

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

SESSION 2008

ÉTUDE DES MOTEURS

U 52 ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS

Durée 3 h - Coefficient 3

Aucun document autre que le sujet n'est autorisé.
L'usage de la calculatrice est autorisé.

Documents à rendre avec la copie : 3

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

Le sujet comporte 26 pages, numérotées de 1 à 26

CODE ÉPREUVE : 0806MOE5EAM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION 2008	SUJET	ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS – U 52			
Durée : 3h		Coefficient : 3		Code sujet : 12EM06	Page : 1/26

Présentation

Il est conseillé de lire attentivement et complètement le sujet avant de commencer à répondre

Temps conseillé à chacune des parties :

Lecture du sujet :	30 min.
Partie 1 :	00 h 20
Partie 2 :	01 h 10
Partie 3 :	01 h 00

Le dossier est composé de 26 pages :

Présentation :	page 3
Étude du texte du sujet :	pages 4 à 10
Documents Techniques :	pages 11 à 23
Documents réponses :	pages 24 à 26

La clarté des réponses, la présentation et la précision des argumentations seront prises en compte dans la notation.

Support et objectif de l'étude

Support de l'étude :

Malgré ses bonnes performances environnementales du fait de sa faible consommation, le Diesel demeure critiqué pour ses rejets de particules et de fumées noires. Les constructeurs cherchent donc à améliorer les prestations du moteur Diesel vis-à-vis des normes et de la satisfaction du client

Cet enjeu se traduit par des innovations technologiques sur les moteurs Diesel à injection directe et sur **les systèmes de dépollution associés**, alliant la défense de l'environnement à l'agrément de conduite.

Thème de l'étude :

Les supports techniques étudiés dans ce sujet sont le **Filtre à Particules (FAP) et la vanne EGR.**

L'étude comprend 3 parties.

Partie 1 : Mécanisme de formation des NO_x, particules et facteurs influents.

Partie 2 : Régénération du Filtre à Particules.

Partie 3 : Contrôle de la vanne EGR.

Ces 3 parties sont indépendantes.

1. PARTIE 1

MÉCANISME DE LA FORMATION DES NO_x, PARTICULES ET FACTEURS INFLUENTS.

Le moteur Diesel étudié dont les caractéristiques principales se trouvent sur le **document technique N°1 (DT 1)**, est équipé d'un Filtre à Particules jumelé à un pot oxydant « HC – CO ».

- 1.1. Citer les 5 polluants principaux rejetés par le moteur thermique, y compris les gaz à effet de serre.
- 1.2. Indiquer en quelques lignes les raisons principales pour lesquelles le moteur Diesel fournit des taux de NO_x et de particules plus élevés que les moteurs à allumage commandé.
- 1.3. Pour un régime constant $N = 2500 \text{ tr.mn}^{-1}$, et à partir des Documents Techniques DT N° 3, DT N° 6 et DT N°10 :
 - Tracer l'évolution des NO_x, des particules et de la richesse en fonction de la PME, en quelques points judicieusement choisis. Ces tracés sont à faire sur la copie.
 - analyser et justifier, en 10 lignes maximum, l'évolution des NO_x et des particules en fonction de la PME. On pourra distinguer 2 zones principales : avec ou sans EGR.

2. PARTIE 2

REGENERATION DU FILTRE A PARTICULES

Problématique :

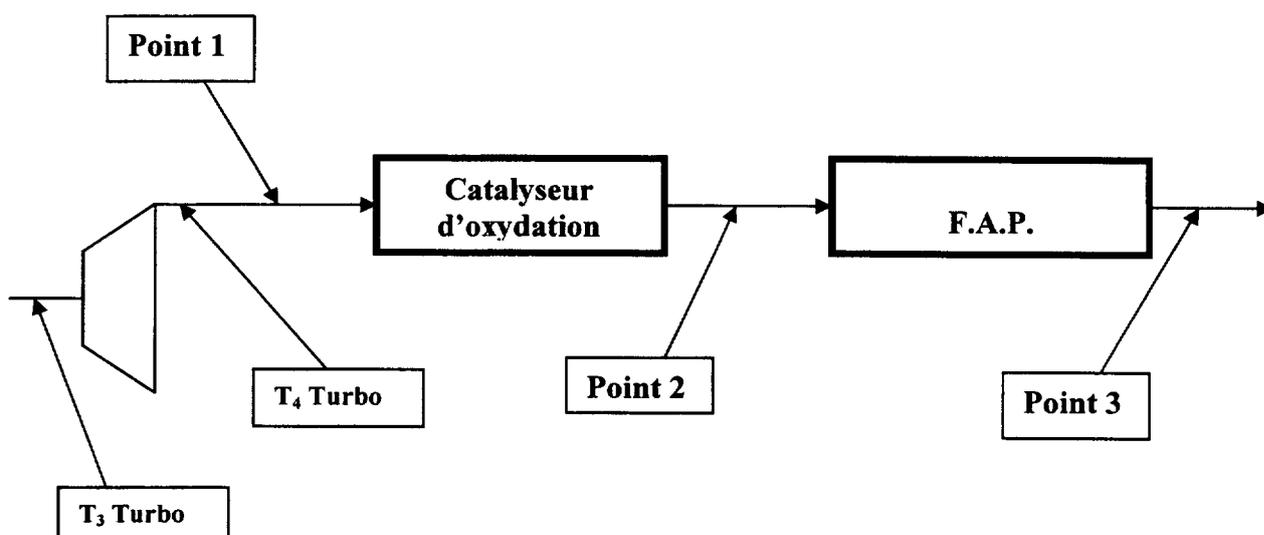
Le processus d'aide à la régénération comporte 2 phases :

- ✓ Augmentation de la température sortie culasse, par post-injection de gazole au sein de la chambre de combustion. L'objectif est d'amorcer le catalyseur sans produire de fumées.
- ✓ Augmentation de la température sortie culasse et production d'imbrûlés pour générer un « exotherme » sur le catalyseur d'oxydation par injection de gazole au sein de la chambre de combustion. L'objectif est de tirer parti de la combustion exothermique des HC au niveau du catalyseur.

Données :

- Voir les Documents Techniques « DT » N° de 2 à 9
- Température d'amorçage du F.A.P. : 500°C.
- Schéma ci-dessous
- Notations et unités : voir page suivante (page 6)

Schématisation de la ligne d'échappement :



Notations, unités :

PCI_{HC}	Pouvoir calorifique inférieur des hydrocarbures	46 000	J.g ⁻¹
PCI_{co}	Pouvoir calorifique inférieur du monoxyde de carbone	10 100	J.g ⁻¹
M_{éch}	Masse molaire atomique des gaz d'échappement	29	g.môle ⁻¹
M_{HC}	Masse molaire atomique des hydrocarbures	13,85	g.môle ⁻¹
M_{CO}	Masse molaire atomique des monoxydes de carbone	28	g.môle ⁻¹
ΔH₁₂	Variation d'enthalpie entre l'entrée et la sortie du catalyseur d'oxydation		J
m_{HC}	Masse d'hydrocarbures imbrûlés à l'échappement		g
m_{CO}	Masse de monoxyde de carbone à l'échappement		g
m_{éch}	Masse de gaz d'échappement		g
[HC]	concentration d'hydrocarbures imbrûlés à l'échappement		su
[CO]	concentration de monoxyde de carbone à l'échappement		su
Q_v	Débit volumique des gaz d'échappement		kg . s ⁻¹
ρ_{éch}	Masse volumique des gaz d'échappement		kg . m ⁻³
ρ_{HC}	Masse volumique des hydrocarbures imbrûlés		780 kg. m ⁻³
ρ_{CO}	Masse volumique du monoxyde de carbone		kg . m ⁻³
CP_{éch}	Chaleur massique des gaz d'échappement		1,050 J.g ⁻¹ .K ⁻¹
ΔT₁₋₂	Variation de température entre les points 1 et 2		K
Q_{HC}	Energie des Hydrocarbures Imbrûlés		J

Objectif de cette partie :

Il s'agit de calculer la quantité d'HC à « post-injecter » permettant d'obtenir un exotherme suffisant pour activer la régénération du FAP.

Hypothèse :

Gaz d'échappement et HC assimilés à un gaz parfait.

Travail demandé :

- 2.1. Écrire littéralement la variation d'enthalpie ΔH_{1-2} entre les points 1 et 2, en fonction de T_2 et de T_1 .
- 2.2. exprimer sous forme littérale la quantité d'énergie fournie par les hydrocarbures imbrûlés Q_{HC}
- 2.3. en déduire l'expression littérale de la différence de température entre les points 1 et 2 : ΔT_{1-2}

- 2.4. On rappelle que la concentration d'une espèce X est définie par : $[X] = \frac{n_X}{n_T}$, avec n_X nombre de moles de l'espèce X considérée et n_T le nombre de moles total.

Déterminer la relation entre $\frac{m_{HC}}{m_{ech}}$, $[HC]$ et $\frac{M_{HC}}{M_{ech}}$.

- 2.5. en déduire l'expression littérale de la variation de température ΔT_{1-2} en fonction des divers paramètres utilisés précédemment.
- 2.6. Calculer la contribution d'élévation de température $\Delta T_{1-2 HC}$ due aux hydrocarbures imbrûlés, pour une concentration de HC égale à 1% (0,01).
- 2.7. Par similitude, déterminer la contribution d'élévation de température $\Delta T_{1-2 CO}$ due au monoxyde de carbone, pour une concentration de CO de 1% (0,01).

On se positionne maintenant sur le point de fonctionnement PME = 6 bars, N= 2000 tr.mn⁻¹.

Utiliser les documents techniques DT 2, DT 4, DT 5, DT7, DT 8 et DT 9.

Le moteur fonctionne alors sans post-injection.

2.8. Relever sur les **Documents Techniques DT 2, DT 4, DT 5, DT 7, DT 8 et DT 9** les diverses valeurs demandées sur le tableau du **Document Réponse DR N°1**, pour le point de fonctionnement (6 bars, 2000 tr.min⁻¹).

Pour la suite de l'étude,

- **on utilisera les valeurs que vous avez reportées dans le tableau du Document Réponse N°1.**
- **On utilisera la formule : $T_2 - T_1 = \Delta T_{1-2} = 20\,920 [\text{HC}] + 9285 [\text{CO}]$.**

2.9. Déterminer la température de sortie du catalyseur (point 2 : T2) en fonction de la température aval du turbo (point 1 : T4_{turbo} = T1), et des concentrations de HC et de CO relevées dans le tableau. On prendra comme hypothèse que l'efficacité du catalyseur est de 100 %.

2.10. Cette température est-elle suffisante pour amorcer le FAP. Sinon, quelle sera la stratégie à utiliser ?

2.11. On considère maintenant qu'il faut une augmentation de température de 150 K entre les points 1 et 2. On néglige la contribution du CO.

Déterminer la concentration de HC nécessaire à l'obtention de cette ΔT_{1-2} (condition d'amorçage du FAP).

2.12. On donne la masse de gaz contenue dans le cylindre :

$$m_{\text{ech}} = 600 \text{ mg.cycle}^{-1}.\text{cylindre}^{-1}$$

Déterminer la masse de carburant à injecter en post-injection.

Indiquer l'hypothèse à prendre pour effectuer ce calcul.

3. PARTIE 3

CONTRÔLE DE LA VANNE E.G.R. :

Problématique :

Le principe de fonctionnement de la vanne EGR est décrit dans le **document technique N°13** ainsi que sa stratégie de commande.

Le régulateur est du type **PID parallèle** (Proportionnel Intégral Dérivé). Pour déterminer un pré réglage de ce PID, on commande le système en boucle ouverte. Pour cela on débranche la liaison électrique entre le capteur et le comparateur (Cf. figure N°3 **Document Technique N°11**) : le système est donc en boucle ouverte (BO).

On enregistre les évolutions du signal de commande de la vanne EGR et le signal du potentiomètre.

Le relevé des signaux est représenté sur le graphe N°1 **Document Réponse N°2**.

Le signal de commande est un échelon de tension 12 V.

La méthode de détermination des facteurs de correction est fournie dans la partie documentation (**Document Technique N°12**).

Le PID est du type parallèle.

Objectifs :

Déterminer les valeurs de réglage du correcteur PID

Cahier des charges

- ✓ Temps de réponse : TR à 5% < 36 ms
- ✓ Dépassement < 20%
- ✓ Ecart statique ϵ_s < 5%

Travail demandé.

Les résultats sont à reporter dans le tableau du **Document Réponse N°2**.

À partir des informations fournies dans le **Document Technique N°12** page 22 :

- 3.1. Déterminer l'amplitude maximale de l'échelon ΔX (delta X) et l'amplitude maximale de la réponse ΔY (delta Y).
- 3.2. Calculer puis reporter sur le graphique les 28% et les 40% de ΔY .
- 3.3. Déterminer graphiquement les temps T1 et T2 en ms.
- 3.4. Calculer le retard τ (tau) et la constante de temps θ (téta).
- 3.5. Calculer les coefficients du PID :
 - Le coefficient proportionnel Kp.
 - Le coefficient intégral Ki.
 - Le coefficient dérivé Kd.

3.6.vérification du comportement en boucle fermée (BF)

Les valeurs calculées précédemment ont été appliquées au régulateur. Une réponse à un échelon est donnée sur le graphe N°2 du **Document Réponse N°3**.

Sur le graphe :

- 3.6.1. Déterminer le temps de réponse à 5%.
- 3.6.2. Calculer la valeur du dépassement.
- 3.6.3. Tracer l'écart en fonction du temps et évaluer l'écart statique \mathcal{E}_s .
- 3.6.4. Conclure vis-à-vis du cahier des charges.

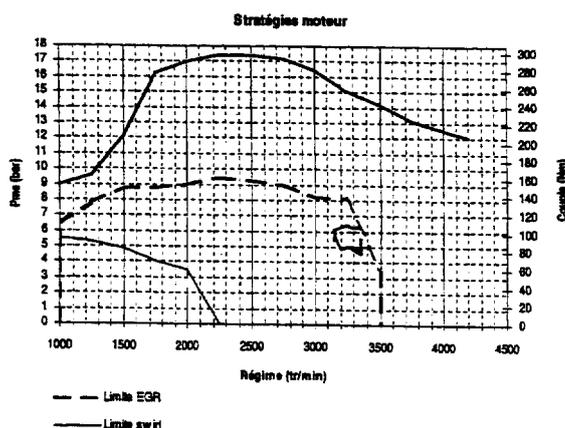
Document Technique N°1 (DT N°1)

Caractéristiques principales du moteur :

- ✓ Alésage : 88 mm
- ✓ Course : 88,4 mm
- ✓ Cylindrée : 2151 cm³
- ✓ Cylindrée unitaire : 537,7 cm³
- ✓ Rapport volumétrique : 19
- ✓ Ralenti : 750 tr.mn⁻¹
- ✓ Puissance maximale : 92 kW à 4200 tr.mn⁻¹
- ✓ Puissance spécifique : 42,8 kW.litre⁻¹
- ✓ Couple maximal : 300Nm entre 1800 et 2600 tr.mn⁻¹
- ✓ Pme maximale : 17,5 bar entre 1800 et 2600 tr.mn⁻¹

Description des stratégies moteur :

Limite de fonctionnement de la soupape EGR :



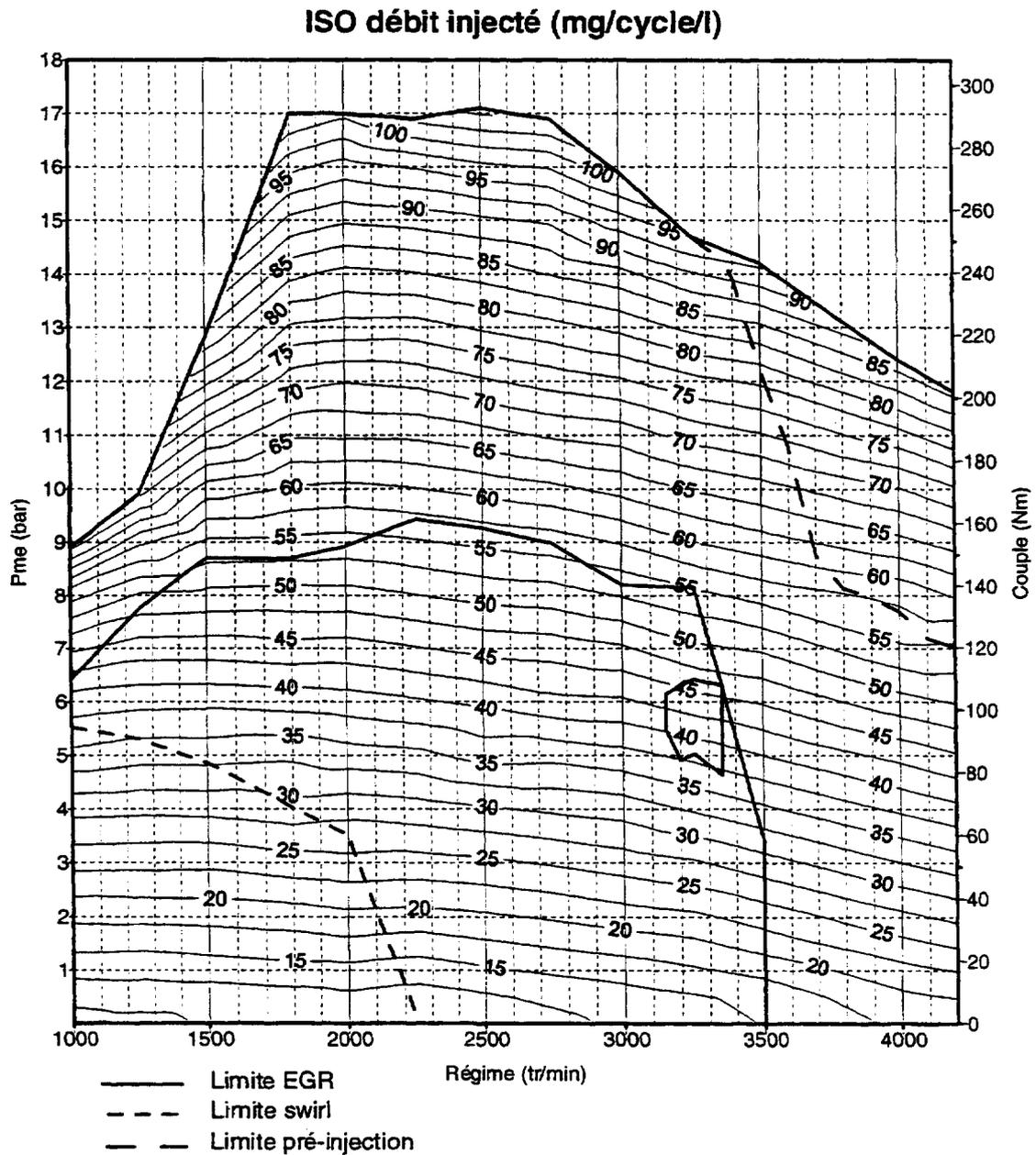
Performances : (avec boîte de vitesses mécanique)

- ✓ Vitesse maximale : 198 km.h⁻¹ à 4100 tr.mn⁻¹
- ✓ 0 à 100 km.h⁻¹ : 10,5 s
- ✓ km départ arrêté : 32,9 s
- ✓ Rapport poids/puissance : 14,6 kg.kW⁻¹

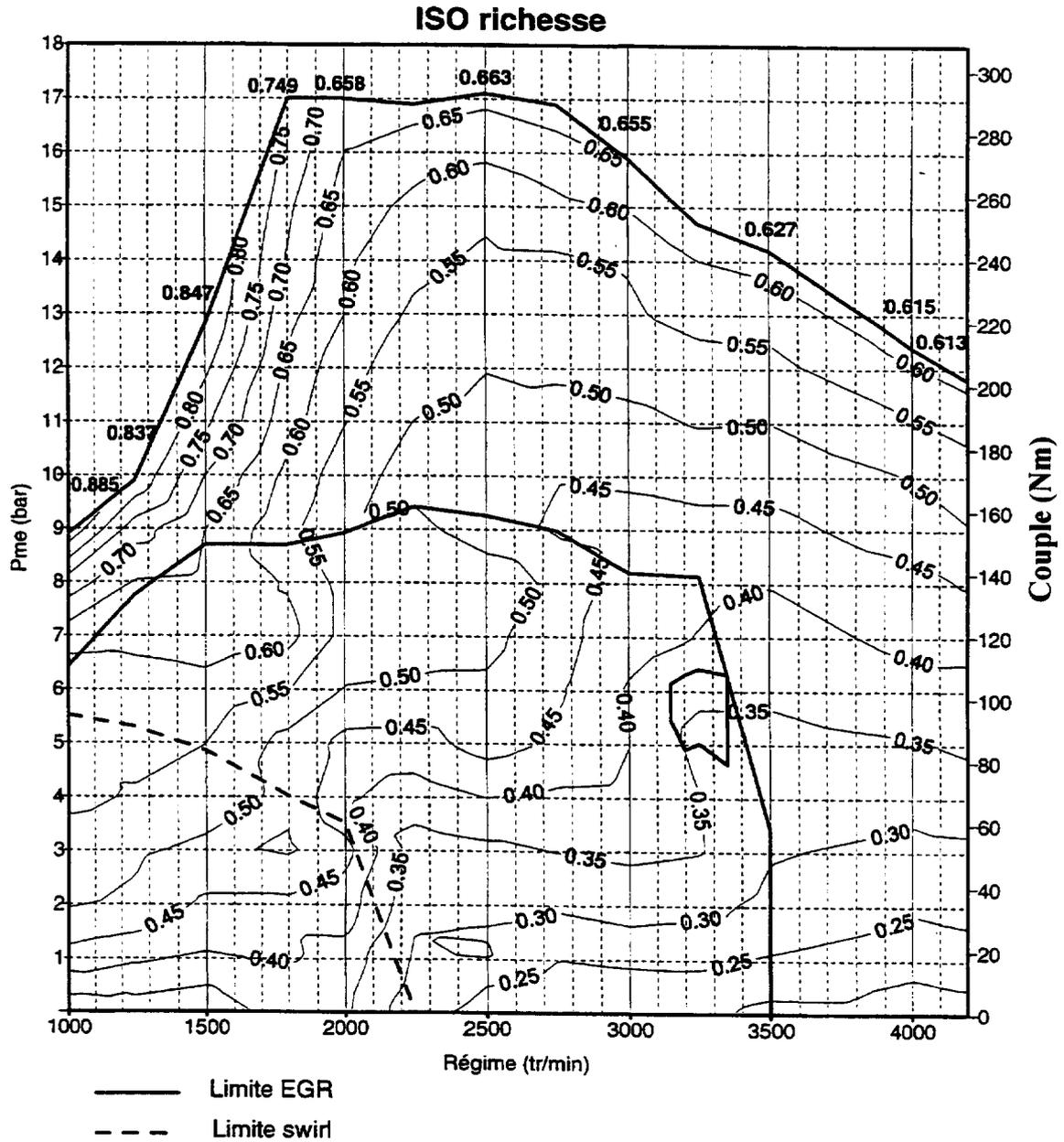
Consommation : (Norme 80/1268/CEE-Edition de 93/116/CEE)

- ✓ Urbaine : 8,2 l.100km⁻¹
- ✓ Extra urbaine : 5,0 l.100km⁻¹
- ✓ Combinée : 6,2 l.100km⁻¹

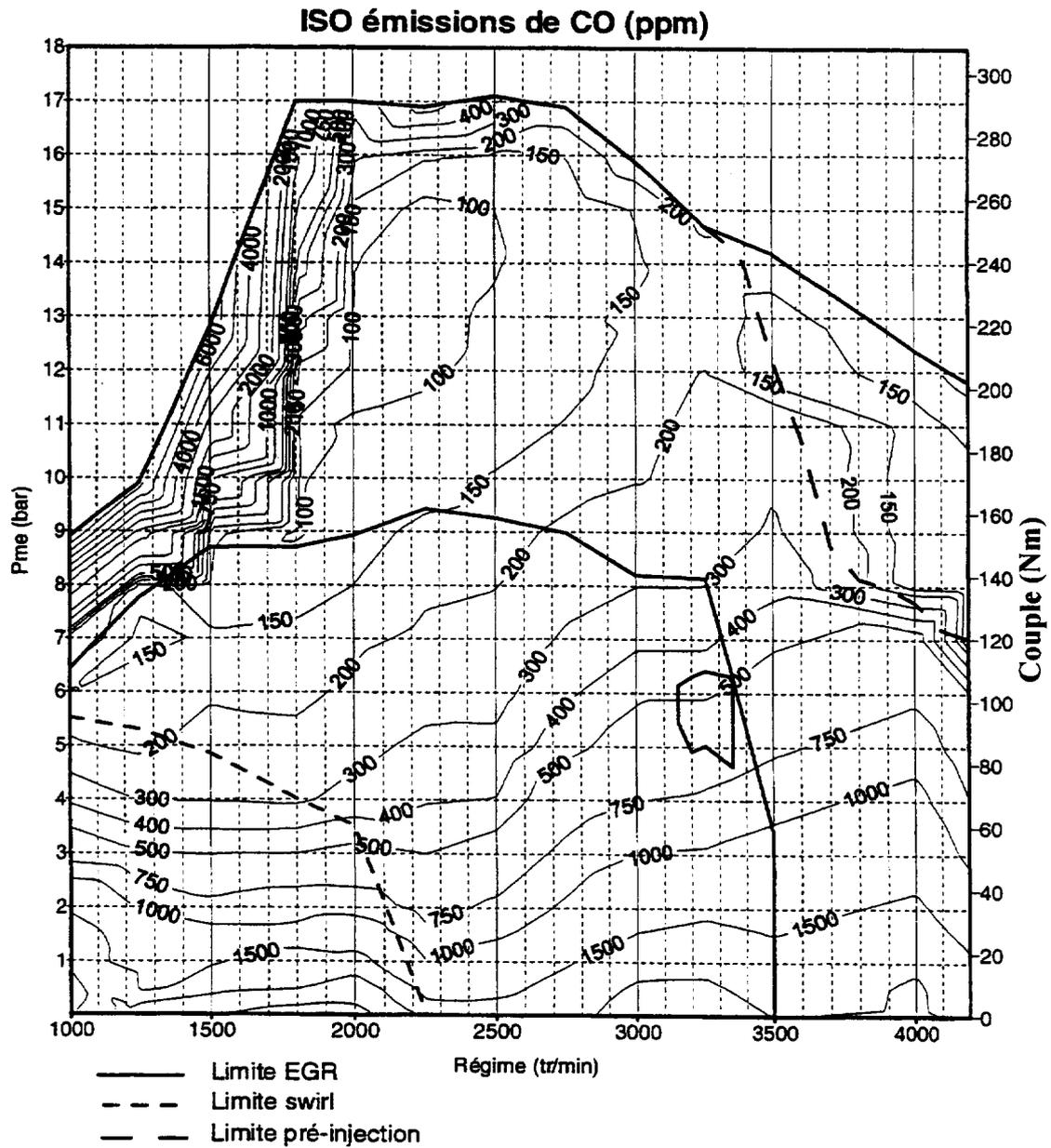
Document Technique N°2 (DT N°2)



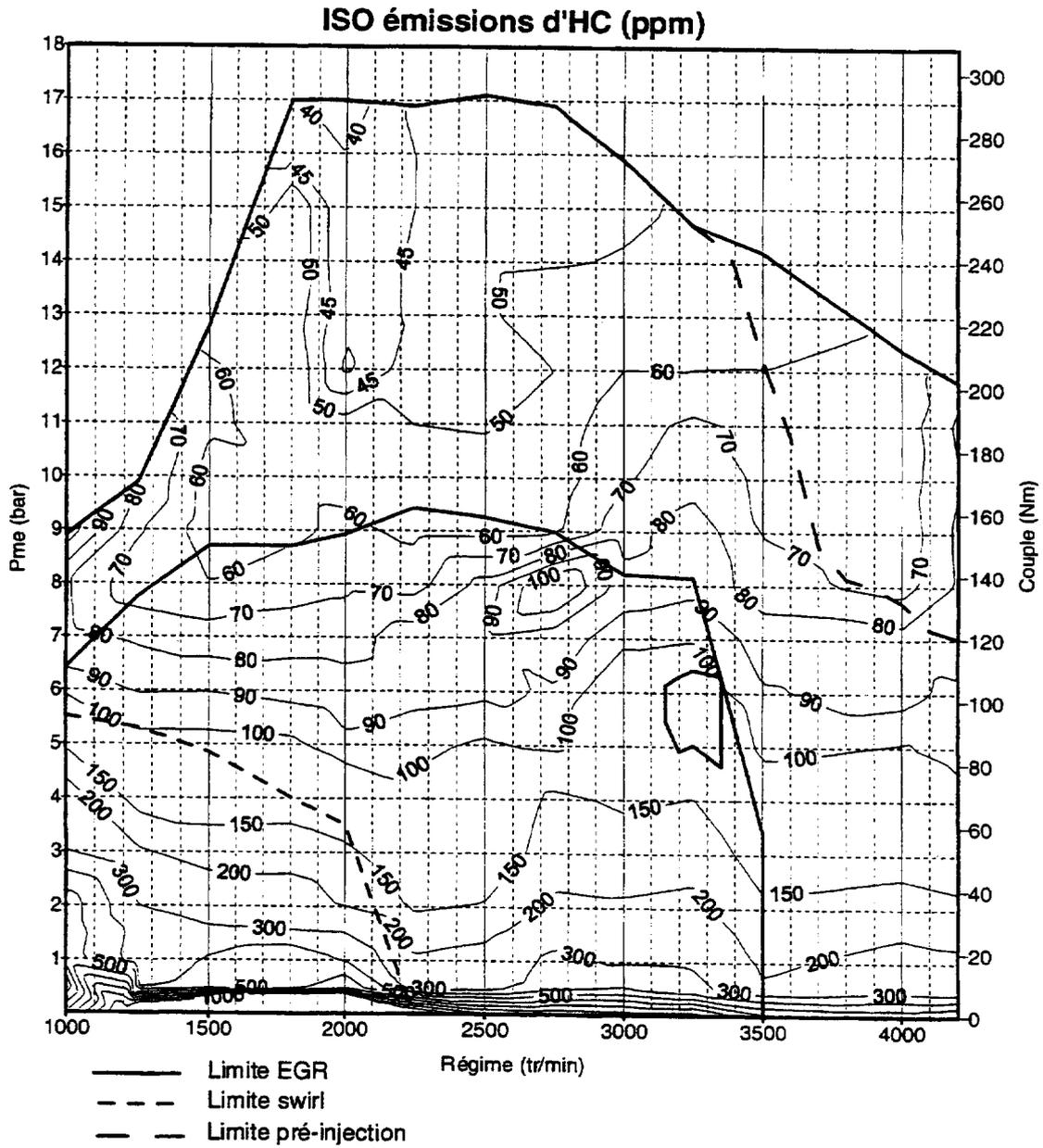
Document Technique N°3 (DT N°3)



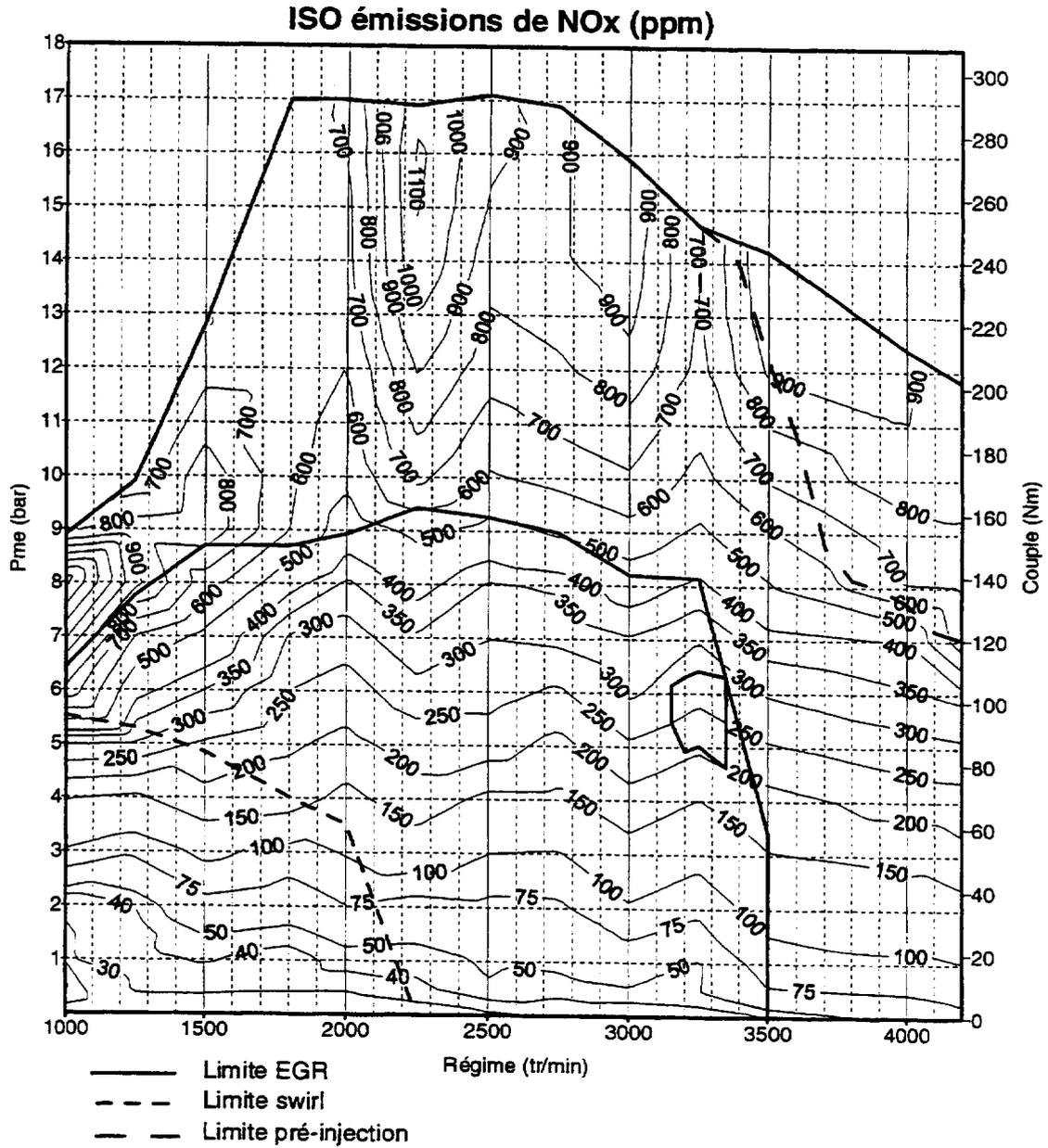
Document Technique N°4 (DT N°4)



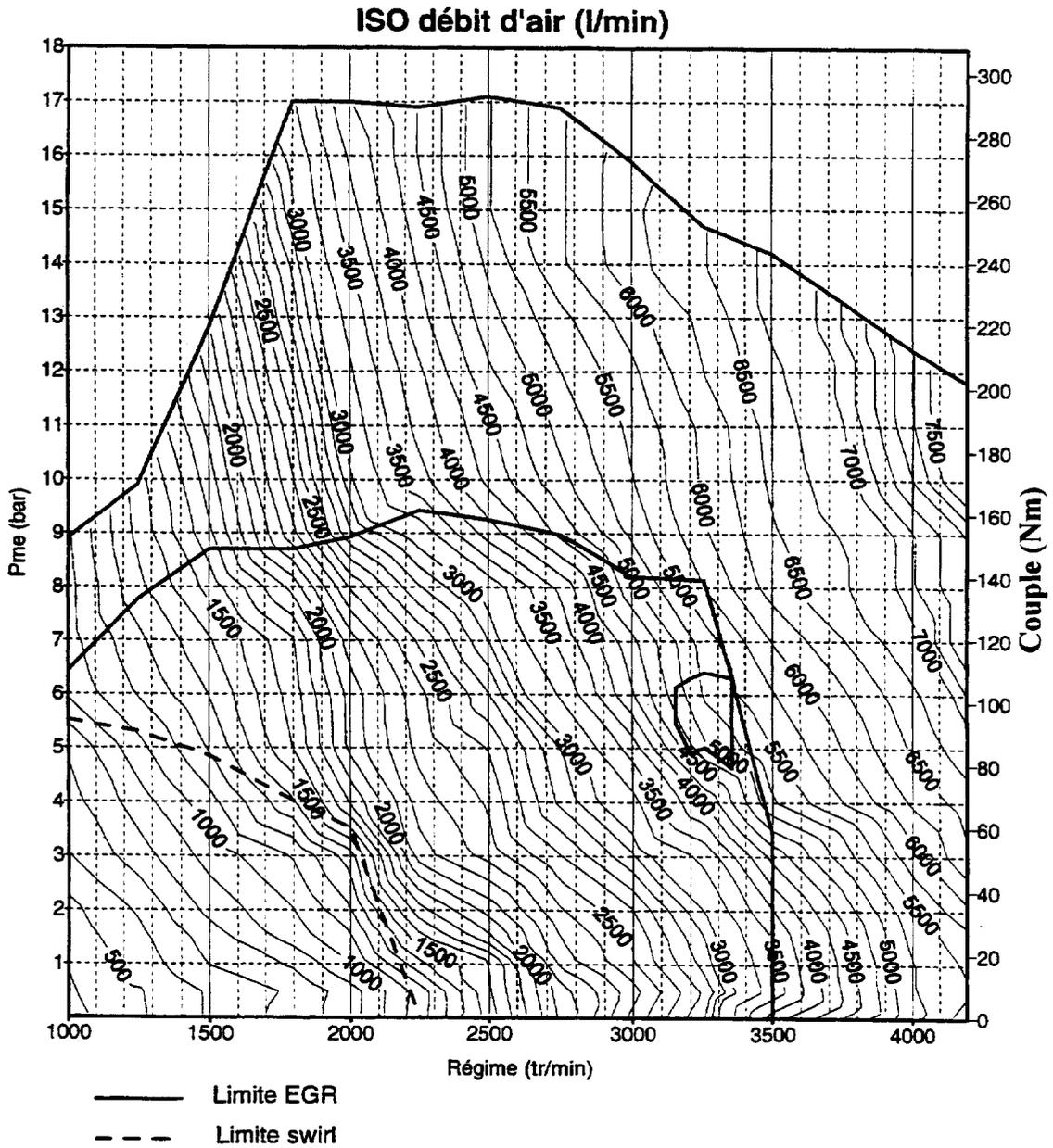
Document Technique N°5 (DT N°5)



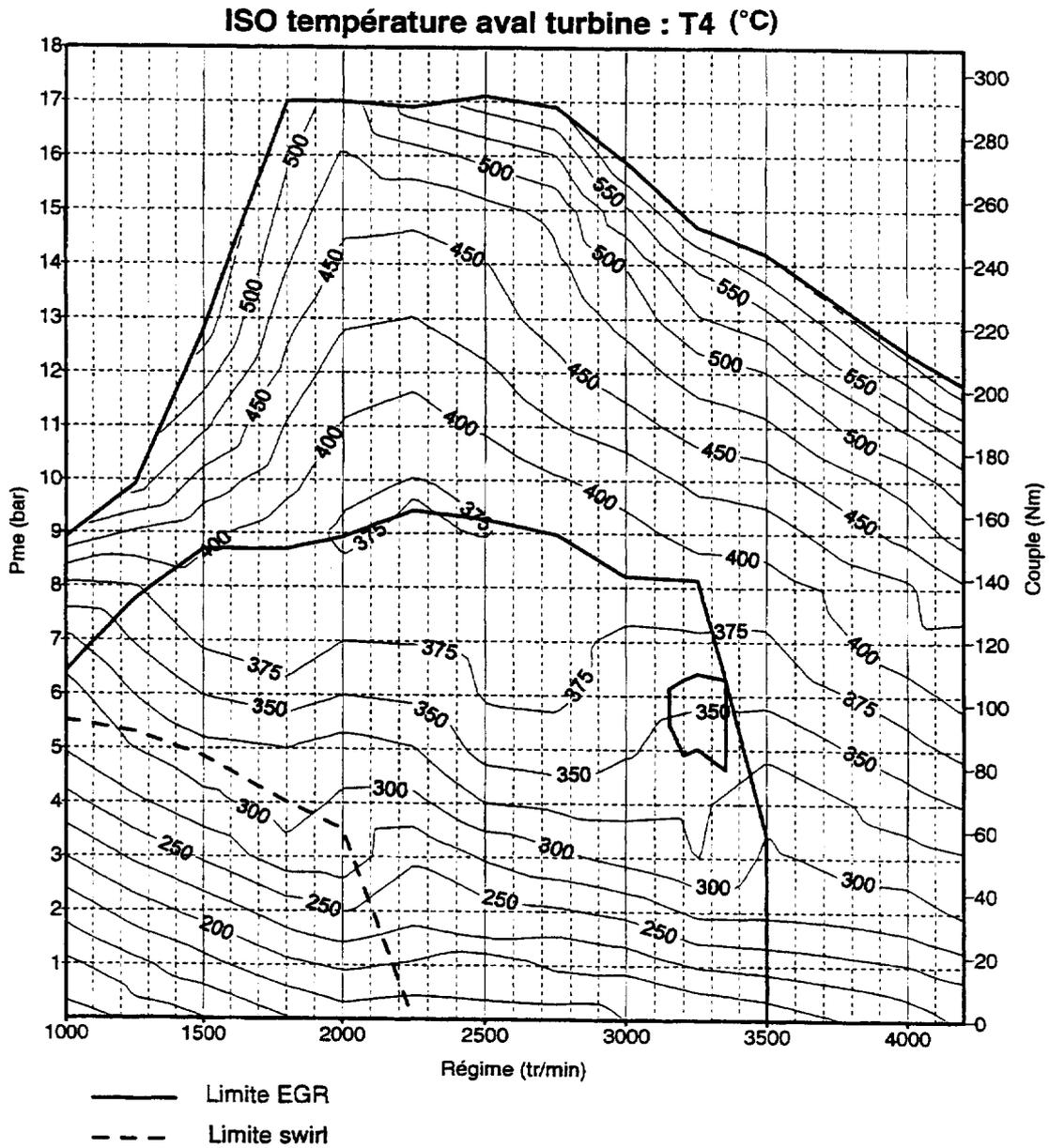
Document Technique N°6 (DT N°6)



Document Technique N°7 (DT N°7)

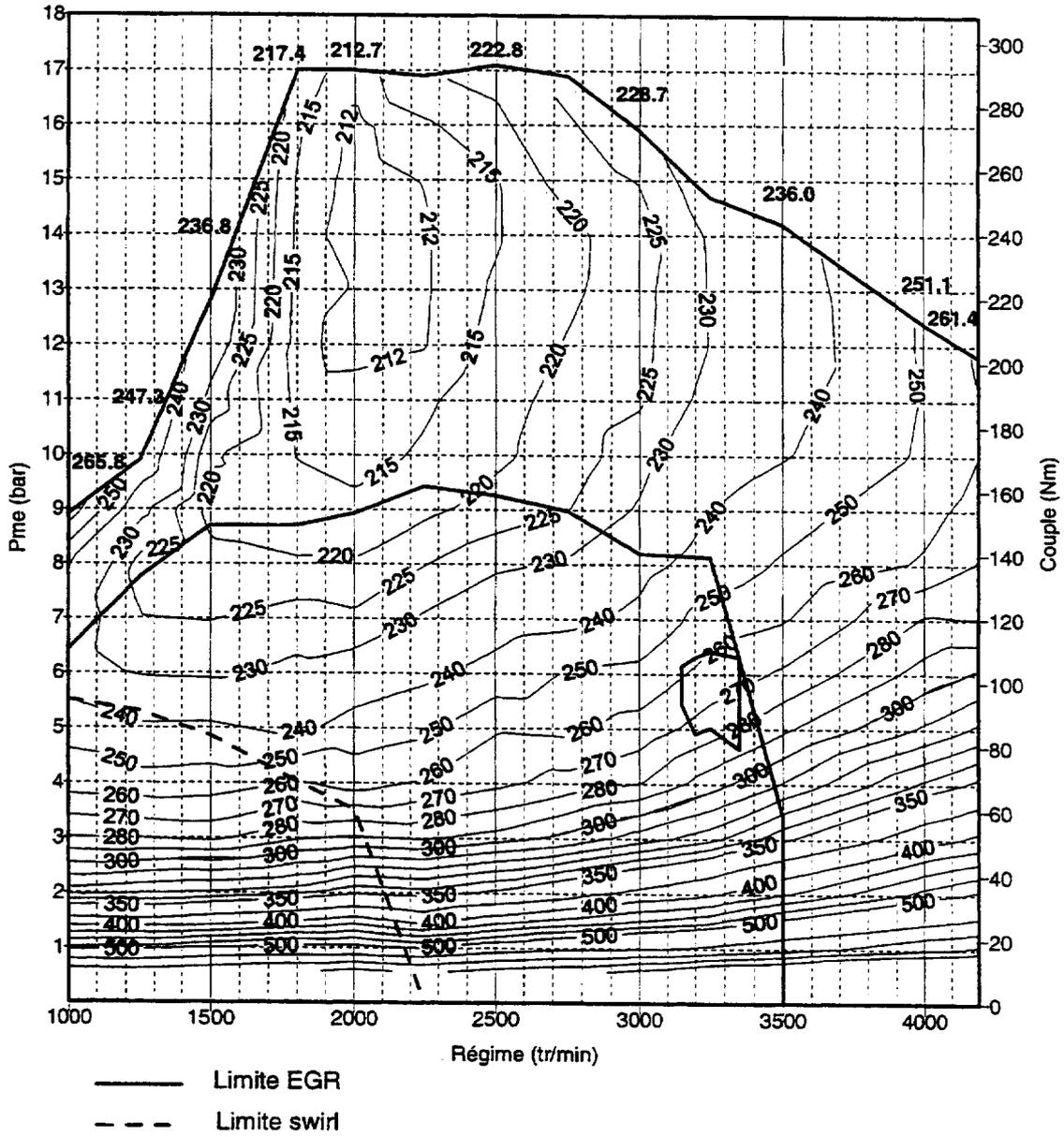


Document Technique N°8 (DT N°8)

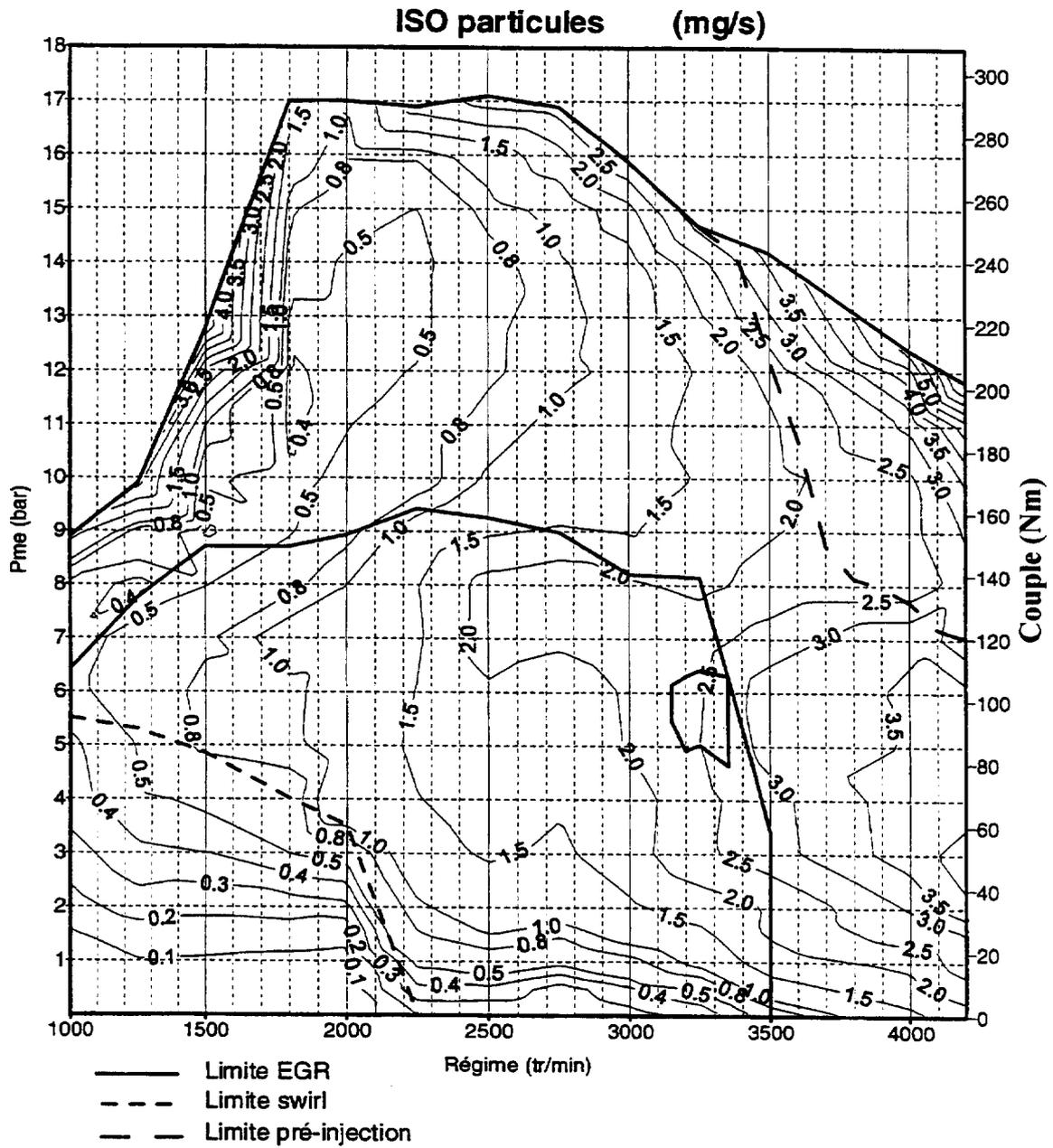


Document Technique N°9 (DT N°9)

ISO CSE (g/kWh)



Document Technique N°10 (DT N°10)



Document Technique N°11 (DT N°11)

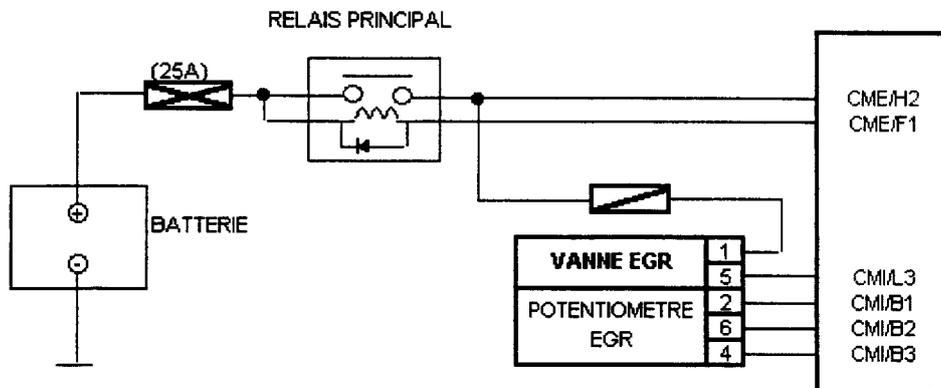


Figure 1: Schéma électrique de la vanne EGR

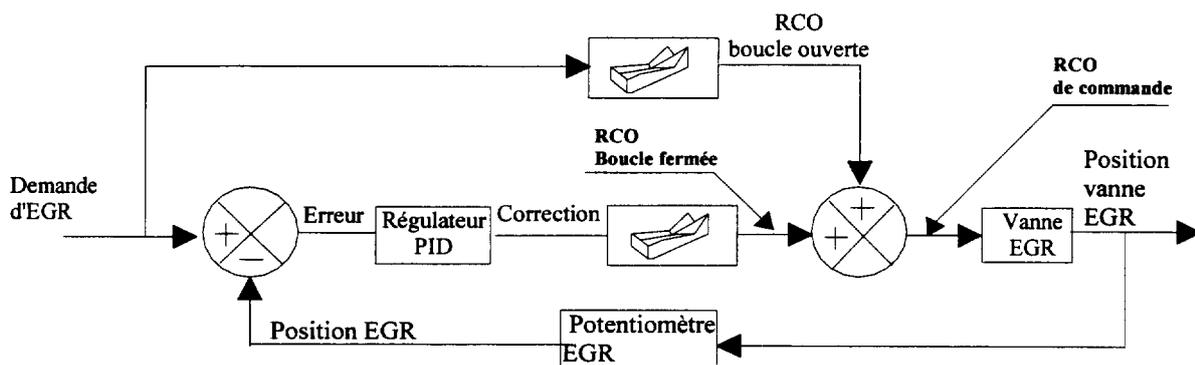


Figure 2: Stratégie de commande en boucle fermée.

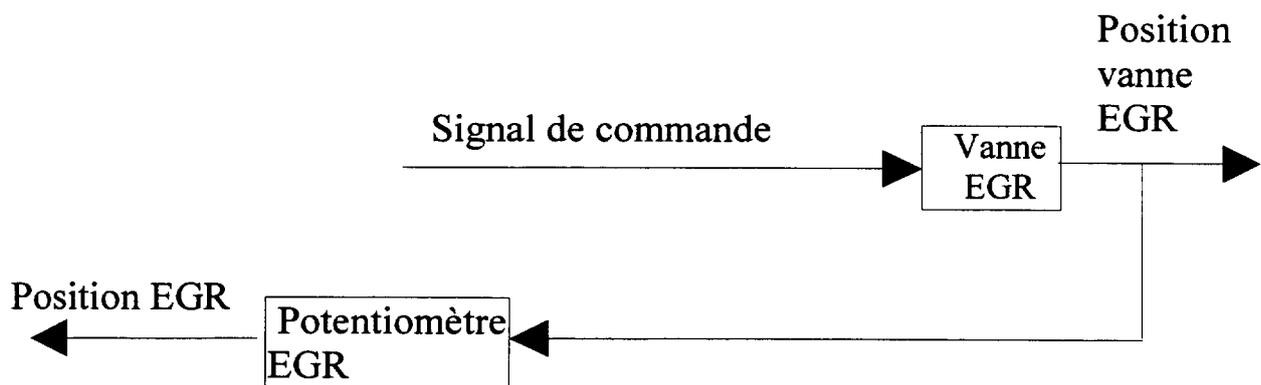
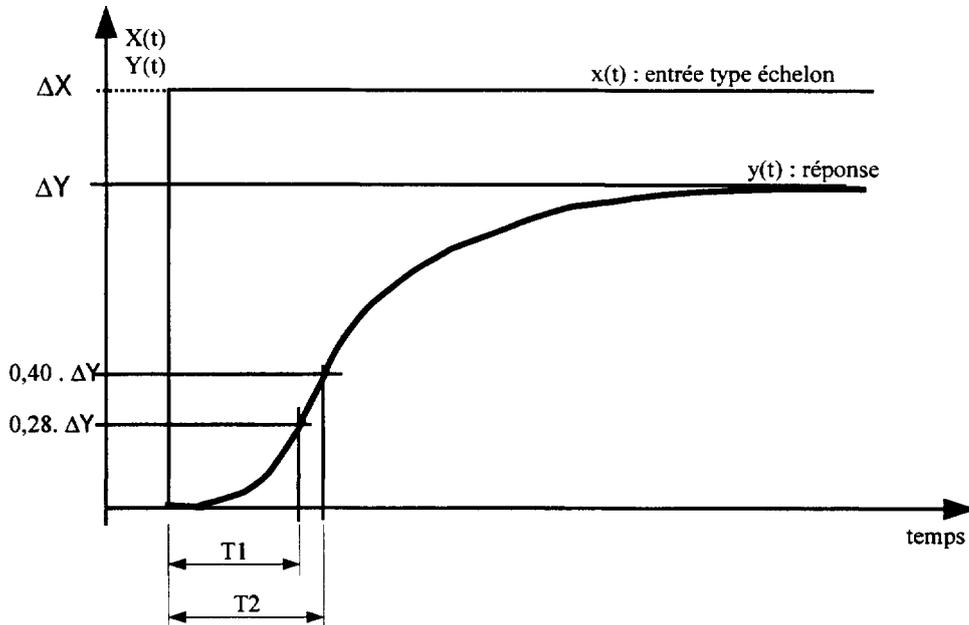


Figure 3: Commande en boucle ouverte

Document Technique N°12 (DT N°12)

Méthode de réglage par interprétation graphique d'un système stable.



En boucle ouverte on applique au procédé une entrée de type échelon et on enregistre les évolutions de l'entrée et de la sortie à réguler
 Par méthode graphique, on détermine les temps T_1 et T_2 où l'on observe respectivement 28% et 40% de l'amplitude maximale de la réponse ΔY .
 On peut alors calculer le gain statique G_s , la constante de temps θ (téta) et le retard τ (tau) à l'aide des relations suivantes :

G_s	θ (téta)	τ (tau)
$\Delta Y / \Delta X$	$5,5 (T_2 - T_1)$	$2,8 T_1 - 1,8 T_2$
	T_1 et T_2 en ms	T_1 et T_2 en ms

Les réglages du PID sont obtenus à partir des relations suivantes, suivant le type de régulation utilisé

Modes de régulation	P	PI série	PI parallèle	PID série	PID parallèle	PID mixte
Actions						
Gr	$\frac{0,8 \times \theta}{G_s \times \tau}$	$\frac{0,8 \times \theta}{G_s \times \tau}$	$\frac{0,8 \times \theta}{G_s \times \tau}$	$\frac{0,85 \times \theta}{G_s \times \tau}$	$\frac{\theta + 0,4}{1,2 \times G_s}$	$\frac{\theta + 0,4}{1,2 \times G_s}$
Ti	Maxi	θ	$\frac{G_s \times \tau}{0,8}$	θ	$\frac{G_s \times \tau}{0,75}$	$\theta + 0,4 \tau$
Td	0	0	0	$0,4 \times \tau$	$\frac{0,35 \times \theta}{G_s}$	$\frac{\theta \times \tau}{\tau + 2,5 \times \theta}$

On détermine ensuite les coefficients du PID : $K_p = Gr$; $K_d = Td$ et $K_i = 1 / Ti$.

Document Technique N°13 (DT N°13)

CONTRÔLE DE LA VANNE E.G.R. :

Fonction et circuit de commande :

Le système de recirculation des gaz d'échappement (EGR) est utilisé pour dévier une partie des gaz d'échappement vers le circuit d'admission du moteur dans le but de diminuer l'excès d'air et de température dans la chambre de combustion. Ce dispositif permet ainsi de réduire sensiblement les émissions d'oxydes d'azote à l'échappement.

Le système d'EGR (Cf. Figure 1 du Document Technique N°11) se compose d'une vanne proportionnelle munie d'un potentiomètre qui permet de connaître la position exacte de la vanne.

La vanne d'EGR est pilotée par le calculateur pour la mise à la masse et par le relais principal pour la mise au + 12 V. batterie.

Stratégie de commande: (Cf. figure 2 du Document Technique N°11)

Le contrôle en boucle fermée de la position de la vanne d'EGR est réalisé en fonction de :

- La demande d'EGR (entrée consigne du comparateur) qui est déterminée par le calculateur en fonction des conditions de fonctionnement du moteur, à partir de cartographies prenant en compte :
 - Le régime du moteur.
 - Le débit injecté.
 - La température d'air.
 - La pression atmosphérique.

- La position de la vanne d'EGR mesurée par le potentiomètre.

Le contrôle de la position de la vanne d'EGR se fait par une régulation en boucle fermée de la vanne d'EGR.

Une cartographie détermine le rapport cyclique d'ouverture (RCO) du signal à appliquer à la vanne d'EGR en fonction de la demande d'EGR déterminée précédemment (cartographie dite de boucle ouverte).

Une boucle fermée vient corriger la valeur précédente (RCO boucle fermée) en fonction de l'erreur entre la demande d'EGR et la position de la vanne d'EGR mesurée par le potentiomètre.

Document Réponse N° 1 (DR N° 1)

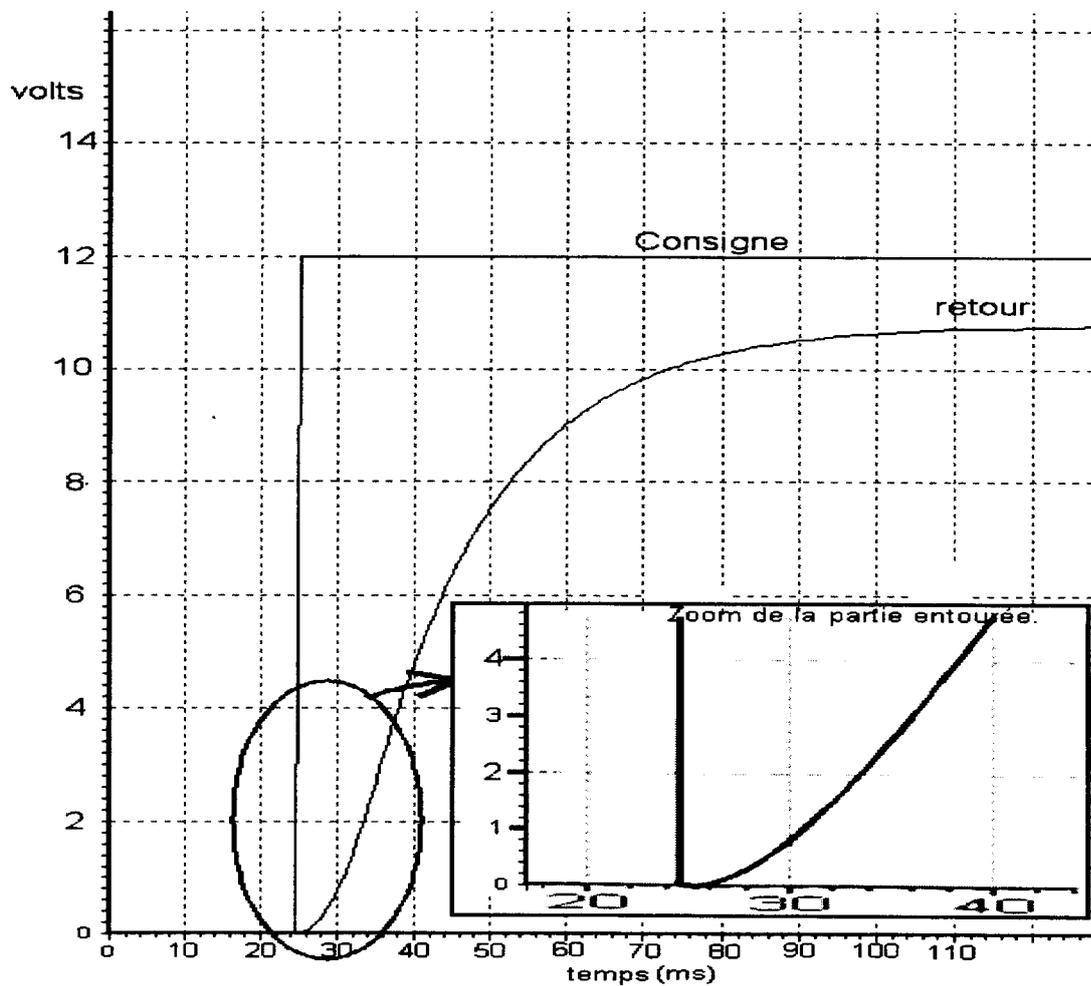
Question 2.8 :

Relever sur les Documents Techniques DT 2 ; DT 4 ; DT 5 ; DT 7 ; DT 8 et DT 9 ; les diverses valeurs correspondant au point de fonctionnement et compléter le tableau du Document Réponse DR N°1.

Caractéristiques :	Document Technique (DT)	Valeurs relevées + unités
Débit injecté :	DT N°2	
Emissions CO :	DT N°4	
Emissions HC :	DT N°5	
Débit d'air :	DT N°7	
T° aval turbine « T₄ »	DT N°8	
Cse :	DT N°9	

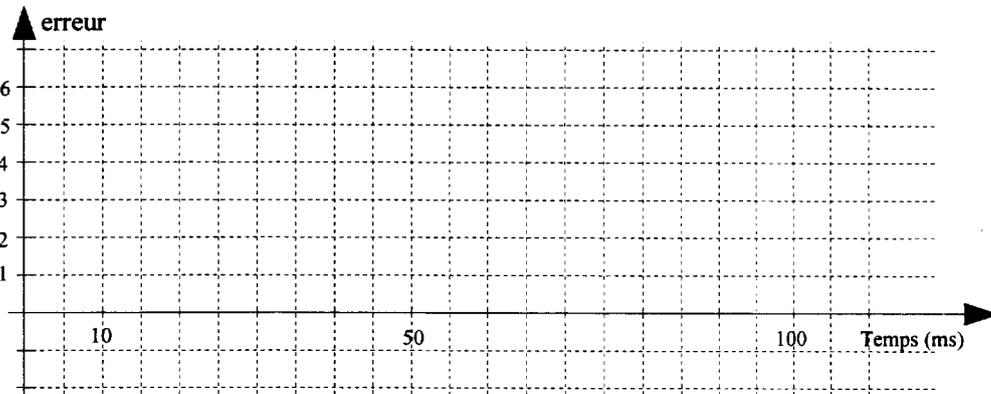
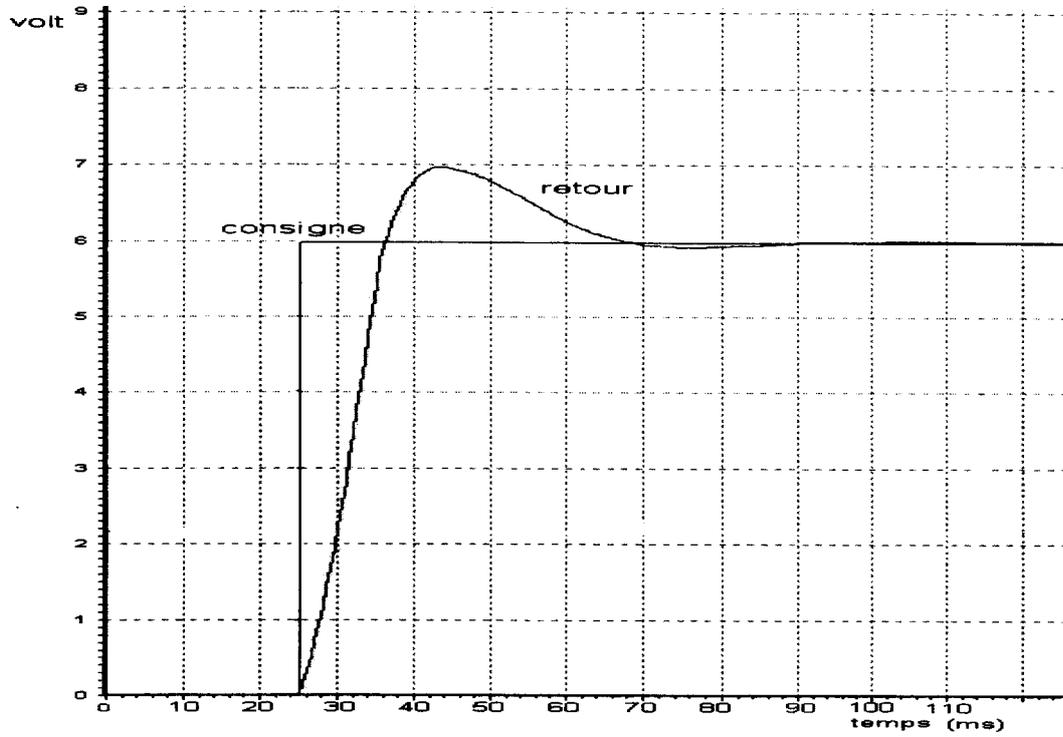
Document Réponse N° 2 (DR N° 2)

Δx	Δy	G_s
$T1$ (en ms)	$T2$ (ms)	
τ	θ	
Kp	Ki	Kd



Graphie 1: Réponse en boucle ouverte.

Document Réponse N° 3 (DR N° 3)



Graph 2 : Graphe de réponse en boucle fermée et graphe d'erreur (à compléter.)

<i>Temps de réponse</i>	<i>dépassement</i>