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

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

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

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

SESSION 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*.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

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 CO_2.
- 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 2 : 50 minutes
  - ✓ Partie 3 : 60 minutes
  - ✓ Partie 4 : 50 minutes.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

PARTIE 1 : ANALYSE DU CONTENTE

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 $g.kW^{-1}.h^{-1}$) ?

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 THEORIQUE

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_2 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_NH3} : masse d'urée nécessaire pour produire un gramme d'ammoniac.

2.2. A partir de la réaction (2), déterminer la masse d'urée $_{mu_NO}$ nécessaire pour réduire 1 mole de NO.

2.3. A partir de la réaction (4), déterminer la masse d'urée m_{u_NO2} nécessaire pour réduire 1 mole de NO2

2.4. Calcul du facteur K_{NOx} : 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_2) .

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_{NOx} : 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_{NOx} utilisé est de 2,07.

- Vérifier que cette valeur correspond à l'hypothèse $M_{NOX} = M_{NO2}$.
- Justifier la plausibilité de cette hypothèse par l'utilisation d'un précatalyseur d'oxydation (voir *DT2*).

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

PARTIE 2 : 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 tr.min^{-1}.
  - On s'intéresse au point P_{eff} = 240 kW.
  - **L'allocation NOx sur ce point est de 2 g.kW^{-1}.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 tr.min^{-1}, P_{eff} = 240 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 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.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

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_2 : $M_{NOX} = M_{NO2}$
  - La masse molaire des gaz d'échappement est assimilée à celle de l'air : $M_{echap} = 29\ g.mol^{-1}$
  - 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 $\rho_{gaz_{echap}}$ 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 : ρ_{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 !

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

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*) :**

$$Q_{NOx}\ (g.h^{-1}) = 1{,}587.10^{-6} \times [NOx] \times KH \times Qm_{\ gaz_echap}\ (g.h^{-1})$$

(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 $g.kW^{-1}.h^{-1}$
- compléter les cases correspondantes du tableau (*cases grisées et entourées*) du *DR3* .

Somme		1,3	12,1	
émissions / cycle (g.kW-1.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) ?

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

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

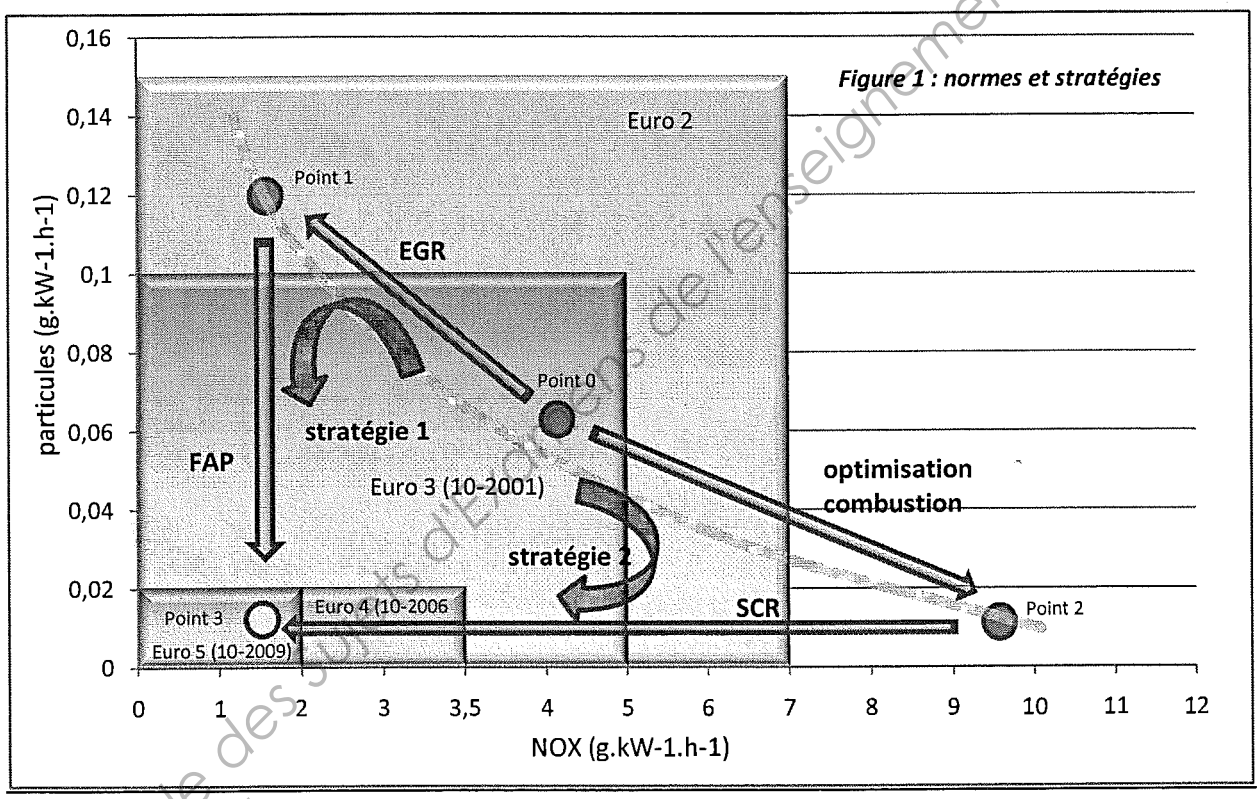
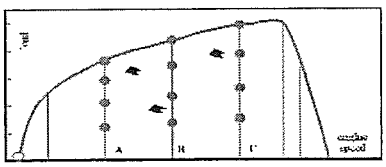


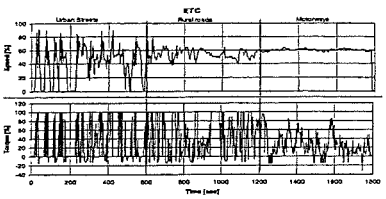
Figure 1 : normes et stratégies

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

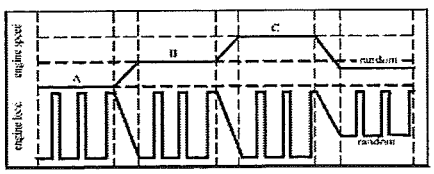
Le sujet porte sur cet essai.



ⓘ
- ✓ le cycle ETC (European Transcient Test Cycle). Cycle type routier, 1/3 urbain, 1/3 route, 1/3 autoroute).



- ✓ Le test ELR (*E*uropean Load Response Test). Cycle simplifié de réponse en transitoires de fortes charges.

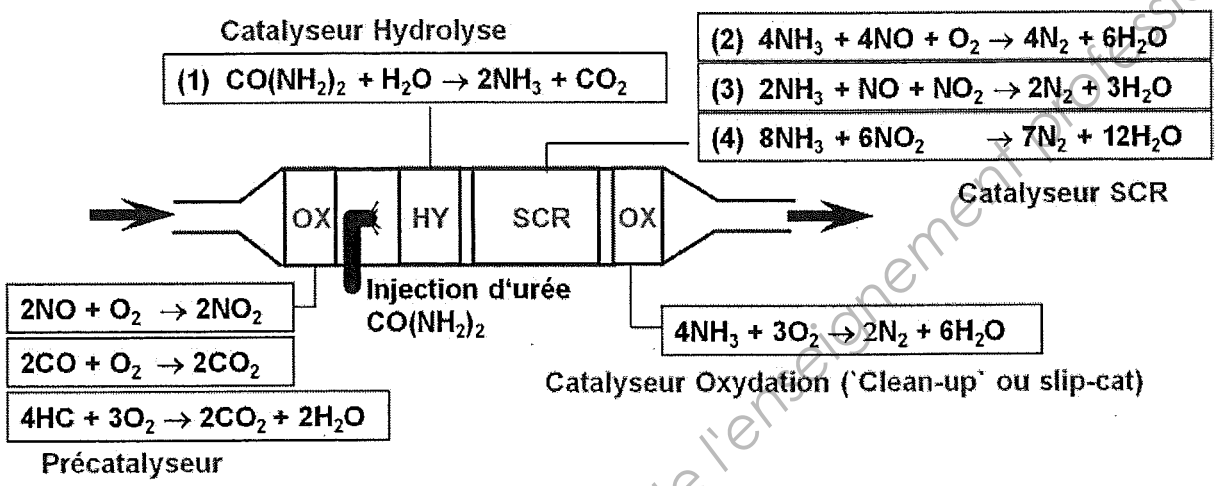


Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document Technique n° 2

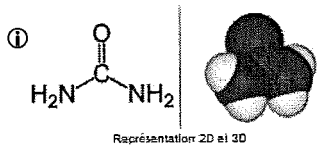
THEORIE SCR

Figure 2 : théorie SCR



- 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.

ⓘ

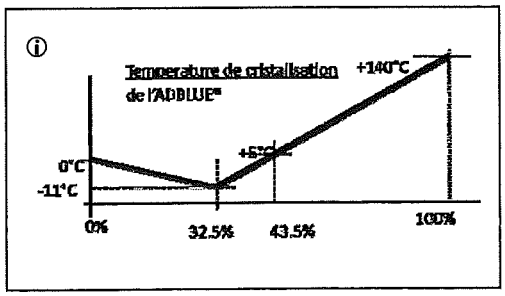


Représentation 2D et 3D

- 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.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document Technique n° 3

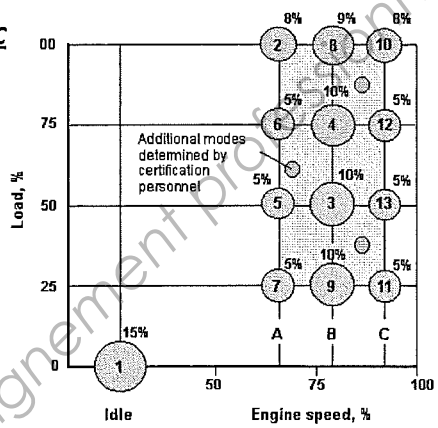
CYCLE ESC

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 kg.m^{-3} à 273 K (0 °C) et 101,3 kPa :

Q_{NOx} (g.h^{-1}) = 1,587.10^{-6} × [NOx] × KH × Qm_{gaz_echap} (g.h^{-1})

Q_{CO} (g.h^{-1}) = 0,966.10^{-6} × [CO] × Qm_{gaz_echap} (g.h^{-1})

Q_{HC} (g.h^{-1}) = 0,479.10^{-6} × [HC] × Qm_{gaz_echap} (g.h^{-1})

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

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

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

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

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document Technique n° 4

SYSTEME SCR

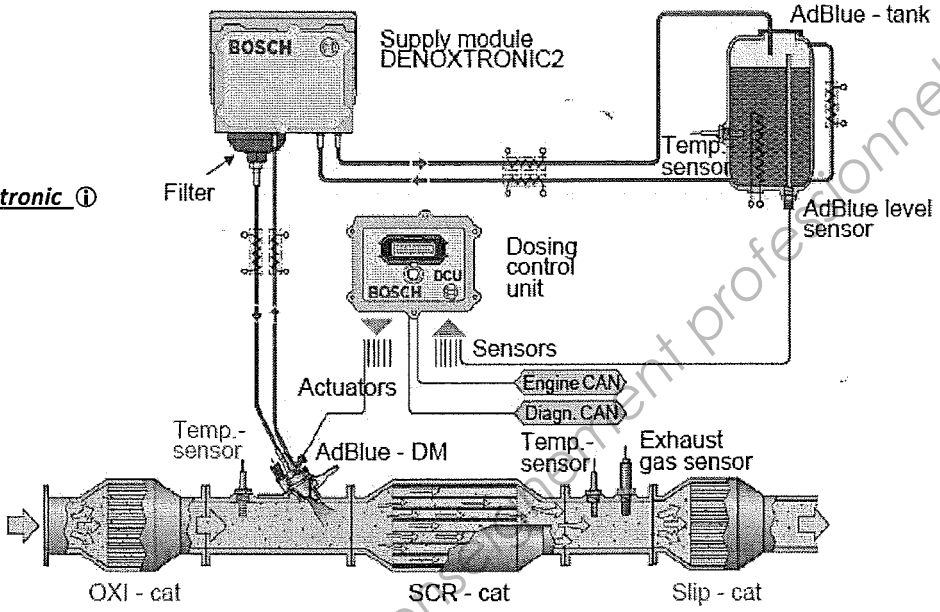


Figure 4 : Système Dénoxtronic ⓘ

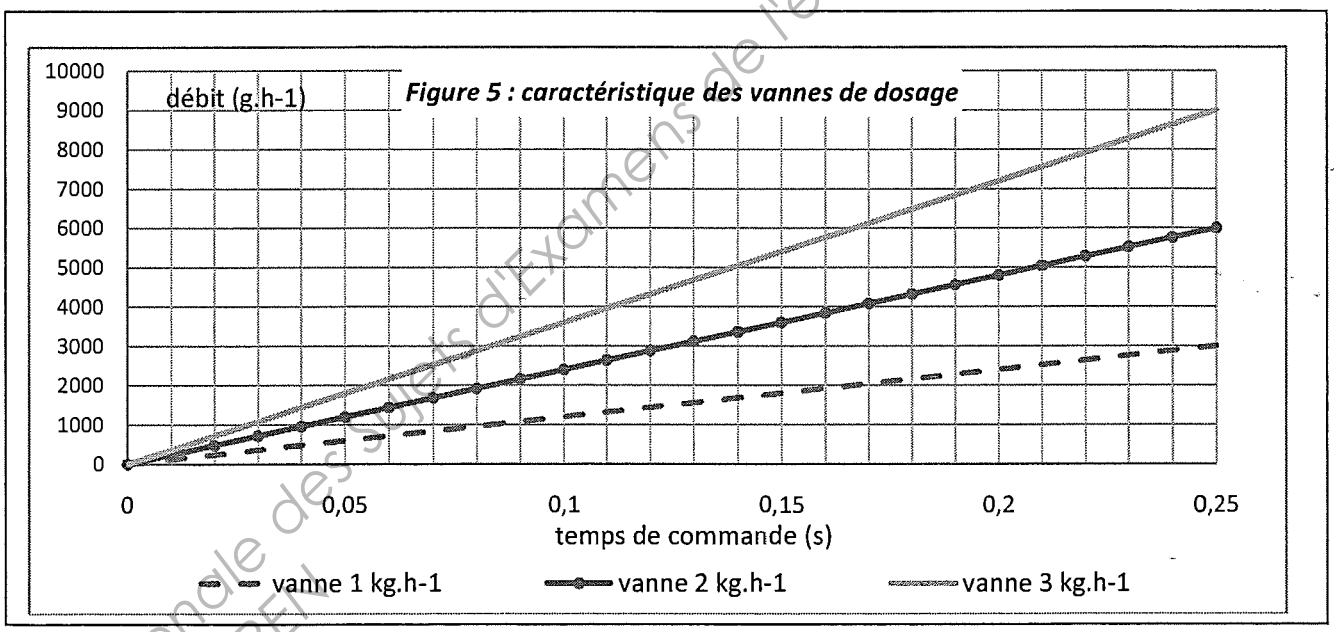


Figure 5 : caractéristique des vannes de dosage

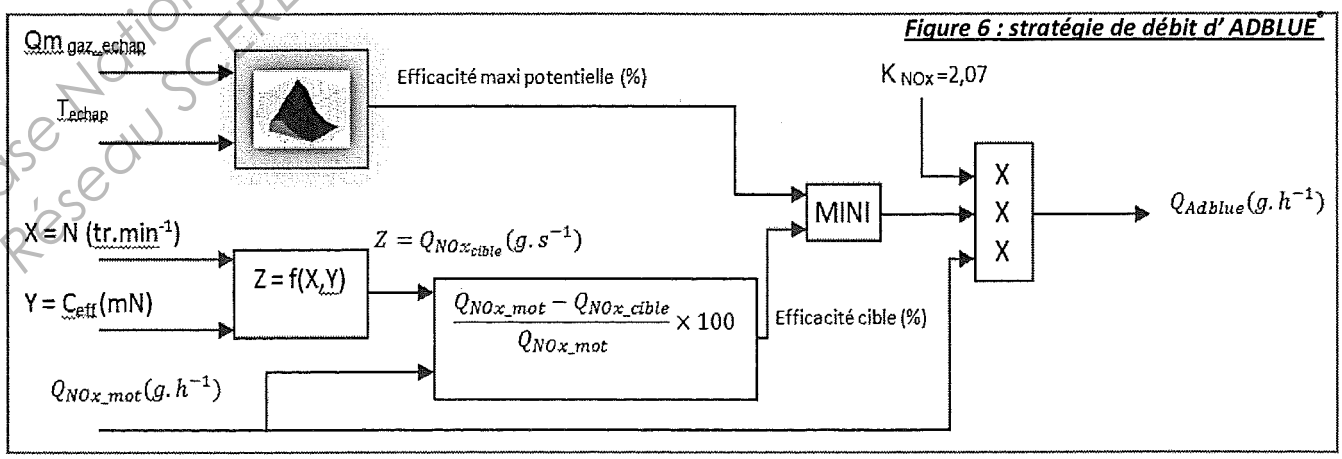


Figure 6 : stratégie de débit d' ADBLUE®

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document Technique n° 5

RESULTATS 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

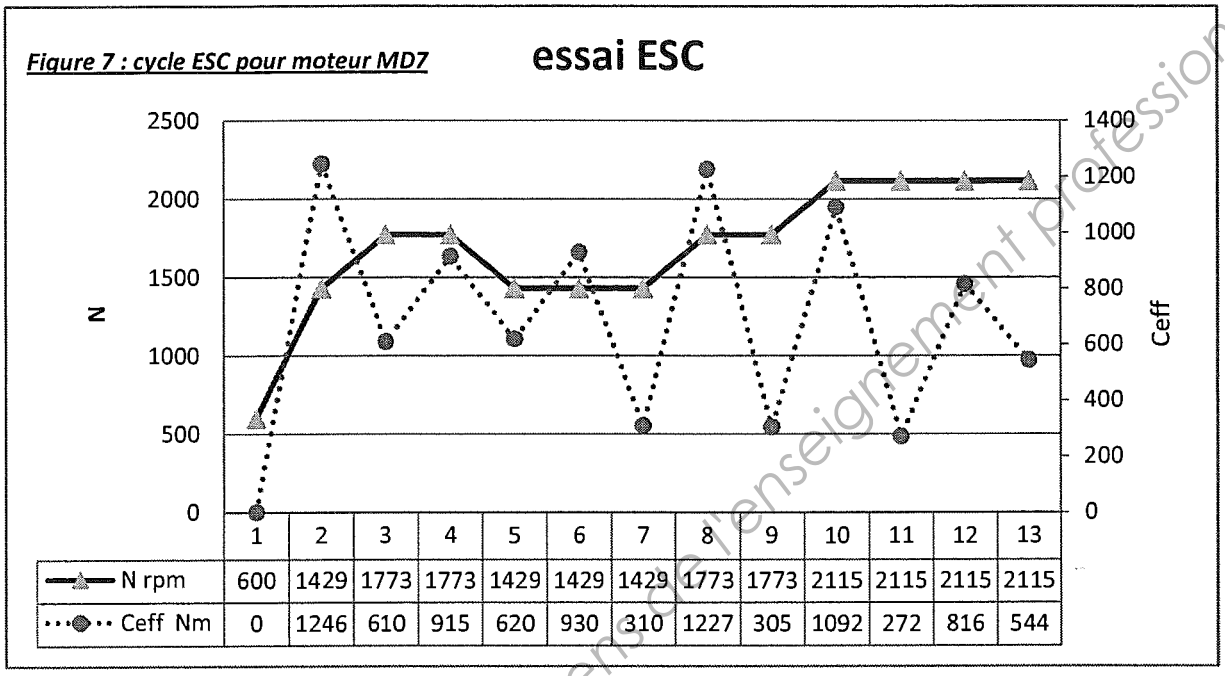
* Poids = coefficient de pondération

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document Technique n° 6

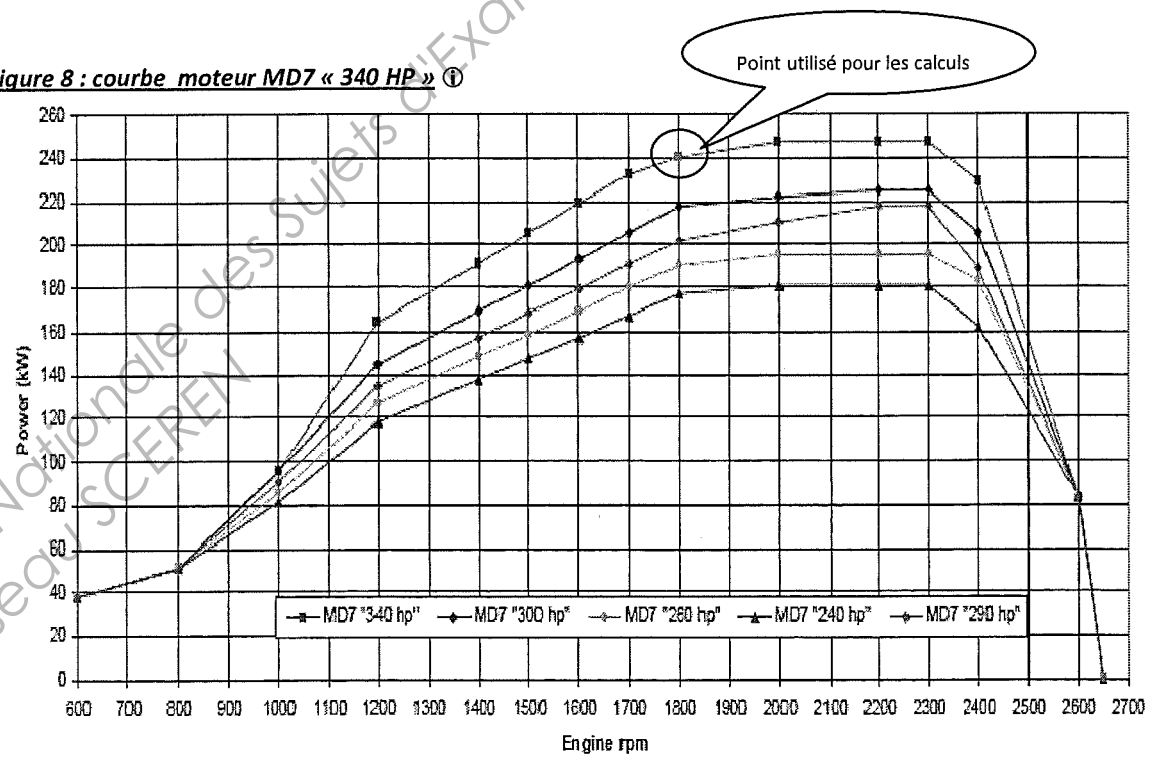
CARACTERISTIQUES MOTEUR – CYCLE ESC

Figure 7 : cycle ESC pour moteur MD7



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
N rpm	600	1429	1773	1773	1429	1429	1429	1773	1773	2115	2115	2115	2115
Ceff Nm	0	1246	610	915	620	930	310	1227	305	1092	272	816	544

Figure 8 : courbe moteur MD7 « 340 HP » ⓘ



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document Technique n° 7

NOTATIONS – LEXIQUE

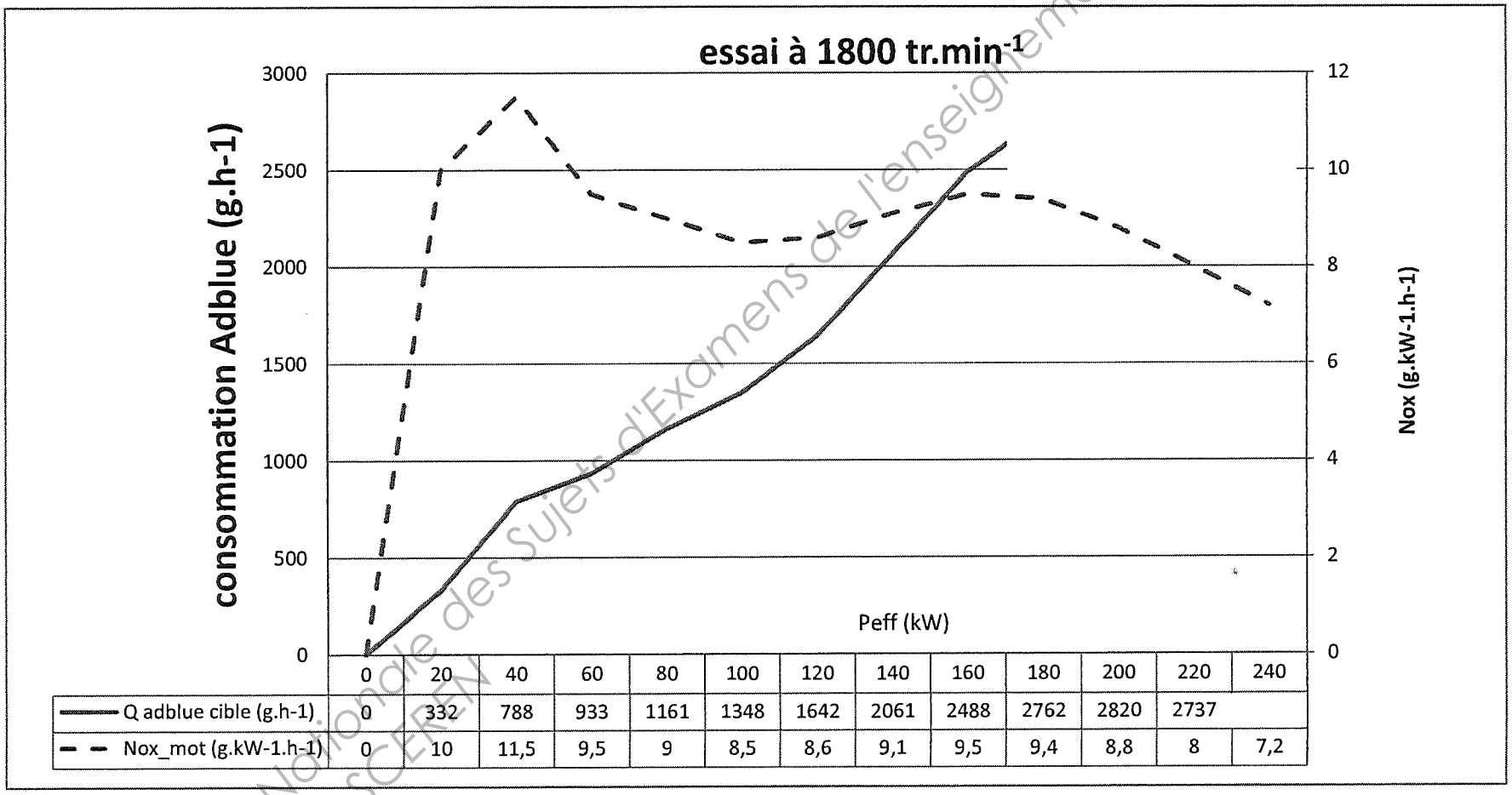
grandeur	notation	valeur	unité	grandeur	notation	valeur	unité
Proportion molaire des NO2 par rapport aux NOx totaux	$\frac{NO_2}{NO_x}$	0,1 (10%)	Sans unité (su)	débit de NOx limite (cible ou objectif visé)	$Q_{NOxcible}$		$g.s^{-1}$ ou $g.h^{-1}$
masse d'urée produite par gramme d'ammoniac	K_{u_NH3}		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_NO2}		$g.mol^{-1}$	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	Qv_{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 NO2) 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	$\rho_{gaz_{echap}}$		$g.dm^{-3}$
Masses molaires :	H C N O	1 12 14 16	$g.mol^{-1}$				

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.		

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document Réponse DR n° 1

CONSOMMATION D'ADBLUE©



	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Q adblue cible (g.h-1)	0	332	788	933	1161	1348	1642	2061	2488	2762	2820	2737	
Nox_mot (g.kW-1.h-1)	0	10	11,5	9,5	9	8,5	8,6	9,1	9,5	9,4	8,8	8	7,2

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

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)			**101,4**	
													Somme	**1,3**	**12,1**		
													émissions / cycle (g.kW-1.h-1)	**0,011**	**0,100**		

* Poids = coefficient de pondération

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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

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

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

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

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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

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

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

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