

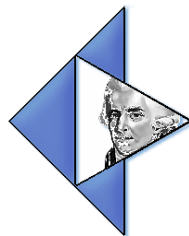
*GDR incendie, 30 Juin et 1 Juillet 2011*

# Etude de la combustion des gaz de dégradation et des polluants atmosphériques dans le cadre des feux de forêt

Yolanda Pérez, Paul-Antoine Santoni, Valérie Leroy-Cancellieri, Eric Leoni



UMR CNRS SPE 6134



Università di Corsica

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE  
**ANR IDEA**

# Plan

- Introduction
- Influence des gaz de dégradation sur les polluants
- Schéma réactionnel global
- Conclusions

# Introduction

## Contexte

- Projet **ANR IDEA**

Incendies de forêts : simulation de la **dynamique** et des **émissions atmosphériques** par couplage de code

## Objectifs

- Etudier **l'influence de la composition** d'un **mélange simplifié** pour les gaz de dégradation sur **l'émission des polluants**
- Modéliser la **cinétique chimique** à partir d'un **modèle global**

# Végétation

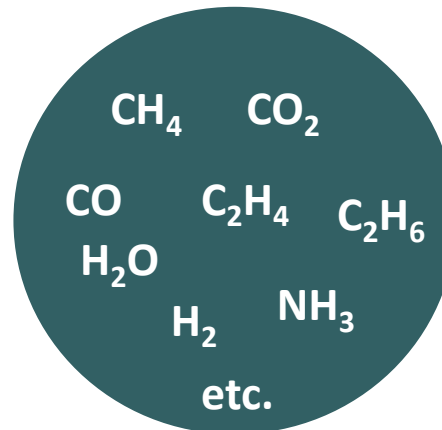


Composition élémentaire

**CHON**

Dégradation  
thermique

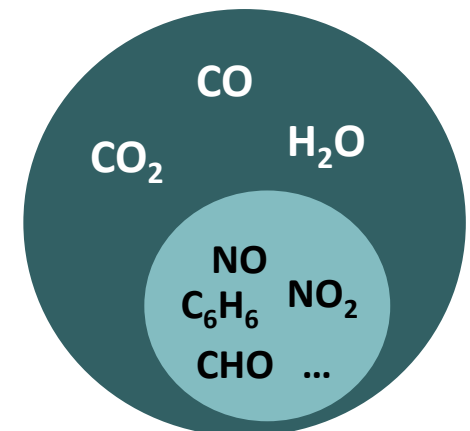
## Gaz de dégradation



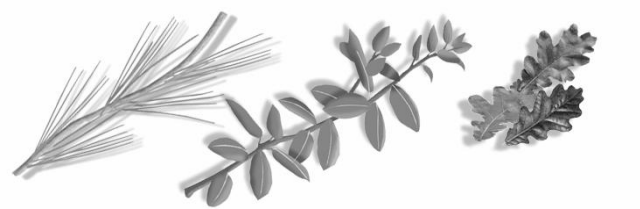
Oxydation



## Emissions gazeux



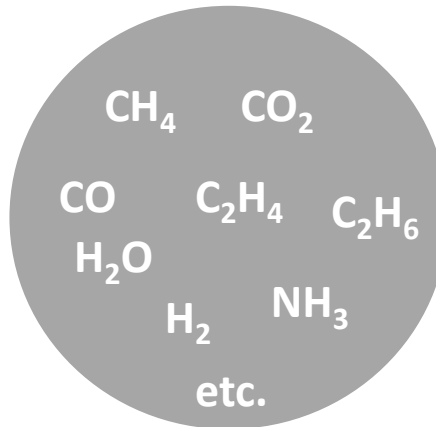
# Végétation



Composition élémentaire  
**CHON**

Dégradation  
thermique

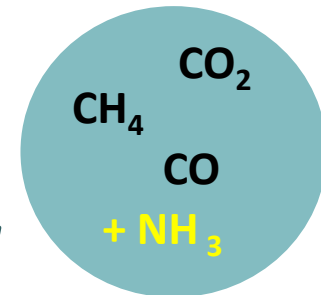
Gaz de  
dégradation



Oxydation

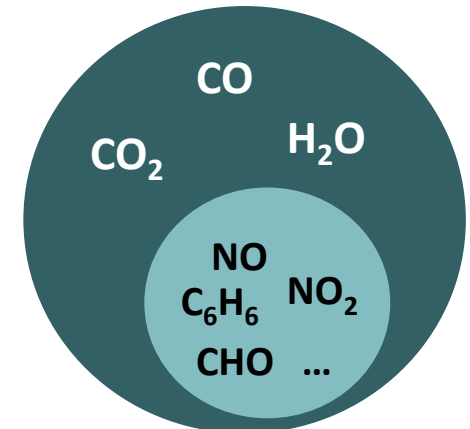


Mélange simplifié



Oxydation 

Emissions  
gazeux



# Influence des gaz de dégradation sur les polluants

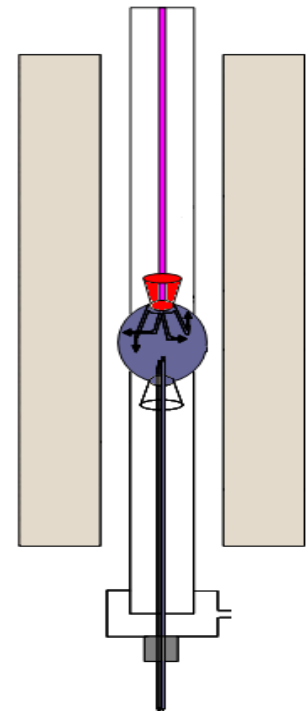
- L'outil utilisé pour l'étude cinétique est le **code PSR de Chemkin** qui permet l'étude de la **combustion de la phase gazeuse**
- Mécanisme détaillé: **GDF-kin 3.0**
- Le **mélange initial de gaz de dégradation** choisi :

Espèce	% Fraction molaire
CO	30.5
CO <sub>2</sub>	51.1
CH <sub>4</sub>	18.4

- Energie de combustion de ce mélange: **9.000 kJ/kg**
- La combustion de ce mélange a déjà été **étudiée expérimentalement** en réacteur parfaitement agité (**Leroy, 2007**)

# Influence des gaz de dégradation sur les polluants

- **Conditions caractéristiques** de la combustion du mélange gazeux rencontrée lors d'un feu de forêt
  - **Température:** 773 à 1273 K
  - **Richesse:** 0,6 - 1 - 1,4
- Ces **mêmes conditions** ont été utilisées pour les **expérimentations** en réacteur parfaitement agité
- Le **mélange est dilué** 9 fois pour éviter les gradients de température au sein du réacteur



# Influence des gaz de dégradation sur les polluants

## Effet de l'azote sur la formation des polluants

- Le processus de formation des oxydes d'azote fait intervenir **3 mécanismes principaux** nommés:
  - NO précoce
  - NO thermique
  - NO du combustible
- Selon la littérature et nos conditions **le mécanisme prépondérant** est le NO du **combustible**
- La **fraction volatile émise** comprends principalement **HCN et NH<sub>3</sub>**



# Influence des gaz de dégradation sur les polluants

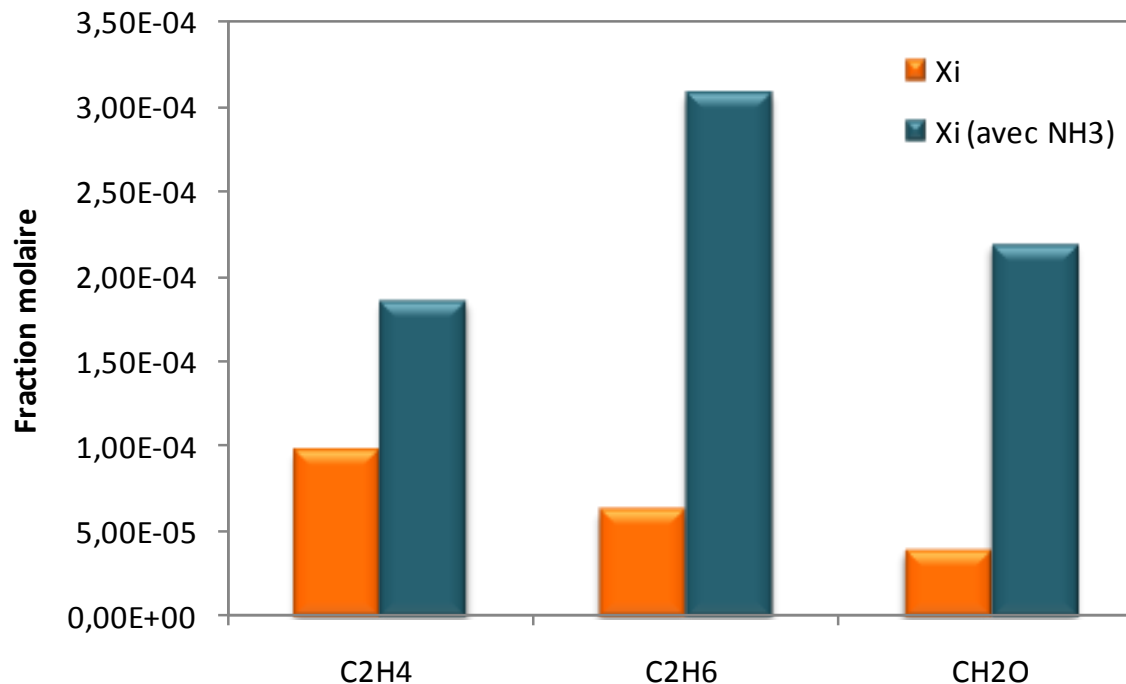
## Effet de l'azote sur la formation des polluants

- La littérature révèle que la **formation de NO** est **peu influencée** par la nature de **l'espèce introduite** (HCN ou  $\text{NH}_3$ ) mais est **fortement dépendante des conditions locales de combustion** (température, richesse et pourcentage d'azote)
- **$\text{NH}_3$**  a été sélectionné comme **le composé émis lors de la dégradation**
  - Pas d'introduction de carbone supplémentaire
  - Possibilité de réaliser des expériences
- D'après les résultats fournis par **l'analyse élémentaire** nous avons choisi d'introduire **0,23% de  $\text{NH}_3$**  dans le mélange initial

# Influence des gaz de dégradation sur les polluants

## Effet de l'azote sur la formation des polluants

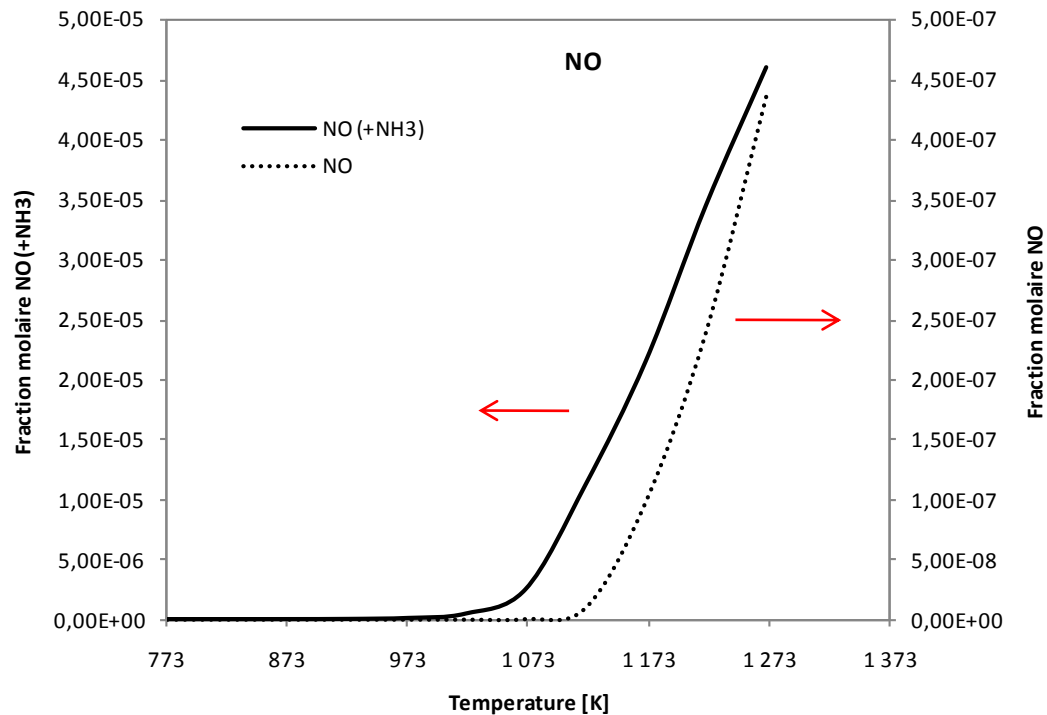
- Effet sur certaines espèces polluantes



# Influence des gaz de dégradation sur les polluants

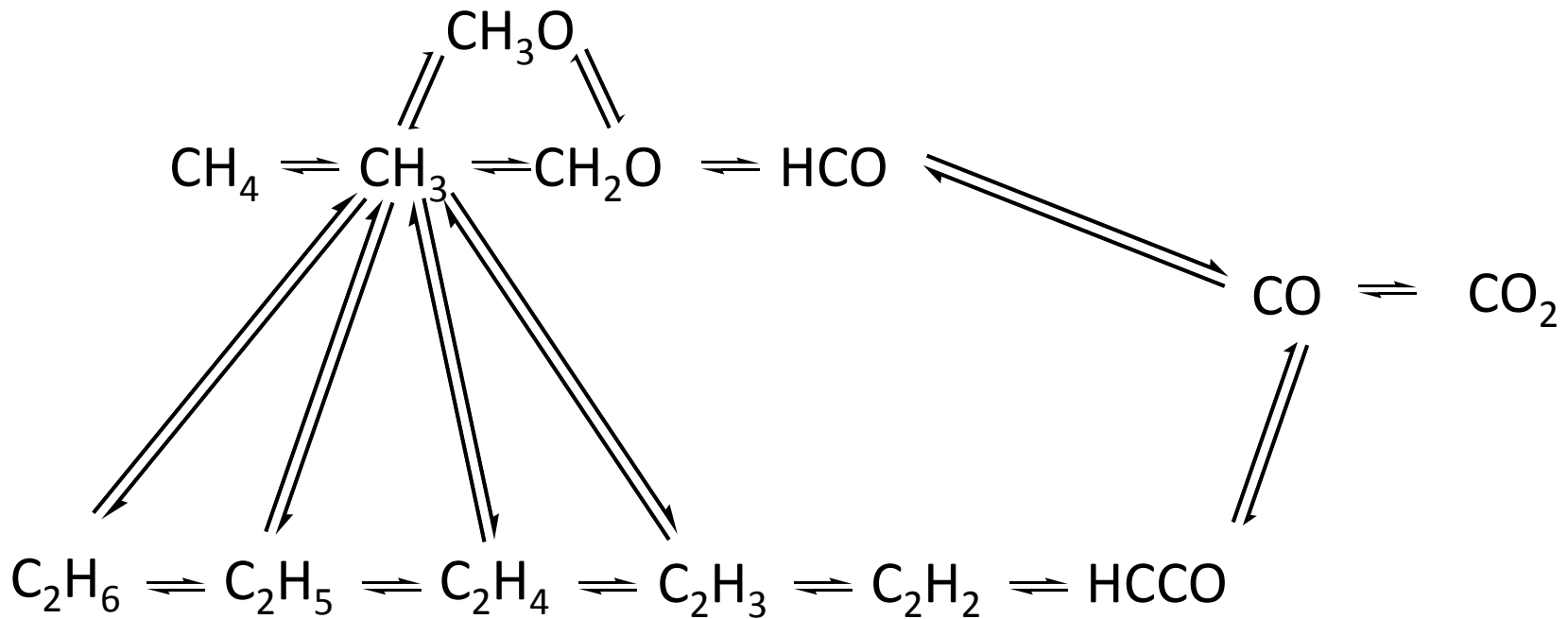
## Effet de l'azote sur la formation des polluants

- Effet sur la production du NO



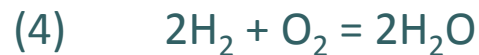
# Schéma réactionnel global

- Il est par ailleurs important de disposer de modèles globaux de cinétique pour ces mélanges de dégradation
- Mécanisme de **Revel et al. (1994)**



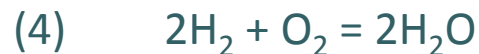
# Schéma réactionnel global

- Mécanisme de **Revel et al. (1994)**
  - Développé pour reproduire le retard a l'allumage
  - T initial 900 K, mélange CH<sub>4</sub>/air, richesse 0.5 – 2.0



# Schéma réactionnel global

- Mécanisme de **Revel et al. (1994)**
  - Développé pour reproduire le retard a l'allumage
  - T initial 900 K, mélange CH<sub>4</sub>/air, richesse 0.5 – 2.0

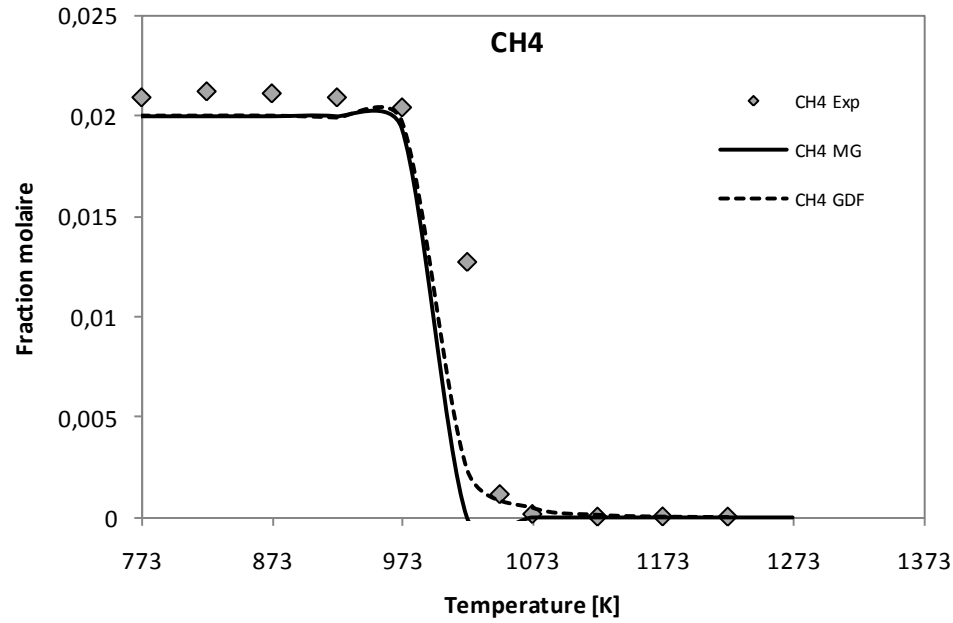


→ **Partie CH<sub>4</sub>/CO**

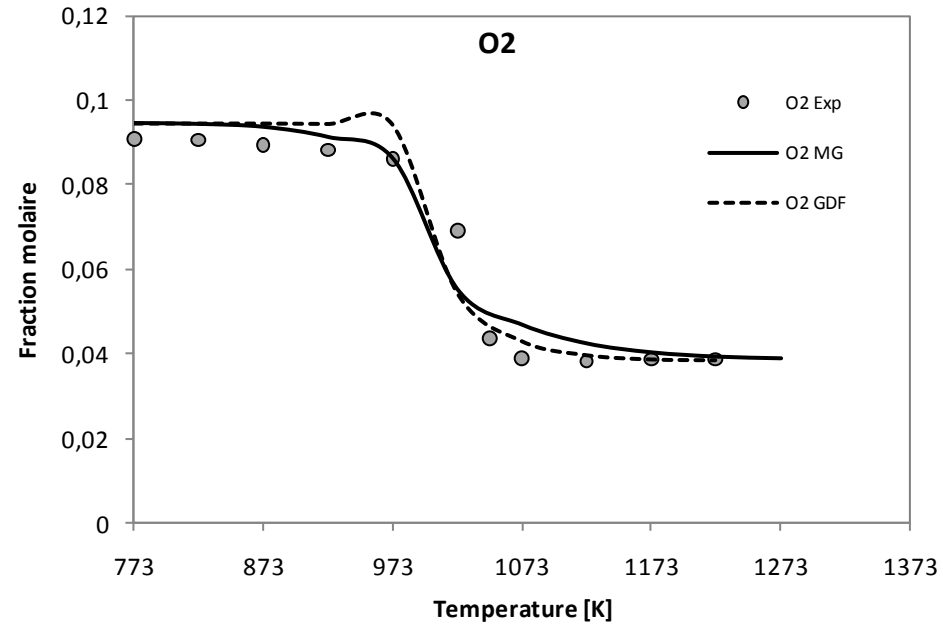
**Test et Calage du modèle en fonction des concentrations de CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> obtenues expérimentalement**

Richesse = 0.6

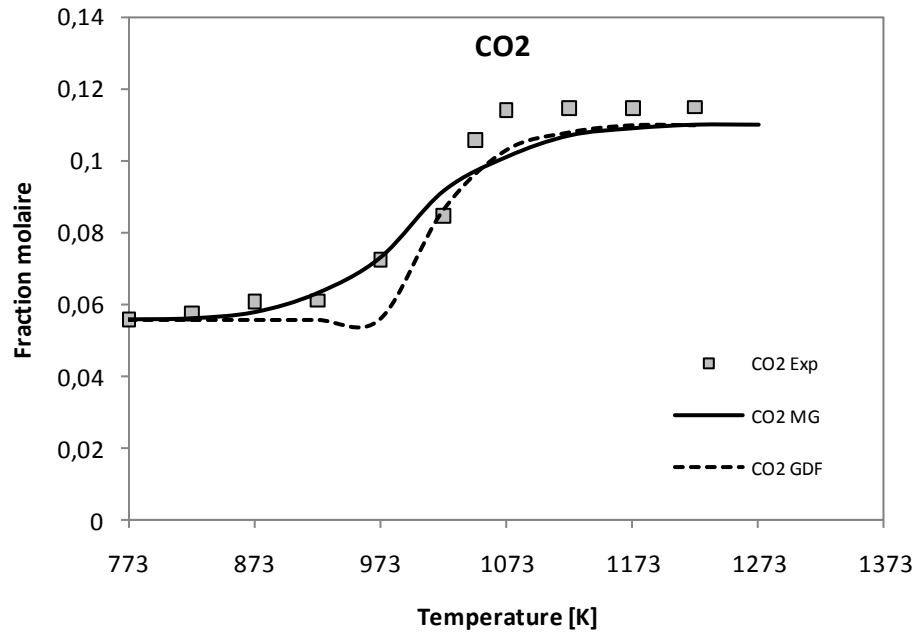
CH<sub>4</sub>



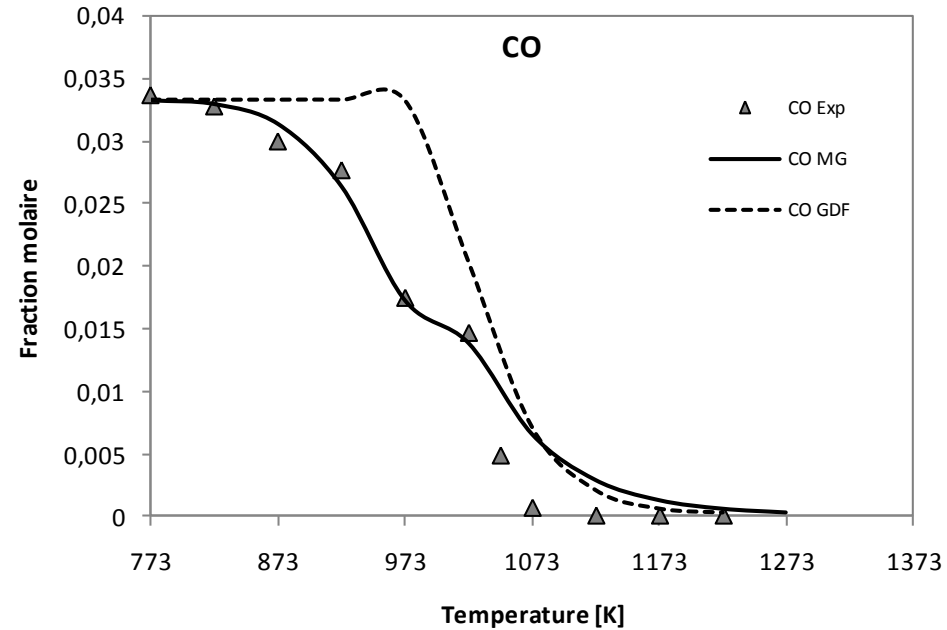
O<sub>2</sub>



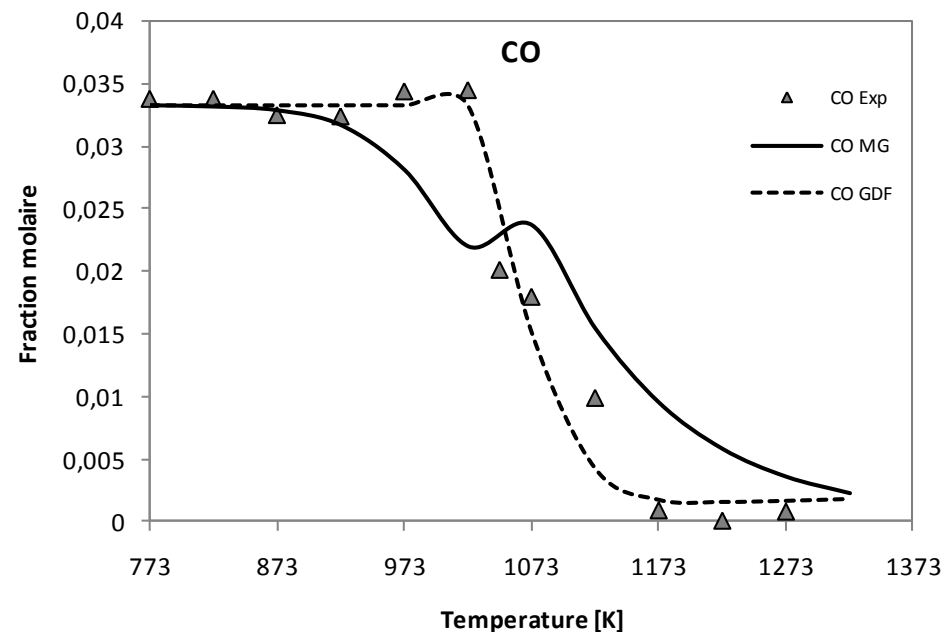
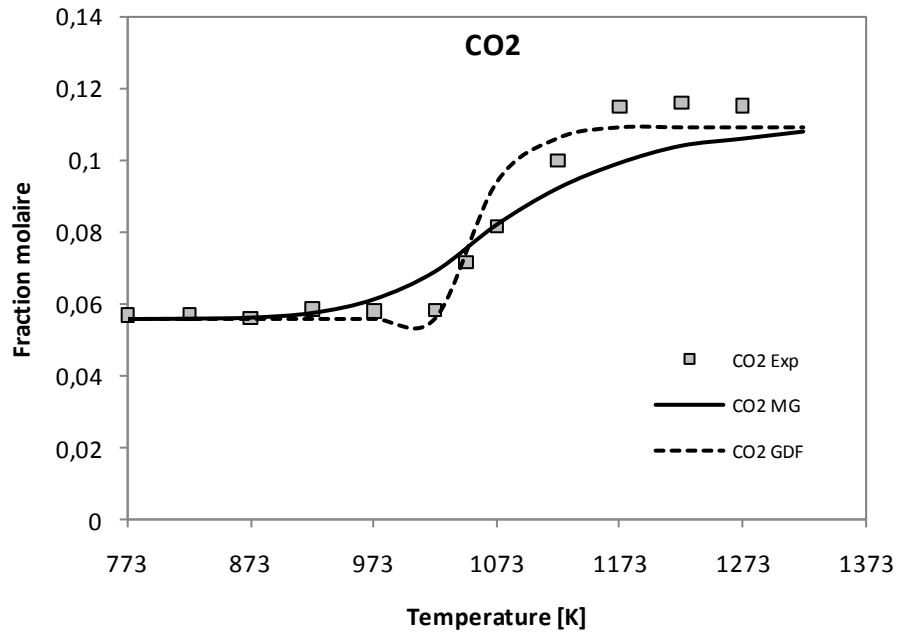
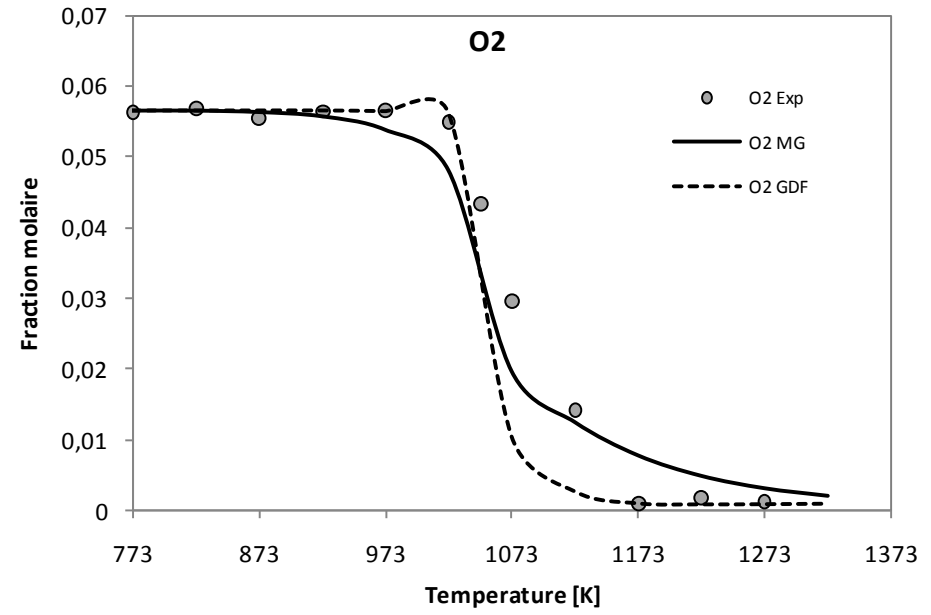
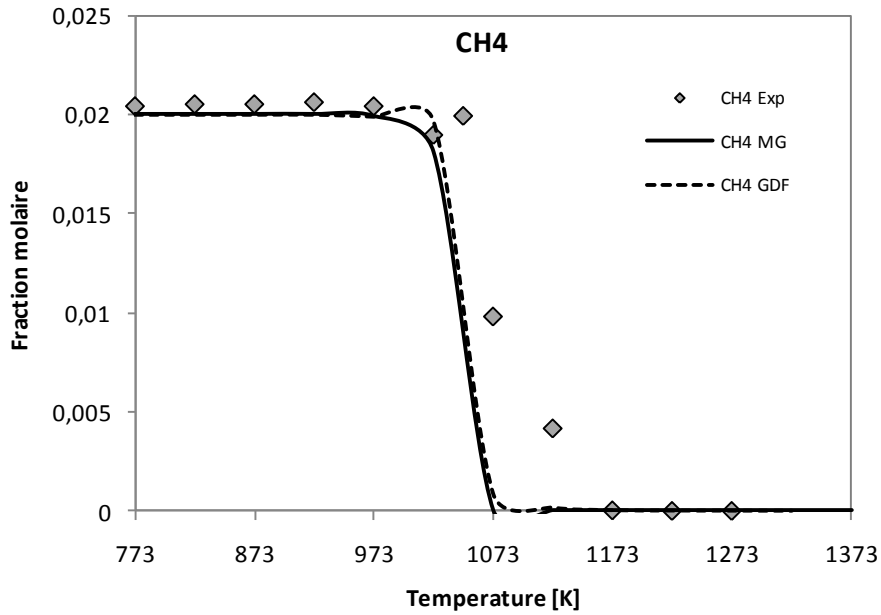
CO<sub>2</sub>



CO

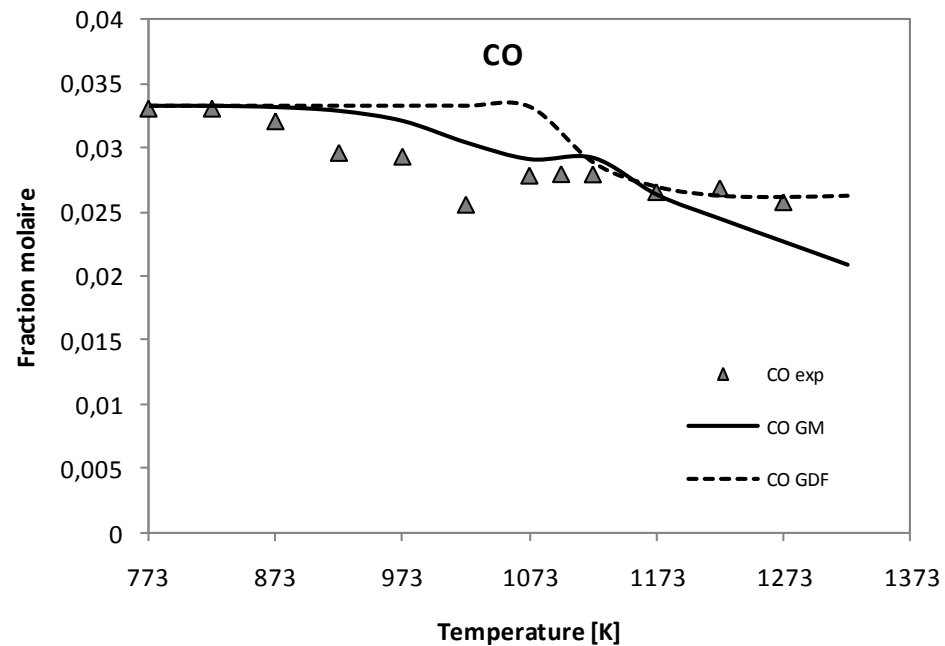
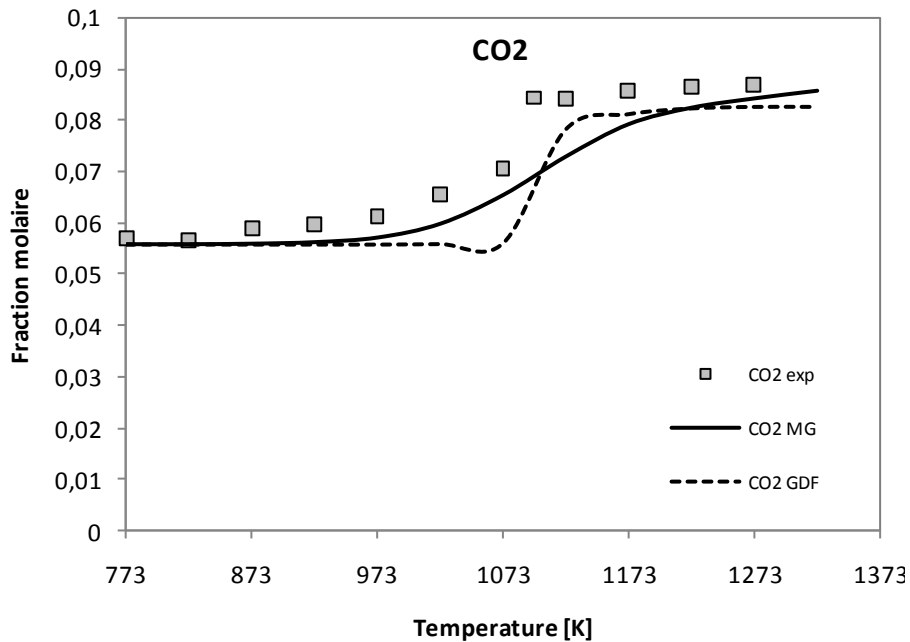
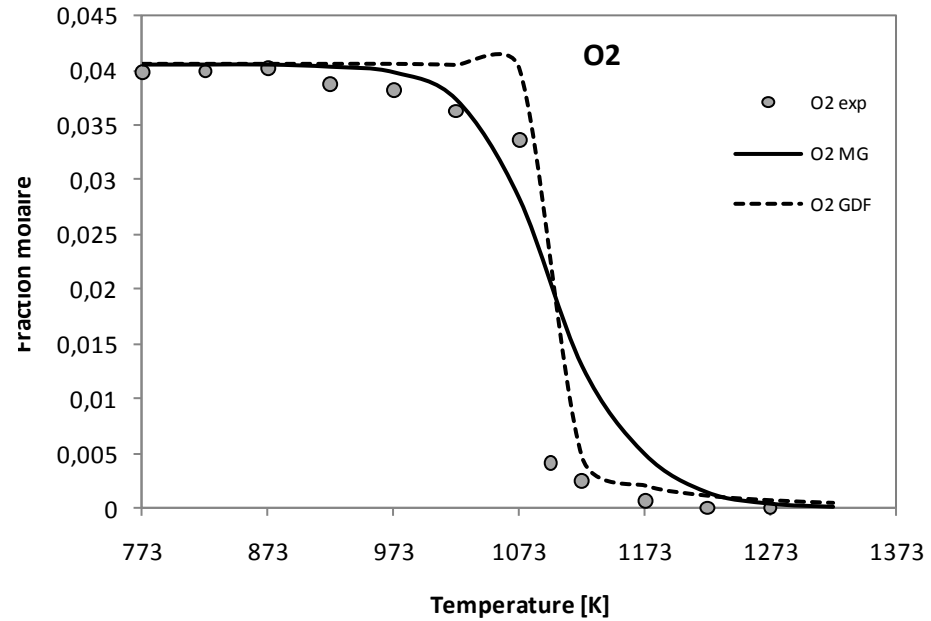
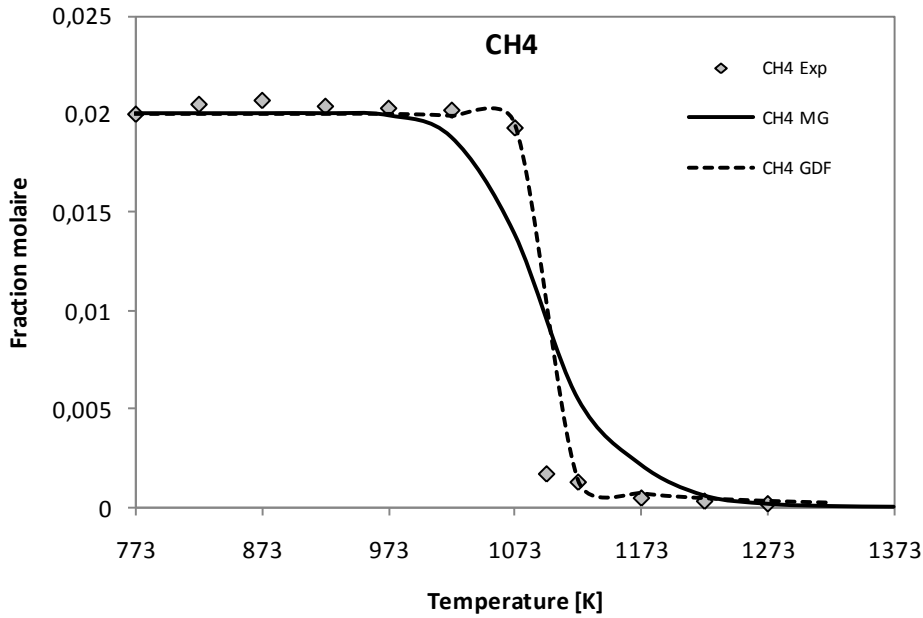


## Richesse = 1.0



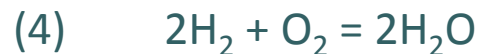


Richesse = 1.4



# Schéma réactionnel global

- Mécanisme de **Revel et al. (1994)**
  - Développé pour reproduire le retard a l'allumage
  - T initial 900 K, mélange CH<sub>4</sub>/air, richesse 0.5 – 2.0

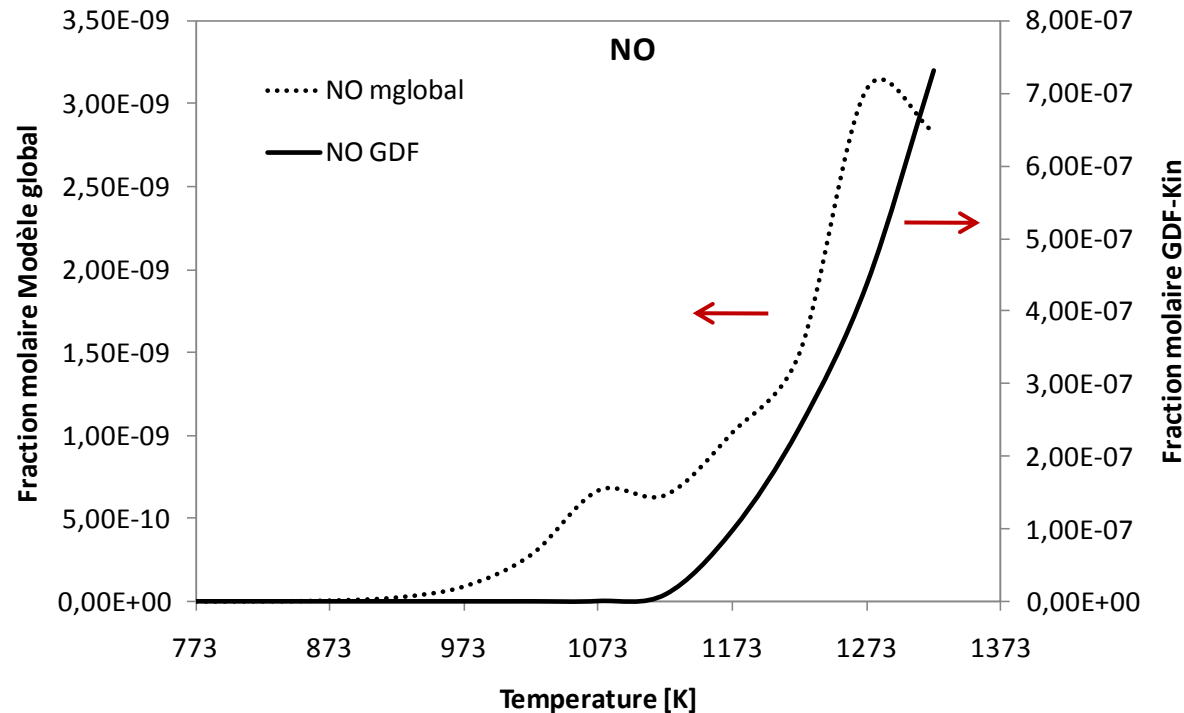


→ **Partie NO**

**Test et mis en défaut du modèle**  
en fonction des valeurs  
obtenues par **simulation**

## Schéma réactionnel global: Partie NO

- En comparaison avec la simulation réalisée avec GDF-Kin le **modèle global sous-estime fortement** la production de **NO**



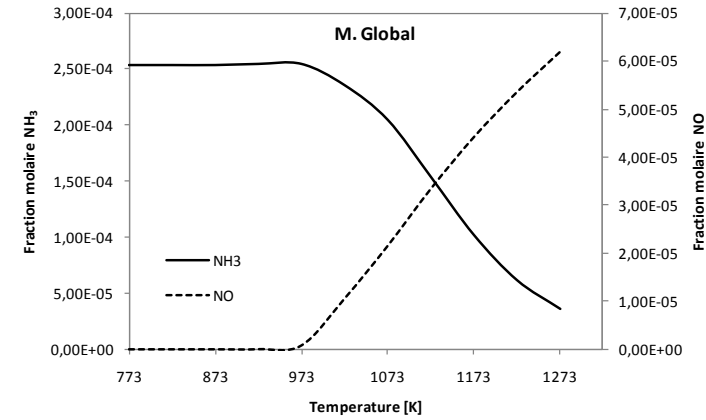
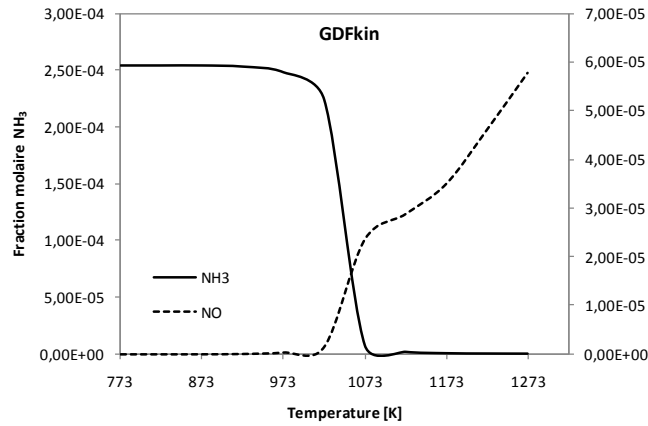
## Schéma réactionnel global: Partie NO

- Pour mieux prendre en compte la **formation de NO** provenant de **l'azote du combustible**, on peut introduire le **NH<sub>3</sub>** dans le modèle global
- **L'oxydation du NH<sub>3</sub>** conduit principalement à la **formation** de deux produits stables, **le NO et le N<sub>2</sub>**
- Cette oxydation peut être modélisée en **2 étapes** (De Soete (1975) et Mitchell & Tarbell (1982))

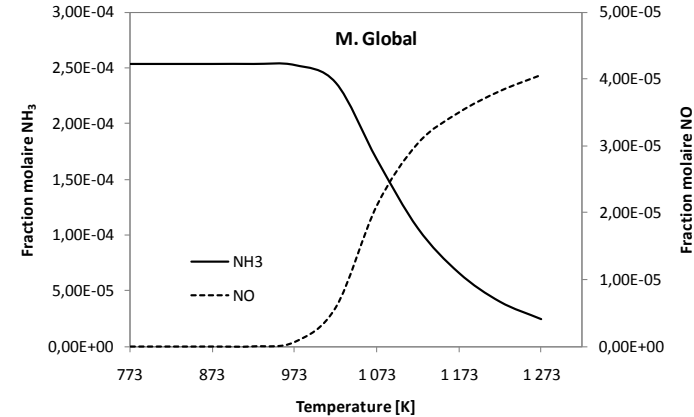
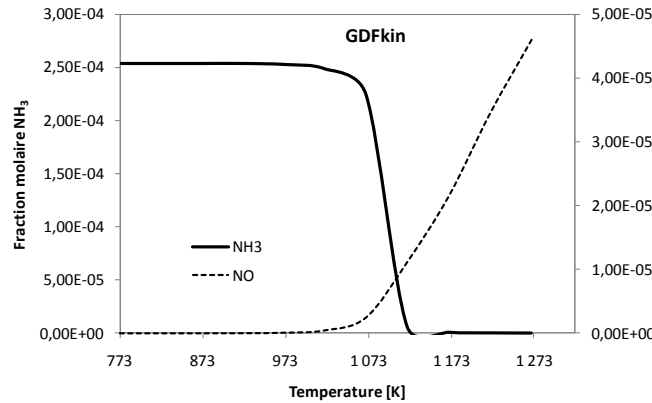


- **Calage du modèle** en fonction des **concentrations de NO et NH<sub>3</sub>** obtenues avec **GDF-kin** (pour le mélange gazeux contenant du NH<sub>3</sub>)

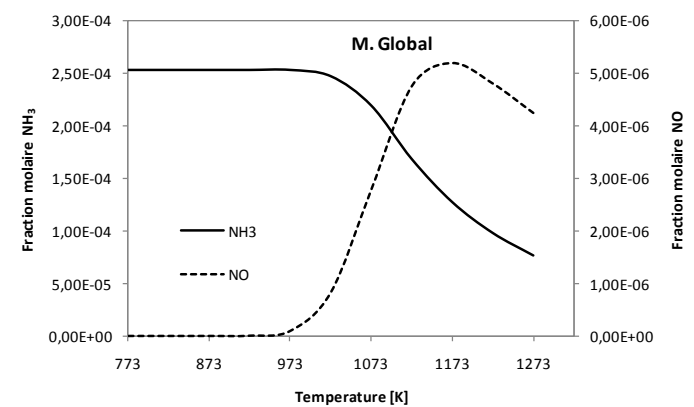
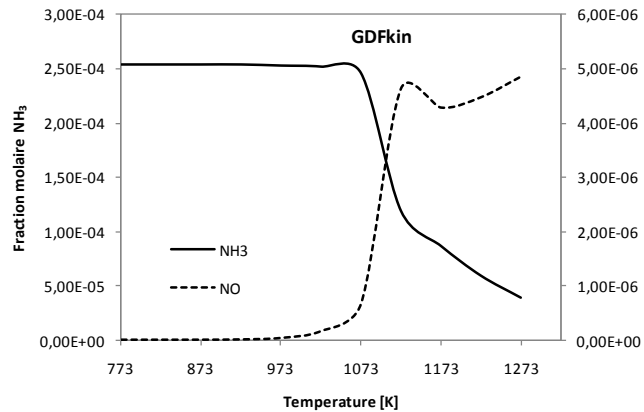
Richesse = 0.6



Richesse = 1.0



Richesse = 1.4



# Conclusions

- Mécanisme de combustion à 5 étapes :
  - Bonne estimation de la consommation des réactifs et de la production de  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ . Important pour la détermination du rayonnement
  - Validation du modèle dans des conditions de mélange plus énergétique (14000 KJ/Kg)
  - Fonctionnement limité par le rapport de concentration  $\text{CH}_4/\text{CO}$  du mélange gazeux simplifié
- Mécanisme de production de NO (N du combustible):
  - Obtention de données expérimentales pour comparaison et validation du modèle

## Contributeurs

- Darabiha Nasser (Modèle cinétique)
- Laboratoire P' (Expérimentation PSR)

## Remerciements

- Ce travail a été financé par l'ANR, projet IDEA ANR-09-COSI-006 et par le *CNRS*

**Merci de votre attention**

# Introduction: Les gaz de dégradation

- La dégradation thermique de la végétation conduit à la formation d'un **mélange gazeux combustible**
- Le **mélange de gaz de dégradation** est formé par une **grande quantité d'espèces chimiques**
- **L'oxydation de ce mélange** au contact de l'air libère de **l'énergie nécessaire** pour alimenter la **propagation du feu**
- Il est généralement admis qu'un **mélange simplifié** peut être utilisé pour **représenter leur combustion**