

MESURAGE DU GAZ D'UN RESEAU COMPLEXE DE GAZODUC FACTURATION THERMIQUE PAR SIMULATEUR DYNAMIQUE

M.C. A TOUABTI

*Laboratoire de génie des procédés chimiques
Université Ferhat Abbas, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Sétif -Algérie*

Phone (213) 073.10.98.06 Fax (213) 36 72 17 87 , E-Mail : touabtif@yahoo.fr

Résumé –La simulation de canalisation actuelle est habituellement perçue simplement comme un outil de technologie pour résoudre des tâches techniques. La nouvelle idée présentée dans cet article est de prolonger la portée de la simulation de canalisation pour inclure des applications commerciales. Le papier rend compte sur la façon dont cette nouvelle application est employée en utilisant un simulateur dynamique pour le comptage. Dans un objectif de facturation calorique le réseau doit de ce fait disposer d'installations de comptage, en nombre équivalent au nombre de clients, dont la réalisation nécessiterait de lourds investissements. Nous montrons dans cette communication la possibilité de réduction significative des investissements en utilisant un simulateur dynamique de type « SIMONE de LIWACOM » [5] pour le mesurage et la facturation calorique des quantités de gaz livrées aux clients. La démarche est validée sur la base de données réelles d'exploitation d'un réseau prototype.

Mots-clefs : Modélisation et Simulation - Mesurage-Etalonnage -Gazodynamique - Métrologie.

INTRODUCTION

Le gaz naturel est commercialisé comme une énergie, il peut se mesurer en pouvoir calorifique ou en volume par le système métrique ou impérial. Le pouvoir calorifique est généralement exprimé en giga joules dans le système métrique de mesure de l'énergie. Dans le système impérial, on emploie le Million de BTU. Pour définir la quantité d'énergie livrée ; il faut mesurer le pouvoir calorifique du gaz et la quantité de gaz livrée. La quantité d'énergie livrée est déterminée par le produit :

- de la masse du pouvoir calorifique supérieur, du gaz (mesure discontinue dont la fréquence dépend de l'importance du transit et des possibilités de changement d'origine du gaz)
- de la masse de volume (V) de gaz livré, déterminé dans les mêmes conditions soit :

$$Q = pcs(n).V(n) \quad (1)$$

Le mesurage des quantités de gaz - couramment appelé comptage du gaz - est une activité très importante de l'industrie du gaz [4]. Un réseau complexe de gazoduc peut alimenter sur son parcours plusieurs centaines (voir plusieurs milliers) de clients d'importance variable Il est la base de l'application des contrats d'achat, de vente et de transit. Il donne des informations indispensables pour une conception et une exploitation rationnelle des réseaux de transport ou de distribution. Il permet l'établissement du bilan technique matière d'un réseau de gaz. Il permet dans les usines consommatrices l'établissement de bilans et le suivi des rendements. L'opération de comptage peut avoir deux objectifs :

- Un objectif transactionnel (contractuel, fiscal) pour la comptabilisation et la facturation des quantités d'hydrocarbures livrées aux clients ou en transit. On est tenu dans ce cas à utiliser des systèmes agréés par les services officiels de métrologie, qui respectent les transactions (vendeur et client) peuvent avoir intérêt à l'emploi de système plus précis, d'autant plus précis que les débits à mesurer sont grands : livraisons à des consommateurs importants, transits aux frontières, les *voludéprimomètres* à diaphragme utilisés dans ce cas sont équipés des

appareils secondaires les plus modernes et leurs erreur peut être située à 0.2%.

- Un objectif d'exploitation (technique), car la connaissance de la valeur du débit est un paramètre essentiel dans la conduite et la gestion opérationnelle de toute installation technique d'une chaîne d'hydrocarbure, en particulier les réseaux de pipelines. Une erreur de 5% à 10% est dans ce cas acceptable.

Puisque la composition du gaz naturel change et que ces changements sont fréquents il faut mettre en application une procédure de facturation Calorique du gaz. Cependant, l'infrastructure nécessaire n'est pas disponible dans la plus part des cas. Cette situation a donnée l'idée innovatrice d'employer la simulation de canalisation pour calculer la composition en gaz pour la facturation de client, afin de réduire l'investissement et les frais d'exploitation dans l'équipement de mesure d'analyse de gaz qui serait autrement inévitables.

2. CONFIGURATION DU SYSTEME

Le système a simuler comprend un réseau de gazoduc de 750 Km avec 400 nœuds.

Gazoduc de différents diamètres(800, 900, ...) mm .

(02) points source

(02) stations de compression (dont une en projet)

(01) régulateurs détenteur

(01) Réservoir souterrain La capacité est de $1,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ de gaz en place en été

Les séries de mesures de débit et pressions ont été réalisées selon une campagne programmée par l'intermédiaire du système SCADA.

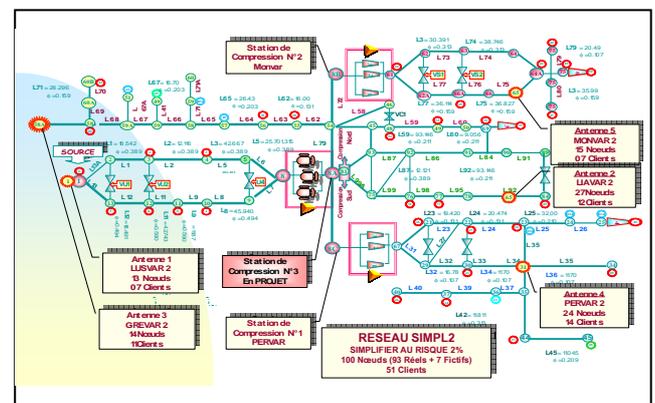


Fig.1 Modèle du réseau simulé SIMPL 1

3. DISPOSITIFS CLASSIQUES DE MESURAGE

Un système débit métrique comprend :

Un système perturbateur,

- Des transducteurs ou capteurs permettant de mesurer à la fois les grandeurs d'état et les grandeurs générées par le perturbateur,
- un système de calcul de l'équation de débit,
- un système intégrateur donnant les quantités de gaz (masse ou volume) ayant transité dans la conduite pendant un intervalle de temps donné.

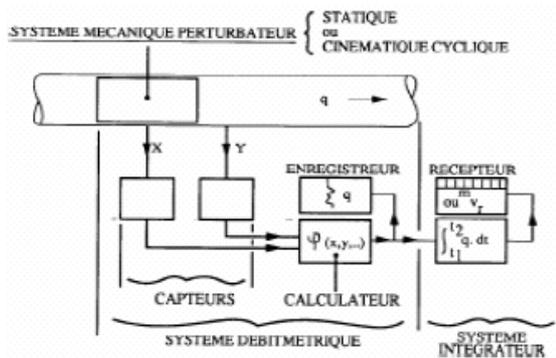


Fig. 2 Système débit métrique

3.1 Compteur à diaphragme

Il s'agit d'un disque percé en son centre, réalisé dans le matériau compatible avec le fluide utilisé. Le diaphragme concentrique comprime l'écoulement du fluide, ce qui engendre une pression différentielle de part et d'autre de celui-ci. C'est le dispositif le plus simple, le moins encombrant et le moins coûteux.

3.2 Compteur à turbine

Dans ce type de compteur une hélice libre, centrée sur l'axe de la conduite est placée dans le flux gazeux. Aux influences parasites des frottements près, le fluide induit une rotation de l'hélice dont la vitesse varie quasi linéairement avec le débit.

Ces deux types de compteurs sont les plus utilisés, Il existe d'autres types tels que les compteurs ultrasons, vortex, etc.

4. COMPTAGE DE L'ENERGIE

Le comptage de l'énergie gazeuse consiste à mesurer toutes les grandeurs physiques qui vont influencer sur la quantité d'énergie contenue dans le volume de gaz vendu à l'utilisateur. Le producteur du gaz spécifie la quantité d'énergie contenue dans un volume normalisé

de gaz par le Pouvoir Calorifique Supérieur qui est mesuré kWh/m³(n) ou Thermie/m³.

Le compteur totalise des volumes dilatés ou comprimés par les variations de pression et de température sur la section de comptage. Il faut donc effectuer une correction en température et en pression pour rapporter le volume mesuré à un volume normalisé transactionnel (volume rapporté à 101 325 Pa et 273,15 K).

En l'absence de consensus international, dans l'industrie du gaz, sur les valeurs de référence des grandeurs d'état $P_{réf}$ et $T_{réf}$ on note :

- Les conditions dites normales :

$$T_{réf} = T_n = 273,15 \text{ °K (0°C)}$$

$$P_{réf} = P_n = 1,01325 \text{ bar}$$

- Les conditions dites standards préconisées par l'Union Internationale de l'Industrie Gaz (UIIG) et normalisées par l'organisation Internationale de Normalisation (OIN)

$$T_{réf} = T_{st} = 288,15 \text{ °K (+15°C)}$$

$$P_{réf} = P_{st} = 1,01325 \text{ bar}$$

Le volume normalisé doit être aussi multiplié par le PCS du gaz pour déterminer la quantité d'énergie primaire vendue. On aboutit à cette équation de comptage :

$$\text{Volume (m}^3\text{)} \times \text{Correction (T}^*, \text{P, Z) (sans unité)} \times \text{PCS (kWh/m}^3\text{)} = \text{Energie (kWh)}$$

Un compteur d'énergie gazeuse implique donc une mesure de volume, une mesure de température et pression, la détermination du facteur de compressibilité Z et la mesure du PCS.

L'application du principe de facturation calorifique du gaz à P.C.S variable [3] exige que, après mélange de gaz d'origines différentes, le P.C.S. du gaz émis soit mesuré à nouveau. Il en résulte que les sites placés aux nœuds du réseau sont équipés au minimum de chromatographes. Le chromatographe est associé à un intégrateur -calculateur permettant, d'obtenir par le calcul le P.C.S. d'échantillons instantanés de gaz en fonction de leur teneur en constituants principaux.

5. USAGE d'UN SIMULATEUR COMME DISPOSITIF DE COMPTAGE

5.1 Principe général de la méthodologie.

Le principe d'un dispositif de comptage par voludeprimogéne est de crée une ΔP en vue de mesurer le débit dans un système où la relation entre ΔP et Q serait parfaitement connue.

$$q_m = 0.04cE\varepsilon_1 d^2 \sqrt{\Delta P \rho} \quad (2) \quad q_m = f(\Delta P) \quad (3)$$

Si on n'utilise pas de restriction, ΔP serait trop faible pour être mesurée.

On peut augmenter ΔP sans crée de restrictions cela est obtenu en augmentant significativement la longueur (on se retrouve alors dans la configuration d'une conduite)

Connaissant les pressions P₁ et P₂ il serait donc possible de déterminer le débit Q qui passe dans la conduite, puisque la relation des pertes de charge liant P₁, P₂ et Q est connue.

$$q_m = 0.04cE\varepsilon_1 d^2 \sqrt{\Delta P \rho} \quad (2) \quad q_m = f(\Delta P) \quad (3)$$

Si on n'utilise pas de restriction, ΔP serait trop faible pour être mesurée.

On peut augmenter ΔP sans crée de restrictions cela est obtenu en augmentant significativement la longueur (on se retrouve alors dans la configuration d'une conduite)

Connaissant les pressions P₁ et P₂ il serait donc possible de déterminer le débit Q qui passe dans la conduite, puisque la relation des pertes de charge liant P₁, P₂ et Q est connue.

$$P_1^2 - P_2^2 = k \lambda \Delta Z_m T_m \frac{L}{D^5} Q^2 \Rightarrow P_1^2 - P_2^2 = \alpha Q^2 \quad (4)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \sqrt{P_1^2 - P_2^2} \quad (5)$$

Cette dernière relation ne permet qu'une estimation approchée de la valeur du débit ; La précision d'une telle approche serait médiocre.

Cette relation ne peut pas être utilisé sous cette forme pour le comptage car :

- hypothèse d'un écoulement stationnaire ;
- état de surface et paramètres environnementaux ne sont pas pris en compte ;
- profile non linéaire (pertes de charge locales).

Afin d'utiliser une telle approche dans un objectif de comptage, il faut éliminer les incertitudes liées aux 3 paramètres précédents ; donc il faudra qu'on utilise :

- des modèles non stationnaires (dynamiques)
- des techniques de reconstitution d'état pour tenir compte des 2 derniers paramètres.

L'écoulement dynamique est décrit par un système d'équation différentielle aux dérivées partielles ; dans le cas où on a un réseau simple, on peut résoudre le système d'équation algébrique, mais pour un réseau complexe dont le nombre de nœuds et de variables est important on aura un problème de grande complexité numérique. Ce problème est résolu par l'utilisant d'un simulateur dynamique (dans notre étude c'est le SIMONE). On introduit comme valeurs d'entrée les pressions aux nœuds mesurées périodiquement (par intervalle de temps discrétisé). Dans la simulation classique les données d'entrée sont les profils de débits, on aura comme résultats les pressions aux nœuds. Dans le cas du comptage par simulateur (problème inverse Fig. 3), les données d'entrée sont les pressions et on obtient comme résultats les débits en chaque nœud.



Fig. 3 Problème inverse

**6. MODELE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS
DANS UN RESEAU**

Le processus de la simulation dynamique dans le transport et distribution du gaz est basé sur les équations différentielles non linéaires, l'équation de la continuité (conservation de la masse) et l'équation de mouvement qui exprime l'équilibre dynamique des forces massiques. Pour un processus plus sophistiqué et une description détaillée on tient compte aussi du transfert de chaleur entre le gaz et le milieu extérieur.

Equation de continuité

$$\frac{\partial m}{\partial x} + S \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{6}$$

Tel que :

m : débit massique -[kg/s]

S : section transversale de la conduite en [m²]

t : temps

x : longueur cordonnet [m]

Equation de mouvement

$$\frac{1}{S} \frac{\partial m}{\partial t} - 2W \frac{\partial \rho}{\partial x} - W^2 \frac{\partial \rho}{\partial x} + g\rho \frac{dh}{dx} + f_R = 0 \tag{7}$$

P : [Pa]

f_R : Pertes dû aux frottements par unité de longueur

h : Altitude géodésique [m]

W : vitesse [m/s]

La résistance hydraulique dans une canalisation avec une section circulaire transversale est décrite par l'équation de Darcy-Weisbach

$$f_R = \frac{\lambda |w| w}{2D} \rho \tag{8}$$

λ : Facteur de frottement

w : vitesse [m/s]

ρ : Densité du gaz

D : diamètre intérieur de la conduite

Pour une description complète, on tient compte aussi du transfert de chaleur entre le gaz et le milieu ambiant, par l'intermédiaire de l'équation de l'énergie : (9)

$$d\Omega = \frac{\partial}{\partial t}(\rho A dx) \left(U + \frac{v^2}{2} + gz \right) - \frac{\partial}{\partial t}(\rho A v) \left(U + PV + \frac{v^2}{2} + gz \right) dx$$

7. COMPTAGE CALORIQUE PAR SIMULATION DYNAMIQUE.

Validation sur un réseau Prototype

Pour valider les possibilités d'utiliser le simulateur comme dispositif de comptage, nous avons choisis le réseau représenté dans la figure 4. Le réseau comporte :

- 1 nœud d'alimentation,
- 8 nœuds de livraison,
- 71 tronçons,
- 1 station de compression,
- 16 vannes et 3 régulateurs.

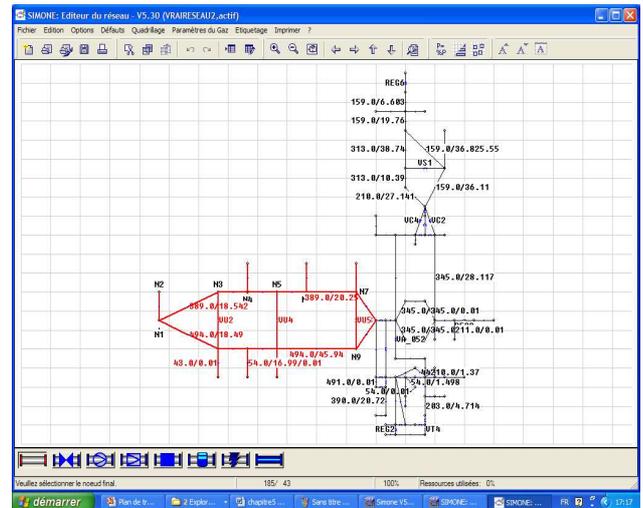


Fig.4 Réseau simulé par SIMONE

Les résultats obtenus, à titre d'exemple, pour le nœud de livraison N10A et la longueur du tronçon L8 sont fournis dans les figures 5 et 6. Après traitement statistique des résultats il ressort que :

- L'erreur sur les fluctuations de débit dans le tronçon est très faible comme l'atteste le graphe de la figure 5 ;
- Par contre, l'erreur sur les fluctuations du débit au nœud de livraison est relativement importante (12%) ;
- Cependant, l'erreur sur la somme des quantités livrées en 24 heures, paramètre essentiel à la base de la facturation, est inférieure à 3%.

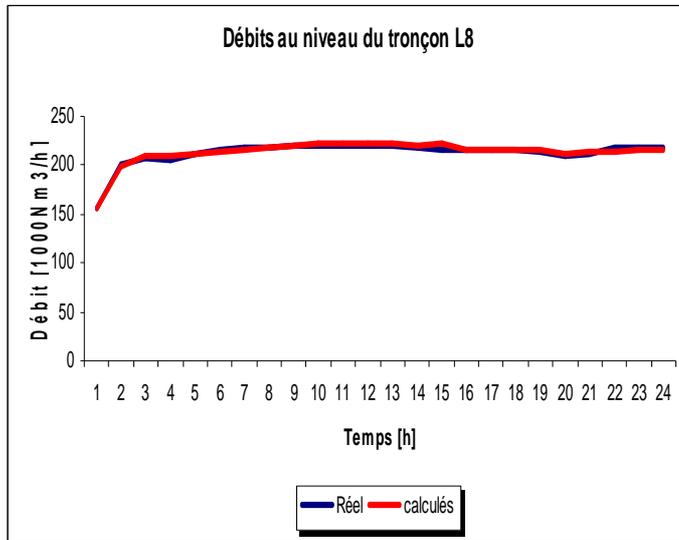


Fig.5 Fluctuation du Débit dans le tronçon L8

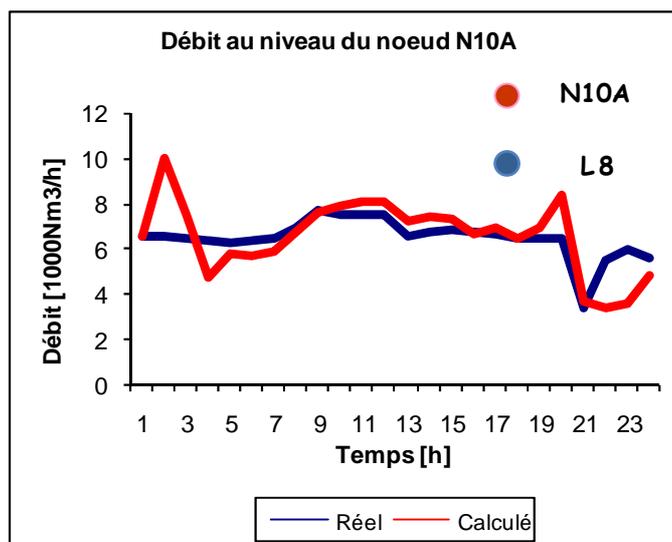


Fig.6 Fluctuation du Débit dans le Nœud N10A

7- CONCLUSION

Dans un objectif de facturation calorifique, le réseau doit pratiquement disposer d'installations de comptage complètes, en nombre équivalent au nombre de clients, dont la réalisation nécessiterait de lourds investissements. L'usage d'un simulateur dynamique comme outil de comptage permet de réduire considérablement le nombre d'installations de comptage à réaliser, l'estimation des quantités livrées aux clients peu importants s'effectuant par simulation. Les tests effectués sur un réseau prototype réel ont montré des résultats très encourageants (erreur inférieure à **3%** pour le débit de livraison cumulé). La qualité des résultats peut être encore affinée par l'amélioration de l'observabilité du système. Ce dernier point, objet de recherches futures, pourrait être concrétisé par la multiplication des points de mesure de pression et la réduction des intervalles de simulation.

REFERENCES

- [1] Springer Verlag Berlin, heidelberg , New York -Pages 549 à 575 .
- [2] Endress-Hauser Flow Handbook 1989 edition
By H. Hafelfinger , K.Steiner , G.Kempf
Flowtec AG Kagenstrasse 7 CH- 4153 Reinach BL1
- [3] Grandeurs physiques dépendant de la composition du gaz -par le centre de coopération technique de Gaz de France 1992
- [4] Mesure du Gaz M.JOLIVET Septembre 1989 GSO –Sud Ouest
- [5] SIMONE Research Group s.r.o LIWACOM www.simone