



Guide de l'ingénieur sur le téléjaugage

ÉDITION 2021



Qu'est-ce que le téléjaugage ?

Technologies de téléjaugage

Normes et certifications techniques

Évaluation du volume et de la masse

Précision et incertitude

Mesure de température

Gaz liquéfiés

Capteurs supplémentaires

Architecture système

Protection antidébordement

Annexe : Configurations types de téléjaugage

Références

Avis de non-responsabilité

Cet ouvrage est conçu pour fournir uniquement des informations sur le téléjaugage.

Les informations sont fournies sur la base des connaissances de l'éditeur et de l'auteur. Elles offrent des conseils génériques qui peuvent ne pas être adaptés à toutes les situations. Vous devez donc vous en assurer en demandant conseil auprès d'un professionnel.

Cet ouvrage ne contient pas l'intégralité des informations disponibles sur le sujet. Ce livre n'a pas été conçu pour répondre à la situation ou aux besoins spécifiques d'une personne ou d'une organisation. Tous les efforts ont été faits pour rendre cet ouvrage aussi précis que possible. Cependant, des erreurs typographiques ou de contenu peuvent survenir. Cet ouvrage contient des informations qui pourraient être périmées. Alors que nous travaillons à la mise à jour et à l'exactitude des informations, nous ne faisons aucune représentation ni aucune garantie, expresse ou tacite, quant à l'exhaustivité, l'exactitude, la fiabilité, l'adéquation ou la disponibilité en ce qui concerne l'ouvrage ou les informations, produits, services ou graphiques connexes contenus dans cet ouvrage ou tout rapport à des fins quelconques. La confiance que vous accordez à ces informations relève de votre propre responsabilité. Par conséquent, cet ouvrage doit uniquement servir de guide général et non pas de source ultime d'information sur le sujet. Nous ne serons tenus en aucun cas responsables de toute perte ou dommage, y compris, sans s'y limiter, des pertes ou des dommages indirects ou consécutifs découlant de l'utilisation de ces informations ou en relation avec celles-ci. Vous acceptez d'être lié par cette clause de non-responsabilité ou vous pouvez nous retourner cet ouvrage.

Tous droits réservés. Aucune partie de ce livre ne peut être reproduite ou transmise de quelque manière que ce soit, par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'enregistrement ou tout système de stockage et de récupération d'informations, sans l'autorisation écrite de l'auteur.

1.	Qu'est-ce que le téléjaugage ?	1
2.	Technologies de téléjaugage	7
3.	Normes et certifications techniques	15
4.	Évaluation du volume et de la masse	27
5.	Précision et incertitude	33
6.	Mesure de la température	41
7.	Gaz liquéfiés	47
8.	Capteurs supplémentaires	51
9.	Architecture système	55
10.	Protection antidébordement	63
11.	Annexe : Configurations types de téléjaugage	71
12.	Références	89

Abréviations

AOPS	Système automatique de protection antidébordement	MPE	Erreur maximum autorisée
API	American Petroleum Institute	MPMS	Manuel des normes de mesure du pétrole
ATG	Téléjaugeage automatique	MTBF	Temps moyen entre les pannes
ATT	Thermomètre de bac de stockage automatique	NIST	National Institute of Standards and Technology
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	NMi	Nederlands Meetinstituut
BS&W	Sédiments de base et eau	NSV	Volume net standard
CEI	Commission électrotechnique internationale	OIML	Organisation internationale de métrologie légale
CEM	Compatibilité électromagnétique	OPS	Système de protection antidébordement
EODR	Écartement de distance électro-optique	PLC	Automate programmable industriel
FMCW	Onde continue à modulation de fréquence	PTB	Physikalisch-Technische Bundesinstitut
FWL	Niveau d'eau libre	R 85	Recommandation 85, procédure spéciale de test de l'équipement de téléjaugeage définie par l'OIML.
FWV	Volume d'eau libre	RRF	Facteur de réduction des risques
GNL	Gaz naturel liquéfié	RTD	Sonde de température à résistance
GOV	Volume brut observé	SAT	Réception sur site
GPL	Gaz de pétrole liquéfié	SIF	Fonction instrumentée de sécurité
GSV	Volume brut standard	SIL	Niveau d'intégrité de sécurité
HTG	Téléjaugeage hydrostatique	SNCC	Système numérique de contrôle-commande
ISO	Organisation internationale de normalisation	SP	Institut de recherche technique de Suède
LNE	Laboratoire national de métrologie et d'essais	TCT	Table de barémage
LTD	Niveau, température et masse volumique	TOV	Volume total observé
MOPS	Système manuel de protection antidébordement	VCF	Facteur de correction du volume
		WiA	Poids dans l'air
		WiV	Poids dans le vide



1

Qu'est-ce que le téléjaugeage ?

Rubrique	Page
1.1 Le téléjaugeage en tant que science de système _____	2
1.2 Où utilise-t-on le téléjaugeage ? _____	3
1.3 Objectif du téléjaugeage _____	4
1.3.1 Mouvement de pétrole et exploitation _____	4
1.3.2 Contrôle de l'inventaire _____	5
1.3.3 Comptage transactionnel _____	5
1.3.4 Contrôle des pertes et bilan massique _____	5
1.3.5 Protection antidébordement _____	5
1.3.6 Détection de fuites _____	6
1.3.7 Rapprochement des volumes _____	6

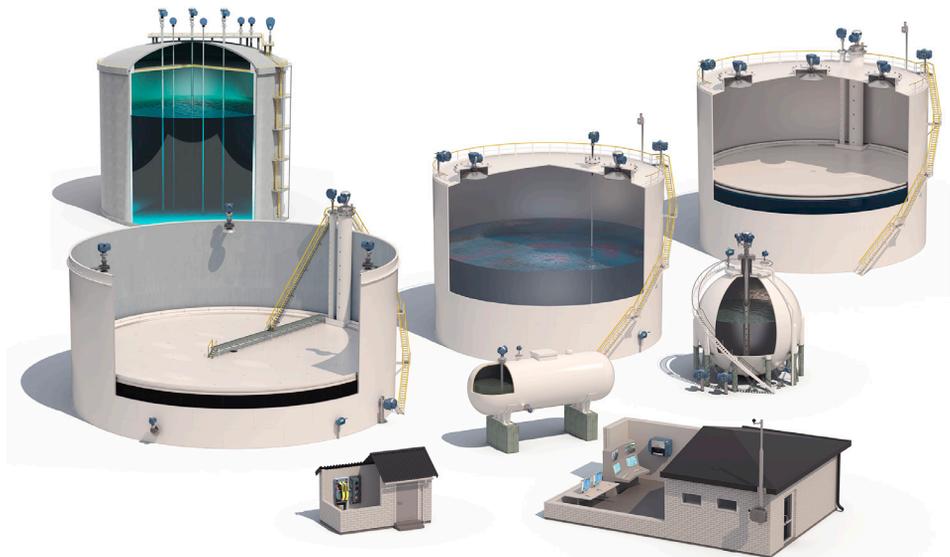
1. Qu'est-ce que le téléjaugeage ?

Le téléjaugeage consiste à mesurer des liquides dans les grands bacs de stockage dans le but de quantifier le volume et la masse du produit à l'intérieur des bacs.

L'industrie du pétrole et du gaz utilise généralement des évaluations volumétriques statiques du contenu du bac. Cela implique des mesures de niveau, de température et de pression. Il existe différentes façons de mesurer le niveau du liquide et des autres propriétés du liquide. La méthode de mesure dépend du type de bac, du type de liquide et de la manière dont le bac de stockage est utilisé.

Outre les jauges de niveau de précision, les mesures de température sont essentielles pour évaluer correctement le contenu des bacs. Tous les liquides ont un coefficient de dilatation thermique, et une compensation en volume appropriée doit être appliquée lors du transfert de volumes à différentes conditions de température. Une mesure de pression hydrostatique est souvent ajoutée pour fournir une évaluation en temps réel de la masse volumique moyenne observée et pour calculer la masse du produit.

Les systèmes modernes de téléjaugeage permettent de numériser le mesurage du bac de stockage et de transmettre numériquement les informations du bac de stockage vers une salle de commande où les informations de volume et de masse du liquide sont distribuées aux utilisateurs des données de stockage.



Les bacs de stockage peuvent contenir de gros volumes de produits liquides de grande valeur monétaire. La précision d'un système de téléjaugeage revêt une grande importance lors de l'évaluation du contenu d'un bac de stockage à un moment précis.

Le téléjaugeage est utilisé sur de grands bacs de stockage dans les raffineries, les dépôts de carburant, les pipelines, les aéroports et les terminaux de stockage. Les bacs de stockage se présentent généralement sous quatre modèles de base : bacs à toit fixe cylindriques, bacs à toit flottant cylindriques et bacs sous pression de conception sphérique ou de cylindre horizontal. Des jauges de bac de stockage sont disponibles pour tous ces types de bacs.

1.1 Le téléjaugeage en tant que science de système

Le concept de téléjaugeage implique bien plus que l'installation d'instruments de précision sur le bac. Le téléjaugeage nécessite de communiquer des données de manière fiable sur de grands réseaux de bus de terrain, aussi bien câblés que sans fil. Les solutions de communication nécessitent souvent la configuration de la redondance des bus de terrain, concentrateurs de données, composants de réseau et serveurs de réseau. Les systèmes de téléjaugeage doivent également être en mesure de calculer le volume et la masse des produits selon les normes de l'industrie.

1 - Qu'est-ce que le téléjaugeage ?

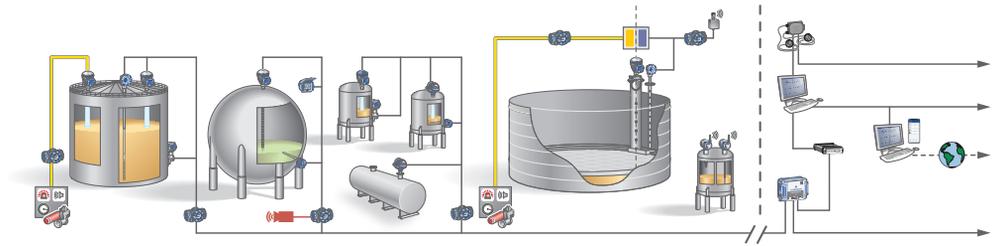


Figure 1.1 : Le téléjaugeage fait intervenir un nombre important de dispositifs et de fonctions interdépendants.

Le logiciel/système d'information de téléjaugeage doit pouvoir réaliser de nombreuses fonctions allant de l'interface de l'opérateur à la gestion des lots, aux rapports, aux fonctions d'alarme, à la connectivité aux systèmes hôtes, et bien plus encore. Il s'agit d'une science de l'ingénierie des systèmes dans de nombreux domaines de la technologie.

1.2 Où utilise-t-on le téléjaugeage ?

Le téléjaugeage est nécessaire partout où des produits liquides sont stockés dans de grands bacs. Exemples de secteurs nécessitant de tels bacs de stockage :

- Raffineries
- Industrie pétrochimique
- Terminaux de distribution
- Terminaux de pipelines
- Dépôts de carburant
- Stockage de ravitaillement en air dans les aéroports
- Stockage de produits chimiques



Les bacs de stockage sont souvent placés dans des groupes ou des parcs de bacs de stockage. Les bacs de stockage sont atmosphériques, pressurisés ou cryogéniques.

Les bacs de stockage atmosphériques sont des cylindres verticaux pourvus de toits de conceptions différentes. Les plus courants sont les suivants :

- Bacs de stockage à toit fixe, bacs à toit en cône ou en dôme.
- Bacs de stockage à toit flottant de différentes conceptions.

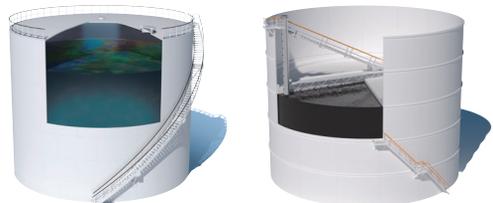


Figure 1.2 : Bacs à toit fixe et à toit flottant.

Dans un bac de stockage à toit fixe, il existe un ciel gazeux entre la surface du liquide et le toit extérieur.

Dans un bac de stockage à toit flottant, la surface du liquide est recouverte d'un toit flottant interne ou externe. Il existe de nombreux modèles de toits flottants selon le service, le liquide et la taille du bac. D'ordinaire, les bacs à toit flottant possèdent un ou plusieurs puits de tranquillisation qui partent du fond du bac, passent à travers une ouverture dans le toit flottant vers le haut du bac. Ce puits de tranquillisation est utilisé pour accéder au liquide à des fins d'échantillonnage, de mesure manuelle du niveau, de mesure automatique du bac. Une bonne conception de téléjaugeage automatique (ATG) permet d'effectuer toutes ces opérations dans un même puits de tranquillisation.

1 - Qu'est-ce que le téléjaugeage ?

Les bacs sous pression ont souvent la forme de sphère ou de cylindre horizontal.



Figure 1.3 : Les bacs de stockage sous pression nécessitent normalement un système de téléjaugeage dans un puits de tranquillisation.

Le jaugeage manuel ne peut pas être effectué sur des bacs sous pression. Pour un téléjaugeage automatique de haute précision, un puits de tranquillisation placé à l'intérieur du bac est normalement nécessaire.

Dans les bacs cryogéniques, les jauges automatiques sont souvent de même conception que celles des bacs sous pression.



1.4 : Bac cryogénique stockant du GNL à -162 °C.

Les méthodes de téléjaugeage automatique sont décrites dans diverses normes techniques. Les normes les plus couramment appliquées sont conformes au [Manual of Petroleum Measurement Standards \(MPMS\)](#) publié par l'American Petroleum Institute (API).

1.3 Objectif du téléjaugeage

Les informations provenant d'un système de téléjaugeage sont utilisées à des fins différentes. Les plus courantes sont les suivantes :

- Mouvement de pétrole et exploitation
- Contrôle de l'inventaire
- Comptage transactionnel
- Contrôle des pertes et bilan massique
- Rapprochement des volumes
- Protection antidébordement
- Détection de fuites

1.3.1 Mouvement de pétrole et exploitation

Le fonctionnement d'un parc de bacs de stockage repose largement sur les informations concernant la situation du parc de bacs de stockage. Pour un fonctionnement sûr et efficace d'un parc de bacs de stockage, il est important de connaître exactement la situation à l'intérieur des bacs. Le système de téléjaugeage doit fournir instantanément des informations à tout moment sur :

- la quantité de liquide à l'intérieur du bac ;
- l'espace disponible à l'intérieur du bac ;
- la vitesse de remplissage/vidange à l'intérieur du bac ;
- le moment où le bac atteindra un niveau dangereusement élevé ;
- le moment auquel le bac sera vide à un débit de pompe donné ;
- la durée d'un transfert de lot donné.

L'exploitation nécessitera également que le système de téléjaugeage fournisse des alertes et des alarmes avant qu'un niveau préréglé ou un niveau élevé dangereux ne soit atteint.

Le mouvement de pétrole et l'exploitation dépendent d'informations fiables et faciles d'accès. Une perte des données de téléjaugeage est susceptible d'interrompre gravement des opérations critiques et des transferts de produits, pouvant provoquer des arrêts de production non planifiés.

1 - Qu'est-ce que le téléjaugeage ?

1.3.2 Contrôle de l'inventaire

Un parc de bacs de stockage stocke des ressources précieuses, de sorte que les propriétaires exigeront des évaluations très précises de leur valeur.

Le système de téléjaugeage doit pouvoir fournir des rapports d'inventaire de haute précision à des intervalles déterminés, ou instantanément si nécessaire. La mesure automatique du fond d'eau dans le bac peut également être nécessaire pour une évaluation précise de l'inventaire. Les résultats de l'inventaire des bacs de stockage sont essentiels à des fins de comptabilité financière et sont souvent utilisés pour les rapports fiscaux et douaniers. Le système doit pouvoir calculer les volumes bruts et les volumes nets conformément aux règles établies par les organismes de normalisation de l'industrie tels que l'API et d'autres.



Figure 1.5 : Calculs d'inventaire.

1.3.3 Comptage transactionnel

Lors de l'achat et de la vente de gros volumes de liquides, les données de téléjaugeage servent de base pour établir une facturation et une taxation correctes. Lors de la réalisation de transferts volumineux, d'un navire-citerne dans un bac à terre par exemple, un téléjaugeage certifié peut fournir un comptage transactionnel plus précis que celui d'un compteur traditionnel. Avec un système de téléjaugeage certifié, la pige manuelle du bac peut souvent être omise.

Pour des raisons fiscales et légales, le comptage transactionnel d'un système de téléjaugeage doit être certifié par des autorités internationales, principalement l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML). Des entités métrologiques locales telles que PTB, NMi, LNE ou d'autres instituts nationaux peuvent également exiger des certifications.

Le comptage transactionnel nécessite la plus grande précision possible de la part du système de téléjaugeage. La norme OIML R 85:2008 définit les exigences de téléjaugeage prévues dans le cadre d'un comptage transactionnel.

1.3.4 Contrôle des pertes et bilan massique

Les pertes subies au niveau du raffinage de produits pétroliers peuvent avoir un impact financier substantiel. Dans une raffinerie, l'obtention d'un bilan massique de haute qualité est la méthode utilisée pour estimer les pertes. Il est important de distinguer entre les pertes réelles et les pertes apparentes résultant d'erreurs de mesure.

Définition des pertes subies au niveau du raffinage :

$$\text{Perte} = \text{entrées} - \text{sorties} - \text{inventaire actuel} + \text{inventaire précédent} - \text{carburant}$$

À des fins de contrôle des pertes, il est nécessaire d'obtenir la précision la plus élevée possible de mesure de l'inventaire. Par conséquent, la qualité et les performances du système de téléjaugeage revêtent une importance capitale en termes de contrôle des pertes et de bilan massique.

1.3.5 Protection antidébordement

Un débordement de bac peut avoir des conséquences désastreuses. Un déversement peut causer des explosions et des incendies susceptibles de se propager dans tous les bacs de stockage du parc et aux alentours. Étant donné que les bacs contiennent d'énormes quantités d'énergie, un incendie peut avoir des conséquences considérables.

Des incendies dus à des débordements ont donné lieu à des dommages-intérêts d'un montant supérieur à 1 milliard de dollars. De ce fait, et pour beaucoup d'autres raisons, la protection antidébordement revêt une importance extrême.

Un déversement peut se produire lorsque les opérateurs des bacs ne savent pas ce qui se passe dans le parc de bacs de stockage. Une catastrophe peut survenir si une panne non détectée de composants de téléjaugeage se produit. Non entretenus et testés correctement, des détecteurs de niveau élevé pourraient également subir des défaillances.

1 - Qu'est-ce que le téléjaugage ?



Figure 1.6 : Accident de Porto Rico en 2009.

Les appareils de téléjaugage fournissent l'échelon de contrôle de base des procédés dans le parc de bacs de stockage. Les indicateurs indépendants de niveau élevé ou les détecteurs de niveau constituent l'échelon de protection suivant. Toute défaillance non détectée de ces deux échelons de protection risque d'entraîner un accident grave.

C'est pourquoi la fiabilité du système de téléjaugage et du système d'alarme de haut niveau doit satisfaire aux exigences mentionnées dans les normes de sécurité fonctionnelle. Pour en savoir davantage à ce sujet, se reporter au chapitre 10.

1.3.6 Détection de fuites

Si le système de téléjaugage est suffisamment précis et stable, il peut être utilisé pour la détection de fuites. Lorsqu'un bac est installé et fermé, le système de téléjaugage peut être réglé pour détecter les moindres mouvements de liquide. Il est recommandé de baser la détection des fuites sur le Volume net standard (NSV) plutôt que sur le simple niveau du liquide. La surveillance du NSV permet de compenser les mouvements de niveau entraînés par les variations de température. Une bonne détection des fuites dépend de la précision du comptage transactionnel.

1.3.7 Rapprochement des volumes

L'exploitation du parc de bacs de stockage nécessite une gestion précise des transactions et un rapprochement des transferts par rapport à l'inventaire physique. Chaque entreprise est responsable de ses opérations ; les rapports de rapprochement et d'erreur fournissent les audits et la traçabilité souvent nécessaires à une bonne exploitation. Le système de téléjaugage permettra l'acquisition immédiate des données et apportera une réponse adéquate nécessaire pour une comptabilité et un rapprochement quotidiens précis.

Il est possible de surveiller les débitmètres lorsque les données de transfert provenant des compteurs sont comparées à celles des rapports de lot établies par le système de téléjaugage.

1.3.8 Surveillance de toit flottant

Les toits flottants peuvent générer des problèmes opérationnels et de sécurité et causer des dommages mécaniques considérables, des débordements et des rejets de vapeur d'hydrocarbures explosifs. Le contenu du bac peut également être contaminé. Un dysfonctionnement du bac peut être dû à un toit bloqué en raison de l'endommagement ou d'un montage incorrect des joints de bordure. La flottabilité et la position du toit peuvent également être dangereusement affectées par des fuites au niveau des pontons, des débordements, des vents violents et des vidanges inadéquates durant de fortes précipitations ou d'importantes chutes de neige. Une fonction de surveillance de toit flottant permet de détecter si un toit dans un bac de stockage est coincé, incliné, flotte plus haut ou plus bas que d'ordinaire, a coulé, ou s'il est couvert par de l'eau ou un produit.

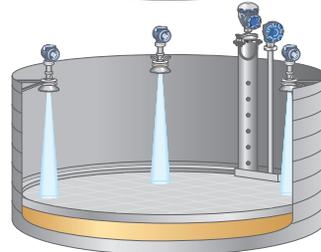
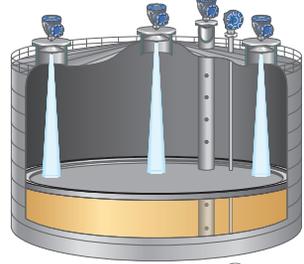


Figure 1.7 : Jusqu'à six instruments de mesure du niveau sans contact sont placés au niveau de la robe du bac ou au-dessus de l'extérieur du toit. L'inclinaison du toit est suivie en comparant la distance entre chaque instrument et le toit flottant.

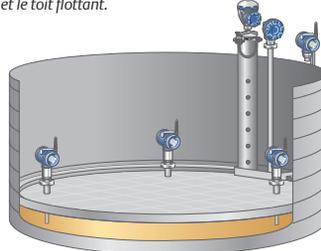


Figure 1.8 : Jusqu'à six transmetteurs de niveau à ondes guidées peuvent être installés directement sur le toit flottant, avec des sondes rigides traversant le toit et s'immergeant dans le liquide au-dessous. L'inclinaison du toit est suivie en comparant la distance entre le toit flottant et la surface du produit. Avec un ou deux transmetteurs supplémentaires, il est également possible de détecter si l'égoût de toit est bouché ou si des hydrocarbures sont détectés sur le toit du bac.

2

Technologies de téléjaugage

Rubrique	Page
2.1	Jaugeage manuel _____ 8
2.2	Jauges à flotteur _____ 9
2.3	Jauges à servomoteur _____ 9
2.4	Jauges radar _____ 10
2.5	Différents types de jauges radar _____ 11
2.5.1	Jauges de niveau radar de procédé _____ 11
2.5.2	Jauges radar de téléjaugage _____ 11
2.6	Sélection de la fréquence radar _____ 13
2.7	Bacs sous pression _____ 14

2. Technologies de téléjaugeage

Outre le jaugeage manuel à l'aide d'un ruban à mesurer, les jaugeurs automatiques ont évolué au cours du temps. La plupart des appareils mécaniques sont en contact avec le liquide. Les appareils de téléjaugeage électroniques modernes ne sont pas en contact avec le liquide et sont dépourvus de pièces mobiles.

2.1 Jaugeage manuel

Le jaugeage manuel est compatible avec la plupart des bacs atmosphériques. On utilise un ruban de mesure spécialement conçu à cet effet. Ceux-ci sont généralement fabriqués en acier inoxydable, portent un poids à l'extrémité du ruban et sont gradués en millimètres ou en fraction de pouces. Le ruban est utilisé pour mesurer le creux ou le plein (niveau de liquide).

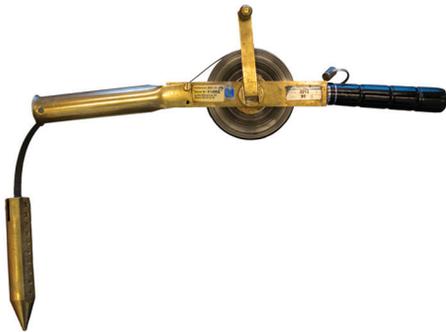


Figure 2.1 : Ruban manuel.



Figure 2.2 : Jaugeage manuel à l'aide d'un ruban.

Le creux est la distance entre le point de référence du bac et la surface du liquide. Le niveau du bac est ensuite calculé en prenant la hauteur de référence à laquelle on retranche le creux mesuré. Les mesures de creux sont souvent utilisées sur des liquides plus lourds, comme les huiles noires et le pétrole brut.

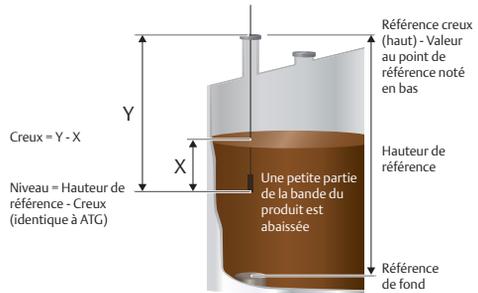


Figure 2.3 : Définitions de la mesure manuelle du creux.

Une mesure directe du niveau (plein) peut également être effectuée avec un ruban de mesure. Cette méthode est utilisée sur des liquides propres car le ruban sera immergé sur toute la hauteur du bac. Lors de la mesure de produits propres à l'aide d'un ruban, une pâte d'indication est utilisée pour rendre visible la surface.

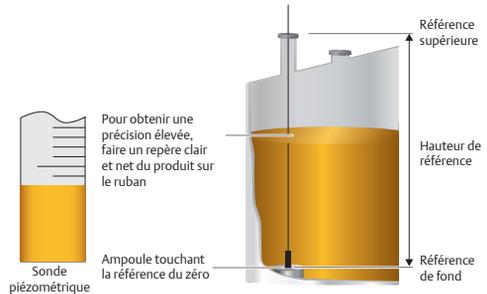


Figure 2.4 : Définitions de mesure de niveau manuelle.

Pour un jaugeage manuel adéquat et précis, un ruban nouvellement étalonné et de haute qualité est requis. Sur des bacs chauffés, il peut être nécessaire de calculer la dilatation thermique du ruban pour obtenir une bonne précision de mesure.

Le chapitre 3.1A du MPMS de l'API décrit comment effectuer correctement le jaugeage manuel d'un bac.

2.2 Jauges à flotteur

Le téléjaugeage automatique de bac est apparu dans les années 1930. La jauge à flotteur fut l'une des premières conceptions de jauges de bac. Dans cette configuration, un grand flotteur à l'intérieur du bac est relié à un ruban métallique. Le ruban est relié à un moteur à ressort et à un indicateur numérique mécanique à l'extrémité inférieure de l'extérieur du bac à travers un système de poulie. La jauge à flotteur ne nécessite aucune alimentation externe, l'ensemble du mécanisme étant mû par le mouvement du niveau de liquide.

Pour la surveillance à distance, la jauge à flotteur peut être équipée d'un transmetteur. Le transmetteur transmet les valeurs de niveau du bac via les câbles de signal vers la salle de commande.

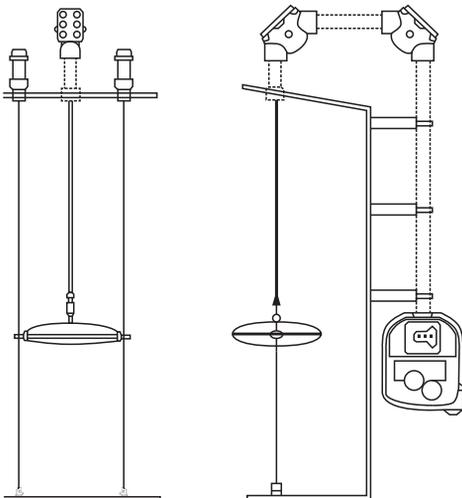


Figure 2.5 : La jauge à flotteur et à bande a été introduite vers 1940.

Les performances de précision d'une jauge à flotteur sont souvent faibles. Il existe de nombreuses sources d'erreurs dans les mécanismes, telles que les différences de flottabilité, la bande morte, le jeu et l'hystérésis. Si quelque chose ne fonctionne pas correctement au niveau du flotteur, du ruban ou des fils-guides, il est nécessaire d'effectuer des travaux de maintenance à l'intérieur du bac. En attendant une réparation, la jauge à flotteur ne peut effectuer aucune mesure.

La jauge à flotteur est un appareil relativement simple, mais qui possède de nombreuses pièces mobiles nécessitant une maintenance et une réparation au cours de son cycle de vie.

2.3 Jauges à servomoteur

Dans les années 1950, le développement de la mécanique et de l'électronique a conduit à la découverte de la jauge à servomoteur. Avec ce type de jauge, le flotteur est remplacé par un petit plongeur. Le plongeur possède des caractéristiques de flottabilité, mais ne flotte pas sur le liquide. Le plongeur doit être suspendu par un fil mince qui est relié à la jauge à servomoteur sur le dessus du bac de stockage. Un système de pesée dans la jauge à servomoteur détecte la tension dans le fil et les signaux du mécanisme de pesage contrôlent un moteur électrique dans l'unité d'asservissement, de sorte que le plongeur puisse suivre les mouvements du niveau de liquide. Un transmetteur électronique envoie les informations de niveau via des bus de terrain pour être lues en salle de commande.

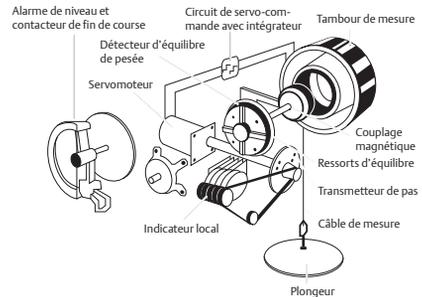


Figure 2.6 : Jauge à servomoteur.

Pour empêcher toute dérive du plongeur dans le bac, un puits de tranquillisation est nécessaire partout où une jauge à servomoteur est installée. Ceci est également nécessaire dans les bacs à toit fixe.

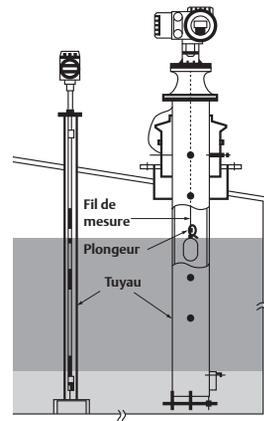


Figure 2.7 : Jauge à servomoteur et sonde de température mesurant l'intérieur des puits de tranquillisation.

2 - Technologies de téléjaugage

La jauge à servomoteur fonctionne généralement mieux qu'une jauge à flotteur. Une jauge à servomoteur nouvellement étalonnée peut répondre aux critères de précision du comptage transactionnel. Cependant, la jauge à servomoteur comporte de nombreuses pièces mobiles, et d'autre part, le plongeur et le fil sont en contact avec le liquide du bac. Par conséquent, les jauges à servomoteur nécessitent plus d'attention en termes d'étalonnage, d'entretien de routine et de réparation.

Jauges à servomoteur utilisées pour mesurer la masse volumique et l'eau

Certains fabricants de jauges à servomoteur affirment que celles-ci peuvent être utilisées à des fins autres que la mesure de niveau. La jauge à servomoteur peut être utilisée pour mesurer la masse volumique du liquide et les niveaux de fond d'eau, bien que dans les deux cas, la jauge de niveau soit inhibée tandis que la jauge à servomoteur actionne un plongeur dans le produit. En mesurant la tension du fil, il est possible de mesurer la masse volumique du liquide à différents niveaux dans le bac. Une fois la détection du fond d'eau effectuée, le plongeur est abaissé jusqu'à ce qu'il touche le niveau d'eau libre au fond du bac. Ces deux actions combinées peuvent encrasser le fil, le plongeur et le tambour de fil, créant à la longue un problème de maintenance. L'inconvénient le plus important est l'absence de jaugage de niveau lors de ces exercices d'abaissement du plongeur. Il convient également de noter que la mesure de la masse volumique à l'aide d'une jauge à servomoteur n'est reconnue par aucune norme d'ingénierie/jaugage.

Aujourd'hui, les jauges à flotteur et les jauges à servomoteur sont remplacées par la méthode de téléjaugage moderne basée sur la technologie radar.

2.4 Jauges radar

Les premières versions de jauges radar ont été réalisées dans les années 1970 (le terme « micro-ondes » est également utilisé au lieu de « radar »). Les premières versions ont été installées sur des navires pétroliers. La technologie radar a rapidement gagné en popularité et a depuis lors été la seule technologie de jaugage de niveau utilisée dans tous les grands navires-citernes.



Figure 2.8 : La mesure de niveau par radar a été introduite pour des applications marines par Saab en 1976.

Au début des années 1980, la technologie de téléjaugage radar s'est étendue aux bacs de stockage terrestres. La technologie radar a rapidement gagné des parts de marché pour devenir aujourd'hui le meilleur choix possible pour tout projet de téléjaugage. Depuis les années 1980, de nombreuses jauges radar ont été commercialisées pour le téléjaugage et d'autres applications de niveau. Aujourd'hui, il existe sur le marché une grande quantité d'instruments radar capables de remplacer efficacement les capteurs mécaniques, ultra-soniques et capacitifs grâce à leurs avantages inhérents.

Une jauge de niveau radar est dépourvue de pièces mobiles et ne nécessite aucune maintenance régulière. Les appareils radar ne nécessitent aucun contact direct avec le liquide. Dès lors, il est possible d'utiliser une jauge radar sur une grande variété de liquides, de l'asphalte lourd chauffé aux gaz liquéfiés cryogéniques comme le gaz naturel liquéfié (GNL).

Une bonne jauge radar de bac peut facilement fournir un jaugage fiable pendant plus de trente ans.



Figure 2.9 : Première jauge radar de haute précision installée en 1985 sur un bac de raffinerie.

Si le radar est conçu correctement, il ne nécessite aucun réétalonnage après le premier réglage sur le bac.

2 - Technologies de téléjaugeage



Figure 2.10 : Jauge de niveau radar moderne sur un bac à toit fixe.

2.5 Différents types de jauges radar

Il existe de nombreuses jauges de niveau radar sur le marché. Plusieurs sont réalisées pour des applications de procédé où haute précision et stabilité ne sont pas les objectifs principaux. Plus importants sont le coût unitaire ainsi que d'autres considérations liées à ces applications.

2.5.1 Jauges de niveau radar de procédé

Les appareils radar de procédé sont conçus pour une grande variété d'applications différentes dans l'industrie des procédés. Les jauges radar de procédé sont confrontées à des défis communs, notamment une combinaison de haute pression et haute température avec une forte agitation dans le bac. Dans ces conditions, une précision de haut niveau n'est pas l'objectif principal. Des caractéristiques telles qu'une haute fiabilité et une maintenance réduite sont plus importantes. Le radar à impulsions est la technologie dominante dans la plupart des transmetteurs radar pour les applications de procédé. Le radar à impulsions permet un téléjaugeage fiable à faible coût et à faible puissance dans des conditions difficiles. Les transmetteurs radar de procédé sont en général des unités à 2 fils pilotées par un bus à boucle de 4-20 mA alimenté, ou sans fil alimenté par batterie. Ils sont soit de type à propagation libre, soit de type à onde guidée. Les transmetteurs radar à propagation libre sont dotés d'un cône, d'une lentille ou d'une antenne parabolique. Le type à onde guidée possède une antenne solide ou flexible qui dépasse dans le bac.

Il existe un large éventail d'appareils radar de procédé, et les fabricants sur le marché desservent différents segments de marché, tels que l'industrie chimique, le secteur du pétrole et du gaz, et l'industrie agroalimentaire.

Actuellement, les transmetteurs radar basés sur la technologie à impulsions sont moins précis que les transmetteurs basés sur la méthode FMCW utilisés pour les applications de téléjaugeage de bacs.



Figure 2.11 : Transmetteur radar pour mesure de niveau sans contact et transmetteur de niveau radar à ondes guidées pour les applications de procédé.

2.5.2 Jauges radar de téléjaugeage

Pour satisfaire aux exigences de haute performance en matière de précision de comptage transactionnel dans les applications de téléjaugeage, les appareils radar utilisent généralement la méthode de traitement de signal à onde continue à fréquence modulée (FMCW). La méthode FMCW est parfois désignée sous le nom d'« impulsion synthétisée ».

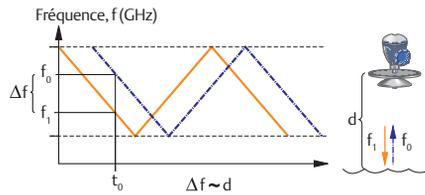


Figure 2.12 : Méthode FMCW.

La méthode FMCW est capable de fournir une précision de mesure de niveau d'instrument supérieure à un millimètre sur une portée de plus de 50 mètres.

Depuis qu'elle a vu le jour dans les années 1970, la technologie de téléjaugeage radar basée sur la méthode FMCW s'est développée rapidement. Plusieurs générations de jauges radar ont été commercialisées. Le dernier modèle a été miniaturisé, de sorte que deux unités radar peuvent partager le même petit boîtier et fournir une fiabilité et une précision jamais observées auparavant. Parallèlement, la consommation électrique a été réduite au point que les jauges radar peuvent être totalement intrinsèquement sécurisées et ne nécessiter qu'un bus à 2 fils pour l'alimentation et la communication.

2 - Technologies de téléjaugeage

Afin de garantir la précision du téléjaugeage radar, la méthode FMCW est nécessaire, mais pas suffisante. Les jauges radar de précision doivent également disposer d'antennes micro-ondes spécialement conçues pour pouvoir assurer à la fois la précision de l'instrument et la précision installée conformément aux normes de comptage transactionnel.

Une propriété importante des antennes radar est qu'elles doivent être conçues de manière à ce que toute condensation s'égoutte rapidement. Par conséquent, les antennes situées à l'intérieur des bacs nécessitent des surfaces en pente pour éviter l'accumulation de liquides de condensat.



Figure 2.13 : Conception de l'antenne, sans surface horizontale, selon la norme de l'American Petroleum Institute (API ch. 3.1B ed. 1).

Trois principaux types d'applications sont disponibles pour les jauges radar :

- Installation sur bacs à toit fixe
- Installation sur bacs à toit flottant, sur puits de tranquillisation
- Installation sur des bacs avec gaz liquéfiés, sous pression ou cryogéniques

Une jauge radar doit pouvoir fournir la plus haute précision lorsqu'elle est montée sur des ouvertures de bac existantes. Sur un bac à toit fixe, les ouvertures appropriées de téléjaugeage se trouvent normalement sur le toit à proximité de la paroi du bac.

Cette position est idéale en raison de la stabilité fournie par la paroi du bac et du minimum de fléchissement du



Figure 2.14 : Ouvertures de bac à toit fixe.

toit qui en résulte. Une jauge radar doit pouvoir fournir la plus grande précision même lorsqu'elle est placée à proximité de la paroi du bac. Les antennes disposant d'un faisceau de micro-ondes étroit sont les mieux adaptées à ces emplacements à proximité immédiate de la paroi du bac. Plus l'antenne est grande, plus le faisceau de micro-ondes est étroit.

Sur un bac à toit flottant, le puits de tranquillisation est situé à l'endroit où se tient une jauge de niveau

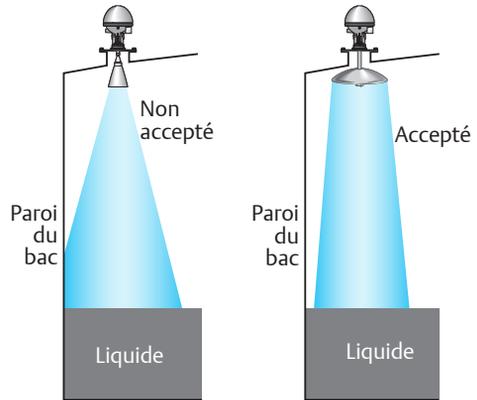


Figure 2.15 : Jauges radar à large faisceau (petite antenne) et à faisceau étroit (grande antenne).

de liquide, car le reste de la surface du liquide est recouvert par le toit flottant. Une antenne radar de téléjaugeage pour puits de tranquillisation doit être conçue de manière à pouvoir utiliser des puits de tranquillisation existants de tailles et de configurations différentes. Le puits de tranquillisation doit être doté de rainures ou de trous pour permettre un bon mélange du liquide entre l'intérieur et l'extérieur du puits. En l'absence de trous ou rainures, il est probable que le niveau de liquide à l'intérieur du puits soit différent de celui du reste du bac. Si le puits est rempli par le bas, un produit plus lourd s'accumulera dans le puits. Les rainures ou les trous empêchent cela.

Une jauge radar pour applications avec un puits de tranquillisation doit pouvoir supporter un puits de tranquillisation doté de grands trous/rainures tout en fournissant une grande précision. Elle doit également fonctionner avec la plus grande précision même si le puits est rouillé ou encrassé de l'intérieur.

De plus, une antenne de puits de tranquillisation doit être conçue de manière à fournir un accès au puits de tranquillisation pour d'autres tâches, telles que l'échantillonnage et le jaugeage manuel.



Figure 2.16 : Le mode Faible perte de mesure radar peut être utilisé pour éliminer pratiquement toute dégradation de la mesure dans les anciens puits de tranquillisation.

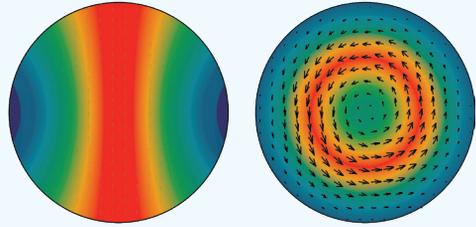


Figure 2.17 : Mode Faible perte H01 illustré.

Utilisation d'un puits de tranquillisation comme guide d'ondes

Les guides d'ondes de forme tubulaire supportant le mode H01 sont capables de fournir une atténuation de seulement quelques décibels par kilomètre. De tels guides d'ondes sous forme de tube ont été testés pour servir de canaux de télécommunication à travers les pays. Le même mode de propagation H01 à faible perte est utilisé avec succès dans les applications de jaugeage radar des bacs depuis de nombreuses années.

Dans les bacs de stockage normaux, les puits de tranquillisation sont de forme tubulaire, souvent de taille comprise entre 5 et 12 po ou 125 et 300 mm de diamètre. Ces tubes peuvent servir de guides d'ondes pour le télégaugeage radar dans la gamme de fréquences de 10-11 GHz. Un guide d'ondes comportant des trous et des rainures, auxquels s'ajoutent un encrassement et des résidus de soudure entre les sections de tuyauterie, entraînera des pertes de micro-ondes et rendra le puits de tranquillisation inadapté pour le télégaugeage. Cependant, en utilisant le mode Faible perte de propagation H01, les problèmes liés aux trous et rainures du guide d'ondes sont pratiquement éliminés. Il est prouvé que des puits de tranquillisation ayant plus de 30 ans de service de pétrole brut fonctionnent parfaitement comme guide d'ondes pour un télégaugeage radar précis à condition d'utiliser le mode Faible perte H01.



Figure 2.18 : Accès de jaugeage manuel dans un puits de tranquillisation.

2.6 Sélection de la fréquence radar

Pour les applications de télégaugeage, les principales qualités requises sont la fiabilité de la mesure et la précision. Pour répondre aux exigences, il est important de choisir la conception d'antenne optimale et la bonne fréquence de micro-ondes. Lorsque des puits de tranquillisation sont utilisés

comme guides d'ondes, il apparaît que les fréquences optimales sont les fréquences de la bande X. Les bacs de stockage à toit fixe sans puits de tranquillisation ont souvent des ouvertures de bac de tailles de 200 à 600 mm (8 à 24 po) de diamètre. Des antennes adaptées à de telles ouvertures sont celles qui peuvent gérer la condensation d'eau lourde et l'encrassement. Dans ces conditions, la conception de l'antenne (cornet, cône ou parabolique) s'est avérée être très efficace, d'autant plus qu'elles peuvent être conçues avec des surfaces d'égouttage. Dans cette gamme de taille, de telles antennes se distinguent par leurs excellentes performances lorsqu'elles sont utilisées dans des plages de fréquences comprises entre 9 et 10 GHz (bande X).

Des fréquences plus élevées sont utilisées dans les jauges radar de procédé pour pouvoir ajuster des antennes plus petites dans des ouvertures de bac étroites. Cependant, de petites antennes et des fréquences plus élevées ont tendance à augmenter la sensibilité à la condensation et à l'accumulation de saleté.

2.7 Bacs sous pression

Les antennes micro-ondes nécessitent des caractéristiques spéciales lorsque qu'elles sont utilisées pour le téléjaugage en bacs sous pression :

- L'antenne doit pouvoir résister à la pression exercée par le bac.
- Une vanne d'isolement doit être présente pour la protection et pour répondre aux exigences de sécurité.
- Elle doit avoir la capacité de compenser les atmosphères de bac à haute densité ainsi que tous les effets sur la vitesse de propagation des micro-ondes.
- Il doit être possible de vérifier les performances de la jauge durant les opérations normales du bac.

Pour répondre à tous ces critères, des solutions existent, à savoir une bonne conception de l'antenne et de la jauge. Se reporter au [chapitre 7](#) pour en savoir plus sur le téléjaugage dans des bacs sous pression.



Figure 2.19 : Capteur de jauge radar comprenant une compensation de l'atmosphère lourde dans un bac de GPL.

3

Normes et certifications techniques

Rubrique	Page
3.1 Normes de l'American Petroleum Institute (API) _____	17
3.1.1 Chapitres 3.1A et 3.1B _____	18
3.1.2 Chapitre 3.3 : Mesure de niveau dans des bacs sous pression _____	20
3.1.3 Chapitre 3.6 : Système de jaugeage de téléjaugeage hybride _____	21
3.1.4 Chapitre 7 : Détermination de la température _____	22
3.2 Normes ISO _____	22
3.3 OIML _____	23
3.4 Instituts nationaux de métrologie _____	24
3.4.1 Nederlands Meetinstituut (NMI) _____	24
3.4.2 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) _____	25
3.4.3 Institut de recherche technique de Suède (SP) _____	25
3.4.4 Autres instituts nationaux _____	25

3. Normes et certifications techniques



Le téléjaugeage est soumis à un certain nombre de normes internationales. Ces normes ont pour objectif principal de servir de guide pour les utilisateurs et les fabricants d'équipements de téléjaugeage. Les membres des groupes de travail en charge du développement de ces documents sont dans la plupart des cas des utilisateurs expérimentés de l'industrie pétrolière ou des fabricants possédant des connaissances considérables sur le téléjaugeage. Il est important que les groupes de travail établissent un bon équilibre entre les utilisateurs et les fabricants, afin d'éviter toute partialité. La tendance actuelle est d'éviter autant que possible les normes spécifiques à la technologie et de spécifier les exigences relatives aux équipements pour une certaine application. Cela laisse la porte ouverte pour permettre à toute technologie de se conformer, si tant est qu'elle puisse prouver qu'elle satisfait aux exigences.

Prouver la conformité à une norme n'est certes pas toujours facile, car il faut une autorité/un organisme indépendant possédant les connaissances et les ressources nécessaires pour tester un système de téléjaugeage. L'ISO (Organisation internationale de normalisation) et l'API (American Petroleum Institute) sont responsables des normes les plus importantes de téléjaugeage, bien qu'ils ne disposent pas de leur propre organisme de test et ne soient pas structurés comme des instituts d'essais typiques.

Au lieu de cela, ce sont les autorités métrologiques nationales d'un pays qui devraient détenir cette expertise. Suivant la façon dont le comptage transactionnel basé sur l'équipement de téléjaugeage a été mis en œuvre dans leur pays, elles disposent (dans une mesure variable) de l'expérience, des

compétences et des ressources nécessaires. Par conséquent, dans les pays où il existe des exigences légales portant sur l'équipement de téléjaugeage, il faudra prévoir également au sein d'une organisation métrologique un service chargé des aspects juridiques de l'équipement de téléjaugeage. Voici comment cela fonctionne généralement :

1. Le gouvernement est responsable de l'application de la loi (exigences légales relatives au téléjaugeage) et délivre une accréditation à un institut national d'essai par l'intermédiaire d'un organisme d'accréditation.



2. L'institut d'essai doit montrer à l'organisme d'accréditation qu'il possède les compétences et l'expertise requises pour effectuer les tests, et doit également définir une procédure d'essai.



3. Après certification par l'organisme d'accréditation, l'institut de test bénéficie du droit d'effectuer des tests et peut ensuite générer un rapport d'essai. Si le rapport d'essai est conforme aux exigences de comptage transactionnel, une certification peut être délivrée.

Heureusement, les différents instituts nationaux du monde qui effectuent des tests travaillent en coopération au sein d'une organisation appelée OIML (Organisation internationale de métrologie légale). Dans cette organisation, un certain nombre de procédures de test ont été définies ; d'autre part, une procédure spéciale appelée [R 85 \(Recommandation 85\)](#) est prévue pour l'équipement de téléjaugeage.

Étant donné que la plupart des pays qui ont défini les exigences en matière de comptage transactionnel légal sont membres de l'OIML, la procédure d'essai pour obtenir la certification nationale est essentiellement la même dans chaque pays de l'OIML et est conforme à la R 85. Il peut y avoir d'un pays à l'autre des différences mineures entre les exigences, mais en principe, un pays qui est membre de l'OIML ne devrait pas adopter d'autres exigences que celles prescrites par la R 85.

Un système de téléjaugeage qui a été testé par un institut accrédité OIML R 85 dans un pays n'a donc pas besoin d'être à nouveau testé dans un autre pays.

3 - Normes et certifications techniques

Cependant, on ne peut pas assumer que l'homologation sera automatique dans chaque nouveau pays, vu que le rapport d'essai R 85 original sera souvent soumis à un examen approfondi pour vérifier que la procédure R 85 a été suivie comme prévu.

Étant donné que de nombreuses normes OIML R 85 de téléjaugeage de niveau ont été harmonisées avec les exigences définies dans les normes ISO et API, cela implique dans la plupart des cas qu'une jauge de niveau qui satisfait aux critères de test selon OIML R 85 répond également aux exigences selon ISO et API. Il convient toutefois de noter que l'OIML R 85 ne couvre que les essais des fonctions des jauges de niveau. Les mesures de température ou de masse volumique du produit ne sont pas couvertes par l'OIML pour l'instant ; voir la [section 3.3](#).



Figure 3.1 : Puits de tranquillisation dans un bac de pétrole brut à toit flottant ouvert.

Il convient de noter également un autre aspect des normes. Si un accident tel qu'un débordement de bac (ou, dans le pire des cas, un incendie entraînant des victimes) se produit dans une usine de pétrole, il s'ensuivra probablement une action en justice et/ou des poursuites pénales. Dans le cadre de telles procédures judiciaires, le statut de l'installation complète du système de téléjaugeage de niveau est susceptible d'être examiné. Cela soulève une question très importante : « Le système de téléjaugeage de niveau est-il installé et exploitable selon les règles de l'art en usage ? »

Si tel n'est pas le cas et que l'installation ou le système téléjaugeage de niveau est en mauvais état, il est probable que le propriétaire de l'usine pourrait être condamné à des amendes sérieuses,

payer d'énormes dommages-intérêts, voire même être passible d'emprisonnement. En revanche, si le propriétaire peut montrer que l'équipement ou l'installation est conforme à une norme de bonne réputation, comme les normes API ou ISO, il peut être difficile de prouver que l'état de l'équipement n'est pas conforme aux « règles de l'art en usage ». En particulier, les consignes du chapitre 3.1A et du chapitre 3.1B du Manual of Petroleum Measurement Standards (MPMS) de l'API sont importantes à cet égard, car elles incluent plusieurs consignes qui pourraient être définies comme des « règles de l'art en usage » ; voir l'exemple suivant :

Exemple 3.1 : Règles de l'art en usage

Le chapitre 3.1 A du MPMS de l'API fait des recommandations sur la manière de concevoir un puits de tranquillisation dans un bac à toit flottant, et en particulier la taille minimale de trou nécessaire pour assurer une bonne circulation du produit de l'extérieur du puits vers l'intérieur. Il est évident que la présence de trous trop petits (ou l'absence de trous) risquerait d'entraîner un débordement étant donné que la jauge de niveau montée sur le puits de tranquillisation indiquerait dans un tel cas un niveau trop bas, le niveau à l'extérieur du puits étant plus élevé. En revanche, l'utilisateur ne souhaite pas que la taille des trous soit excessive, car cela augmenterait l'évaporation du produit et entrerait en conflit avec les réglementations environnementales. En se conformant à la recommandation du chapitre 3.1A du MPMS de l'API, le propriétaire suivrait les recommandations émises par les personnes les plus compétentes dans l'industrie pétrolière.

3.1 Normes de l'American Petroleum Institute (API)

Les normes de l'API sont bien connues de la plupart des gens du secteur pétrolier. Une caractéristique importante des normes de l'API est qu'elles fournissent des informations basées sur l'expérience très utiles concernant les problèmes quotidiens de téléjaugeage et la façon de les résoudre. Elles résument également le savoir-faire des enquêtes pratiques menées par les départements de recherche des principales compagnies pétrolières. Spécifiquement pour le téléjaugeage, il existe des normes API importantes dans le MPMS, telles que :

- **Chapitre 3.1A** Pratique standard pour le jaugeage manuel du pétrole et des produits pétroliers



L'American Petroleum Institute (API) a été créé dans la ville de New York en 1919, suite à une volonté de former une association nationale pour représenter l'industrie du pétrole et du gaz dans les années d'après-guerre.

Basée aujourd'hui à Washington D.C., l'API est la plus grande association professionnelle des États-Unis pour l'industrie du pétrole et du gaz naturel. Elle représente environ 650 entreprises de l'industrie pétrolière intervenant principalement dans les domaines de la production, du raffinage et de la distribution.

La fonction principale de l'API est de parler au nom de l'industrie du pétrole et du gaz naturel afin d'influencer les politiques publiques en soutien à l'industrie. Elle a notamment des fonctions de défense, de négociation, de lobbying, de recherche, d'éducation et de certification des normes du secteur.

- **Chapitre 3.1B** Pratique standard de mesure du niveau des hydrocarbures liquides dans des bacs stationnaires par téléjaugeage automatique
- Chapitre 3.3 Pratique standard de mesure du niveau des hydrocarbures liquides dans les bacs de stockage sous pression stationnaires par téléjaugeage automatique
- Chapitre 3.6 Mesure des hydrocarbures liquides par les systèmes de mesure de bac hybride
- Chapitre 7 Détermination de la température
- Chapitre 7.3 Détermination de la température - Systèmes de température automatiques en bac fixe
- API 2350 Protection antidébordement des bacs de stockage dans des installations pétrolières

Ces normes sont brièvement décrites ci-après.

3.1.1 Chapitres 3.1A et 3.1B

Le chapitre 3.1A du MPMS de l'API a trait à la manière d'effectuer des mesures manuelles selon les règles de l'art en usage. Étant donné que la mesure manuelle dans le bac sert de référence pour la mesure automatique avec des jauges de niveau, il est extrêmement important que la jauge manuelle fonctionne correctement. Le chapitre 3.1A comprend des informations détaillées aussi bien sur la façon d'effectuer correctement une mesure manuelle que sur la mauvaise manière de procéder. Cette procédure peut sembler très simple à première vue, bien qu'il soit surprenant de constater que les écarts fréquents entre une valeur relevée à la main

et une valeur relevée à partir d'une jauge de niveau automatique sont dus à une immersion manuelle imprécise. La raison en est que des équipements médiocres, tels que des sondes piézométrique manuelles inexactes/non étalonnées, ont été utilisés, les corrections de température de la sonde n'ont pas été réalisées, l'immersion de la sonde piézométrique a été effectuée sur une surface en mouvement/turbulente, ou la personne qui a effectué l'immersion de la sonde piézométrique a été négligente, etc.

Autre raison commune de l'écart observé : les propriétés mécaniques du bac et son instabilité. L'influence de l'instabilité mécanique s'explique comme suit : la jauge de niveau mesure la distance de son point de référence à la surface du liquide et calcule le niveau en soustrayant la distance mesurée (creux) de la hauteur de référence (la distance de la trappe de jaugeage à la plaque de référence, voir [chapitre 2 figure 2.1](#)).

La personne qui utilise la sonde piézométrique manuelle mesure la distance depuis la plaque de référence jusqu'à la marque que le produit laisse sur le ruban ; par conséquent, si la hauteur de référence varie en raison d'une contrainte mécanique ou thermique, il y aura un écart. La hauteur de référence varie en fonction du type de bac et de la conception du bac. Dans le MPMS de l'API, chapitre 3.1A (et aussi au chapitre 3.1B), se trouvent des informations utiles sur la façon de concevoir des bacs avec une variation minimale de la hauteur de référence. Il faut mentionner certaines consignes de base importantes :

3 - Normes et certifications techniques

Bac avec puits de tranquillisation :

- Si le bac est équipé d'un puits de tranquillisation, il est important qu'il soit fixé correctement au fond du bac et qu'il ne soit guidé que par le haut ; voir la figure 3.2.

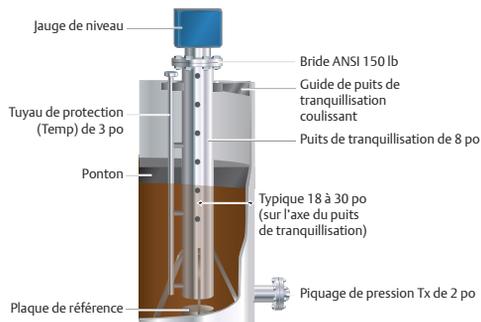


Figure 3.2 : Puits de tranquillisation fixé au fond du bac.

- S'il est attaché à la paroi, l'effet de bombement de la paroi du bac en raison d'une forte pression statique du liquide ne doit pas entraîner de déplacement vertical du puits de tranquillisation. Une charnière comme celle illustrée à la figure 3.3 devrait éviter cela.

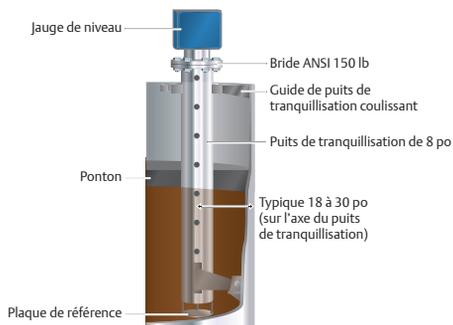


Figure 3.3 : Puits de tranquillisation fixé à la paroi du bac.

- La plaque de référence (la plaque de référence d'immersion manuelle) doit être fixée au puits de tranquillisation et non installée au fond du bac, sauf si le puits de tranquillisation se trouve directement sur le fond du bac.

Bac à toit fixe sans puits de tranquillisation :

- Pour éviter les mouvements entre le point de référence de la jauge de niveau et la trappe de jaugeage, la jauge de niveau doit être installée à proximité de la trappe de jaugeage.
- Lorsque la jauge de niveau est installée sur une voie de passage sur le toit, la flexion du toit où se situe la jauge de niveau doit être minimisée. La meilleure pratique consiste à installer la jauge de niveau « suffisamment » à proximité de la paroi du bac où le toit est le plus stable. (La notion de « suffisamment » dépend du type de jauge de niveau ; voir les informations pertinentes sur l'installation de la jauge de niveau.)

Certaines des variations de hauteur de référence peuvent également être compensées avec une jauge de niveau moderne. Le critère d'utilisation de cette option est la prévisibilité de la variation. Le bombement de la paroi du bac est un exemple, car il ne concerne que la pression statique sur la paroi du bac, et il est donc prévisible. Si la hauteur de référence est mesurée à un certain nombre de niveaux de produit différents, il est possible de programmer la modification dans la jauge de niveau et de compenser la valeur de niveau pour la variation de hauteur de référence. Une autre variation prévisible est l'influence thermique sur la paroi du bac ou le puits de tranquillisation. En utilisant les informations de température à partir d'une sonde de température multipoint, la jauge de niveau peut compenser l'expansion/contraction provoquée par des variations de température. Pour un bac à toit fixe, ce calcul de compensation dépend à la fois de la température ambiante et de la température du liquide. Le chapitre 3.1A décrit comment ces paramètres doivent être pris en compte.



Figure 3.4 : Les trous d'homme sont normalement situés près de la paroi du bac, ce qui assure une stabilité mécanique.

3 - Normes et certifications techniques

Le chapitre 3.1A manque d'une description plus précise de la façon de manipuler la sonde piézométrique manuelle et de la façon de réaliser des corrections sur le ruban. Certains utilisateurs mesurent le creux (la distance d'un point de référence dans la trappe d'immersion à la surface du liquide) au lieu du niveau. Ceci est courant pour les produits lourds car cela permet d'éviter que le ruban entier ne soit recouvert de produit. Le jaugeage manuel d'un bac rempli de bitume par temps froid avec une sonde piézométrique abaissée jusqu'au fond rendra la bande inutilisable.

Lorsque la sonde est insérée dans des bacs chauffés, il est très important de faire une correction de température du ruban. Exemple :

- Une sonde piézométrique manuelle a typiquement un coefficient de dilatation thermique de 12 ppm / °C et est étalonnée à 20 °C.
- Dans un bac de bitume à une température de 220 °C et à une distance de 20 m, le ruban mesurera : $(220-20) \times 12 \times 10^{-6} \times 20000 = 48$ mm de plus.
- Le ruban affichera donc une erreur de 48 mm à 20 m de distance.

Il est clair que dans le cas cité ci-dessus, la correction de température est nécessaire. Cela vaut également dans les bacs chauffés à des températures plus basses, comme le mazout, etc., où une correction de la température est nécessaire pour obtenir une incertitude aux conditions de référence dans une plage de quelques millimètres.

Une autre méthode de jaugeage manuel utilisée par certains consiste à fixer une barre métallique à la sonde piézométrique manuelle et à positionner le ruban en plaçant la barre sur la trappe de jaugeage et en ne plongeant que l'extrémité la plus basse de la bande dans le liquide. Après avoir soustrait la mesure du liquide sur le ruban de la valeur sur le ruban sur laquelle la barre était fixée, il est possible d'obtenir une lecture très précise. Il s'agit d'une méthode de mesure du creux, et les variations de la hauteur de référence n'influenceront pas la lecture, sauf pour les variations de la position de référence de la jauge de niveau par rapport à la position de la trappe de jaugeage.

Le MPMS de l'API (chapitre 3.1A et chapitre 3.1B) recommande vivement à l'utilisateur de mesurer la hauteur de référence en même temps que le jaugeage manuel du niveau du liquide. C'est une méthode très directe, et elle indique immédiatement à l'utilisateur si l'écart est lié à la jauge de niveau ou à l'instabilité mécanique du bac.

Dans le chapitre 3.1B du MPMS de l'API, l'accent est mis sur l'équipement automatique de jaugeage de bac. Le chapitre ne spécifie aucune préférence particulière quant à la technologie utilisée, bien qu'il ne fasse aucun doute qu'il existe très peu de technologies qui puissent satisfaire aux exigences de comptage transactionnel d'une précision de 1 mm (0,04 po) dans des conditions de laboratoire sur toute la plage de température.

Le chapitre 3.1B spécifie également une exigence de précision moins stricte lorsque le système de jaugeage de niveau est utilisé à des fins d'inventaire uniquement. La précision requise est fixée à 25 mm (1 po). Il est peu probable qu'un utilisateur achète un système de jaugeage de niveau ayant une performance aussi faible ; il est donc probable que cette valeur soit configurée pour permettre aux systèmes plus anciens de tomber dans la catégorie des « règles de l'art en usage » en cas de litige et ne nécessite donc pas un remplacement par des équipements plus modernes.

Le système de jaugeage de niveau n'est généralement pas utilisé qu'à des fins opérationnelles, de comptage transactionnel et d'inventaire, mais aussi pour le bilan massique, le contrôle des pertes et, dans certains cas, pour les alarmes de fuite. Le chapitre 3.1B ne répond pas aux exigences de ces derniers cas, mais dans le téléjaugeage moderne, on peut noter que de nombreux utilisateurs ont des exigences similaires à celles du comptage transactionnel. Les exigences sont cependant plus compliquées, car les exigences pour le bilan massique et le contrôle des pertes sont basées sur la précision de masse, et la précision de niveau n'est dans ces cas qu'un seul paramètre de l'équation.

3.1.2 Chapitre 3.3 : Mesure de niveau dans des bacs sous pression

Les normes figurant dans le chapitre 3.3 traitent de la mesure de niveau dans des bacs sous pression. Il décrit les précautions de sécurité spéciales requises pour les bacs de GPL sous pression et la manière de réaliser une installation selon les meilleures pratiques.

Une circonstance spéciale concernant un bac sous pression est que la mesure de référence normale avec une sonde piézométrique manuelle ne peut pas être utilisée. Au lieu de cela, la norme décrit certaines méthodes de référence indirectes ; une pour les jauges de niveau à servomoteur, et une pour les jauges radar. Cela signifie que dans ce cas, la règle qui consiste à éviter le recours à des solutions spécifiques à une technologie n'a pas été suivie. Les méthodes de référence décrites peuvent être discutables d'un point

3 - Normes et certifications techniques

de vue métrologique théorique, étant donné que la traçabilité à une norme nationale n'est pas immédiate. Cependant, il n'existe pas de meilleures méthodes de vérification pour cette application ; d'autre part, les autorités métrologiques ont en général accepté les contraintes liées aux méthodes de référence.

Étant donné que le GPL a généralement une

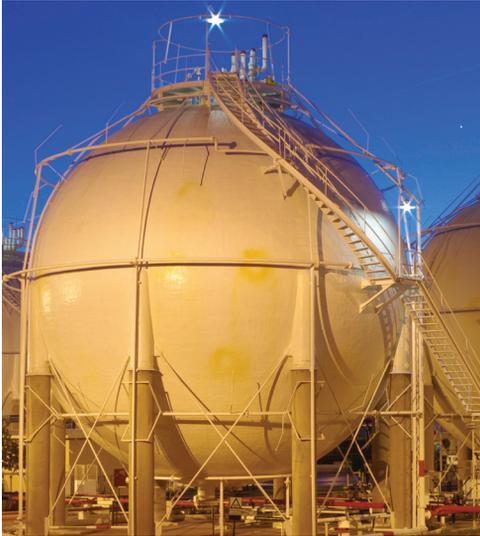


Figure 3.5 : La mesure de niveau dans des bacs sous pression ne peut pas être effectuée à l'aide d'une jauge manuelle, ce qui a conduit à faire des recommandations spécifiques à la technologie pour la mesure de niveau basée sur les jauges à servomoteur et les jauges radar.

valeur économique inférieure à celle des produits pétroliers raffinés, les exigences des utilisateurs ne sont généralement pas aussi strictes. Souvent, la précision obtenue par les mesures de débit massique est considérée comme suffisante. Les transactions de produits à base de GPL fondées sur le comptage transactionnel légal ne sont donc pas très fréquentes.

Une grande partie du chapitre 3.3 se concentre plutôt sur les performances requises pour obtenir une mesure sûre et fiable dans des bacs de GPL, et les incertitudes de mesure mentionnées sont basées principalement sur l'incertitude métrologique dans la mesure de référence, lorsque le jaugage manuel n'est pas une alternative. Malgré cela, le chapitre 3.3 fournit des informations précieuses sur les meilleures pratiques d'installation et de mise en service d'un système de mesure de niveau de GPL.

3.1.3 Chapitre 3.6 : Système de téléjaugage hybride

Un « système de téléjaugage hybride » résulte de la combinaison d'un système de jaugage de bac traditionnel et d'un système de téléjaugage hydrostatique (HTG). Il existe deux cas d'utilisation principaux de système hybride lorsque l'utilisateur s'intéresse à la masse ou à la masse volumique (ou les deux).

Dans l'industrie pétrolière, la plupart des utilisateurs de systèmes hybrides s'intéressent à la mesure de la masse volumique en ligne, étant donné que le calcul du volume transféré (Volume standard) nécessite une mesure du niveau, de la température et de la masse volumique. Le système hybride permet d'éviter la mesure manuelle de la masse volumique dans les bacs, qui nécessite une main-d'œuvre abondante et conduit souvent à de graves erreurs de mesure si elle n'est pas effectuée correctement. Pour pouvoir calculer la masse volumique, un système hybride est donc équipé d'un capteur de pression si le bac est

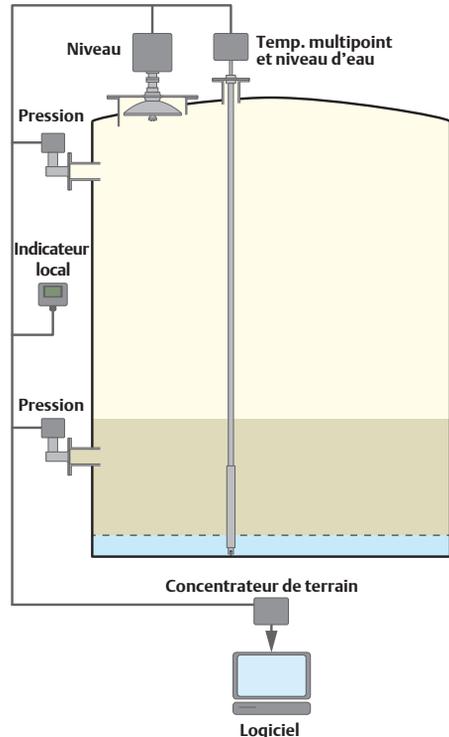


Figure 3.6 : Le téléjaugage hybride combine un système de jaugage traditionnel et un système HTG.

3 - Normes et certifications techniques

à pression atmosphérique, et de deux capteurs de pression si le bac n'est pas ventilé.

Un système traditionnel de téléjaugeage hydrostatique (HTG) est doté d'un capteur de pression supplémentaire et dépourvu de système de jauge de niveau. La masse volumique du produit dans le système HTG est calculée à partir de la masse volumique entre les capteurs P1 et P2 seulement. La masse volumique dans cet intervalle n'est pas représentative de la masse volumique du bac entier, et la valeur n'est donc pas utilisable pour le comptage transactionnel.

Avec un système hybride, la masse volumique est calculée en utilisant la hauteur de la colonne de liquide au-dessus du capteur P1 telle qu'indiquée par la jauge de niveau. Dans ce cas, une valeur de masse volumique beaucoup plus précise est obtenue, représentant la masse volumique globale du produit.

Étant donné que la plupart des produits pétroliers sont négociés traditionnellement en fonction du volume standard et non de la masse, l'utilisation d'un système hybride (ou système HTG) pour la mesure massique est d'une utilisation très limitée dans le monde entier. Il existe cependant quelques exceptions ; par exemple, la Chine, qui utilise depuis de nombreuses années un comptage transactionnel basé sur la masse. Autre exception : certaines installations, principalement de stockage de produits pétroliers chimiques spéciaux, bien que généralement rares.

Le chapitre 3.6 est unique en ce sens qu'il fournit non seulement des informations sur les meilleures pratiques d'installation de système hybride, mais montre également les précisions de masse volumique et de masse qu'on peut attendre. Tous les calculs effectués et les performances attendues dans un système hybride seront abordés au chapitre 8.

3.1.4 Chapitre 7 : Détermination de la température

Le chapitre 7 du MPMS de l'API est actuellement en cours de révision ; nous avons adopté une nouvelle approche consistant à diviser les différents cas d'utilisation en quatre sous-chapitres. L'édition précédente du chapitre 7 comprenait plusieurs cas de mesure de température différents dans une même section, d'où une certaine confusion, de sorte que la nouvelle approche constitue une amélioration.

Seule la partie 7.3 est finalisée aujourd'hui. Elle décrit les mesures de température dans des bacs à des fins d'inventaire et de comptage transactionnel. La section 7.3 donne un grand nombre d'indications importantes sur la façon d'effectuer une bonne

installation, sur le nombre de capteurs nécessaires pour le comptage transactionnel et sur le niveau de précision des éléments de température individuels, des unités de conversion électronique, etc.

Étant donné que la précision d'une jauge de niveau moderne est aujourd'hui très élevée, dans de nombreux cas, une grande précision de l'évaluation de la quantité dépend essentiellement de la précision de la mesure de température. L'importance de la précision de la mesure de température est décrite plus en détail au chapitre 6.

3.2 Normes ISO

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a également développé un certain nombre de normes de téléjaugeage. Dans le passé, ces normes pouvaient être très différentes des normes API, mais au cours des 15 dernières années, les normes API et ISO ont été considérablement harmonisées.

D'où des normes dont le contenu est très similaire. En conséquence, l'API et l'ISO ont décidé de coopérer plus directement, ce qui réduit les coûts d'élaboration des normes.

Aujourd'hui, l'ISO n'émet pas de nouvelles normes dans le domaine du téléjaugeage. Au lieu de cela, l'ISO prend une part active dans le travail de révision des normes de l'API ainsi que dans le développement de nouvelles normes. Cependant, certaines normes API ne sont pas encore prêtes (exemple : les sous-chapitres restants dans le chapitre 7 de l'API) et, par conséquent, certaines normes ISO sont toujours pertinentes.

Les normes ISO ne sont pas discutées en détail dans ce guide, mais la liste ci-dessous présente les normes ISO pertinentes à des fins de téléjaugeage :

- ISO 4266-1:2002 Pétrole et produits pétroliers liquides – Mesure de niveau et de température dans les bacs de stockage par méthodes automatiques – Partie 1 : Mesure de niveau dans des bacs sous pression atmosphérique
- ISO 4266-2:2002 Pétrole et produits pétroliers liquides – Mesure de niveau et de température dans les bacs de stockage par méthodes automatiques – Partie 2 : Mesure de niveau dans des cuves marines
- ISO 4266-3:2002 Pétrole et produits pétroliers liquides – Mesure de niveau et de température dans les bacs de stockage par méthodes automatiques – Partie 3 : Mesure de niveau dans des bacs de stockage sous pression (non réfrigérés)

3 - Normes et certifications techniques

- **ISO 4266-4:2002** Pétrole et produits pétroliers liquides – Mesure de niveau et de température dans les bacs de stockage par méthodes automatiques – Partie 4 : Mesure de température dans des bacs sous pression atmosphérique
- **ISO 4266-5:2002** Pétrole et produits pétroliers liquides – Mesure de niveau et de température dans les bacs de stockage par méthodes automatiques – Partie 5 : Mesure de température dans des cuves marines
- **ISO 4266-6:2002** Pétrole et produits pétroliers liquides – Mesure de niveau et de température dans les bacs de stockage par méthodes automatiques – Partie 6 : Mesure de température dans des bacs de stockage sous pression (non réfrigérés)
- **ISO 15169:2003** Pétrole et produits pétroliers liquides – Détermination du volume, de la masse volumique et de la masse de la teneur en hydrocarbures des bacs cylindriques verticaux par des systèmes de mesure de bac hybrides

3.3 OIML

Le document le plus important de l'OIML qui concerne les jauges de niveau est la recommandation R 85. Ce document spécifie les exigences d'une jauge de niveau qui doit être utilisée pour le comptage transactionnel réglementaire, comment elle doit être testée à des fins de certification, et quelles sont les procédures à suivre pour mettre la jauge de niveau en fonctionnement dans un bac. En outre, il décrit une procédure pour vérifier que la jauge de niveau est en bon état.

Lorsque les jauges de niveau sont utilisées pour le comptage transactionnel réglementaire, les exigences sont assez élevées, et aujourd'hui, il existe très peu de produits qui peuvent satisfaire ces exigences. La raison pour laquelle les exigences sont élevées est qu'une mesure de niveau dans le cadre d'une utilisation légale fait office de tierce partie entre un acheteur et un vendeur de gros volumes de liquides en vrac de haute valeur économique. L'appareil de mesure est neutre dans cette transaction, comme de nombreuses transactions correspondantes dans notre vie quotidienne qui sont similaires. Certains exemples que nous considérons comme acquis sont le résultat d'une machine de pesage ou d'une pompe à essence, où nous ne remettons pas en question le résultat si nous savons qu'il est approuvé par un bureau métrologique.

En outre, le résultat de la jauge de niveau peut souvent être utilisé pour la détermination de la taxe d'importation lorsque le gouvernement s'intéresse à la mesure ayant la plus grande précision possible.

Les exigences de précision prescrites par OIML R 85 pour une approbation de modèle sont les suivantes : l'erreur maximale autorisée (MPE) ne doit pas dépasser ± 1 mm (0,04 po) sur la plage de fonctionnement prévue. En outre, cette exigence doit être satisfaite sur la plage de température prévue, ce qui peut être l'exigence la plus stricte, car elle impose des exigences élevées sur la stabilité de la température des composants mécaniques et de l'électronique. Exigence de précision installée : l'erreur maximale autorisée (MPE) ne doit pas dépasser ± 4 mm (0,16 po), ce chiffre incluant non seulement les erreurs de la jauge de niveau, mais aussi toutes les erreurs de la mécanique du bac, les contraintes thermiques dans le bac, etc.

OIML

Fondée en 1955, l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML) est une organisation intergouvernementale basée à Paris. Elle a pour vocation d'harmoniser à l'échelle mondiale des procédures légales de métrologie de base et de favoriser le commerce international. L'harmonisation de la métrologie légale garantit que la certification des appareils de mesure dans un pays est compatible avec la certification dans un autre pays.

L'OIML a élaboré des lignes directrices pour aider ses membres à créer une législation et des directives appropriées pour la certification relative à la métrologie. Elle travaille en étroite collaboration avec d'autres organisations internationales pour assurer la compatibilité entre les certifications. L'OIML n'a pas compétence pour imposer des solutions à ses membres, mais ses recommandations sont souvent utilisées dans le cadre des lois nationales.

3 - Normes et certifications techniques

La procédure de test d'une jauge de niveau conformément à R 85 comprend également un certain nombre de tests de facteurs d'influence, comme la CEM, les coupures de courant, la stabilité des liaisons de communication, les dispositions pour permettre un scellé métrologique, etc. Par conséquent, une jauge de niveau qui réussit un test de certification de modèle selon R 85 aura démontré qu'elle peut travailler avec une grande précision sur un bac. Cependant, il ne suffit pas de réussir les tests de certification de modèle, car la jauge de niveau doit également être conforme aux exigences de précision installée ; en effet, l'ensemble du dispositif mécanique du bac doit être en bon état. Cette responsabilité incombe normalement au propriétaire du bac, bien qu'en pratique, le fabricant de la jauge de niveau intervienne souvent en donnant des conseils et des recommandations au propriétaire du bac.

Jusqu'à présent, l'OIML n'a formulé aucune recommandation sur la façon de mesurer la température ou la masse volumique à des fins de téléjaugeage réglementaire. Les normes ISO et API correspondantes sont donc actuellement les documents les plus importants dans ce domaine. En outre, les exigences relatives à la précision du volume total ne sont pas définies dans une recommandation de l'OIML, même si l'activité du groupe de travail a été discutée.

3.4 Instituts nationaux de métrologie

Comme mentionné précédemment, ni l'ISO ni l'API ne sont organisés comme des laboratoires d'essai et, par conséquent, ils n'ont pas la capacité de tester un système de téléjaugeage en fonction des exigences d'une norme. Étant donné que la procédure d'essai n'est pas décrite en détail dans la plupart des normes, il appartiendra à l'institut de test, qui est souvent l'expert en la matière, de définir la procédure. L'OIML a élaboré, à titre indicatif, une procédure d'essai détaillée pour OIML R 85, et il est prévu que cette procédure sera suivie par tous les instituts. Il s'agit d'une grande amélioration par rapport aux méthodes utilisées il y a environ 20 ans, lorsque chaque pays avait sa propre procédure d'essai, ce qui rendait les essais plus cher à réaliser dans chaque pays et qui réduisait également le nombre de modèles disponibles de jauges de niveau.

La procédure d'obtention de certification dans un pays est largement facilitée aujourd'hui :

1. Utiliser le rapport d'essai effectué par un institut de test approuvé pour le test OIML R85. Ce rapport doit indiquer que les exigences de la R 85 sont satisfaites.



2. Envoyer le rapport d'essai à l'institut national de test dans le pays exigeant une certification.



3. L'institut d'essai du pays exigeant une certification peut soumettre des commentaires ou des questions, et il peut être nécessaire de créer une plaque de certification spéciale en langue maternelle, etc.



4. Une fois cela fait, une certification peut être délivrée.

Cette procédure suppose que le pays actuel a accepté l'OIML R 85 comme base de ses exigences nationales. Tous les pays ne sont pas encore devenus membres d'OIML, mais il est très rare qu'ils n'acceptent pas l'OIML R 85 ou aient des exigences qui ne correspondent pas à R 85.

Certains pays membres de l'OIML ont été agréés pour effectuer des essais de jauges de niveau conformément à la recommandation R 85, dont quelques-uns des plus importants sont mentionnés ci-après (par ordre alphabétique) :

3.4.1 Nederlands Meetinstituut (NMI)

Le NMI a une vaste expérience dans les essais des systèmes de jauges de niveau utilisés pour le comptage transactionnel, en particulier les jauges de niveau à servomoteur. Il a présidé le secrétariat de R 85 pendant de nombreuses années, et il apporte une longue expérience d'utilisation de jauges de niveau métrologiques scellées aux Pays-Bas.

3 - Normes et certifications techniques

3.4.2 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

L'Allemagne possède également une longue expérience d'utilisation de systèmes de jauges de niveau dans le cadre du contrôle métrologique réglementaire, et la certification de l'équipement a été effectuée par PTB. Il y a quelque temps, l'Allemagne avait établi sa propre exigence pour les systèmes de jauges de niveau, alors qu'aujourd'hui elle a adopté la norme R 85 comme exigence nationale. Par ailleurs, l'Allemagne a mis en place depuis de nombreuses années des exigences nationales de mesure de température dans un système de téléjaugeage. Étonnamment, ils font cavalier seul dans ce domaine, bien que la température soit un paramètre très important dans l'évaluation des transferts de quantité. Voir le chapitre 6 et l'[exemple 6.1](#) sur l'influence de la température sur l'évaluation du volume et de la masse.

NIST à la présidence (et peut-être avec l'intervention de l'API), cette difficulté pourrait probablement être surmontée.

3.4.3 Institut de recherche technique de Suède (SP)

Le SP a également été accrédité pour les essais de systèmes de jauge de niveau selon OIML R 85. Il a une très bonne réputation en matière d'essais de systèmes avancés de jaugeage de niveau radar, et il utilise des équipements très avancés pour tester ce type de technologie. L'incertitude totale dans l'équipement d'essai qu'il utilise est inférieure à 0,17 mm (0,0067 po) sur une plage de mesure de 30 m (98 pi).

3.4.4 Autres instituts nationaux

Le *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV)*, en Autriche, a présidé le secrétariat de R 85 pendant plusieurs années par le passé, et a également effectué des essais conformément aux exigences OIML R 85.

Le *National Institute of Standards and Technology (NIST)* aux États-Unis a pris désormais en charge la fonction de secrétariat de R 85. Le comptage transactionnel sous contrôle métrologique réglementaire est mal connu aux États-Unis actuellement ; néanmoins, l'API et de nombreuses grandes compagnies pétrolières ont apporté leur savoir-faire dans ce domaine. Le fait que les instituts mentionnés ci-dessus soient experts en matière de métrologie, et qu'ils aient souvent une connaissance pratique limitée des systèmes de téléjaugeage, a parfois suscité des critiques à l'encontre de documents tels que la R 85. Avec le



4

Évaluation du volume et de la masse

Rubrique	Page
4.1	Évaluation du volume _____ 28
4.1.1	Volume total observé (TOV) _____ 28
4.1.2	Volume brut observé (GOV) _____ 29
4.1.3	Volume brut standard (GSV) _____ 29
4.1.4	Volume net standard (NSV) _____ 31
4.2	Évaluation de la masse _____ 31
4.3	Évaluation quantitative des gaz de pétrole liquéfiés _____ 31

4. Évaluation du volume et de la masse

Les données de mesure d'un système de téléjaugeage jouent un rôle important pour le fonctionnement des raffineries et des terminaux dans l'industrie pétrolière. Les calculs sont effectués selon le type d'opération et ont été normalisés à un degré élevé dans l'industrie.

4.1 Évaluation du volume

Le calcul des volumes joue un rôle central, et cette procédure est décrite à la figure 4.1 ci-dessous. Pour une vue plus détaillée, voir la [figure 4.4](#).

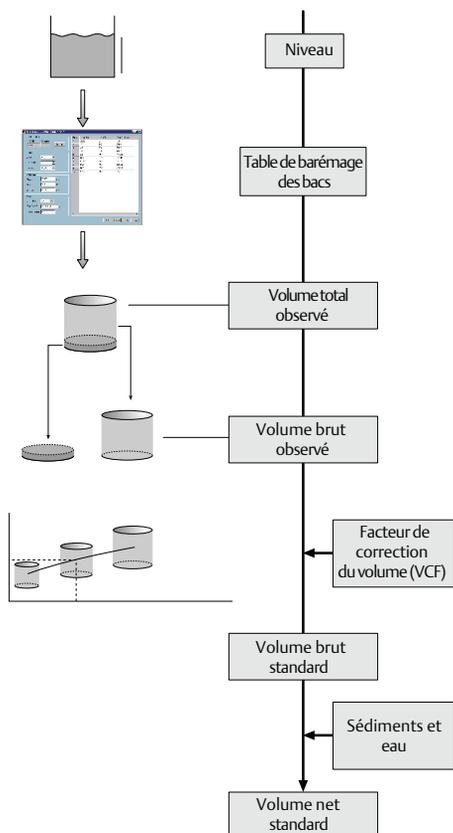


Figure 4.1 : Organigramme de calcul du volume.

4.1.1 Volume total observé (TOV)

La valeur de mesure de la jauge de niveau est calculée dans la jauge de niveau. Lors du calcul de la valeur, des corrections aussi bien pour les variations de hauteur de référence en raison d'une contrainte mécanique statique que d'une expansion/contraction thermique peuvent avoir été appliquées. Cette valeur de niveau corrigée est saisie dans une table de barémage (TCT). La TCT convertit la valeur de niveau en une valeur de volume normalement appelée volume total observé (TOV). Étant donné que la TCT n'est valable que pour certaines températures, une correction doit également être appliquée pour permettre l'expansion/contraction de la paroi du bac en raison de l'influence de la température du produit et de la température ambiante. L'API a déclaré que la température de la paroi de bacs non isolés doit être calculée comme suit :

$$T_{\text{paroi du bac}} = \frac{7}{8} T_{\text{produit}} + \frac{1}{8} T_{\text{ambiante}}$$

La mesure de la température ambiante d'un bac peut cependant nécessiter une station météorologique d'atmosphère ambiante coûteuse sur chaque bac ; ainsi, dans de nombreux cas, ce chiffre est saisi manuellement en tant que valeur fixe, car cela affecte peu le résultat final. L'effet de la température du liquide peut néanmoins être important sur la TCT, en particulier sur les produits chauffés, ou sur des bacs dont les températures ambiantes diffèrent considérablement de la température d'étalonnage de la TCT.

La correction d'une TCT en fonction de la température sur un bac cylindrique en acier au carbone est égale à :

$$\text{VolumeTCT}_{\text{corrigé}} = \text{VolumeTCT} \times (1 + \Delta T \times 0,000022)$$

$$\text{où } \Delta T = T_{\text{étalonnage TCT}} - T_{\text{paroi de bac}}$$

Certaines TCT indiquent également d'appliquer une correction due à la masse volumique, de sorte que la TCT n'est valable que pour une certaine masse volumique de produit ; d'autre part, une masse volumique différente, en raison de contraintes mécaniques plus ou moins importantes, modifie les

4 - Évaluation du volume et de la masse

ENTREPRISE DE SYSTÈMES DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE
BAC DE GPL N° : 10

NOV 1994

Immersion [mm]	Volume [litres]	Incr. [l/mm]	Immersion [mm]	Volume [litres]	Incr. [l/mm]	Immersion [mm]	Volume [litres]	Incr. [l/mm]
			100	12 062	81,8	200	19 811	87,2
			110	12 813	75,1	210	20 705	89,4
			120	13 488	67,4	220	21 619	91,4
30	7 374	45,0	130	14 190	70,3	230	22 554	93,5
40	7 873	49,9	140	14 920	73,0	240	23 508	95,4
50	8 438	56,5	150	15 675	75,5	250	24 482	97,4
60	9 063	62,5	160	16 456	78,0	260	25 474	99,2
70	9 741	67,8	170	17 260	80,5	270	26 409	93,5
80	10 470	72,8	180	18 088	82,8	280	27 360	95,1
90	11 244	77,5	190	18 939	85,0	290	28 328	96,8

Figure 4.2 : Exemple d'une table de barémage de bac.

valeurs de la TCT. Aujourd'hui, il est rare d'observer cette correction, mais dans le cas où elle serait nécessaire, un système de téléjaugeage moderne devrait offrir cette possibilité.

Des corrections doivent s'appliquer également aux bacs à toit flottant avec puits de tranquillisation. Dans un bac à toit flottant, le toit occupera un certain volume de produit qui donc être soustrait de la valeur fournie par la TCT. Cette correction dépend du poids du toit et de la masse volumique observée du produit, où la masse volumique observée est égale à la masse volumique réelle du produit à la température à laquelle la correction est appliquée.

4.1.2 Volume brut observé (GOV)

L'étape suivante du calcul est le volume brut observé, qui comprend la soustraction du volume d'eau libre (FWV) au fond du bac. Le niveau d'eau libre est soit mesuré manuellement à l'aide d'une sonde piézométrique manuelle, soit automatiquement avec une sonde de mesure de niveau d'eau libre (FWL) connectée au système de téléjaugeage. La valeur obtenue par cette sonde (ou la valeur de niveau d'eau libre saisie manuellement) est saisie dans la TCT, et la valeur FWV est soustraite du TOV.

4.1.3 Volume brut standard (GSV)

Le volume physique de tous les hydrocarbures liquides varie en fonction de leur température. Lorsqu'on donne une valeur de volume, celle-ci n'a aucune valeur sans l'indication de la température à laquelle ce chiffre s'applique. Dans l'industrie pétrolière, la valeur de température est généralement normalisée à 15 °C ou 60 °F, l'échelle Celsius étant couramment utilisée en Europe, en Asie, en Australie et en Amérique du Sud. L'échelle Fahrenheit est utilisée en Amérique du Nord, et souvent aussi pour

le pétrole brut au Moyen-Orient. La conversion du volume observé en volume normalisé en fonction de la température est effectuée à l'aide des tableaux API, dans lesquels un facteur de conversion est défini.

Étant donné que les hydrocarbures liquides, dans l'industrie pétrolière, peuvent comprendre plusieurs centaines de composants liquides individuels différents, il sera difficile ou peu pratique de déterminer l'expansion volumétrique d'un produit comme le brut ou l'essence en fonction de l'expansion volumétrique individuelle des composants liquides incorporés. Au lieu de cela, la norme acceptée aujourd'hui est une approche simplifiée. Elle est basée sur le fait qu'il existe une corrélation entre l'expansion volumétrique et la masse volumique. Au lieu des recherches complexes sur tous les hydrocarbures individuels entrant dans la composition d'un produit, seule la masse volumique du produit est considérée et, à partir de là, on effectue une estimation de l'expansion volumétrique due à la température. Cette méthode n'est pas exacte à 100 %, mais à partir du moment où tous les acteurs de l'industrie pétrolière utilisent la même méthode et basent leur prix d'un produit sur cette estimation, on peut soutenir que la précision de cette estimation est acceptable.

Cela constitue l'essence même des tables API, qui ont été publiées pour la première fois en 1952. Dans le premier numéro, les produits pétroliers n'étaient pas différenciés ; le brut était manipulé de la même manière que l'essence, le kérosène ou le mazout. En 1980, une nouvelle révision a été publiée, ce qui a permis de différencier les produits bruts et les produits raffinés, les produits raffinés étant également divisés en quatre sous-groupes différents en fonction de leur plage de masse volumique. Les tables de 1952 étaient basées sur des tables imprimées et les algorithmes sous-jacents n'étaient pas présentés. Des erreurs d'impression

4 - Évaluation du volume et de la masse

se sont même produites dans ces premières tables et certaines valeurs ont été ajustées à la main avant l'impression. Ces tables seraient très difficiles à mettre en œuvre dans un ordinateur aujourd'hui.

La table de 1980 présentait un algorithme qui était possible à mettre en œuvre efficacement dans un ordinateur, mais la table avait des limitations de résolution. Cette limitation résultait principalement du fait que la table imprimée était destinée à l'utilisateur pour lui permettre de consulter et de saisir des valeurs arrondies à la résolution de la table. Il est possible de saisir les tables dans un ordinateur, à condition que le logiciel arrondisse les valeurs d'entrée à la même résolution que celle de la table imprimée.

Avec l'introduction des ordinateurs qui a simplifié tous ces calculs, ainsi que de nouvelles technologies dont la précision de mesure étaient supérieure à la résolution des tables imprimées de 1980, est apparu un besoin de disposer de « tables » fondées uniquement sur des algorithmes et sans arrondissement des valeurs mesurées. Ces tables ont été publiées en 2004 et sont souvent appelées « tables de l'année 2000 ». Elles utilisent les mêmes algorithmes qui étaient à la base des tables imprimées de 1980, mais sans nécessité d'arrondir les valeurs d'entrée. Grâce à des appareils de mesure améliorés, ils donneront des résultats différents et plus précis que ceux des tables de 1980.

Aujourd'hui, toutes les tables décrites ci-dessus sont encore utilisées, et ce pour différentes raisons. Certains utilisateurs utilisent encore les tables de 1952 pour leurs tests standard, car il semble que les pays exportateurs de pétrole bénéficient dans une certaine mesure de ces tables. Beaucoup utilisent les tables de 1980, souvent parce qu'ils n'ont pas encore investi dans un nouveau logiciel pour pouvoir utiliser les nouvelles tables de 2004. Les acheteurs de nouveaux systèmes de téléjaugage demandent souvent les nouvelles tables de 2004. Un fournisseur d'équipement de téléjaugage doit donc être prêt à disposer des nouvelles tables API, ainsi que de toutes les anciennes, dans le logiciel de téléjaugage, même si les anciennes tables de 1952 peuvent être quelque peu difficiles à mettre en œuvre.

Passer d'une révision à une autre est plus compliqué qu'il n'y paraît. Pour une raffinerie, cela pourrait se traduire par une modification substantielle de l'inventaire des produits, ce qui pourrait être difficile à gérer d'un point de vue comptable. De plus, tous les contrats de transfert et la tarification des clients externes devront être ajustés à la nouvelle révision.

Les valeurs d'entrée des tables API sont la température moyenne du produit et la masse volumique ou le coefficient de dilatation thermique. La masse volumique utilisée dans les tables API doit être

égale à la masse volumique à la même température que la température de référence de la table réelle. Exemple : la masse volumique dans la table 54 doit être la masse volumique à 15 °C. En pratique, il suffit de prélever des échantillons manuels de produit dans le bac ; ces échantillons sont ensuite mesurés en laboratoire, soit avec un hydromètre en verre, soit avec un transmetteur de masse volumique électronique. La mesure comprend également la mesure de température du produit, et la valeur de masse volumique correspondante est appelée « masse volumique observée » (c'est-à-dire, la masse volumique à la température réelle au moment de la mesure). Pour pouvoir utiliser cette valeur dans la table API, elle doit être convertie en masse volumique de référence (en utilisant la même température que celle de la table). Pour ce faire, on utilise une autre table API qui est reliée à la table de volume ; c'est-à-dire, si la table 54A est utilisée, il existe une table API appelée 53A qui doit être utilisée pour convertir la masse volumique observée en masse volumique de référence. Il en va de même pour les tables 6A, B et C, pour lesquelles il existe des tables API correspondantes appelées 5A, B et C qui donnent la valeur de masse volumique pour les tables numéro 6. Dans les systèmes modernes de téléjaugage, tous ces calculs sont normalement disponibles, c'est-à-dire que l'utilisateur doit simplement saisir la masse volumique observée et la température du produit associée de l'échantillon, et le système de téléjaugage calculera alors la valeur de la masse volumique de référence qui devra être utilisée pour le calcul du VCF.

Étant donné que les unités de mesure varient dans le monde, les tables sont également divisées en tables utilisant la température et la masse volumique Celsius, la température Fahrenheit et la densité API, ou la température Celsius et la densité spécifique (poids spécifique). Par conséquent, les tables sont ainsi désignées :

- Table 6A, pétrole brut : conversion à 60 °F et densité API
- Table 6B, produits raffinés : conversion à 60 °F et densité API
- Table 6C, produits spéciaux : conversion à 60 °F et coefficient de dilatation thermique
- Table 54A, pétrole brut : conversion à 15 °C et masse volumique (à 15 °C sous vide)
- Table 54B, produits raffinés : conversion à 15 °C et masse volumique (à 15 °C sous vide)
- Table 54C, produits spéciaux : conversion à 15 °C et coefficient de dilatation thermique

4 - Évaluation du volume et de la masse

La sortie des tables API indiquées ci-dessus est une valeur appelée facteur de correction de volume (VCF).

La Valeur brute standard (GSV) est alors égale à :

$$GSV = GOV \times VCF$$

Il convient de noter que les tables C ci-dessus peuvent être utilisées pour des produits spéciaux où le coefficient de dilatation thermique est connu. C'est principalement le cas où seul un ou quelques hydrocarbures sont présents. Il existe également certaines tables API, utilisées principalement dans certains pays d'Amérique du Sud, qui sont basées sur la densité (poids spécifique) et une température corrigée à 20 °C.

4.1.4 Volume net standard (NSV)

Le volume net standard (NSV) est identique au GSV, sauf en présence de contenu mesurable de sédiments de base et d'eau suspendue (BS&W) dans le produit. Surtout courant dans les bacs de pétrole brut, il est mesuré en pourcentage en laboratoire. Par conséquent, le NSV est égal à :

$$NSV = GSV - BS\&W \times GSV$$

4.2 Évaluation de la masse

Les volumes normalisés sont essentiels pour un certain nombre d'opérations dans l'industrie pétrolière et les terminaux, telles que le comptage transactionnel, la gestion de l'inventaire, etc. Les ventes de pétrole sont dans la plupart des cas basées sur le NSV, mais il existe quelques exceptions où la masse est utilisée dans les transactions. Par exemple, la Chine, qui a pratiqué depuis plusieurs années le comptage transactionnel basé sur la masse. En outre, lors de la vente de produits raffinés sur un pont de pesage, il est plus naturel de vendre la quantité en termes de masse. Autre exemple, le GPL, pour lequel les ventes sont souvent basées sur la masse, en utilisant des débitmètres massiques pour la mesure.

Cependant, le cas d'utilisation le plus courant de la mesure de masse est le contrôle des pertes. Si nous imaginons une raffinerie qui souhaite estimer l'efficacité ou les pertes qui se produisent dans le procédé, la mesure du volume n'est pas une option envisageable. En effet, si l'on mesure l'entrée du produit en termes de volume, il n'est pas possible de comparer cela au volume de sortie de l'usine, car le procédé chimique modifie la composition physique

du pétrole brut. En théorie, on pourrait effectivement obtenir d'une raffinerie un volume en sortie plus grand que celui en entrée.

Il y a une différence entre le volume et la masse. Avec la masse, la sortie est identique à l'entrée si aucune perte ne se produit et si aucun poids n'est ajouté au procédé. Par conséquent, le contrôle des pertes est basé sur la masse et non sur le volume.

Le terme « masse » nécessite une explication, car, par définition, c'est le Poids dans le vide (WIV). En pratique, cette unité est rarement utilisée ; le terme Poids dans l'air (WiA) est plus fréquent. Le WiA est calculé en soustrayant le poids d'un mètre cube d'air du WIV. Le poids d'un mètre cube d'air est généralement de 1,22 kg, cette valeur étant utilisée dans le calcul. Cette valeur doit être programmable pour l'opérateur, car elle peut varier légèrement d'un pays à l'autre.

4.3 Évaluation quantitative des gaz de pétrole liquéfiés

Comme indiqué au chapitre 3, les transferts de GPL sont généralement basés sur la masse et sont effectués à l'aide de débitmètres massiques. Cependant, l'évaluation des quantités en termes volumiques n'est pas rare, en particulier à des fins d'inventaire, et dans de rares cas, également pour le transfert. Cependant, le calcul du volume de GPL pose problème, dans la mesure où le calcul du VCF via les tables API n'est pas pris en charge, car la plage de masse volumique des produits GPL est inférieure à celle figurant dans la définition des tables API modernes. Ceci est vrai pour les tables de 1980 et ultérieures, bien que les très anciennes tables API de 1952 disposent d'une plage de masse volumique qui leur permettrait d'être utilisées pour les produits GPL. Les enquêtes auprès des utilisateurs ont montré que les anciennes tables de 1952 sont couramment utilisées, malgré le fait qu'elles ne sont disponibles que sous forme de tables imprimées (aucun algorithme de données défini n'est disponible) et que, d'autre part, les tables contiennent des erreurs d'impression. Ce n'est certes pas une situation idéale, mais comme aucune autre table API n'est disponible, c'est actuellement la seule option.

Il existe également des calculs spéciaux pour les produits GPL, du fait que les bacs contenant des gaz liquéfiés peuvent contenir une quantité substantielle de produit en phase gazeuse. Pour calculer le volume total du produit, le système de téléjaugeage doit pouvoir évaluer avec précision le volume et la masse du produit en phases liquide et gazeuse. Cela fait

4 - Évaluation du volume et de la masse

intervenir le calcul du ratio de volume liquide-vapeur (VLVR), qui nécessite une mesure de la pression de vapeur dans le bac. Pour cette raison, une jauge de niveau GPL doit être équipée d'un capteur de pression (souvent intégré) pour la mesure du VLVR.

La méthode de calcul du VLVR a été publiée dans une norme ISO préliminaire qui n'a pas encore été finalisée. Toutefois, étant donné que le calcul est basé sur la physique générale, la méthode a été acceptée dans le secteur comme méthode standard de calcul du VLVR.

Un système de contrôle de l'inventaire tel que celui décrit ci-dessus peut effectuer automatiquement l'évaluation du volume total en fonction du niveau du liquide du bac, des tables de volume, des propriétés du produit et de la mesure de pression.



Figure 4.3 : Bac sous pression avec produit en phase liquide et en phase gazeuse.

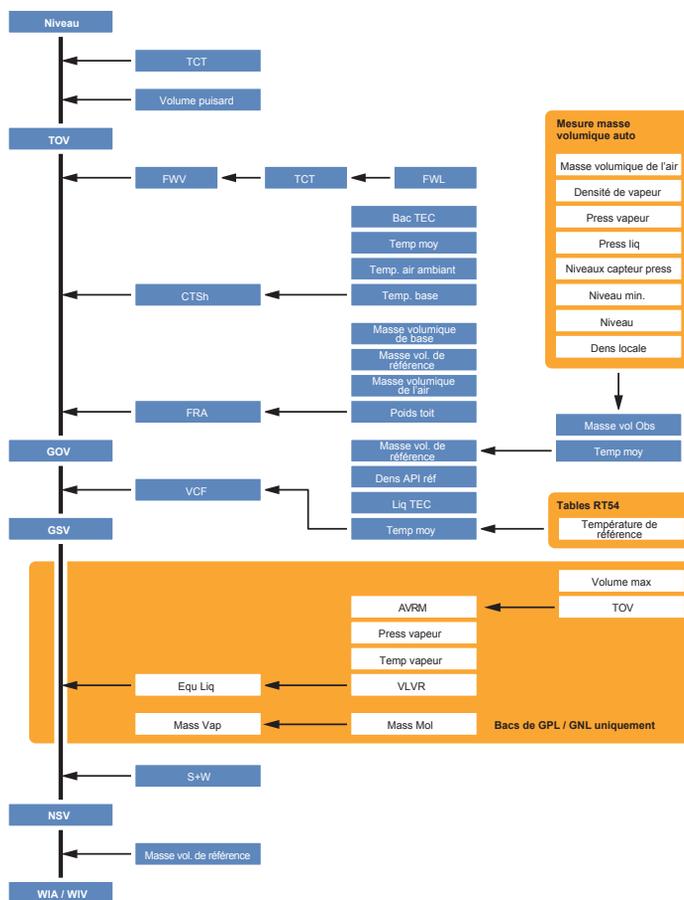


Figure 4.4 : Organigramme détaillé de calcul du volume.

5

Précision et incertitude

Rubrique	Page
5.1 Incertitudes dans les systèmes de téléjaugage	35
5.2 Système ATG vs. système à débitmètre	37
5.3 Jauges de niveau de procédé vs. jauges de niveau de téléjaugage	38
5.3.1 Architecture système	38
5.3.2 Déclaration de précision	38
5.3.3 Durée de vie escomptée	39
5.3.4 Installation	39
5.3.5 Installation dans des puits de tranquillisation	40

5. Précision et incertitude

Le terme « précision » est utilisé dans la plupart des documents de vente des fabricants de jauge de niveau. La définition de la précision n'est cependant pas très claire, sauf si le fabricant l'a spécifiée. Il convient également de noter que dans des documents plus précis, comme l'OIML R 85, ce mot n'est ni utilisé ni défini. Dès lors, les clients peuvent se demander : le chiffre de précision s'applique-t-il également lorsque la jauge de niveau est installée dans un bac ? Prend-il en compte tous les types de paramètres (température, pression, CEM, vieillissement, etc.) qui peuvent influencer le fonctionnement de la jauge de niveau ? D'autre part, ce chiffre signifie-t-il que toutes les jauges de niveau ne présenteront jamais d'erreur plus grande que celle indiquée dans la déclaration de précision ?

La raison de l'utilisation du terme « précision » peut avoir une explication historique, et on peut dès lors supposer que, si l'interprétation varie, c'est que certains fabricants le veulent ainsi. Pour revenir aux questions ci-dessus, il convient d'envisager ce qui suit :

Le chiffre de précision s'applique-t-il également lorsque la jauge de niveau est installée dans un bac ?

Un fournisseur de systèmes de téléjaugage responsable indiquera clairement que le chiffre s'applique à ce qu'on appelle les *conditions de référence*, et le fournisseur devra également être prêt à montrer au client comment ces conditions de référence sont mises en place. En d'autres termes, l'utilisateur doit obtenir un document du fournisseur qui détaille les conditions dans lesquelles la déclaration de précision a été créée. La plage de mesure et la plage de température doivent être mentionnées, le fournisseur doit indiquer le calcul de l'incertitude de la précision du système de mesure de référence, etc.

Un fournisseur responsable ne garantira pas la précision installée, car cela implique la garantie de la compétence des personnes qui effectuent le jaugage manuel de comparaison, la garantie de tous les types de conditions qui peuvent se produire dans le bac, et également la garantie de la stabilité mécanique et de la méthode d'installation pour chaque bac. Il n'est pas possible de garantir toutes ces choses sans faire de longues recherches, et dans la plupart des cas, le fournisseur n'a ni le temps ni les ressources

disponibles. Un fournisseur qui offre de telles garanties sans rien savoir sur les bacs ou leur exploitation ne peut que renforcer les soupçons de l'utilisateur.

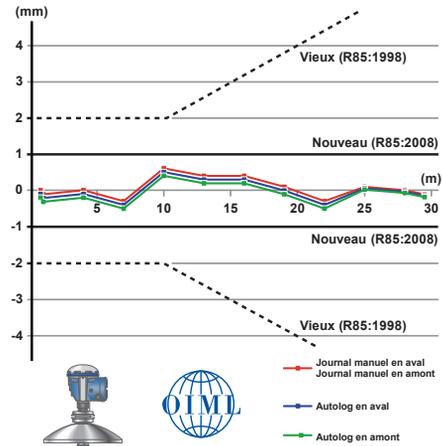


Figure 5.1 : Graphique montrant les exigences de précision de niveau OIML avec une jauge radar haute performance.

Souvent, lorsqu'un utilisateur achète un système de téléjaugage, c'est pour atteindre un certain objectif, tel que : « utiliser le système pour le comptage transactionnel réglementaire ». Cela signifie qu'il ne doit pas seulement satisfaire aux exigences de précision dans les *conditions de référence*, mais également remplir les exigences du système lorsqu'il est installé dans un bac. Cela veut dire que l'utilisateur doit calculer combien il coûterait d'apporter des modifications au bac pour pouvoir être conforme à la déclaration de précision à l'installation. Dans tout ce processus, l'expérience et l'aide du fabricant sont précieuses pour l'utilisateur. Un fournisseur de systèmes de téléjaugage peut se prévaloir d'une expérience de plus de 100 000 installations en bac, et également d'un bilan et d'une réputation qui peuvent être aisément vérifiées par l'utilisateur. À cet égard, il est même recommandé pour le client de vérifier les références d'autres utilisateurs qui possèdent des systèmes de jaugage installés dont les exigences sont élevées.

Le chiffre de précision s'applique-t-il à tous les types d'influences (température, pression, CEM, vieillissement, etc.) qui peuvent se produire pendant le fonctionnement de la jauge de niveau ?

Une jauge de niveau qui fournit normalement d'excellentes performances, mais qui fonctionne mal quand un opérateur commence à utiliser son walkie-talkie, ou en période de très forte chaleur, n'est pas souhaitable. Un moyen simple pour un client de s'assurer que le système de téléjaugage est adapté à l'opération prévue, est de vérifier s'il a été homologué OIML R 85. Le client doit également vérifier qu'il est homologué selon la révision la plus récente de la R 85 (actuellement celle de 2008). Un fournisseur sérieux devrait également être prêt à apporter au client une copie du rapport de test R 85 si le client souhaite vérifier les résultats des tests. L'OIML R 85, 2008 est probablement la meilleure garantie qu'un utilisateur puisse obtenir par rapport à ces questions, sauf peut-être pour les problèmes liés au vieillissement du système.

Le vieillissement d'un système de téléjaugage revêt une grande importance, car sa durée de vie peut atteindre environ 15 à 20 ans, voire plus. L'environnement d'une raffinerie ou d'un terminal est souvent difficile : teneur élevée en sel et en soufre dans l'atmosphère, solvants qui attaquent le caoutchouc ou les plastiques, et rayons UV qui décomposent la peinture et les plastiques. Vérifier les références d'autres installations est la meilleure façon de s'assurer qu'on a choisi un système de grande longévité.

Avec un système de téléjaugage de grande longévité, la disponibilité des pièces détachées revêt une grande importance. Éviter d'utiliser des pièces de rechange provenant d'un autre fabricant, car cela peut affecter les performances du système. Le fournisseur doit également indiquer sa politique de cycle de vie au regard des pièces détachées.

Le chiffre de précision signifie-t-il que toutes les jauges de niveau ne présenteront jamais d'erreur plus grande que la déclaration de précision ?

Le chiffre de précision peut également indiquer une *précision typique*, ce qui signifie que le chiffre représente une certaine répartition statistique (par exemple, gaussienne) selon laquelle certaines unités peuvent se situer dans une plage donnée, mais certaines unités peuvent se situer à l'extérieur. Dans ce cas, le mot *précision* pourrait être remplacé par *incertitude*, qui est un terme plus approprié pour une méthode statistique qui exprime la performance. Lorsque des moyens statistiques sont utilisés pour exprimer la performance, il est également important de définir l'intervalle de confiance de la valeur, c'est-à-dire le sigma (σ), où généralement 2 ou 3 sigma sont utilisés.

Les fabricants qui testent chaque jauge de niveau individuellement avant de les livrer peuvent affirmer que le chiffre de précision correspond à l'écart maximal que l'appareil affichera lors des essais finaux. Dès lors, le chiffre apparaît comme un critère d'approbation en production. L'OIML R 85, 2008 stipule que les exigences relatives à l'utilisation d'un système dans le comptage transactionnel réglementaire sont les suivantes : l'erreur maximale autorisée (MPE) doit être de ± 1 mm (0,04 po). Si chaque unité livrée est testée pour être conforme à ce critère, le chiffre de précision signifie que tous les appareils se situent dans la plage indiquée.

Dans un système de mesure de référence, l'incertitude est un facteur important lors de l'établissement du chiffre de précision. En métrologie, la règle d'or est que la référence doit avoir une incertitude au moins 3 fois supérieure à celle qu'elle doit vérifier. Pour la vérification d'une précision indiquée de 0,5 mm (0,02 po), cela nécessiterait une incertitude de référence située dans une plage de 0,17 mm (0,0067 po), ce qui implique un niveau d'exigences très élevé sur le système de mesure de référence, nécessitant généralement des aménagements coûteux d'équipement laser de suivi, etc.

5.1 Incertitudes dans les systèmes de téléjaugage

La section suivante vise à mieux faire comprendre quelles incertitudes il est possible d'obtenir dans un système de téléjaugage.

Une jauge de niveau radar moderne est capable de fournir une précision intrinsèque (précision aux conditions de référence) avec une erreur maximale de $\pm 0,5$ mm (0,02 po), et sur toute la plage de température (-40 °C à 85 °C), l'erreur maximale doit être inférieure à ± 1 mm (0,04 po). L'incertitude installée sur le bac peut être estimée comme étant dans la plage :

Incertaince de niveau (installée) = 2 mm

Cela suppose une jauge de niveau pour comptage transactionnel haute performance avec des résultats garantis. La méthode d'installation joue un rôle important ; la jauge de niveau installée doit être montée de manière rigide sur le point du bac qui est mécaniquement le plus stable. Pour ce faire, la jauge de niveau est généralement installée dans un puits de tranquillisation, qui est fixé mécaniquement au fond du bac ou à l'angle inférieur entre la paroi du bac et le fond du bac. Pour d'autres consignes d'installation, voir [API Ch. 3.1B](#). Certaines corrections peuvent être nécessaires pour obtenir une précision installée de 2 mm, comme la correction de la dilatation thermique du puits de tranquillisation, etc. De telles corrections devraient être disponibles dans ces types de jauges de niveau.

5 - Précision et incertitude

Vérifier une incertitude dans cette plage en faisant appel à une méthode de mesure manuelle peut poser problème. Il faudrait une personne très expérimentée pour mesurer avec une sonde manuelle avec une incertitude de 1 mm (0,02 po) ou moins, bien que certaines autorités métrologiques prétendent que cela est possible. Il est clair cependant qu'il ne saurait s'agir d'une pratique quotidienne courante, car celle-ci ne peut être effectuée que dans des conditions très bien contrôlées.

Les incertitudes de niveau pour les transferts sont affectés par le fait qu'un comptage transactionnel est une mesure de différence, à savoir la mesure de la différence de niveau au début et à la fin du transfert. En effet, dans un bac cylindrique, certains types d'erreurs seront annulés, par ex. une erreur de décalage de la jauge de niveau sera identique avant et après le transfert et n'aura plus d'influence (ou très peu) sur le lot transféré.

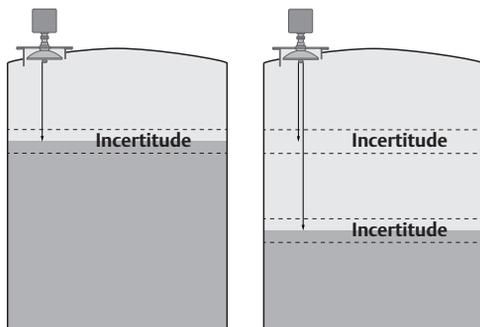


Figure 5.2 : L'incertitude lors de la mesure des lots pourrait être réduite par l'élimination des erreurs de décalage.

Incertitude sur la température moyenne du produit : 0,3 °C

Pour obtenir une précision à l'installation de 0,3 °C, une sonde de température à résistance (RTD) dotée de plusieurs points de détection à différentes hauteurs du produit est requise dans la plupart des cas. Un appareil de conversion de température électronique stable permet de convertir la valeur de

résistance en format numérique, et l'électronique doit être conçue pour fournir une précision maximale dans les conditions réelles de température ambiante.

Incertitude sur la mesure de masse volumique : 0,5 à 1,5 kg/m³

Les chiffres concernant la précision pour l'échantillonnage manuel de la masse volumique sont souvent de l'ordre de 0,5 kg/m³. La précision réelle des mesures en laboratoire est meilleure, mais il faut ajouter que la manipulation de l'échantillon sur le toit du bac et la qualité de l'échantillon peuvent introduire des erreurs supplémentaires.

Pour la mesure automatique avec le système de type hybride (voir [chapitre 8](#)), la précision est principalement déterminée par la précision du transducteur de pression. La précision variera également en fonction du niveau de liquide dans le bac. En effet, avec des niveaux de liquide faibles, la précision se détériorera du fait que la dérive de décalage dans le transmetteur de pression affectera davantage le relevé que pour des niveaux de liquide élevés. Les valeurs de précision typiques qui sont réalisables avec les transmetteurs de pression standard sont d'environ 1,5 kg/m³ à un niveau de liquide de 3 mètres (avec de meilleurs résultats à des niveaux plus élevés).

L'impact principal de la masse volumique sur les calculs de transfert s'observe lors de l'utilisation de tables API pour le calcul du facteur de correction de volume (VCF) et du volume normalisé. Cependant, les tables API ne sont pas très sensibles aux variations de masse volumique. Dans la plupart des zones de la table API, la masse volumique peut varier d'environ 7 kg/m³ sans changement visible de la dernière décimale de la valeur du VCF. Un exemple est présenté dans le tableau 5.1, où la masse volumique peut varier de 739,4 à 746,9 kg/m³ sans affecter la valeur du VCF.

Incertitude dans la table de barémage : 0,01 à 0,10 %

La précision dans la table de barémage (TCT) varie en fonction de la méthode d'étalonnage utilisée et

Masse volumique à 15 °C (kg/m ³)	739,0	739,4	741,3	742,0	742,8	745,0	745,8	746,5	746,9	747,2
Incertitude (% de la lecture)	-0,80	-0,75	-0,50	-0,40	-0,30	0,00	0,10	0,20	0,25	0,30
VCF Calculé	0,9938	0,9939	0,9939	0,9939	0,9939	0,9939	0,9939	0,9939	0,9939	0,9940

Tableau 5.1 : La variation de la masse volumique n'affecte pas grandement le facteur de correction du volume.

du temps écoulé depuis l'étalonnage. Les anciennes méthodes d'étalonnage indiquent souvent une incertitude de 0,10 % concernant la TCT, tandis que les méthodes d'étalonnage récentes basées sur l'EODR (Écartement de distance électro-optique) ont montré des pourcentages très bas (0,01 %-0,02 %).

Le fait que le comptage transactionnel corresponde à une mesure de différence affecte également l'incertitude concernant la TCT, et les erreurs sont dans une certaine mesure annulées. Particulièrement sur les petits transferts, cet effet d'annulation peut avoir un impact important, et l'incertitude peut être meilleure que les chiffres indiqués plus haut. En outre, une erreur de décalage due à des difficultés pour estimer le volume inférieur n'aura donc aucune influence (ou très peu) sur le lot transféré, du fait que cette partie du bac ne doit pas être utilisée pour des transferts.

Alors, qu'en est-il des incertitudes indiquées plus haut quand il s'agit de volume et de masse normalisés ? Pour répondre à cette question, toutes les incertitudes ci-dessus doivent être prises en compte pour le calcul d'une valeur. Ce travail a été discuté au sein d'OIML R 85 depuis plusieurs années sans qu'aucun document n'ait été publié et sans qu'aucun comité de travail n'ait été constitué. Le chiffre qui a été avancé comme exigence pour le comptage transactionnel est de l'ordre de 0,5 % en fonction de la masse, et c'est aussi un chiffre que certaines autorités métrologiques utilisent aujourd'hui pour le comptage transactionnel basé sur la masse. L'avenir dira quelles exigences seront définies dans les normes futures.

5.2 Système ATG vs. système à débitmètre

Un fournisseur de systèmes de téléjaugage entend souvent la question suivante : « Quel est le degré de précision d'un système de téléjaugage par rapport à un système basé sur un débitmètre au niveau des transferts ? » La réponse à cette question peut être ainsi formulée : « Cela dépend du transfert réel », mais cette réalité élémentaire est illustrée à la figure 5.3 ci-dessous :

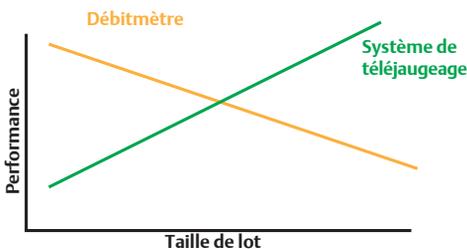


Figure 5.3 : Les systèmes ATG fonctionnent mieux que les systèmes de débitmètres lors de la manipulation de gros lots et vice versa.

La figure 5.3 montre qu'en général, un système de téléjaugage automatique (ATG) est mieux à même de traiter de gros lots de transfert et un système de débitmètre est meilleur pour des lots plus petits. Le point d'intersection des deux courbes varie entre les différentes tailles de bacs, et la forme du bac a une certaine influence. Cependant, beaucoup d'autres facteurs entrent en jeu qui peuvent également avoir une influence sur la performance et, en général, on peut affirmer que :

Les ATG peuvent ne pas bien fonctionner si :

- Les lots sont de petite taille
- La table de barépage du bac est ancienne ou mal attachée
- Les bacs sont déformés ou mécaniquement instables

Les compteurs peuvent ne pas fonctionner correctement si :

- Les lots sont de grande taille
- Le produit contient des matériaux abrasifs, du sable, etc. qui peuvent détériorer les pièces mécaniques
- Le produit est visqueux (bitume, huile lubrifiante, pétrole cireux, etc.)
- Il n'y a pas suffisamment d'installations adéquates d'étalonnage du compteur

Examinons le dernier point ci-dessus. L'étalonnage d'un système ATG est normalement très simple et peu coûteux par rapport à celui de compteurs nécessitant des équipements complexes et coûteux.

Il faut prendre également en compte le fait qu'un système ATG peut normalement être nécessaire à d'autres fins, telles que :

- le contrôle opérationnel
- le contrôle de l'inventaire
- le contrôle des pertes et le bilan massique
- un échelon indépendant de protection antidébordement et d'alarme de fuites

Si l'on suppose qu'il doit toujours y avoir un système ATG installé voué aux fonctions mentionnées plus haut, le coût supplémentaire lié à l'utilisation du système ATG pour le comptage transactionnel peut également être estimé. Le prix d'un système ATG de classe comptage transactionnel est un peu plus élevé que celui d'un système de moindre performance.

Cependant, la durée de vie d'un système ATG est souvent très longue (moyenne 15 à 20 ans environ). De ce point de vue, l'investissement supplémentaire dans des équipements performants sera négligeable. En outre, la procédure de supervision de la performance par une entreprise indépendante (vérification ultérieure) une fois le système installé dans un bac est limitée à quelques heures par an. Ainsi, le coût additionnel total lié à l'acquisition d'un système ATG avec comptage transactionnel certifié peut donc être considéré comme faible.

Le statut de la table de barémage des bacs doit également être pris en considération. Voilà une raison suffisante pour envisager le barémage d'un ancien bac selon les nouvelles méthodes modernes, surtout si le barémage a été fait il y a longtemps. Le coût du barémage peut ne pas être élevé, compte tenu de l'erreur de mesure en termes de volume du produit qui peut se produire pendant une seule opération de vidange ou de remplissage d'un bac.

Pour les transferts de produits, de nombreux opérateurs utilisent à la fois un système ATG et un système à débitmètre. Ils peuvent ensuite comparer le résultat des deux technologies et enquêter sur la cause si la différence est trop importante.

5.3 Jauges de niveau de procédé vs. jauges de niveau de téléjaugeage

Il peut être tentant pour un utilisateur d'utiliser une jauge radar de niveau de procédé dans une application de téléjaugeage, car le coût est souvent moindre (voir [chapitre 2](#)). Dans ce cas, il faut garder à l'esprit un certain nombre de facteurs importants qui sont présentés dans les sections suivantes.

5.3.1 Architecture système

La plupart des jauges de niveau de procédé sont conçues pour produire uniquement des informations de niveau sur un système SNCC sans qu'il existe de fonctions ATG particulières. Une telle fonction pourrait être une mesure de température moyenne intégrée qui prend en compte le niveau dans le bac, des algorithmes de correction pour l'expansion de la paroi du bac, la correction de la température des tables de barémage, etc. En outre, la plupart des jauges de niveau de procédé utilisent une boucle de courant de 4-20 mA qui a une résolution trop faible pour des fins de téléjaugeage, et l'unité peut manquer de possibilités de communication pour un bus numérique plus efficace ou avancé. Certains systèmes de téléjaugeage ont également la possibilité de gérer le câblage existant à partir d'anciennes jauges de niveau mécaniques, et peuvent souvent coexister avec elles en les émulant. Des fonctions logicielles pour les calculs complexes de masse et de volume sont également requises et ne sont normalement pas disponibles dans les systèmes SNCC ou PLC standard.

5.3.2 Déclaration de précision

Une jauge de niveau de procédé est souvent optimisée pour gérer des conditions de fonctionnement difficiles, telles que les turbulences liquides, le moussage de produit, la haute pression et la haute température. Dans de telles conditions, la précision n'est pas un élément prioritaire. Malgré cela, on trouve des déclarations de précision comme « précision de 3 mm dans les conditions de référence » pour une jauge de niveau de procédé. Cela peut être vrai dans les conditions de référence, mais dans une application de

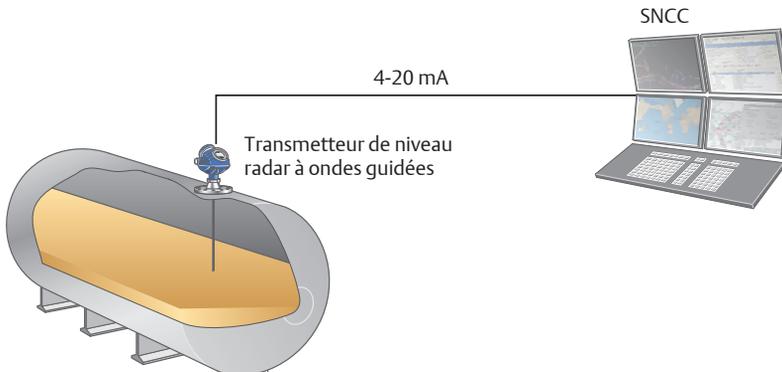


Figure 5.4 : Architecture typique du transmetteur de mesure de niveau de procédé.

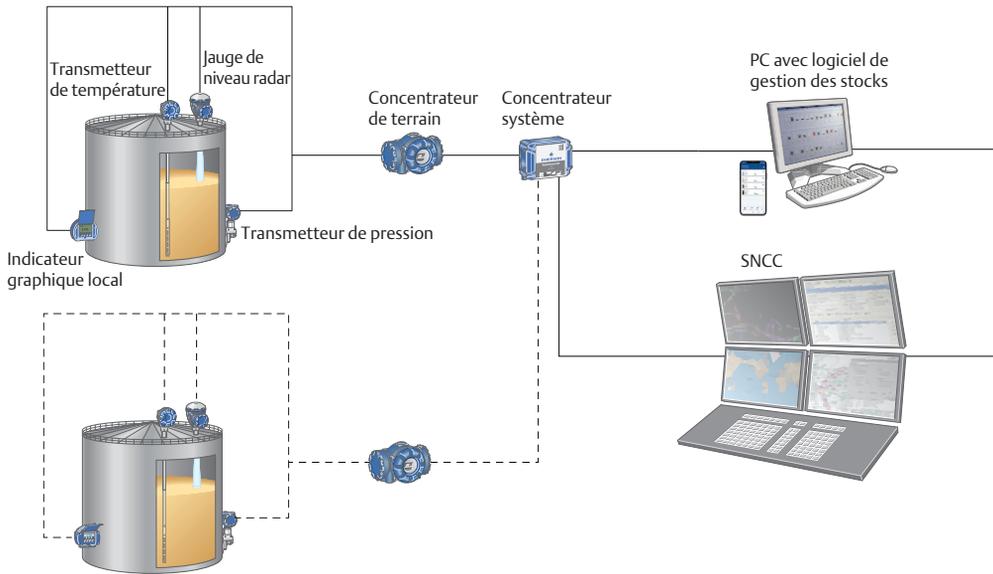


Figure 5.5 : Architecture typique d'un système de téléjaugage.

téléjaugage, il sera nécessaire de mesurer l'influence de la température. Généralement, on observe un très grand écart par rapport à un téléjaugage de niveau, qui, si approuvé conformément à l'OIML R 85, ne doit pas varier de plus 1 mm (0,02 po) sur toute la plage de température ambiante. Si les déclarations sur l'influence de la température sur une jauge de niveau de procédé (si le fabricant l'indique) sont vérifiées, on pourra observer des chiffres typiques de précision de l'ordre de 20 mm (0,8 po) ou plus sur la plage de température ambiante prévue. Cette dépendance envers la température rend souvent la jauge de niveau de procédé inutilisable dans une application de téléjaugage. Une simple différence de température entre le jour et la nuit peut suffire à inquiéter un opérateur, car cela pourrait ressembler à une fuite dans un bac de stockage non actif. Les estimations d'inventaire peuvent varier considérablement selon la météo, et le contrôle des pertes et le bilan massique peuvent être inexacts.

La différence d'influence de la température entre une jauge de niveau de procédé typique et un ATG dépend de la technologie utilisée. Une jauge de niveau ATG est normalement basée sur une technologie FMCW, avec laquelle il est plus facile de réduire l'influence de la température qu'avec une jauge de niveau de procédé pulsée (également appelée « temps de propagation »), pour laquelle il est plus difficile de stabiliser la température du circuit de synchronisation.

5.3.3 Durée de vie escomptée

La durée de vie d'un système de téléjaugage dépasse souvent les 20 années, ce qui est rarement le cas pour une jauge de niveau de procédé. Pendant cette période, les pièces de rechange doivent être disponibles pour sécuriser la maintenance sans perturbations opérationnelles graves. Avec un coût réduit et une simple connexion 4-20 mA à un système SNCC utilisé par une jauge de niveau de procédé, on peut déduire qu'il sera plus simple de remplacer complètement l'appareil de mesure de niveau. Il peut être important de vérifier la politique des fabricants concernant la longévité des produits.

5.3.4 Installation

Une jauge de niveau de procédé est souvent conçue pour être installée sur des cuves plus petites ayant des ouvertures étroites, ce qui exclut souvent une jauge de niveau ATG typique. Les jauges de niveau radar ATG sont souvent dotées d'ouvertures d'antenne plus grandes pour permettre l'installation sur les passages accessibles sur les bacs de stockage. Ces dernières sont souvent situées à proximité de la paroi du bac, car cette zone est considérée comme un point d'installation relativement stable. La plus

grande ouverture de l'antenne sur une jauge de niveau ATG permettra une installation à proximité de la paroi du bac sans dégradation de performances résultant d'échos radar parasites provenant de la paroi du bac. Une antenne trop petite verrait dans ce cas sa précision installée affectée par les échos parasites. Il est possible d'augmenter la fréquence du signal radar jusqu'à un certain point afin d'obtenir une directivité plus élevée du faisceau de radar transmis et ainsi éviter ainsi les influences de la paroi du bac. Cependant, des fréquences plus élevées présentent d'autres inconvénients et, étant donné que la taille des ouvertures des bacs est rarement critique dans les bacs de stockage, dans la plupart des cas, elles n'offrent aucun avantage.

5.3.5 Installation dans des puits de tranquillisation

Dans les applications ATG, il est courant d'installer la jauge de niveau dans un puits de tranquillisation. En effet, un puits de tranquillisation correctement installé au fond du bac ou dans la partie inférieure de la paroi du bac, est un point de référence très stable pour la mesure du niveau. Autre raison possible : le bac a un toit flottant, et il est nécessaire de pénétrer au travers du toit avec un puits de tranquillisation pour accéder à la surface du liquide.

Le pourcentage d'installations nécessitant une installation avec des puits de tranquillisation est d'environ 50 % dans les installations ATG et près de 0 % pour les installations de procédé. En conséquence, il est très rare de voir les jauges de niveau de procédé fournies avec le type spécial d'antenne radar nécessaire aux installations haute performance sur des puits de tranquillisation. Utiliser un dispositif standard de propagation libre sur un puits de tranquillisation donnerait des résultats de mesure très médiocres, car ils sont dépourvus de mode de transmission H01 spécial (voir [chapitre 2](#)). L'absence d'une solution d'antenne adaptée pour les puits de tranquillisation peut s'avérer être la principale différence entre une jauge de niveau ATG radar et une jauge de niveau de procédé.

6

Mesure de température

Rubrique	Page
6.1 Influence des tables API_____	43
6.2 Erreurs de mesure systématiques____	44
6.3 Norme API_____	44
6.4 Emplacement des points de mesure_____	45
6.5 Utilisation complémentaire de la mesure de la température dans le téléjaugage_____	45
6.5.1 Correction de la hauteur du bac_____	45
6.5.2 Correction de la table de barémage____	46
6.5.3 Correction de la sonde piézométrique manuelle_____	46

6. Mesure de température

La mesure de la température du produit est essentielle dans un système de téléjaugeage lors de la saisie des données pour le calcul du volume et massique standard, et il a une plus grande importance que ce que certains utilisateurs pensent. Dans le passé (et aussi dans une certaine mesure aujourd'hui), on pouvait observer des bacs de stockage avec une seule sonde de température montée sur la paroi du bac près du fond du bac. Ce type de disposition ne donnera pas une valeur représentative de la température globale du produit, car tous les bacs de stockage afficheront un gradient de température considérable de haut en bas. Cela peut, dans une certaine mesure, être minimisé par l'agitation du produit, mais l'agitation est dans la plupart des cas indésirable, car elle augmentera l'évaporation dans le bac ou depuis ce dernier. Les valeurs de différence de température attendue dans un bac cylindrique normal installé se situent dans une plage de 1 à 4 °C verticalement. Les produits froids auront une masse volumique plus élevée et se stabiliseront au fond du bac. Le gradient de température dans une direction horizontale a souvent été sujet à discussion ; néanmoins, dans des conditions normales, les documents API indiquent que la différence de température horizontale dans un bac de stockage est inférieure à 0,5 °C.



Figure 6.1 : Montage sur la partie supérieure du transmetteur de température avec jusqu'à 16 points de mesure de température.

Exemple 6.1 : Erreur de volume donnée par une erreur de température

L'exemple suivant illustre comment une grosse erreur de volume sera obtenue suite à une erreur de 1 °C sur la température moyenne du produit :

Dans un bac de forme cylindrique normal et typique, d'une hauteur de 20 m, d'un diamètre de 36 m et d'un volume total de 20 000 m³, l'erreur de volume sera égale à :

$$\text{Erreur de volume} = 20\,000 \times 700 \times 10^{-6} = 14 \text{ m}^3$$

où 700×10^{-6} repose sur l'hypothèse que le volume des produits pétroliers est affecté par la température à raison de 600-800 ppm par 1 °C.

Certes, cela ne paraît pas trop alarmant a priori, mais si l'on considère que l'erreur de température peut être systématique, à savoir, si une erreur similaire se produit chaque fois que l'on remplit ou l'on vidange un bac, cela causera des pertes considérables à l'une des parties impliquées dans la transaction.

Dans un bac de la même taille que dans l'exemple 6.1 cité, une erreur de niveau correspond à environ 1 m³ pour chaque mm. Une erreur de température de 1 °C influencera alors le volume de la même manière qu'une erreur de niveau de 14 mm !

Le système de téléjaugeage est donc peu adapté si la jauge de niveau a une précision installée de l'ordre de quelques millimètres et que la mesure de la température a une précision de ± 1 °C. Pour pouvoir se retrouver dans la même classe de précision que la jauge de niveau, le système de mesure de température doit avant tout pouvoir gérer le gradient

de température. En effet, il doit correspondre à une température de mesure de type multipoint à différentes hauteurs dans le bac et pouvoir calculer une moyenne à partir des sondes immergées dans le liquide. Deuxièmement, la sonde de température équipée d'un dispositif électronique de conversion doit avoir une précision largement supérieure à $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.1 Influence des tables API

Il faut tenir compte également des limitations de la mesure de température relativement aux tables API et au calcul du facteur de correction du volume (VCF). Avant 2004, les tables API n'avaient qu'une résolution de $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,5\text{ }^{\circ}\text{F}$), ce qui rendait inutile une précision de mesure de la température supérieure à $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le type de sonde typique utilisée dans ce cas sont des éléments Pt100 à 3 fils, où l'erreur due à une résistance différente dans les trois fils devrait être inférieure dans la plupart des cas à $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pourtant, si la précision de la température atteint $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$, l'erreur de niveau correspondante dans l'exemple de bac ci-dessus est de l'ordre de plusieurs millimètres, et sur les grands bacs de brut, la valeur peut être beaucoup plus grande. Une jauge de niveau moderne a une précision intrinsèque de $0,5\text{ mm}$ ($0,02\text{ po}$) et, lors de l'application de certaines corrections de bac, la précision installée pourrait atteindre 2 mm ($0,08\text{ po}$) ou mieux. C'est pourquoi il est important de diminuer l'erreur de mesure de température et d'arriver à une précision de l'ordre de $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou mieux. Depuis l'introduction des nouvelles tables API 2004 de plus haute résolution, l'utilisation de ces hautes précisions est désormais très pertinente.

Les tables de 2004 sont différentes de celles figurant dans toutes les tables antérieures en ce sens qu'elles n'utilisent pas la valeur VCF tabulée (la valeur imprimée) dans la table API. Au lieu de cela, c'est le résultat de l'algorithme sous-jacent à la table qui est la valeur correcte. Ceci est une conséquence du fait que les opérateurs aujourd'hui n'utilisent pas la valeur de la table, mais plutôt un programme informatique qui se sert d'un algorithme pour permettre à l'ordinateur de faire le calcul. Toutefois, lorsque l'ordinateur effectue le calcul des anciennes tables, il doit arrondir la valeur de température à $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour obtenir le même résultat que dans la table imprimée. Cette situation est différente dans la table de 2004, où l'arrondi devrait plutôt être au $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ le plus proche. Cela signifie que si le système de température a mesuré et calculé une température liquide moyenne de $18,37\text{ }^{\circ}\text{C}$, on utilisera la valeur $18,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans l'algorithme, et non pas $18,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ comme pour les anciennes tables.

Les nouvelles tables API ouvrent des possibilités pour une meilleure estimation du volume grâce à des mesures de température plus précises. La différence de résistance possible dans un système Pt100 à 3 fils n'est donc plus insignifiante, et il existe une tendance certaine à utiliser des sondes Pt100 à 4 fils. Une sonde Pt100 à 4 fils compensera entièrement la différence de résistance dans les fils du dispositif électronique de conversion à l'élément Pt100. Elle nécessite une résistance à l'unité de conversion de température qui est conçue pour des connexions à 4 fils, et le dispositif électronique de conversion doit avoir une précision et une stabilité suffisantes à la température ambiante.



Figure 6.2 : Gauche – Sonde de température multipoint avec éléments Pt100 et gaine métallique résistante à la corrosion. Droite – Ensemble de mesure de température complet avec transmetteur, sonde, capteur de niveau d'eau en option et lest d'ancrage.

Les éléments de la sonde Pt100 existent en différentes classes de précision et, de manière générale, les éléments à 4 fils utilisent les classes de précision les plus élevées. Certains fabricants publient également une feuille d'étalonnage avec chaque élément. Cette feuille d'étalonnage peut ensuite être utilisée pour saisir les corrections de l'élément de la sonde et améliorer ainsi encore plus la précision. Pour effectuer cet étalonnage automatique, une fonction correspondante doit être disponible dans le système de mesure de température.

6 - Mesure de température

En résumé, on pourrait dire que la mesure de température ne doit pas être un facteur limitant pour adapter adéquatement les performances avec la jauge de niveau dans un système de téléjaugeage. Cependant, les points cités plus haut doivent être pris en compte, et ils restent aussi importants pour une estimation correcte du volume que pour la performance de la jauge de niveau.

6.2 Erreurs de mesure systématiques

Dans un système de téléjaugeage, les erreurs de mesure qui peuvent être décrites comme systématiques doivent être évitées dans la mesure du possible, car elles pourront se multiplier avec le temps et entraîner des pertes considérables pour l'acheteur ou pour le vendeur. Pour la mesure de niveau avec une jauge de niveau radar, l'erreur est principalement de type aléatoire, mais pour la mesure de température, elle peut souvent être systématique.

Exemple 6.2 : Mesure de la température à l'aide d'une seule sonde

Dans le cas ordinaire où une seule sonde de température est installée au fond du bac, il est certain que cette dernière ne représentera pas la température moyenne du produit dans un bac stabilisé. Si le gradient de température est de 4 °C, on peut s'attendre à ce que la sonde de température indique une température moyenne entachée d'une erreur de l'ordre de 2 °C par valeur inférieure chaque fois qu'un transfert d'un bac plein est démarré. Exprimé en volume standard, cela signifie que le volume est surestimé au départ et, dans l'exemple 6.1, cela correspondrait pour un bac typique à une erreur de 28 m³. Cela signifie que 28 m³ de moins que la mesure indiquée ont été livrés. Cela implique que l'erreur est approximativement la même chaque fois qu'a lieu un transfert de ce bac, car la stratification de la température est systématique de par sa nature physique. Avec un taux de rotation de 30 fois par an, cela représentera de l'ordre de 800 m³ par an, soit environ 40 camions-citernes pleins, pour un seul bac.

Dans cet exemple, le scénario illustre l'importance d'utiliser une sonde de température multipoint, bien qu'il soit encore important de prendre des précautions, car une erreur dans un élément de température pourrait entraîner une erreur systématique similaire ; l'élément de température défectueux ne peut être inclus que dans la mesure

moyenne de la température à certains niveaux de liquide et exclu à des niveaux inférieurs. La qualité de la sonde multipoint revêt une grande importance, et la performance de chaque élément peut être soumise des vérifications à certains intervalles.

Exemple 6.3 : Erreur de volume due à une erreur de température par rapport à une erreur de niveau de niveau correspondante dans un bac de 20 m de haut, de 36 m de diamètre et un volume de 20 000 m³.

Erreur de température (°C)	Erreur de volume résultante (m ³)	Erreur de jauge de niveau correspondante (mm)
0,25	3,5	3,5
0,50	7	6,9
0,75	10,5	10,3
1,00	14	13,8
1,25	17,5	17,2
1,50	21	20,6
1,75	24,5	24,1
2,00	28	27,5

6.3 Norme API

Le chapitre 7.3 du MPMS de l'API, « Détermination de la température – Systèmes automatiques de température en bac fixe » a été publié en 2011. Il décrit les méthodes, l'équipement et les procédures en vue de déterminer les températures du pétrole et des produits pétroliers dans des conditions statiques en utilisant une méthode automatique.

Des instructions ayant trait aux exigences de conception et d'équipement sont données, notamment des recommandations sur les sondes de température à résistance (RTD) et l'utilisation de sondes de moyenne multipoint pour les applications de comptage transactionnel. Elles fournissent des exigences d'installation et de précision et proposent des procédures d'inspection et de vérification d'un système complet de thermomètre de bac de stockage automatique (ATT).

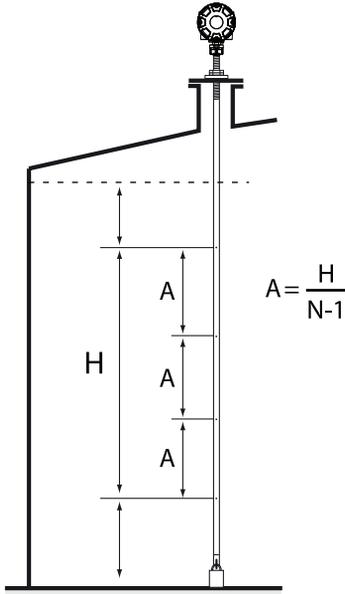


Figure 6.3 : Les points de mesure de température doivent être placés à distance égale entre chaque élément.

6.4 Emplacement des points de mesure

Pour obtenir une bonne représentation de la température moyenne dans un bac cylindrique vertical, les points de mesure de température doivent être positionnés de manière homogène avec des intervalles d'au moins 2-3 m.

Pour éviter une influence possible de la température du sol, le point le plus bas doit être placé à environ 1 m du fond du bac. En outre, pour éviter l'influence de la température ambiante, la sonde doit être installée à au moins 1 m de la paroi du bac et à proximité d'une trappe de jaugeage à des fins de vérification.

6.5 Autres utilisations de la mesure de température dans le téléjaugeage

En plus de l'utilisation pour le calcul du volume standard, le système de mesure de température est également utilisé à d'autres fins ; voir l'exemple suivant :

6.5.1 Correction de la hauteur du bac

La plupart des jauges de niveau mesurent la distance de leur position de montage jusqu'à la surface du liquide (mesure du creux) et calculent le niveau en soustrayant le creux de la hauteur de référence (la distance entre le point de montage de la jauge de niveau et la plaque de référence). Ce calcul affichera une erreur si cette distance n'est pas constante, c'est-à-dire, si le niveau varie en fonction du changement de hauteur de référence. Un type de changement qui est facile à compenser est la dilatation/contraction thermique de la paroi du bac ou du puits de tranquillisation. Avec une sonde de température multipoint installée dans le bac du haut vers le bas, on peut estimer une valeur moyenne de la température de la paroi du bac ou du puits de tranquillisation. Dans ce cas, tous les éléments de température individuels sont utilisés pour le calcul de la température moyenne, et une correction peut être appliquée sur la hauteur de référence en fonction de la dilatation thermique de l'acier au carbone (10-12 ppm/°C).

Pour la correction d'une paroi de bac il faut tenir compte du fait qu'il y a un liquide à l'intérieur du bac et de l'air à l'extérieur, ainsi que les différents produits concernés. L'influence thermique diffère largement pour l'air et un liquide, et l'API a indiqué que la température de la paroi du bac dans chaque point de mesure devrait être calculée comme suit :

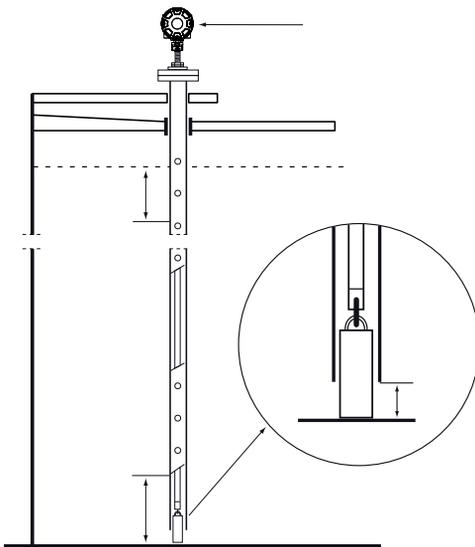


Figure 6.4 : Sur les bacs à toit flottant, on utilise souvent un puits de tranquillisation pour l'installation de la sonde de température.

$$T_{\text{paroi du bac}} = \frac{1}{8} T_{\text{ambiante}} + \frac{7}{8} T_{\text{liquide}}$$

La température ambiante peut être difficile à mesurer, car elle peut être affectée par le rayonnement solaire et la position de la sonde de température sur le bac. Une température ambiante correcte nécessiterait probablement une station métrologique avancée sur chaque bac et, en pratique, la plupart des utilisateurs ne réalisent pas cet investissement, étant donné que l'influence est assez faible. La précision du système de mesure de température n'est pas critique au regard de cette correction ; voir l'exemple 6.4.

Exemple 6.4 : Erreur de hauteur de référence

Une erreur de 5 °C lors d'une correction d'un puits de tranquillisation de 20 m de haut ou d'une paroi de bac ne donnera que l'erreur de niveau suivante :

$$\text{Erreur de hauteur de référence} = 5 \times 10 \times 10^{-6} \times 20\,000 = 1 \text{ mm}$$

où 10×10^{-6} repose sur l'hypothèse qu'une paroi de bac en acier au carbone se dilate de 10 ppm/1 °C.

Un système de jauge de niveau moderne devrait, si nécessaire, avoir la capacité de corriger ces changements de hauteur de référence.

6.5.2 Correction de la table de barémage

Une table de barémage (TCT) n'est valable qu'à une certaine température, à savoir la température de la robe du bac lors de son étalonnage. La température du produit affectera la robe du bac qui se dilatera ou se contractera en fonction de la température. Un bac identique à celui de l'exemple précédent (20 000 m³) est affecté par une variation de température de 5 °C par rapport à sa température d'étalonnage comme suit :

$$5 \times 20 \times 10^{-6} \times 20\,000 = 2 \text{ m}^3$$

où 20×10^{-6} repose sur l'hypothèse que la zone d'expansion d'une paroi de bac en acier au carbone est de 20 ppm/1 °C.

L'erreur résultant en l'absence de correction du TCT peut ne pas gêner un utilisateur, mais dans les bacs de grande taille ou chauffés, l'erreur peut être beaucoup plus grande. Si le bac dispose déjà d'un système de mesure de température, il est facile d'activer la correction dans le logiciel, de sorte qu'il ne devrait pas y avoir de raison de ne pas l'utiliser.

6.5.3 Correction de la sonde piézométrique manuelle

Lorsqu'on effectue une mesure de référence avec une sonde piézométrique manuelle, il faut savoir que le ruban ne montre la valeur correcte que si le ruban est à la même température que lors de son étalonnage.

Pour une mesure quotidienne normale avec une sonde piézométrique manuelle, il n'est peut-être pas nécessaire de corriger cette influence de la température, mais lorsque des mesures de référence ou des mesures dans des bacs chauffés sont effectuées, l'utilisation du ruban peut entraîner de grosses erreurs. Exemple de bac de bitume chauffé.

Exemple 6.5 : Erreur de bande dans le bac de bitume chauffé

Même bac que précédemment : 20 m de haut, à moitié plein, température du bac au-dessus du liquide de 170 °C, ruban étalonné à 20 °C, baisse du creux (en raison du bitume) :

$$\text{Erreur de bande} = (170-20) \times 10 \times 10^{-6} \times 10\,000 = 15 \text{ mm}$$

Avec cette baisse du creux à 10 m, le ruban affichera une erreur de 15 mm.

Si le bac dispose d'un système de mesure de température, ce dernier peut être utilisé pour estimer la température du ruban après insertion dans le bac. En général, le ruban prendra très rapidement la même température que la vapeur dans le bac, et donc, la température de vapeur mesurée par le système de téléjaugeage pourrait être utilisée pour la correction.

7

Gaz liquéfiés

Rubrique	Page
7.1 Télégaugeage radar dans des bacs sous pression_____	48
7.2 Télégaugeage radar dans des bacs de confinement total_____	49
7.3 Configuration typique du système____	49



7. Gaz liquéfiés

Le téléjaugeage radar est utilisé dans les bacs de gaz liquéfiés depuis les années 1980. Ces gaz, généralement des GPL (gaz de pétrole liquéfiés) et des GNL (gaz naturel liquéfiés), sont stockés en tant que liquides par pression dans des bacs sphériques ou cylindriques ou réfrigérés dans des bacs de confinement total. Le GNL (gaz naturel liquéfié) fait naître des défis supplémentaires en matière de téléjaugeage pour l'inventaire et la sécurité par rapport aux autres hydrocarbures. Pour y faire face, les opérateurs doivent, entre autres, surveiller les profils de masse volumique et de température sur toute la hauteur du bac.

Une jauge de niveau radar pour gaz liquéfié doit être installée dans un puits de tranquillisation en acier inoxydable ou en aluminium pour obtenir une plage de mesure et des performances maximales. La jauge radar est montée sur un piquage situé au sommet du bac. Un puits de tranquillisation ordinaire, de 100 mm (4 po) de diamètre, est monté sur le même piquage jusqu'au fond du bac.

Ce puits de tranquillisation est équipé d'une broche de vérification. Elle est montée pendant l'installation à une position connue et générera un petit écho utilisé pour la vérification de la jauge à la pression normale de service dans le bac. Une jauge radar peut effectuer un test de vérification à tout moment sans interférer avec la mesure normale du liquide. Le résultat de la vérification automatique peut être présenté dans une fenêtre de service du logiciel de diagnostic incorporé dans l'interface utilisateur.

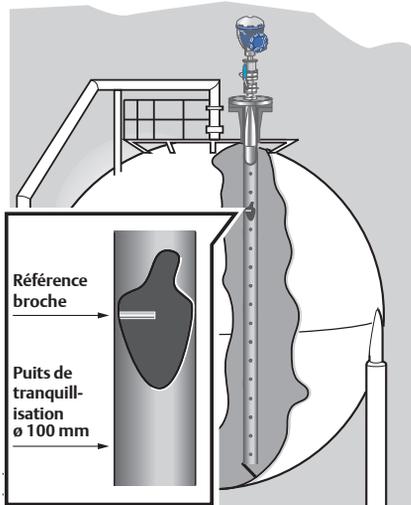


Figure 7.1 : Mesure de niveau dans un bac de gaz sphérique utilisant un puits de tranquillisation avec broches de référence.

7.1 Téléjaugeage radar dans des bacs sous pression

Le téléjaugeage automatique sur des bacs sous pression est décrit dans le MPMS de l'API, au chapitre 3.3. La conception de jauges radar pour applications sous pression doit prendre en compte les points suivants. Tout d'abord, l'unité doit résister à la pression du bac et respecter les normes de sécurité concernant les cuves sous pression. Deuxièmement, la jauge radar doit être fabriquée de sorte à pouvoir faire face efficacement aux défis liés aux fortes pressions de vapeur dans ces bacs. Troisièmement, la jauge radar doit être en mesure de vérifier les performances dans les conditions normales de service du bac.



Figure 7.2 : Une jauge radar pour les bacs de gaz sous pression doit faire face aux difficultés liées aux fortes pressions de vapeur.

Les applications typiques pour ce type de jauge radar sont des bacs sphériques et horizontaux utilisés pour le stockage de gaz liquéfié.

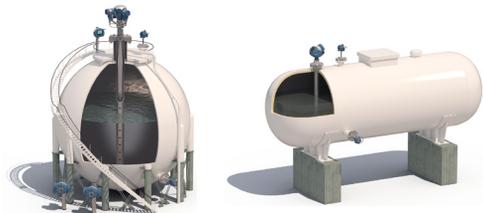


Figure 7.3 : Bacs sphériques et horizontaux utilisés pour le stockage du gaz liquéfié.

7.2 Télégaugeage radar dans des bacs de confinement total

La conception de base de la jauge utilisée pour le télégaugeage radar sur des bacs sous pression est également utilisée sur les bacs de confinement total. Le télégaugeage radar est aujourd'hui largement utilisé pour la mesure de niveau et la protection antidébordement dans les bacs de stockage de confinement total. Cette méthode sans contact et sans pièces mobiles offre des avantages en termes de fiabilité et exige un entretien moins fréquent. Le radar est particulièrement adapté aux applications de gaz cryogénique/réfrigéré où la maintenance dans les bacs n'est possible que lors de périodes de maintenance programmées à plusieurs années d'intervalles. En outre, les distances de mesure souvent longues dans cette application font de la mesure sans contact une alternative attrayante.



Image 7.4 : Bac de confinement total utilisé pour le stockage de gaz liquéfiés réfrigérés.

Un bac de stockage de confinement total typique contient de grandes quantités de gaz liquéfiés, de 30 à 200 000 m³. Du point de vue économique, opérationnel et de sécurité, les données mesurées par le système de télégaugeage ont un impact important. Une jauge radar de précision offre une précision de l'ordre d'un millimètre sur toute la hauteur du bac.

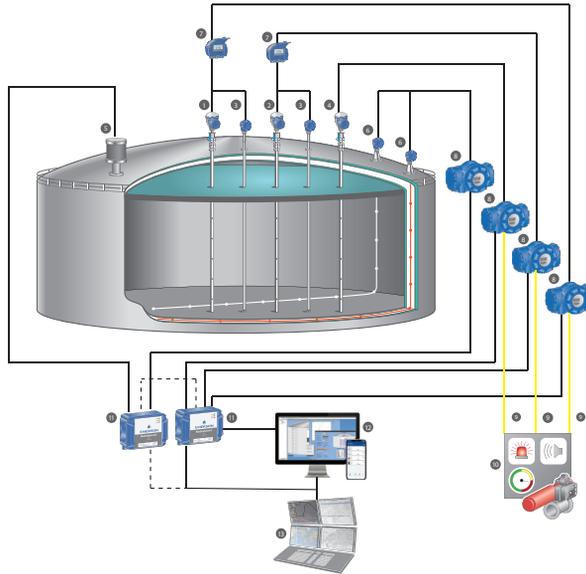
7.3 Configuration typique du système

Un système typique de télégaugeage radar à confinement total combine haute fiabilité, performance de mesure élevée et fonctions de sécurité. Ces fonctions peuvent inclure :

- Une jauge radar primaire et une jauge radar secondaire de haute précision pour la mesure de niveau.
- Deux (2) transmetteurs de, chacun avec jusqu'à 16 sondes de température ponctuelles pour la mesure de la température moyenne du liquide.
- Une troisième jauge radar pour une alarme indépendante de niveau haut fournit une sortie à un panneau d'alarme via un relais homologué SIL 2/SIL 3 ou des signaux 4-20 mA. Elle peut, en combinaison avec les jauges primaire et secondaire, être placée dans un système de vote deux sur trois.
- Transmetteurs et sondes de température pour :
 - La commande de refroidissement grâce aux mesures de température de la paroi interne du bac et du fond lors du premier remplissage.
 - La détection des fuites grâce à la surveillance de la température dans l'espace d'isolation (entre la paroi intérieure et l'extérieur du bac).
- Un appareil indépendant pour le profilage du niveau, de la température et de la masse volumique (LTD) des produits non homogènes tels que le GNL.
- Un indicateur graphique local.
- Des dispositifs de communication, par exemple des concentrateurs de terrain pour la collecte de données à partir d'instruments de terrain et la transmission de ces données vers la salle de commande.
- Des dispositifs de communication dans la salle de commande fournissant des données aux systèmes SNCC/IHM/informatiques.
- Logiciel de gestion des stocks des bacs comprenant la surveillance de la stratification, la prédiction du roll-over et les fonctionnalités de rapport. Les postes de travail sont configurés en réseau pour la distribution de données et une redondance accrue.

L'antenne à jauge de niveau radar pour les bacs de confinement total doit être conçue pour des mesures sur gaz liquéfié cryogénique/réfrigéré. Les signaux radar sont transmis à l'intérieur du puits de tranquillisation en acier inoxydable de 4 po, ce qui permet à la jauge d'avoir un écho suffisamment fort, même en cas d'ébullition en surface.

7 - Gaz liquéfiés



1	Jauge de niveau radar principale	6	Transmetteur de température avec sondes pour le refroidissement et la détection de fuites	11	Concentrateur de données
2	Jauge de niveau radar secondaire	7	Indicateur graphique local	12	Système de gestion des bacs
3	Transmetteur de température et sondes de température cryogènes multipoint	8	Concentrateur de terrain	13	SNCC/Système hôte
4	Alarme de niveau indépendante (jaugage continu)	9	Relais SIL 2/SIL 3 ou signal d'alarme 4-20 mA		
5	Jauge de niveau, de température et de masse volumique (LTD)	10	Panneau d'alarme indépendant		

Figure 7.5 : Exemple de système haute performance de téléjaugeage de bac de confinement total.

Le joint d'étanchéité du bac est doté d'une fonction de double blocage, comprenant une fenêtre en PTFE et une vanne à boule résistante au feu. Une fonction de mesure de référence permet de vérifier les mesures pendant que le bac est en service.

Pour la mesure du niveau du bac de confinement total inshore, les deux types de jauges les plus couramment utilisés aujourd'hui sont les jauges à servomoteur mécaniques et les jauges radar. La jauge mécanique actionnée par servomoteur utilise un plongeur mécanique attaché à un fil sur un tambour. Le plongeur est abaissé par le servomoteur dans le liquide et suit les mouvements de surface. Un jaugage intrusif, de nombreuses pièces mobiles et un programme de maintenance significatif constituent les principales difficultés liées aux systèmes de téléjaugeage basés sur des servomoteurs.

La protection antidébordement et la sécurité sont des préoccupations majeures pour toute installation utilisée pour le stockage en vrac de liquides inflammables. Bon nombre des premières applications radar sur le gaz liquéfié concernaient la protection antidébordement indépendante, car les servomoteurs mécaniques utilisés pour la mesure de niveau régulière ne répondaient pas aux exigences.

Aujourd'hui, il est souvent nécessaire de doter les systèmes de téléjaugeage radar de fonctionnalités d'alarme de haut niveau de classe SIL 2. Plusieurs indicateurs radar SIL peuvent être connectés dans une boucle SIS afin que le vote entre les alarmes de haut niveau soit effectué. Il est également possible d'utiliser une jauge radar 2-en-1 dans le même but.

Une configuration d'instrument typique sur un bac de GNL comprend un capteur LTD (niveau, température et masse volumique). Cet appareil LTD fournit un profil de masse volumique et de température pour le bac pouvant être utilisé pour détecter la stratification. Ces données sont utilisées pour les calculs au sein du logiciel afin de déterminer le risque de roll-over. Les données de LTD sont utilisées par des logiciels spéciaux pour la prédiction du roll-over. Dans un bac cryogénique, le roll-over est un phénomène susceptible de provoquer de grandes émissions de vapeur incontrôlées et d'endommager sévèrement le bac. En mesurant le profil de masse volumique et de température, on peut prédire le risque de roll-over. Les actions visant à atténuer le risque de roll-over peuvent ensuite être déclenchées en fonction des recommandations faites par le logiciel.

8

Capteurs supplémentaires

Rubrique	Page
8.1 Mesure de la masse volumique et téléjaugage hybride_____	52
8.2 Capteurs de pression utilisés dans le téléjaugage hybride_____	54
8.3 Recommandations d'installation_____	54
8.4 Mesure du niveau d'eau libre_____	54

8. Capteurs supplémentaires

Pour répondre à la plupart des besoins de téléjaugage, les mesures de niveau et de température sont suffisantes pour effectuer les calculs de volume requis. Cependant, dans de nombreux cas, on ajoute des sondes pour la mesure de la masse volumique observée et du niveau d'eau libre au fond du bac.

8.1 Mesure de masse volumique et téléjaugage hybride

Un système de téléjaugage hybride permet de mesurer aussi bien le niveau que la pression. La sortie d'un capteur de pression est utilisée en conjonction avec la valeur de niveau de téléjaugage. À partir de ces deux variables, la masse volumique observée du contenu du bac peut être calculée en ligne. Le chapitre 3.6 du MPMS de la norme API décrit l'utilisation d'un système de téléjaugage hybride et la méthode de calcul de la masse volumique.

Dans un bac ventilé ouvert, avec un toit fixe ou flottant, un seul capteur de pression est utilisé (P1). En présence de pression d'inertage ou provenant d'une autre source dans le bac, un deuxième capteur de pression (P3) est nécessaire.

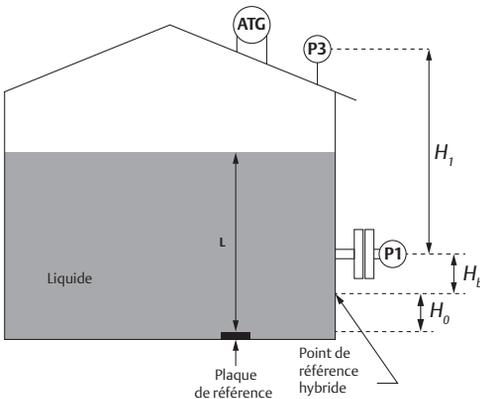


Figure 8.1 : La mesure de la masse volumique s'effectue à l'aide d'une jauge de niveau et d'un ou deux capteurs de pression.

Calcul de la masse volumique de produit observée,

1. Masse volumique observée du produit (D_{obs}) sous vide

Les calculs de masse volumique hybrides sont basés sur le fait que la masse volumique du produit est proportionnelle à la pression du liquide et peut être calculée comme suit :

$P1 - P3 = \text{tête de produit liquide total} + \text{tête de vapeur dans le bac} - \text{tête d'air ambiant entre P1 et P3}$

La pression de la tête dans le liquide et la vapeur est approximativement la même que le produit de la masse volumique et de la tête moyenne :

$\text{Pression de tête liquide} = g \times (L - Y) \times D_{obs}$
(au niveau de P1)

$\text{Tête de vapeur dans le bac} = g \times [H_t - (L - Y)] \times D_v$
(à la surface du liquide)

$\text{Tête d'air ambiant} = g \times H_t \times D_a$
(au niveau de P1)

Ensuite, la valeur de D_{obs} peut être calculée à partir de :

$$D_{obs} = \frac{N(P1 - P3) - g(D_v - D_a)H_t}{g(L - Y)} D_v$$

Où :

D_{obs} = masse volumique de liquide observée sous vide

N = constante d'unité

$Y = H_b + H_0$ (la distance verticale entre le capteur P1 et la plaque de référence du bac)

de la masse sous vide, de la masse dans l'air et du volume standard brut

L = niveau ATG (plein)

H_b = distance verticale entre le point de référence du capteur P1 et le point de référence hybride

H_0 = distance verticale entre la plaque de référence du bac et le point de référence hybride

g = accélération gravitationnelle locale

H_t = distance verticale entre les points de référence P1 à P3

D_v = densité de vapeur dans le bac

D_a = masse volumique de l'air ambiant

Remarque : si le point de référence hybride est à la même élévation que celui de la plaque de référence du bac, H_0 est égal à zéro.

2. Calcul de masse du produit sous vide (M)

$$M = GOV \times D_{obs} - WR$$

Où :

GOV = Volume brut observé

D_{obs} = masse volumique du produit observée (sous vide) de 1

WR = Masse du toit flottant (le cas échéant)

Remarque : dans les bacs de stockage atmosphériques, la masse du produit en vapeur peut être mise à zéro.

3. Masse apparente du produit dans l'air (M_a)

$$M_a = M \left(1 - \frac{D_a}{D_{obs}} \right)$$

Où :

M = Masse totale du produit (sous vide) de 2.

D_a = Masse volumique de l'air ambiant

D_{obs} = Masse volumique de liquide observée (sous vide) de 1.

4. Volume brut standard (GSV)

$$GSV = GOV \times VCF$$

Où :

GOV = Volume brut observé

VCF = Facteur de correction du volume, généralement obtenu à partir du MPMS, Chapitre 11.1, ASTM D-1250

8.2 Capteurs de pression utilisés dans un système de téléjaugage hybride

La précision de la masse volumique observée calculée dépend de la performance des capteurs de pression utilisés. En raison des caractéristiques des capteurs de pression, la précision de la masse volumique varie selon le niveau dans le bac. La précision de masse volumique la plus élevée est atteinte à des niveaux élevés de liquide. La précision est réduite lorsque le niveau dans le bac est proche du capteur P1. Il existe un certain niveau de coupure, ce qui signifie que les mesures de masse volumique sont inhibées en dessous de ce point.

Seuls les capteurs de pression les plus précis doivent être utilisés pour le téléjaugage hybride. La précision requise se situe dans la plage de 0,035 % de l'étendue d'échelle.

8.3 Recommandations d'installation

Pour obtenir la meilleure plage et la meilleure précision, le capteur P1 doit être situé au point le plus bas possible dans le bac. Cependant, l'emplacement ne doit pas être trop bas, sinon les interférences causées par l'eau libre et les boues entraîneront des problèmes de mesure. Typiquement, le capteur P1 est monté à un niveau entre 0,5 et 1 mètre du fond du bac. Le capteur de pression doit également être installé avec une vanne d'isolement, de telle sorte que le capteur puisse être enlevé et entretenu.

Le capteur P3 est situé au sommet du bac, au-dessus du niveau de liquide le plus élevé.

8.4 Mesure du niveau d'eau libre

Dans les bacs de pétrole, de l'eau peut s'accumuler au fond du bac de stockage. Cette eau peut provenir de la condensation de l'humidité de l'air dans les événements lors de la vidange du bac ou de l'infiltration accidentelle d'eau de pluie dans le bac. L'eau peut également s'infiltrer dans le produit avant le remplissage du bac. Ceci est courant dans les bacs de pétrole brut et peut poser problème si le niveau d'eau est trop élevé. Pour éviter cela, l'eau libre doit être évacuée du bac. En règle générale, la teneur en eau doit être maintenue aussi faible que possible.

Pour suivre l'évolution du niveau d'eau libre, on utilise des capteurs connectés au système de téléjaugage lorsque cela est nécessaire. Les données de niveau d'eau libre sont également utilisées dans le calcul de l'inventaire pour obtenir de bonnes évaluations du volume des produits.

Le capteur de niveau d'eau est un capteur d'interface qui détermine la ligne entre l'eau et l'hydrocarbure au-dessus, ce qui peut être une tâche très difficile. Dans les bacs contenant des huiles blanches raffinées, la limite entre l'eau et l'huile est souvent bien définie et facile à mesurer, alors que dans les bacs contenant des huiles noires ou du pétrole brut, l'interface a tendance à devenir une zone d'émulsion, ce qui rend la limite difficile à définir.

On utilise habituellement des capteurs de niveau d'eau capacitifs en conjonction avec les autres composants d'un système de téléjaugage. Le capteur capacitif est normalement intégré à la sonde de température. Cela permet d'installer l'unité combinée capteur de niveau/sonde de température dans une seule ouverture de bac de 50 mm (2 po) ou plus.

9

Architecture système

Rubrique	Page
9.1 Câblage du bac_____	58
9.2 Bus de terrain de parc de bacs de stockage_____	58
9.3 Redondance de communication_____	58
9.4 Solutions avec passerelle_____	59
9.4.1 Émulation de jauge_____	59
9.4.2 Communication sans fil_____	59
9.5 Logiciel_____	60



9. Architecture système

L'architecture système d'un système de téléjaugage a pour objectif principal d'acheminer aux utilisateurs de manière rapide et fiable des informations sur les bacs du parc de bacs de stockage.

Les systèmes de téléjaugage existants basés sur des jauges flottantes et des jauges à servomoteur utilisent tous des réseaux de communication exclusifs. Par le passé, différents fabricants de systèmes de téléjaugage utilisaient des réseaux de bus de terrain, des interfaces de communication et des protocoles distincts et incompatibles. Les utilisateurs de ces systèmes étaient dépendants d'un seul fournisseur d'équipement de téléjaugage pendant toute la durée de vie du système. En conjonction avec l'utilisation de jauges mécaniques qui nécessitaient une maintenance, une réparation et une fourniture de pièces, cette pratique générait souvent un coût élevé d'exploitation.

Les systèmes modernes de téléjaugage utilisent des architectures ouvertes et des protocoles de communication normalisés. Un utilisateur de ces systèmes ne sera pas limité à une seule source et bénéficiera de nombreuses options de choix des instruments.

Il existe maintenant des « solutions à passerelle » qui permettent de moderniser les systèmes existants étape par étape. Deux de ces passerelles sont l'émulation de téléjaugage et la technologie sans fil.

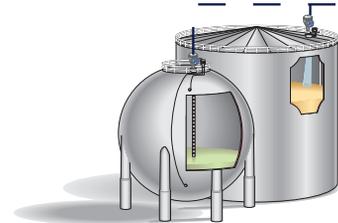


SCADA

Ethernet



Bus de terrain



9 - Architecture système

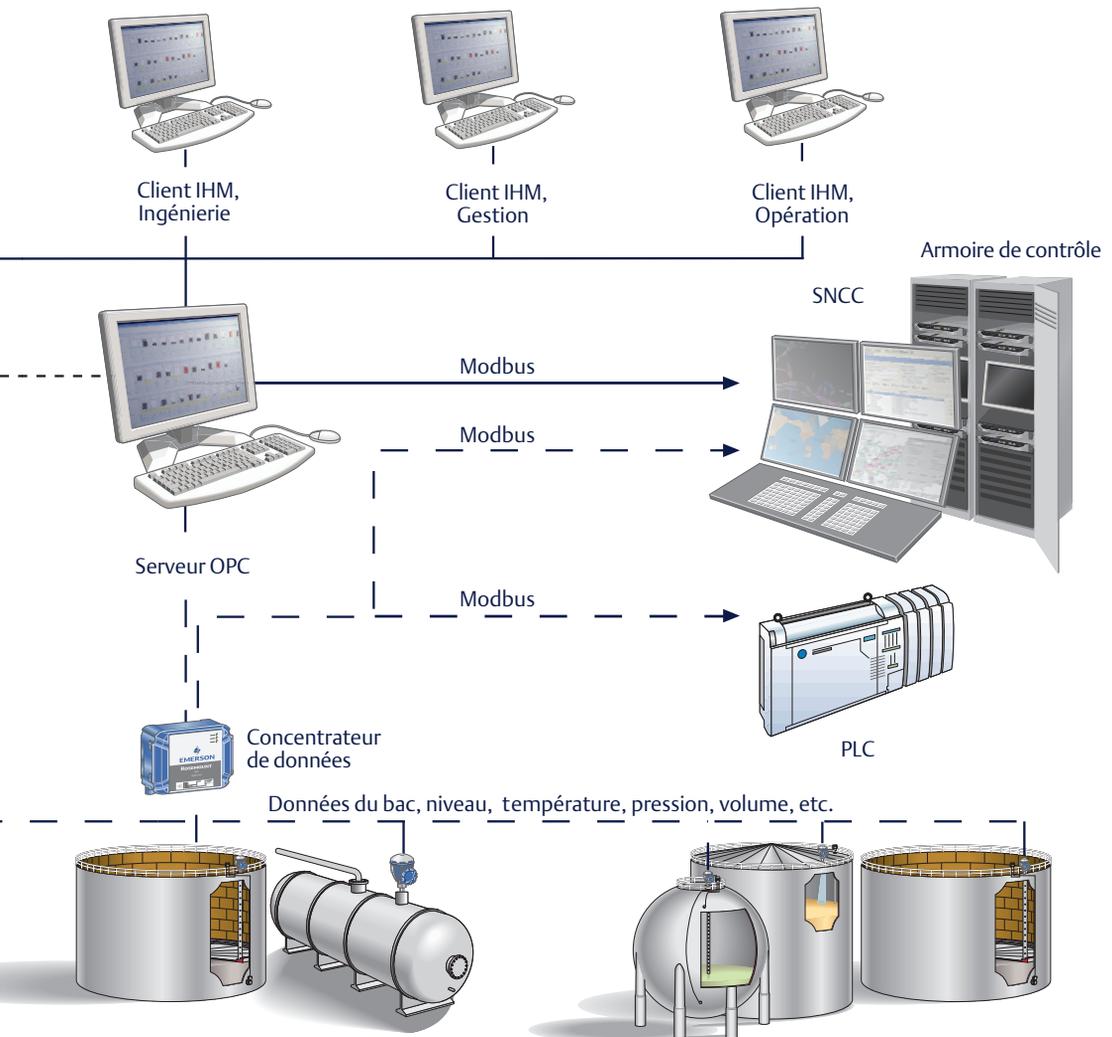


Figure 9.1 : Architecture moderne de système de téléjaugage.

9.1 Câblage du bac

Les instruments du bac nécessitent d'être alimentés et reliés à la salle de commande. Dans la plupart des cas, il est préférable de faire appel à un bus de terrain d'instrument à sécurité intrinsèque local. L'utilisation d'un câblage à sécurité intrinsèque sur le bac offre des avantages de sécurité. Cela permet également d'économiser en coût d'installation, car aucun câble coûteux n'est nécessaire. Le bus de bac est normalement connecté et alimenté par une unité de communication/alimentation côté bac. À partir de là, de plus grandes longueurs de bus de terrain de parc de bacs de stockage sont connectées, de même que l'alimentation locale. La communication sans fil peut également être localisée à partir d'ici.

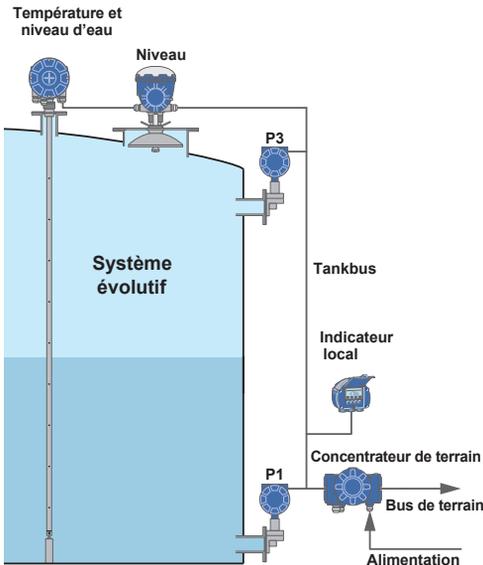


Figure 9.2 : Bus de terrain à sécurité intrinsèque fournissant l'alimentation et la communication aux unités de bac.

9.2 Bus de terrain de parc de bacs de stockage

Les valeurs de procédé mesurées par les appareils de bacs de stockage doivent être transmises aux utilisateurs rapidement et avec une grande intégrité. Les appareils sont répartis sur une grande surface dans le parc de bacs de stockage et le câblage du bus de terrain peut courir sur de longues distances. Le câblage doit répondre à des critères stricts tels que l'atténuation et la foudre. Un câblage existant est souvent en place, et il doit être possible d'utiliser ce câblage lors de l'installation d'un nouveau système de téléjaugage, car de nouveaux câbles de liaisons sont coûteux à installer. Si aucun câblage de signal n'existe ou s'il est en mauvais état, la communication sans fil peut combler ces lacunes.

9.3 Redondance de communication

La disponibilité des informations sur les bacs est d'une importance capitale pour le fonctionnement d'un parc de bacs de stockage en plein air. Un déficit d'informations sur les bacs peut rapidement arrêter les mouvements de produits dans le parc de bacs de stockage

Pour établir une disponibilité d'informations élevée, des solutions de redondance différentes peuvent être appliquées. Celles-ci comprennent :

- La redondance de téléjaugage en utilisant plus d'une jauge par bac
- La redondance de bus de terrain à l'aide de niveaux de communication multiples ou différents pour les bus de terrain
- La redondance de passerelle avec fils et passerelles sans fil redondants
- La redondance du commutateur de réseau et du réseau
- La redondance d'interface utilisateur



Figure 9.3 : La redondance de bac de stockage est réalisée avec deux jauges de bac ainsi que des couches de communication indépendantes (câblée et sans fil).

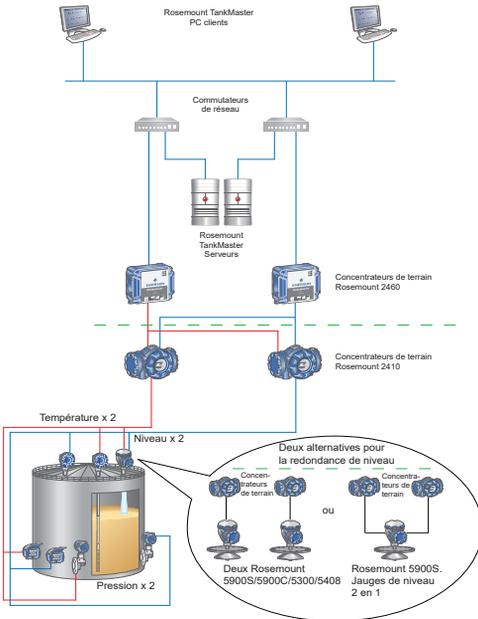


Figure 9.4 : Différents niveaux de redondance : Redondance des unités de bac et redondance des unités de communication de terrain, combinées à une redondance des serveurs de données et des postes d'opérateur.

Les serveurs de téléjaugage sont souvent placés dans des salles de rack ou des salles de commande. Des armoires personnalisées abritent les serveurs et les passerelles de terrain.



Figure 9.5 : Une armoire du système de téléjaugage.

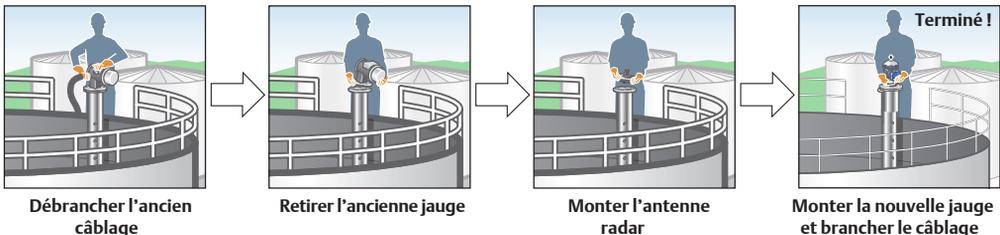


Figure 9.6 : Avec l'émulation de jauge, une mise à niveau bac par bac est facile à réaliser.

9.4 Solutions avec passerelle

La migration d'un ancien système existant vers un nouveau système peut être difficile à accomplir en dehors du remplacement de l'ensemble du système en un seul projet majeur. Les anciens bus de terrain propriétaires constituent souvent un obstacle majeur pour une mise à niveau progressive. Cependant, il existe des moyens de surmonter cet obstacle et de contourner les systèmes existants :

9.4.1 Émulation de jauge

Un moyen simple de remplacer les anciennes jauges de réservoir dans les infrastructures de bus de terrain existantes consiste à émuler les anciennes jauges par des nouvelles en communiquant via l'ancien bus de terrain et en utilisant le même protocole de communication et le bloc d'alimentation existant. Cette « émulation de jauge » permet à une ancienne jauge d'être remplacée promptement par une nouvelle employant une technologie différente. Le changement des bus de terrain ou de l'équipement de salle de commande n'est pas nécessaire. L'émulation de jauge peut également être implémentée en conjonction avec des solutions sans fil.

9.4.2 Communication sans fil

La technologie de communication par instrument sans fil n'est pas nouvelle. Cependant, ce n'est que récemment que des réseaux intelligents de maillage auto-configurés ont été appliqués à la télémétrie. Les réseaux de maillage tels que décrits dans la norme CEI 62591 ou *WirelessHART*® conviennent parfaitement aux systèmes de téléjaugage. Au cours des dernières années, ils sont devenus une solution attrayante pour construire des architectures de systèmes, aussi bien pour le téléjaugage que pour d'autres types d'instrumentation. La communication sans fil peut réduire considérablement le coût d'installation d'un système de téléjaugage.

Une caractéristique importante d'un réseau de maillage auto-configuré est que la conception du système ne nécessite qu'un minimum d'effort technique. En suivant des directives simples couvrant les distances

des nœuds et les emplacements des passerelles, la disposition du système peut être conçue en moins d'une heure. Une fois mis sous tension, le réseau s'établit et sera prêt à fonctionner en quelques minutes. En raison des multiples canaux de communication, le réseau se régénère si un lien quelconque est désactivé. Le cryptage des données et les sauts de fréquence permettent un niveau élevé de sécurité des données et de fiabilité de la communication. Un système de téléjaugeage capable de communiquer à la fois par fils et sans fil a le potentiel d'améliorer la disponibilité des données via la diversité de sources de communication et la redondance.

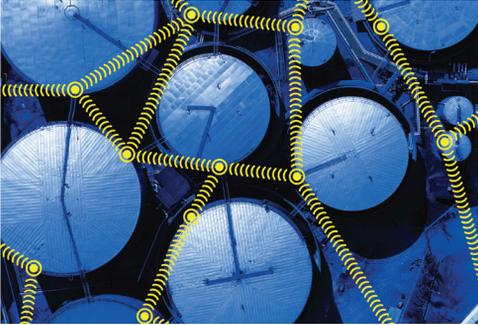


Figure 9.7 : Un réseau de terrain maillé auto-géré peut trouver automatiquement la meilleure solution de contournement d'obstacles fixes ou temporaires.



Figure 9.8 : Antenne connectée aux appareils de bac.

9.5 Logiciel

Un système de téléjaugeage n'est pas complet sans logiciel polyvalent capable d'agrégier toutes les informations du bac de stockage. Le système informatique de téléjaugeage effectue de nombreuses tâches et un grand nombre d'entre elles doivent être effectuées selon certaines normes et réglementations spécifiques pour couvrir les opérations de stockage de liquides en vrac. Le logiciel doit également fournir une aide pour les tâches, y compris le contrôle des lots et la planification du stockage.



Figure 9.9 : Logiciel de téléjaugeage.

Le logiciel nécessite une IHM complète et conviviale conçue pour les exploitants de parc de bacs de stockage. La fiabilité et la sécurité sont des propriétés clés de l'IHM, car elles jouent un rôle important dans les différentes couches de sécurité opérationnelle. La navigation entre les fonctionnalités et les bacs doit être simple et rapide.

Les nouveaux logiciels doivent également prendre en charge les progrès en matière de technologies d'automatisation et de transformation numérique, ainsi que les nouvelles façons de travailler, que de nombreux utilisateurs commencent à mettre en œuvre. Ils doivent utiliser des interfaces ouvertes capables de gérer la transmission de données à la fois vers et à partir d'autres logiciels spécialisés, par le biais de protocoles normalisés. Ils doivent être multiplateformes et compatibles avec plusieurs appareils, tels que des smartphones et des tablettes, ainsi que des ordinateurs de bureau et des serveurs, quels que soient la marque et le système d'exploitation.

Les exigences fonctionnelles d'un système d'information de téléjaugeage peuvent être résumées comme suit :

Affichage des données des bacs de stockage en temps réel

Les opérateurs ont le contrôle total des opérations du parc de bacs de stockage en tout temps. Les niveaux et les variations de niveau doivent être affichés sans latence significative.

Calculs de masse et de volume

Le logiciel de téléjaugeage doit calculer de manière rapide et précise les données d'inventaire du bac. Les calculs de volume doivent suivre les normes API pertinentes, ainsi que d'autres normes/méthodes appropriées pour différents liquides en vrac. Le logiciel doit pouvoir gérer différents types de tables de volume (table de barémage) avec un grand nombre de points de données.

Gestion des données de laboratoire

Il est nécessaire d'utiliser des données sur les produits liquides à partir d'échantillons de laboratoire, telles que la masse volumique et la teneur en eau. Le logiciel doit pouvoir utiliser ces données soit par saisie directe à partir des systèmes de laboratoire, soit par saisie manuelle de l'opérateur.

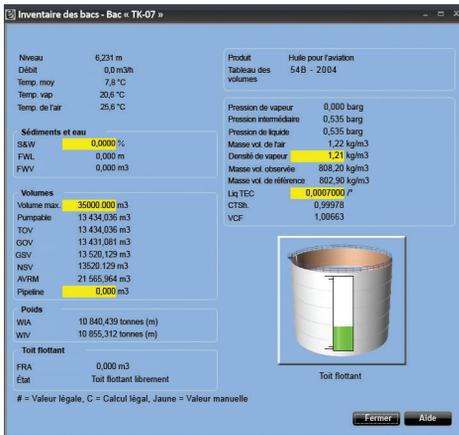


Figure 9.10 : Fenêtre d'information sur le bac du poste de l'opérateur du bac.

Rapports

Les liquides en vrac stockés représentent généralement une valeur considérable, et l'évaluation du stock doit être rapportée avec précision et à la fréquence souhaitée. Les rapports doivent être personnalisés selon les exigences de l'utilisateur et être présentés à des moments précis. Les exemples de rapports sont les suivants : Rapports d'inventaire, Rapports de bilan massique, Rapports de décalage et Rapports de journaux d'événements.

Les rapports peuvent être stockés, imprimés, envoyés par e-mail ou envoyés à d'autres logiciels via OPC ou d'autres méthodes de transmission réseau.



Gestion des alarmes

Le système de téléjaugeage est le premier échelon de défense contre les débordements. L'IHM doit pouvoir fournir des alarmes d'opérateur si un niveau défini ou d'autres variables sont atteints. Des points fixes et réglables sont nécessaires. Les alarmes doivent être audibles et visibles, et être réparties sur le réseau de l'installation, par courrier électronique et par téléphone cellulaire. Les alarmes et les acquittements d'alarme doivent également être enregistrés, stockés et signalés.

Données historisées

Les opérateurs doivent pouvoir accéder aux données historisées pour un suivi fiable et un examen des événements passés. Les données doivent être présentées en modes numérique et graphique.

Incorporation et intégration

Les données des bacs directes et dérivées sont distribuées par liaison et incorporation à d'autres logiciels de bureau et d'entreprise.

Gestion utilisateur

Le logiciel de gestion du système de téléjaugeage nécessite une gestion adéquate des besoins de l'utilisateur. La connexion et la déconnexion des utilisateurs, les droits d'accès des utilisateurs, l'enregistrement de ces événements et les acquittements d'alarme doivent être fournis pour des raisons de sécurité.



Figure 9.11 : Des tablettes peuvent être utilisées pour vérifier les données de téléjaugeage.

Connexion à d'autres systèmes

Outre la distribution de données dans le serveur de téléjaugeage et de ses clients, les données du bac de stockage doivent pouvoir être facilement transmises vers d'autres systèmes de haut niveau. La distribution de données via un serveur Web intégré permettra la distribution de données aux clients à l'intérieur et à l'extérieur du réseau de l'usine.

Autre fonction de communication importante : la connexion à des systèmes de téléjaugeage existants. Dans une grande usine telle qu'une raffinerie, on peut trouver plusieurs systèmes de téléjaugeage de marques différentes. Le logiciel de téléjaugeage doit pouvoir communiquer et contrôler ces systèmes et en faire une source d'information sur le téléjaugeage disponible à l'ensemble du parc de bacs de stockage.

Configuration et dépannage

Le logiciel de téléjaugeage est souvent l'outil de configuration, d'installation et de dépannage de l'ensemble du système de téléjaugeage. Il doit être conçu de sorte que chaque système puisse être configuré sur le site par des ingénieurs ou des opérateurs locaux. Idéalement, le dépannage doit être effectué dans la salle de commande pour éviter de monter sur le bac. Un bon logiciel de téléjaugeage doté d'outils de configuration et de service automatiques basés sur des « assistants logiciels » rend cela possible.

10

Protection antidébordement

Rubrique	Page
10.1 Ce qui est en jeu _____	64
10.1.1 Probabilité _____	64
10.1.2 Conséquence _____	64
10.2 Avantages _____	65
10.3 Normes du secteur _____	65
10.3.1 API 2350 _____	66
10.3.2 CEI 61511 _____	66
10.4 Protection antidébordement moderne _____	67
10.4.1 Éléments clés _____	67
10.4.2 Approche traditionnelle _____	67
10.4.3 Approche moderne _____	68
10.4.4 Technologie de téléjaugeage 2-en-1 _____	69
10.4.5 Test de sûreté _____	70

10. Protection antidébordement

Les débordements de bacs ont longtemps été l'une des principales causes de graves incidents de sécurité dans les installations de stockage de liquides en vrac ; or les débordements ne se produisent pas au hasard ; ils sont prévisibles et donc évitables. Ce chapitre résume l'état des connaissances et de l'expertise actuelles sur la protection antidébordement de bacs et la façon dont les équipements modernes peuvent être utilisés pour éviter définitivement les débordements. Lecture conseillée : « The Engineer's Guide to Overfill Prevention » (ISBN 9789198277906).

10.1 Ce qui est en jeu

Le risque comporte deux volets : la probabilité et la conséquence. Ces deux éléments ont une importance exceptionnelle en termes de protection antidébordement par rapport à d'autres risques potentiels dans un parc de bacs de stockage.

10.1.1 Probabilité

Les données historiques de l'industrie indiquent que, statistiquement, un débordement se produit tous les 3 300 remplissages, selon une compagnie d'assurance indépendante ([Marsh and McLennan Companies, 2011](#)).

10.1.2 Conséquence

Cette section fournit des informations sur des exemples de conséquences qui peuvent survenir suite à un débordement de bac, en utilisant des exemples de cas spécifiques.

Nettoyage des déversements

Western Massachusetts, États-Unis, 2005



Figure 10.2 : Nettoyage des déversements dans le Massachusetts occidental.

Petite installation avec un seul opérateur présent tandis qu'un bac de stockage de liquide en vrac est rempli à partir d'un pipeline. L'opérateur pensait qu'il aurait le temps d'aller au bar de l'autre côté de la rue pour boire une bière rapide. Soudain, le barman fait remarquer que du diesel jaillit d'un événement de bac. 23 000 gallons de diesel ont été rejetés dans l'enceinte de confinement secondaire constituée d'un fond en terre et de parois en acier. 14 000 gallons du produit rejeté ont été récupérés à l'aide de camions aspirateurs et 9 000 gallons ont été perdus en subsurface, contaminant ainsi les eaux souterraines. Une phase liquide non aqueuse légère a été observée dans 14 puits pendant 2 semaines. Plus de 300 000 gallons de liquides ont été extraits puis réinjectés pour réhabiliter le sol à proximité du bac. Le coût total a dépassé 350 000 \$.



Figure 10.1 : Dommages matériels après l'accident de Buncefield.

Blessures physiques, dommages matériels et amendes corporatives

Dépôt de carburant Buncefield, Royaume-Uni, 2005

Un bac à toit flottant débordant dans un terminal de stockage qui a entraîné la décharge de grandes quantités d'essence près de Londres. Un nuage de vapeur s'est formé, qui a déclenché et causé une explosion massive et un feu qui a duré cinq jours. La cause première était que la jauge de niveau à servomoteur électromécanique a subi une défaillance intermittente et que le commutateur de niveau mécanique utilisé dans le système indépendant de protection antidébordement était inopérant.

Faillite

Porto Rico, États-Unis, 2009

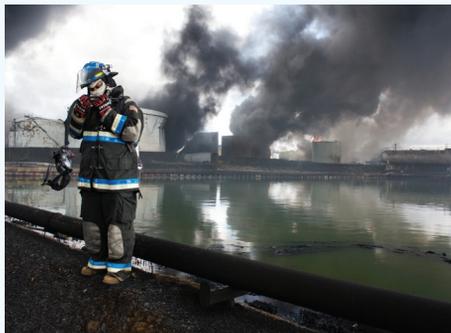


Figure 10.3 : Accident de Porto Rico en 2009.

Au cours du déchargement de l'essence d'un navire-citerne dans le parc de bacs de stockage, un bac de stockage contenant cinq millions de gallons au-dessus du sol a débordé dans une digue de confinement secondaire, ce qui a entraîné la formation d'un grand nuage de vapeur qui s'est enflammé après avoir atteint une source d'inflammation dans la zone de traitement des eaux usées de l'installation. En plus de provoquer un incendie à nuage de vapeur étendu, l'explosion a créé une onde de pression enregistrant 2,9 sur l'échelle de Richter. Pendant plus de deux jours, des nuages sombres de particules et de la fumée ont pollué l'air, et les produits pétroliers se sont infiltrés dans le sol et les voies navigables des alentours.

10.2 Avantages

L'investissement dans la prévention moderne du débordement est une bonne pratique commerciale ; elle réduit le risque statistiquement élevé d'un débordement de bac et elle a également un impact financier positif immédiat. Mieux connaître ce qui se trouve à l'intérieur du bac pour augmenter l'efficacité de son exploitation.

Pourquoi investir dans un système moderne de protection antidébordement ?

- Protection de la vie et de la santé
- Protection de l'environnement
- Protection des équipements de l'usine

- Respect des réglementations
- Amélioration des relations publiques
- Responsabilité sociale des entreprises
- Augmentation de l'efficacité de l'usine
- Réduction des risques financiers et juridiques

Exemple 10.1 : Expansion de la capacité du terminal de bacs (fiction)

Un terminal de bacs, qui compte actuellement 10 bacs, doit élargir sa capacité. À l'heure actuelle, le niveau de remplissage normal est de 80 %. Une étude préliminaire a déterminé qu'en investissant 15 000 \$ par bac pour une meilleure protection antidébordement, le niveau de remplissage normal pourrait être porté à 90 %. Pour tous les bacs, le coût équivaut à 150 000 \$ et l'ajout de 10 % par bac de stockage correspond pour les 10 bacs à un espace supplémentaire d'un bac. À titre de comparaison, le coût équivalent de construction d'un nouveau bac a été estimé à plus de 1 million de dollars.

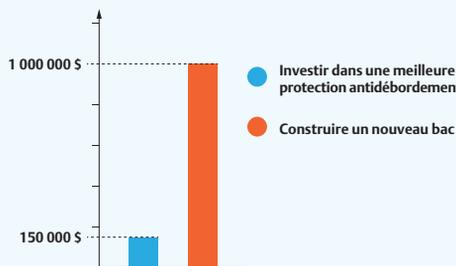


Figure 10.4 : Comparaison de deux options d'investissement qui correspondent toutes deux à une augmentation de volume équivalente à un bac.

10.3 Normes du secteur

Au cours des dernières années, une meilleure disponibilité des informations a permis d'accomplir des progrès importants dans la compréhension des causes de débordement de bacs. Un système moderne de protection antidébordement part de l'observation qu'il faut gérer une multitude d'éléments pour minimiser le risque de débordement d'un bac de stockage. Cette observation a servi de base aux deux normes industrielles mondialement reconnues pour la gestion moderne de la protection antidébordement : [CEI 61511](#) et [API 2350](#).

10 - Protection antidébordement

La CEI 61511 et l'API 2350 ont des champs d'application différents. L'API 2350 est une norme spécifique à une application de stockage de liquides en vrac, alors que la CEI 61511 s'applique à la conception de protections électroniques, aussi bien dans les secteurs de stockage de liquides en vrac que des procédés.

10.3.1 API 2350

L'API 2350 concerne la « protection antidébordement des bacs de stockage dans les installations pétrolières » et offre une perspective holistique sur la gestion moderne de la protection antidébordement. Il traite à la fois des facteurs « doux », tels que les procédures et la documentation, et des facteurs « durs », tels que l'équipement et l'emplacement des points d'alarme.

La norme exige que les installations modernes (désignées « Catégorie 3 ») soient équipées d'un système automatique de téléjaugage (ATG) et d'un système de protection antidébordement (OPS) indépendant. L'API 2350 accepte à la fois les systèmes manuels de protection antidébordement (MOPS), où une intervention humaine est requise pour éviter le surchargement, tel que représenté dans la figure 10.5, et les systèmes automatiques de protection antidébordement (AOPS) tels que représentés dans la figure 10.6, bien que ces derniers soient préférés. Dans le cas d'un AOPS, l'exigence pratique est qu'il devrait être conçu conformément à la CEI 61511.

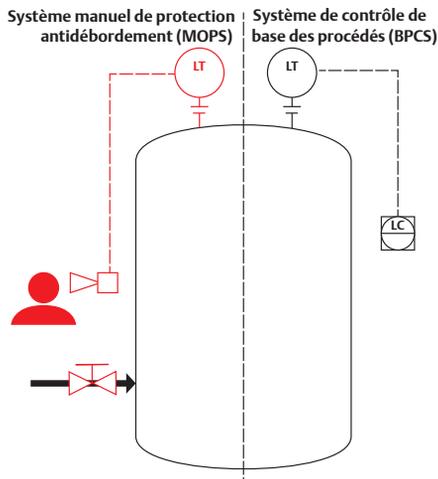


Figure 10.5 : Le MOPS consiste généralement en un transmetteur de niveau (LT) connecté à une alarme audiovisuelle qui avise un opérateur de prendre les mesures appropriées, par ex. de fermer une vanne.

10.3.2 CEI 61511

CEI 61511 : « Sécurité fonctionnelle - Systèmes instrumentés de sécurité pour le secteur de l'industrie des procédés » est une norme pour les fonctions instrumentées de sécurité (SIF, capteur, logique, actionneur), comme les systèmes automatiques de protection antidébordement (AOPS). La fiabilité d'un SIF est quantifiée en « Niveau d'intégrité de sécurité » (SIL) 0 à 4, ce qui correspond à un intervalle de capacité à réduire les risques, comme indiqué dans le tableau 10.1.

Niveau de sécurité intrinsèque (SIL)	Facteur de réduction du risque minimum (RRF)
SIL 3	1 000
SIL 2	100
SIL 1	10

Tableau 10.1 : Aperçu des niveaux d'intégrité de la sécurité (SIL) et des facteurs de réduction des risques correspondants (RRF)

La norme ne prescrit pas l'utilisation d'un SIL spécifique ; la réduction de risque requise doit être déterminée en fonction d'une évaluation des risques pour l'application spécifique.

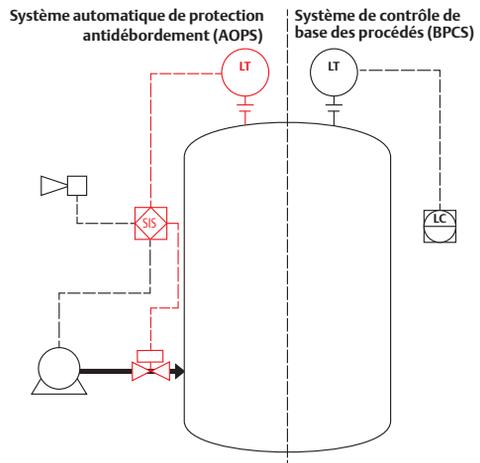


Figure 10.6 : L'AOPS consiste généralement en un transmetteur de niveau (LT), un circuit logique et un actionneur qui ferme automatiquement une vanne pour éviter les débordements. Le circuit logique peut également exécuter des tâches non essentielles à la sécurité, telles que l'arrêt d'une pompe et la notification d'opérateurs par des alertes audiovisuelles.

10.4 Protection antidébordement moderne

La prévention moderne des débordements est basée sur une perspective holistique, dans la mesure où une multitude d'éléments contribuent à minimiser le risque de débordement d'un réservoir, et pas seulement l'équipement dénommé « système de protection antidébordement ».

10.4.1 Éléments clés

Les éléments clés de la prévention antidébordement moderne comprennent :

- Réalisation d'une évaluation des risques
- Les procédures suivantes sont documentées dans un système de gestion de remplissage
- Formation
- Utilisation d'équipements appropriés
- Points d'alarme non réglables
- Procédures de mise en service appropriées, telles que la réception sur site (SAT)
- Entretien périodique et tests de sûreté
- Gestion du changement

Le point de vue accepté est que la meilleure pratique est d'utiliser un certain nombre de couches de protection indépendantes pour éviter qu'un accident se produise, c'est-à-dire « ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier ». Dans le cas de la protection antidébordement, les couches de protection généralement utilisées sont représentées à la figure 10.7.

L'un des éléments les plus négligés de la protection antidébordement est probablement le système automatique de téléjaugeage (ATG). Il s'agit de la couche de protection indépendante principale qui empêche continuellement les surremplissages de réservoir. Lorsque le système ATG fonctionne correctement, les autres couches de protection ne seront pas activées. Par conséquent, on peut argumenter que c'est la couche de protection la plus importante et, en conséquence, elle doit recevoir une attention appropriée. Par exemple, un système ATG s'appuyant sur un transmetteur de niveau mécanique non fiable n'est pas seulement un inconvénient opérationnel, mais aussi un problème de sécurité majeur.

10.4.2 Approche traditionnelle

Par le passé, un système de protection antidébordement était généralement basé sur des solutions de mesure ponctuelle de niveau. Souvent mis en place pour satisfaire à des exigences réglementaires normatives incomplètes, cet équipement a été traité en conséquence. Les dépenses d'investissement ont été minimisées, et la maintenance et la vérification sont passées au second rang.

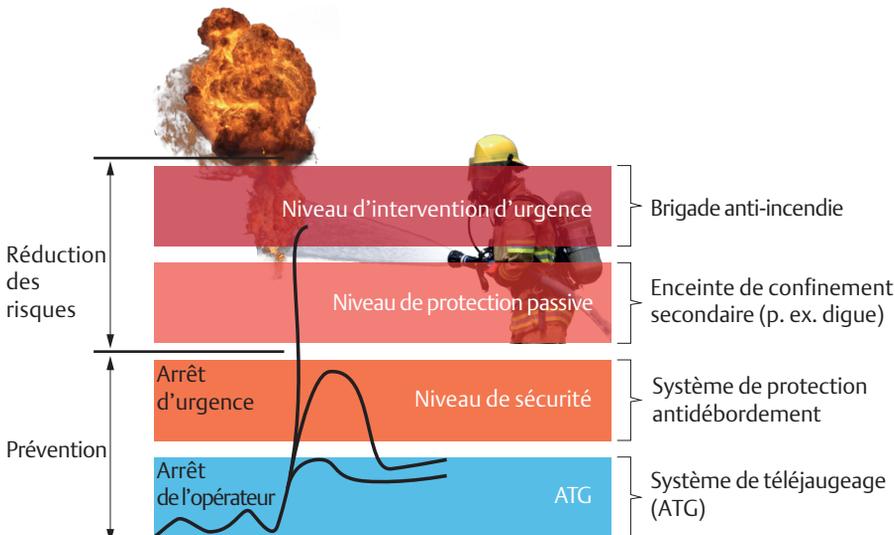


Figure 10.7 : Niveaux de protection indépendants généralement utilisés pour minimiser le risque de débordement du bac.

10 - Protection antidébordement

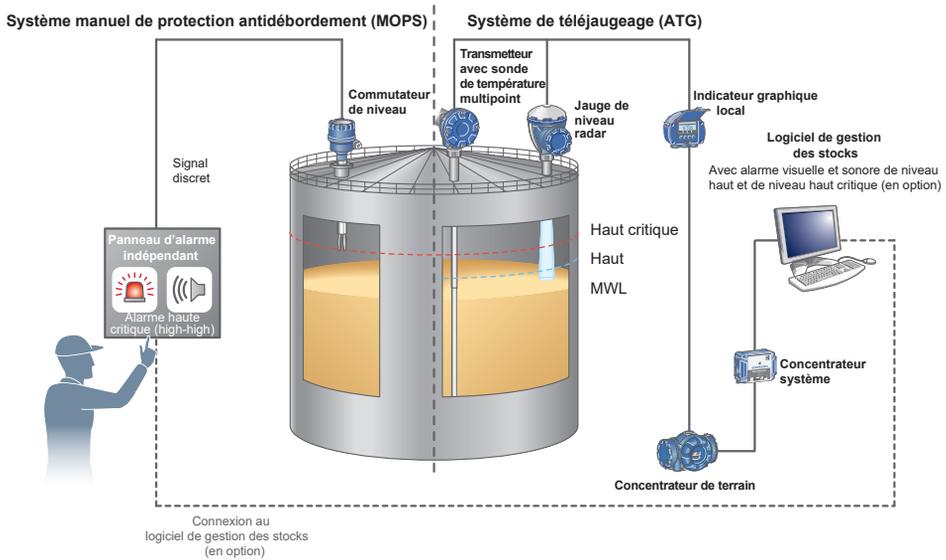


Figure 10.8 : L'approche traditionnelle (obsolète) de protection antidébordement – systèmes manuels basés sur des mesures ponctuelles.

10.4.3 Approche moderne

Le secteur a adopté rapidement une approche plus moderne basée sur un système automatique de protection antidébordement (AOPS) avec mesure continue de niveau. Les avantages se mesurent en termes financiers et de réduction des risques :

- Les êtres humains sont par nature peu fiables. Le risque de débordement peut être réduit en utilisant un système automatique.
- Il est difficile de savoir si un capteur de mesure ponctuelle de niveau fonctionne correctement ; c'est pourquoi il nécessite des tests de sûreté fréquents.
- Il est possible d'utiliser une alarme de déviation entre les capteurs de niveau OPS et ATG pour vérifier l'intégrité des deux systèmes.
- Il est possible d'utiliser un seul capteur de mesure continue de niveau pour plusieurs alarmes et alertes : alarme haute critique, haute, basse et basse critique. Il n'est pas rare qu'un seul capteur de mesure continue de niveau remplace 4 capteurs indépendants de mesure ponctuelle de niveau.
- La mesure continue du niveau permet de faire des réglages d'alarmes et d'alertes.
- En pratique, des capteurs de niveau identiques sont souvent utilisés pour les OPS et les ATG, comme le montre la figure 10.9. On adopte généralement cette approche parce que :
 - Le capteur de niveau OPS peut servir de solution de secours en cas de défaillance de l'ATG, réduisant ainsi le temps d'immobilisation.
 - Cela réduit le besoin d'outils de configuration et de formation spécifiques à l'appareil.
 - Le stock des pièces détachées est réduit au minimum.
 - Contrairement à une idée reçue, ni API 2350 ni CEI 61511 ne nécessitent l'utilisation de différentes technologies de capteurs de niveau OPS et ATG (diversification technologique).

Pourquoi ne pas choisir ce qui se fait de meilleur également pour le capteur de niveau OPS ?

10 - Protection antidébordement

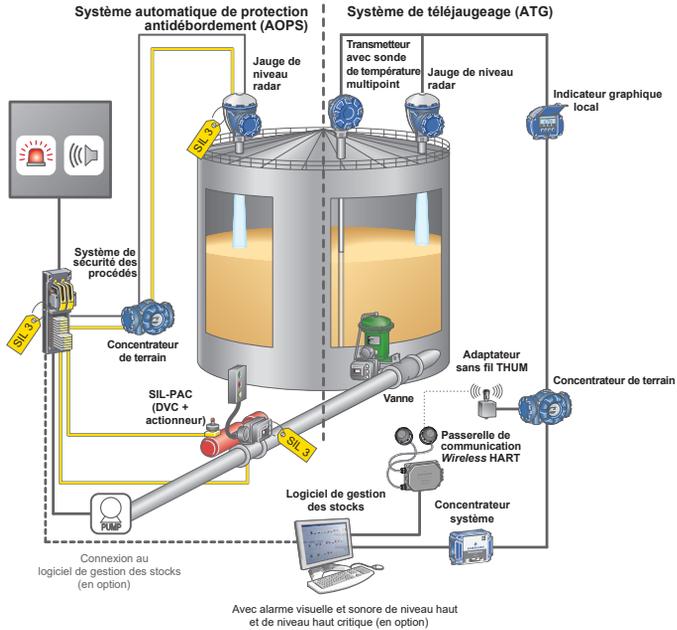


Figure 10.9 : Exemple d'une approche moderne intégrant un système automatique de protection antidébordement basé sur une mesure continue du niveau radar.

10.4.4 Technologie de téléjaugage 2-en-1

Le coût d'une installation mécanique de capteur de niveau OPS indépendant est parfois prohibitif, surtout lorsque ce dernier nécessite l'utilisation d'un puits de tranquillisation supplémentaire dans un bac de stockage à toit flottant. Par conséquent, l'avancement le plus récent dans la technologie des capteurs de niveau est une mesure de niveau radar 2 en 1, telle que représentée dans la figure 10.10.



Figure 10.10 : Jauge de niveau radar 2 en 1.

Les jauges de niveau radar 2 en 1 peuvent être utilisées simultanément pour le téléjaugage automatique (ATG) et la mesure de niveau OPS indépendante, comme illustré à la figure 10.11.

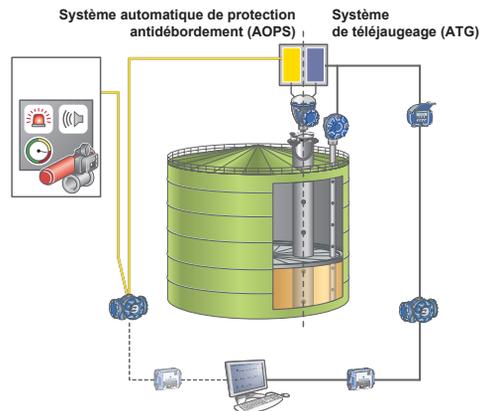


Figure 10.11 : Vue d'ensemble du système pour la mesure du niveau radar 2 en 1.

L'utilisation des jauges de niveau radar 2 en 1 part de l'observation que l'antenne présente un très faible taux de défaillance par rapport à un appareil électronique. L'antenne est un composant mécanique non mobile présentant approximativement le même temps moyen entre les pannes (MTBF) que le bac lui-même. Par conséquent, des organismes accrédités indépendants les ont déclarées conformes aux normes CEI 61511 et API 2350.

10.4.5 Test de sûreté

Le test de sûreté permet de détecter des défaillances matérielles aléatoires afin de vérifier que les équipements mis en service déjà en exploitation fonctionnent correctement. Procédure critique pour maintenir l'intégrité du système OPS, elle doit être exécutée périodiquement. L'API 2350 régit tous les 12 mois.

Le « test du seau » représente l'approche traditionnelle ; voir la figure 10.12. Cette méthode nécessite une visite de vérification du bac et l'accès au capteur de niveau tandis que le bac est temporairement mis hors service. Ce type de procédure impose une contrainte directe liée à la sécurité pour le personnel chargé de l'exécution du test, du fait de l'exposition du bac à l'atmosphère, pouvant indiquer que le contenu du seau peut être dangereux.

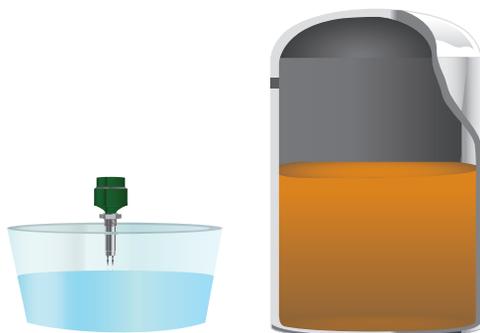


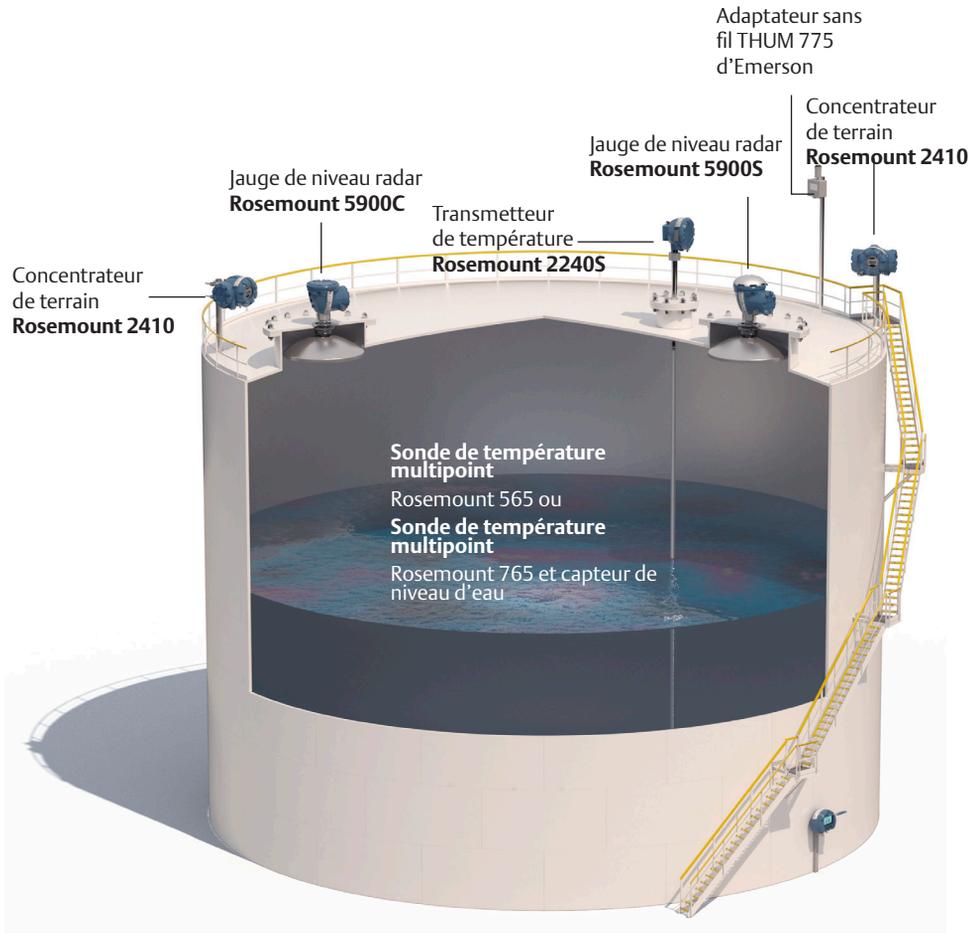
Figure 10.12 : Approche traditionnelle du test de sûreté – test du seau.

Avec des capteurs de mesure continue de niveau modernes, le test de sûreté peut être exécuté en quelques minutes à distance depuis la salle de commande ou via un indicateur. En outre, les rapports peuvent être générés automatiquement et l'intervalle de test peut être prolongé. Cela raccourcit la durée des tâches et le temps d'immobilisation du bac de stockage, mais surtout, cela réduit le risque global.



Annexe : Configurations types de téléjaugage

Rubrique	Page
A.1	Types de bacs de stockage _____ 72
A.2	Sans fil _____ 76
A.3	Émulation _____ 78
A.4	Redondance _____ 82
A.5	Protection antidébordement _____ 83
A.6	Système de téléjaugage Rosemount™ _____ 84



Annexe : Configurations types de téléjaugeage

Bac à toit flottant

3 transmetteurs de niveau
Rosemount 5408 mesurant l'inclinaison
du toit flottant

Transmetteur
de température
Rosemount 2240S

Dans le puits de tranquillisation
de droite : jauge de niveau radar
Rosemount 5900S



Dans le puits de
tranquillisation de
gauche :

Sonde de
température
multipoint

Rosemount 565 ou

Sonde de
température
multipoint

Rosemount 765 et
capteur de niveau
d'eau

Concentrateur
de terrain

Rosemount 2410

Transmetteur de pression
Rosemount 3051S

Indicateur
graphique local
Rosemount 2230

3 jauges de niveau radar
Rosemount 5900C
mesurant l'inclinaison
du toit flottant

Dans le puits de
tranquillisation de gauche :

Sonde de température

multipoint

Rosemount 565

ou

Sonde de température

multipoint

Rosemount 765 et capteur

de niveau d'eau

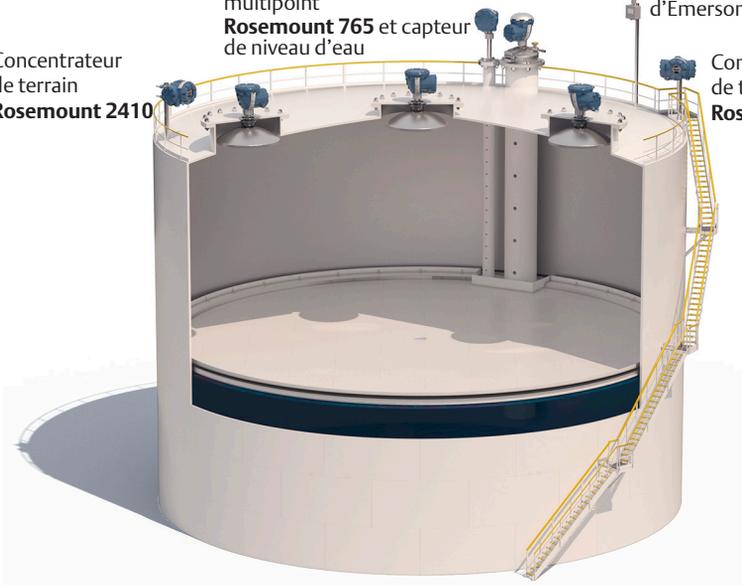
Dans le puits de tranquillisation
de droite : jauge de niveau radar
Rosemount 5900S

Adaptateur sans
fil THUM 775
d'Emerson

Concentrateur
de terrain
Rosemount 2410

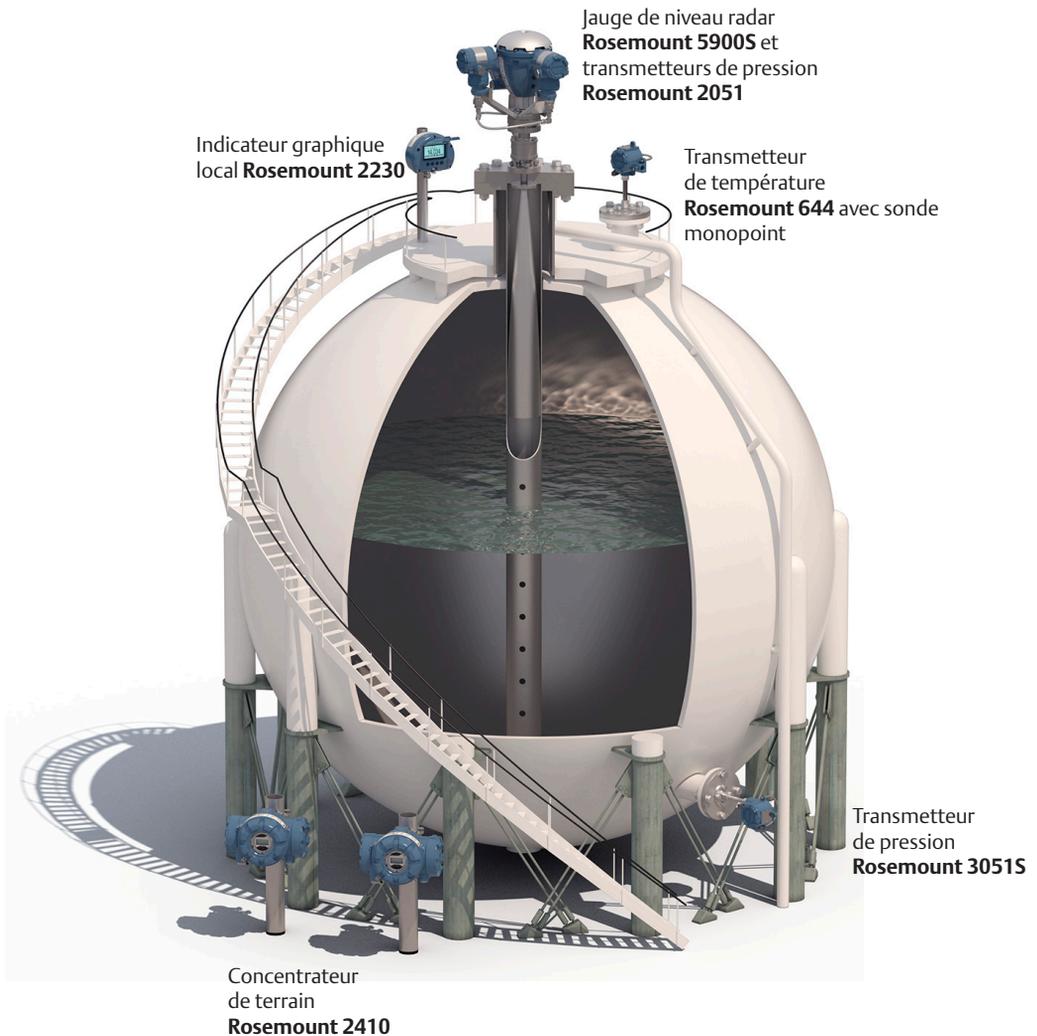
Concentrateur
de terrain

Rosemount 2410

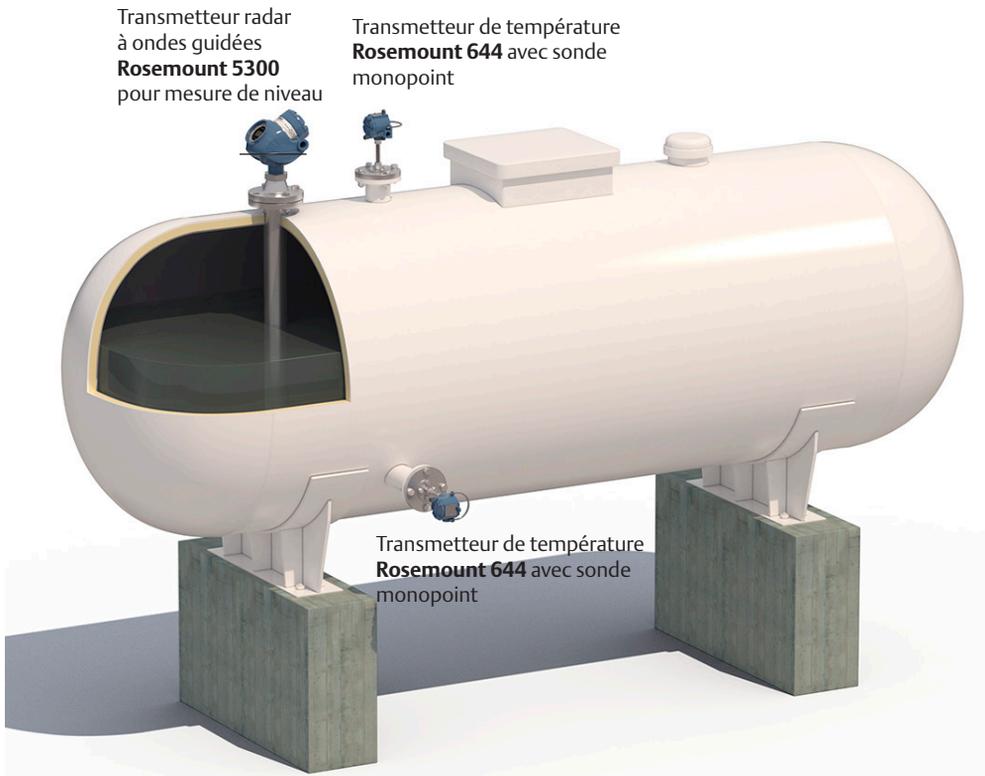


Annexe : Configurations types de téléjaugeage

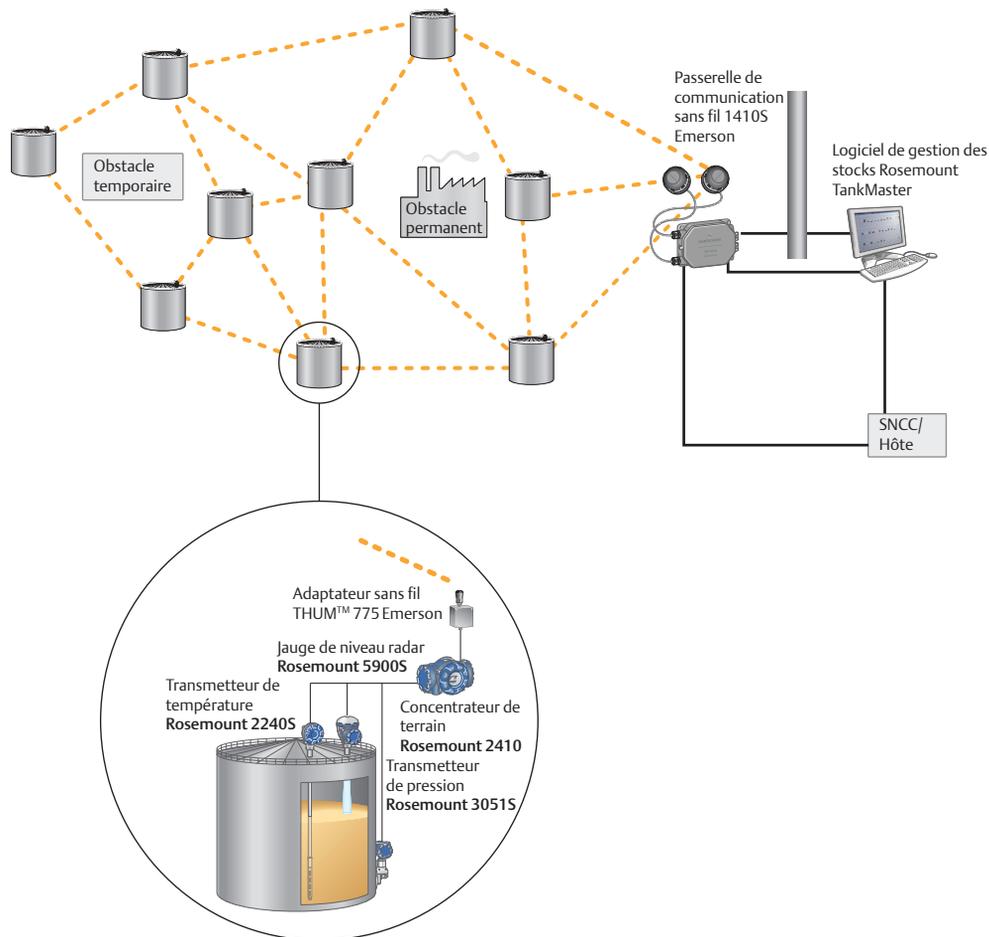
Bac sphérique sous pression



Bac de stockage horizontal sous pression

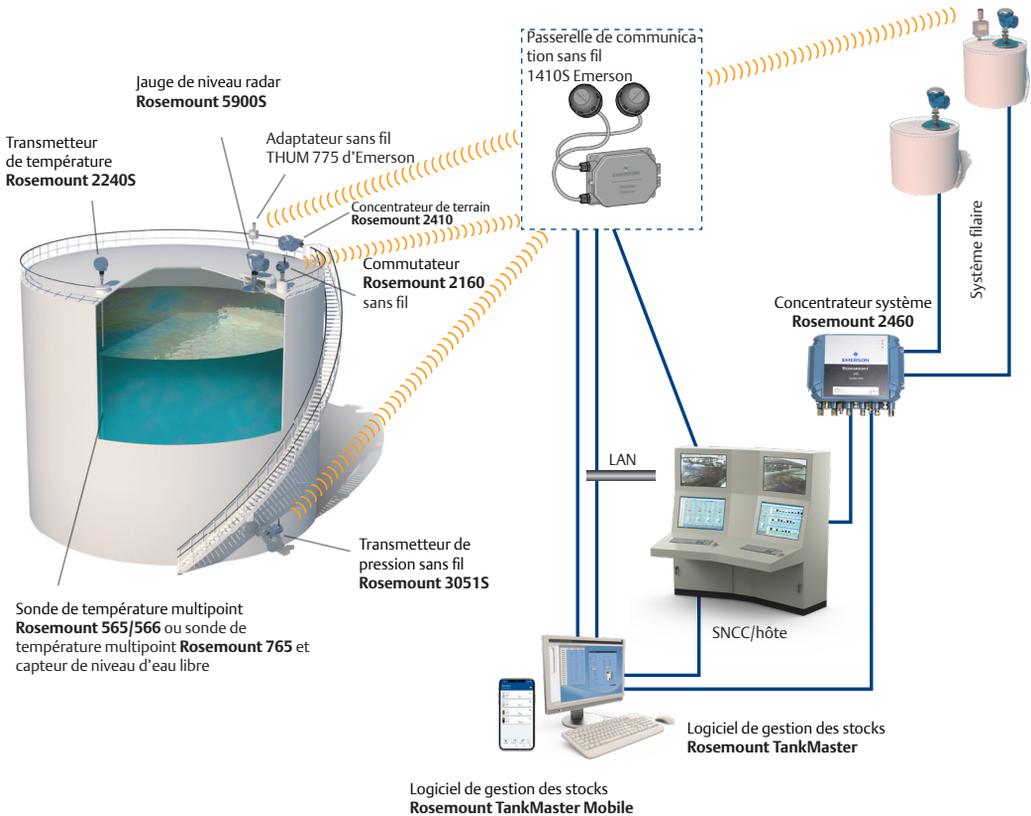


A.2 Sans fil



Tous les appareils sans fil communiquent avec le système hôte par le biais de la passerelle de communication sans fil. Un système de téléjaugage Rosemount peut se composer de réseaux câblés et sans fil.

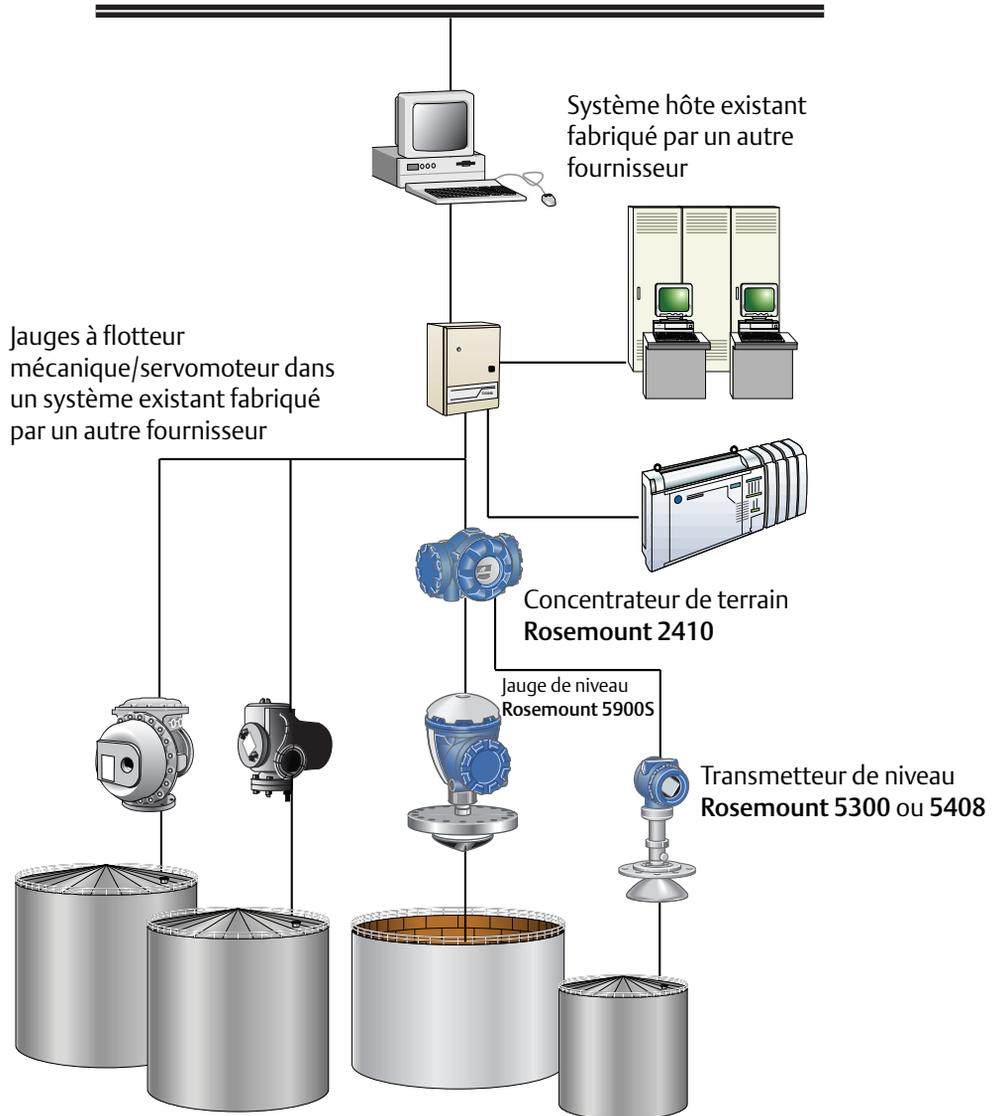
Architecture système sans fil



Une solution de téléjaugeage sans fil conçue spécifiquement pour l'usine de stockage de liquides en vrac de tous les clients maximise la sécurité et les performances opérationnelles de l'exploitation.

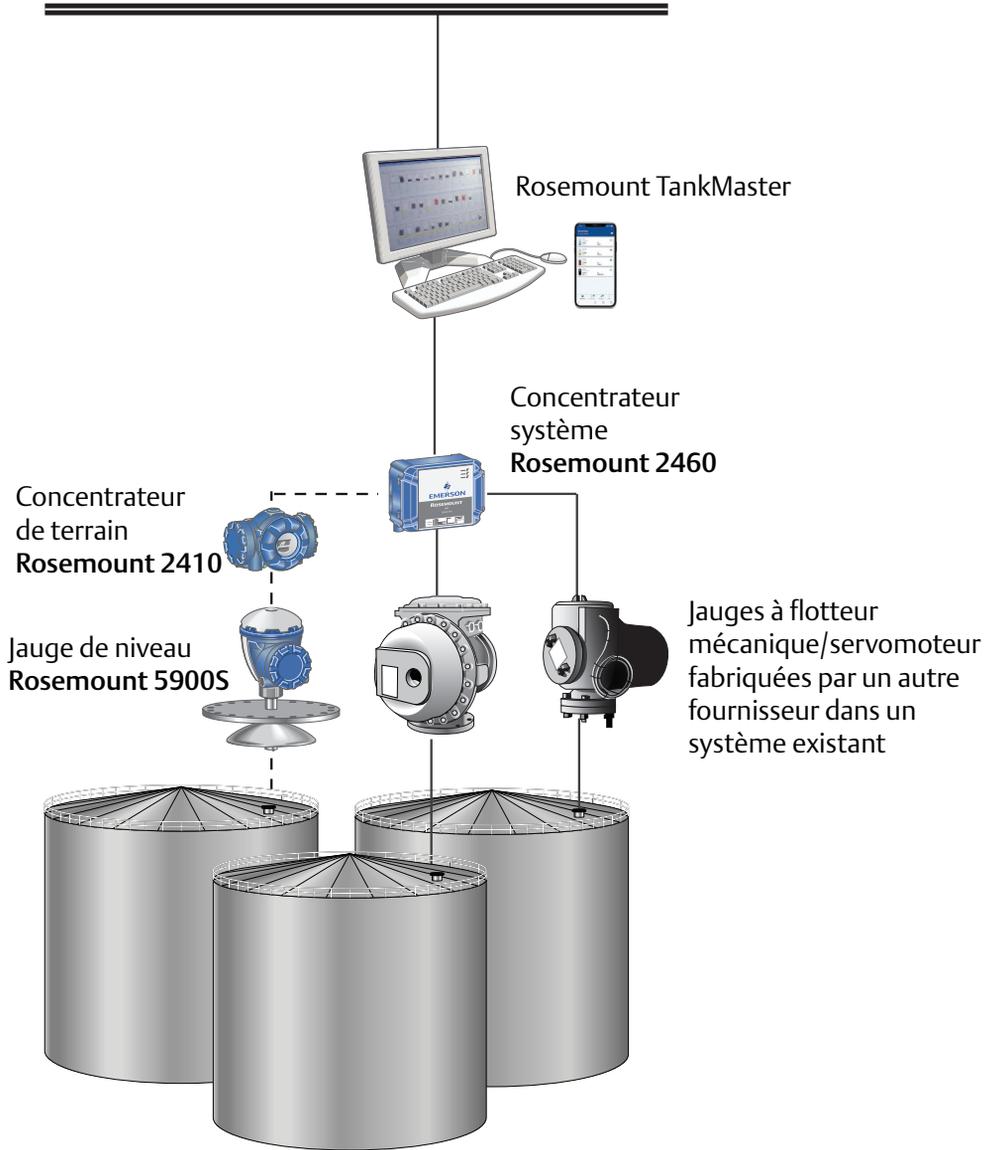
A.3 Émulation

Émulation de jauge



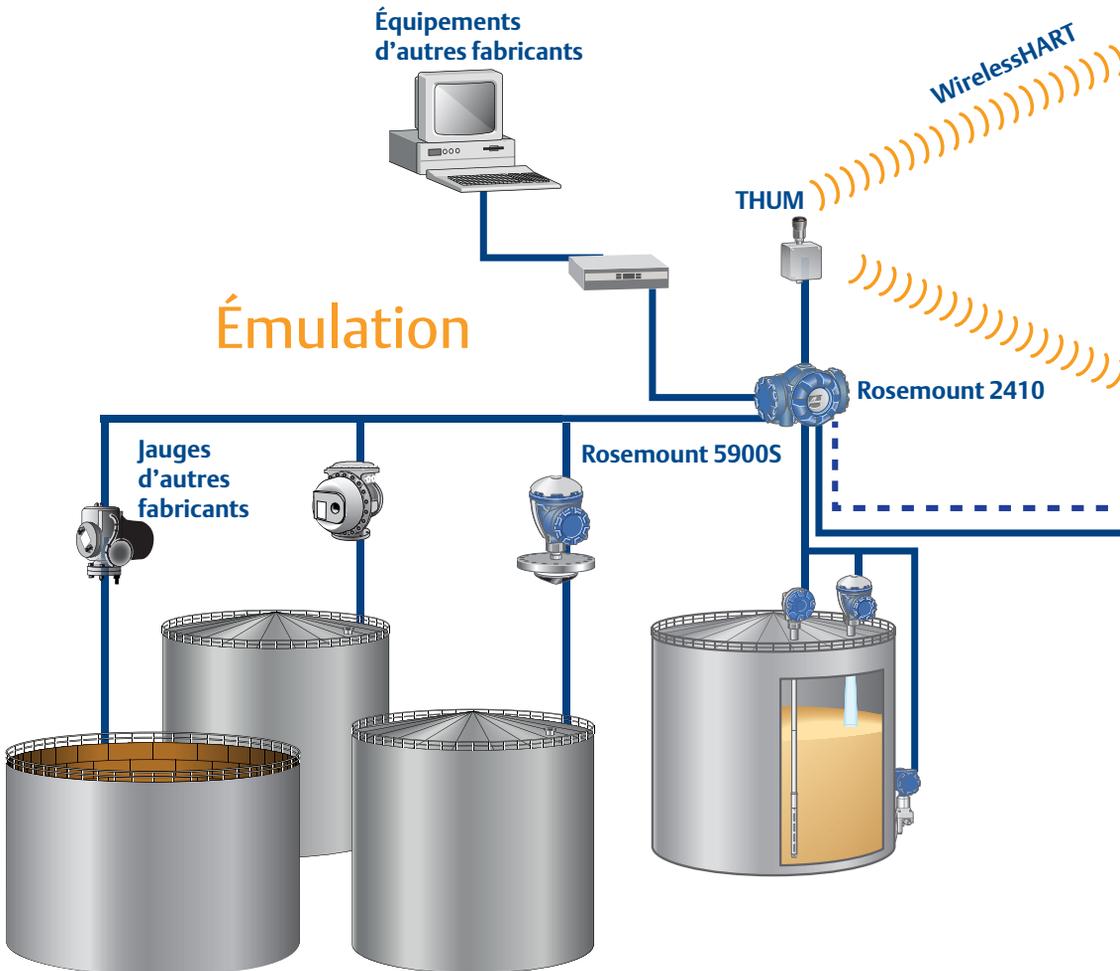
Un appareil Rosemount peut remplacer un autre appareil, de manière transparente et indépendamment de la technologie de mesure. Les données du bac sont affichées, comme précédemment, sur le système de gestion des stocks existant.

Remplacement du système de gestion des bacs



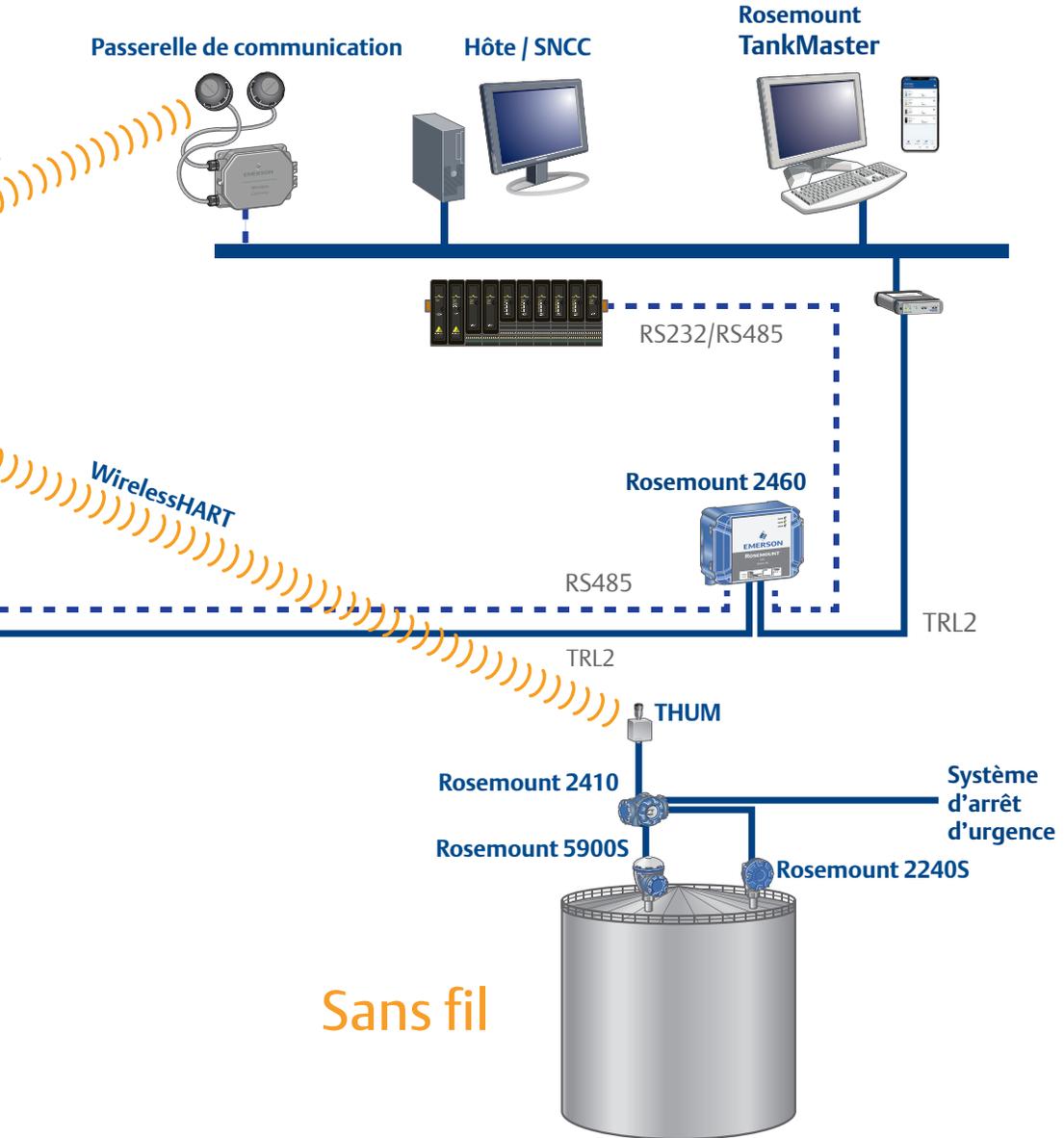
Remplacement de l'ancien logiciel de surveillance de bac par TankMaster.

Solutions avec passerelle

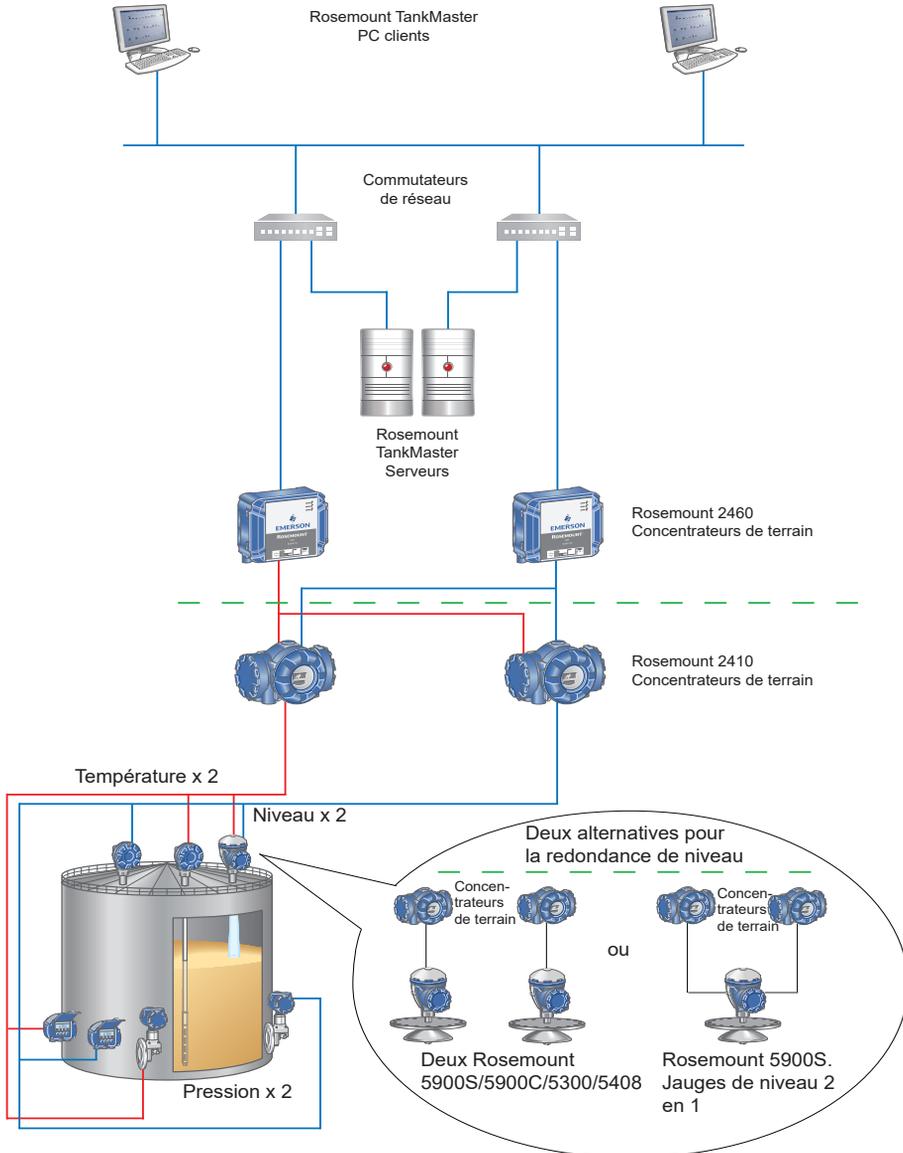


L'ajout d'un réseau sans fil permet de combler les lacunes du système de bus existant. Il est possible ainsi de bénéficier d'un canal de communication supplémentaire pour le téléjaugeage, la configuration et les diagnostics.

Annexe : Configurations types de téléjaugage

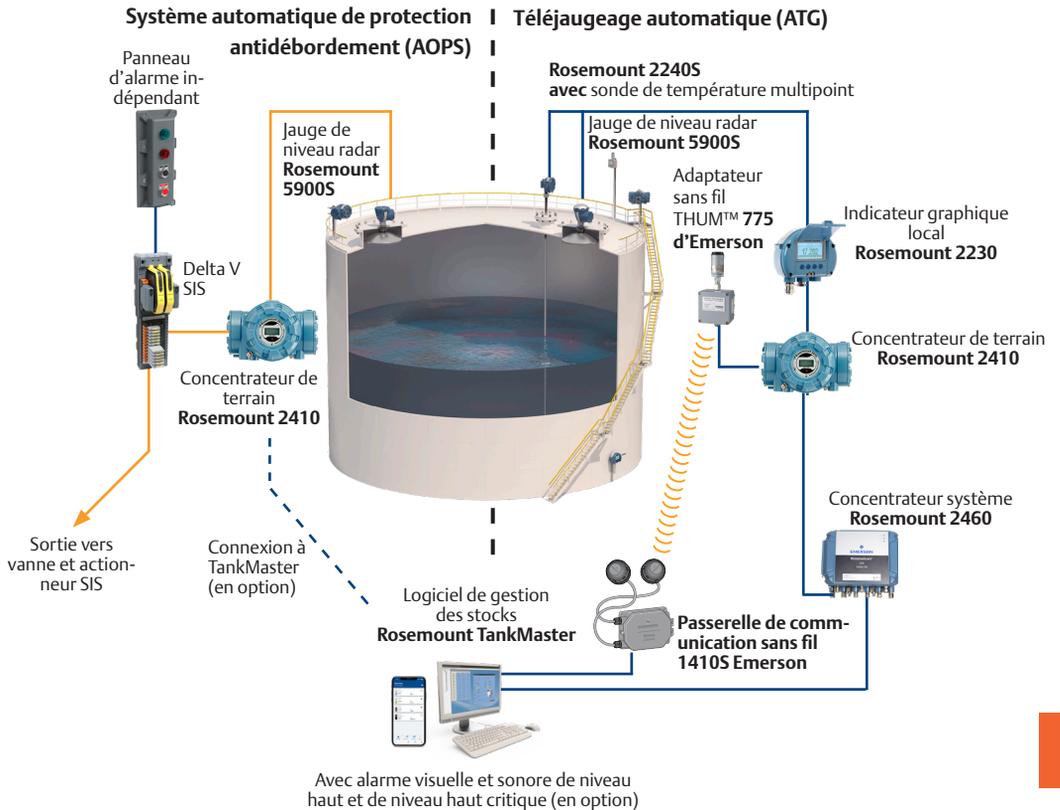


A.4 Redondance



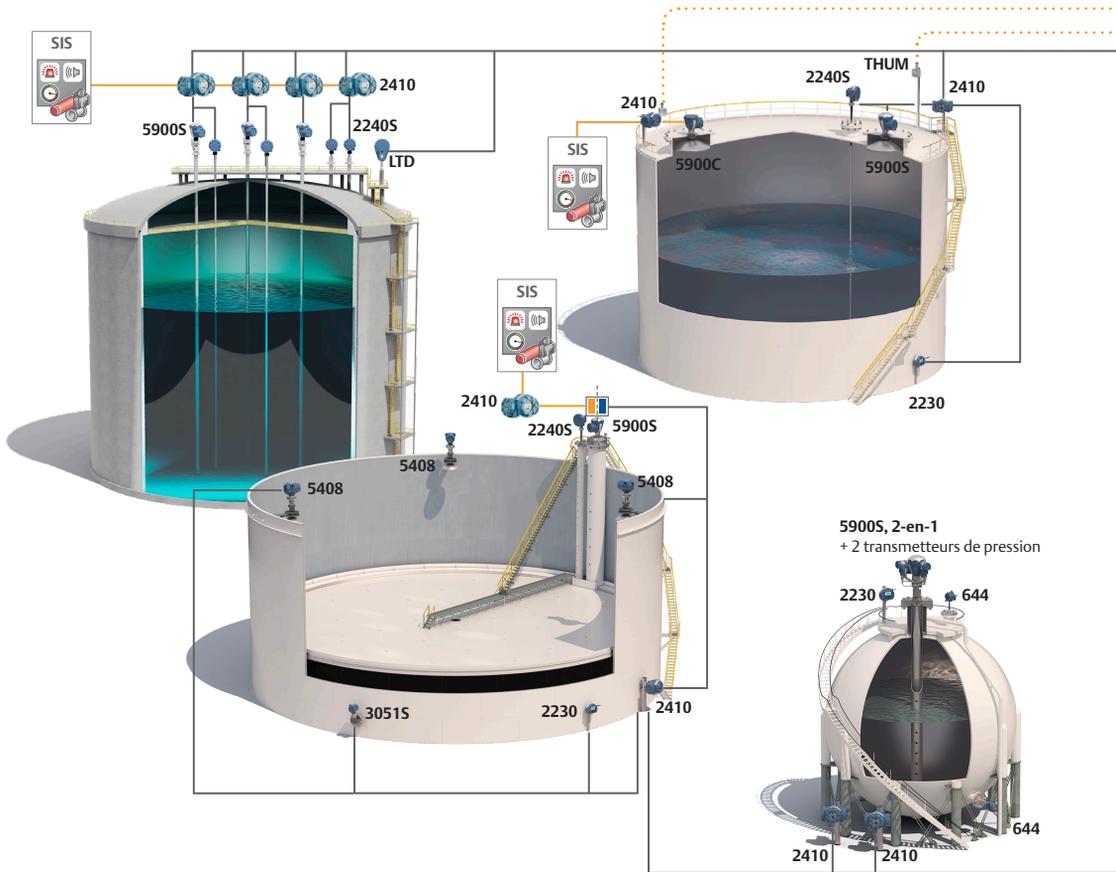
Un système de téléjaugage entièrement redondant doté de quatre couches de redondance : Redondance de l'unité de bac et redondance de l'unité de communication de terrain combinées avec des serveurs de données redondants et des postes d'opérateur.

A.5 Protection antidébordement



Exemple d'une approche moderne intégrant un système automatique de protection antidébordement en fonction de la mesure continue du niveau radar.

A.6 Système de téléjaugeage Rosemount



Jauge de niveau radar Rosemount 5900S

Antenne réseau pour puits de tranquillisation Cornet



GPL/GNL



Jauge de niveau radar Rosemount 5900C

Antenne réseau pour puits de tranquillisation



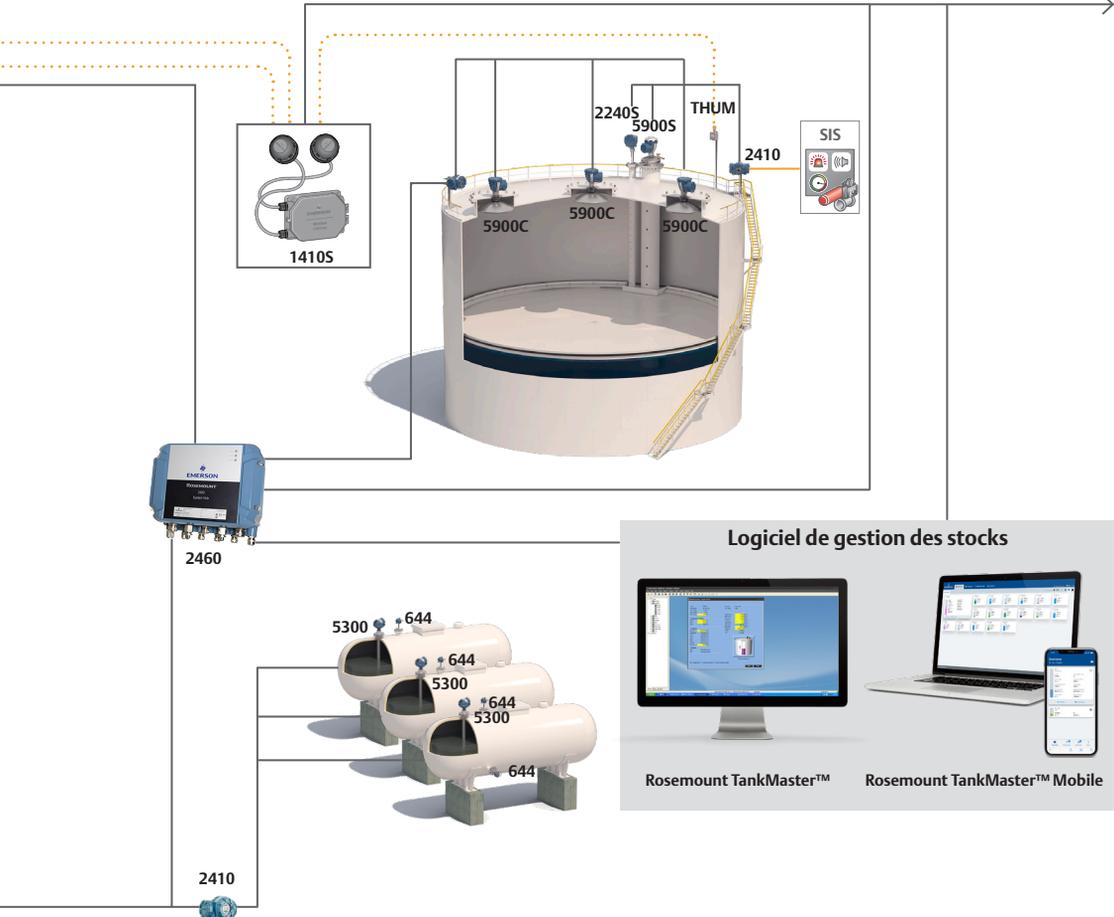
Cône



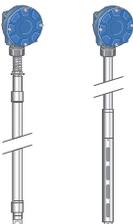
GPL/GNL

Annexe : Configurations types de téléjaugeage

Connexion alternative à Hôte/SNCC/PLC/SCADA →



Transmetteur de température multipoint
Rosemount 2240S



Sonde de température multipoint
Rosemount 565/566/614

Détecteur de niveau
Rosemount 2140/2160



Sonde de température multipoint
Rosemount 765 et capteur de niveau d'eau

Transmetteur de niveau
Rosemount 5408



Transmetteur de température
Rosemount 644 avec sonde de température monopoint

Concentrateur de terrain
Rosemount 2410



Transmetteur de niveau
Rosemount 5300



Transmetteur de pression
Rosemount 3051S



Concentrateur système
Rosemount 2460

Transmetteur de niveau sans fil
Rosemount 3308



Indicateur graphique local
Rosemount 2230

Passerelle de communication sans fil
1410S Emerson



Adaptateur sans fil
THUM™ 775 Emerson





Références

Rubrique	Page
R.1	Références bibliographiques____88
R.2	Références figures_____89



Références

R.1 Références bibliographiques

American Petroleum Institute (1983) *Manual of Petroleum Measurement Standards*. Washington, D.C.

American Petroleum Institute (2012) *API 2350. Overfill Protection for Storage Tanks in Petroleum Facilities, Fourth Edition*. Washington D.C.

International Electrotechnical Commission (2016) *IEC 61511-1 Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector*

International Organization for Standardization (2002) *ISO 4266-4:2002 - Petroleum and liquid petroleum products - Measurement of level and temperature in storage tanks by automatic methods*

International Organization for Standardization (2003) *ISO 15169:2003 - Petroleum and liquid petroleum products - Determination of volume, density and mass of the hydrocarbon content of vertical cylindrical tanks by hybrid tank measurement systems*

Marsh & McLennan Companies (2011) *Risk Engineering Position Paper – 01, Atmospheric Storage Tanks*. United Kingdom

Organisation Internationale de Métrologie Légale (2008) *OIML R 85-1 & 2 – Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks*. Paris.

R.2 Références figures

Figure 1.4 Photographie reproduite avec l'autorisation du Center for Liquefied Natural Gas

Figure 1.6 « File: Caribbean Petroleum Corporation Disaster.Jpg - Wikimedia Commons ». Commons.wikimedia.org. N.p., 2009. Web. 1er juillet 2016.

Figure 2.2 Photographie reproduite avec l'autorisation de Kalibra.

Figure 10.1 « File: Buncefield.Jpg - Wikimedia Commons ». Commons.wikimedia.org. N.p., 2003. Web. 1er juillet 2016.

Figure 10.3 « File: FEMA - 42315 - Firefighter At The Puerto Rico Gas Fire.Jpg - Wikimedia Commons ». Commons.wikimedia.org. N.p., 2009. Web. 5 juillet 2016.

Toutes les autres figures Copyright Emerson © 2016

À propos des auteurs

Lennart Hägg



Ancien directeur technique, Rosemount Tank Gauging

Lennart Hägg est un ancien responsable technique de l'installation Emerson Rosemount Tank Gauging à Göteborg, en Suède. Il est titulaire d'une maîtrise en génie électronique de la Faculté d'ingénierie (LTH) à l'Université de Lund et a travaillé avec le téléjaugeage radar dans l'industrie pétrolière depuis l'introduction de la technologie dans les années 1980. Hägg a participé au comité API pour les normes relatives au téléjaugeage et a représenté la Suède dans le cadre de la normalisation ISO 4266 de la mesure de niveau et de température dans les bacs de stockage. En outre, Hägg travaille avec l'OIML pour le développement de recommandations concernant les exigences métrologiques légales en matière de jaugeage de niveau.

Johan Sandberg



Directeur du développement commercial, Rosemount Tank Gauging

Johan Sandberg est titulaire d'un master en génie électronique de l'Institut de technologie de l'Université de Linköping, en Suède. Son expérience en génie post-universitaire couvre ses services d'ingénieur de recherche auprès des Laboratoires de recherche de la défense nationale suédoise - division Laser. Sandberg a commencé à travailler sur des systèmes de téléjaugeage à micro-ondes haute performance en 1987 en qualité d'ingénieur systèmes chez Saab Tank Control. Son travail sur les systèmes de téléjaugeage radar maritimes et terrestres l'a amené aux États-Unis, où il a assuré le poste de directeur technique - Amérique du Nord. Vers la fin des années 1990, Sandberg a été nommé directeur général des opérations de téléjaugeage aux États-Unis à Houston, au Texas. Il est actuellement un directeur du développement commercial chez Rosemount Tank Gauging à Göteborg, en Suède. Au cours de sa carrière, Sandberg a acquis une vaste expérience dans le domaine des solutions de téléjaugeage et de protection antidébordement auprès d'entreprises de raffinage et de stockage de bacs.

Remerciements

Ce manuel est le résultat d'un effort collectif d'employés d'Emerson et de clients du monde entier.

Nous tenons à remercier tous les experts en téléjaugeage d'Emerson qui ont participé à ce projet et ont jeté les bases du contenu.

Nous remercions également tous les contributeurs anonymes et tous les utilisateurs de Rosemount Tank Gauging !

Qu'est-ce que le téléjaugeage ?

Technologies de téléjaugeage

Normes et certifications techniques

Évaluation du volume et de la masse

Précision et incertitude

Mesure de température

Gaz liquéfiés

Capteurs supplémentaires

Architecture système

Protection antidébordement

Annexe : Configurations types de téléjaugeage

Références

 [Linkedin.com/company/Emerson-Automation-Solutions](https://www.linkedin.com/company/Emerson-Automation-Solutions)

 [Twitter.com/Rosemount_News](https://twitter.com/Rosemount_News)

 [Facebook.com/Rosemount](https://www.facebook.com/Rosemount)

 [Youtube.com/user/RosemountMeasurement](https://www.youtube.com/user/RosemountMeasurement)

Emerson.com/Rosemount-TankGauging

Le logo Emerson est une marque de commerce et une marque de service d'Emerson Electric Co.

Rosemount est une marque de l'une des sociétés du groupe Emerson.

Toutes les autres marques sont la propriété de leurs détenteurs respectifs.

© 2021 Emerson Electric Co. Tous droits réservés.

00805-0100-5100, Rev BA 02/21

ROSEMOUNT[™]

