

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2015

ÉTUDE DES MOTEURS U51 – EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEUR

Durée : 3 heures – Coefficient : 3

Documents et matériels autorisés :

Aucun autre 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° 99-186 du 16 novembre 1999.

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

Le sujet comporte **15 pages** numérotées de la façon suivante :

- Page de garde : page 1
- Dossier sujet : pages 2 à 6
- Dossier technique : pages 7 à 13
- Dossier des documents réponse (DR) à rendre avec la copie : pages 14 à 15

CODE ÉPREUVE : 1506MOE5EEM	EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION : 2015	SUJET	ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS U51 – EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEUR	
Durée : 3h	Coefficient : 3	SUJET N°03ED14	15 pages

Présentation de l'étude

Un prestataire met au point un nouveau moyen d'essai avant de proposer des essais à ses clients. L'objectif de l'étude est de valider les équipements du banc d'essai grâce au dépouillement d'un essai de balayage de richesse. Durant cet essai, le régime et l'avance à l'allumage sont constants. Les résultats de cet essai sont donnés sur le Doc Tech n°1 (page 7/15).

Les informations liées au moyen d'essai, aux caractéristiques du moteur, et aux caractéristiques du carburant ainsi que les grandeurs mesurées sur l'installation, sont données sur le Doc Tech n°2 (page 8/15).

L'étude comporte 3 parties :

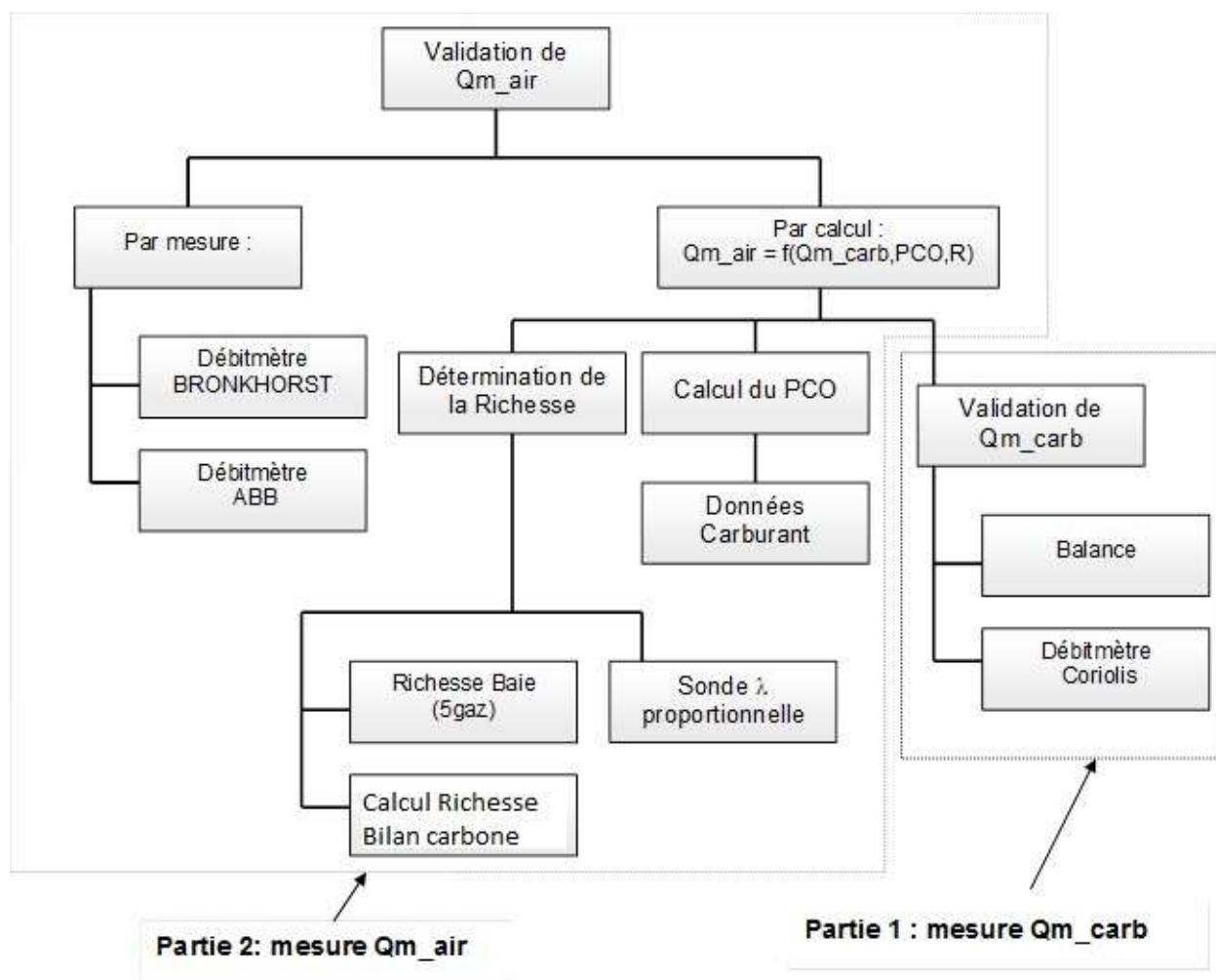
Partie 1 : mesure débit carburant (30 minutes conseillées)

Partie 2 : mesure débit d'air (1 heure 50 minutes conseillées)

Partie 3 : validation de la richesse par le comportement moteur (30 minutes conseillées).

Il est conseillé une lecture complète et attentive de 10 mn minimum.

Mise en situation de l'étude



1. Première partie : mesure de Q_{m_carb}

Validation de la mesure de Q_{m_carb} :

La balance de consommation a fait l'objet d'une validation par une campagne d'essai préalable sur d'autres projets. Elle devient donc la référence pour la mesure de Q_{m_carb} . L'objectif est de valider les informations données par le débitmètre de Coriolis.

Document technique à utiliser : DT1 page 7/15.

- 1.1 Complétez le tracé, sur le Doc réponse 1 (page 14/15), de l'évolution du débit massique de carburant (en $g \cdot min^{-1}$) mesuré par le débitmètre de Coriolis.
- 1.2 À l'aide de la documentation constructeur sur le débitmètre Coriolis (Doc Tech n°3, page 9/15), recherchez la plage d'utilisation de l'appareil, et indiquez si elle permet les essais envisagés.
- 1.3 Pour une valeur mesurée par le débitmètre $Q_{m_carb} = 0,2 \text{ g/s}$, calculez l'incertitude de mesure. Le résultat vous paraît-il significatif par rapport aux écarts constatés sur le graphe du document réponse DR1 ?
- 1.4 À partir des résultats trouvés dans les 2 questions ci-dessus, concluez sur la validité de la mesure de ce débitmètre.

2. Deuxième partie : mesure de Q_{m_air}

Les mesures des débits d'air des deux débitmètres de marques **ABB** et **Bronkhorst** sont reportées sur le Doc Réponse 1 (page 14/15). Ce tracé fait apparaître un décalage entre les 2 grandeurs mesurées.

Nous allons confronter les résultats de ces 2 appareils à la valeur du débit massique d'air calculé à partir de Q_{m_carb} balance, du PCO et de la richesse, puis en déduire quel débitmètre est le plus « juste ».

Ce calcul se fera sur le point 5.

Pour effectuer ce calcul, il est nécessaire de connaître avec une grande précision, la valeur du PCO du carburant, ainsi que la richesse de l'essai considéré.

2.1 Calcul du débit massique d'air

Donner l'expression du $Q_{m_air} = f(R, PCO, \dots)$

2.2 Calcul du PCO

Rappel : Les données fournies par le pétrolier permettent de formuler le carburant sous la forme type $C_xH_yO_z$.

2.2.1. Écrivez l'équation littérale de combustion à la stœchiométrie avec de l'air type ($O_2 + 3,78 N_2$). Équilibrez cette équation.

2.2.2. Calculez le PCO du carburant pour le carburant fourni $C_{1,91}H_{1,91}O_{0,015}$ avec une précision de 2 décimales.

Remarque importante : pour la suite du problème, on prendra PCO = 14,30.

2.3. Détermination de la richesse

2.3.1 Mesure de la richesse par sonde

Le tableau de données fournit des résultats de mesure de richesse avec une sonde Lambda large bande (ou sonde proportionnelle) à réponse de **type C**. Vous disposez également des valeurs de richesse fournies par la baie d'analyse (R_{baie}).

2.3.1.1 Ces 2 informations divergent sur certains points, déterminez à partir de quelle valeur de richesse se produit un écart significatif.

2.3.1.2 À partir des courbes d'étalonnage des trois sondes fournies au DT6 (pages 12 et 13), choisissez la sonde la plus adaptée à l'essai réalisé et justifiez votre choix.

2.3.2 Calcul de la richesse 5 gaz **sur le point 5**

Les conclusions précédentes faisant apparaître une incertitude sur les informations de richesse, il est souhaitable de valider la donnée R_{baie} en la corrélant avec la richesse calculée par la méthode du bilan carbone, notée $R_{bilan\ carbone}$.

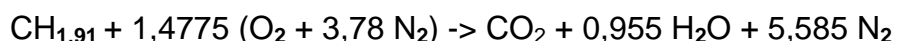
Remarque : le tableau des données fait apparaître 2 valeurs de concentration de CO mesurées. Lors de l'exploitation des résultats, seule une des 2 valeurs doit être prise en compte à chaque point d'essai.

2.3.2.1. Le tableau en bas du document réponse DR1 représente les 2 lignes CO du tableau de données.

À partir des spécifications techniques de la baie (DT5), indiquez pour chaque ligne de CO ($CO_{haute\ teneur}$ et $CO_{basse\ teneur}$), les points d'essai à prendre en compte en rayant, dans le tableau du DR1, ceux à exclure, et justifiez ce choix.

Hypothèses de travail retenues pour la suite de l'étude :

- L'équation de combustion stœchiométrique est de la forme :



- On prendra ici la valeur de $CO_{basse\ teneur}$
- Les N_2 ne sont pas mesurés, mais déterminés en considérant que la somme des concentrations des gaz émis (en base sèche) est égale à 100%.
- Les NO_x ne seront pas négligés.

2.3.2.2. Donnez l'expression littérale du rapport des masses azote et carbone défini par l'équation ci-dessus

noté $(\frac{mC}{mN})_{\text{stoechiométrique}}$.

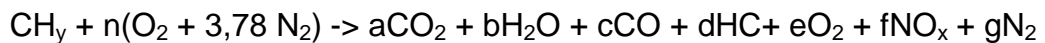
Ce rapport représente le dosage stœchiométrique.

Calculez le rapport $(\frac{mC}{mN})_{\text{stoechiométrique}}$ avec 4 décimales

2.3.2.3. Donnez l'expression littérale du rapport $(\frac{mC}{mN})_{\text{réel}}$ (en base sèche) à partir des teneurs mesurées par la baie **sur le point 5**.

Ce rapport représente le dosage réel.

On rappelle que l'équation de combustion réelle est de la forme :



Calculez le rapport $(\frac{mC}{mN})_{\text{réel}}$ avec 4 décimales.

Remarque importante : pour la suite du problème, vous prendrez

$(\frac{mC}{mN})_{\text{réel}} = 0,0764$

2.3.2.4. Calculez la $R_{\text{bilan carbone}}$ avec 3 décimales.

2.3.2.5. Concluez sur la validité de la richesse R_{baie} en calculant l'écart avec $R_{\text{bilan carbone}}$ exprimé en %. Vous prendrez la richesse baie en valeur de référence.

2.4. Calcul d'un débit massique d'air de référence.

Les calculs se feront **pour un PCO de 14,30**, à partir du débit massique de carburant fourni par la balance de consommation, et de la richesse R_{baie} .

Remarque importante : pour la suite du problème, la richesse R_{baie} sera considérée valide, et sera toujours prise comme valeur de référence.

Calculez $Q_{m_{\text{air_ref}}}$ avec une précision de 3 décimales **pour le point 5**.
Positionnez ce point sur le DR1 fourni page 14/15.

2.5. Validation de l'installation des 2 débitmètres sur le point 3.

Remarque importante : pour la suite du problème, on considérera que $Q_{m_{\text{air_ref}}}$ est obtenu avec une incertitude de +/- 1,2 %. (Valeur déduite de l'incertitude baie et de l'erreur du modèle de calcul)

2.5.1. Le calcul de $Q_{m_{\text{air_ref}}}$ sur le point 3 donne 12,22 kg/h. Calculez l'incertitude absolue de cette mesure avec 3 décimales et exprimez la valeur sous la forme $Q_{m_{\text{air_ref}}} = 12,22 \text{ kg/h} \pm YYY \text{ kg/h}$
Tracez ensuite l'intervalle d'incertitude associé à la valeur 12,22 sur le document réponse DR1.

- 2.5.2. À partir des données du tableau, $Q_{m_{\text{Bronkhorst}}}$ point 3, et des données de la fiche technique du débitmètre Bronkhorst EL-FLOW DT4, calculez l'incertitude absolue de cette mesure et exprimez la valeur sous la forme $Q_{m_{\text{Bronkhorst}}} = XXX \text{ kg/h} \pm YYY \text{ kg/h}$
Tracez ensuite l'intervalle d'incertitude associé à la valeur « Bronkhorst » sur le DR1
- 2.5.3. Comparez ces 2 résultats. Peut-on dire qu'il y a recoupement des valeurs mesurées ?
- 2.5.4. Sachant que l'installation est en cours de mise au point, une mesure qui se trouverait dans un intervalle de $\pm 5\%$ de la valeur de référence serait acceptable.
Sur le point 3, les débitmètres Bronkhorst et ABB satisfont-ils cette nouvelle tolérance ? Justifiez votre réponse.

3. Troisième partie : Validation de la richesse par le comportement moteur

Le document réponse DR2 page 15 montre l'évolution de la P_{mihp} en fonction de la valeur de richesse. Le comportement du moteur est parfaitement représenté par un polynôme de degré 3.

Dans les conditions d'essais définies si on considère, pour simplifier, que le débit d'air est constant on peut écrire que la puissance chimique (P_{chim}) est proportionnelle à la richesse : $P_{chim} = K_1 \cdot \text{Richesse}$

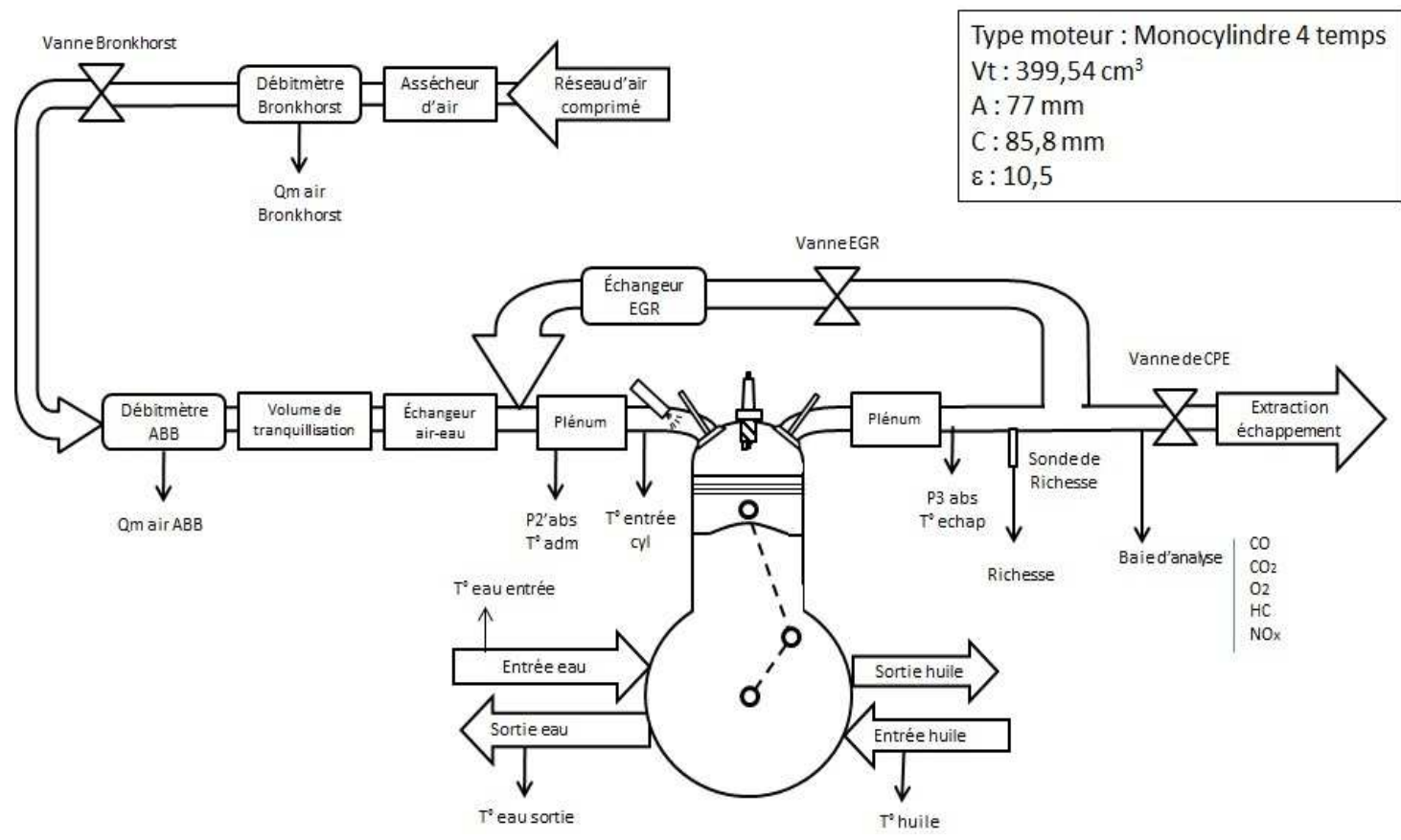
- 3.1. Trouvez l'expression de la puissance indiquée HP telle que $P_{ihp} = f(P_{mihp}, V_t, N)$.
Peut-on dire que P_{ihp} est proportionnelle à P_{mihp} ?
- 3.2. Trouvez l'expression du rendement indiqué HP (η_{ihp}) en vous aidant des 2 expressions précédentes.
- 3.3. À partir du résultat précédent, trouvez graphiquement sur le DR2 le point de P_{mihp} qui donne le η_{ihp} maxi et donnez la valeur de richesse qui lui correspond. Justifiez brièvement votre tracé.
- 3.4. Réaction du moteur au balayage de richesse :
- Cette valeur de richesse est-elle habituelle sur les moteurs à allumage commandé ? Commentez l'évolution de la P_{mihp} en fonction de la richesse en spécifiant les points particuliers (trois lignes maximum).

DT1 : résultats balayage de richesse à isovitesse N = 2000tr/mn

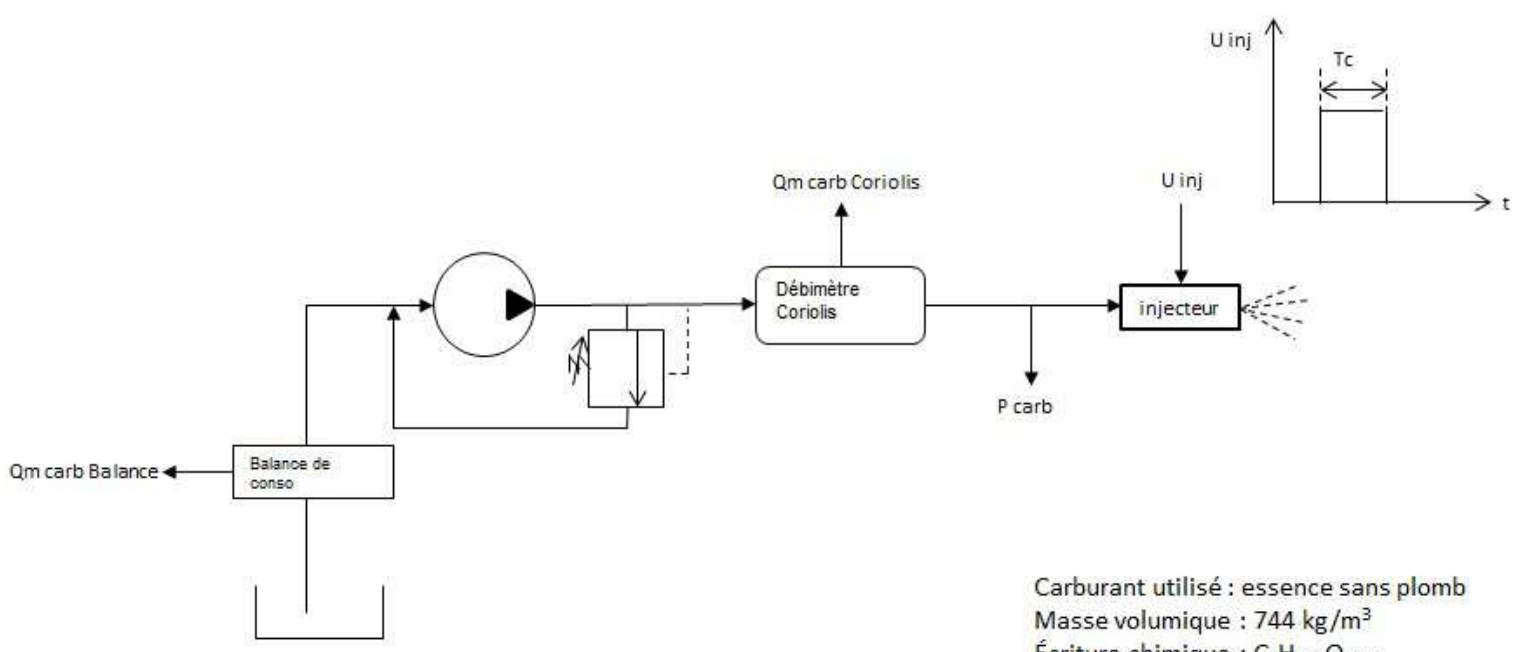
Réglages	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130
Avance à l'allumage (°V)	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130	20	130
début injection (°V)	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
fin injection (°V)	-8	-27,2	-54,8	-70,4	-96,8	-104	-105,2	-116	-136,4	-161,6	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170
T commande injecteur (LS)	11500	13100	15400	16700	17570	18200	19600	20500	22200	24300	25250	25250	25250	25250	25250	25250	25250	25250	25250	25250	25250	25250
Baie d'analyse																						
CO (haute teneur) (%)	0,12	0,10	0,10	0,10	0,38	0,29	1,55	3,04	5,04	6,44	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78
CO (basse teneur) (ppm)	1172	1012	970	1041	3754	2798	9640	9640	9650	9651	9652	9652	9652	9652	9652	9652	9652	9652	9652	9652	9652	9652
CO ₂ (%)	9,66	11,36	13,17	13,69	14,20	14,15	13,82	13,04	11,80	10,96	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19
O ₂ (%)	7,36	5,13	2,70	1,99	1,09	1,26	0,63	0,47	0,37	0,34	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
HC (ppm)	5622,60	3692,60	3312,99	3351,48	3499,37	3460,70	3812,91	3998,47	4445,26	4582,01	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56	4843,56
NOx (ppm)	158,08	938,96	4047,91	4470,77	4079,34	4260,74	2847,19	1797,51	805,67	517,27	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86	333,86
Richesse baie	0,706	0,81	0,899	0,955	0,994	1,003	1,053	1,108	1,200	1,285	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328	1,328
Voies Lentes																						
P carb (bar)	3,020	3,050	3,000	2,990	3,010	3,020	3,000	3,010	3,010	3,020	3,010	3,020	3,010	3,010	3,020	3,020	3,010	3,010	3,020	3,020	3,010	3,010
T° adm (°C)	23,8	24,1	24,4	24,5	24,9	24,8	25,2	25,3	26,9	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
T° cyl (°C)	25,3	25,8	25,2	24,6	25,4	24,8	23,5	22,0	22,1	21,2	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
T° echap (°C)	507	506	518	530	542	543	541	529	506	487	481	481	481	481	487	487	481	481	487	487	481	481
T° eau entrée (°C)	82,4	82,7	82,9	82,9	82,8	82,7	82,6	82,6	82,8	82,6	82,6	82,6	82,6	82,6	82,6	82,6	82,6	82,8	82,6	82,6	82,6	82,6
T° eau sortie (°C)	83,1	83,8	83,9	83,9	83,9	84,0	83,7	83,5	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,5	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8
T° huile (°C)	60,1	63,9	71,2	60,8	76,5	61,1	70,7	66,6	64,2	63,8	63,3	63,3	63,3	63,3	66,6	63,8	63,3	64,2	63,8	63,8	63,3	63,3
Qmair ABB (kg/h)	11,32	11,24	11,13	11,04	10,98	10,96	10,97	10,97	10,95	10,94	10,95	10,95	10,95	10,95	10,97	10,94	10,95	10,95	10,94	10,94	10,95	10,95
Sonde de richesse	0,72	0,80	0,89	0,93	0,97	0,99	1,04	1,11	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,04	1,11	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Qmair Bronkhorst (kg/h)	11,95	11,84	11,72	11,64	11,63	11,61	11,59	11,59	11,58	11,59	11,59	11,59	11,59	11,59	11,59	11,59	11,59	11,58	11,59	11,59	11,59	11,59
Qcarb Coriolis (g/s)	0,18	0,24	0,15	0,18	0,20	0,23	0,20	0,18	0,21	0,21	0,23	0,23	0,23	0,20	0,18	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,23	0,23
QmCarb Balance (g/min)	10,70	11,64	12,80	13,52	14,01	14,05	14,82	15,60	16,72	17,86	18,59	18,59	18,59	14,82	15,60	16,72	17,86	16,72	17,86	17,86	18,59	18,59
P2 _{abs} (mbar)	622	623	623	623	623	623	623	623	623	623	626	626	626	623	623	623	626	625	626	626	626	626
P3 _{abs} (mbar)	1026	1013	1012	1013	1013	1013	1014	1014	1010	1010	1011	1011	1011	1014	1014	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1011
Performances																						
FMI (bar)	3,105	4,028	4,562	4,806	4,912	4,955	4,966	4,985	4,950	4,894	4,872	4,872	4,872	4,966	4,985	4,950	4,950	4,950	4,950	4,950	4,950	4,950
FM HP (bar)	3,642	4,560	5,106	5,350	5,450	5,484	5,502	5,523	5,488	5,433	5,410	5,410	5,410	5,502	5,523	5,488	5,488	5,488	5,488	5,488	5,410	5,410
FM BP (bar)	-0,531	-0,529	-0,535	-0,534	-0,536	-0,533	-0,535	-0,539	-0,537	-0,539	-0,540	-0,540	-0,540	-0,535	-0,539	-0,537	-0,537	-0,537	-0,537	-0,537	-0,540	-0,540
Csi (g/kWh) Balance	310	260	253	253	257	256	269	300	304	329	344	344	344	269	300	304	304	304	304	304	344	344
Calculs / Pollu																						
Compatibilité Bate	98,41	98,59	99,01	99,15	99,26	99,34	99,56	100,04	99,98	100,26	100,74	100,74	100,74	99,56	100,04	99,98	99,98	99,98	99,98	99,98	100,26	100,74
Rdt Comb	94,4%	96,6%	97,3%	97,4%	96,5%	96,8%	93,0%	89,6%	83,4%	80,0%	77,1%	77,1%	77,1%	93,0%	89,6%	83,4%	83,4%	83,4%	83,4%	83,4%	80,0%	77,1%
HC (g/kWh) indiqué	15,62	7,86	5,95	5,80	5,83	5,88	6,29	6,54	7,64	8,26	8,78	8,78	8,78	6,29	6,54	7,64	7,64	7,64	7,64	8,26	8,78	8,78
NOx (g/kWh) indiqué	0,85	3,41	12,03	12,77	11,18	11,93	7,73	4,83	2,29	1,54	1,00	1,00	1,00	7,73	4,83	2,29	2,29	2,29	2,29	1,54	1,00	1,00
CO (g/kWh) indiqué	6,47	4,24	3,43	3,55	12,50	9,66	50,60	98,54	171,73	230,17	279,39	279,39	279,39	50,60	98,54	171,73	171,73	171,73	171,73	230,17	279,39	279,39

DT2

Présentation des mesures



Circuit carburant



Carburant utilisé : essence sans plomb
 Masse volumique : 744 kg/m³
 Écriture chimique : C₁H_{1,91}O_{0,015}
 PCI : 42330 j/g

Débitmètres & Régulateurs de débit massique Coriolis pour
Liquides et Gaz

CORI-FLOW™



➤ **Spécifications techniques :**

Incertitude de mesure :

liquide: $\pm 0,2\%$ mesure

Gaz : $\pm 0,5\%$ mesure

Répétabilité : $< 0,1 \%$ de la lecture

Temp. de fonctionnement : 0 à 70°C

Pression maxi : 100 bar

Plage d'utilisation : 0,060 à 3 kg/h

Document technique n° 4 : Débitmètre d'air Bronkhorst

EL-FLOW®

Débitmètres Massiques et Régulateurs de Débit Massique
à effet thermique pour gaz

➤ Principe de la mesure de débit massique thermique :

Le capteur se compose d'un tube capillaire en acier inoxydable pourvu de capteurs de température et l'élément chauffant. Une partie du flux gazeux traverse le capteur où il est chauffé par l'élément R_H . Il en résulte un écart entre les températures T_1 et T_2 . Cet écart est directement proportionnel au débit massique dans le capteur. Bronkhorst High-Tech utilise un élément breveté permettant de rendre l'écoulement laminaire dans le canal principal. Celui-ci est constitué d'un empilement de disques en acier inoxydable sur lesquels sont creusés des canaux de circulation de géométrie très précise. Grâce à la parfaite division du débit, la sortie mesure du capteur est proportionnelle au débit massique total.



➤ Spécifications techniques :

Incertitude de mesure: $\pm 0,5\%$ mesure + $\pm 0,1\%$ PE*

Répétabilité : $< 0,2\%$ de la lecture

Temps de réponse : 1 à 2 secondes,

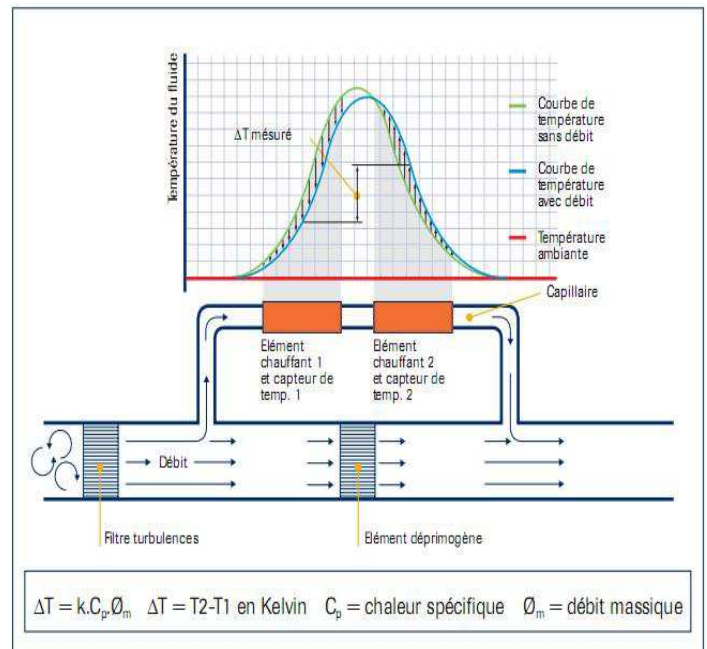
en option : jusqu'à 500 ms

Stabilité de régulation : $< 0,1\%$ PE* (pour 1l/mn)

Temp. de fonctionnement : -10 à 70°C ;

Sensibilité à la temp. : zéro : $< 0,05\%$ PE*/ $^\circ\text{C}$;
mesure : $< 0,05\%$ mesure / $^\circ\text{C}$

Plage d'utilisation : 0,5 à 60 kg/h



* PE : Pleine échelle

DOCUMENT TECHNIQUE n°5

Baie d'analyse des gaz d'échappement :

Marque : HORIBA

Model : 7100

Précision pour tous les analyseurs :

Répétabilité : 0,5% Pleine Échelle

Dérive du zéro : 1% Pleine Échelle

Dérive avec gaz étalon (~75% Pleine Echelle) : 1%
Pleine Échelle

Gamme des Analyseurs :

CO haute teneur : 0 - 12%

CO basse teneur : 0 – 5000 ppm

CO₂ : 0 – 20%

THC (base CH₄) : 0 – 50000 ppmC

O₂ : 0 – 25%

NO : 0 – 5000 ppm

NO_x : 0 – 5000 ppm



Masse molaire (g/mol) :

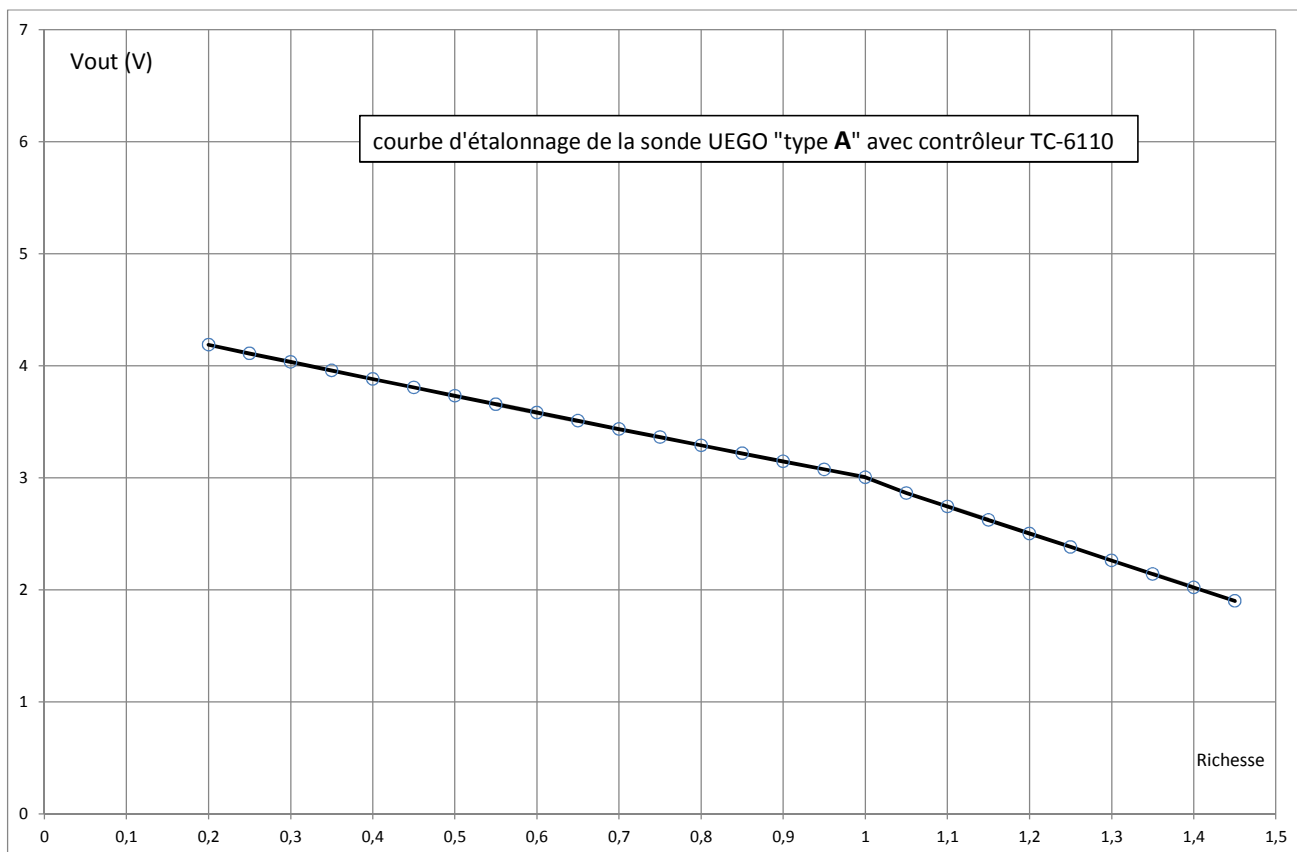
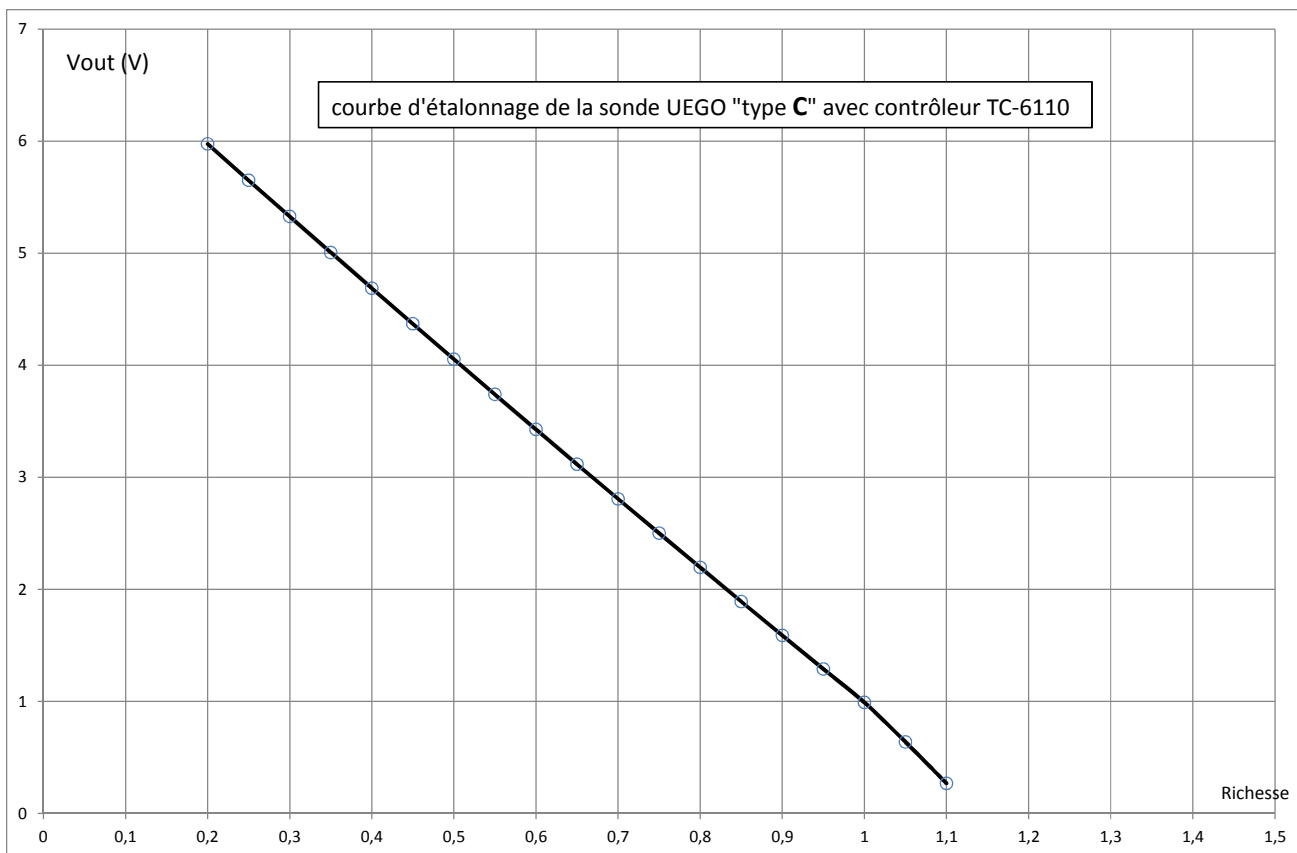
C = 12

N = 14

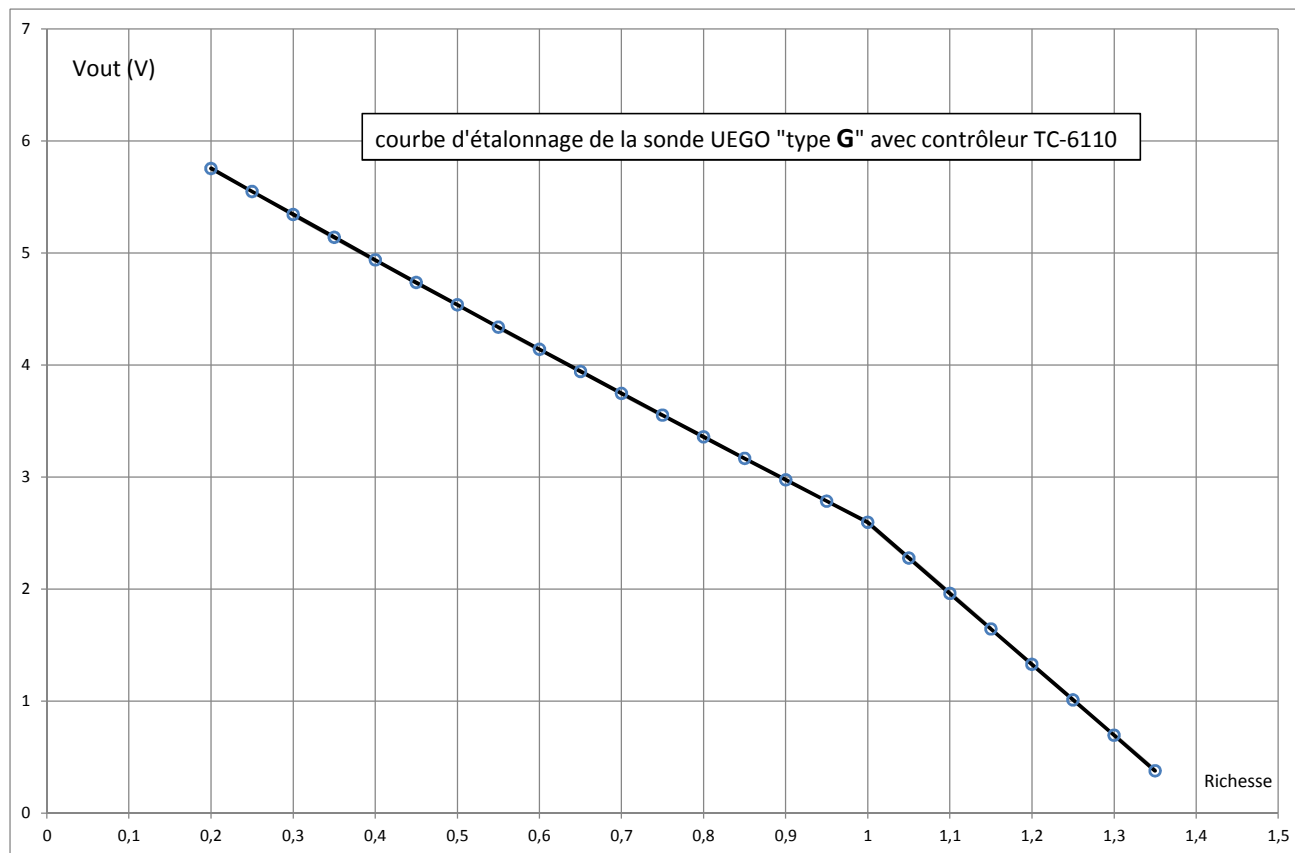
O = 16

H = 1

DOCUMENT TECHNIQUE n°6 : mesure de richesse par sonde large bande

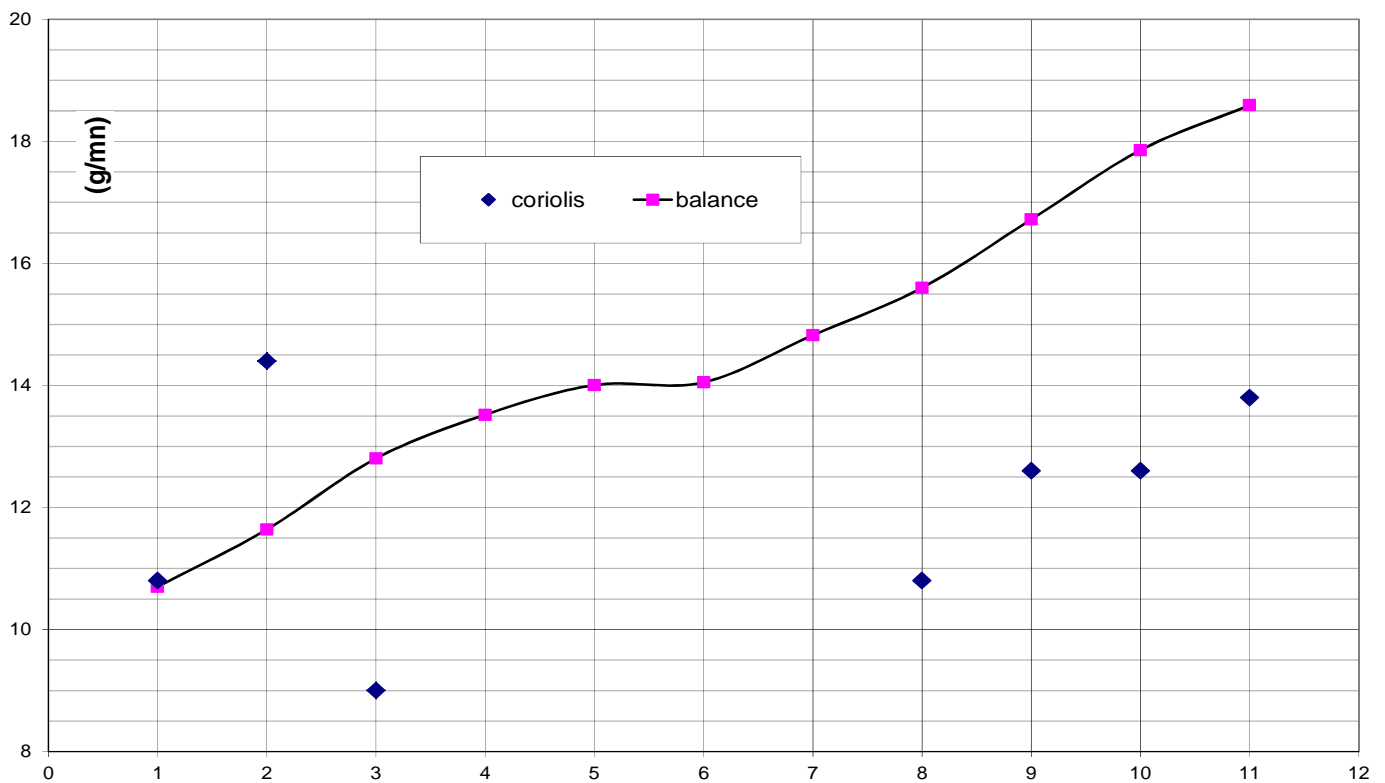


DOCUMENT TECHNIQUE n°6 : (suite)



DOCUMENT RÉPONSE 1 : à rendre avec la copie

Recouplement des débits carburant



Recouplement des débits d'air

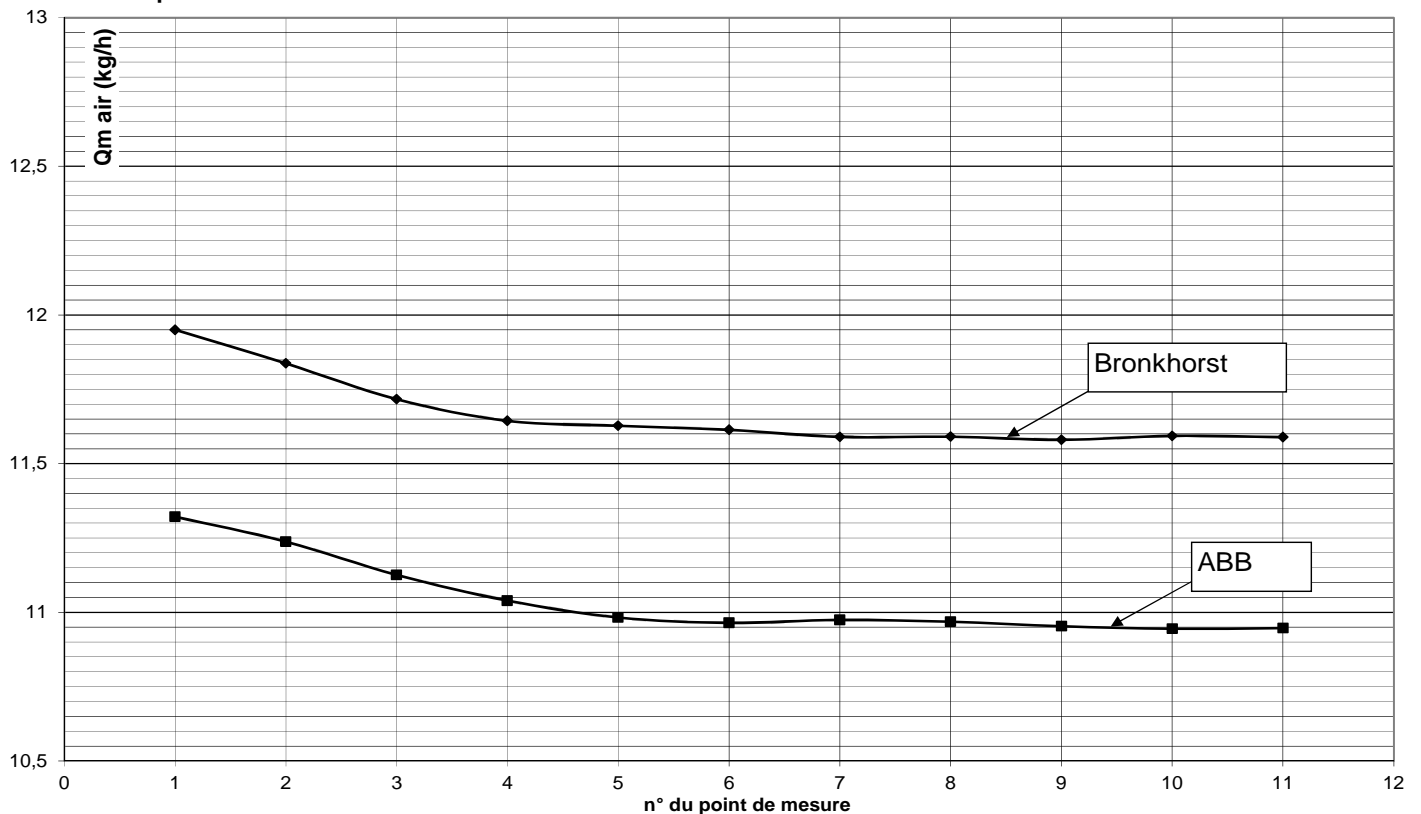


Tableau de mesure des teneurs CO (question 2.3.2.1)

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8	Point 9	Point 10	Point 11
CO (Haute teneur) (%)	0,12	0,10	0,10	0,10	0,38	0,29	1,55	3,04	5,04	6,44	7,78
CO (basse teneur) (ppm)	1172	1012	970	1041	3754	2798	9640	9640	9650	9651	9652

DOCUMENT RÉPONSE 2 : à rendre avec la copie

