




PROCÉDURE GÉNÉRALE

MEASUREMENT OF THERMAL LOSSES ON CRYOGENIC STORAGE TANKS *MESURE DES PERTES THERMIQUES SUR DES RESERVOIRS DE STOCKAGES CRYOGENIQUES*

0	19/11/02	D. LEBOUQC 	G. HULIN 	S. MARTIN p.d. 	First issue / 1 ^{ère} édition
Rév.	Date	Etabli par Made by	Vérifié par Checked by	Approuvé par Approved by	Objet de la révision Revision's purpose

1. GENERAL / GENERALITES

The thermal losses are measured in computing the vaporized quantity of gas inside a given period of time.

Les pertes thermiques sont mesurées en calculant la quantité de gaz vaporisé à l'intérieur pendant une durée déterminée.

2. CONDITIONS OF MEASUREMENT / CONDITIONS DE MESURE

The optimum conditions of measurement must be as follows.

Les conditions optimales de mesure doivent être les suivantes :

2.1 The inner vessel has to be at very low temperature

Le récipient intérieur doit être à très basse température

The initial cooling-down of the tank must have been performed at least one month prior to measurement of thermal losses, to be sure that all the inner vessel parts and insulants are at very low temperature.

La mise en froid initiale du réservoir doit avoir été exécutée au moins un mois avant la mesure des pertes thermiques, ceci pour être sûr que tous les éléments du récipient intérieur et les isolants sont à très basse température.

2.2 The temperature has to be stabilized / La température doit être stabilisée

The maximum thermal losses are reached when the inner vessel is full of liquid because at this stage, the difference of temperatures between the outside and the inner vessel inside is the largest. Therefore, it is advisable to measure only when the tank is full or rather full. Moreover, it is well-known that:

- The inlet of sub-cooled liquid (specially the liquid oxygen) minimizes the evaporations.
- The inlet of superheated liquid (direct filling from a mobile tank truck or wagon) increases the evaporations.
- The liquid withdrawal produces thermal convections disturbing the thermodynamic balances and so modifies the evaporation rate values which are not to take into account. The liquid or gas outlet also induces a gas expansion inside the gas phase.

Les pertes thermiques maximales sont atteintes si le récipient intérieur est plein de liquide, car c'est à ce stade que la différence de température entre l'extérieur et le récipient intérieur est la plus importante. C'est pourquoi il est recommandé de mesurer seulement lorsque le réservoir est plein ou presque. De plus, il est bien connu que :

- *L'entrée de liquide sous-refroidi (spécialement l'oxygène) minimise les évaporations*
- *L'entrée de liquide surchauffé (remplissage direct par ravitailleur camion ou wagon) augmente les évaporations*
- *Le soutirage de liquide entraîne des échanges thermiques par convection, perturbant les équilibres thermodynamiques et modifie aussi les valeurs des taux d'évaporation qui ne sont donc pas à prendre en compte. La sortie de liquide ou de gaz provoque également une détente du gaz à l'intérieur de la phase gazeuse.*

Those are unfavourable conditions. Due to the above mentioned reasons, the measurement will only be performed after a minimum of 4 (four) days of stabilization, i.e.: without liquid or gas inlet/outlet.

Ce sont là des conditions défavorables. Pour les raisons mentionnées ci-dessus, la mesure devra seulement avoir lieu après un minimum de 4 jours de stabilisation, c'est-à-dire : sans faire entrer ou sortir de liquide.

2.3 The pressure has to be stabilized / la pression doit être stabilisée

Any pressure variation of the gas phase affects all the volume of liquid. A slight pressure variation during the measurement may consequently falsify the results.

The pressure of the inner vessel inside is in direct relation with the atmospheric pressure: any connection with the outside of the tank, which can act as a conductance or resistance in regard with the existing system, may have some consequences on the internal pressure of the inner vessel. The connection of the measurement equipment must consequently happen at least one day before the beginning of the measure. Due to the fact that the atmospheric pressure is subject to diurnal variations, it is advisable to perform the measurements of evaporation at the same hours either in the morning or in the evening.

Une quelconque variation de pression de la phase gazeuse peut affecter tout le liquide. Une légère variation de pression pendant la mesure peut par conséquent fausser les résultats. La pression intérieure du récipient intérieur étant directement en relation avec la pression atmosphérique, tout branchement avec l'extérieur du réservoir, qui peut agir comme conducteur ou résistance thermique par rapport au système existant, peut avoir des conséquences sur la pression interne du récipient intérieur. Le branchement des appareils de mesure doit en conséquence avoir lieu au moins 1 jour avant le début de la mesure. Du fait que la pression atmosphérique est susceptible de varier le jour, il est recommandé d'effectuer les mesures d'évaporation à la même heure, soit le matin, soit le soir.

In so far as the pressure is stabilized, this latter has little weight on the thermal losses because the influence of the pressure on the liquid temperature is very small; hence, it is the same matter on the margin between the temperatures of the two sides of the insulant.

It is not necessary to check the losses at the nominal operating pressure and if that happens; owing to the regulation system and the safety devices fitted on the tank, the pressure cannot be stabilized for a long time. It will be better to do measurements under a pressure close to the atmospheric one. To work with such a low pressure presents some advantages: the internal temperature will be lower than the temperature corresponding to the operating pressure, the measured thermal losses will slightly be increased.

Dans la mesure où la pression est stabilisée, cette dernière a peu d'importance sur les pertes thermiques vu que l'influence de la pression sur la température du liquide est très faible. Donc, de la même manière elle joue très peu sur l'écart de température de part et d'autre de l'isolant. Il n'est pas nécessaire de contrôler les pertes à la pression de fonctionnement nominal et si, à cause du système de régulation et des appareils de sécurité raccordés sur le réservoir, la pression ne pouvait se stabiliser pendant assez longtemps, il serait préférable d'effectuer les mesures à une pression voisine de la pression atmosphérique. Travailler à une si basse température interne est plus basse que la température correspondant à la pression de fonctionnement, les pertes thermiques mesurées en seront légèrement augmentées.

3. EQUIPMENTS FOR MEASUREMENT / APPAREILS DE MESURE

To perform the measurement the equipments hereafter show on figure n°1 may be provided either by the constructor or by the customer. They are:

Pour effectuer la mesure, les appareils décrits ci-après sur la figure 1 peuvent être fournis soit par le constructeur, soit par le client, il s'agit de :

T1 and T2 = temperature gauges / *thermomètres*

P1 and P2 = water pressure gauges (relating to the atmospheric pressure)
Manomètres à eau (relativement à la pression atmosphérique)

R = reheater / *réchauffeur*

C = gas flow meter / *débitmètre gaz*

T = air temperature recorder / *enregistreur de température ambiante*

P = atmospheric pressure recorder / *enregistreur de pression atmosphérique*

The gas coming from the inner vessel evaporations must be reheated before running into the gas flow meter.

During the measurement, it will also be necessary to:

- Record the atmospheric pressure from the beginning of the stabilization.
- Record the actual temperature of the outer-casing wall. Several points will be checked on the sunny and the shady sides. These relevant temperatures are depending on the ambient air temperature, the sun exposition and wind forces.

Le gaz provenant des évaporations du récipient intérieur doit être réchauffé avant son écoulement dans le débitmètre.

Pendant la mesure, il sera également nécessaire de :

- *Enregistrer la pression atmosphérique à partir du début de la stabilisation.*
- *Enregistrer la température effective de la paroi de la double-enveloppe. Quelques points doivent être contrôlés sur les parties exposées au soleil et non exposées. Les températures relevées à ces endroits dépendent de la température de l'air ambiant, de l'exposition au soleil et de la force du vent.*

3.1 Size of the gas flow-meter / taille du débitmètre gaz

A 1000 m³ tank with an evaporation rate of 1‰ (per thousand) per day will have a vaporization of 1000 litres of liquid per day or 41,7 litres/hour.

That gives the following results:

$$41,7 \times 1,14 / 1,43 = 33,2 \text{ Nm}^3/\text{h gaseous oxygen}$$

$$41,7 \times 0,81 / 1,25 = 27,0 \text{ Nm}^3/\text{h gaseous nitrogen}$$

$$41,7 \times 1,40 / 1,784 = 32,7 \text{ Nm}^3/\text{h gaseous argon}$$

For oxygen the flow-meter may be a Delta 200/80 or equivalent lubricated with oxygen compatible oil (Votalef or equivalent).

Un réservoir de 1000 m³ avec un taux d'évaporation de 1‰ par jour aura une quantité d'évaporation de 1000 litres de liquide par jour ou 41,7 litres par heure.

Ce qui donne les résultats suivants :

- pour l'oxygène : $41,7 \times 1,14 / 1,43 = 33,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de gaz

- pour l'azote : $41,7 \times 0,81 / 1,25 = 27,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de gaz

- pour l'argon : $41,7 \times 1,40 / 1,784 = 32,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de gaz

Pour l'oxygène le débitmètre peut être un Delta 200/80 ou équivalent lubrifié avec de l'huile compatible avec l'oxygène (Votalef ou équivalent).

3.2 Size of reheater / taille du réchauffeur

The temperature of the evaporations coming from inner vessel has an high effect upon the reheater.

On the assumption that the gas temperature at the outlet is the boiling temperature (this is the worst case); in order to warm it at 20°C, the following heat transfer must be supplied:

$41,7 \times 1,14 \times 44 : 2100 \text{ Kcal/h}$ for oxygen

$41,7 \times 0,81 \times 54 : 1830 \text{ Kcal/h}$ for nitrogen

$41,7 \times 1,40 \times 26 : 1510 \text{ Kcal/h}$ for argon

An atmospheric reheater or a water submerged coil may be used.

La température des évaporations provenant du récipient intérieur influe de manière importante sur le réchauffeur.

En supposant que la température du gaz à la sortie est à sa température d'ébullition (ce qui constitue le cas le plus défavorable); afin de l'amener à 20°C, le flux thermique suivant doit être fourni :

$41,7 \times 1,14 \times 44 : 2100 \text{ Kcal/h}$ pour l'oxygène

$41,7 \times 0,81 \times 54 : 1830 \text{ Kcal/h}$ pour l'azote

$41,7 \times 1,40 \times 26 : 1510 \text{ Kcal/h}$ pour l'argon

Un réchauffeur atmosphérique ou une résistance immergée dans de l'eau peut être utilisé.

4. CALCULATIONS / CALCULSUseful volume = Vm^3

Measurement of the vaporized volume

 $d = m^3/h$ of gas at T_2 ($^{\circ}C$), P_2 (mmHg)

Vaporized volume brought to 0/760 is:

$$d' = Nm^3/h = \frac{d \times 273}{273 + T_2} \times \frac{P_2}{760}$$

Tables indicate the specific weight of the gas: m (in Kg/m^3)and of the liquid: l (in Kg/m^3) $d'm$ is the flow in Kg/h The corresponding liquid will be $\frac{d'm}{l}$ (m^3/h)The losses per day will be: $\frac{24 d'm}{VI}$

For oxygen	$m = 1,4289$	$l = 1,140$	$\frac{m}{l} = 1,253$
------------	--------------	-------------	-----------------------

For nitrogen	$m = 1,2505$	$l = 0,808$	$\frac{m}{l} = 1,550$
--------------	--------------	-------------	-----------------------

For argon	$m = 1,17840$	$l = 1,402$	$\frac{m}{l} = 1,271$
-----------	---------------	-------------	-----------------------

Volume utile = Vm^3

Mesure du volume vaporisé

 $d = m^3/h$ de gaz à T_2 ($^{\circ}C$), P_2 (mmHg)Le volume vaporisé rapporté à $0^{\circ}C$ et 760 mm Hg est :

$$d' = Nm^3/h = \frac{d \times 273}{273 + T_2} \times \frac{P_2}{760}$$

Les tables indiquent le poids spécifique du gaz : m (in Kg/m^3)et du liquide : l (in Kg/m^3) $d'm$ est le débit en Kg/h Le débit liquide correspondant sera $\frac{d'm}{l}$ (m^3/h)Les pertes par jour seront : $\frac{24 d'm}{VI}$

Pour l'oxygène	$m = 1,4289$	$l = 1,140$	$\frac{m}{l} = 1,253$
----------------	--------------	-------------	-----------------------

Pour l'azote	$m = 1,2505$	$l = 0,808$	$\frac{m}{l} = 1,550$
--------------	--------------	-------------	-----------------------

Pour l'argon	$m = 1,17840$	$l = 1,402$	$\frac{m}{l} = 1,271$
--------------	---------------	-------------	-----------------------

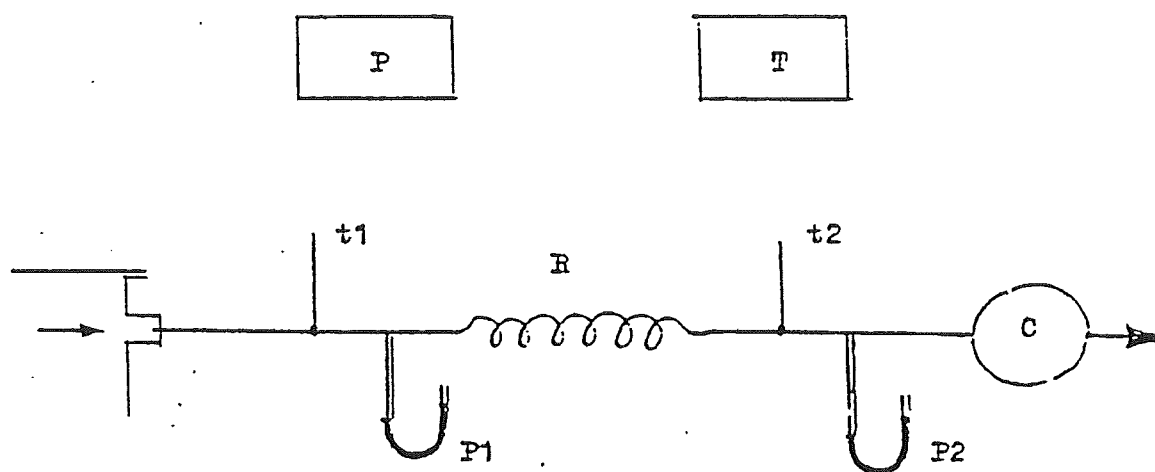


FIGURE 1