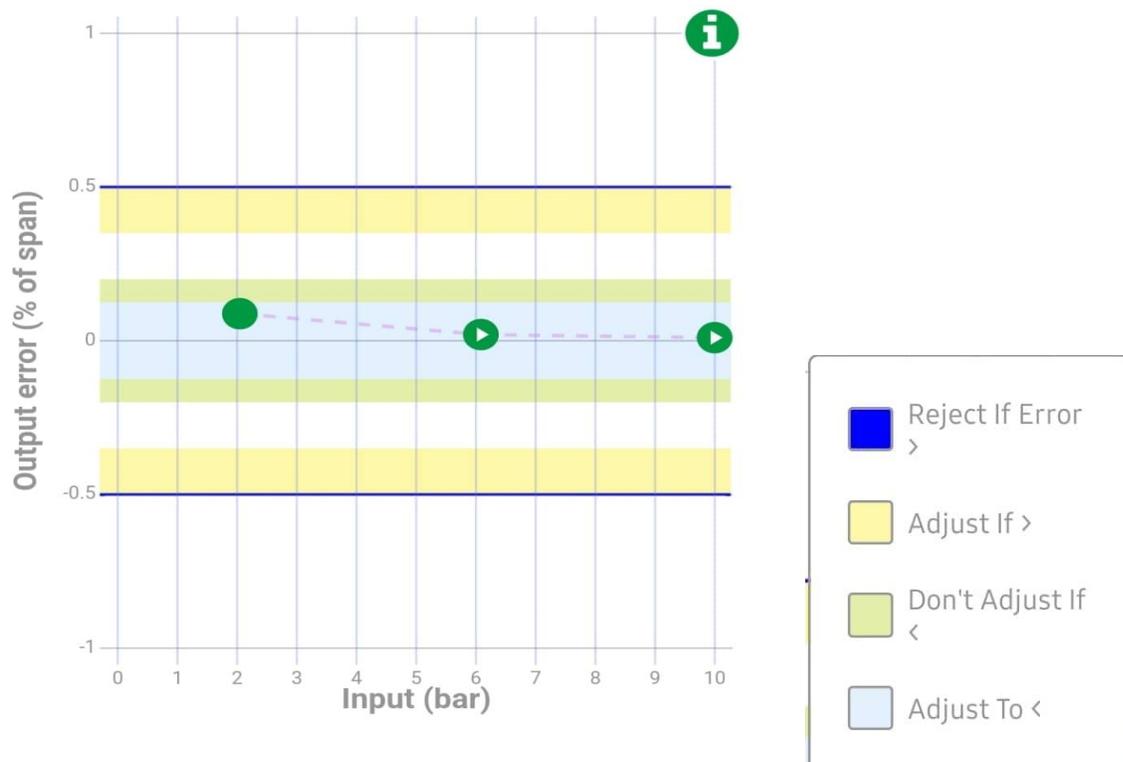
| Point | Entre(bar) | Mesure réel(mA) | Mesure de référence(mA) | Erreur De mesure |
|-------|------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| 1     | 0.053      | 4.085           | 4.083                   | 0.002            |
| 2     | 2.045      | 7.286           | 7.280                   | 0.006            |
| 3     | 4.091      | 10.600          | 10.548                  | 0.012            |
| 4     | 6.083      | 13.736          | 13.733                  | 0.004            |
| 5     | 8.088      | 16.947          | 16.940                  | 0.007            |
| 6     | 9.999      | 20.000          | 19.982                  | 0.018            |

**Remarque :** nous remarque après l'étalonnage de transmetteur l'erreur entre les mesures réelles et les résultats de mesure de référence est très faible.

**Analyse des résultats par logiciel beamax BMOBILE:**



**Figure IV.5** Analyse des résultats après l'étalonnage d'un transmetteur de pression



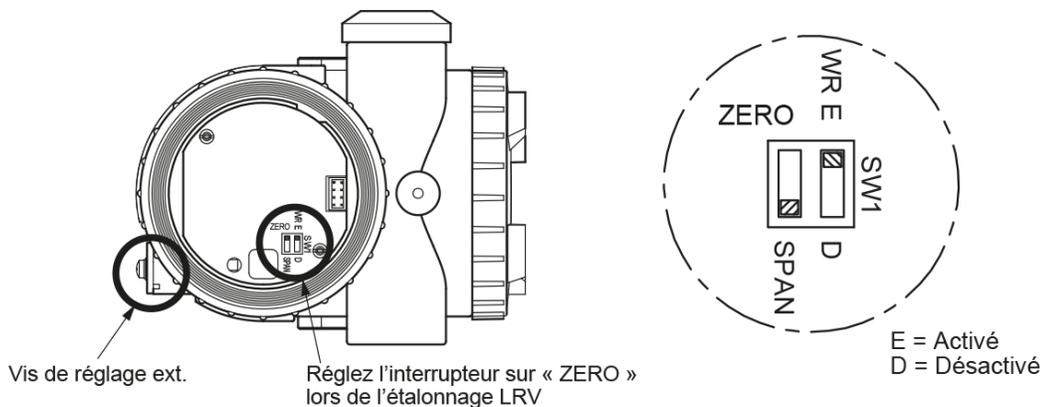
**Figure IV.6** graphe des résultats d'étalonnage d'un transmetteur de pression

#### IV.8 Étapes Cruciales pour l'étalonnage d'un Transmetteur de Pression 4-20mA :

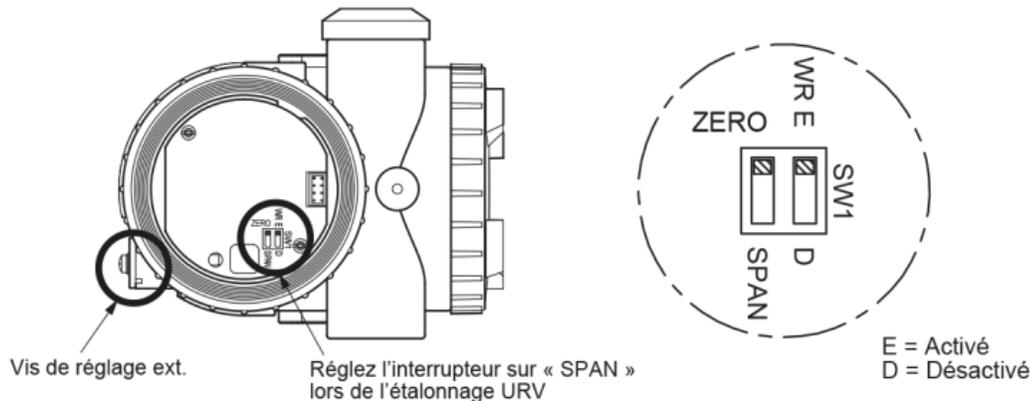
- Isoler le transmetteur de pression du process avec une vanne d'isolement.
- Démontez le transmetteur ou fermez les robinets du manifold et ouvrez délicatement la valve de purge pour libérer la pression pour un étalonnage sur le terrain.
- Branchez le multimètre au transmetteur et vérifiez que le signal de sortie est de 4 mA en l'absence de pression.
- Connectez une pompe de test (générateur de pression) au transmetteur.
- Vérifiez l'absence de fuites.
- Testez le transmetteur à différents points de pression (0 %, 50 %, 100 %) et assurez-vous qu'il fonctionne correctement.
- Si besoin ou si une anomalie est détectée, procédez à la calibration.

#### IV.9 Étalonnage avec la vis externe pour un capteur de pression analogique :

- Réglez le curseur sur la position ZERO. Appliquez une pression de 0 % selon LRV avec la pompe de test et si le multimètre n'affiche pas un signal 4 mA. Ajustez le potentiomètre du zéro du transmetteur (vis externe) pour obtenir un signal de sortie 4 mA.



- Déplacez le curseur sur la position SPAN. Appliquez une pression de 100 % selon URV et ajustez le réglage d'échelle pour obtenir un signal de 20 mA sur le multimètre en ajustant le potentiomètre du SPAN (vis externe) du transmetteur [26].



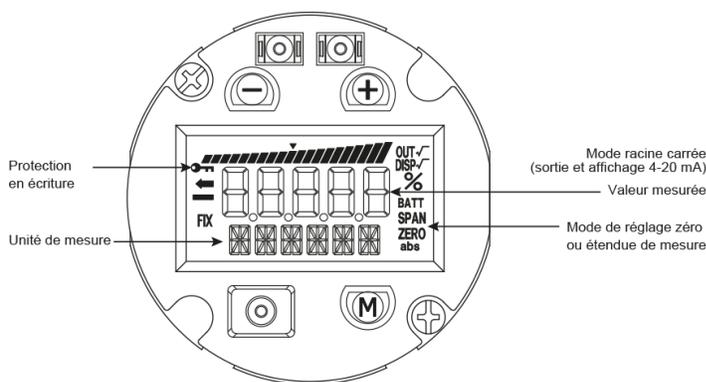
- Répétez ces étapes jusqu'à obtenir des signaux précis.

## IV.10 Étalonnage avec un indicateur local pour un transmetteur de pression intelligent (SMART) :



**Figure IV.7** Transmetteur de pression intelligent (SMART)

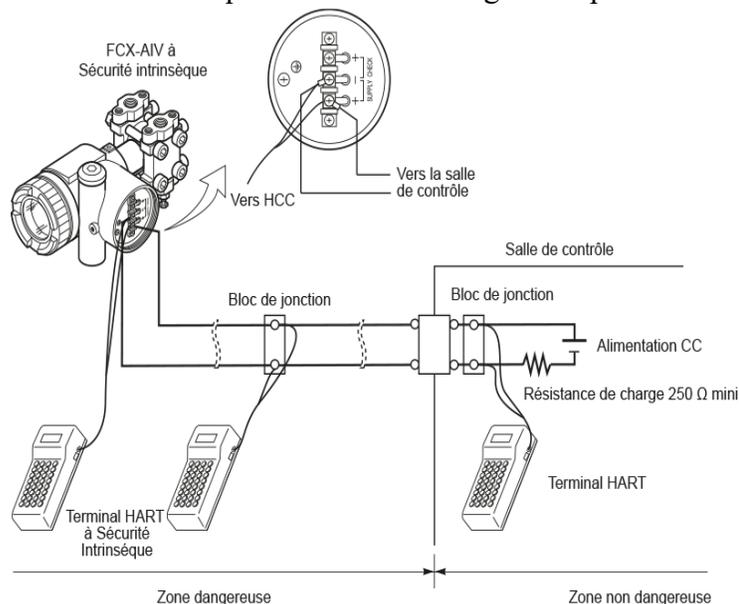
- Ouvrez le couvercle du transmetteur pour accéder à l'indicateur ou utilisez le stylet magnétique
- Passez du mode fonctionnement au mode réglage sur l'indicateur local pour ajuster les valeurs minimales et maximales.
- Appliquez une pression de référence de 0 % selon LRV avec le calibrateur et accéder au réglage du zéro (LRV) du transmetteur. Sélectionnez la valeur LRV et validez pour mémoriser le réglage. L'indicateur procède automatiquement à son étalonnage.



- Appliquez une pression de référence de 100 % selon URV avec le calibrateur et accéder au réglage de l'étendue de mesure (URV) du capteur. Sélectionnez la valeur URV et validez pour mémoriser le réglage. L'indicateur procède automatiquement à son étalonnage [26].

### IV.11 Étalonnage avec une pocket HART pour un capteur de pression HART intelligent (SMART) :

- Munissez-vous d'une pocket HART et connectez-le au transmetteur.
- Sélectionnez le menu approprié sur la pocket HART pour ajuster les valeurs minimales et maximales.
- Appliquez une pression de référence de 0 % selon LRV avec le calibrateur puis appliquez une pression de référence de 100 % selon URV.
- Suivez les instructions : Configuration – Étalonnage – Ajustement du zéro (LRV) et ajustement de l'étendue de mesure (URV) — Modifications des valeurs minimales/maximales.
- La console HART procédera automatiquement à l'étalonnage du capteur.



### IV.12 Finalisation de la procédure d'étalonnage :

- Procéder à la réinstallation du capteur, rétablissez la connexion au procédé.
- Remettez le transmetteur de pression en fonctionnement. Assurez-vous de l'absence de fuites [26].

*Chapitre V*  
*Documentation d'étalonnage*

## **V.1 Gestion des enregistrements de calibration :**

Un système de gestion de calibration des instruments est un processus documenté permettant de s'assurer que les instruments de mesure utilisés dans une entreprise sont correctement étalonnés et maintenus dans les spécifications requises.

Ce système comprend généralement les éléments suivants :

L'enregistrement de tous les instruments de mesure (nom, marque, modèle, laboratoire d'étalonnage, périodicité, critères d'acceptation, certificats, etc.)

La configuration et le suivi des étalonnages internes et/ou externes

L'établissement et le suivi d'un plan de maintenance préventive des équipements

La gestion de toute la documentation liée aux instruments (certificats, rapports, etc.)

Un tel système permet de s'assurer de la fiabilité et de la traçabilité des mesures effectuées, de respecter les normes et réglementations en vigueur, et d'optimiser la qualité des produits tout en minimisant les coûts liés aux instruments mal calibrés.

### **V.1.1 Enregistrement de calibration :**

La gestion des enregistrements de calibration des instruments de mesure consiste à enregistrer toutes les informations pertinentes telles que le nom, la marque, et le laboratoire d'étalonnage associés à chaque instrument. De plus, la périodicité de calibration est également enregistrée, indiquant à quelle fréquence chaque instrument doit être calibré. Les critères d'acceptation sont définis pour s'assurer que les résultats de la calibration sont conformes aux normes nécessaires. Enfin, les certificats de calibration sont également enregistrés pour chaque instrument, garantissant leur traçabilité et leur conformité aux exigences [28].

### **V.1.2 Instruments de mesure :**

Les instruments de mesure concernés par l'enregistrement de calibration varient en fonction des besoins spécifiques de l'organisation. Ils peuvent inclure des équipements tels que des balances, des micromètres, des thermomètres, des jauges, des spectrophotomètres, etc. Tout instrument de mesure utilisé dans le cadre de processus où une précision et une fiabilité sont requises doit être inclus dans l'enregistrement de calibration [28].

### **V.1.3 Informations enregistrées :**

Les informations enregistrées pour chaque instrument de mesure comprennent son nom, sa marque et son modèle. De plus, le laboratoire d'étalonnage responsable de la calibration de l'instrument est également enregistré. Ces informations permettent de suivre la provenance et la responsabilité de chaque instrument de mesure. Il est important de noter toutes les informations pertinentes pour garantir une traçabilité complète et une gestion efficace des enregistrements de calibration.

### **V.1.4 Périodicité de calibration :**

La périodicité de calibration définit la fréquence à laquelle chaque instrument de mesure doit être calibré. Cette périodicité est déterminée en fonction des recommandations du fabricant, des normes de l'industrie, des exigences réglementaires et des besoins spécifiques de l'organisation. Il est essentiel de respecter la périodicité de calibration pour garantir l'exactitude et la fiabilité des mesures effectuées avec les instruments de mesure.

## **1.4. Critères d'acceptation :**

Les critères d'acceptation définissent les limites acceptables pour les résultats de la calibration des instruments de mesure. Ces critères sont établis en fonction des spécifications du fabricant, des normes de l'industrie, des exigences réglementaires et des besoins spécifiques de l'organisation. Les résultats de la

calibration doivent se situer dans les limites des critères d'acceptation pour que les instruments de mesure soient considérés comme conformes.

### **V.1.6 Certificats de calibration :**

Les certificats de calibration sont des documents officiels délivrés par le laboratoire d'étalonnage après avoir réalisé la calibration d'un instrument de mesure. Ces certificats fournissent les résultats de la calibration, indiquant si l'instrument est conforme ou non aux spécifications requises. Ils garantissent la traçabilité de la calibration et servent de preuve de conformité lors d'audits internes ou externes. Les certificats de calibration doivent être conservés et enregistrés pour chaque instrument de mesure calibré.

Le but d'un certificat d'étalonnage est de fournir à l'utilisateur d'un moyen de mesure le résultat de son étalonnage, lui permettant de prendre en compte les écarts de justesse lors de son utilisation. En pratique, on compare l'instrument de mesure à un étalon. Pour chaque point de test on note la valeur affichée par l'appareil, la valeur fournie par l'étalon et l'incertitude sur la valeur fournie par l'étalon.

Cela se traduit par un résultat chiffré, ce qui permet d'apprécier l'erreur. A l'issue de cette opération on édite un certificat d'étalonnage où figurent tous les points de test et le résultat chiffré de chaque test. Aucun jugement n'est porté sur l'appareil. Un certificat d'étalonnage ne garantit donc pas qu'un instrument est « dans ses spécifications ».

Cette prestation est destinée à mieux utiliser un instrument. Connaissant l'erreur de l'appareil on est à même de corriger le résultat brut et de réduire l'incertitude d'une mesure. L'étalonnage permet aussi de suivre l'évolution d'un appareil dans le temps

## **V.2 Configuration et suivi des étalonnages internes et/ou externes :**

Aujourd'hui, les normes de qualité telles que la norme ISO 9001 :2015 imposent aux organisations industrielles de disposer d'un système de gestion de l'étalonnage de leurs équipements. En fait, les entreprises doivent étalonner périodiquement les instruments qui jouent un rôle essentiel dans leurs processus de production ou qui sont pertinents du point de vue de la sécurité ou de l'environnement.

Cependant, tous les équipements d'étalonnage ne subissent pas les mêmes contrôles. Par exemple, chaque entreprise peut établir la périodicité de l'étalonnage de ses instruments, en fonction de leur fonction, de la fréquence d'utilisation, des conditions et/ou des recommandations du fabricant.

En outre, les entreprises peuvent étalonner les équipements en interne ou, au contraire, externaliser ce service. Nous examinons ci-dessous en quoi consiste chacune de ces options.

### **V.2.1. Étalonnage interne :**

Les étalonnages internes sont des vérifications effectuées par le service qualité de l'entreprise. Les opérations doivent être effectuées par du personnel qualifié, en utilisant toujours des équipements de référence préalablement étalonnés par un organisme certifié.

Bien qu'elles soient réalisées en interne, l'entreprise doit conserver un suivi exhaustif de ses procédures d'étalonnage, ainsi qu'enregistrer les résultats et les certificats d'étalonnage afin que toutes ces informations puissent être consultées à tout moment.

Cette stratégie est particulièrement avantageuse pour les grandes entreprises qui ont beaucoup d'équipements de mesure à étalonner et qui peuvent engager des professionnels formés à cette tâche.

Parmi les avantages opérationnels de la mise en place de laboratoires internes figurent l'optimisation des temps d'étalonnage, l'obtention d'une connaissance réelle de la qualité des mesures et la réduction des coûts directs et indirects à long terme.

### **V.2.2 Étalonnage externe :**

Les étalonnages externes sont ceux effectués par un fournisseur externe accrédité, qui est chargé de vérifier si l'équipement est approprié ou non, soit dans son laboratoire, soit dans l'usine de production du client, et

qui délivre finalement le certificat correspondant.

Il s'agit de l'alternative la plus populaire pour les entreprises qui ne disposent pas de personnel qualifié au sein de l'organisation et pour lesquelles la mise en œuvre d'une stratégie d'étalonnage interne implique un coût supplémentaire qu'elles ne peuvent se permettre.

### **V.3 Établissement et suivi d'un plan de maintenance préventive des équipements :**

#### **V.3.1 Suivi du plan de maintenance préventive :**

##### **3.1.1 Mise en place d'un système de suivi :**

Afin d'assurer l'efficacité du plan de maintenance préventive des équipements de gestion de la calibration, il est crucial de mettre en place un système de suivi adapté. Ce système permettra de consigner les activités de maintenance préventive réalisées, les dates d'intervention, les équipements concernés et les actions effectuées. Des outils de suivi tels que des fiches d'intervention ou des logiciels spécifiques peuvent être utilisés pour faciliter cette tâche. Le système de suivi permet également de programmer des rappels automatiques pour les prochaines interventions de maintenance préventive et de garantir que les opérations soient réalisées conformément au plan établi [29].

##### **3.1.2 Réalisation des opérations de maintenance préventive :**

Il est essentiel d'effectuer régulièrement les opérations prévues dans le plan pour assurer la maintenance préventive des équipements de gestion de calibration. Cela inclut des tâches spécifiques telles que le nettoyage des équipements, le remplacement des pièces défectueuses ou usées, le calibrage des instruments de mesure, ainsi que toute autre action décrite dans le plan de maintenance. Il est important de suivre rigoureusement les instructions et les procédures recommandées par le fabricant ou définies dans le plan. Les opérations de maintenance préventive doivent être effectuées par du personnel qualifié et formé afin de garantir leur bonne exécution et d'éviter toute erreur potentiellement préjudiciable au bon fonctionnement des équipements [29].

##### **3.1.3 Enregistrement des résultats de la maintenance :**

La section "Enregistrement des résultats de la maintenance" concerne la capture et l'enregistrement des données relatives à la maintenance préventive des équipements de gestion de calibration. Après chaque opération de maintenance, il est essentiel de consigner les résultats obtenus, y compris les informations telles que les dates d'intervention, les tâches réalisées, les pièces remplacées ou réparées, ainsi que les éventuels problèmes rencontrés. Ces enregistrements servent de référence pour le suivi de l'état des équipements, l'identification des tendances et la prise de décisions relatives à l'ajustement du plan de maintenance. Ils contribuent également à la traçabilité et à l'audibilité des activités de maintenance, garantissant ainsi la fiabilité des équipements de gestion de calibration.

##### **3.1.4 Analyse des données et ajustement du plan de maintenance :**

L'analyse des données recueillies pendant la période de suivi du plan de maintenance préventive des équipements de gestion de calibration est une étape cruciale pour son ajustement. En examinant les résultats de la maintenance, il est possible de détecter les tendances et les motifs récurrents liés aux performances et à la fiabilité des équipements. Les données peuvent être analysées à l'aide de diverses techniques telles que l'analyse statistique, la modélisation prédictive ou l'utilisation de logiciels spécialisés. L'objectif principal de cette analyse est d'identifier les besoins éventuels de modification du plan de maintenance, tels que l'ajustement des intervalles de maintenance en fonction des besoins réels des équipements, l'identification de nouvelles tâches de maintenance préventive à inclure dans le plan ou l'élimination de celles qui se sont révélées inefficaces. Cette analyse des données permet d'optimiser la performance du plan de maintenance préventive et d'assurer une gestion plus efficace de la calibration des équipements [30].

## V.4 Documentation d'étalonnage :

Avec le temps, de plus en plus de systèmes de gestion de l'étalonnage ont émergé, notamment des systèmes reposant sur l'utilisation de feuilles de calcul et de bases de données. Bien que ce soit un premier pas dans la bonne direction, cette méthode de documentation comporte quand même certains inconvénients. Tout comme la méthode manuscrite, cette façon de relever les données d'étalonnage est chronophage et sujette aux erreurs. Elle manque aussi d'automatisation, car elle ne permet pas de paramétrer des rappels pour ne pas rater les dates de réétalonnage des instruments.

### V.4.1 L'arrivée des logiciels :

L'utilisation de logiciels pour gérer les rapports d'étalonnage a constitué le pas de géant suivant. Ainsi, les modules d'étalonnage présents dans certains logiciels de gestion de la maintenance (GMAO) permettent de stocker et de gérer efficacement les données d'instrumentation dans la base de données de l'usine. Malheureusement, une fois de plus, cette méthode manque d'automatisation, propose des fonctionnalités limitées et n'est souvent pas conforme aux exigences réglementaires concernant la gestion des archives d'étalonnage (par exemple les exigences de la DRIRE, DREAL, FDA ou encore de l'ISO).

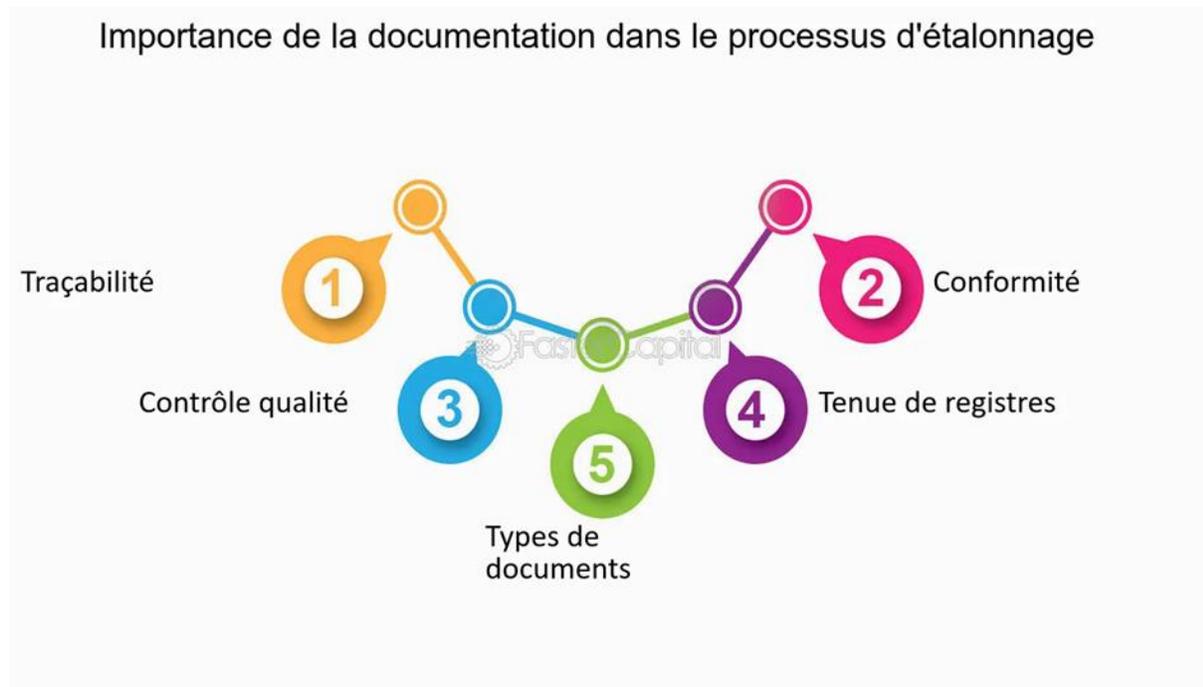
### V.4.1. Solutions dédiées à l'étalonnage :

Il semblerait que les avancées technologiques arrivent de plus en plus vite. De nos jours, les logiciels de métrologie industrielle sont les solutions disponibles les plus pointues pour accompagner et orienter la gestion de l'étalonnage. Grâce aux logiciels de métrologie industrielle, les utilisateurs bénéficient d'une interface conviviale et intuitive. Le logiciel gère et enregistre toutes les données d'étalonnage des différents instruments. Cela inclut la planification des activités d'étalonnage, l'analyse et l'optimisation de la périodicité d'étalonnage, la production de rapports, de certificats/constats, d'étiquettes, la communication avec les calibrateurs intelligents et une intégration facile avec les systèmes de gestion de la maintenance (GMAO) comme SAP et Maximo par exemple. Cela permet d'obtenir un processus d'étalonnage automatisée et rationalisée qui améliore la qualité, la sécurité, l'efficacité et la productivité de l'usine.

Pour comprendre comment ce type de logiciel peut améliorer la gestion de la métrologie sur un site industriel, il convient de prendre en compte les différentes tâches relatives à l'étalonnage que les entreprises doivent réaliser régulièrement. Il y a cinq domaines principaux : la planification et la prise de décision, l'organisation, l'exécution, la documentation et l'analyse.

- A. Planification et prise de décision :** les instruments de mesure doivent être classés par niveau de criticité (critiques ou non critiques) et leurs procédures d'étalonnage/vérification et leurs tolérances doivent être renseignées individuellement pour chaque appareil et boucle de régulation. Il faut aussi définir la périodicité d'étalonnage, la création et la validation des procédures opératoires standardisées (SOP) et sélectionner les méthodes d'étalonnage et les outils adaptés. Enfin, il faut identifier le statut actuel de chaque instrument quant à l'étalonnage.
- B. Organisation :** la partie organisation inclut la formation du personnel à l'utilisation des outils choisis et aux procédures opérationnelles normalisées / standards (SOP). Il faut prévoir les ressources nécessaires et les affecter aux étalonnages/vérifications prévues.
- C. Exécution :** l'étape d'exécution comprend la réalisation par le personnel concerné des actes métrologiques planifiés en suivant les instructions appropriées avant l'étalonnage des instruments, notamment les procédures de sécurité adaptées.
- D. Documentation :** à l'inverse des méthodes plus archaïques, les logiciels de métrologie industrielle génèrent automatiquement les rapports et toutes les données d'étalonnage sont enregistrées dans une base de données unique plutôt que dans de multiples systèmes disparates. Les certificats d'étalonnage/constats de vérification, les rapports et les étiquettes peuvent tous être imprimés sur papier ou envoyés au format électronique. La documentation et l'archivage des résultats d'étalonnage incluent habituellement une signature ou

une validation électronique de tous les résultats d'étalonnage ainsi générés [31].



*Figure V.1* Importance de la documentation dans le processus d'étalonnage.

**E. Analyse :** La numérisation de la documentation a permis d'améliorer l'analyse des données. L'utilisation de logiciels de métrologie industrielle permet une analyse des données d'étalonnage plus précise, plus rapide et plus facile, ainsi qu'une meilleure identification des tendances historiques. De plus, lors de l'audit d'une usine, les logiciels de métrologie industrielle facilitent aussi bien la préparation, que l'audit en lui-même. Localiser les données archivées et vérifier que le système fonctionne s'avèrent bien plus facile qu'avec un système traditionnel. De plus, il convient de rappeler que les organismes réglementaires et normatifs, comme la FDA et l'ISO, ont des exigences concernant l'enregistrement des données d'étalonnage. Ainsi, le logiciel de métrologie industrielle possède de multiples fonctions qui permettent de répondre aux diverses exigences de conformité comme celles concernant la gestion du changement, le journal d'audit (Audit Trail) et la signature électronique.

En se basant sur les résultats obtenus, il faut effectuer une analyse pour déterminer la nécessité de réaliser des actions correctives. Il faut vérifier l'efficacité de l'étalonnage et que la périodicité d'étalonnage soit correcte. Il est possible que la périodicité d'étalonnage doive être ajustée en fonction de l'historique des étalonnages archivés. Si, par exemple, un capteur dérive jusqu'à être hors tolérances, les conséquences pour l'usine peuvent être désastreuses : des arrêts de production coûteux, des problèmes de sécurité ou des produits de qualité non conforme qui doivent être mis au rebut [31].

## V.5 Logiciels de métrologie industrielle et de documentation d'étalonnage :

### **Beamex bMobile calibration application (2016) :**

Beamex bMobile est une application de saisie des résultats d'étalonnage qui peut être installée sur des smartphones ou tablettes sous Windows ou Android. L'application BMobile permet ainsi de documenter

les résultats d'étalonnage au moyen d'un appareil mobile.

L'application bMobile communique avec les logiciels CMX et LOGiCAL. Elle peut donc recevoir les ordres de travail et renvoyer les résultats au logiciel.

**Beamex LOGiCAL 1.x (2018) :**

Un simple logiciel capable de lire les résultats d'étalonnage provenant de calibrateurs de documentation et de les convertir en certificats d'étalonnage/constats de vérification au format PDF.

**Beamex LOGiCAL 2.x (2020) :**

Le LOGiCAL 2.x est un logiciel de métrologie industrielle par abonnement utilisant une technologie basée sur le « cloud ». Il comporte une base de données pour enregistrer les instruments, les étalons et les résultats d'étalonnage. LOGiCAL peut synchroniser les procédures entre les calibrateurs de documentation Beamex et l'application Beamex bMobile [31].

**Logiciel MET/CAL par FLUKE :**

Pour l'étalonnage automatisé et pour la gestion du flux de travail et des ressources d'étalonnage.

**V.6 Importance des logiciels de documentation d'étalonnage :**

- ✓ Effectuer des étalonnages automatisés sur tout type d'outils et de matériel de test et de mesure.
- ✓ Créer, modifier, tester et documenter les procédures d'étalonnage rapidement et facilement.
- ✓ Configurer et rapporter un plus large éventail de paramètres d'incertitude de mesure, inclure des données de vérification afin de fournir une trace d'audit et permettre une analyse ultérieure ;
- ✓ Effectuer le suivi des informations relatives aux ressources concernant le statut et l'historique des ordres de travail, la traçabilité, les utilisateurs, les clients et l'emplacement ;
- ✓ Analyser les informations de ressources et générer des rapports, réaliser l'impression de certificats et de rapports personnalisés ;
- ✓ Mettre les données à disposition d'autres systèmes de l'entreprise ;
- ✓ Importer des données sur les équipements et l'étalonnage ;
- ✓ Se conformer aux exigences de normes de qualité telles que ISO 9000, ISO/CEI 17025, NRC 10 CFR, ANSI Z540.3.

## **Conclusion générale :**

De la même manière que l'essor de l'écriture et les avancées technologiques ont contribué à forger l'évolution de l'humanité, l'amélioration de la documentation d'étalonnage a façonné l'efficacité et la productivité des usines utilisant ces technologies. Le remplacement des procédures manuelles par des procédures validées et automatisées va améliorer l'efficacité. La réduction des activités d'étalonnage laborieuses va diminuer les temps d'arrêt coûteux alors que la capacité d'analyser les résultats d'étalonnage va permettre d'optimiser les périodicités d'étalonnage, permettant ainsi de gagner du temps et d'augmenter la productivité.

Chaque site industriel, quel que soit le secteur, peut tirer avantage de l'utilisation d'un logiciel de métrologie industrielle. Par rapport aux systèmes traditionnels manuscrits, aux systèmes d'étalonnage « maison » ou aux modules d'étalonnage des systèmes de gestion de la maintenance, l'utilisation d'un logiciel de métrologie industrielle offre un niveau de qualité amélioré et une augmentation de la productivité tout en réduisant les coûts liés à la réalisation des étalonnages.

Les logiciels de métrologie industrielle permettent aussi aux utilisateurs d'accéder aux données et aux courbes de tendances historiques. Ces informations leur permettent alors de prendre des décisions éclairées. Par exemple, quand un équipement doit être remplacé, cela peut s'avérer difficile d'obtenir l'accord d'investissement sur des spéculations. Cependant, le processus d'approbation devient beaucoup plus simple si vous êtes en mesure de produire les données prouvant les irrégularités et les défaillances de l'équipement en question. De plus, quand la charge de travail des instrumentistes augmente, des indications plus précises sur le procédé peuvent faciliter et rationaliser la planification des tâches. Cela va ensuite améliorer la fiabilité en facilitant la gestion de la charge de travail des instrumentistes et contribuer à rendre le processus plus organisé et sécurisé.

## **Perspective :**

En perspective, nous souhaitons d'autres études sur les instruments restant (instrument de température, débit, niveau et les vanne régulatrices) ; et développée un logiciel pour automatiser l'étalonnage de tous ces instruments.

- [1] <https://www.appareildemesure.fr/blog/etalonnage-et-calibration-des-instruments-de-mesure-queelles-differences--n7>
- [2] schweizerisches Talsperrenkomitee Comité suisse des barrages Comitato svizzero delle dighe Swiss Committee on Dams
- [3] <https://www.beamex.com/fr/ressources/quest-ce-que-letalonnage/>
- [4] <https://www.keyence.fr/ss/products/measure-sys/measurementsselection/environment/calibration.jsp>
- [5] <https://blog.wika.fr/savoir-faire/etalonnage-comparatif-par-rapport-etalonnage-en-points-fixes/>
- [6] <https://blog.beamex.com/fr/difference-etalonnage-verification>
- [7] [https://cfmetrologie.edpsciences.org/articles/metrology/pdf/2015/01/metrology\\_metr2015\\_19003.pdf](https://cfmetrologie.edpsciences.org/articles/metrology/pdf/2015/01/metrology_metr2015_19003.pdf)
- [8] <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/systeme-mesure-automatique-90796.html>
- [9] <https://eu.flukecal.com/fr/blog/comment-%C3%A9talonner-un-transmetteur-de-pression-sur-banc>
- [10] [https://cfmetrologie.edpsciences.org/articles/metrology/pdf/2015/01/metrology\\_metr2015\\_19003.pdf](https://cfmetrologie.edpsciences.org/articles/metrology/pdf/2015/01/metrology_metr2015_19003.pdf)
- [11] «Vérification et étalonnage : que doit-on savoir ? – Fascicule,» [En ligne].
- [12] <https://www.socorex.com/fr/blog/item/105-comprendre-le-niveau-de-service-et-d%E2%80%99%C3%A9talonnage-iso-17025>
- [13] <https://blog.beamex.com/fr/evolution-de-la-documentation-detalonnage>
- [14] <https://www.fujielectric.fr/services-et-solutions/societe-etalonnage-appareil-de-mesure/>
- [15] [univ-biskra.dz](http://univ-biskra.dz)
- [16] <https://chat.openai.com/share/13bcd7f6-bc82-4c1b-9b45-cf40f5957a6b>
- [17] <https://laas.hal.science/hal-01867592/document>
- [18] <https://www.fluke.com/fr-fr/produits/outils-d-etalonnage>
- [19] [http://www.lnhb.fr/pdf/Guide\\_Acti\\_NT06-033.pdf](http://www.lnhb.fr/pdf/Guide_Acti_NT06-033.pdf)
- <http://www.lnhb.fr/Etats%20de%20surface/Fichiers/Fichiers%20pour%20t%C3%A9talonnage/Normes%20CNOMO/GE40-046N.pdf>
- [20] <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nbsspecialpublication300v1.pdf>
- [21] <https://www.fluke.com/fr/apprendre/blog/etalonnage/etalonnage-de-transmetteurs-de-pression-sur-banc>
- [22] <https://eu.flukecal.com/fr/blog/comment-%C3%A9talonner-un-transmetteur-de-pression-sur-banc>
- [23] <https://eu.flukecal.com/fr/products/flow-calibration>
- [24] <https://www.fluke.com/fr/apprendre/blog/etalonnage/etalonnage-de-calculateurs-de-debit-de-transfert-de-propriete-de-gaz>

- [25] <https://www.fluke.com/fr/apprendre/blog/etalonnage/etalonnage-et-7>  
<https://www.fluke.com/fr/apprendre/blog/etalonnage/etalonnage-de-transmetteur-de-temperaturetest-des-sondes-rtd>
- [26] <https://www.fujielectric.fr/blog/etalonnage-capteur-de-pression-et-transmetteur-de-pression-guide-pour-une-mesure-precise/>
- [27] <https://www.fluke.com/fr/apprendre/blog/etalonnage/etalonnage-des-transmetteurs-de-pression-intelligents-hart>
- [28] Elamine, B. M. & Nabila, B., . MASTER EN ELECTRONIQUE. e-biblio.univ-mosta.dz. [univ-mosta.dz](http://univ-mosta.dz)
- [30] DENFAR, M. & ZERROUKI, S. I. D. A., 2021. L'étude et l'amélioration d'un système de gestion de la maintenance assisté par ordinateur (GMAO). [univ-tiaret.dz](http://univ-tiaret.dz)
- [29] El Azhar, G. Z. M., . Contribution à l'étude a la mise en place d'un système de management de qualité ISO 22000: 2018 dans l'industrie de transformation céréaliers cas de la .... [archives.univ-biskra.dz](http://archives.univ-biskra.dz). [univ-biskra.dz](http://univ-biskra.dz)
- [31] <https://blog.beamex.com/fr/evolution-de-la-documentation-detalonnage>