

Comprendre la physique des fuites massives de CO₂

Christophe Proust

► **To cite this version:**

Christophe Proust. Comprendre la physique des fuites massives de CO₂. Rapport Scientifique INERIS, 2014, 2013-2014, pp.14-15. ineris-01869491

HAL Id: ineris-01869491

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01869491>

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.

Références

- [1] www.co2pipehaz.eu
- [2] Woolley R.M., Fairweather M., Wareing C.J., Falle S.A.E.G, Proust C., Hebrard J., *Experimental measurement and Reynolds-averaged Navier-Stokes modelling of the near-field structure of multi-phase CO₂ jet releases*, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2013, 18 : p. 139-149
- [3] Brown S., Martynov S., Mahgerefteh H., Proust C., *A homogeneous relaxation flow model for the full bore rupture of dense phase CO₂ pipelines*, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2013, 17 : p. 349-356

L'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère est notamment induite par les systèmes de production d'énergie à énergies fossiles. Une solution à moyen terme consiste à capter à la source le CO₂ et à le transporter en phase dense jusqu'à des zones de stockage géologique. La mise en œuvre soulève cependant des interrogations liées à la sécurité. Que se passerait-il dans l'hypothèse d'une fuite massive accidentelle ? Le dioxyde de carbone et les impuretés qui l'accompagnent sont en effet toxiques.

Le risque de fuite massive est critique autour des canalisations de transport, élément vulnérable de la chaîne, qui traversent le domaine public. Le scénario majeur est celui de la rupture franche qui pourrait induire l'épannage de centaines de tonnes de CO₂. Des caractéristiques de la fuite (débit, quantité de mouvements, densité...) dépendent totalement des dimensions et la « durée de vie » du nuage. Or la prédiction de ces aspects reste très difficile tant au plan de l'évolution du champ de pression à l'intérieur de la canalisation, ce qui régit le débit de fuite, que de l'expansion du jet au voisinage du point de fuite, qui définit le régime de dilution ultérieur par l'atmosphère. L'objectif du projet européen CO₂PIPEHAZ [1] est d'apporter des réponses à ces questions. L'INERIS a contribué expérimentalement et

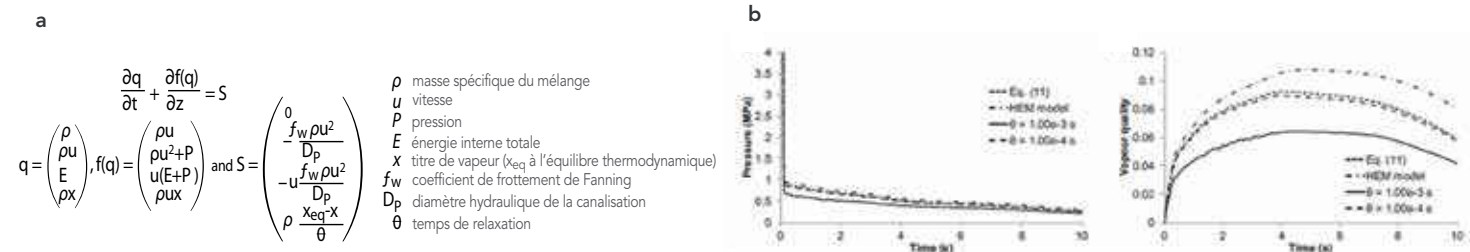
théoriquement à l'éclaircissement de ces deux questions ce qui a facilité le développement de solutions numériques. Les principales découvertes ont été présentées dans deux articles récents [2, 3].

Dépressurisation de la canalisation

Le premier volet concerne la dépressurisation de la canalisation suite à l'apparition de la brèche [2]. Lorsque la brèche est large, il est impossible de supposer que la pression reste homogène. La pratique consiste à tenir compte de la propagation des ondes de dépressurisation le long de la canalisation en reprenant la théorie « des tubes à choc ». Classiquement, un jeu d'équations de conservation monodimensionnelles en espace est établi *Figure 1a* et résolu par une méthode de Riemann. Une équation d'état est utilisée pour relier pression et densité (Peng-Robinson pour représenter le changement d'état). Il est supposé classiquement qu'un équilibre mécanique et thermodynamique est établi entre phases et que l'écoulement est adiabatique (modèle « HEM »). Les simulations montrent qu'introduire une condition de déséquilibre thermodynamique (sous la forme d'un retard à la vaporisation : modèles « HRM ») aurait une incidence significative

Figure 1

(a) formulation mathématique retenue
(b) simulation de la dépressurisation par sectionnement d'une canalisation de 144 m de long (150 mm diamètre) chargée de 150 bar de CO₂ avec mise en évidence des différentes approches (HEM et HRM)



Carbon capture and storage (CCS) is seen a short term solution to limit global warming by capturing CO_2 in the plant and injecting it into a geological reservoir. Pipelines are expected to be used to transfer CO_2 under high pressure and in dense phase from the plant to the storage site. Hundreds of tons of CO_2 might be contained in a pipeline. Since CO_2 and the impurities contained in it are toxic, what would be the consequences of a catastrophic failure of such a pipe. The EU project CO_2 pipehaz [1], intended to answer this question by targeting particularly the key questions of the pipe blowdown giving the flowrate of the leakage [2] and of the early fate of the fluid immediately downstream from the leakage point since the momentum/density/temperature of the flow dictates the subsequent dilution process in the atmosphere [3]. INERIS contributed in the experimental and theoretical work in support of the numerical simulations. It was found Figure 1 that Homogeneous Equilibrium Models describing the pipe blowdown may be used only in case of a complete failure of the pipe and may become quantitative when heat exchanges between the fluid and the surrounding are accounted for. The classical (even compressible) k -epsilon model and the thermodynamic equilibrium assumption, as traditionally used in Computational Fluid Dynamic codes are not sufficient Figure 2 to fully represent the formation of the jet. Progress is expected in the ongoing CO_2 QUEST project.

sur le taux de vaporisation, donc sur les vitesses de dépressurisation et les débits Figure 1b. En pratique cependant, il a été montré que les conditions d'application de ces modèles ne sont satisfaites que dans le cas de fuites très importantes, typiquement la rupture franche de la canalisation, et que, dans ces conditions, l'effet de la vaporisation retardée semble masqué par les (ou secondaire par rapport aux) échanges de chaleur entre l'écoulement et les parois. Ces travaux se poursuivent actuellement dans le projet CO_2 QUEST.

Formation du nuage

Le second point est relatif à la formation du nuage qui dépend en premier lieu des proportions relatives de vapeur et de condensés formées à la brèche. Schématiquement, si le flux contient une large proportion de condensés, sa vitesse est modérée et sa densité très importante. On pourrait alors craindre la formation d'un nuage dense, froid et relativement stable près du sol. L'approche

théorique a été conduite au moyen d'un code de mécanique des fluides (MG). Un effort tout particulier a été conduit pour être capable de simuler d'une part le processus de détente du fluide (le taux de condensés et le champ de vitesse seraient tout à fait différents entre une détente isentropique et isenthalpique) et d'autre part les changements de phase. Des évolutions significatives du modèle k -epsilon ont ainsi été proposées en incluant des thèmes de production et de dissipation par le champ local de pression qui permettent notamment de mieux restituer la succession d'ondes de choc dans le voisinage immédiat de l'orifice. Un jeu d'expressions d'état tenant compte de la formation de solide a été spécialement mis au point. L'hypothèse d'équilibre mécanique et thermodynamique entre les phases a été retenue. Il a été montré qu'il subsiste des écarts significatifs par rapport à l'expérience en particulier sur les tendances. Sur l'axe de la fuite et à faible débit (moins de 0,5 kg/s), les compositions et températures sont surestimées (écart de 10 à

20 %) dans le champ proche alors que c'est l'inverse à débit élevé (écart de 50 %). Cela indique que le modèle de turbulence doit impérativement être amélioré. De même la répartition radiale a une forme très différente des prédictions qui prévoient un effet de sur-refroidissement au « point triple ». Cet effet pourrait être masqué par les délais de transfert de chaleur/masse entre les phases (« relaxation »). Des évolutions sont en cours dans le projet CO_2 QUEST.

Conclusion

Le dialogue entre l'expérience, la simulation numérique et la théorie a permis d'améliorer la compréhension de la physique des fuites massives de gaz liquéfiés. Mais il a aussi montré que l'usage de solutions numériques « sur étagère » (modèle k -epsilon standard, hypothèses d'équilibres...) pouvait conduire à des résultats relativement éloignés de la réalité quand bien même un grand soin est apporté à la représentation des conditions initiales et à la résolution numérique.

Figure 2

(a) installation d'essais de l'INERIS
(b) résultats d'essais et simulation

