



Etude numérique de la dispersion d'hydrogène dans un milieu confiné ventilé naturellement

Moetez Bel Arbi, Mourad Bouteraa et Afif El Cafsi

Laboratoire d'Energétique et des Transferts Thermiques et Massiques (LETTM), Faculté des sciences de Tunis, Université Tunis el Manar

belarbi.moetez@hotmail.fr

Résumé : Le parking des voitures à hydrogène pose un risque potentiel de sécurité en raison des accidents qui pourraient résulter d'une fuite d'hydrogène. Une série de simulations ont examiné le risque associé aux rejets d'hydrogène dans une structure construite pour simuler un garage pour une voiture. Le « garage » mesure 2,72 m de haut, 3,64 m de largeur et 6,10 m de long à l'intérieur et il est construit en acier pour qu'il soit capable de résister à une détonation [1], [2]. La face avant du garage était couverte d'un mince film de plastique transparent. Des expériences ont été réalisées pour étudier les fuites d'hydrogène de longue durée (20 et 40 min) [1], [2]. Les techniques de ventilation comprenaient des ouvertures supérieures et inférieures naturelles.

Dans le présent travail, on a étudié numériquement d'hydrogène dans ce garage confiné ventilé naturellement moyennant un code de calcul FDS [3]. Notre but est de valider les résultats numériques trouvés en les comparant avec les résultats expérimentaux réalisés par Merilo et al. [1].

Mots clés :

Hydrogène, dispersion, CFD, milieu confiné ventilé, FDS

1.Introduction :

Dans le future proche, on pourrait s'attendre qu'un nombre croissant des systèmes d'énergie à hydrogène soient exploités ou stockés à l'intérieur des bâtiments (habitations, garages, ...). Le stockage d'une voiture à hydrogène dans un garage peut présenter un risque pour la sécurité s'il y a une fuite du système de stockage du carburant qui entraîne une accumulation d'un mélange inflammable dans le milieu ou dans la voiture. Des recherches antérieures et en cours ont étudié numériquement et expérimentalement la répartition de la concentration de l'hydrogène pour divers scénarios de ventilation dans diverses structures [4-10]. Des recommandations spécifiques ont été faites pour la ventilation dans un garage à voiture unique pour les éventuels scénarios de fuite [11]. Une série d'essais a été menée pour examiner le risque impliqué dans les rejets et la dispersion d'hydrogène dans une structure construite pour simuler un garage à une voiture. Les rejets d'hydrogène de 20 à 40 min ont été étudiés à l'aide d'une ventilation [1,2]. Les taux de libération d'hydrogène varient de 9,22 kg / h à 1,52 kg / h. Ces taux ont été choisis pour enquêter à quel point les rejets dans le garage commencent à représenter un danger important. L'objectif de ce papier est d'une part d'étudier numériquement la dispersion d'hydrogène dans un milieu confiné en utilisant le code de calcul FDS [3] pour la phase de l'injection de l'hydrogène dans le garage, d'autre part d'évaluer la potentialité du code FDS pour ce type de problème.

2. Cas expérimental

2.1. Configuration géométrique

Les dimensions du local choisi (garage) sont 2,72 m de hauteur, 3,64 m de largeur et 6,10 m de longueur. Il dispose de deux ouvertures, chacune de 0,11 m². L'extrémité ouverte du garage est couverte d'une feuille de polyéthylène à haute densité (HDPE) d'épaisseur 0.0076 mm. La première figure montre l'origine du repère, la feuille de HDPE, les ouvertures de la ventilation naturelle et la ventilation mécanique [2].

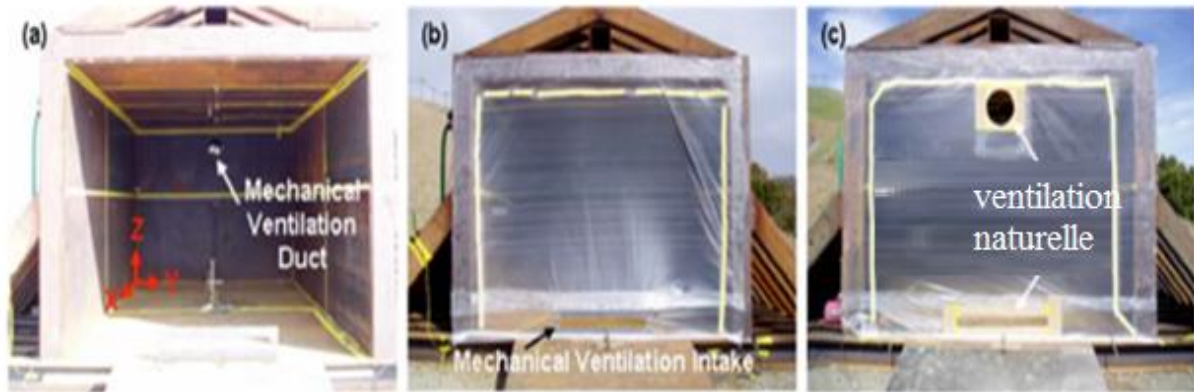


Figure 1 : Configuration du garage [2]

Pour la ventilation naturelle, une ouverture de ventilation mesurant 1,22 m de largeur et 0,09 m de hauteur et ayant une aire de 0,11 m² a été localisée près du bas de l'extrémité ouverte de l'installation. Le centre de cette ouverture de ventilation était situé à $X = 6,10$ m, $Y = 1,82$ m et $Z = 0,17$ m. Aussi, une autre ouverture de ventilation circulaire d'une superficie de 0,11 m² a été placée près du sommet de l'extrémité, centrée à 2,42 m au-dessus du plancher (6,10 m, 1,82 m, 2,42 m). Le débit massique à travers les ouvertures n'a pas été surveillé pour le test de ventilation naturelle [2].

2.2. Installation expérimentale

Dans le cas expérimental, l'hydrogène se libère d'une buse cylindrique de diamètre 7,75 mm et d'hauteur 75 mm, situé dans la position $x=4,85$ m, $y=2,75$ m, $z=1$ m [2].

Un système de bouteilles d'échantillonnage sous vide a été utilisé pour mesurer la concentration en hydrogène à divers endroits du garage. Chaque bouteille d'échantillon a été ouverte pendant 3 s. Le temps de remplissage moyen pour une bouteille était d'environ 1 s. Les échantillons ont été prélevés à des hauteurs de 1,9 m, 2,3 m et 2,7 m au centre du garage ($X = 2,8$ m, $Y = 1,8$ m), à côté du centre de la paroi latérale ($X = 2,8$ m, $Y = 0,2$ m), et dans un coin arrière ($X = 0,3$ m, $Y = 0,1$ m). Ces stations d'échantillonnage sont représentées sur la Fig. 1 (D) [2].

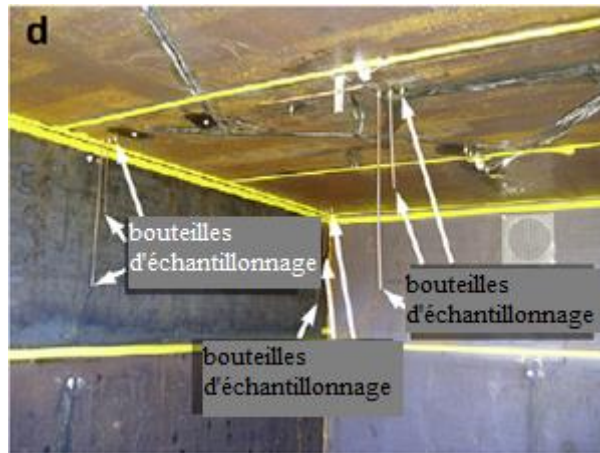


Figure 2 : Position du système de bouteilles d'échantillonnage [2]

Le débit massique, la masse libérée, la vitesse de libération de l'hydrogène sont représentés dans le tableau suivant :

Intérieur de garage	Taux de libération (kg/h)	Masse libérée (kg)	Vitesse de libération (m/s)	Durée de libération (min)	Ventilation
Vide	9.22	3.07	668	20	Naturelle
Voiture	9.04	3.01	653	20	Naturelle
Voiture	0.88	0.44	63	20	Naturelle

Tableau 1 : Conditions expérimentales [1.2].

2.3. Résultat expérimental

Les profils de concentration qui se développent lorsque l'hydrogène est libéré à l'intérieur d'une enceinte sont influencés par l'amplitude du moment de libération et les forces de flottabilité. Les couches de plafonds stratifiés verticaux peuvent se former lorsque les forces de flottabilité dominent. Inversement, lorsque les forces de moment sont dominantes, le renversement du gaz sous le plafond peut se produire, ce qui peut conduire au développement d'une couche de plafond mélangée qui s'étend vers le bas du plafond de l'enceinte [2].

Les concentrations ont été échantillonnées à trois hauteurs, trois endroits différents et à trois moments distincts au cours de la dispersion. Dans cette expérience, les concentrations mesurées à la même hauteur et au même temps ont été moyennées. Figure. La figure 2 montre des parcelles de la concentration moyenne à différentes élévations à l'intérieur du garage. Les données de concentration des tests de libération de 9 kg / h (essais 1 et 2) montrent la formation d'une couche au plafond inflammable avec une concentration relativement uniforme [2].

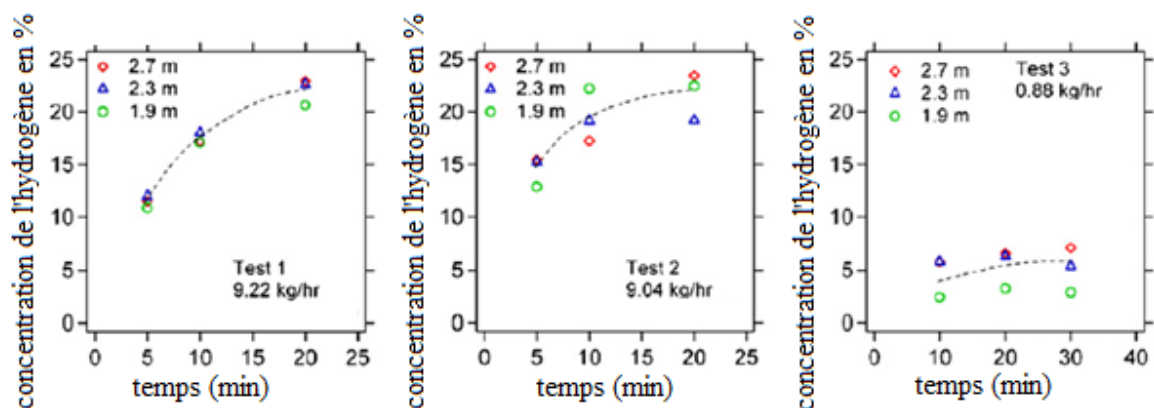


Figure 3 : Concentration moyenne d'hydrogène pendant toute la durée de la libération pour les essais 1, 2 et 3 [1.2].

3. Cas numérique :

3.1. Méthodes et conditions de calcul

On a étudié numériquement la dispersion d'hydrogène dans ce garage confiné ventilé naturellement moyennant un code de calcul FDS. Les équations qui régissent sont l'équation de continuité, l'équation de Navier-Stokes compressible avec une force gravitationnelle, l'équation de l'énergie et l'équation de transport pour la fraction massique de l'hydrogène. Des effets de flottabilité résultant des différences de densité pour des raisons thermiques et chimiques sont traités directement.

Dans notre cas, on s'est intéressé au cas où le garage est vide et où la ventilation est naturelle avec un débit massique de dispersion égale à 9,22 kg/h. On a étudié ce problème tout en utilisant les mêmes conditions aux limites utilisées dans le cas expérimental pour pouvoir confronter les résultats numériques avec ceux de l'expérience et ça pour valide notre code de calcul FDS.

Intérieur de garage	Taux de libération (kg/h)	Masse libérée (kg)	Vitesse de libération (m/s)	Durée de libération (min)	Ventilation
Vide	9.22	3.07	668	20	Naturelle

Tableau 2 : condition aux limites numériques

3.2. Confrontations des résultats :

La validation du code de calcul est le résultat principal de ce travail. Les figures ci-dessous nous montre une confrontation des résultats numériques, obtenus à l'aide du logiciel FDS, avec les résultats expérimentaux de Merilo et al. [1,2] qui ont fait des mesures de la fraction volumique et de la concentration moyenne de l'hydrogène en fonction du temps. Neuf positions réparties sur les plan $Z=1.9$ m, $Z=2.3$ m et $Z=2.8$ m du garage. On a choisi seulement trois positions pour faire la comparaison : la première est celle du capteur n°1 qui est situé presque au plafond ($x=2.8$ m, $y=1.8$ m, $z=2.8$ cm), la deuxième à mi-hauteur ($x=2.8$ m, $y=1.8$ m, $z=2.3$ m) et la troisième est près du point d'injection ($x=2.8$ m, $y=2.3$ m, $z=1.9$ m).

Pour chaque cas, le capteur le plus proche de l'injection a été le premier à détecter l'hydrogène. Seules quelques secondes sont nécessaires pour que l'hydrogène atteigne cet endroit. On constate bien, que la fraction volumique augmente en premier lieu dans les premières secondes de la libération de l'hydrogène, après elle devient presque constante. On voit bien que ces valeurs obtenues de la fraction volumique de l'hydrogène (environ 18%) sont suffisantes pour qu'un mélange hydrogène/air à l'intérieur du garage soit inflammable, puisque le domaine d'inflammabilité de l'hydrogène est (4% -75%). On remarque également que nos résultats numériques sont en bon accord avec l'expérience Merilo et al. [1,2].

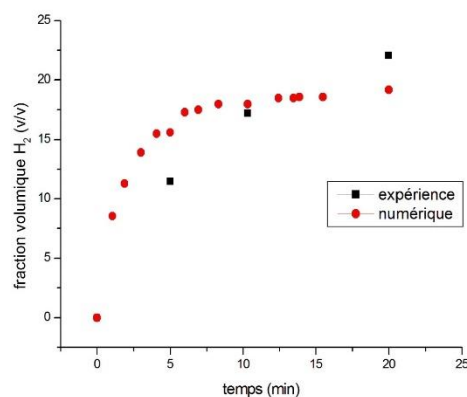


Figure 3 : Fraction volumique de l'hydrogène dans le point XYZ=2.8,1.8,2.3

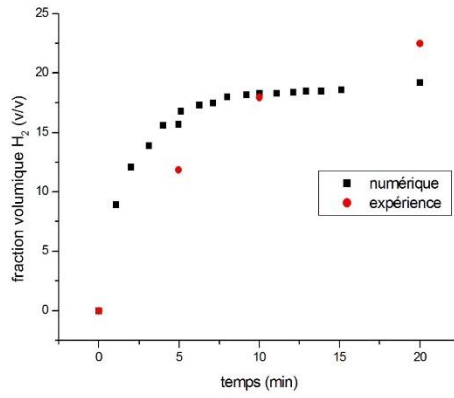


Figure 4 : Fraction volumique de l'hydrogène dans le point XYZ=2.8,1.8,2.7

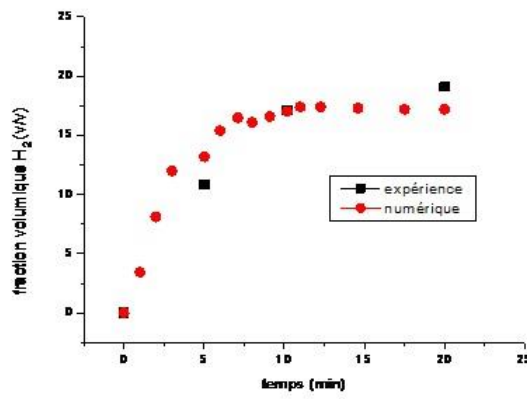


Figure 5 : Fraction volumique de l'hydrogène dans le point XYZ=2.8,1.8,1.9

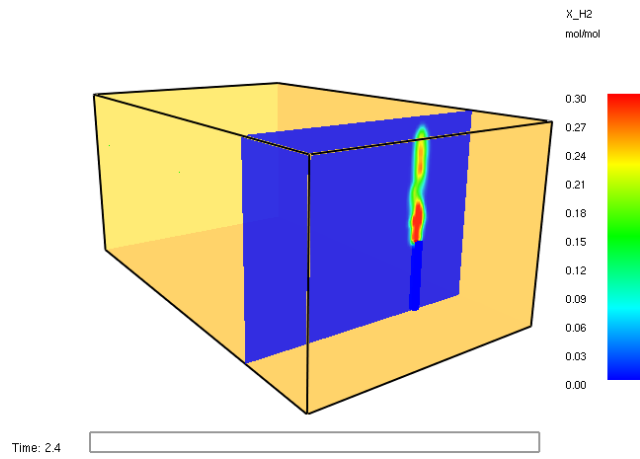


Figure 6 : Fraction molaire de l'hydrogène dans le plan X=4.85m au début de la fuite

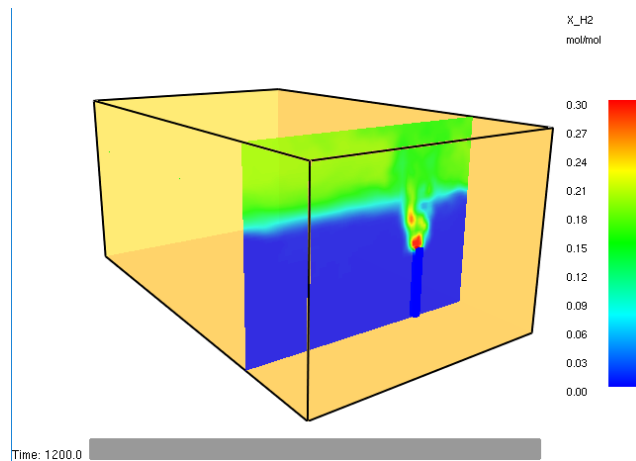


Figure 7 : Fraction molaire de l'hydrogène dans le plan $X=4.85m$ à la fin de la fuite

4. Conclusion

Comme première interprétation, on constate bien une bonne concordance entre les résultats numériques et expérimentaux. Donc la validation du code de calcul pour la dispersion de 9,22 Kg/h d'hydrogène dans un milieu confiné ventilé pendant 20 minutes.

Dans ces rejets, les forces induites par le mouvement dominant les forces de flottabilité et le renversement de l'écoulement se produit, conduisant à la formation d'une couche de plafond de concentration relativement uniforme. D'où vient l'idée d'étudier les couches stratifiées et évaluer le taux d'efficacité d'extraction.

Références

- [1] Experimental Study of Hydrogen Release Accidents in a Vehicle Garage, Erik Merilo, Mark Groethe, James Colton, Seiki Chiba, Poulter Laboratory, SRI International, 3rd International Conference on Hydrogen Safety, 16 September 2009 Ajaccio, Corsica.
- [2] E.G. Merilo, M.A. Groethe, J.D. Colton, S. Chiba, Experimental study of hydrogen release accidents in a vehicle garage, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 36, Issue 3, February 2011, Pages 2436–2444.
- [3] Fire Dynamics Simulator User's Guide, NIST Special Publication 1019 Sixth Edition
- [4] Swain MR, Shriber J, Swain MN. Comparison of hydrogen, natural gas, liquified petroleum gas, and gasoline leakage in a residential garage. Energy Fuels 1998;12(1):83e9.
- [5] Swain MR, Filoso P, Grilliot ES, Swain MN. Hydrogen leakage into simple geometric enclosures. Int J Hydrogen Energy 2003;28:229e48.
- [6] Be´dard-Tremblay L, Fang L, Bauwens L, Finstad PHE, Cheng Z, Tchouvelev AV. Simulation of detonation after an accidental hydrogen release in enclosed environments. Int J Hydrogen Energy 2009;34:5894e901.
- [7] Hunt GR, Linden PF. Steady-state flows in an enclosure ventilated by buoyancy forces assisted by wind. J Fluid Mech 2001;426:355e86.
- [8] Lacombe JM, Dagba Y, Perrette L, Jamois D, Proust CH. Large scale hydrogen release in an isothermal confined area. In: Proceedings of the 2nd ICHS conference, 11e13 September 2007, San Sebastian, Spain.
- [9] Gupta S, Brinster J, Studer E, Tkatschenko I. Hydrogen related risks within a private garage: concentration measurements in a realistic full scale experimental facility. Int J Hydrogen Energy 2009;34:5902e11.
- [10] Barley CD, Gawlik K, Ohi J, Hewett R. Analysis of buoyancy driven ventilation of hydrogen from buildings. Int J Hydrogen Energy 2009;34:5592e603.
- [11] Ishimoto Y, Merilo EG, Groethe MA, Chiba S, Iwabuchi H, Sakata K. Study of hydrogen diffusion and deflagration in a closed system. In: Proceedings of the 2nd ICHS conference, 11e13 September 2007, San Sebastian, Spain.