

# Colloque énergies 2012

## Lyon – 12/01/2012



**DICO** - Combustion de diffusion

**Projet ANR-09-VTT-06-01**

Bruno GRIFFATON  
VOLVO POWERTRAIN

# DICO – Fiche d'identité du projet

Titre : **D**iffusive **CO**mbustion – Combustion de diffusion

Partenaires :



Date de début du projet : 01/10/09

Date de fin du projet : 30/09/12 (report de 1 an acté par ANR)

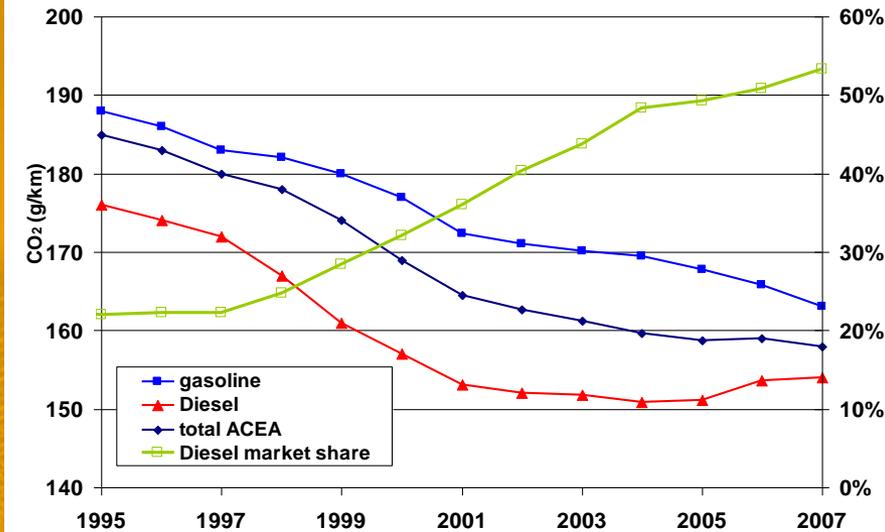
Budget total : 1669 k€      Aide accordée : 651 k€

Labellisation par les pôles de compétitivité suivants :



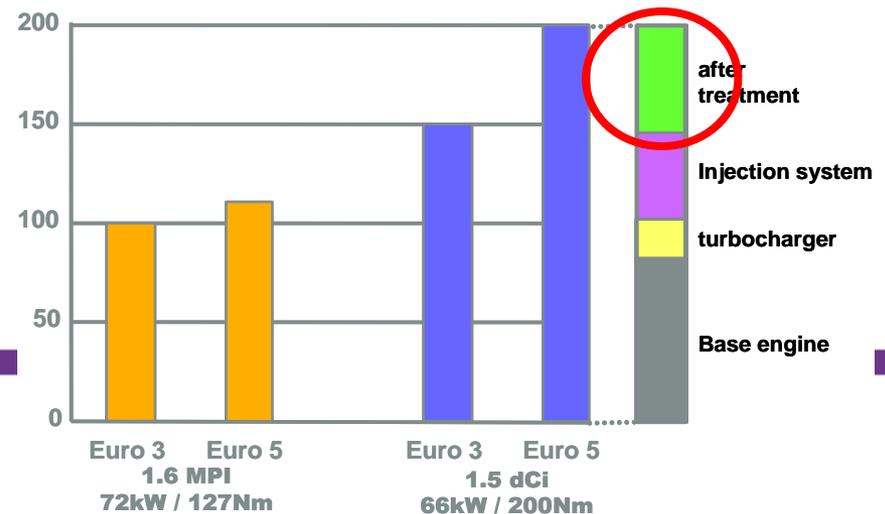
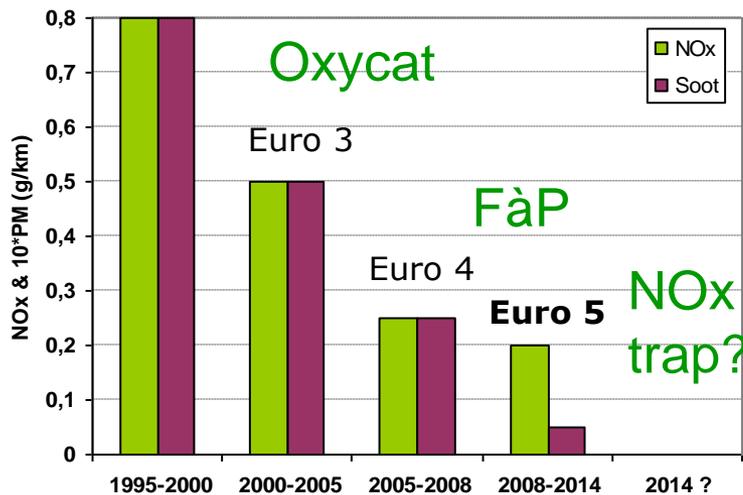
# Rappel du contexte et des enjeux (1/2)

## Les enjeux du moteur Diesel ? Exemple du VP :



- Pérenniser le succès du Diesel (~2/3 des ventes VP de Renault) et sa contribution à la réduction de CO<sub>2</sub> & conso client
- Réduire les émissions polluantes tout en maîtrisant le coût du post-traitement

**→ L'optimisation du système de combustion est une des voies pour répondre à cet enjeu**



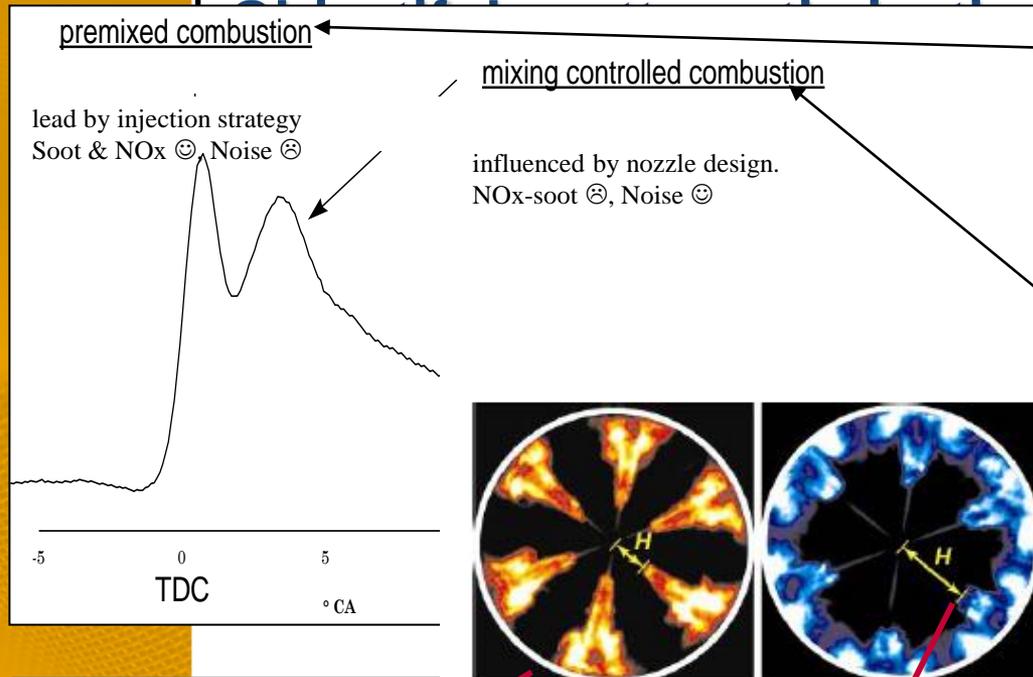
## Rappel du contexte et des enjeux (2/2)

**Objectif de cette optimisation du système de combustion**

**=**

**Réduire les émissions à la source**

# Rappel du contexte et des enjeux (2/2)

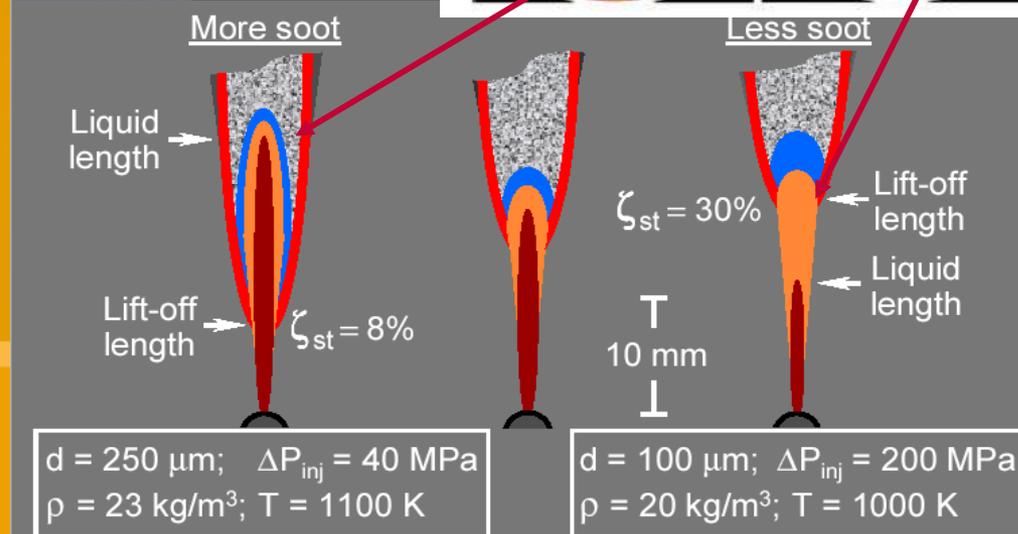


## Fait jusqu'à maintenant :

- Développement de la combustion de prémélange > travaux "HCCI" / LTC (charges faibles et moyennes)

## Reste à travailler davantage:

- Amélioration de la combustion de diffusion (charges moyennes et fortes) > optimisation des buses d'injecteur et adaptation de la chambre

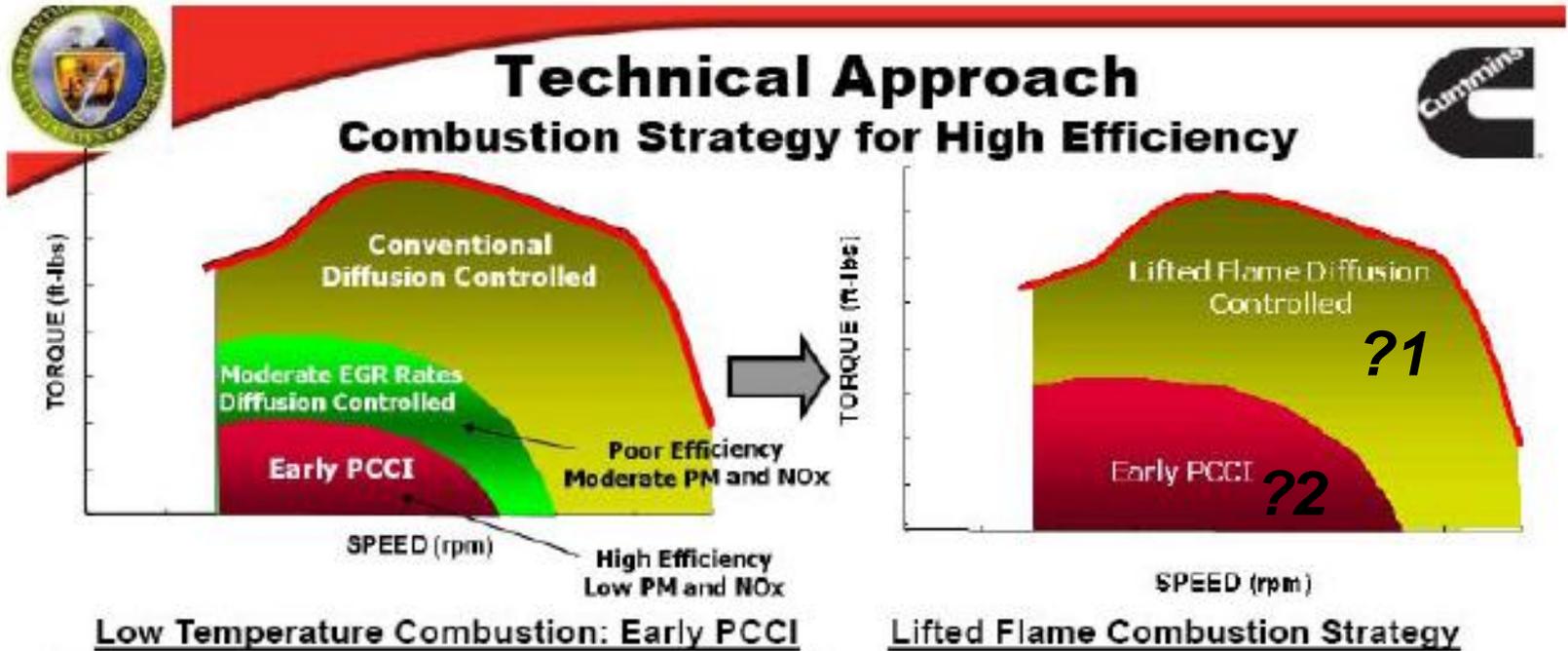


⇔ **DICO**... par le biais de la « combustion liftée » (⇔ séparation « zone de combustion » / « cœur liquide du jet ») susceptible de permettre une **combustion diffusive sans suies**

Cf. trvx @SANDIA National Laboratories & DIAMANP (PREDIT3 VPE) .

# Objectifs du projet – Quelles questions posées ?

Source = Cummins – DEER  
Conference – Aout 2007



**Combustion de diffusion par flamme « liftée »** ⇔ Une approche complémentaire au HCCI pour améliorer le compromis « NO<sub>x</sub> – IOF » aux charges moyennes & élevées

→ Questions principales auxquelles DICO doit répondre :

?1- Potentiel de la comb. de diffusion « liftée » (LFDC) à moyennes & fortes charges ?

?2- Impact sur le fonctionnement en zone HCCI à plus faibles charges ?

⇔ *les besoins de la combustion de diffusion « liftée » en terme de « définition technique » sont-ils compatibles avec les besoins d'un fonctionnement HCCI ?*

# Défis scientifiques / technos & retombées prévisibles

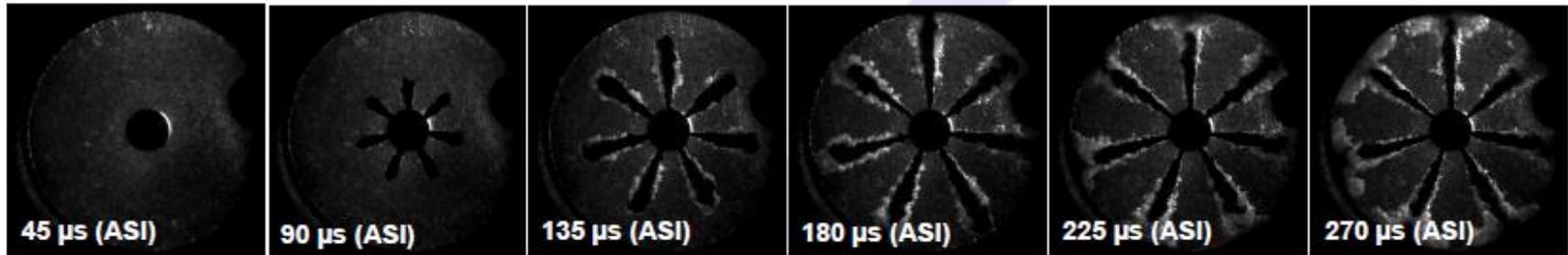
- Faisabilité de buses à faibles diamètres & grand nombre de trous
- Identifier le système de combustion associé.
- Avoir des moyens de visualisations représentatifs du fonctionnement moteur (densité, niveau de charge, pression d'injection) lié au concept
- Améliorer les connaissances sur la combustion de diffusion
- Améliorer les connaissances sur la formation du mélange **avec des buses à faible diamètre de trou** en utilisant des techniques optiques évoluées dans des conditions similaires au moteur
- Évaluer et comprendre l'impact des **fortes pressions d'injection (>2000 bars)** sur la formation du mélange
- Définir de **nouveaux critères de dimensionnement** des systèmes de combustion (buse, chambre) **VP et VI** permettant de réduire NOx, particules sous contrainte CO2 et bruit
- Maintenir la compétitivité et le leadership de Delphi en injection, du CERTAM et de l'IFPEN dans les diagnostics optiques et de Renault & Volvo Powertrain dans le domaine des moteurs VP / PL.

# Illustration de résultats obtenus (1/6)

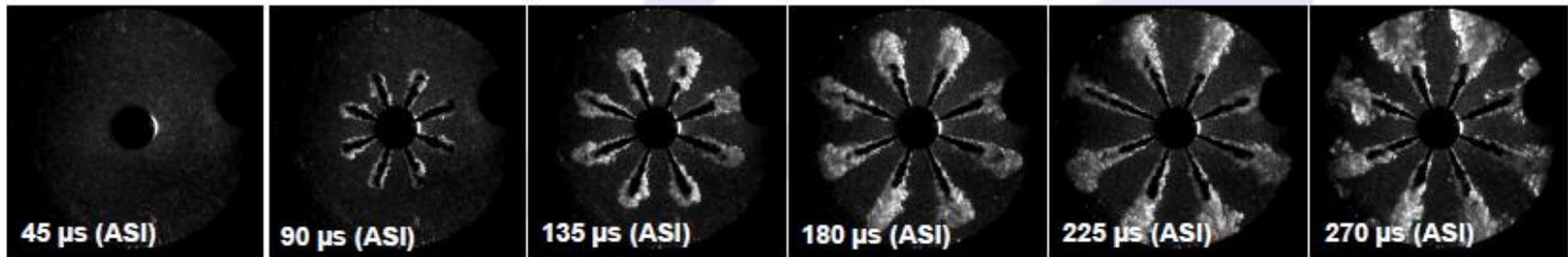
**MCR @CERTAM : impact «taille de trous» sur la vapeur – Buses PL**

Inj P = 2750 bar ; SOE = 8 CA BTDC

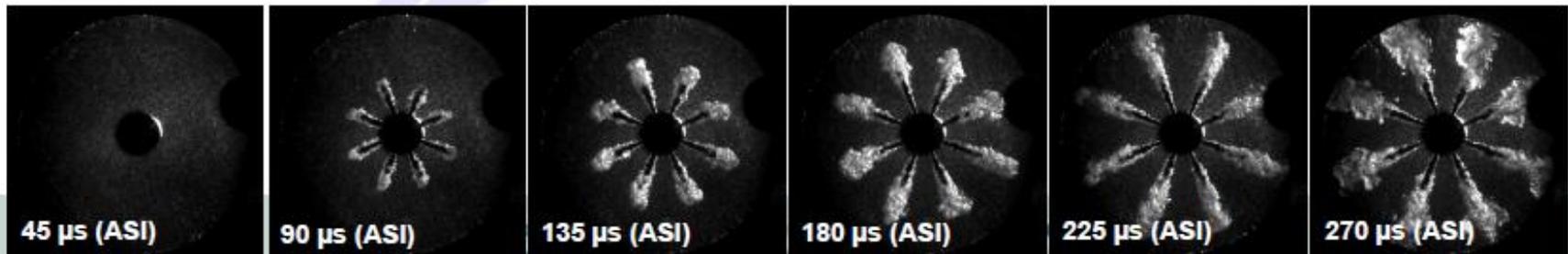
## 7 holes ( $\Phi=191 \mu\text{m}$ ) : NOZZLE 1



## 8 holes ( $\Phi=120 \mu\text{m}$ ) : NOZZLE 2



## 8 holes ( $\Phi=80 \mu\text{m}$ ) : NOZZLE 3



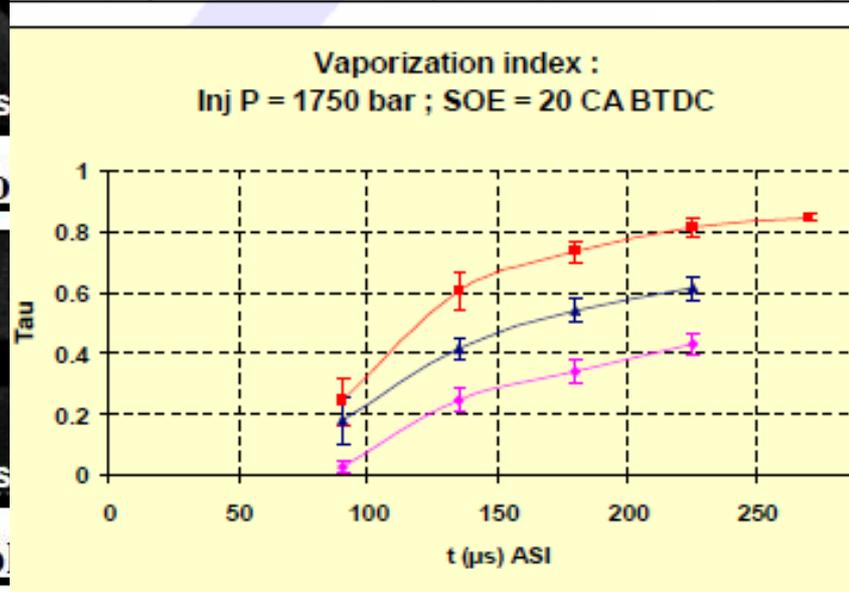
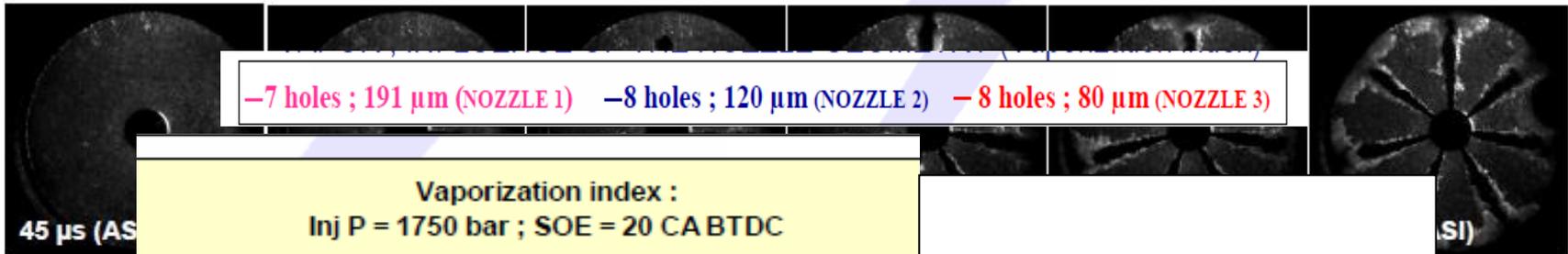
# Illustration de résultats obtenus (1/6)

**MCR @CERTAM : impact «taille de trous» sur la vapeur – Buses PL**

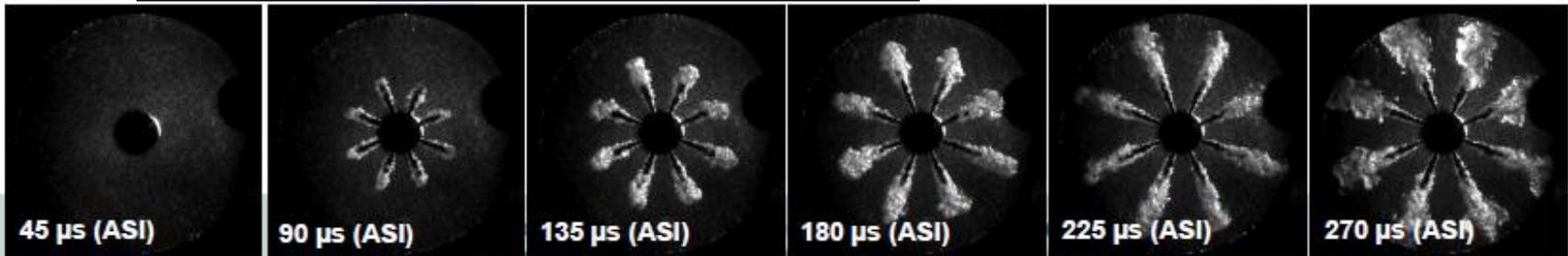
Inj P = 2750 bar ; SOE = 8 CA BTDC

**7 holes ( $\Phi=191 \mu\text{m}$ ) : NOZZLE 1**

-7 holes ; 191  $\mu\text{m}$  (NOZZLE 1)    -8 holes ; 120  $\mu\text{m}$  (NOZZLE 2)    -8 holes ; 80  $\mu\text{m}$  (NOZZLE 3)



**Réduction taille de trous => Favorise fortement la formation de vapeur**



# Illustration de résultats obtenus (2/6)

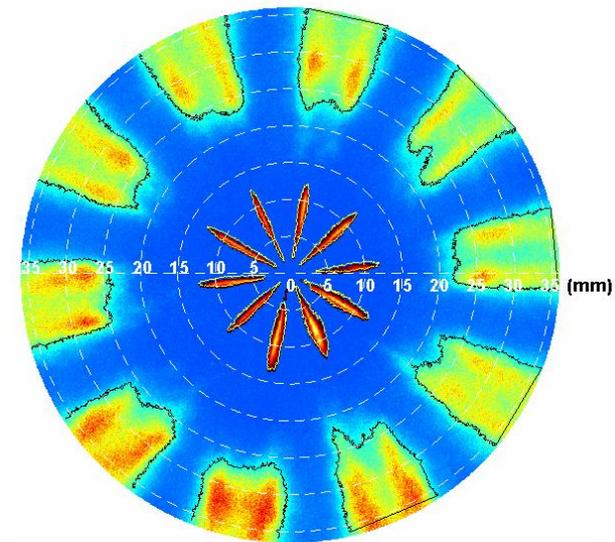
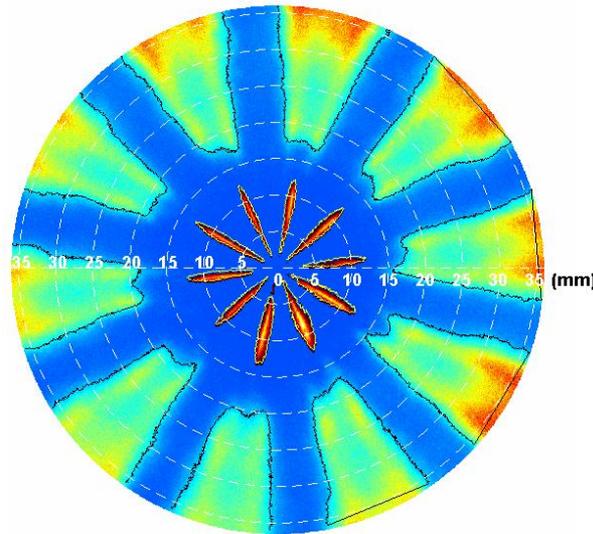
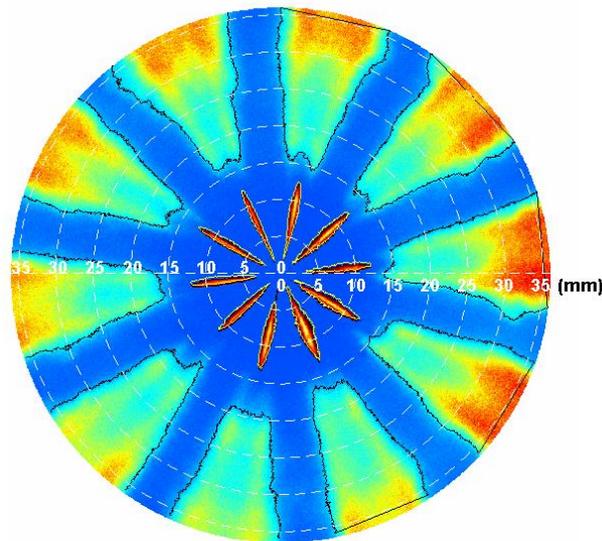
**Enceinte HPHT @IFPEN** : impact des conditions de fonctionnement sur le positionnement « liquide » / « lift-off » de flamme – Buses VP

Inj3 – Buse 10trous – Taille de trous réduite

1240b, 17%O<sub>2</sub>

1600b, 17%O<sub>2</sub>

1600b, 13%O<sub>2</sub>



➔ **Via les conditions de fonctionnement** (Prail & dilution via EGR augmentées), **on obtient une plus grande séparation entre « jet liquide » & « zones réactives » par un lift-off de flamme éloigné.**

# Illustration de résultats obtenus (2/6)

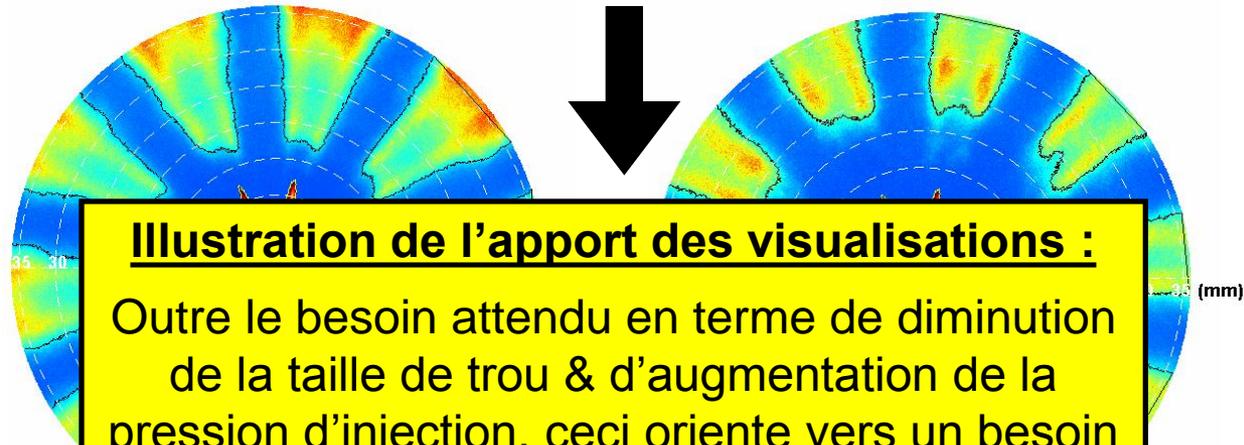
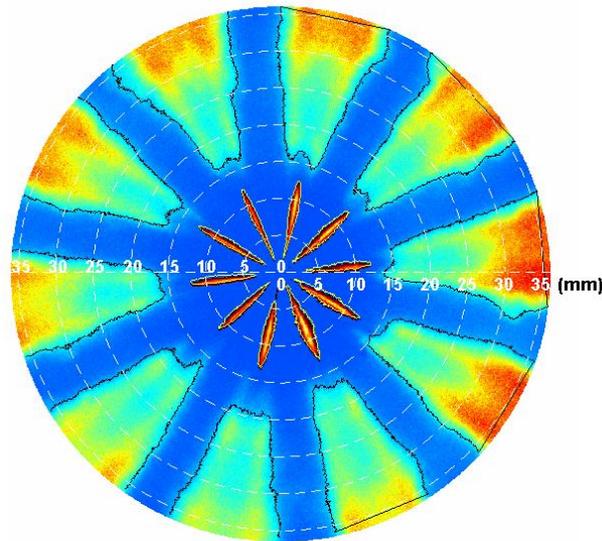
**Enceinte HPHT @IFPEN** : impact des conditions de fonctionnement sur le positionnement « liquide » / « lift-off » de flamme – Buses VP

Inj3 – Buse 10trous – Taille de trous réduite

1240b, 17%O<sub>2</sub>

1600b, 17%O<sub>2</sub>

1600b, 13%O<sub>2</sub>



## Illustration de l'apport des visualisations :

Outre le besoin attendu en terme de diminution de la taille de trou & d'augmentation de la pression d'injection, ceci oriente vers un besoin de forte dilution à l'EGR pour voir apparaître le phénomène sur moteur opaque.

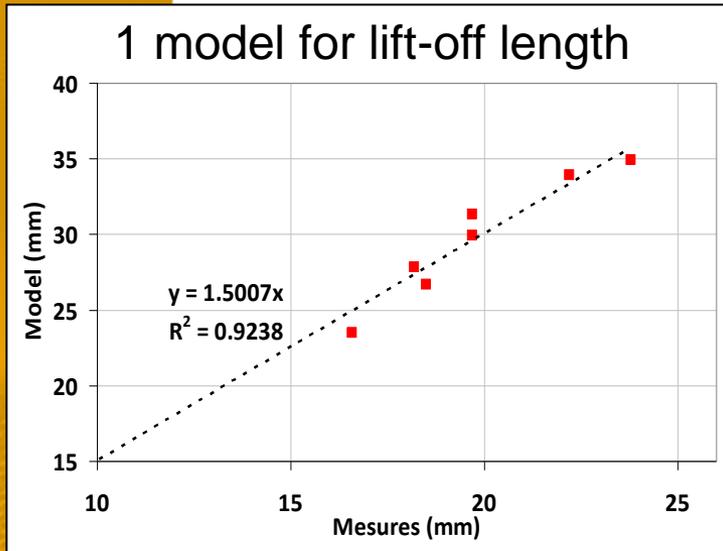
➔ **Via les conditions de fonctionnement** (Prail & dilution via EGR augmentées), **on obtient une plus grande séparation entre « jet liquide » & « zones réactives » par un lift-off de flamme éloigné.**

## Illustration de résultats obtenus (3/6)

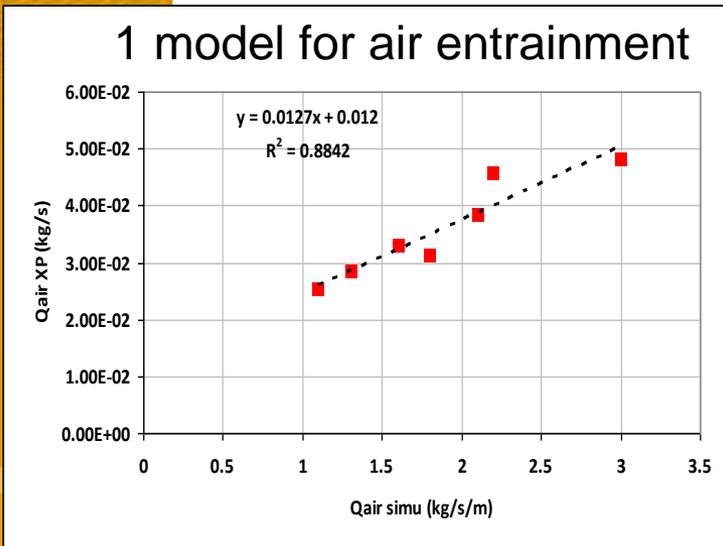
**Visus @CERTAM & @IFPEN** → proposition par l'IFPEN d'un outil d'estimation / analyse du comportement en suies pour un jet libre

***Publication dédiée à construire*** ⇔ ***retombée directe du projet***

# Illustration de résultats obtenus (3/6)



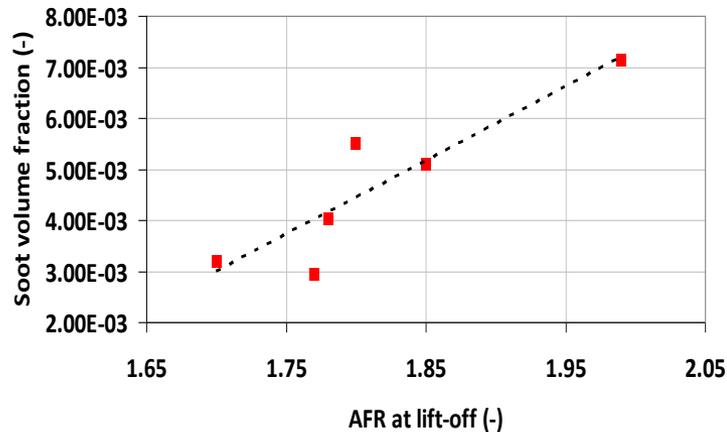
- 1) Sandia propose 2 modèles pour l'évaluation de la distance de lift-off et de l'entraînement d'air, et donc de la richesse au lift-off (Siebers 1999-01-0528, Musculus 2009-01-1355, Pickett 2011-01-0686)
- Lift-off: ce modèle nécessite seulement **1 mesure** de lift-off pour être calibré
  - Entraînement d'air: ce modèle nécessite uniquement la connaissance des **pénétrations vapeur** (beaucoup plus facile à mesurer que l'entraînement d'air)



# Illustration de résultats obtenus (3/6)

## 1 model for lift-off length

### Correlation AFR @ lift-off / soot



1) Sandia propose 2 modèles pour l'évaluation de la distance de lift-off et de l'entraînement d'air, et donc de la richesse au lift-off (Siebers 1999-01-0528, Musculus 2009-01-1355, Pickett 2011-01-0686)

- Lift-off: ce modèle nécessite seulement **1 mesure** de lift-off pour être calibré
- Entraînement d'air: ce modèle nécessite uniquement la connaissance des **pénétrations vapeur** (beaucoup plus facile à mesurer que l'entraînement d'air)

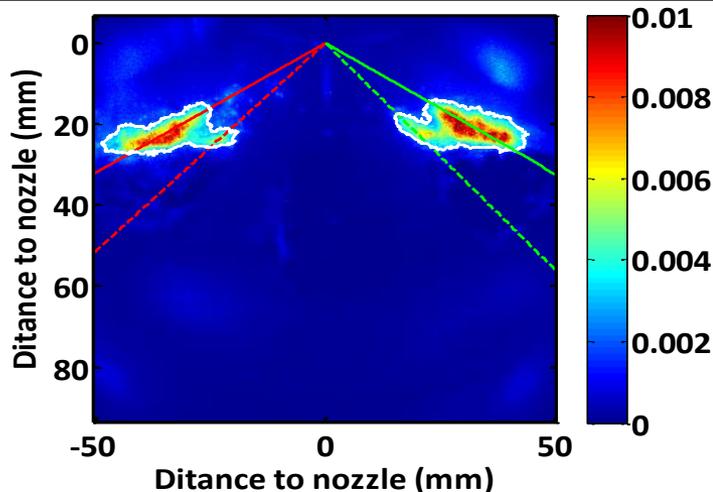
2) Forte corrélation entre la fraction volumique de suies et la richesse au lift-off

- Résultats issus de mesures expérimentales IFPEN

3) La combinaison de:

- 1 mesure de distance de lift-off
- mesures de pénétrations vapeur
- modèles de Sandia

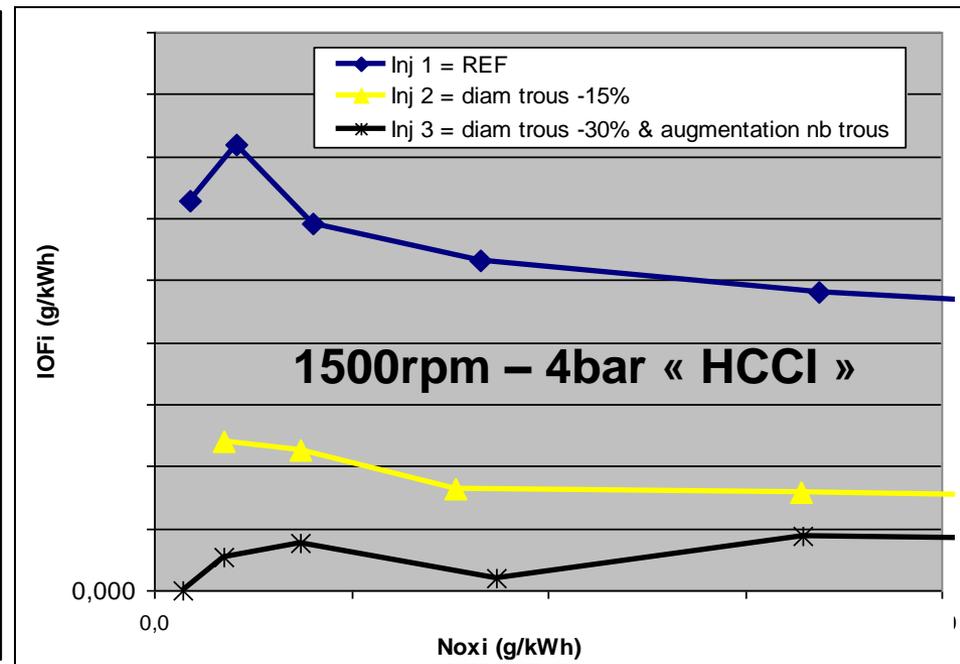
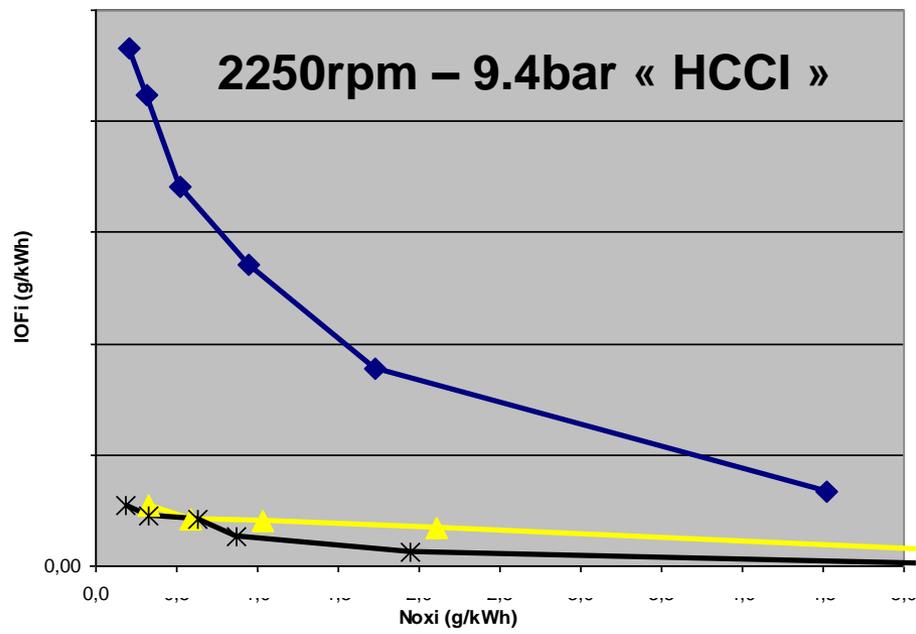
permet l'évaluation du niveau de production de suies pour différents injecteurs, pour des points de fonctionnement variés.



# Illustration de résultats obtenus (4/6)

## Essais moteur opaque VP @RSA : compatibilité avec zone HCCI ?

- Le besoin en DT buse d'injecteur (réduction de la taille des trous,...) nécessaire au concept « DICO » reste compatible avec la zone HCCI à faibles & moyennes charges ☺



!!! mais au prix d'un impact HC-CO important @ très faibles charges qui est potentiellement problématique sur VP

⇔ *Sujet nouveau à traiter dans DICO-phase 2 !*

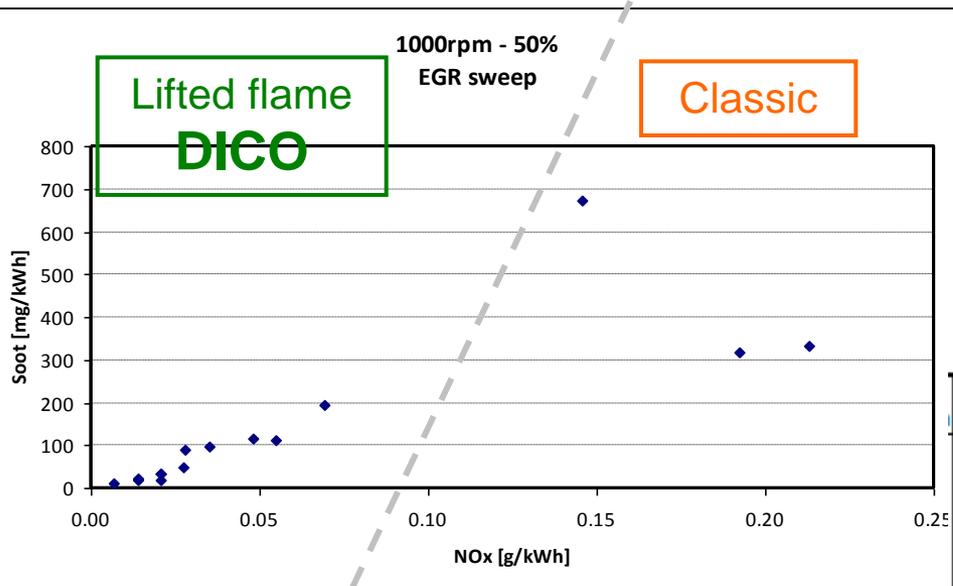
?☹?

# Illustration de résultats obtenus (5/6)

## Essais moteur opaque PL @VPT : faisabilité d'une combustion de diffusion 0 NOx – 0 suies en PL?

### DiCo – Test results

1000rpm – 50% load – 8 holes 80µm with Dual Mode piston (14.4:1)

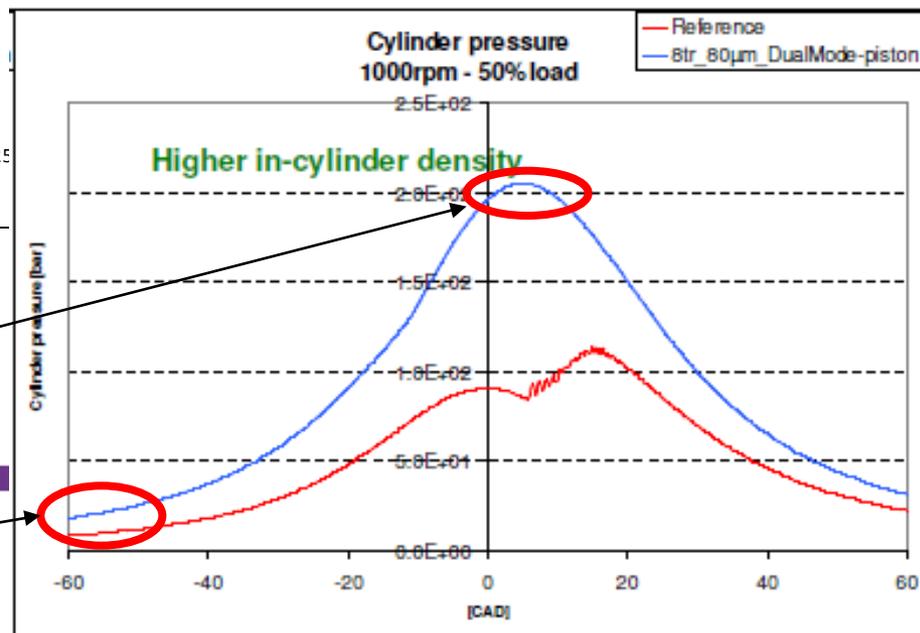


→ Combustion diffusive “0 Nox” / “0 suies” observée ☺

... mais avec un besoin d'une évolution significative en terme de conditions de fonctionnement (Prail, P<sub>cy</sub>l maxi, %EGR & niveau de sural) dont la faisabilité (techno turbo, contrainte fiabilité) reste à définir ?☺?

Besoin de davantage de pression maxi de cycle

Besoin de davantage de suralimentation (air/EGR)

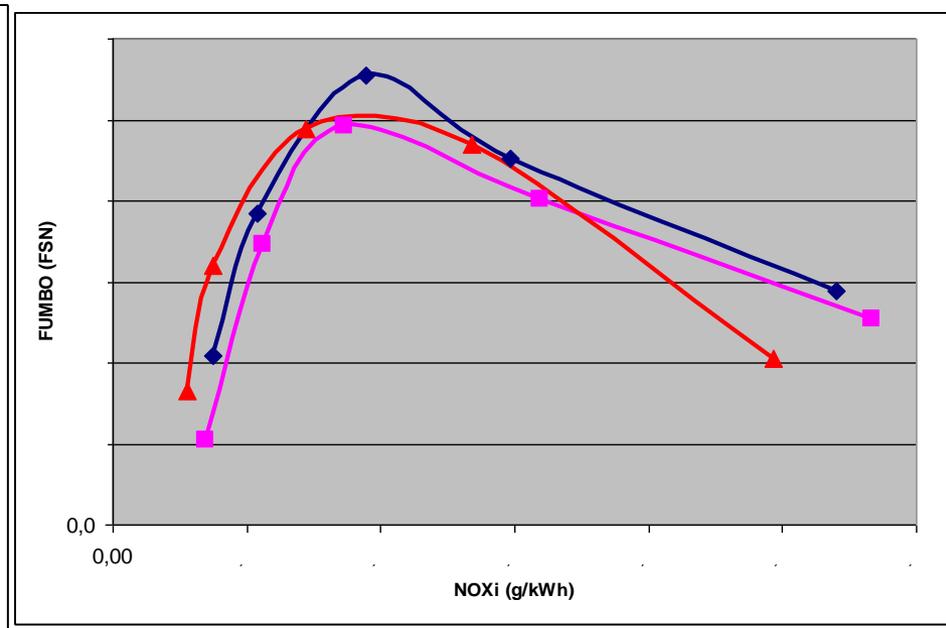
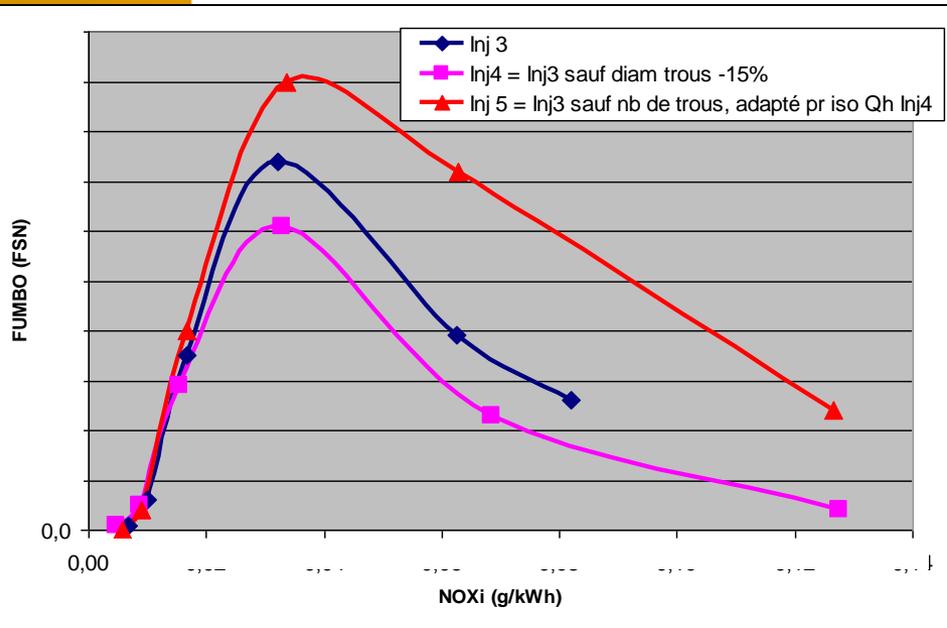


# Illustration de résultats obtenus (6/6)

Essais moteur opaque VP @RSA : faisabilité d'une combustion de diffusion 0 NOx – 0 suies en VP?

@1500rpm

@2750rpm



→ Faisabilité « combustion » également démontrée sur VP ☺

... avec, comme attendu, un effet bénéfique de la diminution de la taille des trous et de l'augmentation du nombre de trous de l'injecteur.

→ MAIS avec le même besoin en terme d'évolutions significatives des conditions de fonctionnement dont la faisabilité GMP reste à définir ?☹️

# Conclusions générales & retombées obtenues

- Accord de consortium signé & forte implication des partenaires.
- Démarche de valorisation en cours (1 brevet + 1 publication THIESEL 2012)
- Programme qui a pris du retard du fait des difficultés techniques **et** de la volonté des partenaires de conserver la philosophie générale du projet en terme de corrélation entre les outils « visualisations » & « moteur opaque »  
... quitte à revoir le planning → report de 1 an acté par l'ANR fin 2011
- Premiers résultats encourageants, avec de premières retombées directes pour les partenaires, mais qui montrent des limites à lever, en terme d'architecture notamment, pour la « viabilité » du concept.



**DELPHI**

Faisabilité de taille de trous considérablement réduite vs l'état de l'art actuel sans « révolution » coté moyens.



Complémentarité des moyens & cohérence des résultats démontrés malgré 2 bancs d'essais très différents.



→ Compatibilité des besoins du concept DICO avec les approches HCCL développées antérieurement.

→ Faisabilité « combustion » d'une combustion de diffusion 0 NOx-0 suies **MAIS** beaucoup de progrès à obtenir pour permettre sa faisabilité sur un périmètre GMP

