



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](http://www.formav.co/explorer)

# 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 ① 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 CONTENU

### 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 NOx :
  - ✓ Par souci de clarté, on fait le calcul pour 10 moles de NOx (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 NOx.
  - 2.4.2. En déduire le ratio masse d'urée / masse de NOx, puis le facteur  $K_{NO_x}$  : masse d'ADBLUE® théorique nécessaire pour convertir 1 g de NOx, 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®

- ✓ Voir DT4 (figures 5 et 6) et DR1 pour les valeurs numériques.
- ✓ Hypothèses et données :
  - le facteur  $K_{NOx}$  : masse d'ADBLUE® 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®.
  - 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®  $Q_{\text{adblue}}$  en fonction :

- de l'efficacité cible  $E_{\text{cible}}$  (%)
- et du débit de NOx produit par le moteur  $Q_{NOx\_mot}$ . 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  $Q_{NOxcible}$  en  $\text{g.h}^{-1}$ . (Ceci revient à exprimer la fonction  $Z = Q_{NOxcible}$ ).
- le débit de NOx produit par le moteur :  $Q_{NOx\_mot}$  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® 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® :  $3300 \text{ g.h}^{-1}$  (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) :

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

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

- calculer les éléments manquants pour le mode 10 :
  - le débit échappement en  $\text{g.h}^{-1}$
  - le débit de NOx pondéré en  $\text{g.h}^{-1}$
  - 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  $\text{g.kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
- compléter les cases correspondantes du tableau (cases grisées et entourées) du DR3.

Somme		1,3	12,1	
émissions / cycle ( $\text{g.kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )		0,011	0,100	

### 5.2.3. Conclure :

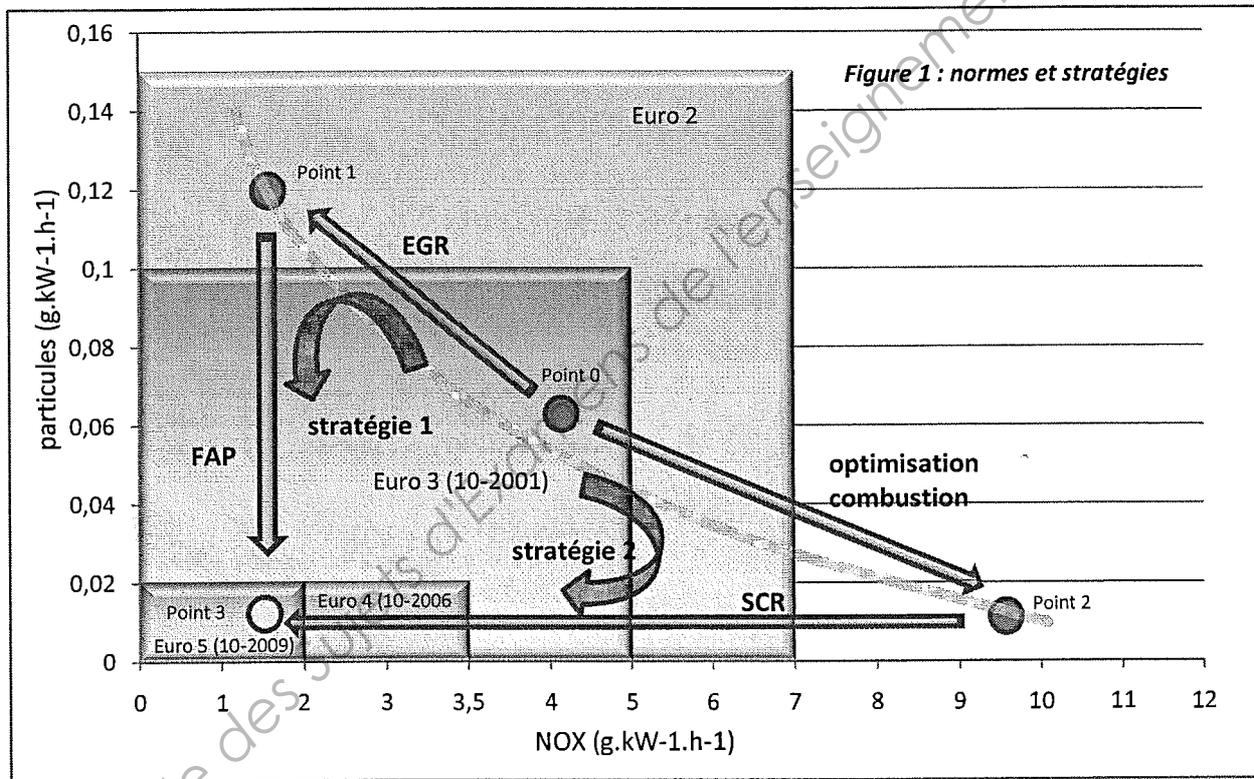
- ✓ l'essai ESC « passe -t-il » la norme EURO5 (NOx, HC, CO) ?
- ✓ le débit d'ADBLUE® réel est-il cohérent avec les calculs (cas du mode 10) ?

# Document Technique n° 1

## NORMES

**Tableau 1**

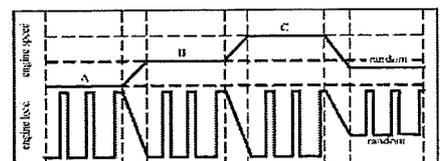
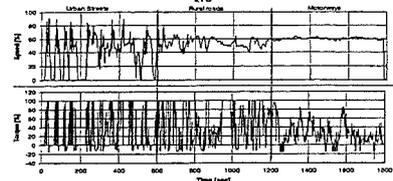
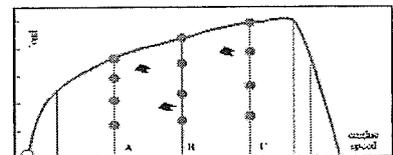
	EURO 3	EURO 4	EURO 5
particules (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	0,1	0,02	0,02
Nox (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	5	3,5	2
HC (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	0,66	0,66	0,46
CO (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	2,1	1,5	1,5



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

**Le sujet porte sur cet essai.**

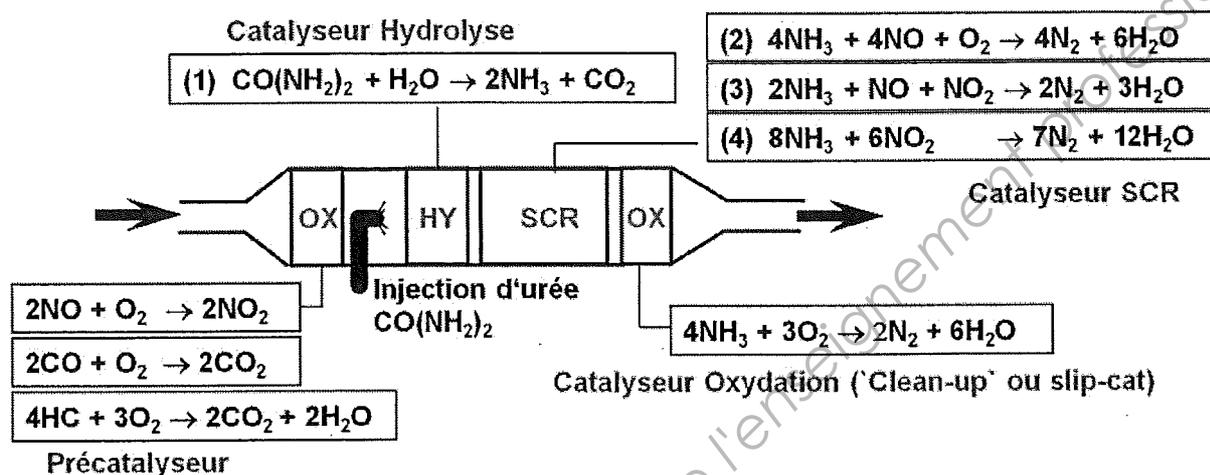
- ✓ le cycle ETC (European Transient Test Cycle). Cycle type routier, 1/3 urbain, 1/3 route, 1/3 autoroute).
  - ✓ Le test ELR (European Load Response Test). Cycle simplifié de réponse en transitoires de fortes charges.



# Document Technique n° 2

## THEORIE SCR

Figure 2 : théorie SCR



### Précatalyseur

- Le principe SCR (Selective Catalist Reduction) est d'utiliser un puissant agent réducteur pour réagir avec les oxydes d'azote. Le réducteur est l'ammoniac  $NH_3$ , 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 :

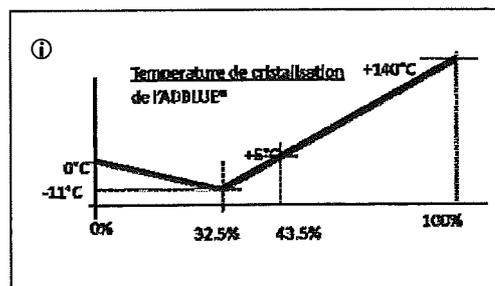
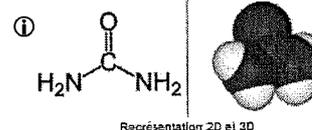
- ✓ Dioxyde de titane ( $TiO_2$ )
- ✓ Trioxyde de tungstène ( $WO_3$ )
- ✓ Dioxyde de silicium ( $SiO_2$ )...

- En pratique, l'ammoniac n'est pas utilisé directement, mais sous forme d'urée  $CO(NH_2)_2$ , 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  $NO_2/NOx$  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  $NO_2$ .

- 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  $NH_3$  non utilisés pour les  $NOx$ .



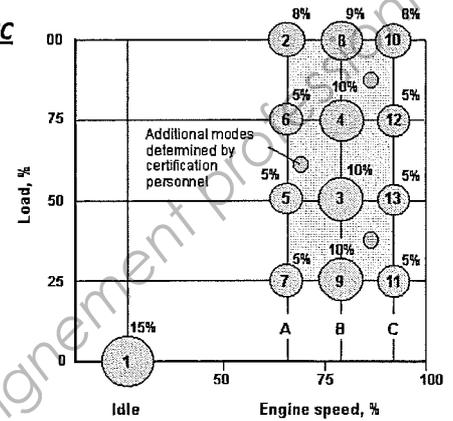
# Document Technique n° 3

## CYCLE ESC

Tableau 2 : cycle ESC

ESC Test Modes				
Mode	Engine Speed	% Load	Weight factor, %	Duration
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 ①

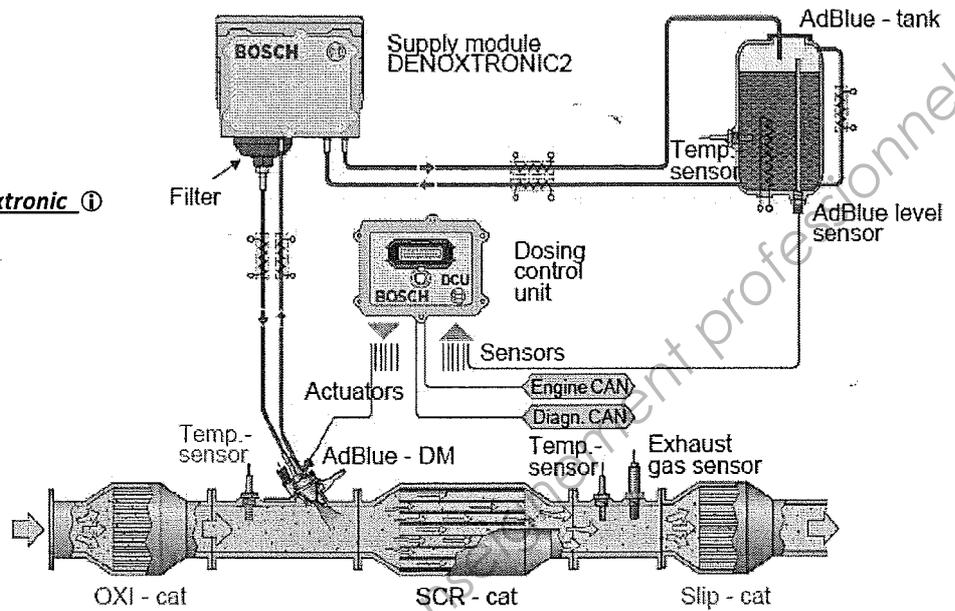


Figure 5 : caractéristique des vannes de dosage

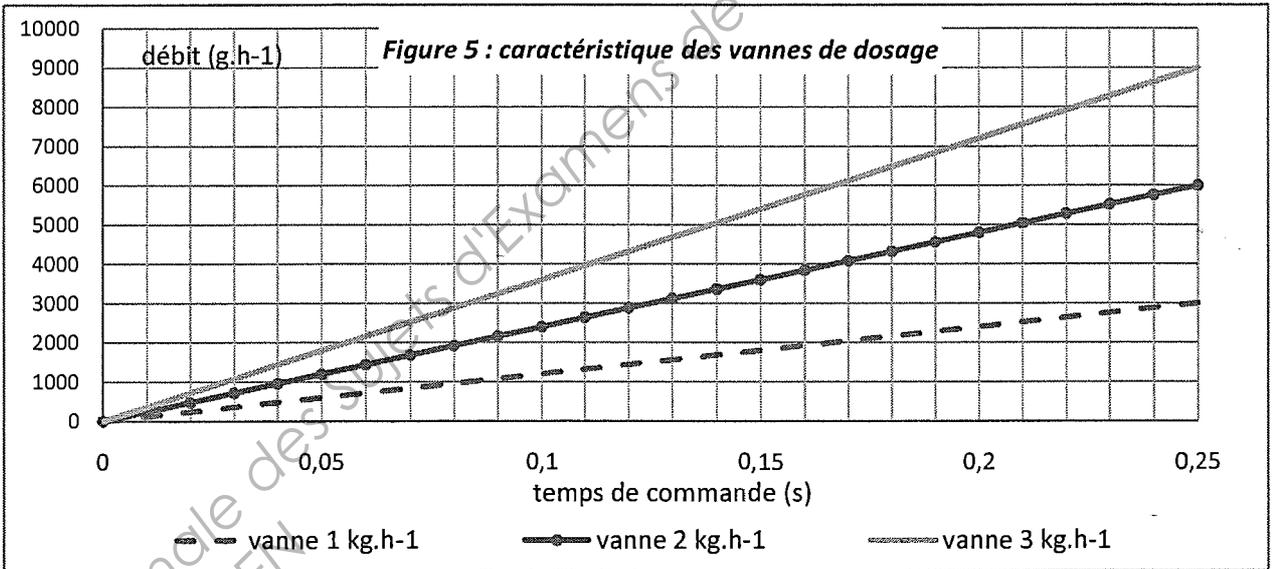
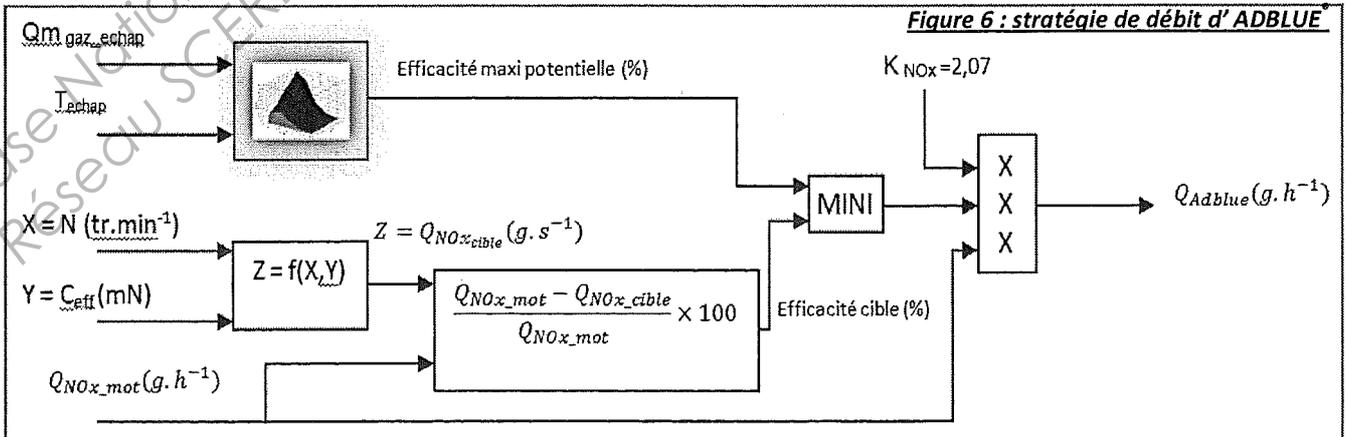


Figure 6 : stratégie de débit d' ADBLUE



# Document Technique n° 5

## RÉSULTATS D'ESSAIS - CYCLE ESC

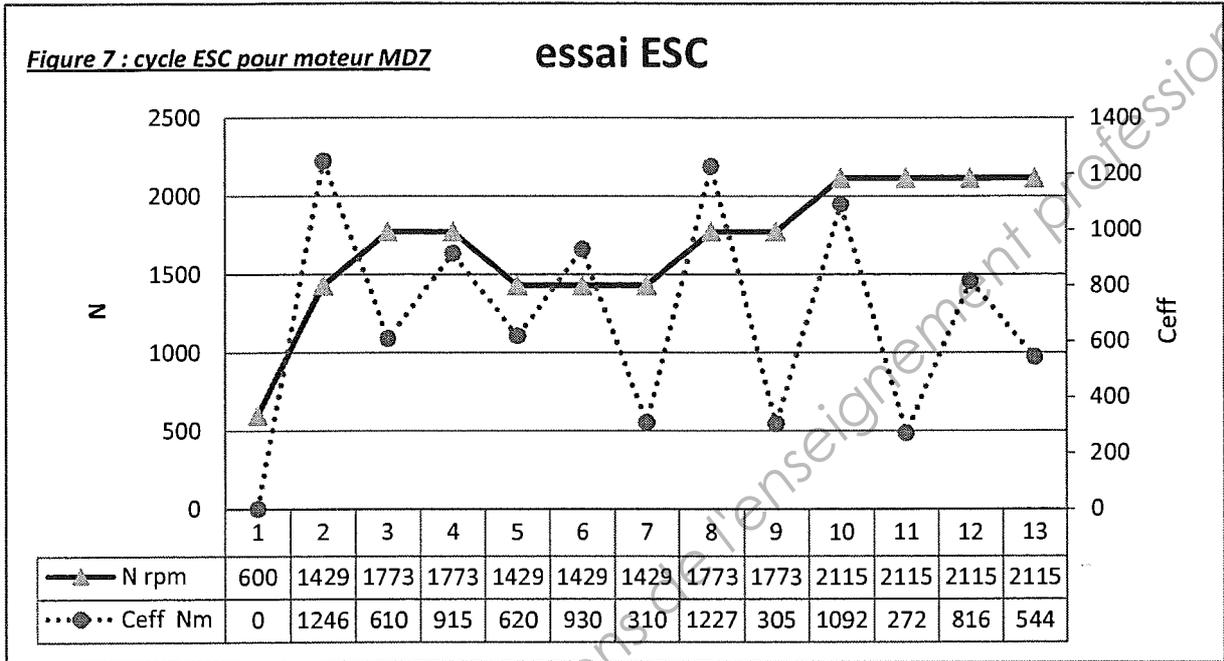
**Tableau 4 : résultats de l'essai ESC**

mode	Poids*	Peff	Q gazole	Q d'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
<b>10</b>	<b>8</b>	<b>241,8</b>	<b>14,32</b>	<b>0,3292</b>		<b>1049</b>	<b>234</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>77,7%</b>	<b>45,22</b>	<b>5,3%</b>		<b>0,142</b>	<b>2,008</b>		<b>2713,2</b>
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

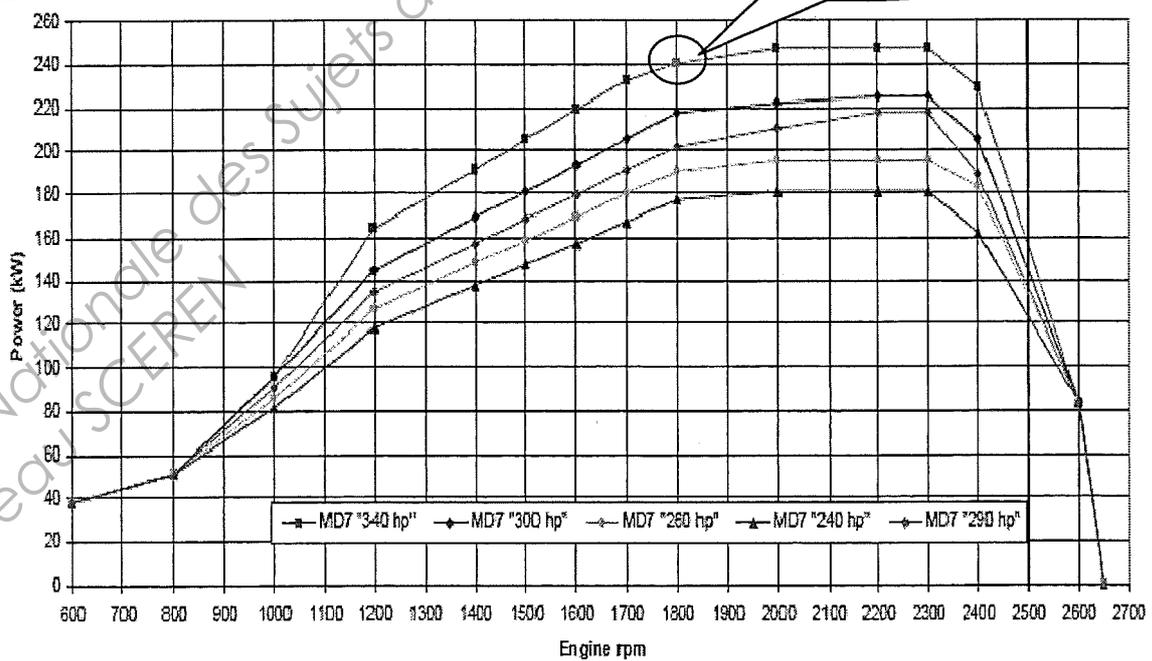
\* Poids = coefficient de pondération

# Document Technique n° 6

## CARACTERISTIQUES MOTEUR - CYCLE ESC



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



# Document Technique n° 7

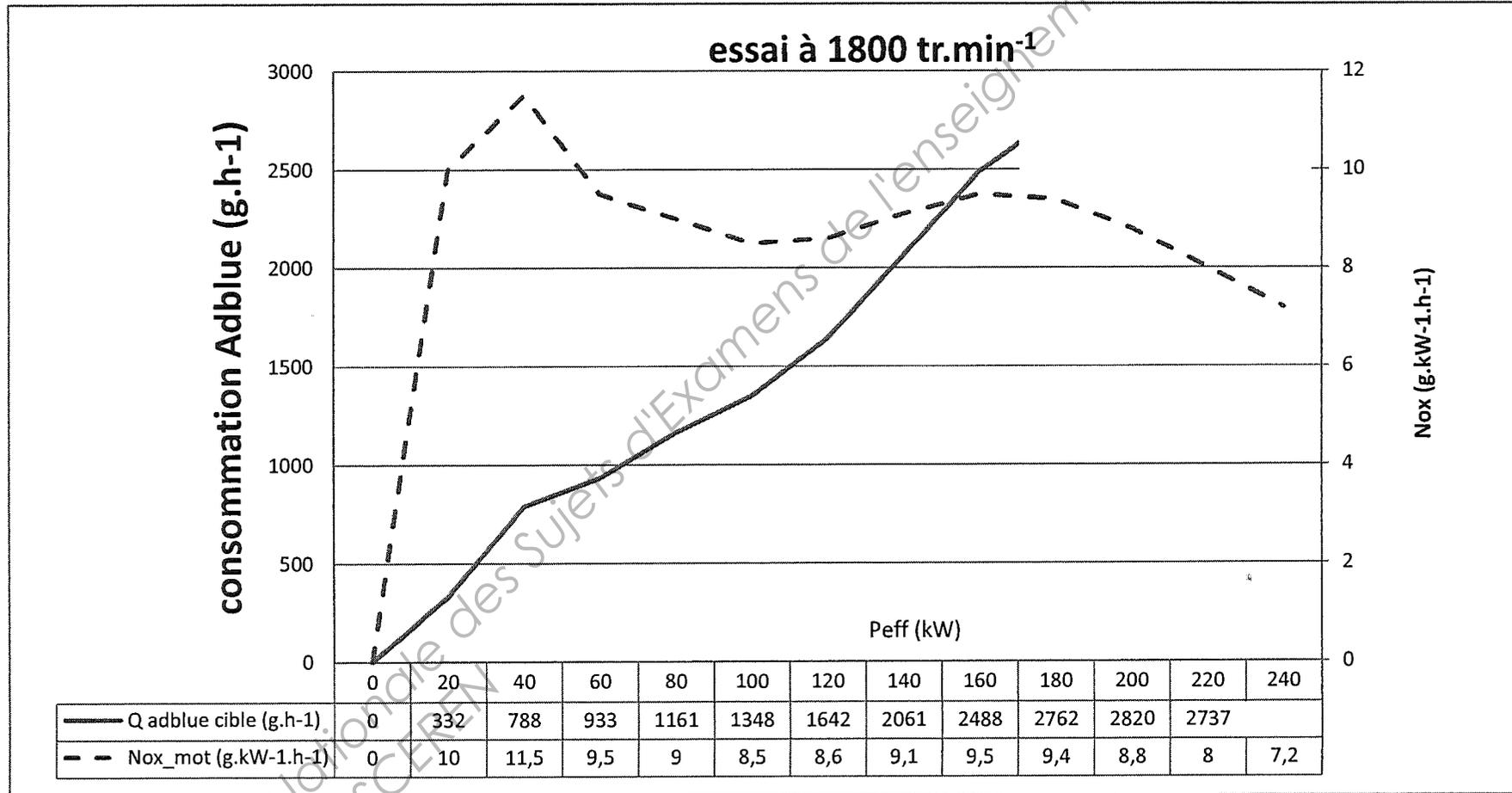
## NOTATIONS - LEXIQUE

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)	$Q_{NO_x\text{cible}}$		$g.s^{-1}$ ou $g.h^{-1}$
masse d'urée produite par gramme d'ammoniac	$K_{u\_NH_3}$		su	débit de NO <sub>x</sub> effectif sortie moteur, avant système de traitement des NO <sub>x</sub>	$Q_{NO_x\text{mot}}$		$g.s^{-1}$ ou $g.h^{-1}$
Constante des gaz parfaits	R	8,314	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	Efficacité cible ou objectif du système de traitement des NO <sub>x</sub>	$E_{\text{cible}\%}$		%
Masse d'urée nécessaire pour réduire 10 moles de NO <sub>x</sub>	$m_u$		g	Débit d'additif ADBLUE <sup>®</sup>	$Q_{adblue}$		$g.s^{-1}$ ou $g.h^{-1}$
masse d'urée nécessaire pour réduire 1 gramme de NO <sub>x</sub>	$K_{NO_x}$	2,07	su	Masse molaire des gaz d'échappement (assimilés à de l'air)	$M_{echap}$	29	$g.mol^{-1}$
masse d'urée nécessaire pour réduire 1 mole de NO <sub>2</sub>	$m_{u\_NO_2}$		$g.mol^{-1}$	Masse molaire des NO <sub>x</sub> (assimilés à du NO <sub>2</sub> )	$M_{NO_x}$	46	$g.mol^{-1}$
masse d'urée nécessaire pour réduire 1 mole de NO	$m_{u\_NO}$		$g.mol^{-1}$	Facteur de correction d'humidité pour le calcul des NO <sub>x</sub>	$K_H$	1	su
Débit de NO <sub>x</sub>	$Q_{NO_x}$		$g.h^{-1}$	Débit volumique des gaz d'échappement	$Q_{v\text{gaz\_echap}}$		$dm^3.h^{-1}$
Concentration de NO <sub>x</sub>	$[NO_x]$		ppm	Débit statique de l'injecteur d'ADBLUE <sup>®</sup>	$Q_{\text{stat}}$		$kg.h^{-1}$
Masse volumique des NO <sub>x</sub> (assimilés à NO <sub>2</sub> ) en conditions de référence	$\rho_{NO_x}$	2,05	$g.dm^{-3}$	Emission spécifique de NO <sub>x</sub> (sur cycle ESC)	$E_{NO_x}$		$g.kW^{-1}.h^{-1}$
Masse volumique des HC en conditions de référence	$\rho_{HC}$	0,618	$g.dm^{-3}$	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	$g.dm^{-3}$	Masse volumique des gaz d'échappement	$\rho_{\text{gaz\_echap}}$		$g.dm^{-3}$
Masses molaires :	H	1	$g.mol^{-1}$				
	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

## CONSUMMATION 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

Somme des 12 modes (13 modes moins le mode 10)

189,4

101,4

\* Poids = coefficient de pondération

Somme

1,3

12,1

émissions / cycle (g.kW-1.h-1)

0,011

0,100