



**HAL**  
open science

# Fuites massives sur les canalisations de transport de CO<sub>2</sub> en phase dense

Christophe Proust

► **To cite this version:**

Christophe Proust. Fuites massives sur les canalisations de transport de CO<sub>2</sub> en phase dense. Rapport Scientifique INERIS, 2017, 2016-2017, pp.26-27. ineris-01869658

**HAL Id: ineris-01869658**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869658>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# FUITES MASSIVES SUR LES CANALISATIONS DE TRANSPORT DE CO<sub>2</sub> EN PHASE DENSE

Contributeur  
Christophe  
PROUST

**B**ien que le rôle des émissions de CO<sub>2</sub> dans le réchauffement de la planète fasse une très large unanimité, l'industrie mondiale dépend encore à 70% des hydrocarbures. Au-delà des transitions technologiques qui s'amorcent pour réduire cette proportion (nouvelles sources d'énergie, bio-économie etc.) mais qui vont prendre du temps pour se répandre, il semble indispensable de recourir au captage et au stockage du CO<sub>2</sub> par des procédés adaptés pour obtenir un effet significatif et rapide sur la réduction des émissions.

Dans ce contexte, l'Ineris a participé à plusieurs projets de R&D internationaux (CO<sub>2</sub> PIPEHAZ [1], CO<sub>2</sub>-Quest [2]...) centrés sur la question de la sécurité des infrastructures nécessaires dont, en particulier, le transport par canalisations depuis le captage jusqu'aux sites de stockage. Leur principal objectif était de développer des moyens de simulation des fuites massives suffisamment précis pour analyser la physique et notamment les changements d'état du CO<sub>2</sub> et prédire les dimensions des « zones d'effet » dans des conditions de fuite réalistes c'est-à-dire la taille des nuages toxiques autour du point de fuite. Le rôle de l'Ineris a consisté à étudier l'état du fluide pendant la dépressurisation d'une canalisation et à développer des moyens d'essais permettant de caractériser le nuage formé. Cette seconde mission a permis le développement d'une installation de grande taille par l'un des partenaires des projets.

## LA DÉPRESSURISATION D'UNE CANALISATION

Le CO<sub>2</sub>, plus ou moins pur, a vocation à être transporté sous une pression de l'ordre de 10 MPa de façon à ce qu'il se trouve systématiquement en phase dense, liquide si la température est plus faible que 35 °C, supercritique au-delà. Un débat porte sur les modèles à retenir pour décrire l'état du fluide et définir, en particulier, si l'hypothèse d'un écoulement homogène et à l'équilibre thermodynamique local peut être faite

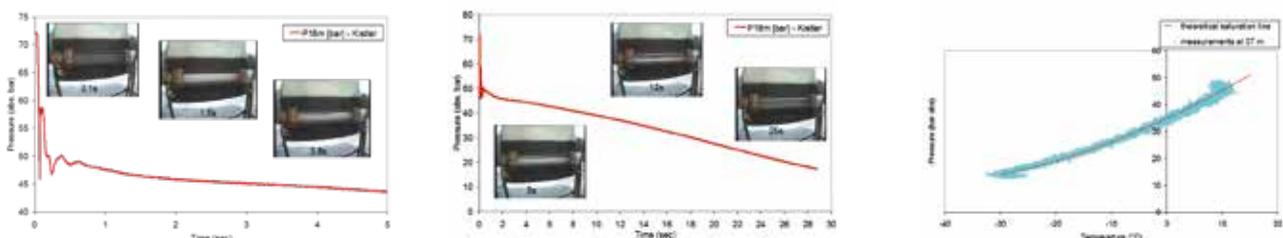
(modèles « HEM » pour *Homogeneous Equilibrium Model*). Pour examiner ce point, l'Ineris [3] a mis au point une installation de taille modeste par rapport à la réalité mais suffisamment grande néanmoins pour reproduire les principaux phénomènes physiques. Il s'agit d'un tube horizontal long de 40 m, de diamètre interne 40 mm, posé sur pesons de manière à mesurer le débit réel. Un tronçon transparent permet de visualiser le fluide. Les capteurs de pression, de température et de flux thermique sont disposés tout le long. La température du tube peut être réglée soit en le refroidissant par remplissage/purges successives (le CO<sub>2</sub> est un réfrigérant) soit en le chauffant par l'extérieur par traçage électrique.

Un exemple de résultat est présenté sur la **figure 1** où l'on constate systématiquement l'apparition de deux phases bien distinctes, très peu de temps après le début de la décharge. L'écoulement n'est pas homogène. En revanche, les conditions d'équilibre thermodynamiques sont assez bien respectées (les mesures pression-température réalisées le long du tube sont situées sur la courbe de saturation représentative de l'équilibre thermodynamique du CO<sub>2</sub>). Il a par ailleurs été constaté que la nature de la dispersion dans l'atmosphère est nettement affectée par cette situation (section suivante). Ainsi les modèles HEM classiques doivent être employés avec de grandes précautions.

## INSTRUMENTATION DES NUAGES

Être capable de déterminer les caractéristiques comme les champs de densité et de concentration dans le nuage est un défi. Constatant que, pour des fuites massives, le mélange CO<sub>2</sub>-air est quasi-adiabatique, l'Ineris a proposé une instrumentation par thermocouples qui présente pour avantages d'être robuste, de temps de réponses faible (par rapport à des mesures directes de concentration) et d'offrir

Figure 1 / État du fluide dans la canalisation pendant la dépressurisation.



la possibilité de déduire en même temps la densité du mélange et la concentration locale de CO<sub>2</sub>. Un travail significatif de validation a été conduit [4] qui a permis par ailleurs de tester des mesures de concentration. Pour cela, des fuites établies ont été produites en utilisant une sphère de 2 m<sup>3</sup> alimentant la canalisation. L'installation est utilisée de manière à ce que la fuite soit uniquement en phase liquide.

Il est rapidement apparu que la question de la quantité de mouvement du fluide immédiatement en aval du point de fuite et de la proportion de neige carbonique devait être traitée pour imaginer un modèle de dispersion fiable et extrapolable. À cet effet, l'Ineris a conçu et testé un dispositif associant mesures de température et pression dynamique dans le champ proche (quelques dizaines de centimètres de l'orifice). En croisant ces mesures, il est possible d'obtenir la vitesse, la densité moyenne et le débit instantané de la fuite. Ce dispositif a ainsi permis de constater que les caractéristiques de l'écoulement changent drastiquement lorsque le niveau de liquide dans la canalisation atteint l'altitude de l'orifice.

### TRANSFERT VERS L'ÉCHELLE RÉELLE

Ces techniques ont été employées [5; 6] pour constituer une installation à une échelle plus grande. Il s'agit d'un tube long de 260 m, d'un diamètre interne de 233 mm capable de résister à 20 MPa de pression. Il peut contenir jusqu'à 7 tonnes de CO<sub>2</sub>. L'installation a été construite et installée chez un partenaire des projets, en Chine, non loin de Dalian.

Un exemple de résultat est montré sur la **figure 2** représentant l'aspect du nuage suite à une ouverture de 50 mm. Si on retient que 5% (en volume relatif v/v) est une concentration de CO<sub>2</sub> seuil pour les effets toxiques sur l'homme, on s'aperçoit que cette concentration est atteinte à une trentaine de mètres du point de fuite. Pour une fuite en pleine section, cette distance dépasse 100 m. Le mélange est froid, dense et a tendance à stagner près du sol.

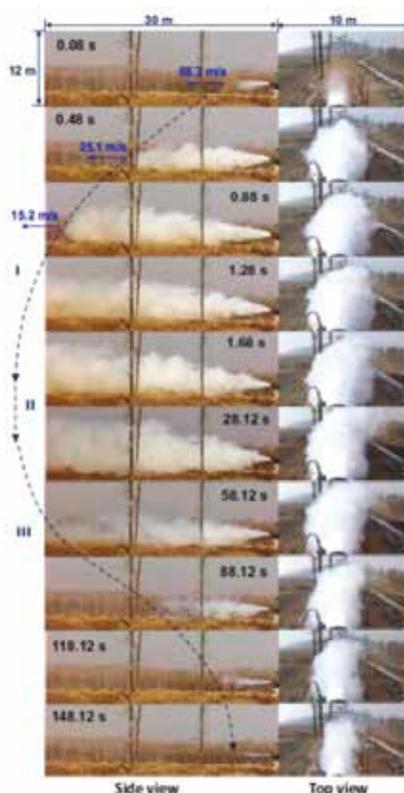
### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ces travaux ont été complétés par des développements numériques et par la mise au point d'outils d'ingénieur permettant de prévoir les distances d'effet potentielles. Globalement, il est possible de prédire raisonnablement ces distances à condition toutefois d'être capable de prendre en compte la présence des impuretés dans le CO<sub>2</sub> qui, en pratique, n'est pas pur. Les conséquences d'une fuite massive peuvent être importantes et il importe de réduire au minimum le risque de fuite, ce qui suppose des règles strictes de conception, de maintenance et d'exploitation du réseau. C'est dans cette direction que s'orientent désormais les travaux.

## ABSTRACT /

Within the course of the UE projects CO<sub>2</sub>-PIPEHAZ and CO<sub>2</sub>-Quest, new experimental techniques were developed at Ineris to highlight the physical mechanisms involved during an accidental blowdown of a CO<sub>2</sub> transport pipeline. Both the depressurization of the pie and the formation of the cloud outside were investigated. Completely original datasets were produced enabling the development of modelling strategies. Besides, this work and these techniques were employed to scale up our equipment to nearly the industrial dimensions.

**Figure 2 /** Panache de CO<sub>2</sub> lors d'une fuite sous 7 MPa par un orifice de 50 mm.



### Références

- [1] CO<sub>2</sub>PipeHaz, 2009. Quantitative Failure Consequence Hazard Assessment for Next Generation CO<sub>2</sub> Pipelines: The Missing Link. <http://www.co2pipehaz.eu/>
- [2] CO<sub>2</sub>Quest, 2013, Impact of the quality of CO<sub>2</sub> on storage and transport, <http://www.co2quest.eu>
- [3] Hebrard, J.; Jamois, D.; Proust, C.; Farret, R. (2015), Inside and outside flow from pipes containing a dense CO<sub>2</sub> mixture incorporating impurities Pipe leakage of CO<sub>2</sub> mixtures with impurities: a dedicated experimental set-up and preliminary first results, Communication at the workshop, "Leading the Way to CCS Implementation II'26th - 27th March 2015, Athens Ledra Hotel, Athens, Greece
- [4] Jamois, D.; Proust, C.; Hebrard, J.; Gentilhomme, O. (2015) La sécurité du captage et du stockage du CO<sub>2</sub> : un défi pour les industries de l'énergie, *Récents Progrès en génie des procédés*, Numéro 104 - 2013, ISSN: 1775-335X; ISBN: 978-2-910239-78-7, Ed. SFGP, Paris, France
- [5] Guo, X.; Yan, X.; Yu, J.; Zhang, Y.; Chen, S.; Mahgerefteh, H.; Martynov, S.; Collard, A.; Proust, C. (2016), Pressure response and phase transition in supercritical CO<sub>2</sub> releases from a large-scale pipeline, *Applied Energy*, 178, 189-192
- [6] Guo, X.; Yan, X.; Yu, J.; Zhang, Y.; Chen, S.; Mahgerefteh, H.; Martynov, S.; Collard, A.; Proust, C. (2016), Under expanded jets and dispersion in supercritical CO<sub>2</sub> releases from a large-scale pipeline, *Applied Energy*, 183, 1279-1291