

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR****MOTEURS À COMBUSTION INTERNE****SESSION 2011****ÉTUDE DES MOTEURS  
U52 – ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS****DURÉE : 3 HEURES – COEFFICIENT : 3**

**Documents et matériels autorisés :**  
**Aucun document autre que le sujet n'est autorisé.**

**Moyens de calculs autorisés :**  
**Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice  
programmable et  
alphanumérique à fonctionnement autonome, non imprimante,  
conformément à la circulaire N° 86.228 du 26 Juillet 1986.**

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

Le sujet comporte 15 pages numérotées de la façon suivante :

- ✓ Texte du sujet : 5 pages numérotées de 2 à 6.
- ✓ Dossier technique : 7 pages numérotées de 7 à 13, et référencées par *DT1*, *DT2*...
  - Le *DT7* contient les notations et constantes utilisées.
- ✓ Documents réponses 2 pages numérotées de 14 à 15 (à rendre obligatoirement même non complétées) et référencées : *DR1*, et *DR2*.

<b>CODE ÉPREUVE :</b> 1106MOE5EAM		<b>EXAMEN</b> BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		<b>SPÉCIALITÉ :</b> MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
<b>SESSION :</b> 2011	<b>SUJET</b>	<b>ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS U52 – ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS</b>			
<b>Durée : 3h</b>	<b>Coefficient : 3</b>	<b>SUJET N°04ED09</b>	<b>15 pages</b>		

# Système « SCR »

## PRÉSENTATION

### 1. Contexte

- La réglementation en matière de pollution atmosphérique impose des normes d'émission toujours plus sévères. Par ailleurs, les conditions économiques (prix des carburants) ainsi que la « pression écologique » (effet de serre) demandent une réduction de l'émission de CO<sub>2</sub>.
- Ainsi les constructeurs doivent-ils optimiser le fonctionnement des moteurs selon cette double contrainte : réduire les polluants et améliorer la consommation.
- En matière de transport routier, la norme actuelle est l'EURO 5 (octobre 2009). La difficulté majeure pour les constructeurs est le respect des émissions de NOx. Les constructeurs ont du faire des choix stratégiques pour les techniques de dépollution de façon à réduire les NOx sans pénaliser d'autres aspects.

### 2. Sujet

- On propose donc d'étudier un système de réduction des oxydes d'azote, communément appelé SCR (Selective Catalist Reduction). Ce système est en service chez plusieurs constructeurs de poids-lourds, et même sur un modèle de voiture particulière.
- Le sujet comporte 4 parties indépendantes :
  - ✓ Partie 1 : analyse du contexte.
  - ✓ Partie 2 : aspects théoriques.
  - ✓ Partie 3 : analyse d'une solution technologique.
  - ✓ Partie 4 : analyse des performances du système sur un cycle ESC.
- Repérage des éléments du sujet :
  - ✓ Texte du sujet : 5 pages numérotées de 2 à 6
  - ✓ Dossier technique : 7 pages numérotées de 7 à 13, et référencées par DT1, DT2...
    - Le DT7 contient les notations et constantes utilisées.
    - **Le symbole ⓘ indique que le document est donné à titre informatif, et qu'il n'est pas indispensable à la réalisation du sujet.**
  - ✓ Documents réponses (à rendre obligatoirement même non complétés), 2 pages numérotées de 14 à 15 et référencées : DR1 et DR2.
- Conseils :
  - ✓ D'une façon générale, pour chaque question ou groupe de questions, bien lire les indications concernant :
    - Les documents à consulter et éventuellement à compléter,
    - Les hypothèses et autres données,
    - Les notations utilisées.
  - ✓ **Prendre soin d'indiquer les formules littérales et les unités employées.**
- Temps indicatifs conseillés : 10 ' de lecture globale du sujet et :
 

✓ Partie 1 : 10 minutes	✓ Partie 3 : 60 minutes
✓ Partie 2 : 50 minutes	✓ Partie 4 : 50 minutes.

## PARTIE I : ANALYSE DU CONTEXTE

### 1. Analyse des normes - potentiel des stratégies

- ✓ Voir **tableau 1** et **figure 1** du DT1, ainsi que **figure 6** du DT4 pour la définition de l'efficacité.
- 1.1. On fait l'hypothèse d'une efficacité globale de 80% pour le système de réduction des NOx (SCR). Quelle est alors la valeur d'émission « brute » de NOx limite, c'est-à-dire avant traitement, pour pouvoir atteindre la valeur de la norme EURO 5 ( $2 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) ?
- 1.2. Commenter, en quelques lignes, les 2 stratégies possibles, à l'heure actuelle, pour parvenir à EURO 5 (comparer en particulier l'aspect rendement moteur / production de NOx) :
  - ✓ Stratégie 1 : du point 0 au point 3 via le point 1
  - ✓ Stratégie 2 : du point 0 au point 3 via le point 2.

## PARTIE 2 : POINT DE VUE THÉORIQUE

### 2. Calcul du débit d'additif théorique (ADBLUE®)

- ✓ Voir DT2 et DT7 pour les grandeurs utiles.
- ✓ Hypothèses et données :
  - Les réactions prépondérantes et donc retenues pour le modèle de calcul sont les réactions notées (1), (2) et (4) (voir DT2)
  - L'ADBLUE® est une solution aqueuse d'urée à 32,5% (en masse).
  - Le rapport de NO<sub>2</sub> dans les NO<sub>x</sub> totaux est :  $\frac{NO_2}{NO_x} = 0,1$  (en moles).
- 2.1. A partir de la réaction (1), déterminer le facteur  $K_{u\_NH_3}$  : masse d'urée nécessaire pour produire un gramme d'ammoniac.
- 2.2. A partir de la réaction (2), déterminer la masse d'urée  $m_{u\_NO}$  nécessaire pour réduire 1 mole de NO.
- 2.3. A partir de la réaction (4), déterminer la masse d'urée  $m_{u\_NO_2}$  nécessaire pour réduire 1 mole de NO<sub>2</sub>
- 2.4. Calcul du facteur  $K_{NO_x}$  : masse d'ADBLUE® nécessaire pour réduire 1 g de NO<sub>x</sub> :
  - ✓ Par souci de clarté, on fait le calcul pour 10 moles de NO<sub>x</sub> (dans les proportions de 10% (en moles) de NO<sub>2</sub>).
  - 2.4.1. Déterminer la masse d'urée  $m_u$  nécessaire pour les 10 moles de NO<sub>x</sub>.
  - 2.4.2. En déduire le ratio masse d'urée / masse de NO<sub>x</sub>, puis le facteur  $K_{NO_x}$  : masse d'ADBLUE® théorique nécessaire pour convertir 1 g de NO<sub>x</sub>, en sachant que l'on a 32,5 g d'urée pour 100 g d'ADBLUE®.
  - 2.4.3. En pratique le  $K_{NO_x}$  utilisé est de 2,07.
    - Vérifier que cette valeur correspond à l'hypothèse  $M_{NO_x} = M_{NO_2}$ .
    - Justifier la plausibilité de cette hypothèse par l'utilisation d'un pré-catalyseur d'oxydation (voir DT2).

## PARTIE 3 : ANALYSE D'UNE SOLUTION TECHNOLOGIQUE

### 3. Etude de la consigne de débit d'ADBLUE<sup>®</sup>

- ✓ Voir *DT4* (figures 5 et 6) et *DR1* pour les valeurs numériques.
- ✓ Hypothèses et données :
  - le facteur  $K_{NOx}$  : masse d'ADBLUE<sup>®</sup> théorique nécessaire pour convertir 1 g de NOx est :  $K_{NOx} = 2,07$
  - On donne *DT4* (figure 6) la stratégie simplifiée du calcul de la consigne de débit d'ADBLUE<sup>®</sup>.
  - On donne, document réponse *DR1*, le résultat d'un essai réalisé sur un moteur équipant un Poids-Lourd à  $N = 1800 \text{ tr.min}^{-1}$ .
  - On s'intéresse au point  $P_{\text{eff}} = 240 \text{ kW}$ .
  - **L'allocation NOx sur ce point est de  $2 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ .**

3.1. Exprimer la relation littérale, à partir du schéma-bloc (figure 6), le débit de consigne d'ADBLUE<sup>®</sup>  $Q_{\text{adblue}}$  en fonction :

- de l'efficacité cible  $E_{\text{cible}}$  (%)
- et du débit de NOx produit par le moteur  $Q_{NOx_{\text{mot}}}$ . On considèrera que l'efficacité maximale potentielle est **supérieure** à l'efficacité cible.

3.2. Déterminer, pour le point de fonctionnement, ( $N = 1800 \text{ tr.min}^{-1}$ ,  $P_{\text{eff}} = 240 \text{ kW}$ ),

- le débit de NOx cible  $Q_{NOx_{\text{cible}}}$  en  $\text{g.h}^{-1}$ . (Ceci revient à exprimer la fonction  $Z = Q_{NOx_{\text{cible}}}$ ).
- le débit de NOx produit par le moteur :  $Q_{NOx_{\text{mot}}}$  en  $\text{g.h}^{-1}$ .

3.3. En déduire, pour le point de fonctionnement, l'efficacité cible  $E_{\text{cible}}$  (%)

3.4. Déterminer enfin le débit d'ADBLUE<sup>®</sup> de consigne  $Q_{\text{adblue}}$  en  $\text{g.h}^{-1}$ .

- tracer le point sur le graphique du *DR1*.

3.5. Justifier, par un argument, la fonction « MINI » de la stratégie de calcul du débit de consigne.

### 4. Choix de la vanne de dosage

- ✓ Voir document *DT4* figure 5.
- ✓ Hypothèses et données :
  - La vanne de dosage est pilotée par un signal de type « PWM » (Pulse Width Modulation ou RCO) à fréquence constante.
  - Le « temps mort » est négligé en raison de la fréquence de commande faible (4 Hz).
- ✓ Cahier des Charges
  - Débit minimum d'ADBLUE<sup>®</sup> :  $3300 \text{ g.h}^{-1}$  (à 240 kW avec une efficacité maximale de 90%).
  - Rapport de commande PWM (ou RCO) pour  $3300 \text{ g.h}^{-1} > 50\%$ .

4.1. Justifier le temps de commande maximal des vannes de 0,25 seconde.

4.2. Choisir une vanne répondant au cahier des charges. Argumenter le choix.

## PARTIE 4 : ANALYSE DES PERFORMANCES SUR UN CYCLE ESC

### 5. Performances du système SCR

- ✓ Voir documents *DT3, DT5, DT6, DT7* et *DR3*.
- ✓ Hypothèses et données :
  - Gaz parfait
  - On s'intéresse uniquement au cycle ESC : on veut analyser les résultats de l'utilisation du système SCR sur le cycle « 13 modes ».
  - On prendra un coefficient d'humidité  $K_H = 1$ .
  - Les NOx sont assimilés au NO<sub>2</sub> :  $M_{NOx} = M_{NO2}$
  - La masse molaire des gaz d'échappement est assimilée à celle de l'air :  $M_{echap} = 29 \text{ g.mol}^{-1}$
  - On rappelle que :
    - la concentration des NOx peut se définir à partir de sa pression partielle  $P_{p\_NOx}$  et de la pression totale  $P_t$  :  $[NOx] = \frac{P_{p\_NOx}}{P_t}$  (ici en valeur « vraie », c'est à dire ni en % ni en ppm).
    - Les gaz occupent naturellement tout l'espace disponible; dans un mélange de gaz parfaits, le volume occupé par l'un des composants est donc le volume total (chacun des gaz occupe tout le volume mis à disposition).

#### 5.1. Calcul des émissions sur un point de cycle

##### 5.1.1. exprimer la masse volumique de NOx $\rho_{NOx}$ en fonction :

- ✓ de la masse molaire des NOx :  $M_{NOx}$
- ✓ et de la pression partielle des NOx dans les gaz d'échappement :  $P_{p\_NOx}$

##### 5.1.2. exprimer la masse volumique de gaz d'échappement $\rho_{gaz\_echap}$ en fonction :

- ✓ de la masse molaire des gaz d'échappement :  $M_{echap}$
- ✓ et de la pression totale  $P_t$

##### 5.1.3. exprimer le débit de gaz d'échappement $Qm_{gaz\_echap}$ en fonction :

- ✓ de la masse volumique des gaz d'échappement :  $\rho_{gaz\_echap}$
- ✓ et du débit volumique échappement  $Qv_{gaz\_echap}$

##### 5.1.4. Exprimer le débit massique de NOx $Q_{NOx}$ en fonction :

- ✓ de la masse volumique des NOx :  $\rho_{NOx}$
- ✓ et du débit volumique échappement  $Qv_{gaz\_echap}$

##### 5.1.5. en déduire la relation donnant le débit de NOx $Q_{NOx}$ en fonction :

- ✓ des masses molaires  $M_{NOx}$  et  $M_{echap}$ ,
- ✓ De la concentration  $[NOx]$ ,
- ✓ Et du débit massique d'échappement  $Qm_{gaz\_echap}$ .

*Indiquer clairement les unités !*

**5.2. application numérique**

**5.2.1. calcul du mode 10**

✓ pour cette question, on pourra utiliser la formule déterminée précédemment ou la formule donnée par la norme (voir DT3) :

$$Q_{NOx} \text{ (g.h}^{-1}\text{)} = 1,587.10^{-6} \times [NOx] \times KH \times Q_{m \text{ gaz\_echap}} \text{ (g.h}^{-1}\text{)}$$

(Voir DT3 pour modalités d'utilisation de la formule).

- calculer les éléments manquants pour le mode 10 :
  - le débit échappement en g.h<sup>-1</sup>
  - le débit de NOx pondéré en g.h<sup>-1</sup>
  - la puissance effective pondérée en kW.
- compléter le DR3, ligne « mode 10 », cases grisées et entourées.

10	8	241,8	14,32	0,3292		1049	234	3	21	77,7%	45,22	5,3%		0,142	2,008		2713,2
----	---	-------	-------	--------	--	------	-----	---	----	-------	-------	------	--	-------	-------	--	--------

**5.2.2. calcul des émissions de NOx sur le cycle complet**

- calculer les éléments manquants pour l'ensemble du cycle :
  - la somme des débits de NOx pondérés
  - la somme des puissances pondérées
  - l'émission de NOx pour le cycle en g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>
- compléter les cases correspondantes du tableau (cases grisées et entourées) du DR3.

Somme		1,3	12,1	
émissions / cycle (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )		0,011	0,100	

**5.2.3. Conclure :**

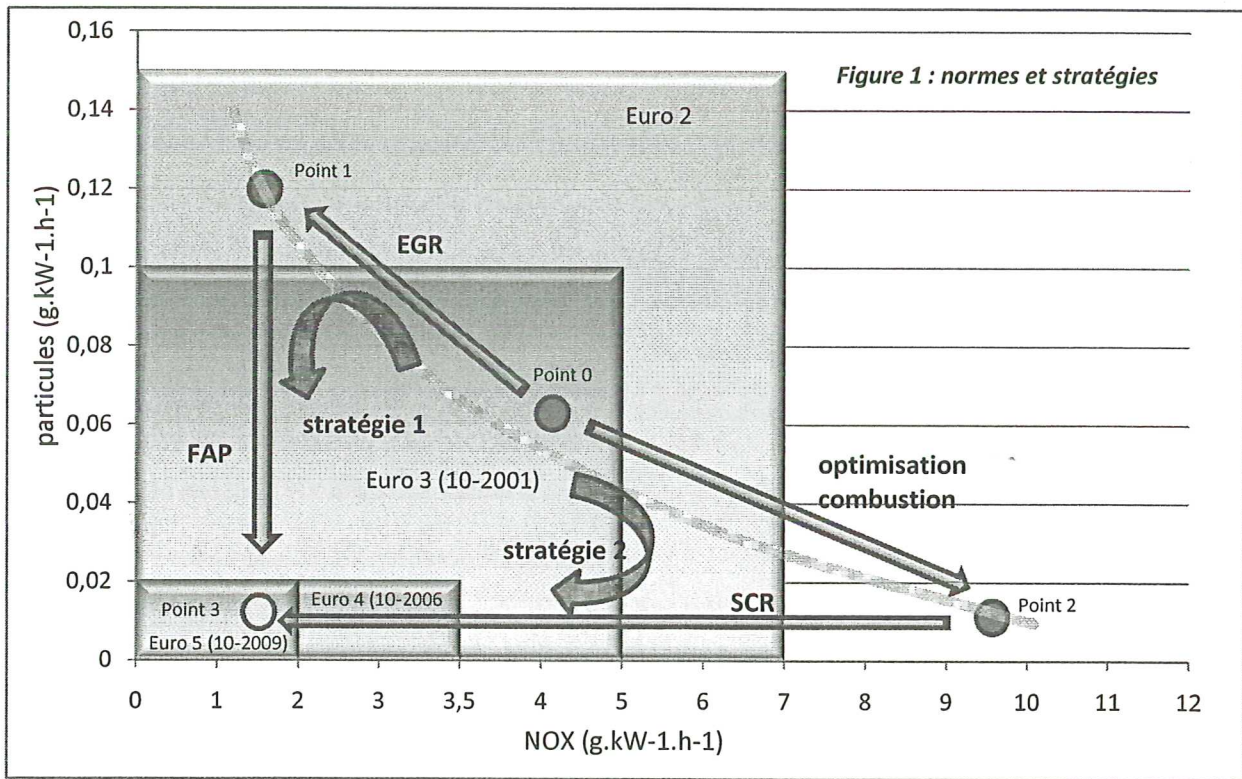
- ✓ l'essai ESC « passe -t-il » la norme EURO5 (NOx, HC, CO) ?
- ✓ le débit d'ADBLUE® réel est-il cohérent avec les calculs (cas du mode 10) ?

# Document Technique n° 1

## NORMES

**Tableau 1**

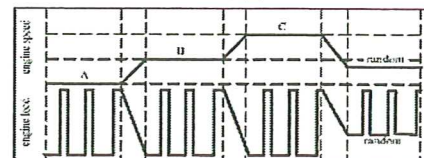
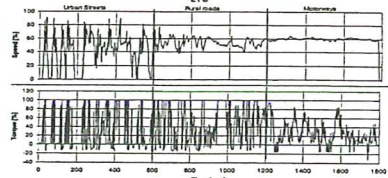
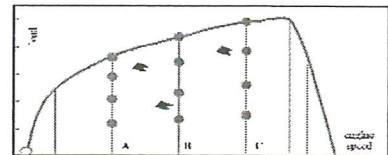
	EURO 3	EURO 4	EURO 5
particules (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	0,1	0,02	0,02
Nox (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	5	3,5	2
HC (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	0,66	0,66	0,46
CO (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	2,1	1,5	1,5



- Les normes s'appliquent sur 3 types d'essais normalisés :
  - ✓ le cycle ESC (European Steady State Test Cycle). Cycle 13 modes (régime – charge) stabilisés.

**Le sujet porte sur cet essai.**

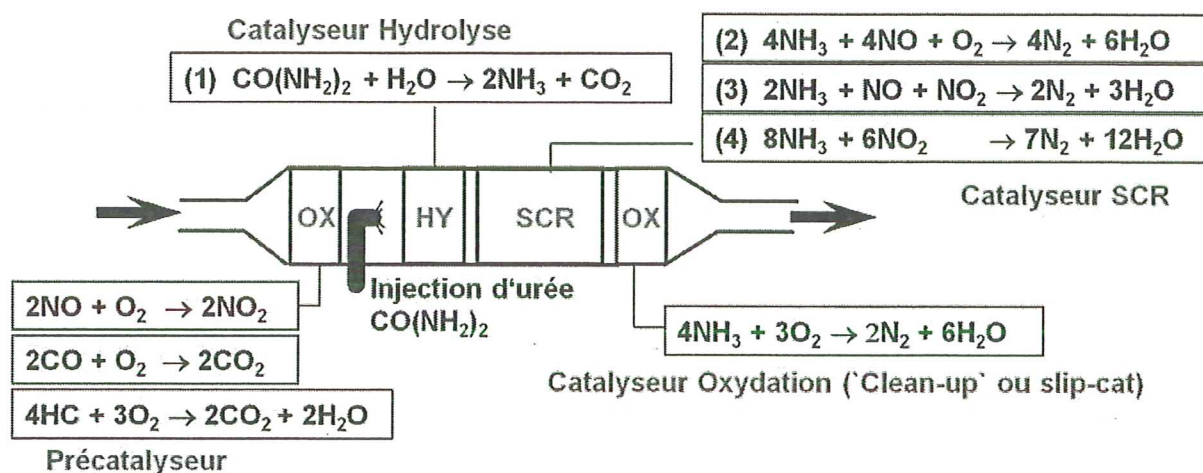
- ① {
  - ✓ le cycle ETC (European Transient Test Cycle). Cycle type routier, 1/3 urbain, 1/3 route, 1/3 autoroute.
  - ✓ Le test ELR (European Load Response Test). Cycle simplifié de réponse en transitoires de fortes charges.



# Document Technique n° 2

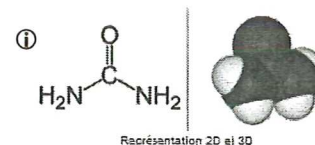
## THÉORIE SCR

Figure 2 : théorie SCR



- Le principe SCR (Selective Catalyst Reduction) est d'utiliser un puissant agent réducteur pour réagir avec les oxydes d'azote. Le réducteur est l'ammoniac  $\text{NH}_3$ , et les principales réactions dans le SCR sont données sur le schéma ci-dessus :

- ✓ Réaction (2) : réaction principale
- ✓ Réaction (3) : réaction rapide
- ✓ Réaction (4) : réaction lente.

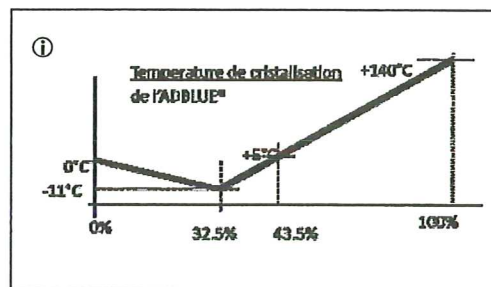


- Pour activer les réactions, des catalyseurs sont nécessaires :

- ✓ Dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ )
  - ✓ Trioxyde de tungstène ( $\text{WO}_3$ )
  - ✓ Dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ )...
- ①

- En pratique, l'ammoniac n'est pas utilisé directement, mais sous forme d'urée  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , elle-même diluée dans de l'eau à 32,5% en masse. Ce liquide est connu sous le nom commercial **ADBLUE®**. Pour « extraire » l'ammoniac de l'**ADBLUE®**, il faut différentes opérations :

- ✓ Evaporation de l'eau (thermolyse)
- ✓ Hydrolyse : réaction (1).



- En Diesel, le rapport  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  varie de 0 à 30% environ. Pour favoriser la réaction rapide (3), on peut insérer en amont du SCR un pré-catalyseur d'oxydation (repéré OX), de façon à augmenter la proportion de  $\text{NO}_2$ .
- Enfin, pour éviter des rejets trop importants d'ammoniac (gaz toxique), un post-catalyseur d'oxydation (dénommé « clean-up ») peut être placé en aval du SCR. Il permet l'élimination des  $\text{NH}_3$  non utilisés pour les  $\text{NO}_x$ .



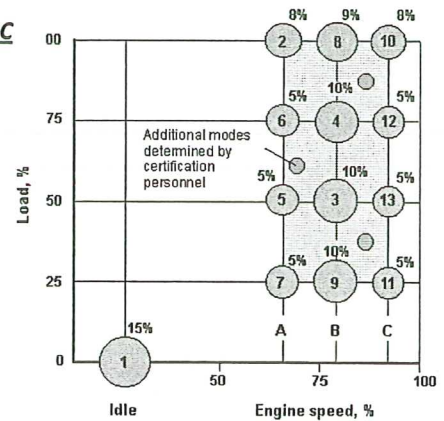
# Document Technique n° 3

## CYCLE ESC

**Tableau 2 : cycle ESC**

Mode	ESC Test Modes			Duration
	Engine Speed	% Load	Weight factor, %	
1	Low idle	0	15	4 minutes
2	A	100	8	2 minutes
3	B	50	10	2 minutes
4	B	75	10	2 minutes
5	A	50	5	2 minutes
6	A	75	5	2 minutes
7	A	25	5	2 minutes
8	B	100	9	2 minutes
9	B	25	10	2 minutes
10	C	100	8	2 minutes
11	C	25	5	2 minutes
12	C	75	5	2 minutes
13	C	50	5	2 minutes

**Figure 3 : cycle ESC**



### Calculs des débits massiques d'émission pour 1 mode :

Les débits massiques d'émission ( $\text{g.h}^{-1}$ ) doivent être déterminés comme suit pour chaque mode, en supposant la densité des gaz d'échappement égale à  $1,293 \text{ kg.m}^{-3}$  à  $273 \text{ K}$  ( $0^\circ \text{C}$ ) et  $101,3 \text{ kPa}$  :

$$Q_{\text{NOx}} (\text{g.h}^{-1}) = 1,587 \cdot 10^{-6} \times [\text{NOx}] \times K_H \times Q_{\text{m gaz\_echap}} (\text{g.h}^{-1})$$

$$Q_{\text{CO}} (\text{g.h}^{-1}) = 0,966 \cdot 10^{-6} \times [\text{CO}] \times Q_{\text{m gaz\_echap}} (\text{g.h}^{-1})$$

$$Q_{\text{HC}} (\text{g.h}^{-1}) = 0,479 \cdot 10^{-6} \times [\text{HC}] \times Q_{\text{m gaz\_echap}} (\text{g.h}^{-1})$$

où  $[\text{NOx}]$ ,  $[\text{CO}]$ ,  $[\text{HC}]$  sont les concentrations moyennes (ppm) présentes dans les gaz d'échappement. Pour le sujet, on prendra  $K_H = 1$ .

### Les émissions $E_X (\text{g.kW}^{-1}\text{h}^{-1})$ sont calculées comme suit pour les 13 modes :

$$E_X (\text{g.kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{\sum_{i=1}^{13} Q_{Xi} \cdot W_i}{\sum_{i=1}^{13} P_i \cdot W_i}$$

Avec :  $Q_{Xi}$  : débit en  $\text{g.h}^{-1}$  du polluant X pour le mode i (i = 1 à 13)

$W_i$  : le poids (ou coefficient de pondération) défini dans la norme pour le mode i

$P_i$  : la puissance effective sur mode i

# Document Technique n° 4

## SYSTEME SCR

Figure 4 : Système Dénoxtronic

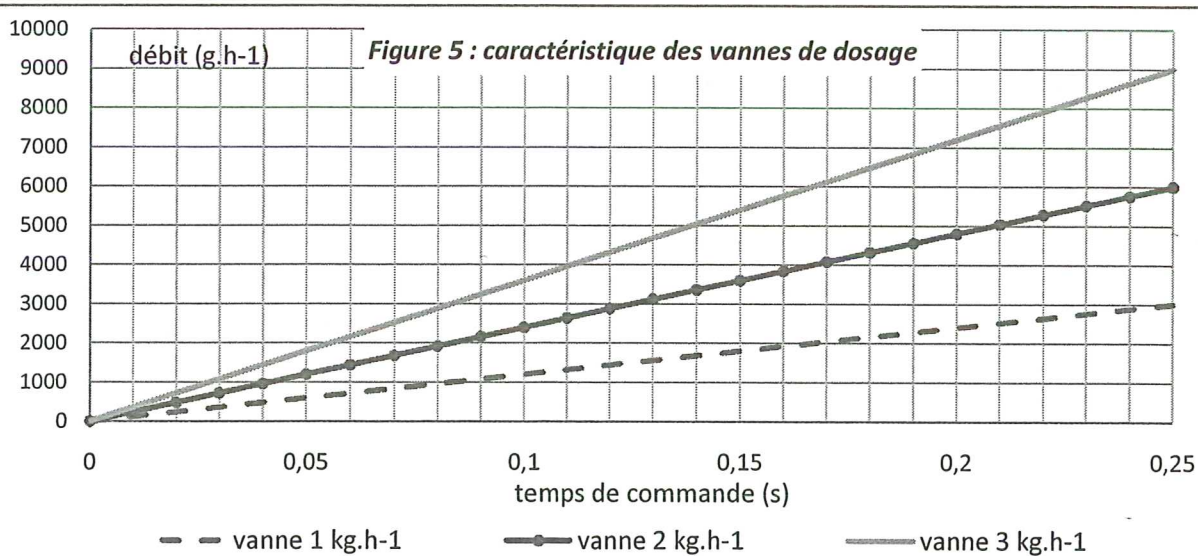
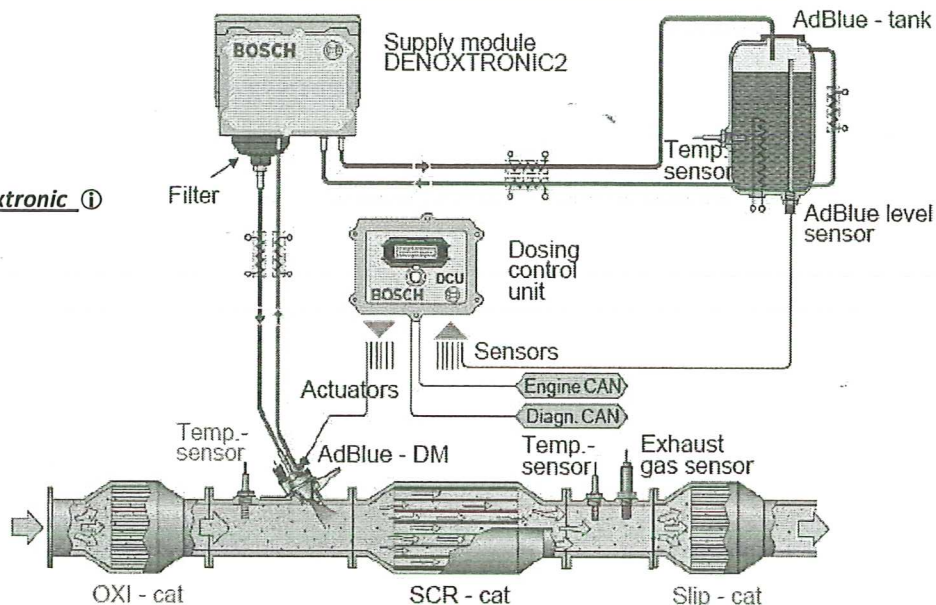
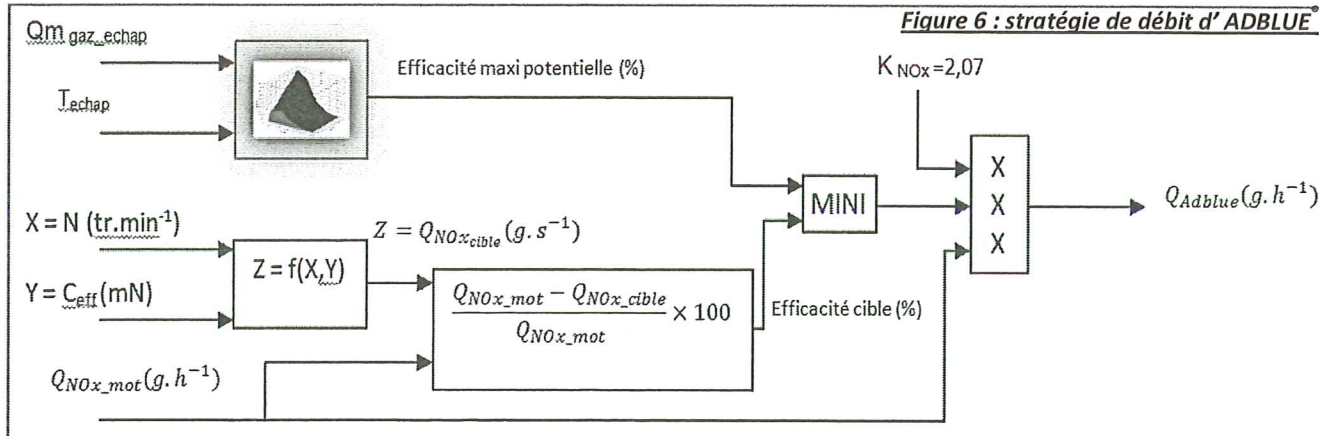


Figure 6 : stratégie de débit d'ADBLUE



# Document Technique n° 5

## RESULTATS DES ESSAIS - CYCLE ESC

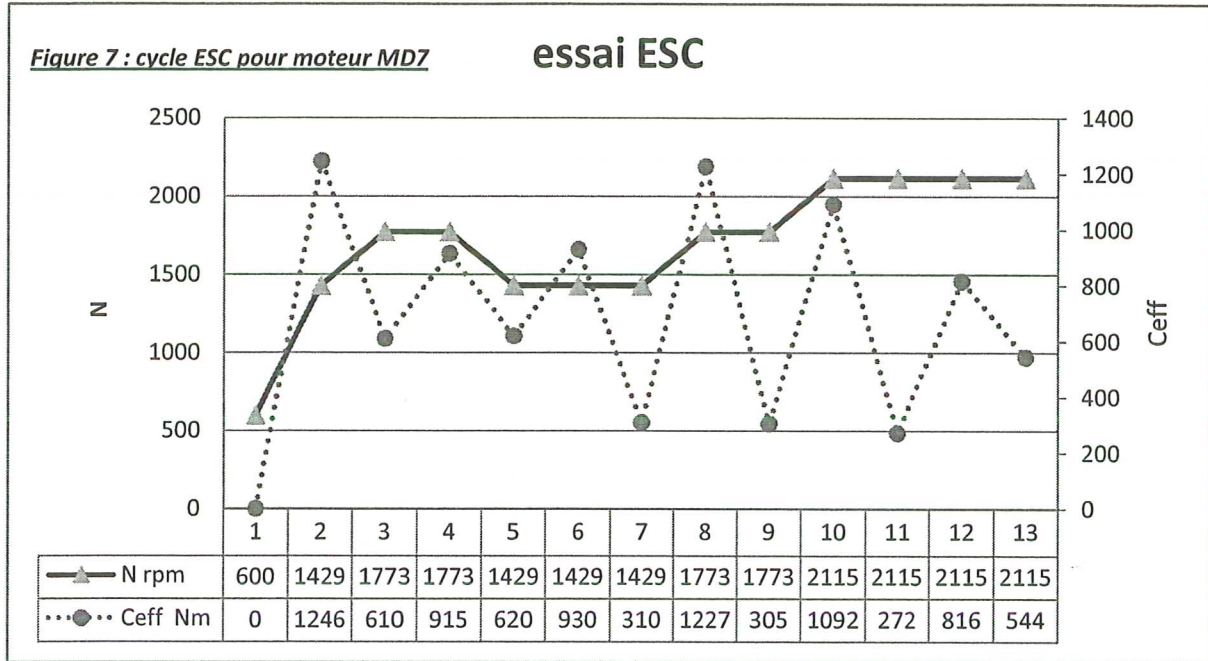
Tableau 4 : résultats de l'essai ESC

mode	Poids*	Peff kW	Q gazole g/s	Q d'air kg/s	Qechap g/h	Nox av cata ppm	Nox ap cata ppm	HC ap cata ppm	CO ap cata ppm	eff Nox su	Q Adblue g/min	QAdblue /Qcarb %	QNOX pond g/h	QHC pond g/h	QCO pond g/h	Peff pond kW	Q Adblue g/h
1	15	0,0	0,16	0,0415	149400	164	92	6	7	43,7%	0	0,0%	3,3	0,064	0,152	0,00	0
2	8	186,4	10,38	0,2368	852480	1321	258	3	15	80,5%	37,79	6,1%	27,9	0,098	0,989	14,91	2267,4
3	10	113,2	6,53	0,226	813600	731	63	3	15	91,4%	26,07	6,7%	8,1	0,117	1,180	11,32	1564,2
4	10	169,8	9,61	0,2686	966960	960	172	4	17	82,1%	32,76	5,7%	26,3	0,185	1,589	16,98	1965,6
5	5	92,8	5,16	0,1606	578160	874	35	2	13	96,0%	24,99	8,1%	1,6	0,028	0,363	4,64	1499,4
6	5	139,2	7,60	0,2018	726480	1097	173	3	15	84,3%	28,83	6,3%	10,0	0,052	0,527	6,96	1729,8
7	5	46,4	2,73	0,1234	444240	916	316	4	11	65,5%	6,74	4,1%	11,2	0,042	0,236	2,32	404,4
8	9	227,7	13,07	0,2941	1058760	1149	353	4	18	69,2%	29,63	3,8%	53,5	0,182	1,658	20,50	1777,8
9	10	56,6	3,52	0,1735	624600	634	169	5	13	73,3%	9,28	4,4%	16,8	0,149	0,785	5,66	556,8
10	8	241,8	14,32	0,3292	1049	234	188	3	21	77,7%	45,22	5,3%	16,8	0,142	2,008		2713,2
11	5	60,2	4,19	0,2208	794880	458	188	6	17	58,9%	3,36	1,3%	11,9	0,114	0,653	3,01	201,6
12	5	180,7	11,23	0,3133	1127880	647	117	3	21	81,9%	25,26	3,7%	10,5	0,081	1,145	9,04	1515,6
13	5	120,5	7,39	0,2748	989280	628	107	4	17	83,0%	21,48	4,8%	8,4	0,095	0,813	6,02	1288,8

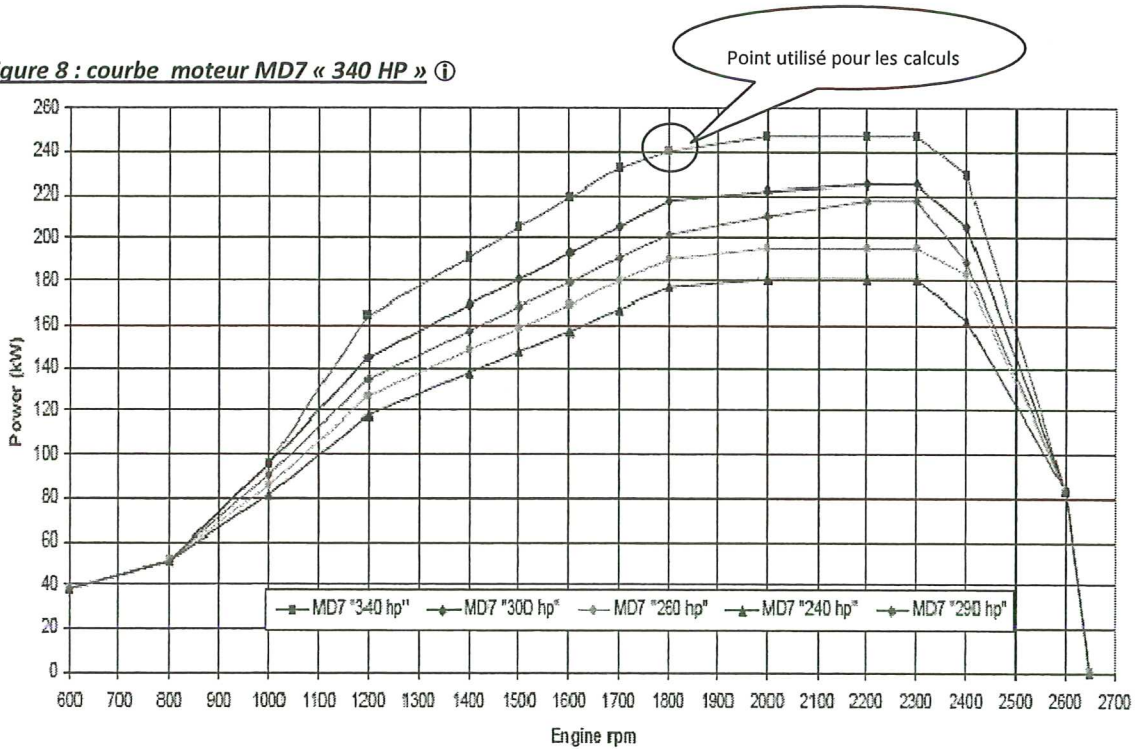
\* Poids = coefficient de pondération

# Document Technique n° 6

## CARACTERISTIQUES MOTEUR - CYCLE ESC



**Figure 8 : courbe moteur MD7 « 340 HP » ①**



# Document Technique n° 7

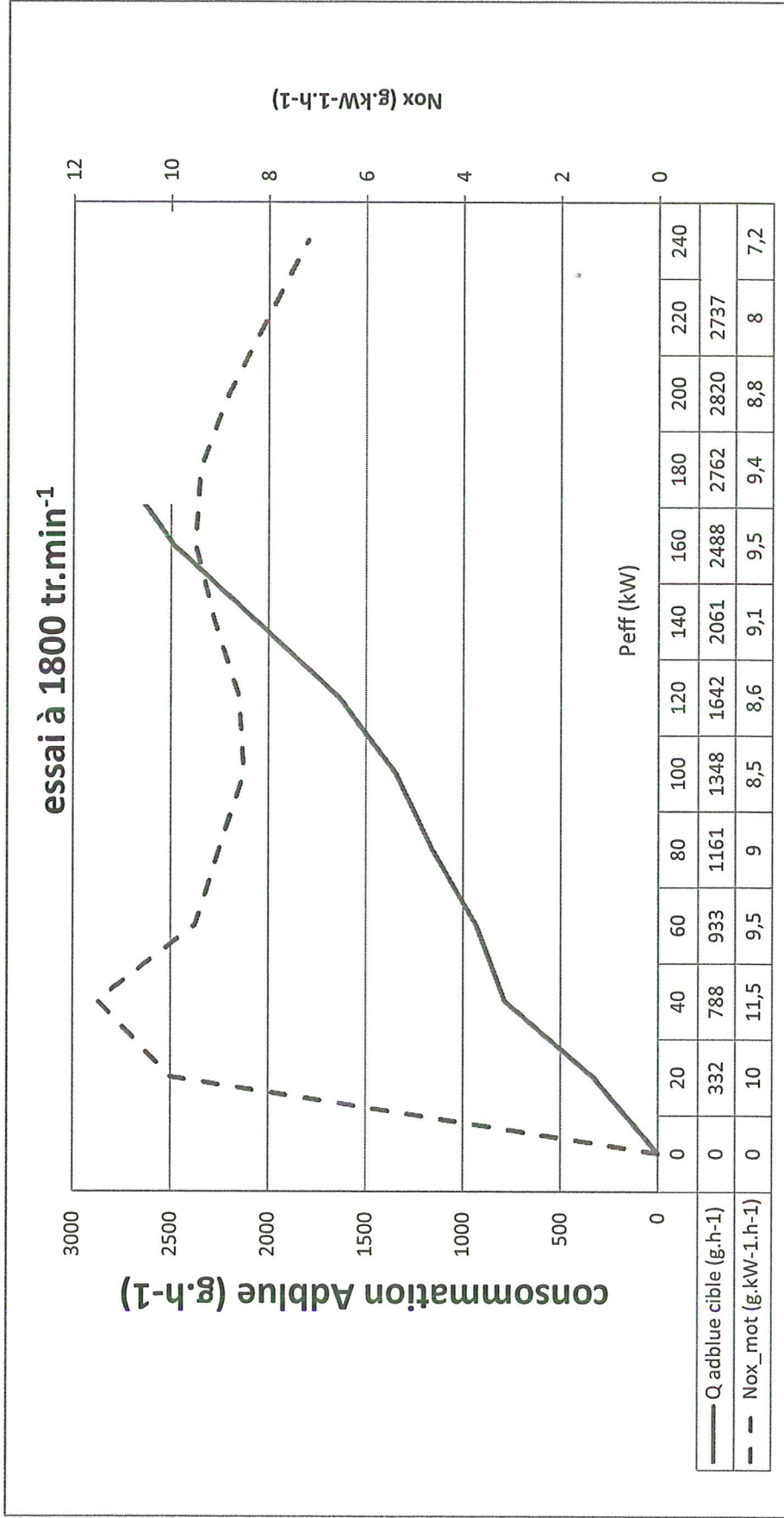
## NOTATIONS - LEXIQUE

grandeur	notation	valeur	unité	grandeur	notation	valeur	unité
Proportion molaire des NO <sub>2</sub> par rapport aux NO <sub>x</sub> totaux	$\frac{NO_2}{NO_x}$	0,1 (10%)	Sans unité (su)	débit de NO <sub>x</sub> limite (cible ou objectif visé)	$Q_{NOxcible}$		g.s <sup>-1</sup> ou g.h <sup>-1</sup>
masse d'urée produite par gramme d'ammoniac	$K_{u\_NH3}$		su	débit de NO <sub>x</sub> effectif sortie moteur, avant système de traitement des NO <sub>x</sub>	$Q_{NOx\_mot}$		g.s <sup>-1</sup> ou g.h <sup>-1</sup>
Constante des gaz parfaits	R	8,314	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	Efficacité cible ou objectif du système de traitement des NO <sub>x</sub>	$E_{cible\%}$		%
Masse d'urée nécessaire pour réduire 10 moles de NO <sub>x</sub>	$m_u$		g	Débit d'additif ADBLUE <sup>®</sup>	$Q_{adblue}$		g.s <sup>-1</sup> ou g.h <sup>-1</sup>
masse d'urée nécessaire pour réduire 1 gramme de NO <sub>x</sub>	$K_{NOx}$	2,07	su	Masse molaire des gaz d'échappement (assimilés à de l'air)	$M_{echap}$	29	g.mol <sup>-1</sup>
masse d'urée nécessaire pour réduire 1 mole de NO <sub>2</sub>	$m_{u\_NO2}$		g.mol <sup>-1</sup>	Masse molaire des NO <sub>x</sub> (assimilés à du NO <sub>2</sub> )	$M_{NOx}$	46	g.mol <sup>-1</sup>
masse d'urée nécessaire pour réduire 1 mole de NO	$m_{u\_NO}$		g.mol <sup>-1</sup>	Facteur de correction d'humidité pour le calcul des NO <sub>x</sub>	$K_H$	1	su
Débit de NO <sub>x</sub>	$Q_{NOx}$		g.h <sup>-1</sup>	Débit volumique des gaz d'échappement	$Qv_{gaz\_echap}$		dm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
Concentration de NO <sub>x</sub>	$[NO_x]$		ppm	Débit statique de l'injecteur d'ADBLUE <sup>®</sup>	$Q_{stat}$		kg.h <sup>-1</sup>
Masse volumique des NO <sub>x</sub> (assimilés à NO <sub>2</sub> ) en conditions de référence	$\rho_{NOx}$	2,05	g.dm <sup>-3</sup>	Emission spécifique de NO <sub>x</sub> (sur cycle ESC)	$E_{NOx}$		g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>
Masse volumique des HC en conditions de référence	$\rho_{HC}$	0,618	g.dm <sup>-3</sup>	Rapport massique d'urée dans l'ADBLUE <sup>®</sup>	$R_{mu}$	32,5	%
Masse volumique du CO en conditions de référence	$\rho_{CO}$	1,25	g.dm <sup>-3</sup>	Masse volumique des gaz d'échappement	$\rho_{gaz\_echap}$		g.dm <sup>-3</sup>
Masses molaires :	H	1	g.mol <sup>-1</sup>				
	C	12					
	N	14					
	O	16					

terme	signification	terme	signification
ADBLUE <sup>®</sup>	Nom commercial donné à l'additif de réduction des oxydes d'azote	PWM	Pulse Width Modulation ou MLI : Modulation par Largeur d'Impulsion
allocation	Valeur limite autorisée, s'applique pour les polluants sur 1 point de fonctionnement moteur donné.		

# Document Réponse DR n°1

## consommation d'adblue®



## Document Réponse DR n° 2 : Calcul des Émissions

mode	Poids*	Peff	Q gazole	Q air	Qechap	Nox av cata	Nox ap cata	HC ap cata	CO ap cata	eff Nox	Q Adblue	QAdblue /Qcarb	QNOX pond	QHC pond	QCO pond	Peff pond	Q Adblue		
	%	kW	g/s	kg/s	g/h	ppm	ppm	ppm	ppm	su	g/min	%	g/h	g/h	g/h	kW	g/h		
1	15	0,0	0,16	0,0415	149400	164	92	6	7	43,7%	0	0,0%	3,3	0,064	0,152	0,00	0		
2	8	186,4	10,38	0,2368	852480	1321	258	3	15	80,5%	37,79	6,1%	27,9	0,098	0,989	14,91	2267,4		
3	10	113,2	6,53	0,226	813600	731	63	3	15	91,4%	26,07	6,7%	8,1	0,117	1,180	11,32	1564,2		
4	10	169,8	9,61	0,2686	966960	960	172	4	17	82,1%	32,76	5,7%	26,3	0,185	1,589	16,98	1965,6		
5	5	92,8	5,16	0,1606	578160	874	35	2	13	96,0%	24,99	8,1%	1,6	0,028	0,363	4,64	1499,4		
6	5	139,2	7,60	0,2018	726480	1097	173	3	15	84,3%	28,83	6,3%	10,0	0,052	0,527	6,96	1729,8		
7	5	46,4	2,73	0,1234	444240	916	316	4	11	65,5%	6,74	4,1%	11,2	0,042	0,236	2,32	404,4		
8	9	227,7	13,07	0,2941	1058760	1149	353	4	18	69,2%	29,63	3,8%	53,5	0,182	1,658	20,50	1777,8		
9	10	56,6	3,52	0,1735	624600	634	169	5	13	73,3%	9,28	4,4%	16,8	0,149	0,785	5,66	556,8		
10	8	241,8	14,32	0,3292		1049	234	3	21	77,7%	45,22	5,3%		0,142	2,008		2713,2		
11	5	60,2	4,19	0,2208	794880	458	188	6	17	58,9%	3,36	1,3%	11,9	0,114	0,653	3,01	201,6		
12	5	180,7	11,23	0,3133	1127880	647	117	3	21	81,9%	25,26	3,7%	10,5	0,081	1,145	9,04	1515,6		
13	5	120,5	7,39	0,2748	989280	628	107	4	17	83,0%	21,48	4,8%	8,4	0,095	0,813	6,02	1288,8		
<b>Somme des 12 modes (13 modes moins le mode 10)</b>													<b>189,4</b>			<b>101,4</b>			
<b>Somme</b>														<b>1,3</b>	<b>12,1</b>				
<b>émissions / cycle (g.kW-1.h-1)</b>														<b>0,011</b>	<b>0,100</b>				

\* Poids = coefficient de pondération