

# MASYNBIOZ : MÉLANGE AMMONIAC-SYNGAZ OU BIOGAZ POUR ATTEINDRE LA DÉCARBONATION EN 2050

P. BREQUIGNY<sup>1,3</sup>, A. SOULE<sup>2,3</sup>, C. MOUNAIM-ROUSSELLE<sup>1,3</sup>, G. DAYMA<sup>2,3</sup>, F. HALTER<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire PRISME, Univ. Orléans, INSA CVL, EA4229, Orléans 45072, France

<sup>2</sup> Univ. Orléans, CNRS-ICARE, F45071, Orléans, France

<sup>3</sup> Fédération pour l'Innovation et Transition énergétique, FITe, FR2039



## Introduction

- Digestion anaérobie => Biogaz : 50<CH<sub>4</sub><70%Vol. ; 30<CO<sub>2</sub><50% Vol.
  - Gazéification => Syngaz contenant H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> en proportions variables selon les matières premières ou le procédé
  - Ammoniac (NH<sub>3</sub>) présent comme impureté dans le biogaz/syngaz. Favorisé avec des matières riches en azote (fumier, lisier, boues d'épuration)
  - Intérêt renouvelé pour NH<sub>3</sub> car considéré comme un potentiel carburant zero CO<sub>2</sub> produit à partir d'énergies renouvelables
- Besoin en données expérimentales de propriétés fondamentales de combustion pour des mélanges biogaz(ou syngaz)/NH<sub>3</sub> pour développer les convertisseurs d'énergie de demain (chaudière, groupe électrogène, turbine à gaz) et valider les mécanismes réactionnels pour des simulations prédictives

## Objectifs:

- Mesurer de la vitesse de flamme laminaire et la sensibilité à l'étirement de mélange biogaz/ammoniac en faisant varier la teneur en ammoniac
- Evaluer des mécanismes réactionnels de la littérature.

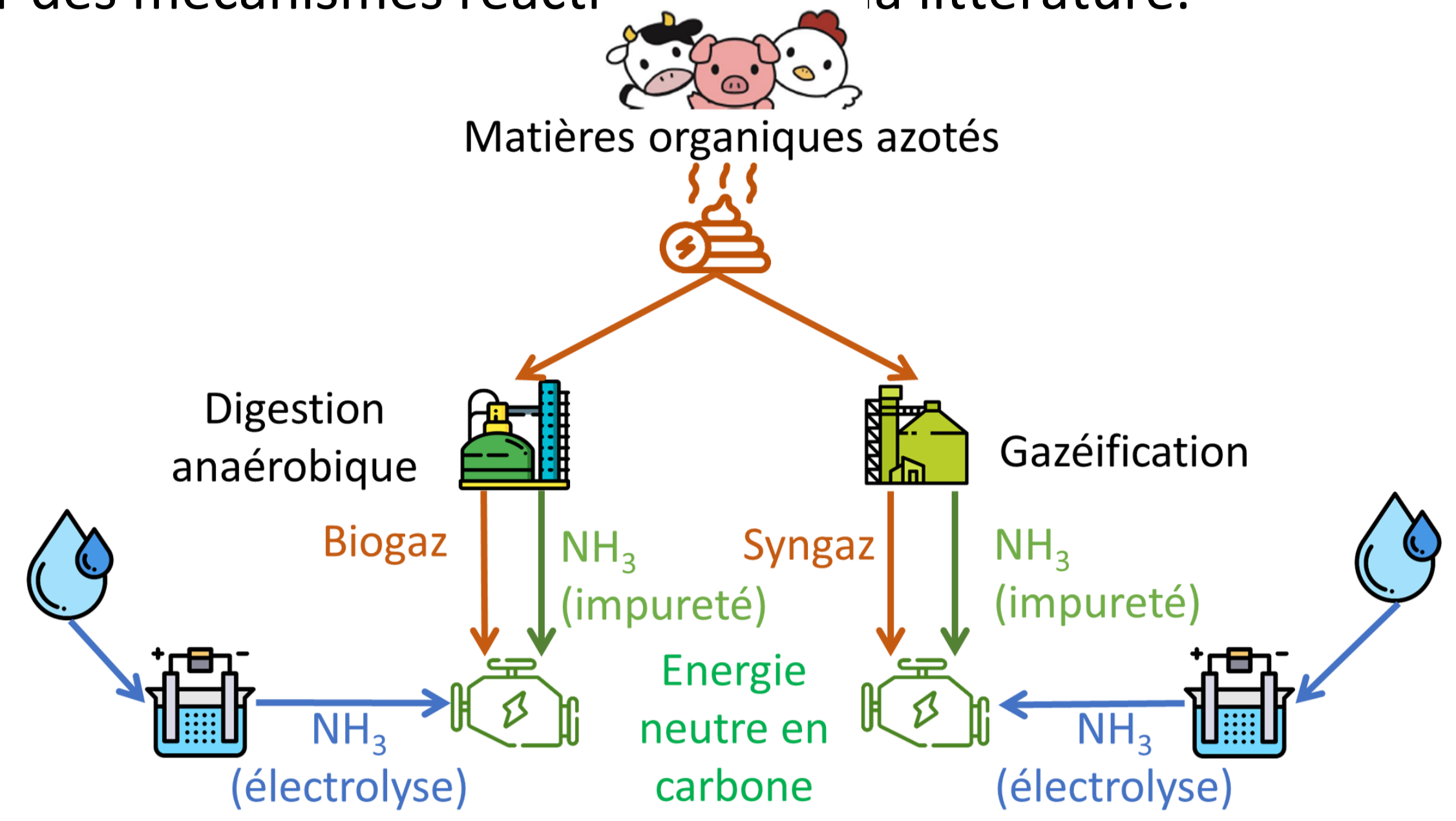


Fig. 1 : Le projet MASYNBIOZ

## Méthodologie

- Chambre de combustion sphérique, 4.2 L
- Conditions:
  - P=1 bar, T= 303K
  - Biogaz : 60%Vol. CH<sub>4</sub>/40%Vol. CO<sub>2</sub>
  - %Vol. NH<sub>3</sub> dans le mélange biogaz/NH<sub>3</sub> : 5; 10; 15; 20; 25; 50
  - Richesse: 0,8 < φ < 1,2

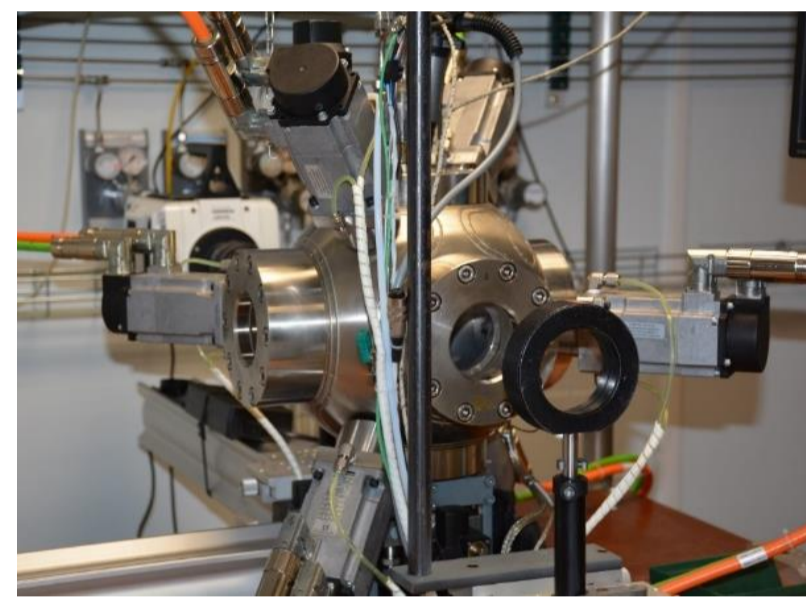


Fig. 2 : Sphère de combustion

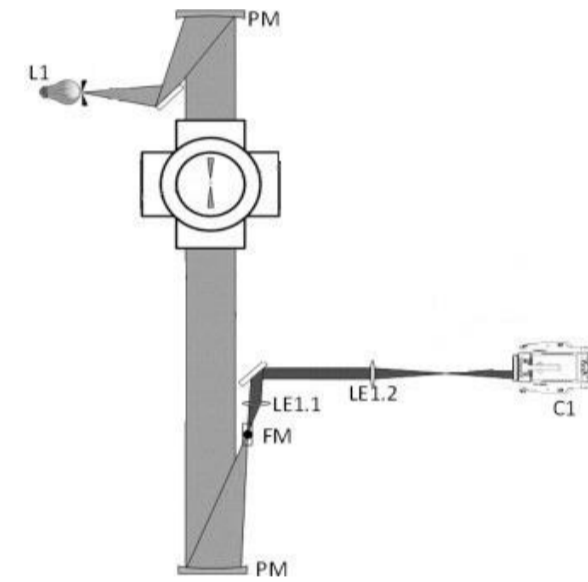


Fig. 3 : Dispositif optique Schlieren

- Détermination de la vitesse de flamme laminaire par méthode isobare

- Seuillage, Binarisation, détection contour
- Vitesse de propagation :  $S_b = \frac{dR_f}{dt}$
- Etirement de flamme :  $K = \frac{2}{R_f} S_b$
- Extrapolation non-linéaire :  $\left(\frac{S_b}{S_b^0}\right)^2 \ln\left(\frac{S_b}{S_b^0}\right)^2 = -\frac{2L_b K}{S_b^0}$
- Vitesse de propagation non étirée  $S_b^0$
- Longueur de Markstein (sensibilité à l'étirement)  $L_b$
- Vitesse de flamme laminaire  $S_L^0 = \frac{\rho_b}{\rho_u} S_b^0$

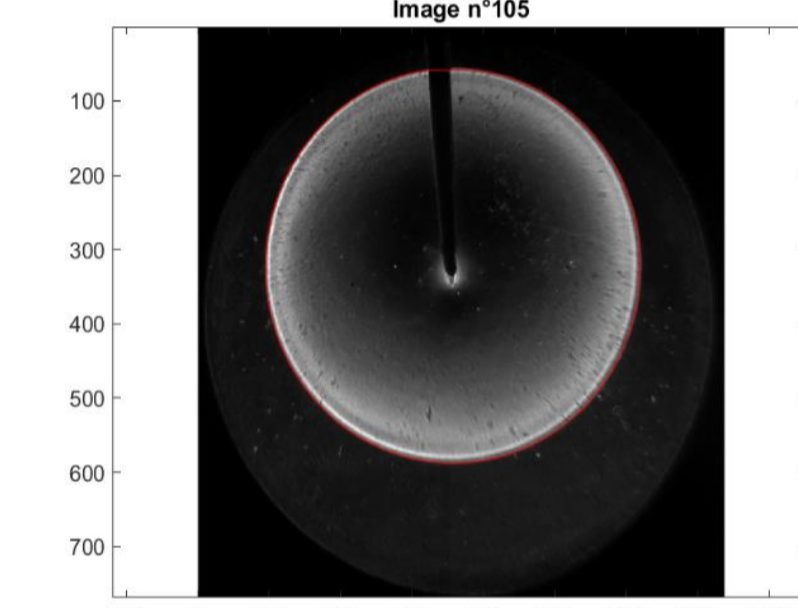


Fig. 4 : Détection contour

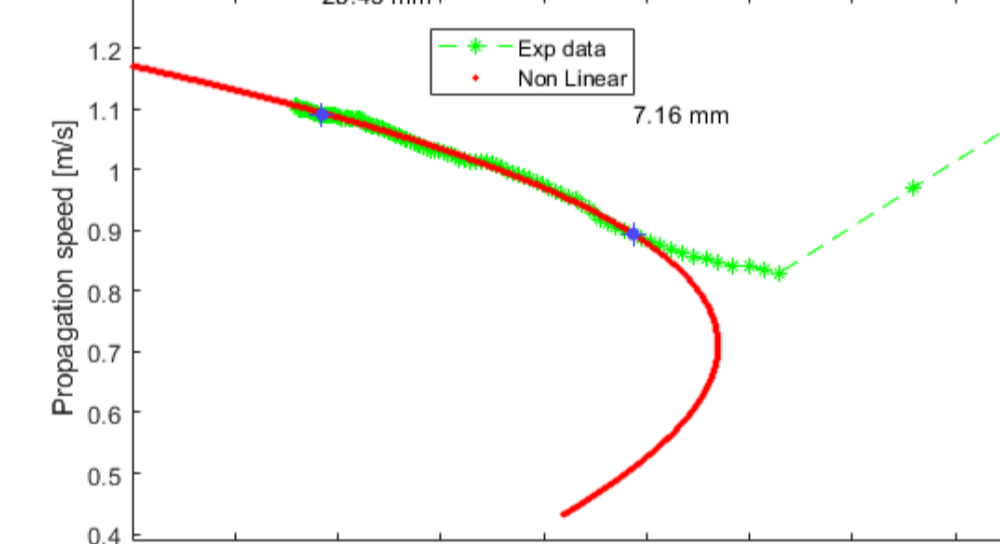


Fig. 5 : Extrapolation non linéaire

- Simulations mécanismes réactionnels ANSYS CHEMKIN PRO, PREMIX
- Setup:
  - Nombre max de points sur la grille: 1000, 50 adaptative grid points
  - GRAD = 0,1 ; CURV = 0,05
  - Longueur du domaine = 10 cm
  - Effet Soret
  - Transport : « Mixture averaged »
- 4 mécanismes : testé d'abord sur biogaz et ammoniac pure

Table 1: Mécanismes réactionnels testés

Mécanisme	Type	Espèces	Réactions	Validation
Okafor [1]	Réduit	42	130	Vitesse de flamme CH <sub>4</sub> /NH <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> <60% Vol.
Shrestha [2]	Détaillé	125	1090	Vitesse de flamme, DAI, JSR, H <sub>2</sub> /CO/C <sub>1</sub> /NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> .
CEU-NH <sub>3</sub> -Mech-1.1 [3]	Détaillé	91	444	Vitesse de flamme NH <sub>3</sub> /CH <sub>4</sub>
San Diego [4]	Réduit	69	311	Vitesse de flamme gaz naturel/ sous mécanisme NO <sub>x</sub>

## Résultats

### Sélection mécanismes

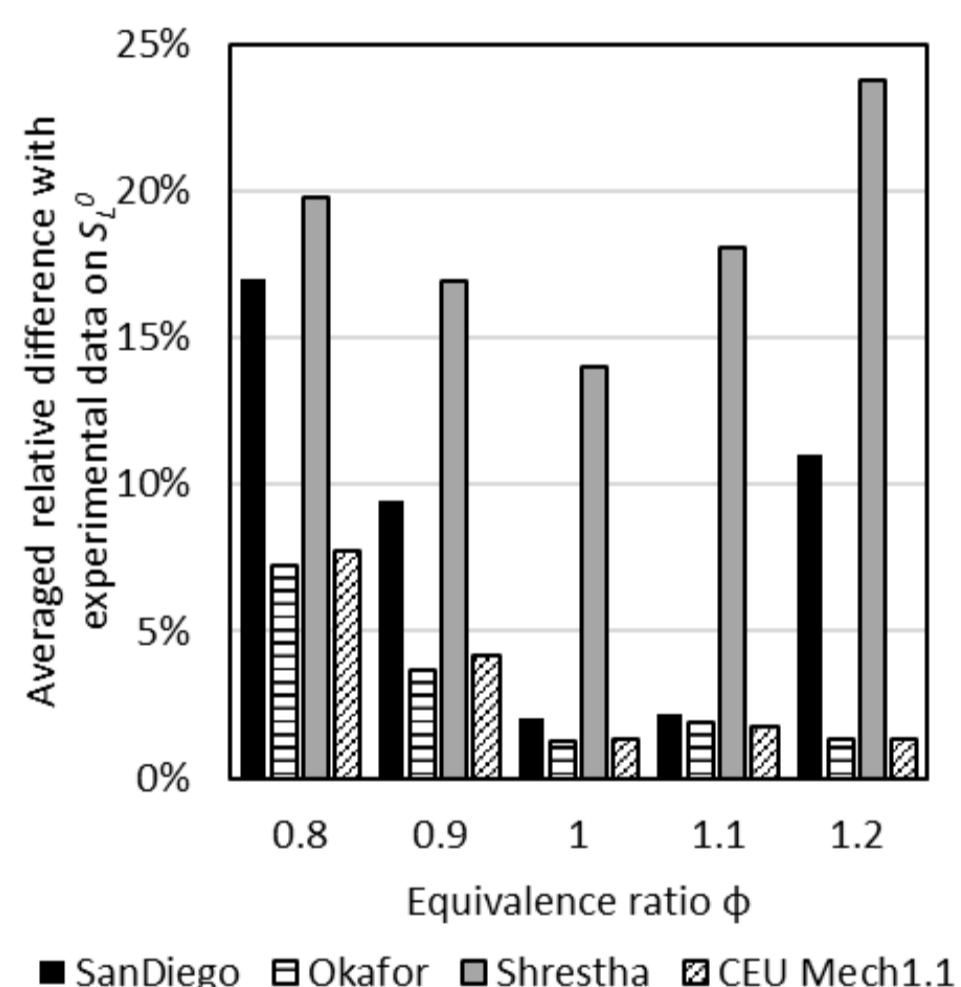


Fig. 6. Différence relative moyenne entre les mécanismes et les données expérimentales pour un biogaz 60/40 à 1 bar et T ≈ 300K issues de [5], [6], [7]

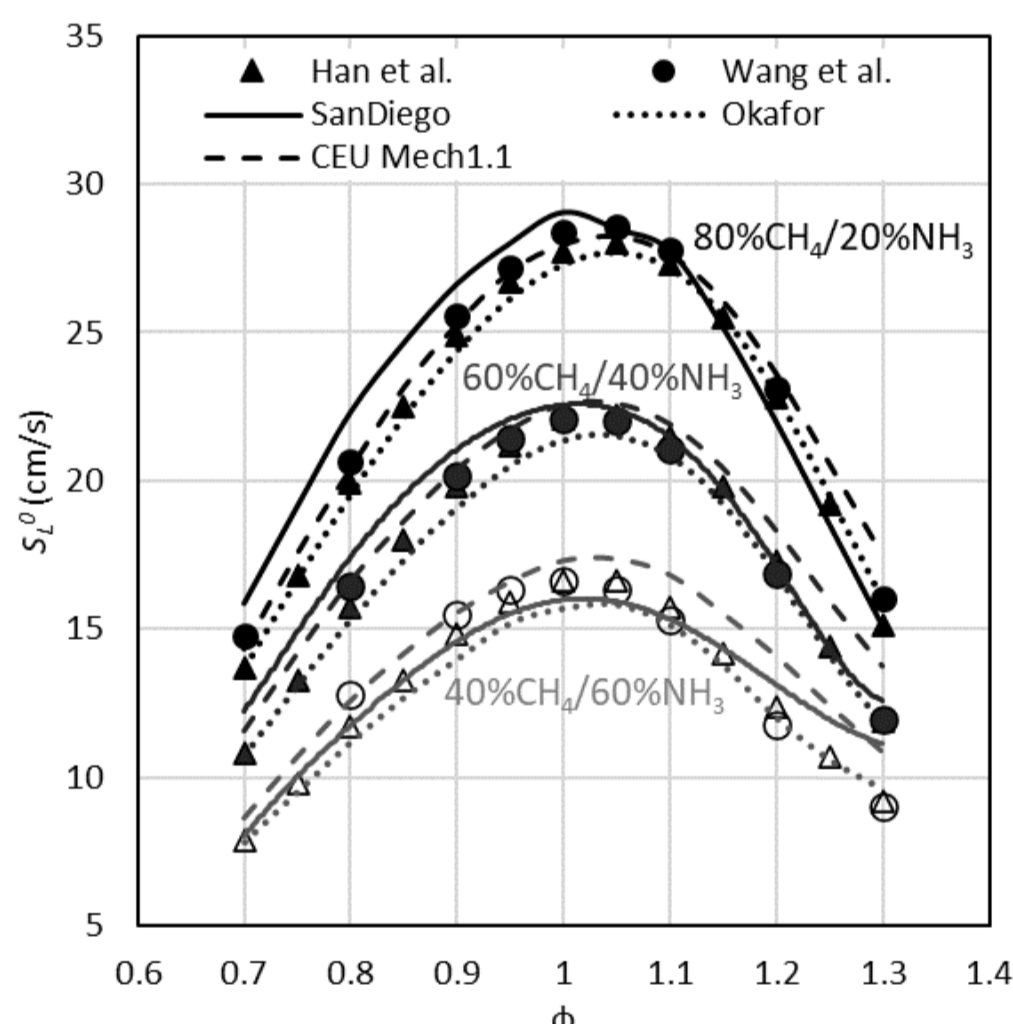


Fig. 7. Mesures de vitesses de flamme laminaire issues de [3,8] et comparaison avec les mécanismes

- Biogaz : Shrestha plus grande déviation
  - CH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> :
    - San Diego, déviation plus grande φ < 1 (20 et 40% NH<sub>3</sub>)
    - CEU meilleur en riche
    - Okafor meilleur en pauvre
- Mécanismes retenus : Okafor et CEU

### Mesures de vitesses de flamme laminaire

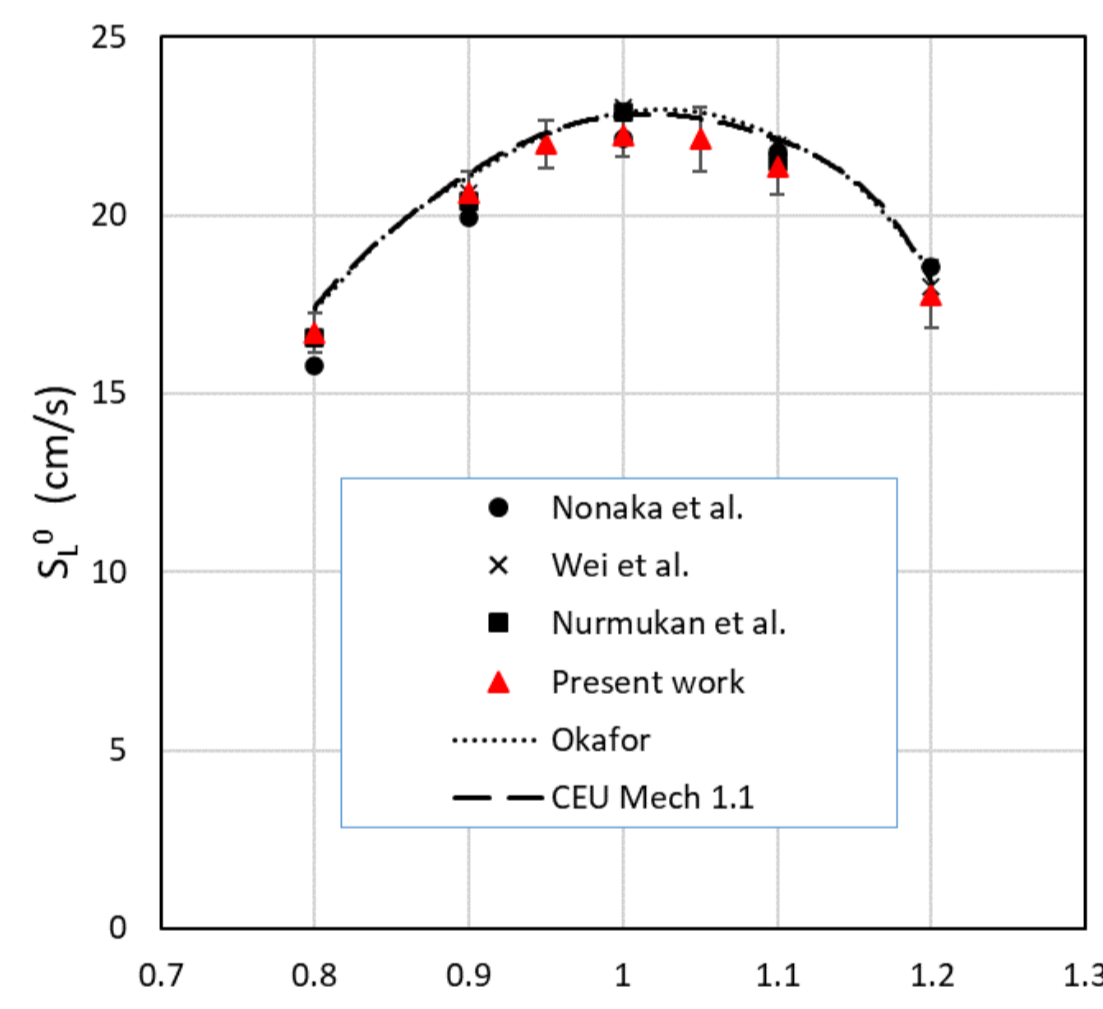


Fig. 8. Mesures de vitesses de flamme du biogaz 60/40. Comparaison avec les mécanismes et les expériences de [5], [6], [7]

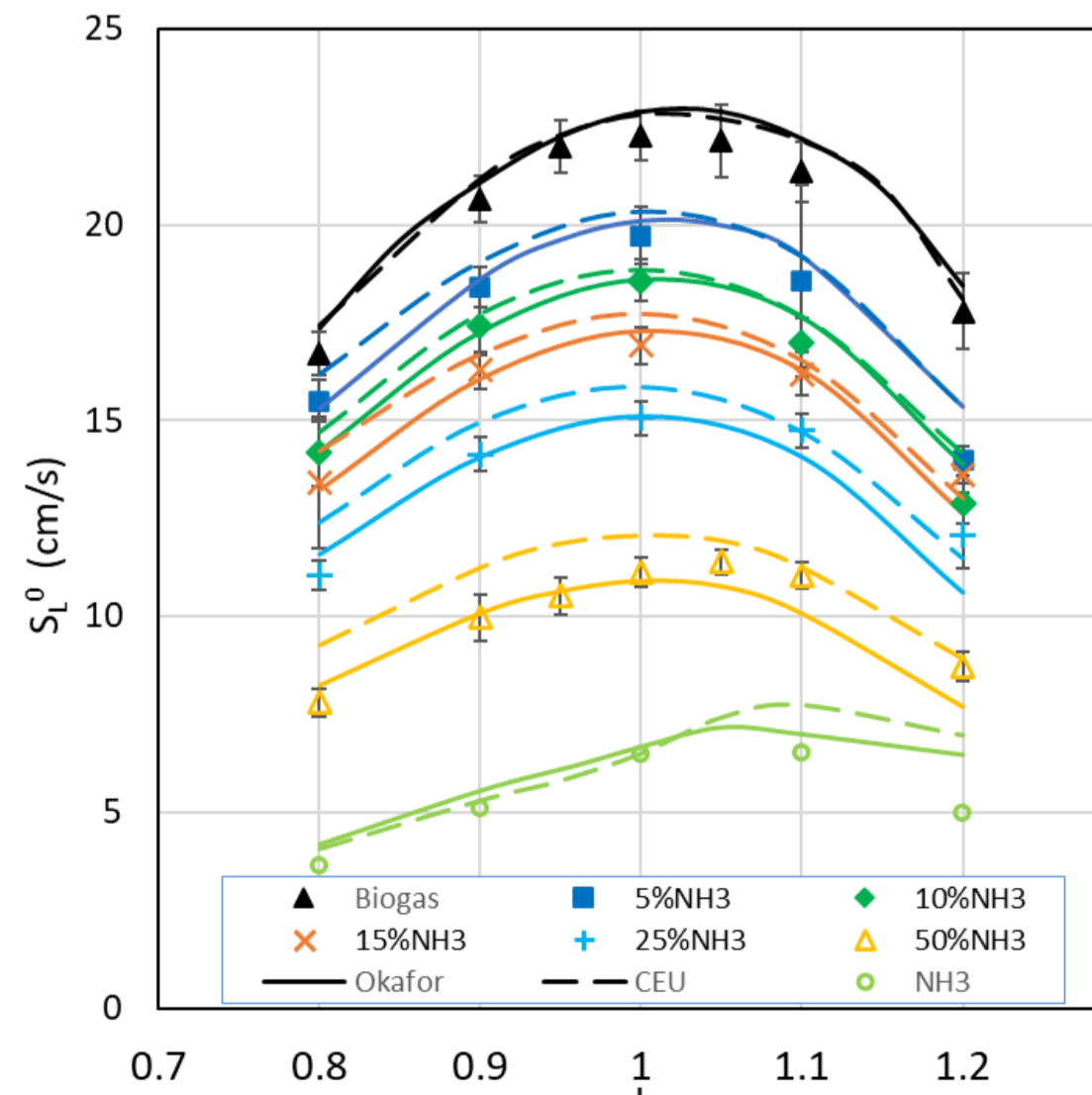


Fig. 9. Mesures de vitesses de flamme des mélange biogaz/NH<sub>3</sub> et comparaison avec les mécanismes

Mesures de vitesses pour le biogaz en accord avec la littérature et les mécanismes  
Vitesse max  $S_L^0 = 22 \text{ cm/s}$  pour  $\phi \approx 1$

- Ajout de NH<sub>3</sub> →  $S_L^0$
- Richesse pour laquelle  $S_L^0$  est max se décale légèrement vers les mélanges riches
- Tendance à vérifier pour φ = 1,2 ; 5 < %NH<sub>3</sub> < 15
- Mécanismes proches des résultats expérimentaux
- Okafor plus performant en pauvre
- CEU plus performant en riche

### Longueurs de Markstein

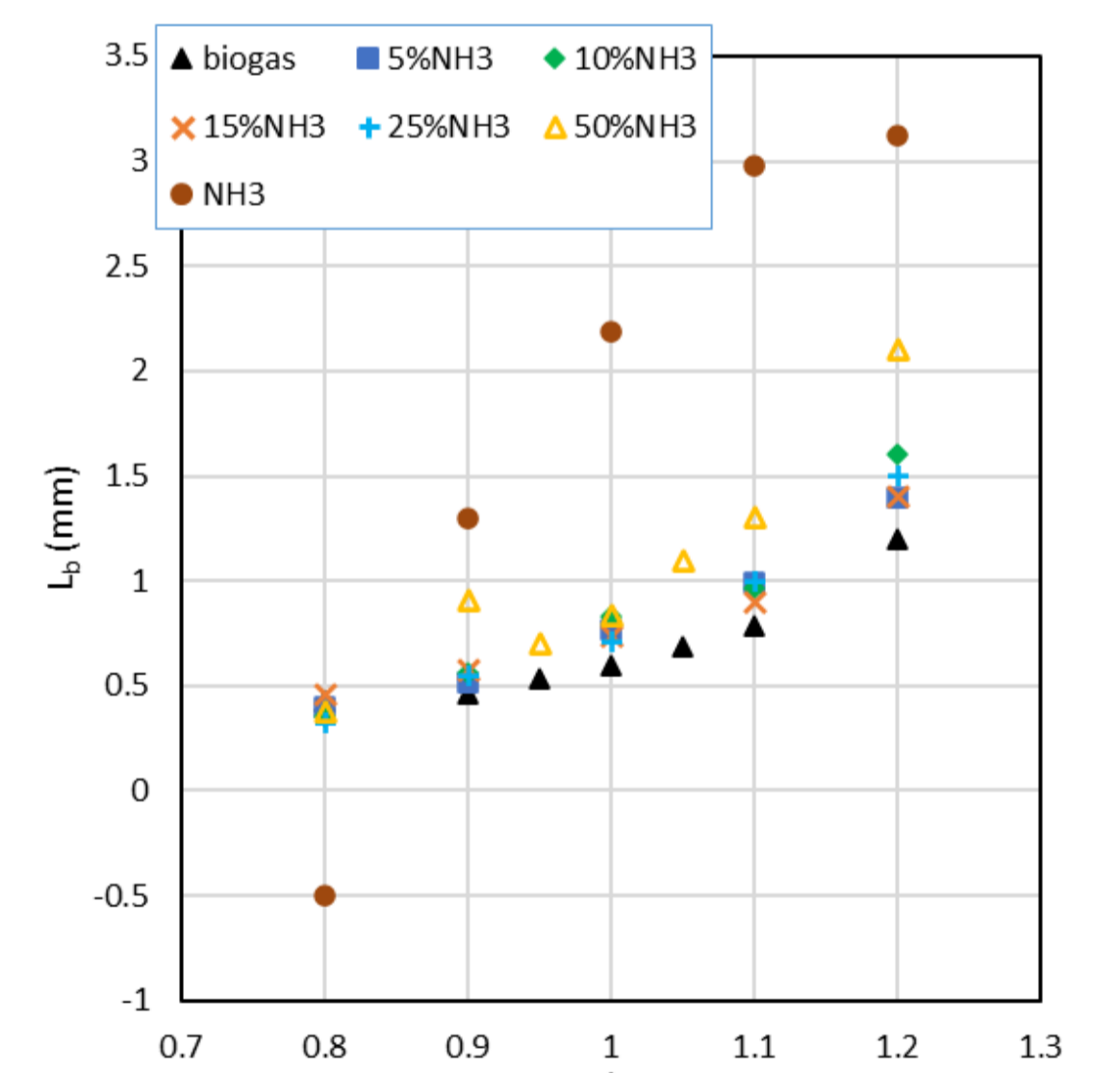


Fig. 10. Mesures de de longueurs de Markstein des mélanges biogaz/NH<sub>3</sub>

- $L_b$  peu sensible à l'ajout de NH<sub>3</sub> surtout en φ ≤ 1
- En régime riche,  $L_b$  augmente + significativement avec l'ajout de NH<sub>3</sub>
- Tendance à vérifier avec le mélange à 75%

## Conclusion/Perspectives

- Premières mesures  $S_L^0$ ;  $L_b$  pour des mélange biogaz/NH<sub>3</sub>
- Mesures pour le biogaz en accord avec la littérature
- 2 Mécanismes en bon accord avec les résultats expérimentaux pour les mélanges biogaz/NH<sub>3</sub>
- Mesures à réaliser pour 75%NH<sub>3</sub> affiner tendance  $L_b$
- Etudier l'effet du rayonnement sur la mesure (réabsorption CO<sub>2</sub>)
- Mesures à réaliser pour mélanges syngaz/NH<sub>3</sub>

## Références

- [1] E.C. Okafor et al., Combust. Flame. 187 (2018) 185–198.
- [2] K.P. Shrestha et al., Energy & Fuels. 32 (2018) 10202–10217.
- [3] S. Wang et al., Combust. Flame. 236 (2022) 111788.
- [4] Univ. Calif. San Diego. Mechanical Aerosp. Eng. (Combustion Res. (2016). <http://web.eng.ucsd.edu/mae/groups/combustion/mechanism.html>.
- [5] H.O.B. Nonaka, F.M. Pereira, Fuel. 182 (2016) 382–390
- [6] Z. Wei et al., Int. J. Hydrogen Energy. 44 (2019) 22240–22249
- [7] D. Nurmukan et al., Int. J. Energy Res. 44 (2020) 1519–1534
- [8] X. Han et al., Combust. Flame. 206 (2019) 214–226.