Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2010

ÉTUDE DES MOTEURS

U 51 EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEURS

Durée 3 h – Coefficient 3

Aucun document autre que le sujet n'est autorisé

L'usage de la calculatrice est autorisé

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.
Le sujet comporte 22 pages, numérotées de la façon suivante :

- La présentation de l'étude et les objectifs des différentes parties, pages 2 et 3
- Le texte du sujet, pages 4 à 8
- Les documents de données, pages 9 à 16 référencés de A à H
- Les documents réponses **à rendre obligatoirement**, pages 17 à 22 référencés DR1à DR6

CODE ÉPREUVE : 1006MOE5EEM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE
SESSION 2010	SUJET	*ÉPREUVE*: ÉTUDE DES MOTEURS EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEURS - U51	Calculatrice autorisée : oui
Durée : 3h	Coefficient : 3	Code sujet : 02ED09	Page : 1/22

crdp Aquitaine

ANALYSE MOTEUR

Présentation

La combustion par auto-inflammation contrôlée d'un mélange à base d'essence, plus communément appelée combustion CAI (Controlled Auto-Ignition), est une des voies à l'étude pour limiter l'impact sur l'environnement, des émissions de polluants produits par nos modes de transports.

Les moteurs essence actuels à allumage commandé engendrent, de par leur mode de combustion, des émissions de polluants et des pertes de rendement. Ces défauts pourraient être fortement atténués en parvenant à exploiter au mieux les produits et réactifs de la combustion afin de réduire :

- les températures cylindre maximales pour abaisser le niveau des émissions de NOx
- les températures cylindre moyennes pour réduire les pertes de chaleur au niveau des parois du cylindre
- la durée de combustion pour tendre vers une combustion à volume constant, l'hypothèse du cycle théorique.

Ces différentes tendances sont malheureusement en contradiction et impliquent la mise en oeuvre d'une combustion à la fois froide et rapide. C'est donc pour répondre à ces exigences que la combustion CAI est née.

Son principe est de préparer un mélange homogène dans le cylindre et d'atteindre les conditions de l'auto-inflammation de ce mélange grâce à l'échauffement provoqué par la montée du piston. Cette auto-inflammation doit être contrôlée pour que le calage de la combustion reste favorable au rendement du moteur. Les conditions thermodynamiques propices à l'allumage par compression peuvent être obtenues par réchauffement de l'air d'admission, par l'utilisation d'un taux de compression très élevé (mais celui-ci réduit considérablement la plage de fonctionnement du moteur) ou par l'utilisation d'un fort taux de gaz résiduels chauds.

Dans le cas où le mélange est purement homogène, chaque molécule de carburant bénéficie en même temps des conditions nécessaires à son auto-inflammation. La combustion se déclare au même moment dans tout le volume de la chambre, on parle alors de réaction en masse. Il n'y a donc pas de front de flamme comme dans un moteur à allumage commandé et la durée de combustion est fortement raccourcie. Ce type de mélange, difficile à réaliser et à contrôler, engendrerait des gradients de pression beaucoup trop élevés. C'est pourquoi, un mélange très fortement dilué par les gaz d'échappement est utilisé pour réduire la vitesse de combustion. Cela permet de pallier les difficultés précédemment citées et de favoriser l'obtention des conditions d'auto-inflammation grâce à la température élevée de ces gaz brûlés. Le piégeage de ces derniers est obtenu par l'utilisation de lois de distribution spécifiques en adoptant soit la stratégie de **« recompression des gaz brûlés »**, soit la stratégie de **« ré-aspiration des gaz brûlés »**. Ces gaz, issus du cycle précédent, doivent être répartis dans la chambre de manière à créer un mélange homogène à échelle globale (le carburant et l'oxygène sont présents dans tout le volume) et hétérogène à échelle locale (le carburant et l'oxygène sont entourés par des gaz brûlés). La combustion est alors générée par l'auto-inflammation quasi simultanée de multiples points en différentes localisations de la chambre. Ces premiers points entraînent une élévation de la température des poches d'oxygène-carburant situées à proximité et déclenchent ainsi, de proche en proche, leur auto-inflammation. La combustion est rapide mais aussi contrôlée.

crdp Aquitaine

Cette étude se base sur un moteur monocylindre à 4 soupapes.

L'objectif de l'étude est de comparer deux modes de combustion, de comparer ensuite les deux types de stratégie de piégeage des gaz brûlés et de choisir les réglages les mieux adaptés par rapport à un cahier des charges.

Lecture du sujet 15 minutes

L'étude comprend trois parties indépendantes d'égale importance :

- **Première partie** d'une durée de 55min : Etude de la relation CSI et PMI.

- **Deuxième partie** d'une durée de 55min : Comparaison en termes de rendement à iso PMI entre une combustion homogène et une combustion en CAI.

- **Troisième partie** d'une durée de 55min : Influence des réglages en CAI sur les performances sur un iso-régime à 1500 tr/min.

La clarté des réponses, la précision de l'argumentation et la présentation seront prises en compte dans la notation.

Données générales

Conditions d'essais « standard » :
- Pression atmosphérique : $P_1 = 10^5$ Pa
- Température de l'air d'admission : $\theta_1 = 25°C$ ou T_1 en K
- Constante d'état de l'air et du mélange : $r_{air} = 287\ J.kg^{-1}.K^{-1}$

Caractéristiques du moteur et réglage constant :
- Moteur mono cylindre, 4 temps, atmosphérique
- Rapport volumétrique : $\varepsilon = 11$
- Richesse des différents essais : $\Re = 1$

Caractéristiques de l'essence :
- Pouvoir calorifique inférieur : $P_{CI\ essence} = 43000\ J.g^{-1}$
- Pouvoir comburivore : Pco = 14,7

Glossaire

CPE : Contre Pression Échappement
CSI : Consommation Spécifique Indiquée ($g.kW^{-1}.h^{-1}$)
PME : Pression Moyenne Effective (bar)
PMI basse pression : Pression Moyenne Indiquée de la boucle basse pression (bar)
PMI : Pression Moyenne Indiquée (bar)
PMC : Pression Moyenne calorifique : chaleur introduite par unité de volume (bar)
T_{egr} : Température des gaz brûlés introduits à l'admission

crdp Aquitaine

1ére partie. Détermination de la CSI. (Document réponse 4)

Le constructeur réalise une partie de son étude au niveau du cycle avec l'analyse du diagramme P = f(V). Pour calculer la CSI, le constructeur utilise la formule suivante :

$$CSI = \frac{\left(3600.10^3 \times remplissage \times \Re \times P_1\right)}{\left(r_{air} \times T_1 \times 14{,}7 \times PMI \times 100\right)}$$

avec CSI en $g.kW^{-1}.h^{-1}$, r_{air} en $J.kg^{-1}.K^{-1}$, P_1 en Pa, T_1 en K et la PMI en bar.

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence les paramètres intervenant dans le calcul de la CSI à partir de la PMI.

Relation CSI - PMI :

1.1 - Ecrire la relation entre le rendement indiqué η_{ind}, la CSI en $g.kW^{-1}.h^{-1}$ et le Pci en $J.g^{-1}$.

1.2 - Donner la définition du rendement indiqué en fonction des pressions moyennes. (phrase + relation)

1.3 - Donner, sans les démontrer, les équivalences entre une PMI de 3bar en Pa, en $J.dm^{-3}$, en MPa et en $kJ.dm^{-3}$.

1.4 - En déduire la relation de la CSI ($g.kW^{-1}.h^{-1}$) en fonction de la PMI et de la PMC.

Relation PMC – Remplissage – Richesse :

1.5 - Ecrire l'expression de la masse volumique de l'air ρ_{air} en fonction de P_1 et de T_1.

1.6 - Ecrire la définition du remplissage en air standard (phrase) et donner la relation entre ce remplissage et le ρ_{air} avec les unités.

1.7 - A partir de la définition de la richesse, démontrer la relation entre le dosage réel et le Pco.

1.8 - En déduire la relation entre la PMC et la masse volumique de l'air, le remplissage, la richesse, le Pci et le Pco.

1.9 - Redémontrer la relation finale de la CSI **sans tenir compte des unités.**

1.10 - Retrouver la valeur de la CSI ($g.kW^{-1}.h^{-1}$) en combustion homogène dans le tableau de synthèse du **document réponse 4** (page 20) en entourant les valeurs à prendre pour ce calcul (à partir de la relation donnée en haut de page).

crdp Aquitaine

2éme partie. Etude comparative entre le fonctionnement en homogène et le fonctionnement en CAI pour un point en stabilisé de PMI = 3bar.

2.1 – Etude des lois de combustion. (Document réponse 1 page 17).

2.11 - Ecrire les trois définitions demandées sur le **document réponse 1** page17.

2.12 - Par lecture et par construction graphique, compléter le **document réponse 1 page 17** au niveau du tableau de synthèse. Pour la détermination de la valeur de HLC, on vous demande d'expliquer votre démarche. (3 lignes maximum)

2.13 – Conclure par 2 constatations en fonction du mode de combustion.

2.2 – Etude de la boucle basse pression (Documents réponses 2, 3 et 4).

On désire comparer les effets de la boucle basse pression pour trois admissions différentes.
Première solution : admission par vannage : moteur homogène (DR 4)
Deuxième solution : combustion CAI avec recompression des gaz d'échappement (DR2)
Troisième solution : combustion CAI avec réaspiration des gaz d'échappement (DR3)

2.21 - Colorier les boucles basse pression sur le diagramme P = f(V) complet des **documents réponses 2 et 3 (pages 18 et 19)**.

NB : Sur ces documents (2 et 3), le premier graphe représente le diagramme P = f(V) complet et le second est un zoom de la boucle basse pression.

2.22 - Remplir les cases qui désignent les angles d'ouverture ou de fermeture des soupapes pour la deuxième solution et troisième solution (documents réponses 2 et 3)
Exemple : AOE : Avance Ouverture Echappement.

2.23 - Justifier les écarts de PMI BP entre la solution admission par vannage et les 2 solutions utilisées en CAI en 4 lignes maximum.

2.3 – Calcul de la température maximum de combustion pour une combustion CAI à 3 bar de PMI à partir d'un diagramme P = f(V) (document réponse 2).

On estime la température maximale moyenne en homogène autour de 2000°C. Pour déterminer la température maximale de combustion en CAI, on exploite la relation entre masse, pression, volume et température.

2.31 - Ecrire la relation entre masse, pression, volume et température en précisant les unités puis en déduire l'expression de la température en fonction des autres paramètres.

2.32 - Calculer la température maximum de combustion à partir des données ci-dessous et du diagramme P = f(V) (DR2).

- Masse M qui participe au cycle = 1,1g pour 1 dm^3 de cylindrée (air + essence + EGR)
- Volume au point mort haut = 0,1 dm^3

2.33 - Comparer les températures maximum de combustion en homogène et en CAI puis conclure sur la création de NOx dans les deux modes de combustion (4 lignes maximum).

crdp Aquitaine

2.4 – **Bilan comparatif entre les 2 modes de combustion à partir des parties 2.1, 2.2 et 2.3.**

2.41 - Compléter le **document réponse 4** page 20 au niveau du tableau de synthèse. Pour chaque calcul, vous devez justifier votre démarche (relations et unités utilisées).

2.42 - Par le produit des rendements, justifier le gain de plus de 20% sur le rendement indiqué entre les 2 modes de combustion (homogène et réaspiration) en 5 lignes maximum en donnant un argument sur le rendement théorique et trois arguments sur le rendement de cycle.

3ème Partie : Détermination de l'influence des réglages sur la CSI, le bruit de combustion et les émissions de NOx sur l'iso régime de 1500 tr.min^{-1}

Cahier des charges à N = 1500 tr.min^{-1}

- dP/dθ < 7bar/° (92db)
- NO < 100 ppm

Conditions de l'essai :

- N = 1500 tr.min^{-1}
- Richesse =1
- T_{air} = 320K
- P_{atmo} = 1bar
- CPE = 20 mbar
- Calage symétrique des arbres à cames admission et échappement par rapport au PMH croisement de 140 à 180 °vilebrequin

3.1 - Calage de la distribution

Pour réaliser la combustion en CAI, il est nécessaire d'utiliser un fort taux de gaz résiduels chauds, appelé Taux de gaz brûlés dans la chambre et défini comme étant le rapport de la masse de gaz brûlés sur la masse totale dans la chambre. Le piégeage de ces derniers est obtenu par l'utilisation de lois de distribution spécifiques.

Pour réaliser la variation de levée de soupape, le système de distribution agit en n'utilisant que la partie située autour du sommet de came en fonction de la levée désirée.

L'angle de calage représente l'angle entre la levée maximum de la soupape et le PMH croisement (pour différencier les deux PMH du cycle à 4 temps, on appelle PMH croissement celui de la phase échappement et de la phase admission).

crdp Aquitaine

A partir de la caractéristique de la levée de soupape donnée **document A** page 9 pour la levée maximum de 8mm et pour une levée de 1,5mm (même profil de came à l'admission et à l'échappement) :

3.11 - Tracer sur le **document réponse 5** page 21 l'évolution de la levée de soupape en fonction de l'angle vilebrequin à l'admission et à l'échappement pour une levée 3,5mm, les arbres à cames sont calés de manière symétrique à 160°V par rapport au PMH croisement.

3.12 - Indiquer sur le graphe les levées de soupapes admission et échappement et la durée angulaire d'ouverture des soupapes.

3.13 - Calculer la durée d'ouverture des soupapes en ms au régime de l'essai.

3.2 - A partir des graphes Levée = f(calage) **document B** page 10 pour l'iso régime de 1500 $tr.min^{-1}$, conclure sur le moyen le mieux adapté pour faire varier la PMI HP pour des levées comprises entre 1,5 et 3,5mm.

3.3 - **Etude de l'influence de la levée de soupape à iso calage**

Comparaison des levées de 1,5mm et 3,5mm pour un iso calage de 160°V

3.31 - A partir des **documents B, C et D**, pages 10, 11 et 12 compléter le **tableau 1 du document réponse 6**, page 22.

3.32 - Analyse des valeurs :

- A partir du taux de gaz brûlés dans la chambre, du gradient de pression et de la pression cylindre, justifier par un argument l'évolution de la durée de combustion (CA90 - CA10) en 3 lignes maximum.

3.33 - Conclure sur l'évolution de la CSI entre les 2 levées et justifier le sens de cette évolution en 2 lignes maximum.

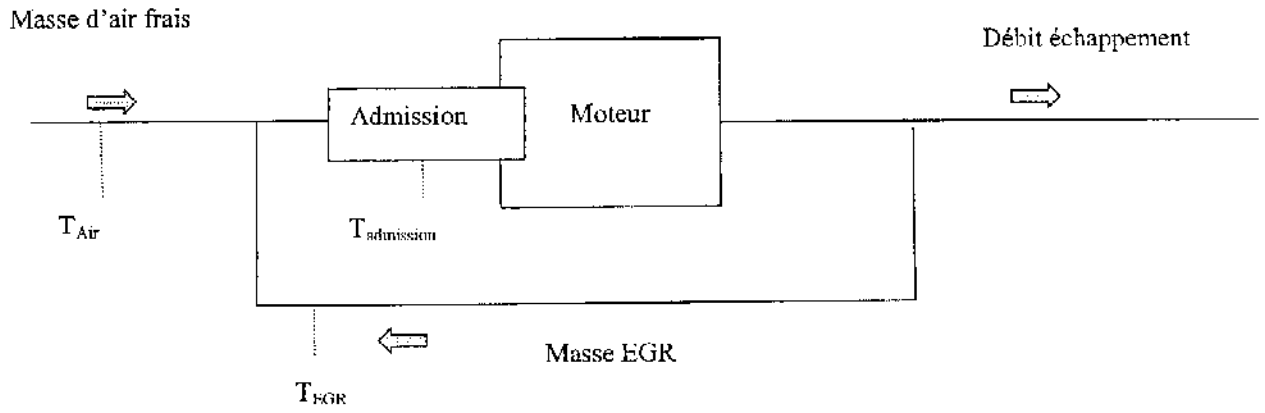
3.4 - **Evolution des paramètres en fonction du taux de gaz brûlés à iso levée de 1,5mm au régime de 1500 $tr.min^{-1}$.**

Objectif : Adjonction de l'EGR externe aux gaz frais et aux gaz brûlés piégés dans la chambre.

3.41- **Influence du taux d'EGR sur la température du mélange**

- A partir du schéma ci-dessous et de la définition du taux d'EGR, conclure sur l'évolution de la température du mélange en fonction du taux d'EGR en 2 lignes.

crdp Aquitaine



Le taux d'egr s'exprime de la manière suivante :

$$Taux\ d'EGR = \frac{m_{egr}}{\left(m_{egr} + m_{air\ frais}\right)}$$

3.42 - **Influence du taux d'EGR en fonction du calage des arbres à cames admission et échappement à iso PMI= 4 bar et iso température EGR de 600K.**

3.421- A partir des **documents E, F, G et H,** pages 13, 14, 15 et 16

- Compléter le **tableau 2 du document réponse 6** page 22

3.422- Conclure sur l'influence du taux d'EGR en 3 lignes maximum.

3.43 - **Influence de la température EGR à iso PMI = 4 bar et iso calage = 145°vil (point de calage retenu pour des questions de stabilité)**

Le **tableau 3 du document réponse 6 page 22** a été complété à partir des **documents E, F, G et H,** pages 13, 14, 15 et 16. On vous demande de :

- Calculer les gains obtenus en % en prenant comme référence le calage à 3% d'EGR et température EGR de 600K (compléter les deux dernières colonnes du tableau 3, document réponse 6).

- Conclure sur l'influence de la température EGR.

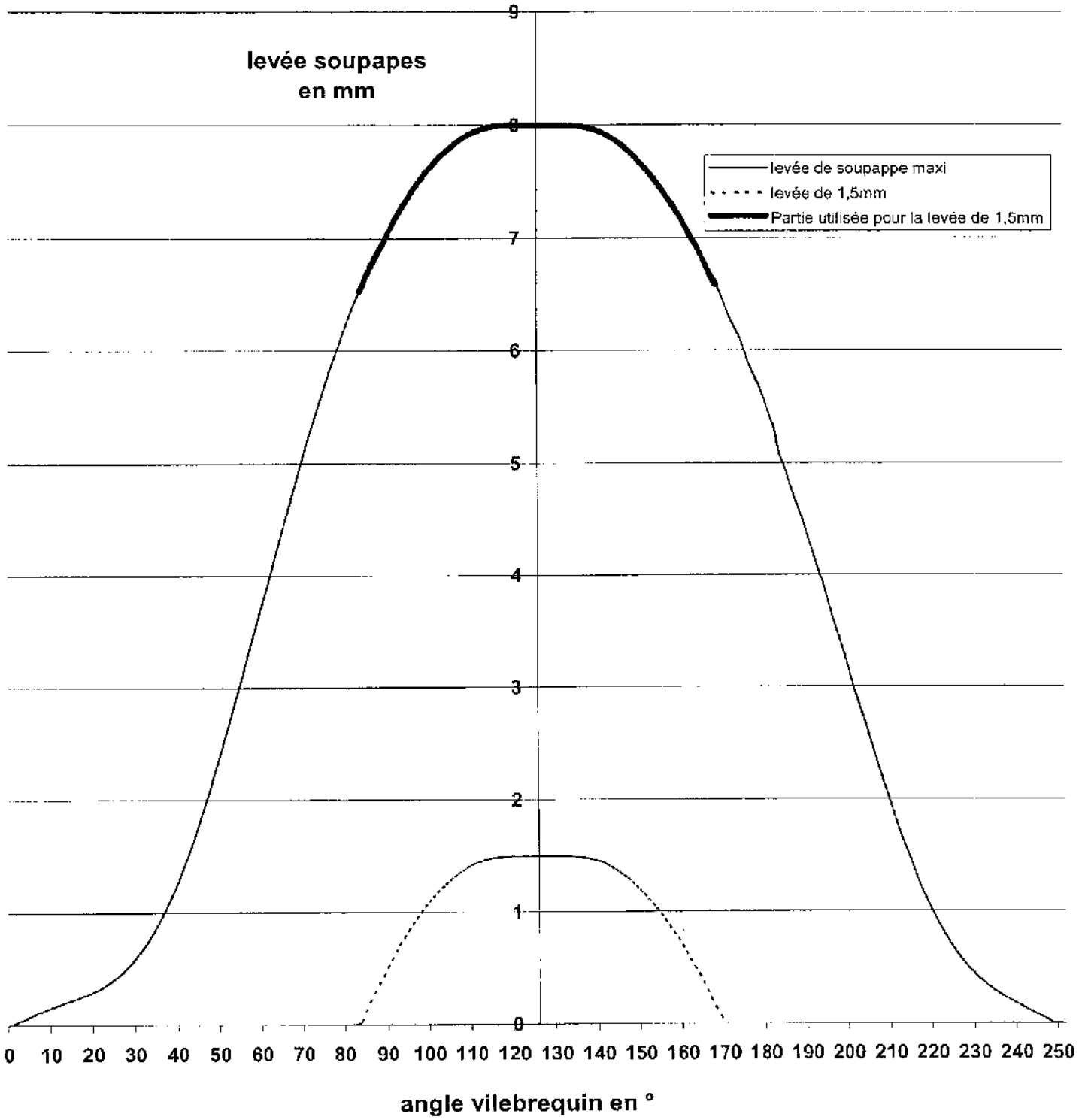
3.44 - **Choix du réglage final**

Quelle configuration faut-il retenir parmi les points mesurés précédemment, pour permettre la plus forte réduction de NOx ?
Cette configuration permet-elle de répondre au cahier des charges ?
Justifier votre réponse.

crdp Aquitaine

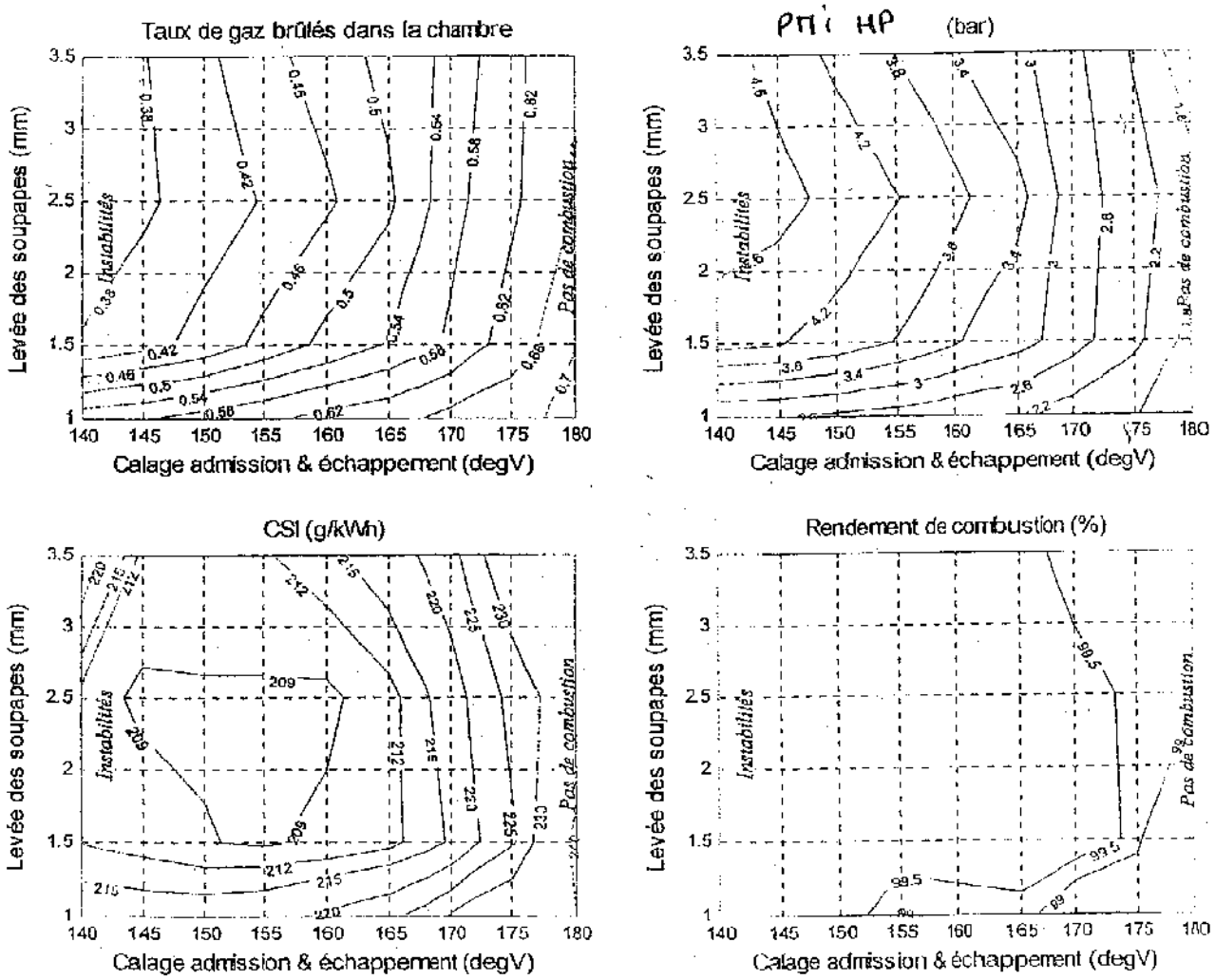
DOCUMENT A

Profil des levées des soupapes admission et échappement



crdp Aquitaine

DOCUMENT B



Evolution des paramètres de base pour différentes levées à 1500 tr/min

crdp Aquitaine

DOCUMENT C

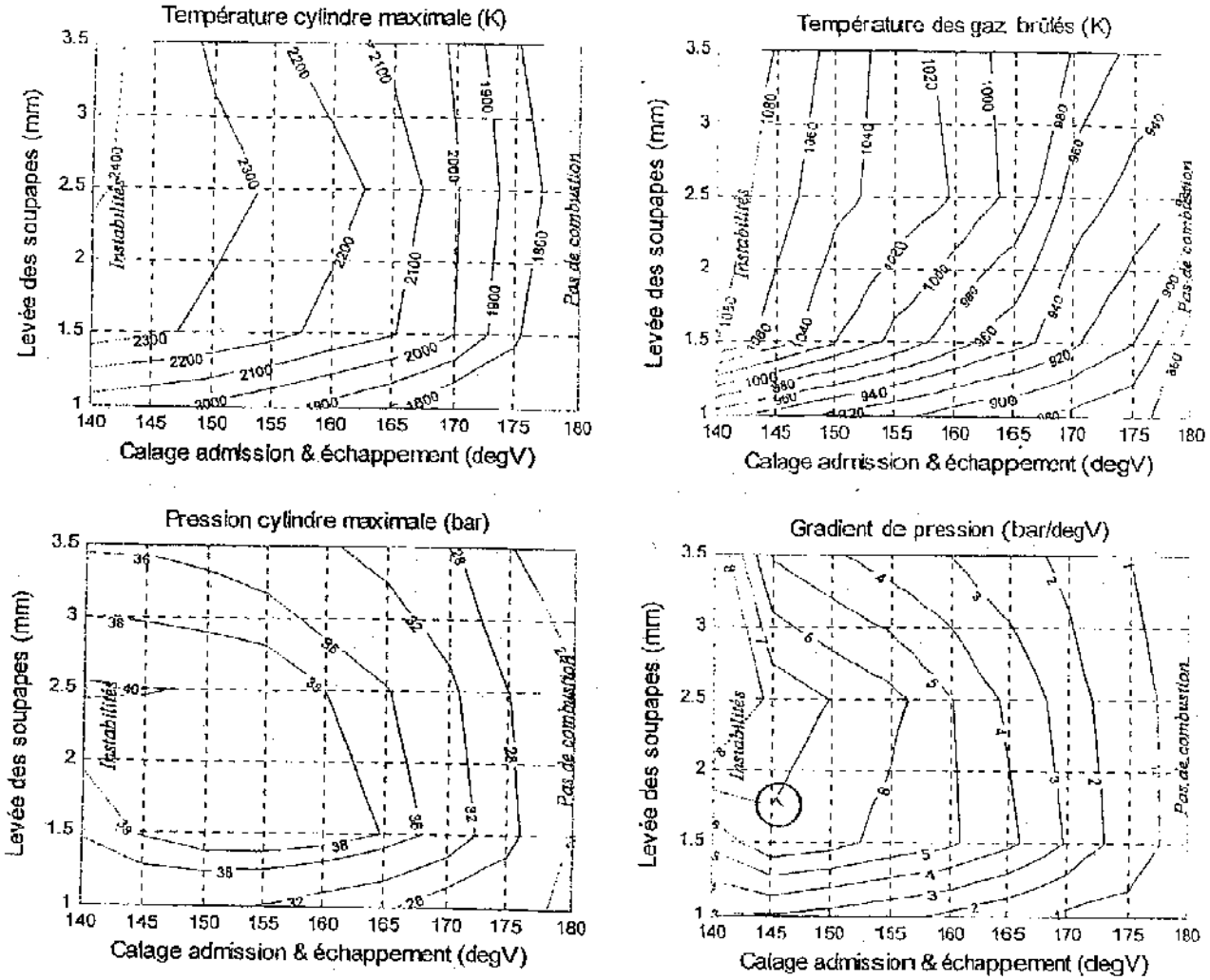
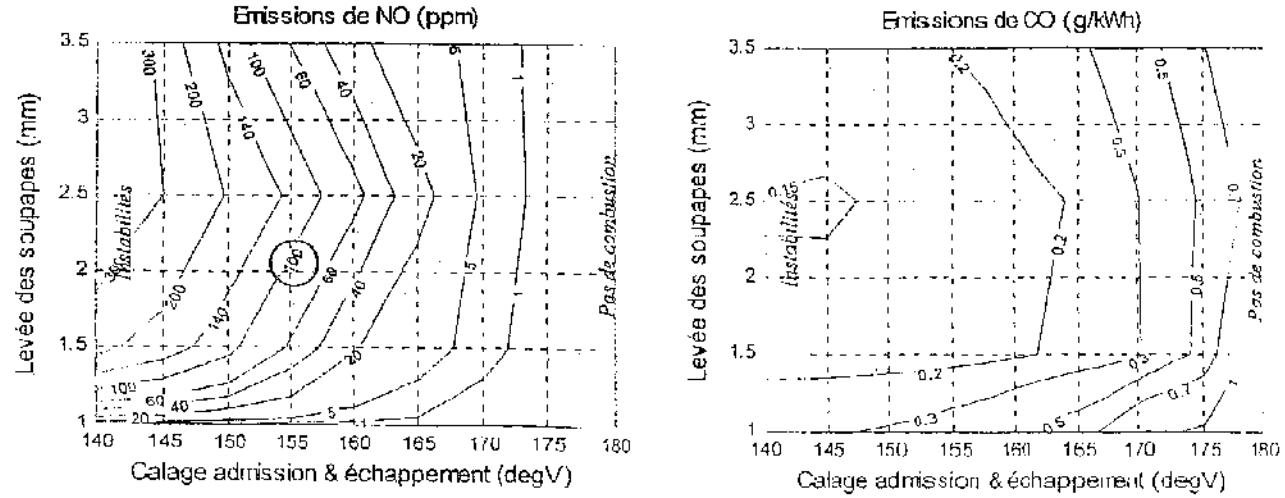


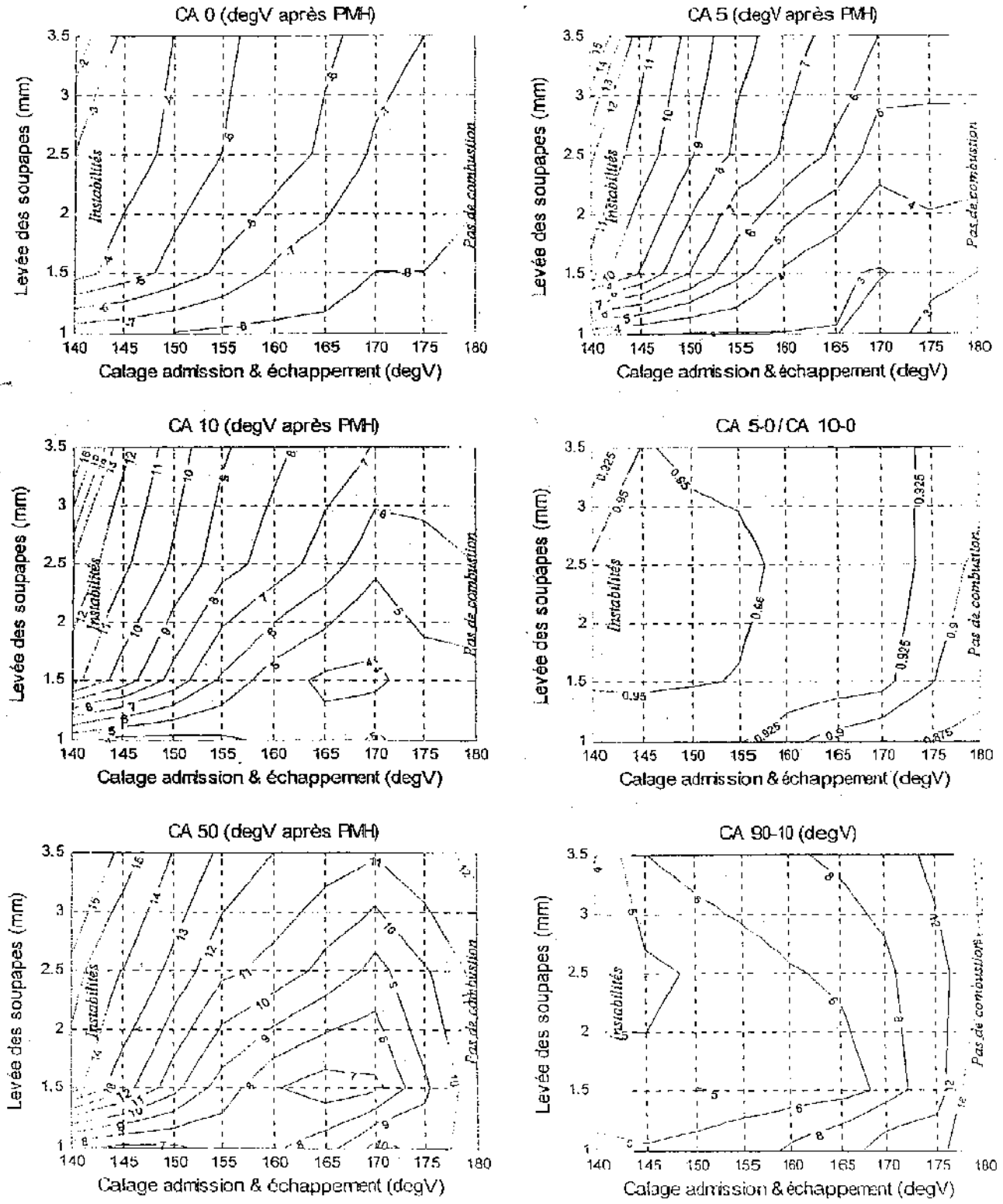
Figure 47 : Evolution des conditions thermodynamiques pour différentes levées à 1500 tr/min



Evolution des émissions de polluants pour différentes levées à 1500 tr/min

crdp Aquitaine

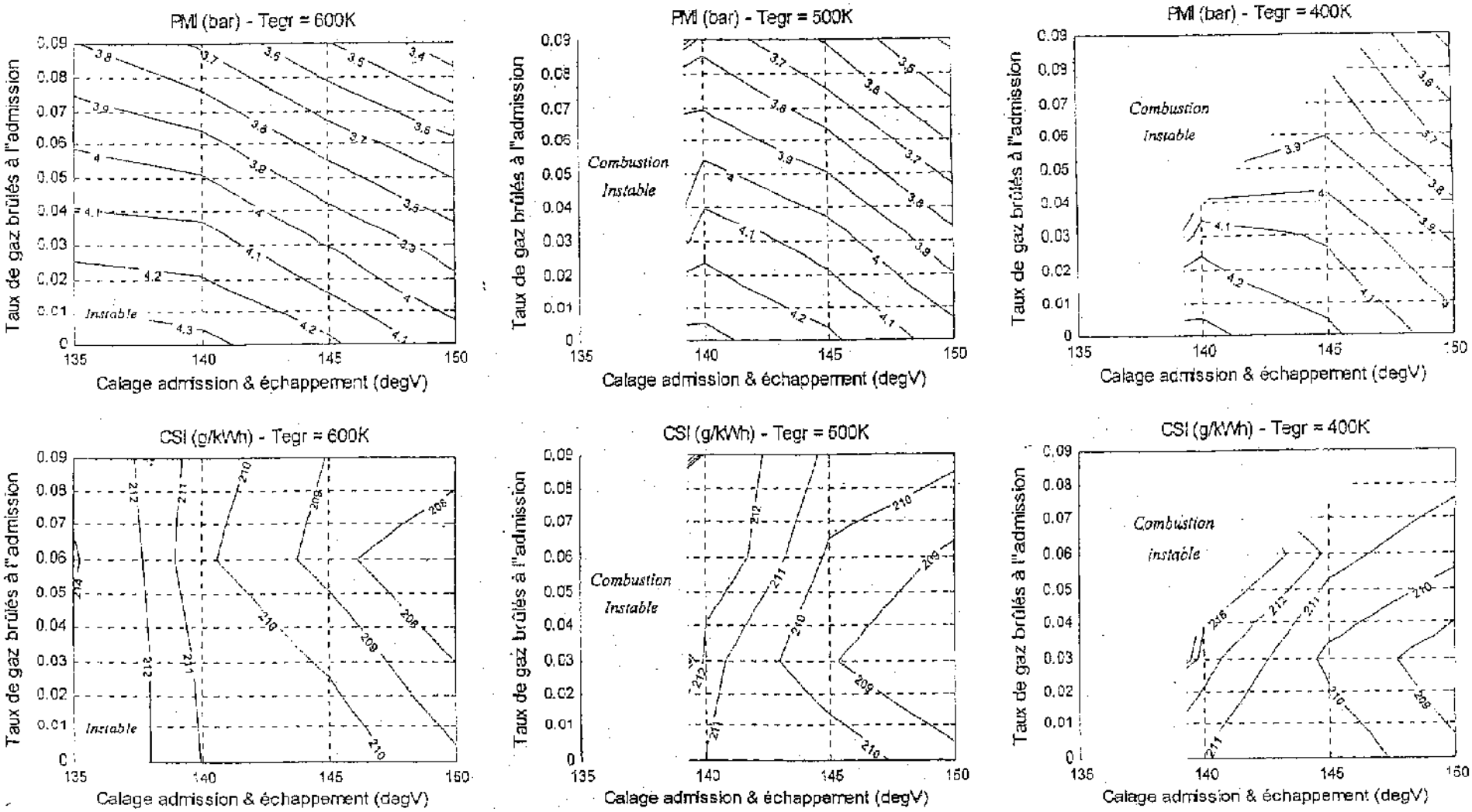
DOCUMENT D



Evolution des paramètres de la combustion pour différentes levées à 1500 tr/min

crdp Aquitaine

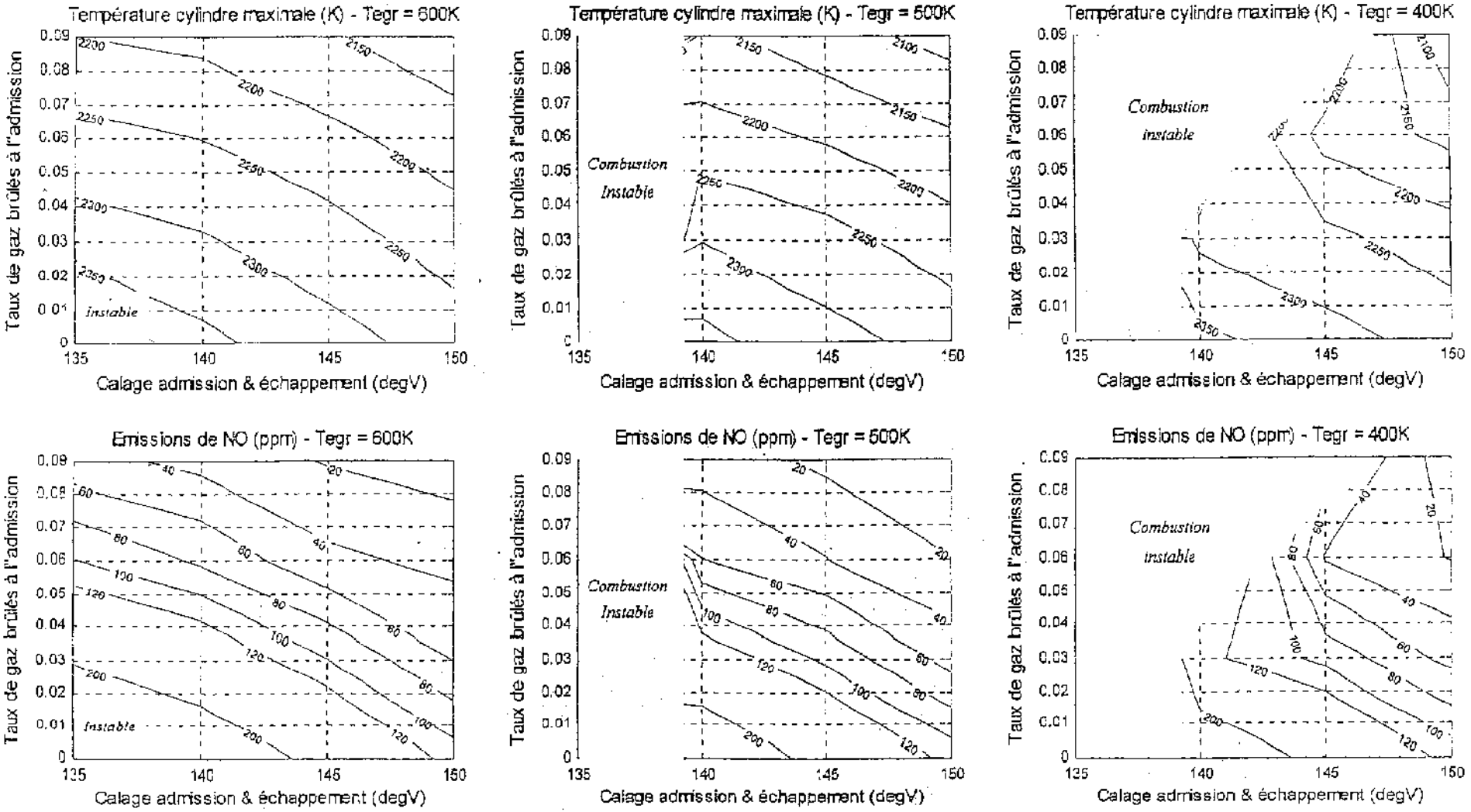
DOCUMENT E



Evolution de la PMI et de la CSI pour différents taux de gaz brûlés à l'admission à 1500 tr/min

crdp Aquitaine

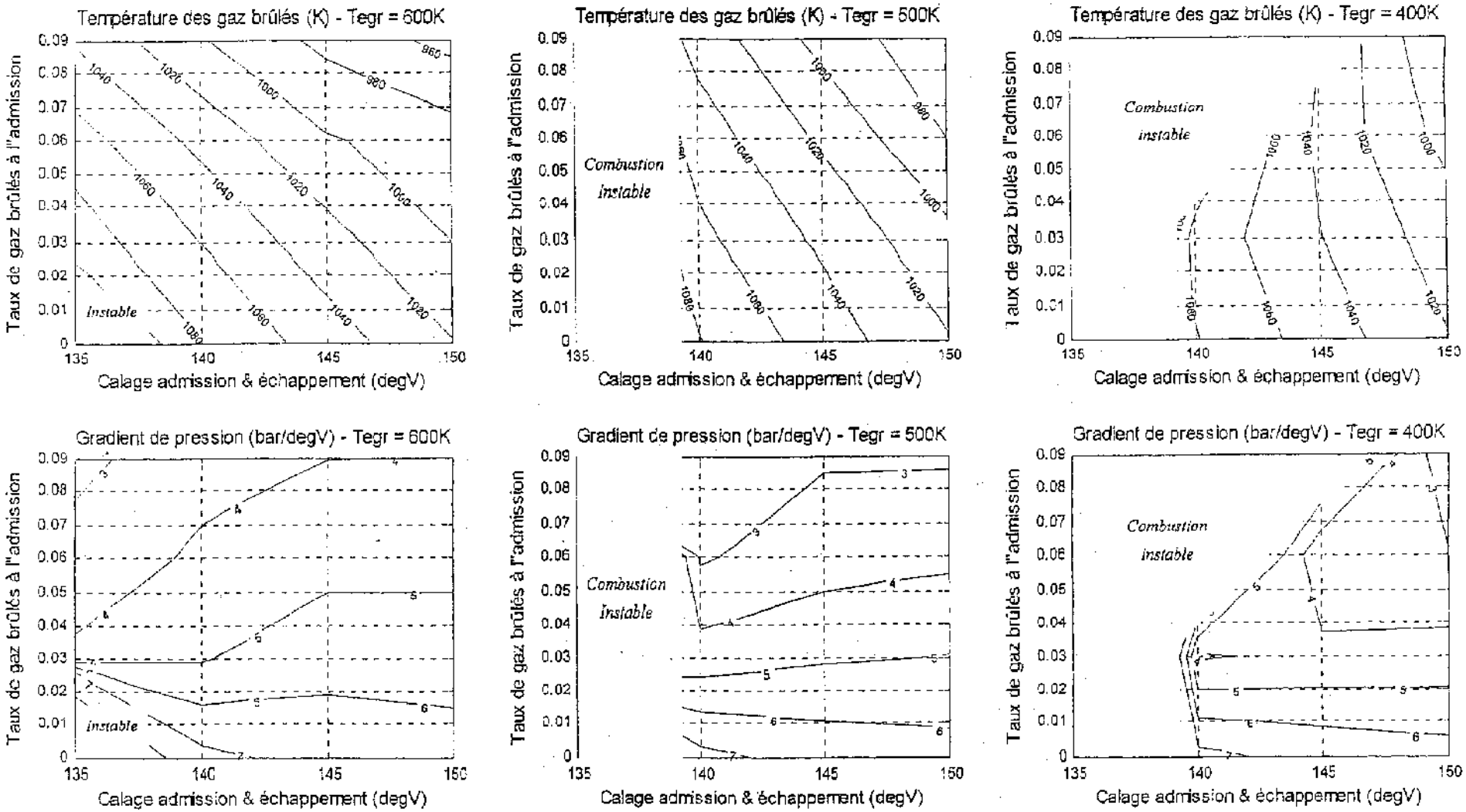
DOCUMENT F



Evolution de la température cylindre maximale et des émissions de NO pour différents taux de gaz brûlés à 1500 tr/min

crdp Aquitaine

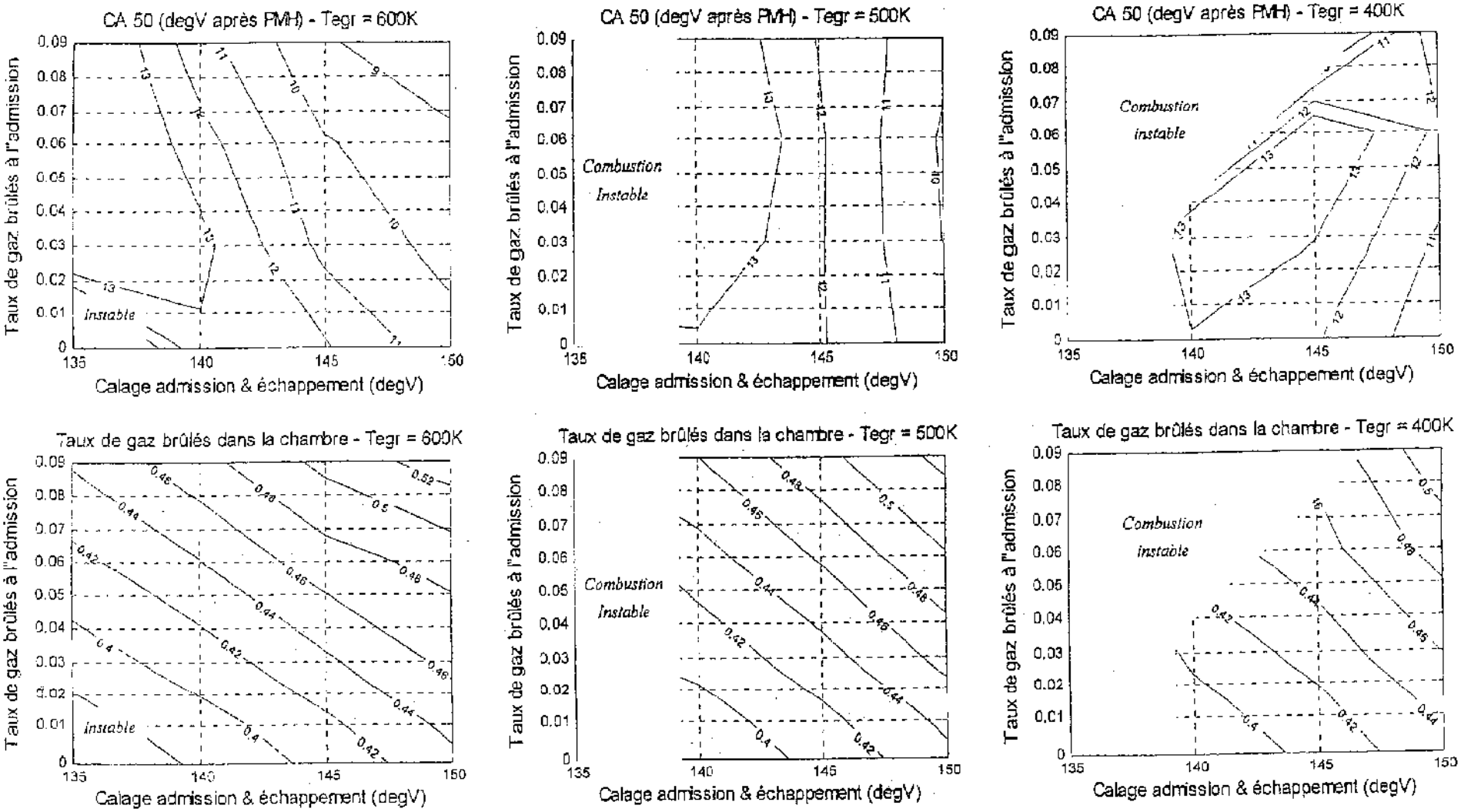
DOCUMENT G



Evolution de la température des gaz brûlés et du gradient de pression pour différents taux de gaz brûlés à l'admission à 1500 tr/min

crdp Aquitaine

DOCUMENT H

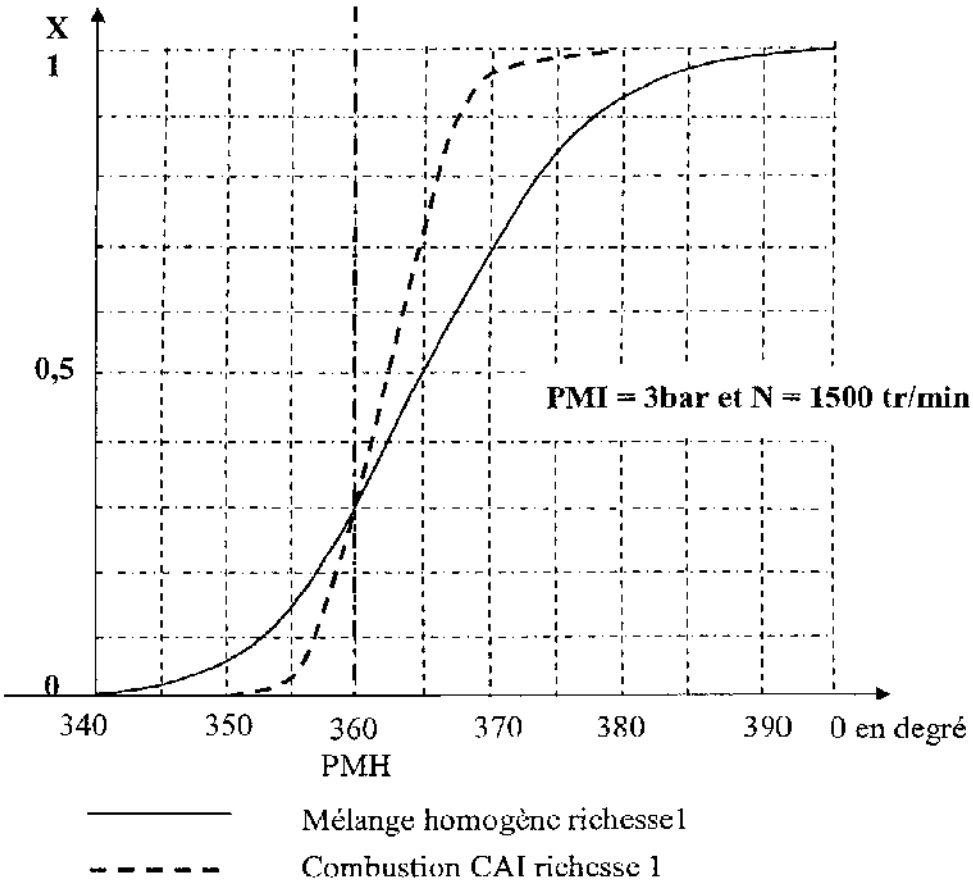


Evolution du CA50 et du taux de gaz brûlés dans la chambre pour différents taux de gaz brûlés à 1500 tr/min

crdp Aquitaine

DOCUMENT REPONSE 1 : DR1

EXPLOITATION DE LA FRACTION BRÛLÉE X EN FONCTION DE L'ANGLE VILEBREQUIN θ.

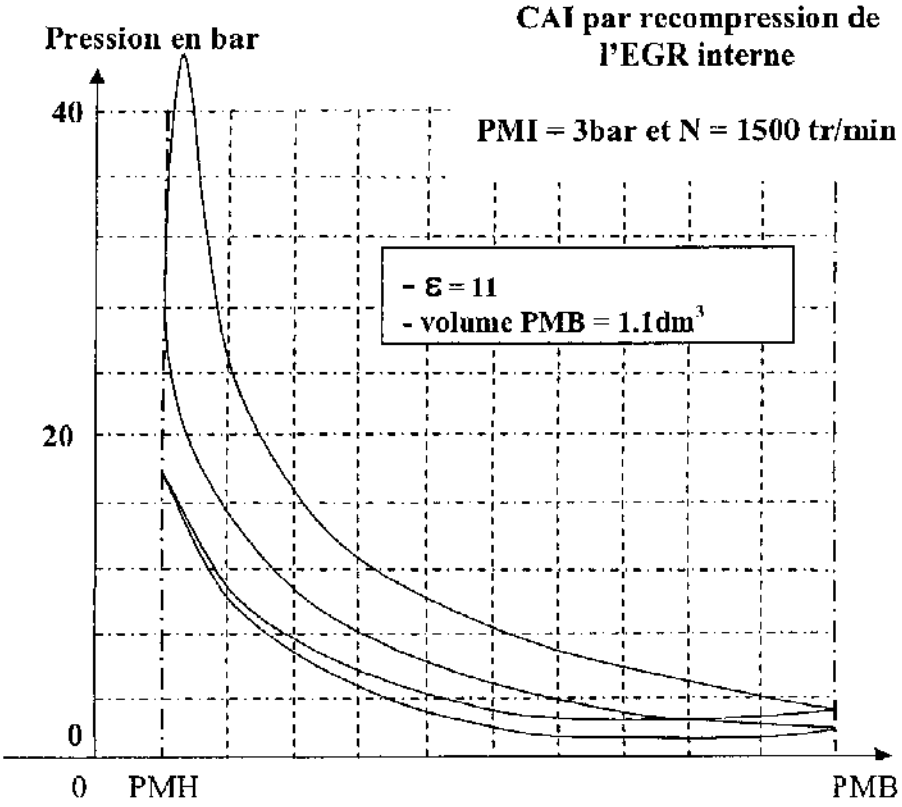


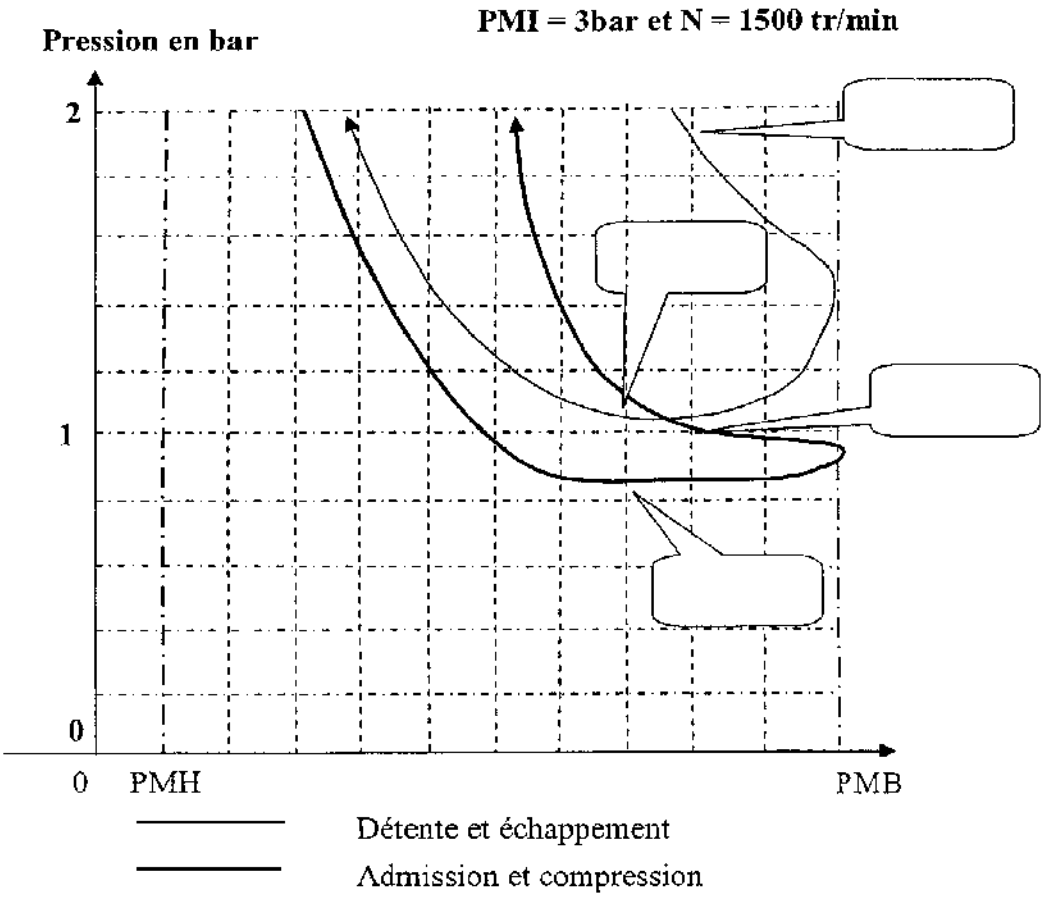
Définitions
CA 50 :
CA 90 – CA 10 :
HLC :

Tableau de synthèse	Homogène	CAI
CA10	**353°**	
CA50	**365°**	
CA90 – CA10 :	**25°**	
HLC en.degré$^{-1}$ (détermination graphique)	**0,04**	
Angle d' HLC	**365°**	

crdp Aquitaine

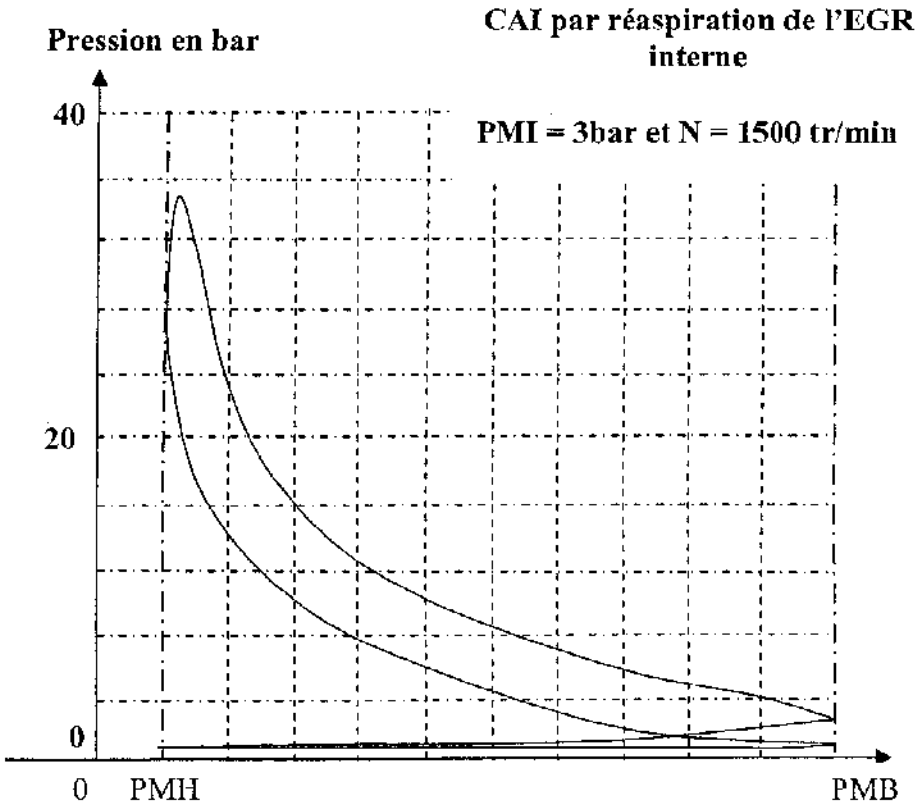
DOCUMENT REPONSE 2 : DR2

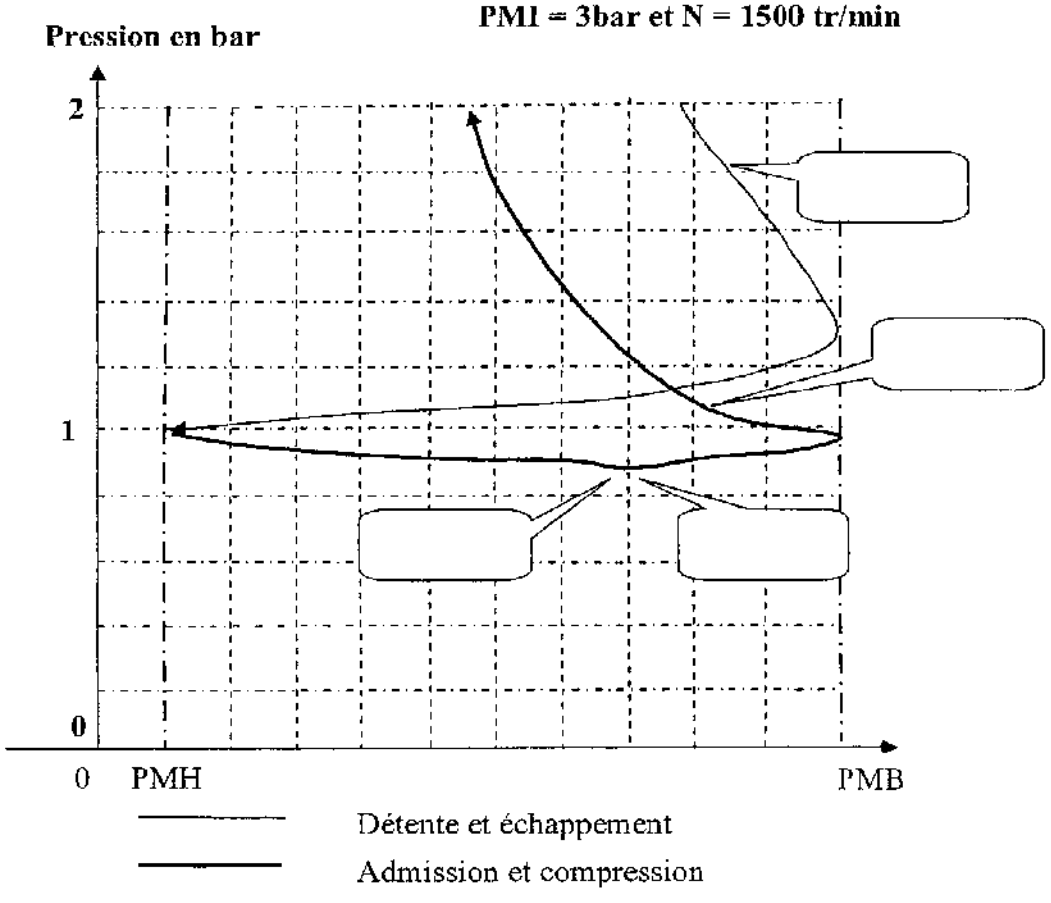




crdp Aquitaine

DOCUMENT REPONSE 3 : DR3





crdp Aquitaine

DOCUMENT REPONSE 4 : DR4

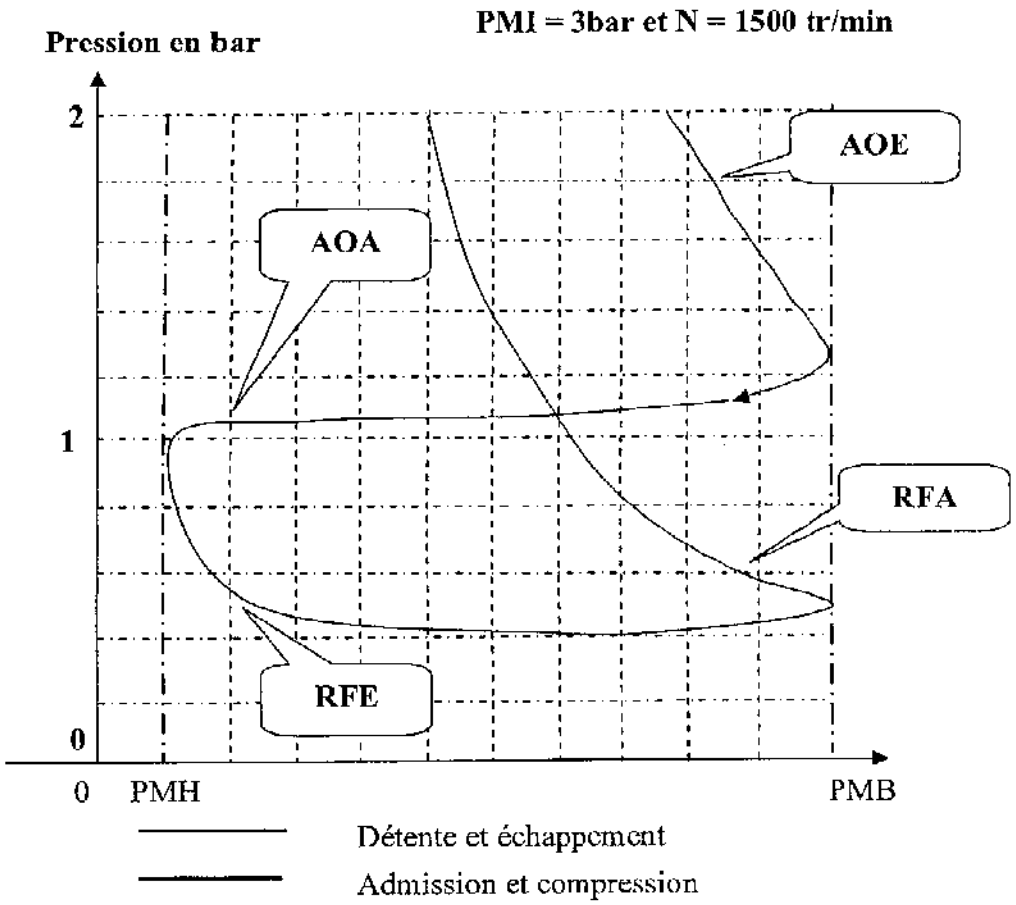
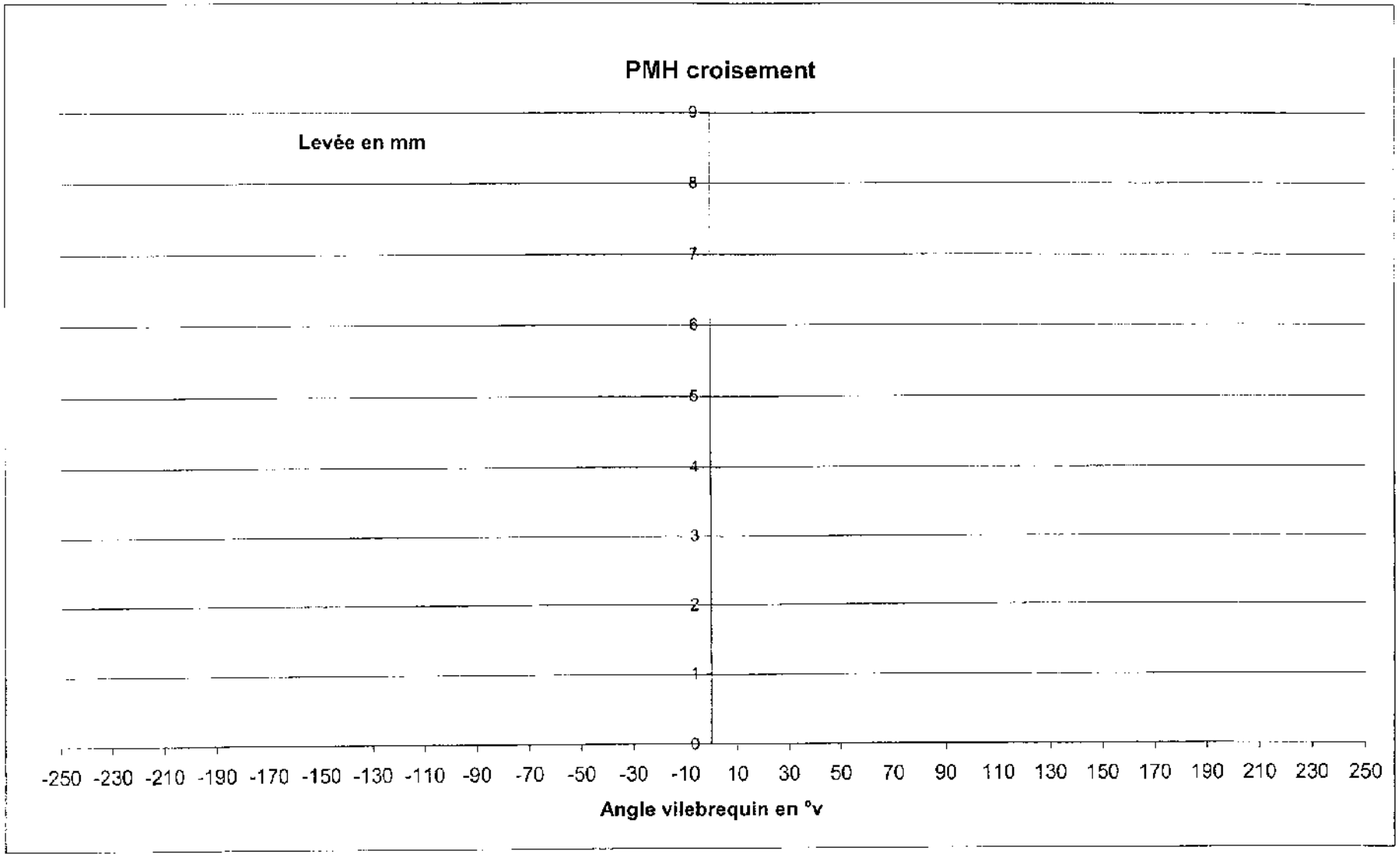


Tableau de synthèse

	Homogène	Recompression	Réaspiration
richesse	1	1	1
PMI BP (bar)	0,5	0,3	0,25
PMI HP (bar)	3,5	3,3	
Remplissage en air	0,29	0,24	0,23
Rendement indiqué	0,3	0,365	
PMC (bar)	10	8,2	
$\eta_{indiqué}$ HP	0,35	0,40	
$\eta_{indiqué}$ BP	0,05	0,037	
CSI ($g.kW^{-1}.h^{-1}$)	276	227	220
Gain CSI / homogène		-18%	-20%

crdp Aquitaine

DOCUMENT REPONSE 5 : DR5



crdp Aquitaine

DOCUMENT REPONSE 6 : DR6

Tablcau 1 : Evolution des paramètres de basc pour différentes levées à N = 1500 tr.min^{-1}

Levée (mm)	1,5 mm	3,5 mm
CSi en g.kW^{-1}.h^{-1}	209,7	
CA 50	7,1	
Pmi HP en bar	3,42	
Taux de gaz brûlés dans la chambre	0,51	
Pression cylindre en bar	38,1	
Gradient de pression en bar/°	5,1	
CA90 - CA10	5,8	
PMI en bar	3	3

Tableau 2 : Influence du calage des arbres à cames à iso PMI = 4bar et iso Tegr = 600K

Calage arbres à cames	152°vil	145°vil	140°vil	135°vil
Taux de gaz brûlés à l'admission en %	0			5,9
Emission NO en ppm	100			100
Gradient de pression dP/dθ (bar/°)	6			3,5
CSI en g.kW^{-1}.h^{-1}	208,8			214,1

Tableau 3 : Influence de la température EGR à iso Pmi = 4bar et iso calage =145°vil

T des gaz EGR	600 K	500 K	400 K	Ecart en %	
Taux de gaz brûlés à l'admission en %	3	3,8	4,2		
Emission NO en ppm	100	80	70		
Gradient de pression dP/dθ (bar/°)	5,6	4,4	3,9		
CSI en g.kW^{-1}.h^{-1}	209,9	209,5	210,5		

crdp Aquitaine

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.