



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

session 2011

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.

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

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 CO₂.
- 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 NO₂ dans les NO_x 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 NO₂
- 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 NO₂).
 - 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_{adblue} en fonction :

- de l'efficacité cible E_{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 g.h^{-1} . (Ceci revient à exprimer la fonction $Z = Q_{NOxcible}$).
- le débit de NOx produit par le moteur : Q_{NOx_mot} en g.h^{-1} .

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

3.4. Déterminer enfin le débit d'ADBLUE® de consigne Q_{adblue} en 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 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 NO₂ : $M_{NOx} = M_{NO2}$
 - 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 ρ_{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 ρ_{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 $Q_{m_gaz_echap}$ en fonction :

- ✓ de la masse volumique des gaz d'échappement : ρ_{gaz_echap}
- ✓ et du débit volumique échappement $Q_{v_gaz_echap}$

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

- ✓ de la masse volumique des NOx : ρ_{NOx}
- ✓ et du débit volumique échappement $Q_{v_gaz_echap}$

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 $Q_{m_gaz_echap}$.

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 g.h^{-1}
 - le débit de NOx pondéré en 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 :

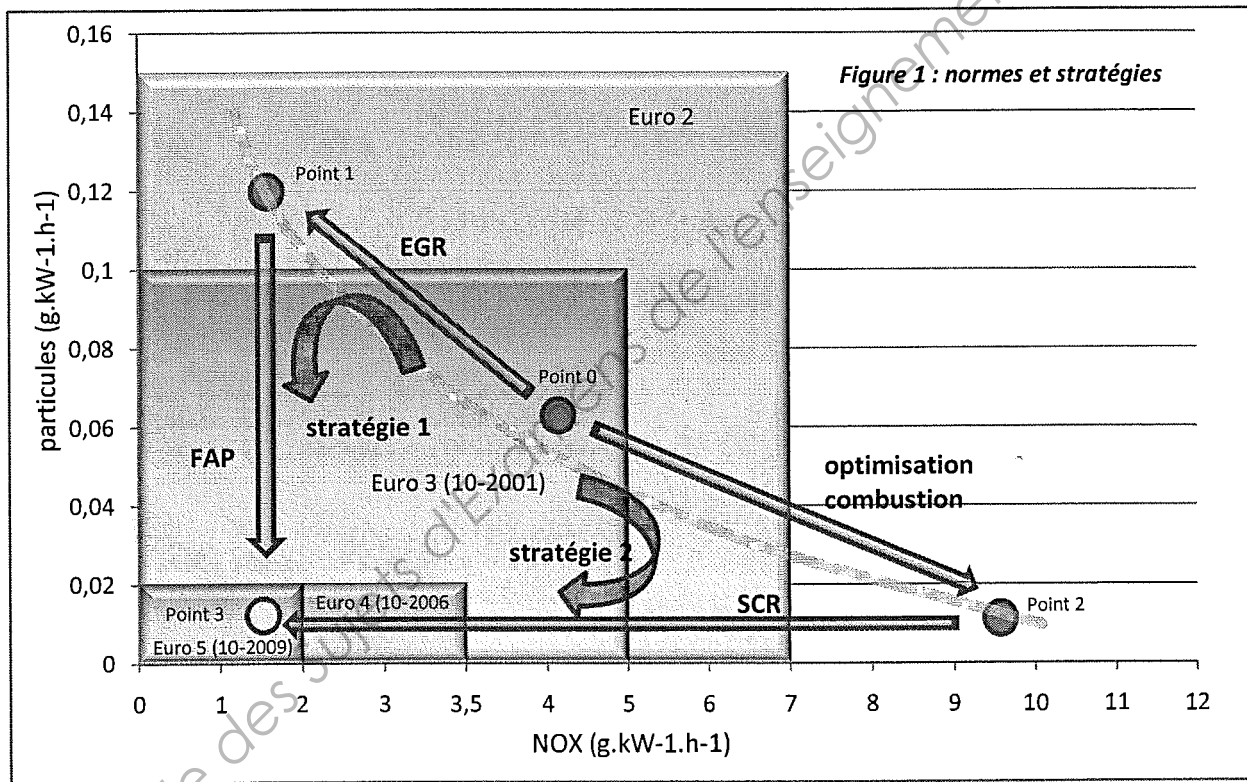
- ✓ l'essai ESC « passe -t-il » la norme EURO5 (NOx, HC, CO) ?
- ✓ le débit d'ADBLUE® réel est-il cohérent avec les calculs (cas du mode 10) ?

Document Technique n° 1

NORMES

Tableau 1

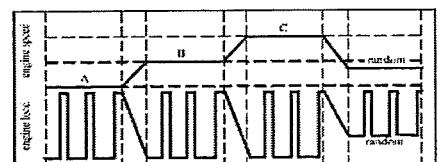
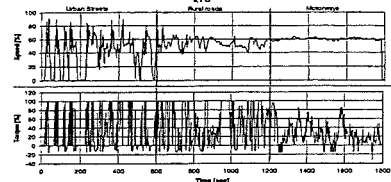
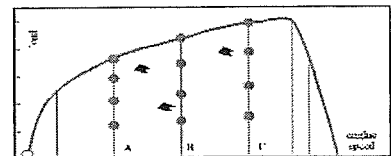
	EURO 3	EURO 4	EURO 5
particules (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	0,1	0,02	0,02
Nox (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	5	3,5	2
HC (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	0,66	0,66	0,46
CO (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	2,1	1,5	1,5



- 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.

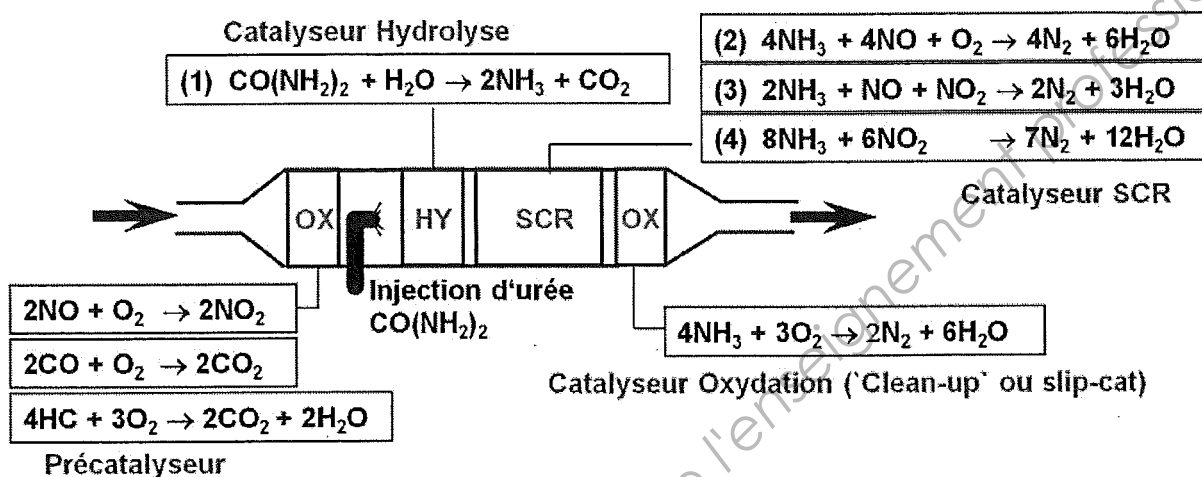
- ① ✓ le cycle ETC (European Transient Test Cycle). Cycle type routier, 1/3 urbain, 1/3 route, 1/3 autoroute).
- ✓ Le test ELR (European Load Response Test). Cycle simplifié de réponse en transitoires de fortes charges.



Document Technique n° 2

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 NH₃, 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 :

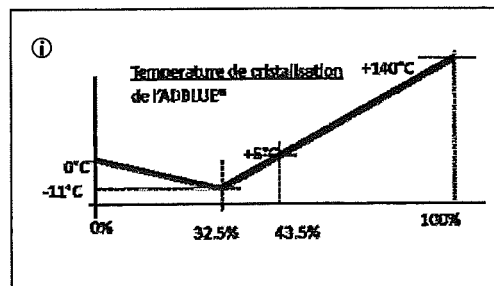
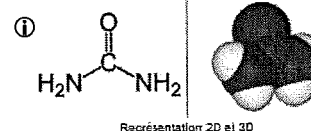
- ✓ Dioxyde de titane (TiO₂)
- ✓ Trioxyde de tungstène (WO₃)
- ✓ Dioxyde de silicium (SiO₂)...

- En pratique, l'ammoniac n'est pas utilisé directement, mais sous forme d'urée CO(NH₂)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 NO₂/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 NO₂.

- 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 NH₃ non utilisés pour les NOx.



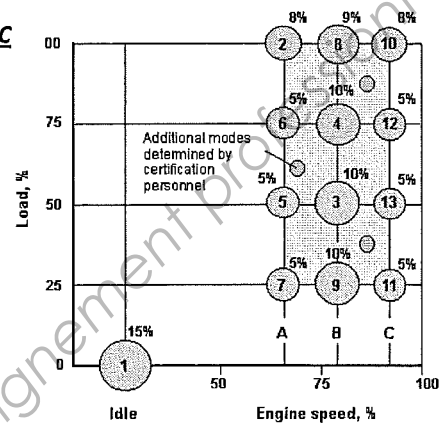
Document Technique n° 3

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 (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 K (0°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 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

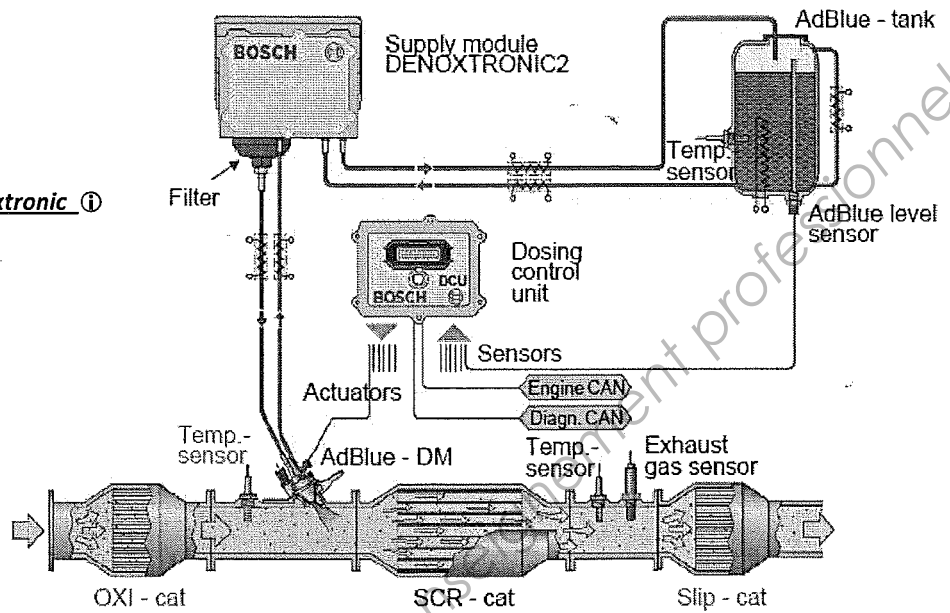


Figure 5 : caractéristique des vannes de dosage

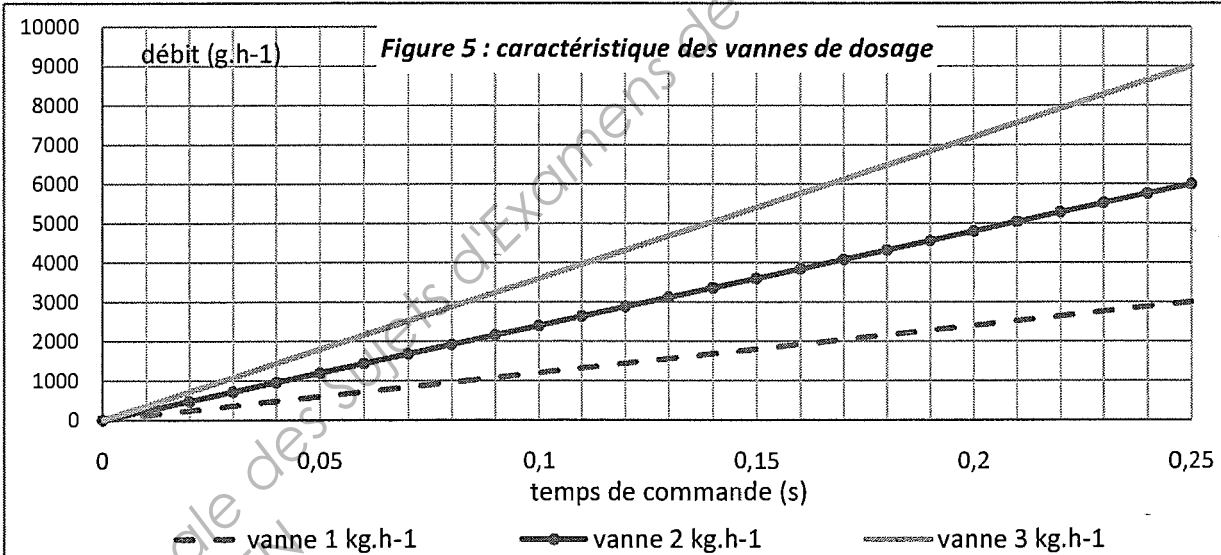
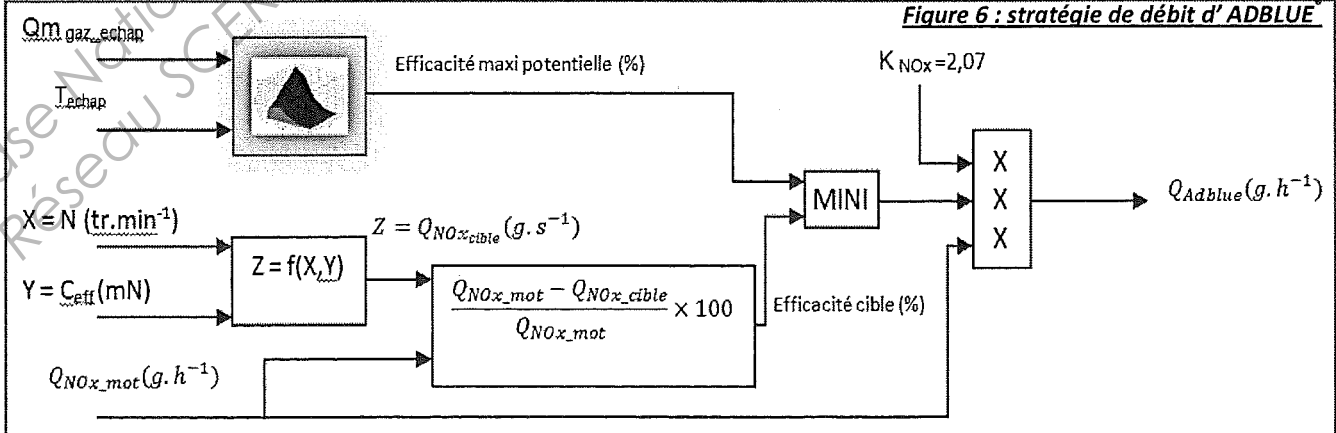


Figure 6 : stratégie de débit d' ADBLUE



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
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

* Poids = coefficient de pondération

Document Technique n° 6

CARACTERISTIQUES MOTEUR - CYCLE ESC

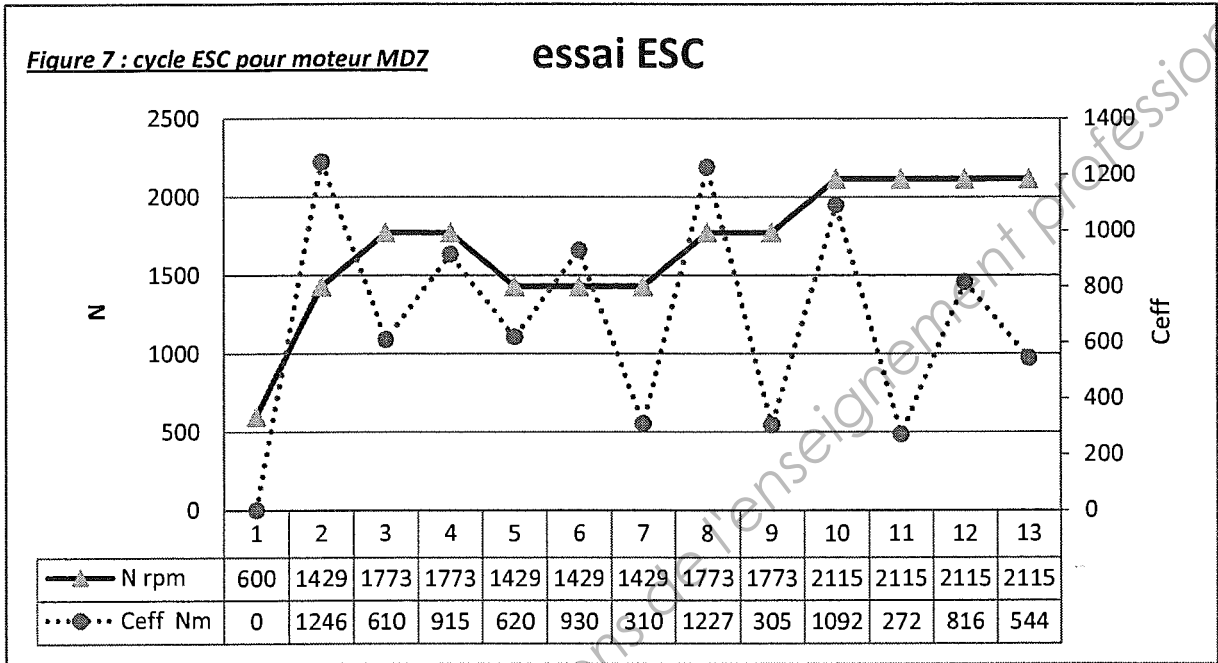
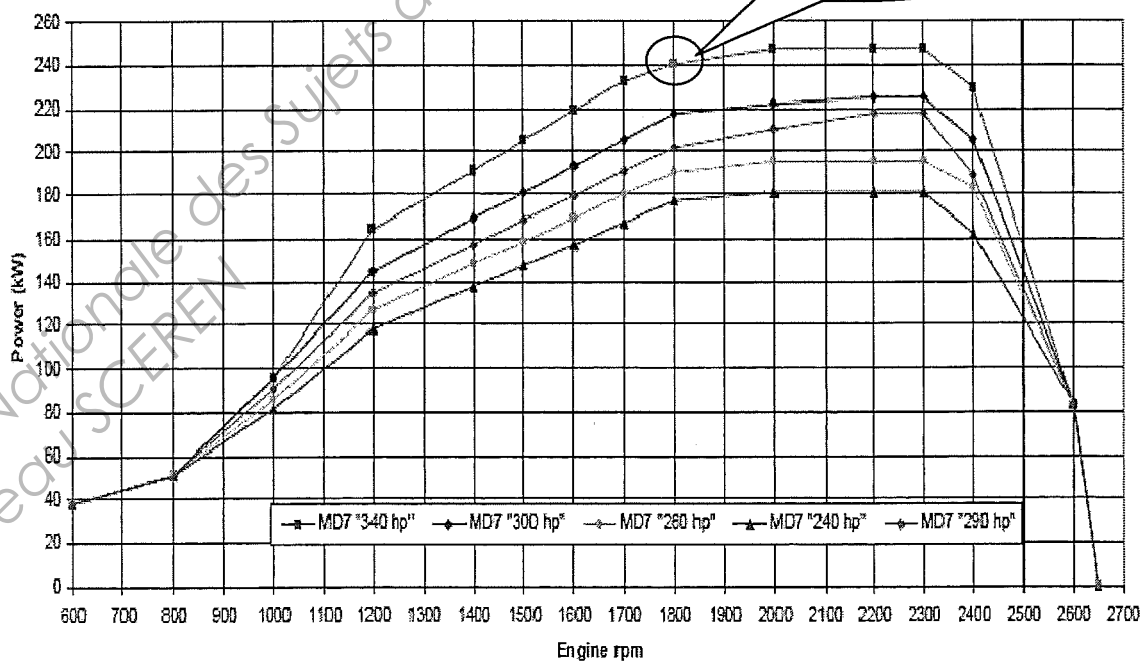


Figure 8 : courbe moteur MD7 « 340 HP » ①



Document Technique n° 7

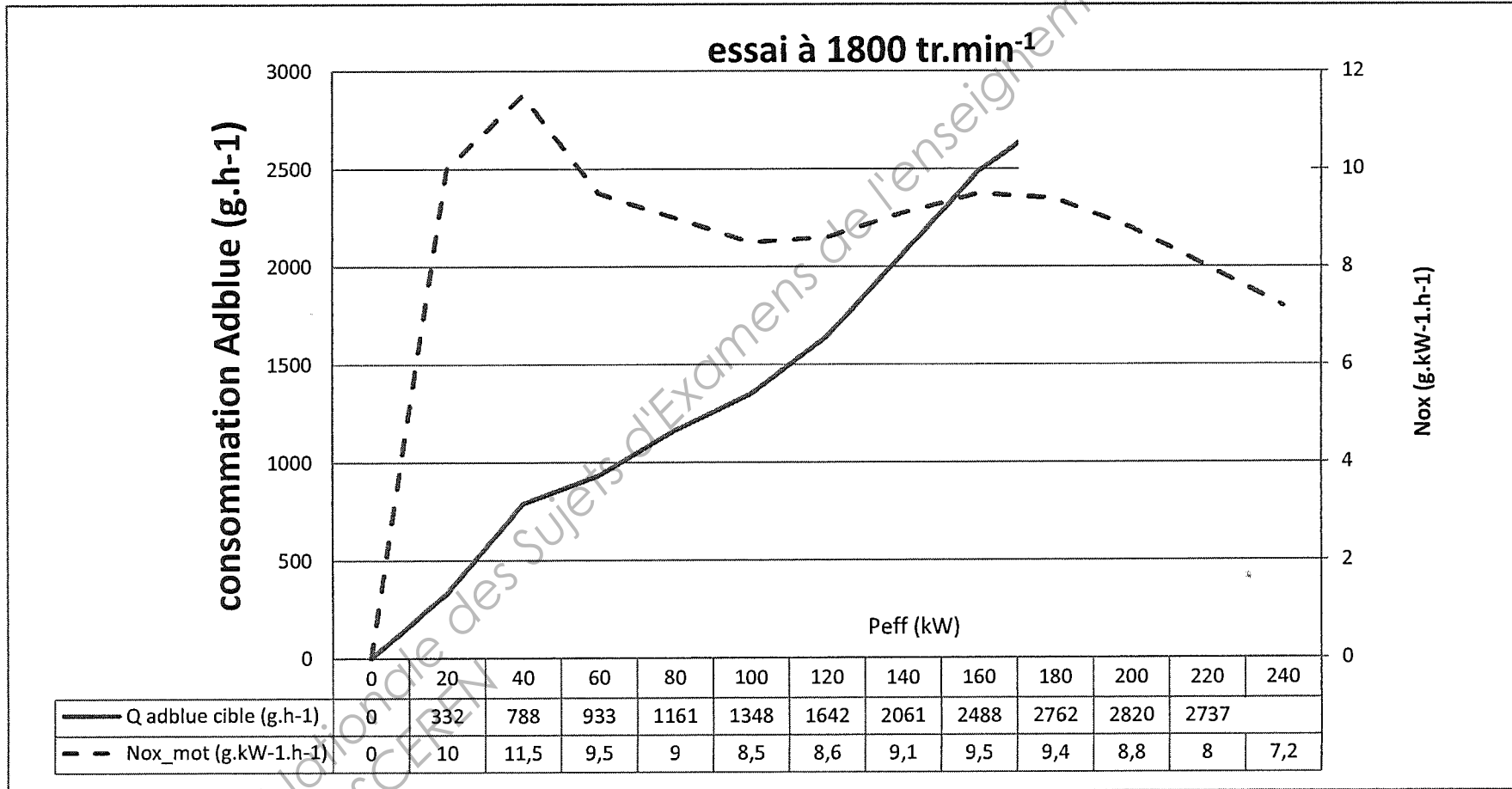
NOTATIONS - LEXIQUE

grandeur	notation	valeur	unité	grandeur	notation	valeur	unité
Proportion molaire des NO ₂ par rapport aux NOx totaux	$\frac{NO_2}{NO_x}$	0,1 (10%)	Sans unité (su)	débit de NOx limite (cible ou objectif visé)	$Q_{NOx\text{cible}}$		$g.s^{-1}$ ou $g.h^{-1}$
masse d'urée produite par gramme d'ammoniac	$K_{u_NH_3}$		su	débit de NOx effectif sortie moteur, avant système de traitement des NOx	Q_{NOx_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 NOx	$E_{cible\%}$		%
Masse d'urée nécessaire pour réduire 10 moles de NOx	m_u		g	Débit d'additif ADBLUE [®]	Q_{adblue}		$g.s^{-1}$ ou $g.h^{-1}$
masse d'urée nécessaire pour réduire 1 gramme de NOx	K_{NOx}	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 ₂	$m_{u_NO_2}$		$g.mol^{-1}$	Masse molaire des NOx (assimilés à du NO ₂)	M_{NOx}	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 NOx	K_H	1	su
Débit de NOx	Q_{NOx}		$g.h^{-1}$	Débit volumique des gaz d'échappement	$Q_{v\text{gaz_echap}}$		$dm^3.h^{-1}$
Concentration de NOx	$[NO_x]$		ppm	Débit statique de l'injecteur d'ADBLUE [®]	Q_{stat}		$kg.h^{-1}$
Masse volumique des NOx (assimilés à NO ₂) en conditions de référence	ρ_{NOx}	2,05	$g.dm^{-3}$	Emission spécifique de NOx (sur cycle ESC)	E_{NOx}		$g.kW^{-1}.h^{-1}$
Masse volumique des HC en conditions de référence	ρ_{HC}	0,618	$g.dm^{-3}$	Rapport massique d'urée dans l'ADBLUE [®]	R_{mu}	32,5	%
Masse volumique du CO en conditions de référence	ρ_{CO}	1,25	$g.dm^{-3}$	Masse volumique des gaz d'échappement	ρ_{gaz_echap}		$g.dm^{-3}$
Masses molaires :	H	1	$g.mol^{-1}$				
	C	12					
	N	14					
	O	16					

terme	signification	terme	signification
ADBLUE [®]	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