

Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)

Détecteur de niveau dans les stockages de GPL fixes

N° DRA-16-156884-07366A Novembre 2017



Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)

Type d'installation : Gaz Inflammable Liquéfié (G.I.L.)

Nom du dispositif : Détecteur de niveau dans les stockages de GPL

Document élaboré par : l'INERIS

Liste des personnes ayant participé : Patricia KUKUCZKA, Marion DEMEESTERE, Albin TARRISSE

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 1 sur 18

PREAMBULE

Les documents de synthèse relatifs à une barrière de sécurité sont la propriété de l'INERIS. Il n'est accordé aux utilisateurs qu'un droit d'utilisation n'impliquant aucun transfert de propriété.

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur, ainsi que des pratiques et méthodologies développées par l'INERIS. Bien que l'INERIS s'efforce de fournir un contenu fiable, il ne garantit pas l'absence d'erreurs ou d'omissions.

Ce rapport est destiné à des utilisateurs disposant de compétences professionnelles spécifiques dans le domaine des risques accidentels. Les informations qu'il contient n'ont aucune valeur légale ou réglementaire. Ce sont des informations générales. Elles ne peuvent, en aucun cas, répondre aux besoins spécifiques de chaque utilisateur. Ces derniers seront donc seuls responsables de l'utilisation et de l'interprétation qu'ils feront des rapports. De même, toute modification et tout transfert de ces documents se feront sous leur seule responsabilité.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra, en aucun cas, être engagée à ce titre.

	Rédaction	Relecture	Vérification	Vérification	Approbation
NOM	Marion DEMEESTERE	Ahmed ADJADJ	Valérie DE DIANOUS	Frédéric MERLIER	S. CHAUMETTE
	Albin TARRISSE				
Qualité	Ingénieurs à l'unité Quantification des RIsques et performances des Barrières (QRIB)	Responsable du Programme d'Appui sur les barrières de sécurité	Responsable de l'unité Quantification des RIsques et performances des Barrières (QRIB)	Délégué Appui à l'Administration Direction des	Responsable du Pôle Analyse et Gestion Intégrée des Risques (AGIR)
	Direction des Risques Accidentels	Direction des Risques Accidentels	Direction des Risques Accidentels	Risques Accidentels	Direction des Risques Accidentels
Date	3011/12	04/12/04	04/12/17	7/17/12	08/11/14
Visa	CANNO B	At Des	Wet	1	8

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 2 sur 18

TABLE DES MATIÈRES

1. F	FONCTION DE SÉCURITÉ ASSURÉE	4
2. R	RÉGLEMENTATION APPLICABLE	4
3. T	TECHNOLOGIES DISPONIBLES	6
3.1	Introduction	6
3.2	Flotteur	6
3.3	Lames vibrantes	7
3.4	Détecteur optique	8
3.4	I.1 Détecteur à rayons lumineux – Sonde optique	8
3.4	I.2 Détecteur à rayons lumineux – Barrière optique	9
3.4	I.3 Détecteur à rayons LASER	9
3.5	Mesure par jauge à palpeur	9
3.6	Mesure par plongeur	10
3.7	Mesure par ondes RADAR	11
3.7	7.1 Principe de fonctionnement	11
3.7	7.2 Transmetteur radar à ondes guidées (TDR)	11
3.7	7.3 Transmetteur radar sans contact (à émission libre)	12
3.8	Mesure par pression différentielle	14
4. C	CRITÈRES D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES	15
4.1	Efficacité	15
4.2	Temps de réponse	15
4.3	Niveau de confiance	16
4.4	Tests et maintenances	16
4.4	l.1 Général	16
4.4	l.2 Diagnostic	17
6 B	RIBI IOGRAPHIE	18

1. FONCTION DE SÉCURITÉ ASSURÉE

Les détecteurs de niveau dans les stockages de GPL sont destinés à contrôler le niveau de liquide afin de lutter contre le surremplissage et le risque de montée en pression dans le réservoir. Ils s'intègrent dans une chaine instrumentée ayant pour objectif de mettre en sécurité l'installation.

2. RÉGLEMENTATION APPLICABLE

Un ensemble d'arrêtés définissent des exigences sur la mesure de niveau des cuves GPL.

La rubrique 4718 [2] (modifiée par le décret n° 2017-1595 du 21/11/2017) de la nomenclature des installations classées précise quant à elle le régime de classement et l'arrêté applicable en fonction de la masse de GPL susceptible d'être présente sur l'installation.

Quantité	Régime	Arrêté	
Q < 6t	Non classé	Arrêté du 30/07/1979 [5]	
6t ≤ Q < 50t	DC	Arrêté du 23/08/05 (consolidé au 24/11/2017) [3]	
Q ≥ 50t	Α	Arrêté du 02/01/08 [4]	
Q > 200t	AS		

Tableau 1 : Seuils des régimes la rubrique 4718

En ce qui concerne les installations soumises à Autorisation, l'article 2 de l'arrêté du 2 janvier 2008 [4] précise que le surremplissage est prévenu par un contrôle du niveau de la surface de la phase liquide mesuré en continu. Il est précisé que le taux de remplissage ne doit pas dépasser 85% afin de permettre toutes les expansions thermiques naturelles qui pourraient survenir après le remplissage. Pour les installations destinées à la fourniture de gaz inflammables liquéfiés aux utilisateurs finaux, ce taux peut être différent s'il est mentionné dans l'arrêté préfectoral d'autorisation à l'aide des éléments figurants dans l'étude de dangers.

De plus, deux seuils de sécurité sont fixés :

- Un seuil " haut ", lequel ne peut excéder 90 % du volume du réservoir ;
- Un seuil " très haut ", lequel ne peut excéder 95 % du volume du réservoir.

Le franchissement de ces seuils est détecté par des dispositifs indépendants de la mesure en continu. Par des dispositifs d'asservissement appropriés, le franchissement du niveau " haut " entraîne l'arrêt automatique de l'approvisionnement du réservoir, sans temporisation, et l'information immédiate de l'exploitant et de l'opérateur effectuant la manœuvre de remplissage.

Le franchissement du niveau " très haut " actionne, outre les mesures précitées, la mise en œuvre de l'arrosage du réservoir.

Réf.: INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 4 sur 18

La défaillance de tout élément de transmission et de traitement du signal constituant un mode de défaillance commun entraîne la fermeture de toutes les vannes sur les tuyauteries de chargement et l'information immédiate de l'exploitant.

L'arrêté du 23/08/05 [3] explique que les réservoirs des installations soumises à déclaration doivent être munis d'équipements prévenant le surremplissage. Ces équipements peuvent être des systèmes de mesures de niveaux, de pression ou de température. En outre, l'arrêté précise que « Toute action visant à alimenter un réservoir est interrompue dès l'atteinte d'un taux de remplissage de 85 % ».

L'Article 9 de l'annexe de l'arrêté du 30 juillet 1979 [5] précise que les réservoirs doivent comporter une jauge de mesure de niveau en continu ainsi qu'un dispositif de contrôle du niveau maximal de remplissage dont la valeur est fixée par la société distributrice.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 5 sur 18

3. TECHNOLOGIES DISPONIBLES

3.1 Introduction

Certains dispositifs permettent de mesurer le niveau en continu, c'est-à-dire qu'ils mesurent la hauteur de remplissage et la convertissent en un signal proportionnel au niveau. D'autres permettent de détecter un seuil de niveau, c'est-à-dire qu'ils signalent seulement l'atteinte de hauteurs déterminées via une sortie Tout ou Rien (ToR).

Parmi les détecteurs de seuil, on trouve les systèmes suivants :

- Flotteurs (de type détecteur);
- Lames vibrantes;
- Détecteur optique : barrière optique ou sonde optique.

Parmi les équipements de suivi en continu du niveau, auxquels on peut associer des seuils, on trouve les systèmes suivants :

- Détecteur optique : LASER ;
- Jauge à palpeur ;
- Flotteur (de type capteur);
- Plongeur;
- Radar;
- Mesure de niveau par pression différentielle.

Ces systèmes sont décrits dans les paragraphes suivants.

3.2 FLOTTEUR

Le flotteur fonctionne grâce à la force d'Archimède (F_{AR}=pgV) et existe aussi bien sous la forme de détecteur de seuil que de capteur pour mesurer le niveau en continu.

Pour un flotteur de seuil, un poids installé le long de la paroi du réservoir déclenche un contact sec lorsque la hauteur de liquide est telle que le poids flotte sur le liquide. Lorsqu'il s'agit d'un flotteur de type capteur, le niveau est détecté en fonction de l'angle formé par le poids. Le principe de fonctionnement de ce dispositif est illustré ci-dessous.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 6 sur 18

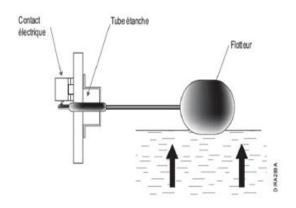




Figure 1: Schéma de principe et photo d'un détecteur de niveau à flotteur

Source: IFP Training

3.3 LAMES VIBRANTES

Le principe de détection d'une sonde à lames vibrantes, illustré dans la figure ci-contre, est fondé sur deux lames vibrant en oscillation piézoélectrique. Les lames oscillent dans l'air à leur fréquence de résonance. Dès que le liquide entre en contact avec la fourche, la fréquence d'oscillation se modifie. Cette modification de fréquence est ensuite transmise sous forme d'un signal PFM (impulsions modulées en fréquence), superposée au courant de base et analysée par l'électronique associée.

Le point de commutation représente le niveau de liquide atteint entre les lames vibrantes qui déclenchera un changement de fréquence Fig d'oscillation.

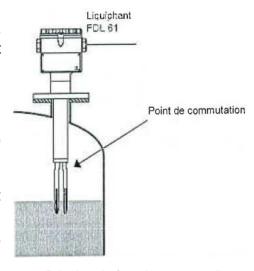


Figure 2: Principe de fonctionnement d'un détecteur à lames vibrantes

Source: Extrait de la documentation sur le détecteur de niveau FDL61 d'Endress+Hauser

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 7 sur 18

3.4 DÉTECTEUR OPTIQUE

Les différents types de détecteurs optiques fonctionnent grâce à l'émission d'une lumière. En l'absence de liquide au seuil prédéterminé, la lumière est reçue par le composant récepteur, tandis que lorsque le seuil est atteint, cette dernière ne passe plus correctement. On distingue différents types de détecteurs optiques tels que la sonde optique et la barrière optique.

3.4.1 DÉTECTEUR À RAYONS LUMINEUX - SONDE OPTIQUE

Le principe de détection d'une sonde optique repose sur la variation de l'indice de réfraction en fonction du milieu environnant à la surface d'un cône optique. Une diode électroluminescente émet un rayon lumineux à l'intérieur du cône :

- En l'absence de liquide, ce rayon subit une double réflexion et vient éclairer une photodiode. Dans cette situation, la photodiode offre une très faible résistance électrique au passage du courant;
- En présence de liquide, l'immersion partielle du cône optique provoque le changement de direction du rayon lumineux. Celui-ci est diffusé hors du cône et n'atteint plus la photodiode. Cela se traduit, de la part de la photodiode, par une très grande résistance électrique au passage du courant.

Ces deux états sont ensuite comparés et analysés par rapport aux états électriques connus de la boucle de courant. Ce principe de fonctionnement est illustré dans la figure ci-dessous.

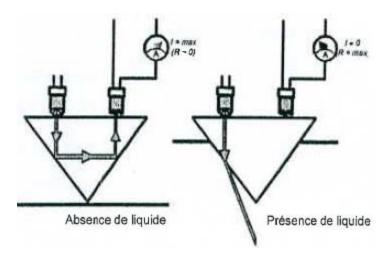


Figure 3: Principe de fonctionnement d'une sonde optique

Source: CFBP

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 8 sur 18

3.4.2 DÉTECTEUR À RAYONS LUMINEUX – BARRIÈRE OPTIQUE

Un rayon lumineux est émis d'un côté de la cuve et réceptionné de l'autre. La présence de liquide au travers du rayon empêchera le rayon d'arriver jusqu'au récepteur et l'information de seuil sera ainsi donnée.

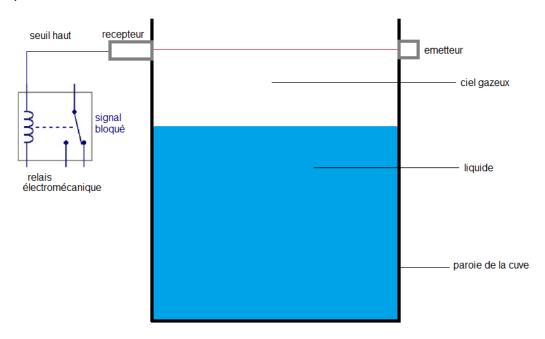


Figure 4 : Principe de fonctionnement d'une barrière optique

3.4.3 DÉTECTEUR À RAYONS LASER

Un laser infrarouge émet des impulsions lumineuses vers la surface du produit. La durée mesurée entre impulsion émise et écho recueilli permet de connaître le niveau pour les liquides qui n'absorbent pas complètement les infrarouges (ce qui est le cas du GPL). Ce dispositif permet une mesure de niveau continue et présente l'avantage de fonctionner sans contact. D'autre part, les hautes températures et pressions, les compositions variables de gaz au-dessus du produit n'ont pas d'influences significatives sur la mesure.

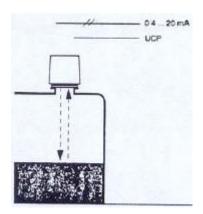


Figure 5: Principe de fonctionnement d'un détecteur à rayons laser

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 9 sur 18

3.5 MESURE PAR JAUGE À PALPEUR

Un palpeur (disque) suspendu à un filin s'enroule sur un tambour rainuré couplé à une détection de la tension du câble. Un asservissement enroule/déroule le filin en cherchant le point où la tension du câble varie. La longueur de filin déroulée permet de connaître le niveau du bac. La mesure est très précise (± 1 mm) dans le cas de bacs de stockage. Le principe de fonctionnement de ce dispositif est illustré cidessous.

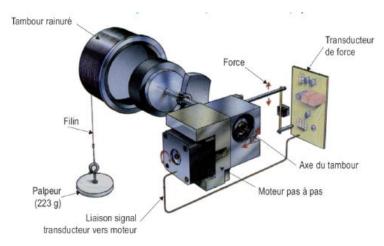


Figure 6: Schéma de principe d'une jauge à palpeur

Source: IFP Training

3.6 MESURE PAR PLONGEUR

Ce type d'appareil permet de suivre un niveau (ou une interface) en mesurant les variations de poids apparent d'un plongeur (situé dans un tube métallique creux qui ne doit pas flotter à la surface du liquide). Le poids apparent d'un corps est égal à son poids diminué de la poussée d'Archimède qu'il subit en fonction de son immersion dans le liquide dans lequel il est placé. Le principe de fonctionnement de ce dispositif est illustré ci-dessous.

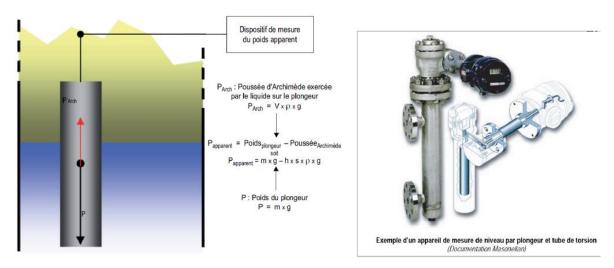


Figure 7: Schéma de principe et photo d'un appareil de mesure de niveau par plongeur

Source: IFP Training

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 10 sur 18

Ce dispositif est adapté pour les petites capacités et peut être monté à l'extérieur de la cuve, comme illustré ci-dessous.



Figure 8: Exemple de montage d'un appareil de mesure de niveau par plongeur

Source: IFP Training

3.7 MESURE PAR ONDES RADAR

3.7.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement des détecteurs de niveau RADAR¹ est permis grâce à un émetteur qui envoie des micro-ondes électromagnétiques (à la fréquence de quelques GHz). Ces ondes sont ensuite réfléchies par la surface du produit et la mesure du temps de trajet aller-retour donne une indication sur le niveau de liquide. Ce dispositif permet une mesure de niveau continue.

A l'inverse des ondes sonores qui sont fortement perturbées par le ciel gazeux du produit dont on cherche à mesurer le niveau, les ondes électromagnétiques y sont insensibles.

3.7.2 TRANSMETTEUR RADAR À ONDES GUIDÉES (TDR)

Le principe de fonctionnement du TDR (Time Domain Reflectrometry) est le suivant (voir figure ci-contre) : l'appareil émet des impulsions électromagnétiques de faible intensité à la vitesse de la lumière le long d'un conducteur rigide ou flexible. Lorsque les impulsions atteignent la surface du produit à mesurer, elles sont réfléchies complètement ou partiellement (selon les propriétés de réflexion du produit) en direction du convertisseur de mesure. L'appareil mesure le temps entre le moment où l'impulsion est émise et le moment où elle est reçue : la moitié de cette durée est équivalente à la distance du point de référence de l'appareil à la surface du produit.

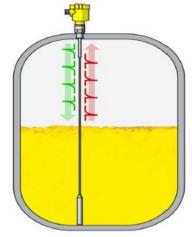


Figure 9: Mesure de niveau radar à ondes guidées

Source: VEGA

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 11 sur 18

¹ Le mot RADAR est un néologisme provenant de l'acronyme anglais : RAdio Detection And Ranging.

La fréquence des ondes utilisée par ce type de dispositif est de l'ordre de 1 à 2 GHz.

3.7.3 TRANSMETTEUR RADAR SANS CONTACT (À ÉMISSION LIBRE)

Le principe de fonctionnement repose sur la réflexion d'une onde électromagnétique à haute fréquence (de l'ordre du GHz) émise par une antenne située sur le toit du bac. L'émission peut être de deux natures :

- Pulsée : émission d'une seule fréquence ;
- Mode FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave): émission continue de fréquences de plus en plus élevées. Ce type de dispositif est moins sensible à l'environnement.

Le radar FMCW transmet un signal haute fréquence dont la fréquence augmente de manière linéaire pendant la phase de mesure (ce qu'on appelle le balayage de fréquence). Le signal est émis, se réfléchit sur la surface de mesure, puis est réceptionné après un certain délai, t. Ce temps de transit permet de calculer la distance entre la surface du liquide et l'émetteur-récepteur grâce à la formule suivante :

$$D = \frac{c \times t}{2}$$

Avec:

o D: La distance entre la surface du liquide et l'émetteur-récepteur;

o c: La vitesse de la lumière dans le ciel gazeux ;

o t : Le temps de transit du signal entre son émission et sa réception.

Pour le traitement ultérieur du signal, la différence Δf est calculée à partir de la fréquence de transmission réelle et de la fréquence de réception. Cette différence est directement proportionnelle à la distance. Une différence de fréquence importante correspond à une grande distance et inversement. La différence de fréquence Δf est transformée par transformation de Fourier (FFT) en un spectre de fréquence, puis la distance est calculée à partir de ce spectre. Le niveau est le résultat de la différence entre la hauteur du réservoir et la distance mesurée.

Afin d'optimiser la qualité du signal et le fonctionnement du détecteur de niveau RADAR, il faut s'intéresser d'une part à la fréquence choisie. La fréquence des ondes utilisée par ce type de dispositif est de l'ordre de 6 à 80 GHz. Plus la fréquence d'émission est élevée plus la taille de l'antenne est petite et meilleur sera l'écho d'un produit à faible constante diélectrique (donc faiblement conducteur, ce qui est le cas du GPL). De plus, la fréquence d'émission a un impact sur l'angle d'émission de l'antenne, qui dépend également du diamètre de celle-ci. A des fréquences plus élevées, une antenne pourra avoir un angle d'émission plus faible (à diamètre équivalent). La déperdition de la puissance des ondes envoyées s'en trouve donc réduite. Ces principes sont illustrés dans le schéma ci-contre.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 12 sur 18



Figure 10: Radar à émission libre - Choix de la fréquence

Source: VEGA

La figure suivante illustre les angles d'émission retrouvés sur différents types d'antenne, en fonction des fréquences émises. Le diamètre idéal de l'antenne est repéré en vert.

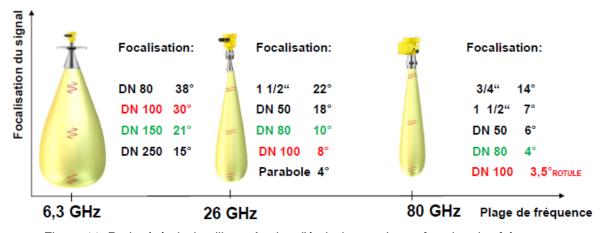


Figure 11: Radar à émission libre - Angles d'émissions radar en fonction des fréquences

Source: VEGA

Avantages du FMCW par rapport au pulsé :

- Envoi d'ondes en continu, avec un temps de cycle de l'ordre de quelques centaines de millisecondes. La réactivité du dispositif est donc améliorée.
- La puissance du signal envoyé est plus forte que dans le cas d'un radar pulsé. La fiabilité de la mesure est donc améliorée dans le cas où le produit a de mauvaises propriétés de réflexion (ce qui est le cas du GPL).
- Le signal de la mesure n'est pas perturbé par les éléments à l'intérieur du réservoir.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 13 sur 18

3.8 MESURE PAR PRESSION DIFFÉRENTIELLE

Dans le cas de réservoirs de stockage pressurisés, deux possibilités existent :

- Soit un seul capteur différentiel de pression entre le haut et le bas du réservoir est mis en place ;
- Soit deux capteurs de pression sont installés, celui du bas mesurant la pression hydrostatique plus la pression statique, et celui du haut mesurant la pression statique. Par différence, on obtient une mesure de niveau continue.

Le dispositif à un seul capteur différentiel est à préférer au second lorsque la pression statique est beaucoup plus élevée que la pression hydrostatique.

Plusieurs technologies existent selon la tension de vapeur du produit dont on cherche à déterminer le niveau. Lorsque le produit risque de condenser dans les piquages de mesure, la mise en place de membranes déportées permet d'éviter ce risque (voir illustrations ci-dessous).

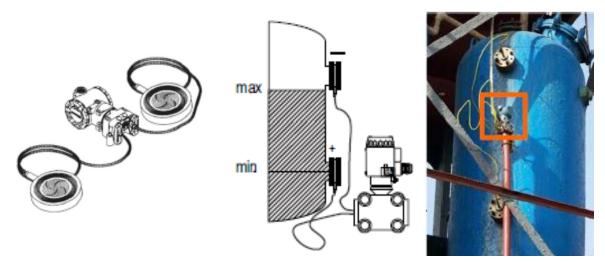


Figure 12: Illustration d'un séparateur à membrane (raccordement à capillaire)

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 14 sur 18

4. CRITÈRES D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES

4.1 EFFICACITÉ

Afin d'évaluer l'efficacité d'un appareil, on observe son fonctionnement dans son contexte d'utilisation pendant une durée donnée. On va donc s'intéresser à son dimensionnement, à sa résistance aux contraintes spécifiques ainsi qu'à son positionnement.

On s'intéressera en particulier aux paramètres suivants :

- · Choix du seuil:
- Corrélation entre paramètre mesuré et volume de la cuve ;
- Respect des gammes de fonctionnement (pression, température, densité de fluide);
- Résistance aux conditions externes (gel, humidité, perturbations électromagnétiques, radiofréquences...);
- Sensibilité aux phases de remplissage (moussage...);
- Risques de colmatage (piquages...);
- Positionnement et montage (existence de vannes sur le circuit de mesures, distance suffisante entre systèmes et parois de la cuve, position éloignée des arrivées, supportage adéquat des tubes...);
- Précisions et répétabilité des mesures ;
- Matériel adapté au classement de la zone (ATEX);
- ...

Le lecteur pourra se reporter au chapitre 1 de l'annexe 1 pour plus de précisions sur le dimensionnement des différentes technologies.

4.2 TEMPS DE RÉPONSE

Le temps de réponse d'une barrière de sécurité, constituée par un détecteur de niveau, un système de traitement et des actionneurs, est l'intervalle de temps entre le moment où le détecteur détecte un dépassement de seuil et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière est réalisée dans son intégralité. Ces actions de sécurité dépendent du temps de déclenchement d'alarme du détecteur de niveau et des temps de mise en œuvre des actions de sécurité (fermeture d'une vanne, etc...).

Pour le seul détecteur, le temps de réponse varie de quelques ms à quelques secondes. En cas de temporisation, celle-ci devra être intégrée dans le temps de réponse. C'est souvent le temps de fermeture/ouverture des vannes qui sera limitant. On pourra se reporter au chapitre 2 de l'annexe 1 pour plus de détails sur les temps de réponse de différentes technologies.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 15 sur 18

On vérifiera que le temps de réponse global (incluant les actionneurs) est compatible avec la prévention du surremplissage, compte-tenu du seuil de déclenchement retenu et du débit de remplissage.

4.3 NIVEAU DE CONFIANCE

Les détecteurs de niveau dans les stockages de GPL peuvent être certifiés SIL2 selon la norme CEI 61508 et le niveau de confiance qu'on leur accorde est donc NC2 si les exigences d'efficacité et de temps de réponse sont remplies et s'ils font l'objet d'une politique de tests et de maintenance adaptée (Cf. Paragraphe 4.4).

En revanche, lorsque qu'ils ne sont pas certifiés selon la norme CEI 61508 une évaluation conformément au référentiel Oméga 10 permettra de préciser le NC. Un niveau de confiance entre 1 et 2 peut être retenu lorsque les exigences d'efficacité, de temps de réponse et de tests/maintenance sont remplies (Cf. Paragraphe 4.4). Par défaut, un NC de 1 est retenu en l'absence de justification à condition que les exigences minimales de l'Omega 10 soient respectées.

4.4 TESTS ET MAINTENANCES

4.4.1 GÉNÉRAL

Le non-entretien des capteurs de niveau peut se révéler accidentogène, c'est pourquoi une politique de tests et de maintenances de ces équipements doit être mise en place. Tous les capteurs ne demandent pas les mêmes opérations de maintenance ni la même fréquence de maintenance, il est alors important de se conformer aux données fournies par le constructeur et de prendre en compte les enseignements du retour d'expérience. Il est également important de contrôler l'ensemble des éléments constituant la chaine de sécurité.

Les opérations de maintenance et de tests périodiques peuvent inclure :

- Contrôle visuel de l'état du système avec vérification d'absence d'encrassement et de traces de corrosion ;
- Absence de dérives ;
- Vérification des couples de serrage ;
- Tests des circuits électriques ;
- Inspection des contacts...

Un test décennal des sondes peut être effectué pendant la mise en eau du réservoir, lors de la requalification du stockage. Des fuites potentielles peuvent se manifester au niveau des joints de corps. On fera particulièrement attention à la compatibilité avec la classe de tuyauterie sur laquelle est raccordé l'instrument et au vieillissement.

On pourra se reporter au chapitre 3 de l'annexe 1 pour plus de détails sur les opérations préconisées par les fournisseurs pour différentes technologies.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 16 sur 18

4.4.2 **DIAGNOSTIC**

Les diagnostics embarqués dans les détecteurs de niveau permettent de détecter un certain nombre de défaillances : alimentation, communication, électronique et signalent les valeurs hors-échelle.

Généralement, certains diagnostics sont exécutés automatiquement à la mise en marche et d'autres suivant une périodicité fixée dans le détecteur (voir fiche technique).

En cas de détection de défaut un signal en sortie du détecteur est renvoyé (signal qui peut être repris pour un affichage en salle de contrôle ou autre). Ces alarmes de défaut nécessitent des actions adéquates de vérification et de maintenance.

Ces séquences de diagnostics ne dispensent pas d'effectuer les vérifications régulières de bon fonctionnement et d'étalonnage.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 17 sur 18

6. **BIBLIOGRAPHIE**

- 1. Arrêté du 9 novembre 1972 fixant les règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquéfiés (catégorie A2) de 1ère et 2ème classe à l'exception de ceux sans transvasement d'une capacité globale au plus égale à 70 mètres cubes.
- 2. Décret n° 2014-285 du 03/03/14 modifiant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- 3. Arrêté du 23 août 2005 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 4718 de la nomenclature des installations classées.
- 4. Arrêté du 2 janvier 2008 relatif aux réservoirs fixes manufacturés de gaz inflammables liquéfiés, de capacité unitaire supérieure ou égale à 50 tonnes, présents au sein d'une installation classée pour la protection de l'environnement relevant du régime de la déclaration.
- 5. Arrêté du 30 juillet 1979 relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux stockages fixes d'hydrocarbures liquéfiés non soumis à la législation des installations classées ou des immeubles recevant du public..
- 6. INERIS. Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité OMEGA 10. [En ligne] 2008.
- http://www.ineris.fr/centredoc/Omega_10_Evaluation_BTS_v2_0908_web.pdf
- 7. IFPTraining. Guide de sélection technologie capteurs de niveau. 2015.
- 8. IFPTraining ENSPM. Capteurs et transmetteurs.

Réf. : INERIS- DRA-16-156884-07366A Page 18 sur 18

ANNEXE 1 : Exemples de spécifications issues de documentations techniques

CHAPITRE 1 : Efficacité

CHAPITRE 2 : Temps de réponse

CHAPITRE 3 : Tests et maintenance

Les spécifications renseignées sont issues de fiches techniques et de discussions auprès d'industriels et de fabricants. Les données sont indicatives et ne représentent pas exhaustivement l'état du marché des détecteurs de niveau. De plus, ces dernières varient grandement en fonction des modèles et des fabricants.

Réf.: INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1

CHAPITRE 1: EFFICACITÉ

FLOTTEUR

De par sa simplicité le flotteur est un détecteur de dépassement de niveau robuste. Cependant, il est nécessaire de s'assurer de son adaptabilité à la situation donnée pour s'assurer de son efficacité. Les plages de fonctionnement varient grandement selon les flotteurs en fonction de la matière dans laquelle ils sont construits et des modèles. On trouve dans le tableau ci-dessous les valeurs les plus extrêmes de deux marques distinctes.

Plastique (Gems)	-40 à +150 °C	< 10 bars	450 à 980 kg/m ³
Métal (Magnetrol)	-46 à +538 °C	< 181 bars	> 400 kg/m ³

Figure 13 : Exemples de spécifications de flotteurs

Source: Gems et Magnetrol

Du point de vue de la densité du liquide, la plupart des flotteurs semblent adaptés au GPL dans la mesure où la masse volumique du GPL fluctue entre 400 et 600 kg/m³ selon la température.

Le flotteur, utilisé comme détecteur de seuil, offre une plage de détection allant d'une dizaine de millimètres à plusieurs centaines de millimètres. Le flotteur doit donc être positionné de manière à inclure le seuil de niveau à détecter dans sa plage de service.

Le constructeur OMEGA propose un flotteur qui fournit des mesures précises à environ ±5mm avec une répétabilité de ±2mm.

Lorsqu'il est conçu pour mesurer le niveau de liquide en continu, il offre une plage de mesure allant de 10 millimètres à 30 mètres avec une précision de ±0,5 à ±5% de la mesure.

LAMES VIBRANTES

La sonde doit être positionnée de manière à ce que le point de commutation soit le niveau d'alerte de montée de liquide dans le réservoir. Le choix de la hauteur du point de commutation dans le réservoir dépend des paramètres suivants :

- La densité du liquide ;
- La pression et la température régnant dans le réservoir ;
- Les tolérances de longueur des capteurs :
 - Jusqu'à 1m de longueur : maximum 7mm de moins que la valeur figurant sur la plaque signalétique ;
 - Jusqu'à 3m de longueur : maximum 10mm de moins ;
 - Jusqu'à 6m de longueur : maximum 20mm de moins.

Des exemples de courbes de profondeurs d'immersion en fonction de la densité, température et pression sont donnés ci-dessous.

Réf. : INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 1 sur 11

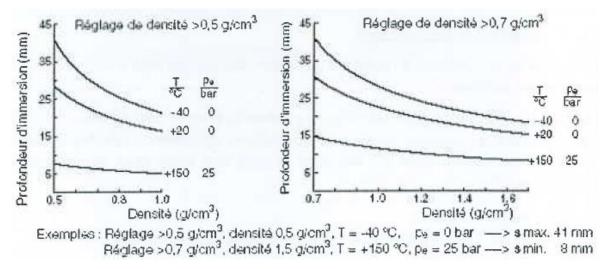


Figure 14: Exemples de profondeurs d'immersion du point de commutation (lames vibrantes) en fonction de la densité, température et pression

Source: CFBP

Dans le cas d'une fourche de grande longueur exposée en permanence à une contrainte dynamique importante, un maintien du tube prolongateur est à prévoir (tube support introduit par le piquage (configuration 1) ou bien support latéral à proximité de la fourche (configuration 2)).

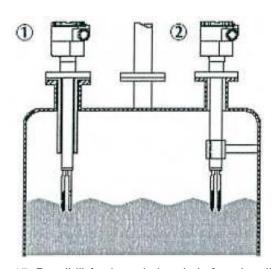


Figure 15: Possibilités de maintien de la fourche vibrante

Source : Extrait de la documentation sur le détecteur de niveau FDL61 d'Endress+Hauser De plus, un dégagement suffisant est à prévoir autour de la fourche vibrante afin que :

- La fourche ne touche pas la paroi du réservoir ou les éléments internes ;
- L'arrivée de produit ne chute pas directement sur la fourche vibrante.

La pression maximale admissible à l'intérieur du réservoir dépend du produit et de la température dans le réservoir, comme illustré dans la figure ci-dessous :

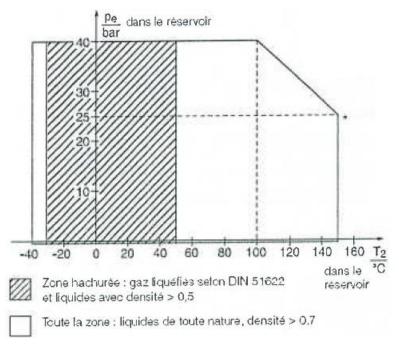


Figure 16: Enveloppe de pression maximale admissible dans le réservoir pour la mise en place de lames vibrantes

Source : Extrait de la documentation sur le détecteur de niveau FDL61 d'Endress+Hauser

On trouve des lames vibrantes qui supportent des températures de 80°C et des pressions de 40 bar et offrent des mesures précises à ±5 millimètres.

SONDE OPTIQUE

Lors du choix du détecteur de niveau de la cuve, il est important de faire attention aux plages de fonctionnement. En ce qui concerne la sonde optique, les modèles courants s'adaptent à des températures comprises entre -40°C et +100°C et à des pressions entre 0 et 172 bars, selon les modèles et les constructeurs.

Pour faire fonctionner la sonde correctement, il est nécessaire de placer la sonde dans l'obscurité et de préférence dans le noir. Dans ce but, on veillera à éliminer toutes les sources lumineuses (naturelles ou artificielles). De plus, les équipements internes ne doivent pas réfléchir les rayons infrarouges de la sonde.

Il faut savoir également que le niveau maximum indiqué par le détecteur ne sera jamais équivalent à la contenance totale de la cuve. En général, il se situe vers les 97% du volume.

Finalement la plupart des constructeurs proposent des modèles qui ont une répétabilité inférieure à 3 millimètres.

BARRIÈRE OPTIQUE

La barrière optique possède des plages de fonctionnement identiques à la sonde optique et fonctionne mieux en l'absence de lumières extérieures. En revanche, elle n'est pas adaptée si le liquide est agité et/ou en ébullition.

DÉTECTEUR À RAYONS LASER

La lumière ne variant pas significativement en fonction du gaz qu'elle traverse, la technologie LASER est peu sensible aux changements de pression et de température du milieu. De plus, elle n'est pas non plus affectée par la constante diélectrique du liquide, comme le serait un détecteur RADAR.

En revanche, le capteur est sensible à l'encrassement qui empêcherait la lumière de se propager correctement. On trouve ci-dessous un tableau qui regroupe des données sur des détecteurs de niveau LASER de la marque DIMETIX.

Portée	0,05 à 30 m	0,05 à 150 m	0,05 à 500 m
Précision ± 3 mm		± 1,5 mm	± 1 mm
Répétabilité ± 1,5 mm		± 0,4 mm	± 0,3 mm
Température	-10 à +50 °C	-40 à +50 °C	-40 à +50 °C

Figure 17: Spécifications techniques de différents détecteur de niveau LASER DIMETIX

Source : Extrait de la documentation sur le détecteur de niveau EDS-C, DLS-C, FLS-C DIMETIX

JAUGE À PALPEUR

Afin de bien choisir la jauge à palpeur à utiliser, il convient de prendre en considération un certain nombre de paramètres liés à l'environnement et à l'appareil. On observera notamment :

- La pression: 40 bars maximum pour le process;
- La température du réservoir : de -200°C à +200°C ;
- La densité du liquide pour choisir une jauge à palpeur qui se positionne correctement vis-à-vis de la surface à évaluer ;
- La taille du filin pour que celui-ci s'adapte à toute la plage des changements de niveau que le réservoir peut observer.

La jauge à palpeur offre une mesure précise. Par exemple pour le Enraf Servo Gauge 854 ATG de Honeywell, sur une mesure de 27m, l'erreur est inférieure à ±0,4mm et pour une mesure de 37m, l'erreur est inférieure à ±0,7mm.

PLONGEUR

Les plongeurs présents sur le marché offrent des plages de fonctionnement allant de -29 à 315°C pour la température et allant jusqu'à 355 bars pour la pression. Ils permettent de mesurer en continu des hauteurs allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Par exemple le Digital E3 Modulevel® permet de mesurer des hauteurs à partir de 35 centimètres jusqu'à 3 mètres. Les mesures effectuées sont précises comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Réf.: INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 4 sur 11

Linéarité	± 0,20% L _{max}	
Répétabilité	± 0,05% L _{max}	
Effet de la température ambiante*	± 0,017%/°F	

Figure 18: Récapitulatif des erreurs de mesures du Digital E3 Modulevel®

Source: Magnetrol

Lorsque la température est supérieure à la température moyenne maximale fixée à 49°C, le zéro se décale de ±0,017% par degré Fahrenheit au maximum. On remarque cependant que les mesures sont sensibles aux variations de densité du liquide.

TRANSMETTEUR RADAR À ONDES GUIDÉES (TDR)

Les variations de densité, des dégagements de vapeur ou de fortes variations de pression et de température n'ont aucune influence sur le résultat de la mesure. Les colmatages sur la sonde ou sur la paroi de la cuve n'influent pas non plus la mesure. En revanche, la constante diélectrique du produit a une incidence sur la capacité de réflexion du signal.

La déperdition de la puissance des ondes envoyées est moindre qu'avec un RADAR à émission libre dans la mesure où celles-ci restent focalisées le long de la sonde. Cependant, il faut veiller à éviter une installation trop proche de la paroi du réservoir, du point de remplissage ou d'obstacles. Il est recommandé de maintenir une distance supérieure à 500 mm entre la sonde et tout obstacle ou éléments perturbateurs.

Il est fortement recommandé d'installer le RADAR dans un tube bypass ou un tube guide d'ondes. Cela offre l'avantage de pouvoir mesurer de manière fiable les produits ayant une constante diélectrique inférieure à 1,6 ce qui est le cas du GPL.

On trouve chez le constructeur VEGA, trois technologies qui ont des spécifications différentes. Les données indiquées correspondent aux modèles qui résistent aux pressions et aux températures les plus fortes.

		Valeurs maximales des technologies		
Câble	75 m	-196 à +450 °C -1 à +400 bar ±2 mm		
Tige	6 m	-196 à +450 °C -1 à +400 bar ±2 mm		
Coaxial	6 m	-196 à +450 °C -1 à +400 bar ±2 mm		

Figure 19: Spécifications des modèles VEGAFLEX 86

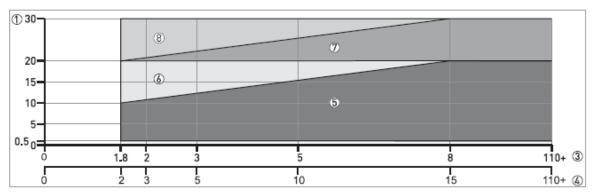
Source : VEGA

Il est préférable d'utiliser la technologie « coaxial » pour les produits qui ont des constantes diélectriques faibles. De plus, le RADAR à ondes guidées donne un suivi plus précis du niveau de liquide lors de phases où le produit est agité (remplissage, vidange, agitation) que le RADAR sans contact.

Réf.: INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 5 sur 11

TRANSMETTEUR RADAR SANS CONTACT (À ÉMISSION LIBRE)

On sélectionne l'antenne en fonction de la hauteur du réservoir (h) et de la constante diélectrique, appelée aussi permittivité relative (ϵ_r) du produit dont on veut mesurer le niveau.



- ① Hauteur du réservoir / Plage de mesure [m]
- ② Hauteur du réservoir / Plage de mesure [ft]
- 3 ε_r des réservoirs de stockage contenant un produit à surface lisse
- ξ des réservoirs de process sans agitateur ni mousse
- ⑤ Toutes les antennes :
 - Antenne conique métallique DN150 et DN200 avec ou sans puits tranquillisant* et antennes Wave Horn PP et PTFE
 - Antenne conique métallique DN65/2,5", DN80/3" et DN100/4": à utiliser uniquement dans un puits tranquillisant*.
 La plage de mesure maxi est de 10 m / 32,81 ft.
 - Guide d'onde : la plage de mesure maximale est de 6 m / 19,68 ft
- Antennes coniques métalliques DN150 et DN200 avec ou sans puits tranquillisant* et antennes Wave Horn PP et PTFE
- ② Antennes coniques métalliques DN150/6" et DN200/8" avec ou sans puits tranquillisant*
- Antenne conique métalliques DN200/8" avec ou sans puits tranquillisant*

Figure 20: Diagramme de sélection de l'antenne d'un transmetteur de type FMCW

Source : Khrone

L'intervalle de mesure d'un radar sans contact est compris entre 0,5 m et 60 m pour les liquides. Ce dispositif peut être utilisé dans des conditions de pressions et de températures élevées (allant de -1 bar à plus de 150 bar et de -60°C à +400°C, variable selon les modèles et les fabricants). Il offre un résultat précis avec une erreur de l'ordre de ±2,0% de la longueur mesurée, soit moins de ±2 millimètres.

PRESSION DIFFÉRENTIELLE

Le détecteur de niveau à pression différentielle fonctionne à des pressions et des températures allant jusqu'à 400 bar et 200°C.

L'exactitude de la valeur obtenue dépend de la variation de pression, de la température et de la masse volumique du liquide. Il a une précision de 0,075% du niveau mesuré.

^{*} Un puits tranquillisant équivaut à l'option guide d'onde ou à une chambre de mesure

CHAPITRE 2 : TEMPS DE RÉPONSE

FLOTTEUR

Le temps de réponse du BM26 de Krohne a un temps de réponse d'environ 1,5 secondes.

LAMES VIBRANTES

Le temps de réponse varie entre 0,5 et 1 seconde. Lorsqu'une erreur se produit, le temps de mise en sécurité de la sonde est au maximum de 3 secondes.

DÉTECTEURS OPTIQUES

Le temps de réponse entre la présence de liquide au niveau du capteur et le déclenchement du relais électrique est instantané. Lorsqu'il est fait un traitement informatique de l'information, le temps de réponse dépend fortement de celui-ci. En effet, la vitesse de déplacement des ondes sur des distances aussi courtes peut être considérée instantanée dans la mesure où la vitesse d'une onde optique de l'ordre de 300 000 km/s. Par exemple le modèle MHF15 de SICK a un temps de réponse de 2 ms.

JAUGE À PALPEUR

Le temps de réponse de la jauge à palpeur est d'environ 3 à 5 secondes.

PLONGEUR

Le temps de réponse du plongeur Digital E3 Modulevel® est inférieur à 1 seconde et son temps de mise en route est inférieur à 5 secondes.

TRANSMETTEURS RADAR

De la même manière que pour les détecteurs optiques, les détecteurs Radar possèdent un temps de réponse très bref qui dépend principalement du traitement informatique. Le temps de réponse de l'émetteur est inférieur à 6 secondes avec une temporisation (par défaut sur certains modèles) et est inférieur à 2 secondes sans.

PRESSION DIFFÉRENTIELLE

Le temps de réponse de la détection de niveau est inférieur à 750 ms (série 3051S de Rosemount).

Réf.: INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 7 sur 11

CHAPITRE 3: TESTS ET MAINTENANCE

La nature et les fréquences des tests et des maintenances indiquées ont été données pour des équipements spécifiques et ne sont présentes qu'à titre d'exemple. En aucun cas elles ne reflètent des règles absolues à suivre pour l'ensemble des équipements.

FLOTTEUR

Plusieurs opérations de maintenance sont nécessaires pour s'assurer du bon fonctionnement du flotteur. Tout d'abord, comme il s'agit d'un appareil de mesure par contact, il convient de s'assurer que le flotteur et le contrepoids ne sont pas encrassés pour garantir leur libre mouvement. Ensuite, il peut être utile de corriger l'ajustement latéral et vertical du flotteur en le dévissant et en le replaçant manuellement. Finalement, on pourra procéder à une inspection des contacts et des bornes de connexions.

Des inspections périodiques sont donc nécessaires pour vérifier l'absence de dérive du détecteur de niveau.

LAMES VIBRANTES

Le test de bon fonctionnement du détecteur consiste à immerger les lames vibrantes dans le liquide et à vérifier le déclenchement de l'alarme. Pour se faire on pourra au choix : remplir le réservoir jusqu'à ce que les lames soient immergées (opération à risque), ou bien démonter le capteur et plonger les lames dans le liquide.

Lors du nettoyage du réservoir, un contrôle des lames doit être effectué afin de vérifier l'absence de dépôts ou de détérioration. Pour les sondes avec manchon coulissant, le couple de serrage des vis est à contrôler.

DÉTECTEURS OPTIQUES

Exemples de tests

- Test de l'ensemble de la boucle : ce test a pour but de vérifier l'absence de rupture de la ligne et des différents éléments qui la composent ;
- Contrôle de l'impédance de la carte de commande, afin d'en vérifier son bon fonctionnement, la transmission d'information vers la carte alarme et l'efficacité du diffuseur sonore de l'alarme.

Certaines sondes sont équipées d'un « bouton test » permettant de tester le fonctionnement des circuits électriques de la sonde.

Contrôle simple

Pour les réservoirs fixes de stockage, le contrôle a minima annuel de l'état de la sonde consiste à :

- Ouvrir la tête et vérifier l'absence d'humidité :
- Vérifier le serrage du câble dans le presse-étoupe.

Réf. : INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 8 sur 11

Contrôle détaillé

Dans les conditions d'exploitation, les points à vérifier sont les suivants (liste non exhaustive) :

- État des diodes électroluminescentes ;
- Basculement du relais de la carte de commande ;
- Voyant de l'alarme allumé en façade du coffret ;
- Déclenchement sonore de l'alarme ;
- Voyant du stockage allumé sur le synoptique.

On effectue le contrôle de la nouvelle sonde d'abord dans un seau rempli d'eau rendue opaque. Les points à vérifier sont les mêmes que précédemment. Un dernier test sera effectué pendant la phase de gazage lors de la mise en eau du stockage.

JAUGE À PALPEUR

• Test de reproductibilité :

On regarde si, pour un volume donné constant, la valeur de la mesure évolue. Dans le cas où le test donne deux valeurs différentes de plus de 1mm, les roulements du tambour doivent être changés.

• Test d'équilibre :

Le palpeur est élevé à environ 0,6 m au-dessus du niveau du liquide. Le palpeur est bloqué dans cette position et les poids maximum et minimum de déséquilibre sont mesurés. Finalement, on calcule le déséquilibre maximum de la mesure du tambour par la formule :

Déséquilibre maximum = Poids maximum - Poids minimum

Si la valeur est supérieure à 3 g, on vérifiera l'état du tambour et on changera les roulements.

Poids du palpeur :

Si la masse du palpeur mesuré diffère de plus de 3 g avec la masse initiale, on nettoiera le palpeur et on recalibrera le transducteur.

Bien que l'on puisse effectuer la plupart des tests sans démonter la jauge à palpeur, il est nécessaire, en cas de défaillance avérée, de démonter le détecteur pour le réparer. On peut notamment changer les roulements du tambour ou la partie électronique ainsi que procéder à un recalibrage de l'appareil. Lors de ces maintenances, il faut être particulièrement vigilant à ne pas couper le câble, ce qui rendrait la jauge à palpeur inutilisable.

Le GPL étant un liquide qui présente peu de risque d'encrassement, la périodicité des tests peut être adaptée.

Réf.: INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 9 sur 11

PLONGEUR

Dans le but de réaliser les maintenances plus facilement, il est envisageable d'implémenter le plongeur séparément de la cuve considérée. Les actes de maintenances consistent principalement à maintenir le détecteur propre pour ne pas fausser la mesure. On s'assurera également grâce à des inspections périodiques que les contacteurs, les bornes et les connexions sont en bon état, ainsi que les vis des cosses ne se desserrent pas sous l'effet des vibrations.

TRANSMETTEURS RADAR

Les détecteurs de niveaux Radar réalisent certains diagnostics permettant notamment de tester le bon fonctionnement du signal sur alarme ou le niveau de saturation du récepteur. Ils fournissent également une information sur la qualité du signal qui peut servir pour planifier des maintenances préventives de nettoyage du récepteur et de l'émetteur.

Réf. : INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 10 sur 11

BIBLIOGRAPHIE DE L'ANNEXE

- 1. Honeywell. Instruction manual: Series 854 ATG level gauge. 2013.
- 2. —. Enraf Servo Gauge 854 ATG: Technical Specifications. 2013.
- 3. Omega. Liquid Level Switches, LV-1301, Installation and Maintenance. omega.com. [En ligne] http://www.omega.com/manuals/.
- 4. —. LV-1201, LV-1202, LV-1203, Instruction sheet. omega.com. [En ligne] http://www.omega.com/manuals/.
- 5. Trimod'Besta. Contacteurs de niveau brochure.
- 6. Magnetrol. Tuffy T3, Détecteurs de niveau liquide à contacts électriques.
- 7. Gems. LS-7 Series (Plastic) Compact, Side-mounted Level Switches.
- 8. —. LS-7 Series (Metallic) Compact, Side-mounted Level Switches.
- 9. Magnetrol. Buoyancy products.
- 10. Emerson. Transmetteurs de pression Rosemount série 3051S. 2014.
- 11. Vega. Product information Radar, Level measurment in liquids VEGAPULS. Vega. [En ligne] https://www.vega.com/en/Downloads.
- 12. Emerson. Rosemount 5408 and 5408:SIS Level Transmitters, Non contacting Radar. 2017.
- 13. Vega. Informations techniques Radar à ondes guidées, VEGAFLEX. Vega. [En ligne] https://www.vega.com/en/Downloads.
- 14. Omega. LVE 115/116 Series Electro-Optic Level Switch Instruction sheet.
- 15. —. LVH-200, Series Instruction sheet. omega.com. [En ligne] http://www.omega.com/manuals/.
- 16. —. LVRD10 Series Guided Wave Radar Transmitter.
- 17. Krohne. Transmetteur de niveau radar à ondes guidées (TDR) OPTIFLEX 2200 C/F.
- 18. —. Transmetteur de niveau radar (FMCW) pour liquides OPTIWAVE 5200 C/F.
- 19. Larco. Alarme de niveau DOCIL pour réservoir de GPL.
- 20. Dimetix. Distance measuring contactless and reliable. dimetix.com. [En ligne] dimetix.com.
- 21. Krohne, BM 26 Basic/Advenced Technical datasheet.

Réf. : INERIS-DRA-16-156884-07366A Annexe 1 Page 11 sur 11





maîtriset le risque | pour un développement durable |

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél.: +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax: +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail: ineris@ineris.fr - Internet: http://www.ineris.fr