



DARPMI
SOUS-DIRECTION DE LA METROLOGIE

NOTE

N° 99.00.345.001.1 du 1^{er} septembre 1999
SUR L'EVALUATION DU VOLUME DU FOND DES RECIPIENTS-MESURES

EXEMPLE DE PROCEDURE D'EVALUATION DU VOLUME DU FOND D'UN BAC CYLINDRIQUE VERTICAL PAR NIVELLEMENT OPTIQUE.

(V. 1.0 du 1^{er} septembre 1999)

I - OBJET

Le présent document donne un exemple de procédure-type d'évaluation du volume du fond d'un bac cylindrique vertical par nivellement optique applicable au cas où la face supérieure de la plaque de touche est située dans la partie cylindrique à un niveau supérieur à celui du point le plus haut du fond du bac. Il est destiné à servir de guide pour les auditeurs dans le cadre des accréditations par le COFRAC ou dans le cadre des agréments provisoires.

Les candidats à l'accréditation ou à l'agrément provisoire doivent avoir établi une ou des procédures de jaugeage semblables ou équivalentes pour toutes les formes de bacs et de fond de bacs pour lesquels ils se proposent d'intervenir et pour toutes les méthodes qu'ils se proposent d'employer (nivellement, transfert de liquide, etc.). On pourra, à cet effet, consulter ISO/DIS 4269-1 - "Pétrole et produits pétroliers liquides - Jaugeages de réservoirs - Méthode par épaulement - Partie 1 - Méthode par empotement utilisant des compteurs volumétriques".

II - EXEMPLE DE PROCEDURE TYPE POUR UN BAC CYLINDRIQUE VERTICAL

Dans le but d'évaluer le volume du "fond" d'un bac cylindrique vertical, on pourra s'inspirer des opérations suivantes (*en respectant rigoureusement toutes les règles de sécurité*), lorsque la face supérieure de la plaque de touche est située au-dessus du plus haut des deux éléments suivants :

- base de la virole basse
- point le plus haut du fond du réservoir.

(FONDOPT)

Les autres cas de figure peuvent être traités de façon similaire, en effectuant le calcul du volume du fond pour un niveau correspondant, selon le cas :

- à celui du point le plus haut du fond,
- à celui de la base de la virole basse,

NB : la hauteur de départ du barème devra être adaptée en conséquence pour correspondre à un niveau supérieur au point le plus haut à partir duquel la section est cylindrique.

- 1°) Placer en station sur un support, en un point quelconque du fond, de manière stable, un appareil optique muni d'une lunette d'approche dont l'axe optique peut être rendu pratiquement horizontal à 1.10^{-3} gon près ⁽¹⁾. Le grossissement de la lunette doit être tel qu'il soit possible de lire une graduation millimétrique, si celle-ci est éclairée et située à moins de cinquante mètres de l'appareil. Cette lunette est munie d'un réticule en croix. Les branches de cette croix sont respectivement horizontale et verticale et leur intersection doit être située sur l'axe optique de la lunette.
- 2°) Matérialiser sur le fond du réservoir N rayons uniformément répartis (angle au centre $(R_i, R_{i+1}) \approx 360^\circ/N$). Sur chacun de ces rayons sont placés n points, le premier de ces points (P_0) étant situé au pied de la robe du réservoir, le dernier (P_n) étant situé à proximité immédiate du centre. Les points de même indice i pris sur chacun des rayons doivent être situés à la même distance d_i , de la robe ou du centre (mais il n'est pas imposé que les points d'un même rayon soient équidistants).

Un moyen parmi d'autres de matérialiser les rayons est le suivant :

- placer le zéro d'une mesure de longueur (ruban) contre la base de la robe et immobiliser le ruban sur le fond au moyen d'un aimant,
- dérouler le ruban vers le centre et immobiliser le ruban déroulé au moyen d'un second aimant,
- veiller à ce que le zéro du ruban soit toujours au contact de la robe et que le ruban soit correctement rectiligne,
- effectuer les relevés nécessaires sur ce rayon,
- déplacer le ruban pour matérialiser un autre rayon.

Si cette méthode est correctement appliquée, il n'est pas nécessaire de considérer une composante d'incertitude liée au fait que les points ne sont pas parfaitement alignés selon le rayon.

Des informations sont données pour le choix de N au point 12°) ci-après.

- 3°) Un opérateur est muni d'une règle rigide à graduation millimétrique dont l'origine (zéro) est confondu avec l'une des extrémités ; la longueur L de cette règle doit être d'environ 2 mètres ($L > \max h_{ij}$). Quand cet opérateur place l'extrémité origine de la règle sur l'un des points du fond définis au 2°), que la règle est éclairée et tenue verticalement, un autre opérateur peut viser et lire directement dans la lunette réglée horizontalement, la distance

(1) Cette valeur est donné à titre indicatif. L'incertitude du réglage d'horizontalité de la lunette doit être prise en compte dans le calcul d'incertitude.

verticale entre l'axe optique et le point du fond considéré. Cette mesure est faite sur tous les points définis au 2°).

La visée à l'oeil peut être remplacée par l'impact d'un fin faisceau laser sur la graduation de la règle, si le faisceau est confondu avec l'axe optique de la lunette.

- 4°) Une mesure similaire est effectuée au centre de la face supérieure de la plaque de touche de la verticale de pique de référence (h_{pv}), qui matérialise l'origine des hauteurs du barème de plein.

Les résultats sont consignés dans un tableau selon le modèle donné en annexe.

- 5°) Afin d'obtenir le profil topographique du fond selon un rayon "moyen", effectuer la moyenne des résultats obtenus pour les points situés à une même distance de la robe ou du centre (c'est à dire selon les colonnes du tableau).

- 6°) Calculer la hauteur (au sens géométrique du terme) H_i de chacun des $n - 1$ trapèzes obtenus à l'aide de ce profil topographique moyen.

NOTE : chaque hauteur de trapèze H_i est sensiblement égale à $d_i - d_{i-1}$. C'est la valeur exacte de la hauteur du trapèze qu'il convient de calculer, compte tenu de la pente du fond du bac.

- 7°) Dans un trapèze, la distance D du centre de gravité G à la **petite base** est donnée par :

$$D = \frac{H}{3} \frac{2a + b}{a + b}$$

où : H est la hauteur (au sens géométrique) du trapèze

a est la longueur de la grande base

b est la longueur de la petite base

Calculer D pour chacun des trapèzes obtenus à l'aide de ce profil topographique moyen.

NOTE : Pour l'application, les longueurs des bases a et b sont données par les moyennes des hauteurs du tableau, **a correspondant toujours à la plus grande des valeurs successives (hauteurs mesurées)**.

- 8°) Pour l'un quelconque de ces trapèzes, soit Δ_i la distance de G à l'axe du réservoir. Calculer Δ_i pour chacun des trapèzes obtenus à l'aide de ce profil topographique moyen.

NOTE : Δ_i est calculé compte tenu de la pente de fond.

9°) Théorème de GULDIN : ce théorème donne le “volume engendré en 1 tour par une surface quelconque tournant autour d’un axe situé dans son plan mais ne la traversant pas”, par la formule :
 $V(m^3) = 2 \pi \Delta S$

où : S est la valeur de la surface considérée (m^2).

Δ est la distance du centre de gravité de la surface à l’axe de rotation (m).

Calculer V pour chacun des trapèzes obtenus.

10°) Calculer le volume limité par les trois surfaces suivantes :

- le fond du réservoir,
- le plan optique horizontal défini par l’axe de la lunette,
- la surface interne de la première virole du réservoir (virole basse), dont les opérations de jaugeage ont permis par ailleurs de déterminer le rayon intérieur avec une incertitude convenable.

Calculer le volume limité par les trois surfaces suivantes :

- le plan optique horizontal défini par l’axe de la lunette,
- la surface interne de la première virole,
- le plan horizontal passant par le centre de la face supérieure de la plaque de touche de la verticale de pige de référence.

11°) Calculer, par différence, le volume limité par les trois surfaces suivantes :

- le fond du réservoir,
- le plan horizontal passant par le centre de la face supérieure de la plaque de touche de la verticale de pige de référence,
- la surface interne de la première virole.

NOTE : les calculs précédents sont programmables.

Ce dernier volume constitue une évaluation du volume du “fond” du réservoir pour un niveau liquide correspondant à celui de la face supérieure de la plaque de touche de la verticale de pige de référence.

NOTE : pour la compréhension on a choisi de procéder ainsi, mais on aurait pu déterminer les volumes engendrés par des trapèzes dont la longueur des bases est obtenue par différence entre les valeurs moyennes du tableau et h_p .

Dans la pratique, il est conseillé de procéder de façon à minimiser le calcul d’incertitude.

12°) Limites de la méthode :

Cette méthode permet d’évaluer rapidement (durée des opérations sur site comprise entre une et trois heures), sans eau, ni ensemble de mesure, ni jauge étalon, le volume du fond d’une large majorité des réservoirs cylindriques verticaux (fonds “cone-up” et “cone-down” notamment). Elle ne s’applique cependant pas :

- aux bacs dont le fond est inaccessible,
(Rappel : respecter *dans tous les cas* les conditions de sécurité !!!)
- aux bacs dont le fond est trop instable,
- aux bacs dont le fond a une forme trop irrégulière,
- aux bacs dont le fond a une forme ne présentant aucune symétrie de révolution autour d'un axe central vertical.

Pour les réservoirs dont le fond présente bien une telle tendance à la symétrie, le nombre de rayons et le nombre de points par rayon devraient être, au moins de :

- 8 rayons sur le fond,
- 11 points par rayon.

Ces nombres doivent être d'autant plus grands que le fond est irrégulier.

Il convient de noter que, *pas plus que l'empotement volumétrique*, cette méthode ne permet de prévoir les déformations du fond dues à la charge hydrostatique du produit contenu quand le bac est en exploitation. Il convient cependant d'avoir conscience que cette méthode est susceptible d'impliquer une incertitude sur le volume du fond plus grande que par empotement.

NOTE FONDAMENTALE : Compte tenu de l'état actuel des connaissances, il est impossible de prétendre maîtriser dans la majorité des cas l'enfoncement du fond sous la charge hydrostatique. Les volumes portés sur les barèmes sont donc des volumes théoriques et il n'y a pas lieu de retenir des composantes d'incertitudes liées à ce phénomène.

Dans la pratique, lorsque les barèmes sont utilisés par différence et au-delà du niveau entraînant la dernière déformation du fond, la déformation du fond est sans conséquence.

Il faut enfin rappeler que les valeurs des volumes des "fonds" de bacs sont comprises, selon la taille des réservoirs, entre quelques mètres cubes et quelques centaines de mètres cubes. Le volume de ces fonds n'entre pas en ligne de compte dans la mesure des volumes en exploitation quand les barèmes des réservoirs ne sont utilisés **que par différence**.

III - INCERTITUDES

La ou les procédures doivent être accompagnées d'un calcul d'incertitude du volume du fond prenant notamment en considération :

- la qualité des moyens et méthodes de mesurage,
- la dispersion des résultats sur chaque valeur des bases des trapèzes (écarts-types expérimentaux sur les moyennes),
- l'influence du nombre de rayons et points de mesurage, en fonction de l'irrégularité et de la déformabilité du fond.

NOTE : il s'agit ici de la déformabilité apparente du fond, occasionnée lors du positionnement des objets nécessaires au jaugeage et du déplacement des opérateurs et non de la déformabilité en charge (voir note en 12°).

Cette dernière composante doit en principe être estimée en fonction des données expérimentales propres au bac concerné et de données et observations expérimentales antérieures.

L'attention est attirée sur le fait que pour des surfaces de trapèzes approximativement égales, l'incertitude sur le volume engendré est fonction croissante du rayon de rotation. Une solution pratique consiste à espacer les points matérialisés sur le fond de façon que les volumes engendrés soient à peu près égaux.

Le sous-directeur de la métrologie

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J.F. Magana', with a horizontal line extending to the right.

JF. MAGANA

ANNEXE

EVALUATION DU VOLUME DU FOND D'UN BAC CYLINDRIQUE VERTICAL

DONNEES EXPERIMENTALES

Points Rayons	P_0 (Robe)	P_1	P_2	P_3	P_4	..	P_n (Centre)
R_0	h_{00}	h_{01}	h_{02}	h_{03}	h_{04}	...	h_{0n}
R_1	h_{10}	h_{11}	h_{12}	.	.	...	.
R_2	h_{20}	h_{21}	.	.	.	...	.
R_3	h_{30}	.	.	.	.	...	.
R_4	h_{40}	.	.	.	.	...	.
R_5	h_{50}	.	.	.	.	...	.
R_6	h_{60}	.	.	.	.	...	.
:	:	:	:	:	:
R_N	h_{N0}	h_{N1}	h_{N2}	.	.	...	h_{Nn}
Moyenne des hauteurs							
écart-type expérimental sur la moyenne							
Plaque de touche : h_{pt}							