HAL
open science

Transport du CO2 par canalisation : évaluations des risques

Jérôme Hebrard

To cite this version:

Jérôme Hebrard. Transport du CO2 par canalisation : évaluations des risques. Rapport Scientifique INERIS, 2011, 2010-2011, pp.19-21. ineris-01869382

HAL Id: ineris-01869382

https://ineris.hal.science/ineris-01869382v1

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.

Contributeur

Jérôme Hébrard

Transport du CO_2 par canalisation

Évaluations des risques

Les projets France Nord (Ademe) et CO_2PipeHaz (Commission européenne) sont focalisés sur la compréhension des mécanismes physiques mis en jeu lors d'un rejet de CO_2 dans l'atmosphère, lors du transport de CO_2. Les risques liés au transport sont ciblés spécifiquement car les réseaux sont plus vulnérables et plus difficiles à protéger que d'autres éléments de la chaîne. Or, à l'occasion d'une fuite accidentelle, on craint la formation d'un nuage dense de CO_2 qui maintiendrait au niveau du sol les polluants, éventuellement toxiques, véhiculés par le CO_2 (SO_2, H_2S, NOx…).

Dans ce cadre, des connaissances sont recherchées, en particulier, sur les mécanismes de formation des nuages gazeux très denses, multiphasiques et sur les processus de détente brutale des fluides supercritiques, sujet pour lesquels il n'est pas certain que les outils de modélisation disponibles soient pertinents dans le cas de création de neige carbonique lors de la détente. Ces scénarios de fuite sont donc étudiés par l'INERIS pour produire des connaissances et des outils de base qui contribuent à une meilleure maîtrise des risques des installations de transport de CO_2.

1_CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNÉES D'ESSAIS

Aspects thermodynamiques

Dans un premier temps, un banc expérimental à petite échelle a été monté pour observer les caractéristiques thermodynamiques de mélanges de CO_2 et d'impuretés. Le travail est centré sur la construction d'un diagramme de Mollier en étudiant les propriétés pendant un rejet (et non de façon statique), afin de déterminer les chemins thermodynamiques tels que les isenthalpes, les isentropes et les isothermes. Ce dispositif expérimental décrit sur la figure 1 est composé d'un autoclave, petit réservoir d'un litre pouvant supporter des pressions très élevées (de l'ordre de 1 000 bars). Ce réservoir est utilisé comme calorimètre adiabatique (isolé thermiquement) équipé d'une tuyauterie de décharge. Les pressions et températures sont mesurées précisément, ainsi que la masse de produit présente dans l'autoclave. La tuyauterie de rejet est régulée thermiquement, les pertes de charge et les variations de température le long de celle-ci étant connues.

Initialement, la pression et la température sont fixées. Ensuite, l'orifice au bout de la tuyauterie de décharge est ouvert. Les mesures des variations de température dans l'autoclave permettent de connaître l'évolution de l'énergie en fonction du temps pendant la décharge.

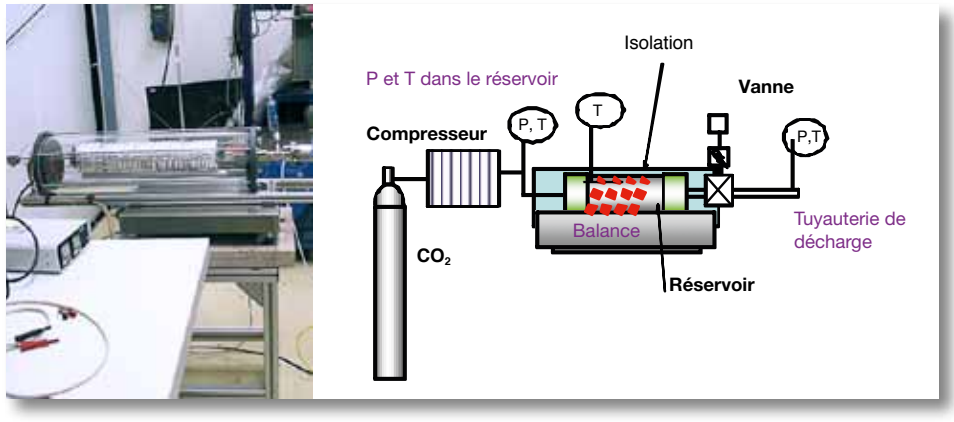
Les tests préliminaires ont montré qu'il est possible de mesurer avec précision la masse de produit en fonction du temps et ont permis de dimensionner la taille de la tuyauterie de décharge. Il est aussi possible de tracer l'évolution de l'enthalpie en fonction de la pression dans l'autoclave au cours du temps. La prochaine étape consistera à tracer le diagramme de Mollier pour des mélanges CO_2 + impuretés et quantifier l'influence de ces impuretés sur les caractéristiques thermodynamiques du CO_2.

Rejets à moyenne échelle et dispersion atmosphérique

Un banc expérimental à moyenne échelle a été réalisé sur le site d'essais de la carrière de Montlaville pour étudier les caractéristiques de l'écoulement dans une canalisation et la dispersion atmosphérique du CO_2 →

Figure 1

À gauche : photo du calorimètre.
À droite : schéma de principe.



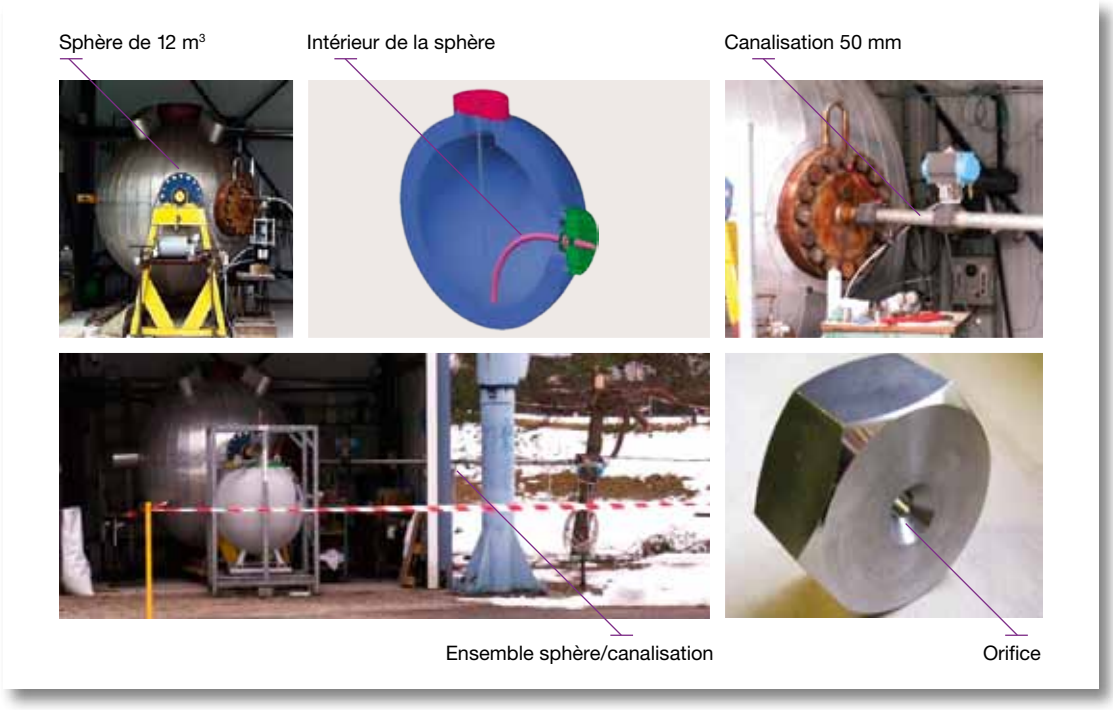


Figure 2
Photographies des différents éléments qui constituent le dispositif expérimental de rejet à moyenne échelle.

→ rejeté. Il est composé (figure 2) d'un réservoir sphérique de 12 m³ de capacité, isolé thermiquement, équipé d'un système de chauffage et pouvant supporter des pressions pouvant atteindre 150 bars. Cette sphère est posée sur une balance pour mesurer la perte de masse pendant le rejet. Cette information est nécessaire pour recueillir le premier paramètre intéressant qui est le débit massique à l'orifice. La figure 3 montre, à gauche, l'évolution de la masse de CO_2 présente dans la sphère en fonction du temps et, à droite, le débit calculé en fonction du temps. Le cas présenté ici concerne un orifice de diamètre égal à 6 mm, petit devant le volume de la sphère. La perte de masse est linéaire, rendant la courbe de débit quasi-constante.

La sphère est connectée à un premier tronçon de canalisation de 50 mm de diamètre et de 6 m de long. Ce tronçon est soit directement terminé par un orifice, soit connecté à un second tronçon de canalisation d'un diamètre inférieur ou égal à 50 mm et qui peut mesurer jusqu'à 40 m de long. Des capteurs de température et de pression sont placés dans la sphère et dans le premier tronçon de 50 mm de diamètre.

Des capteurs de CO_2, des oxygènomètres et des thermocouples sont placés de manière à ce que l'on puisse connaître pendant toute la durée du rejet la concentration et la température à tout endroit du nuage formé.

Un système de visualisation directe (caméras normale et rapide) est également utilisé pour observer l'évolution du nuage sous différents angles (figure 4, gauche). Une caméra thermique permet également de mieux appréhender les mécanismes physiques mis en jeu lors du rejet.

Il est en effet possible de relier les concentrations en CO_2 avec les températures obtenues dans le nuage en considérant la dispersion adiabatique. On peut observer que les courbes de concentrations obtenues grâce aux oxygènomètres sont liées aux courbes de concentrations obtenues grâce aux thermocouples. Grâce à cette technique de mesures, le nuage est plus facilement et plus complètement instrumenté, les thermocouples ayant un temps de réponse plus rapide et étant plus faciles à mettre en œuvre que les capteurs CO_2 ou les oxygènomètres.

2_DÉVELOPPEMENT D'OUTILS D'ANALYSE ET D'ÉVALUATION DES RISQUES

Tout d'abord, il s'agit de développer un outil et, en particulier, de modélisation des conséquences d'une fuite de CO_2 en s'appuyant sur les mécanismes physiques mieux appréhendés grâce à la partie expérimentale.

Pour cela, deux étapes sont indentifiées :

- faire un état de l'art des outils existants, vérifier l'utilité de ceux-ci afin d'identifier les potentiels de dangers et évaluer leur capacité à prévoir et à modéliser les conséquences ;
- développer des outils dédiés au CO_2 lorsque cela est nécessaire.

Puis une méthodologie d'évaluation des risques pour les canalisations de transport de CO_2 sera développée sur la base de la méthodologie ARAMIS.

Outil de modélisation des conséquences existant

Lors d'une perte de confinement de CO_2, les mécanismes physiques mis en jeu sont très complexes. Le comportement thermodynamique du CO_2 et la formation potentielle de neige carbonique compliquent le calcul du terme source. Beaucoup de développeurs de logiciels, communément utilisés dans le domaine du risque accidentel, ont adapté leurs modèles de calculs initialement dédiés aux gaz liquéfiés, courant dans l'industrie chimique (ammoniac, chlore, GPL…) aux spécificités du CO_2[1]. Or, certaines propriétés sont très différentes entre les gaz liquéfiés « classiques » et le CO_2. Par exemple, les modèles courants sont basés sur l'hypothèse que les enthalpies de vaporisation ΔH_v sont indépendantes de la température. Or, pour le CO_2, ΔH_v est très dépendant de la température. Il n'est donc pas évident de prime abord qu'un modèle adapté à l'ammoniac le sera au CO_2.

De plus, le CO_2 est transporté à des pressions supérieures à 100 bars, ce qui implique qu'en cas de rejet, une très forte décompression va faire chuter de façon drastique la température à la brèche entraînant la formation d'un écoulement multiphasique formé de neige carbonique (flocons de CO_2 en phase solide) de

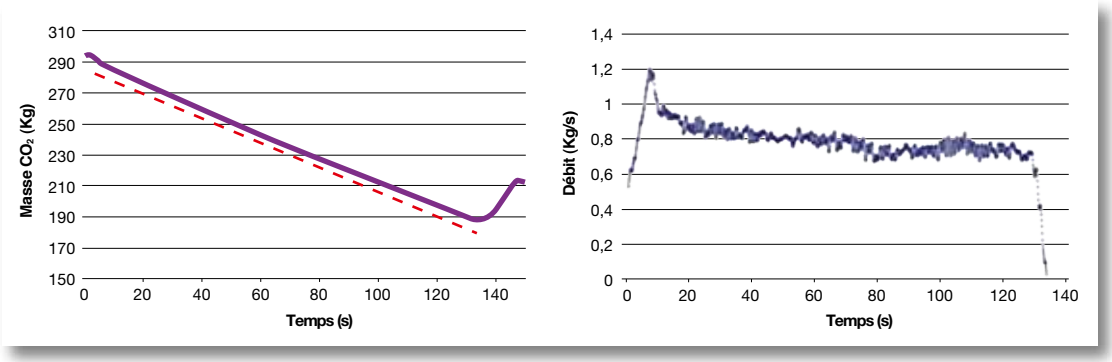


Figure 3
À gauche : masse de CO_2 dans la sphère en fonction du temps.
À droite : débit calculé en fonction du temps.

Figure 4
Vidéos de différents essais préliminaires (à gauche : caméra rapide, à droite : caméra thermique).

liquide et de vapeur (due à la fragmentation interne). La dispersion de ce mélange de gaz, de gouttelettes, d'aérosols et éventuellement de particules solides est un enjeu important pour la modélisation.

Les premiers tests de comparaison entre des logiciels commerciaux et les premiers essais confirment que les modèles utilisés ont tendance à surestimer les distances d'effets. Ces premiers résultats très partiels montrent que les modèles de calcul du terme source (débit à la brèche et fraction vaporisée) doivent être améliorés. En revanche, dans les conditions expérimentales considérées, et une fois le terme source adapté, les modèles de dispersion semblent donner des résultats acceptables.
Par ailleurs, les mécanismes de transition de phases dans la canalisation et en champ proche devront être modélisés de façon plus réaliste et prendre en compte les principaux mécanismes physiques.

Note

1. Antoine F., Hébrard J., Lacome J.-M., *Assessment of the models for the estimation of the CO_2 releases toxic effects*, 12th International Conference on Multiphase Flow in Industrial Plant, ISCHIA.

ABSTRACT

Nowadays, the CCS chain (carbon capture and storage) is considered as an interesting solution to fight the global warming by reducing CO_2 concentrations in the atmosphere. However, in case of massive accidental leak of CO_2, which can be mixed with toxic impurities (NOx, SOx…), this could lead to toxic effects in humans located in the nearby environment.
Between capture and storage, the pipeline transport is the part of the network the most vulnerable and the most difficult to protect. The development of a safe chain of CO_2 then requires to develop risk assessment methods dedicated to CO_2 transport by pipeline. This involves the production of new knowledge about the mechanisms of dense gas clouds dispersion, multiphase flows, and sudden process of relaxation of supercritical fluids. For this, several experiments are currently carried out at INERIS. Firstly, a thermodynamic set-up was built in order to determine the thermo-physical and thermodynamics data required for the formulation of the phase equilibrium model. Secondly, a mid-scale set-up allows to get the fluid flow pattern maps required for the formulation of the heterogeneous discharge model, the near-field particle size distribution and velocity profiles.
Further tests on a larger scale are planned to check that the current results and models could be extrapolated to massive releases of CO_2. Some calculations carried out with dispersion softwares seem to provide different results in terms of hazardous distances for instantaneous or continuous releases. A focus on the models used by the softwares appears necessary to get a better understanding of this difference in the risk assessment context.