

# BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

## MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

SESSION 2001



AUCUN DOCUMENT AUTRE QUE LE SUJET N'EST AUTORISÉ  
L'USAGE DE LA CALCULATRICE EST AUTORISÉ

### Présentation

Afin de faciliter sa résolution, le sujet est divisé en trois parties.

Il est conseillé de consacrer à chacune des parties la durée suivante :

- lecture du sujet : 20 minutes
- première partie (A) : 1 heure et 05 minutes
- deuxième partie (B) : 30 minutes
- troisième partie (C) : 1 heure et 05 minutes

Chaque partie sera rédigée sur une copie séparée.

**Le barème est établi en fonction de la durée de chaque partie.**

Le dossier du sujet est composé de :

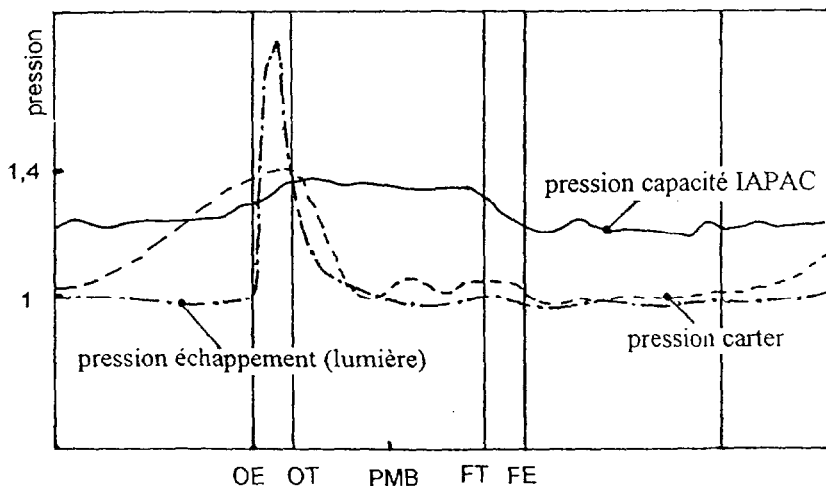
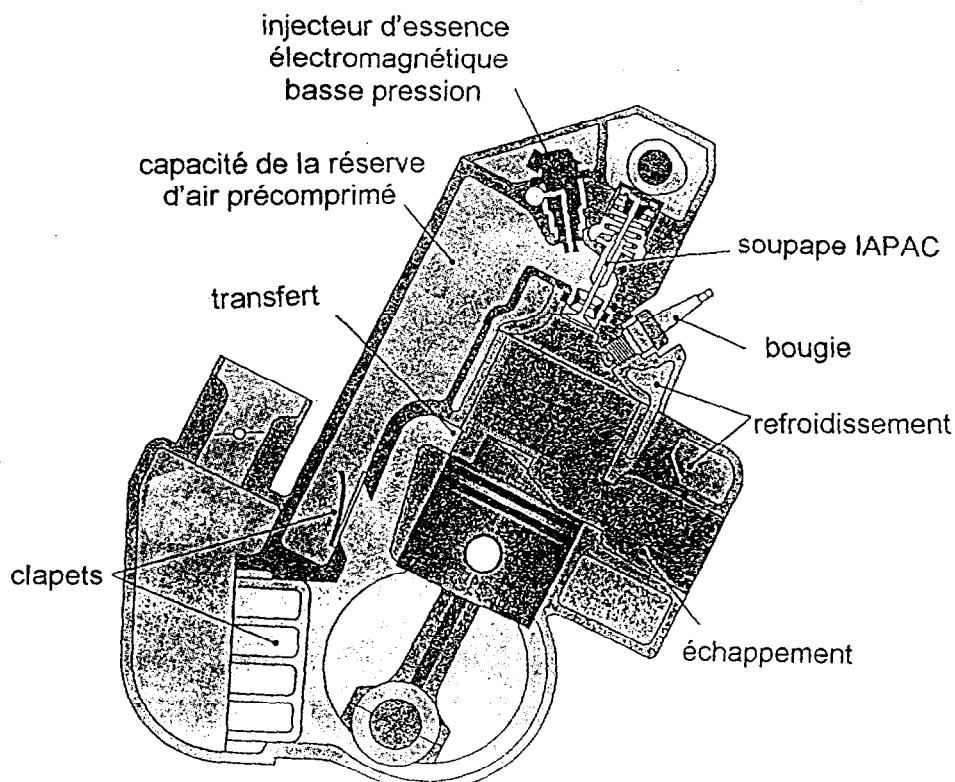
- Texte pages 2 à 5
- Documents pages 6 à 13
- Document réponse (à rendre avec la copie) page 14

## Moteur 2 temps automobile

Il est noté un regain d'intérêt pour le moteur 2 temps dans la recherche pour l'automobile en Europe, au Japon et aux Etats-Unis. Les constructeurs sont amenés à utiliser des solutions techniques permettant de supprimer ou de diminuer les inconvénients inhérents au principe de ce moteur.

Le système proposé dans ce sujet est développé par des constructeurs français sous l'appellation IAPAC (injection assistée par air comprimé). Les particularités se situent au niveau du balayage du cylindre et de l'alimentation en carburant.

En effet le balayage se fait uniquement avec de l'air précomprimé dans le carter et le carburant est introduit dans le cylindre via une soupape après avoir été dosé par un injecteur électromagnétique et pulvérisé dans un venturi avec de l'air mis en pression dans une capacité (réservoir) alimentée par le carter.



OE : ouverture échappement  
OT : ouverture transfert  
FE : fermeture échappement  
FT : fermeture transfert

## **A ) Etude des performances**

Le document page 6 indique le couple moteur mesuré au banc et corrigé des conditions atmosphériques .

Le moteur 4 temps 4 cylindres a une cylindrée de  $1360 \text{ cm}^3$

Le moteur 2 temps 3 cylindres a une cylindrée de  $1230 \text{ cm}^3$

**A1)** Calculer les pme (pression moyenne effective) des deux moteurs pour les fréquences de rotation de 2000 et  $4500 \text{ tr.min}^{-1}$  .

**A2)** Utiliser les valeurs consignées dans le tableau du document "Mesure de la consommation" page 7 pour calculer la consommation spécifique du moteur 2 temps aux régimes de 1500 et  $3000 \text{ tr.min}^{-1}$  . Compléter le document réponse page 14.

**A3)** Déterminer la précision de la mesure de consommation spécifique aux régimes de 1500 et  $3000 \text{ tr.min}^{-1}$  d'après les valeurs indiquées sur le document page 7 . Compléter le tableau du document réponse page 14.

**A4)** Tracer la courbe de la consommation spécifique sur le document réponse.

**A5)** Calculer le coefficient de remplissage ( Remplissage en Air Standard ) du moteur 2 temps à 1500 tr/mn et 4500 tr/mn suivant le document page 7 et les valeurs ci-dessous relevées au banc d'essais .

à 1500 tr/mn le dosage est de 1/14,7

à 4500 tr/mn " " " " 1/13,5

masse volumique de l'air standard :  $1,169 \text{ kg / m}^3$  ,  $P_o$  : 1000 hPa ,  $t_o$  :  $25^\circ\text{C}$

" " " l'essence :  $750 \text{ kg / m}^3$

**A6) a)** Justifier l'intérêt de la pme pour les motoristes .

b) Commenter les pme calculées en 4 et 2 temps à  $4500 \text{ tr.min}^{-1}$  .

## **B ) Analyse de la pollution**

Pour analyser la pollution , utiliser les documents pages 6 et 8.

**B1)** Calculer et tracer en % les différences d'émission du polluant  $\text{NO}_x$  du moteur 4 temps par rapport au 2 temps à 2000 tr/mn en fonction de la charge .

**B2)** Calculer la concentration volumique en HC à 2000 tr/mn au couple de 50 Nm du moteur 2 temps . La masse volumique HC est de  $576 \text{ g / m}^3$  et le débit de gaz d'échappement de  $101 \text{ m}^3 / \text{h}$  aux conditions de mesure

**B3)** Justifier la tendance de l'évolution du polluant CO indépendamment en 4 temps et 2 temps à 2000 tr/mn en fonction de la charge . Valider le cas échéant la mesure .

### **C ) Mise en place d'une technique de dépollution**

La dépollution envisagée doit se faire dans une première étape par la diminution des émissions de NOx par recyclage d'une partie des gaz d'échappement (EGR) .  
Vous devez étudier la mise en oeuvre de cette technique sur le moteur 2 temps pour la plage de 1000 à 3500 tr/mn et une charge allant jusqu'à 60 % de la pleine charge .

**C1)** Avec l'aide de schémas , étudier du point de vue efficacité les deux solutions suivantes pour introduire le gaz d'échappement dans le cylindre moteur :

- soit à l'admission après le papillon des gaz
- soit dans le réservoir d'air à proximité du venturi

Faire ressortir de votre étude pour chaque solution , les particularités de la vanne EGR et de sa commande , afin d'établir son cahier des charges qualitatif en ce qui concerne :

- la section de passage
- la différence de pression amont-aval
- le temps d'ouverture et de son phasage éventuel

nota : la clarté de l'analyse et la présentation de votre réponse seront particulièrement appréciées .

**C2)** Afin de connaître la pression en amont de la vanne EGR , déterminer le capteur de pression à utiliser pour mesurer la pression échappement à la sortie du moteur (dans les 200 mm après la lumière d'échappement) .  
Utiliser la documentation ci-jointe pour faire votre choix en le justifiant d'après la fréquence et la valeur de la grandeur physique ainsi que de la température environnante.

Préciser les contraintes d'installation et d'utilisation du capteur pour faire une mesure exacte de cette pression et pour sa sécurité (dessin souhaité) .

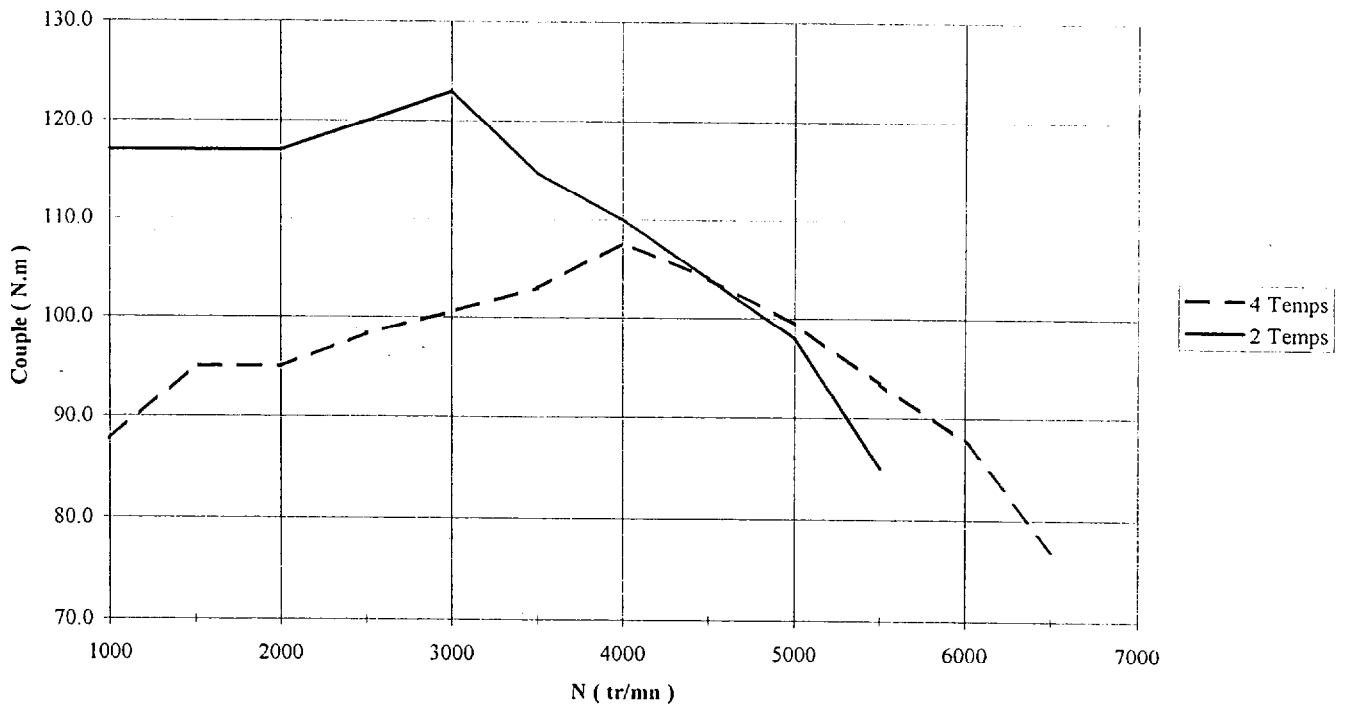
**C3)** Pour phaser la mesure de pression échappement par rapport au cycle , inventorier les solutions usuelles pour relever l'angle de rotation vilebrequin et repérer le point mort haut .

**C4)** Une vanne EGR vous est proposée sur le document page 13 pour un recyclage à l'admission . Le moteur tourne à 3000 tr/mn en charge partielle .

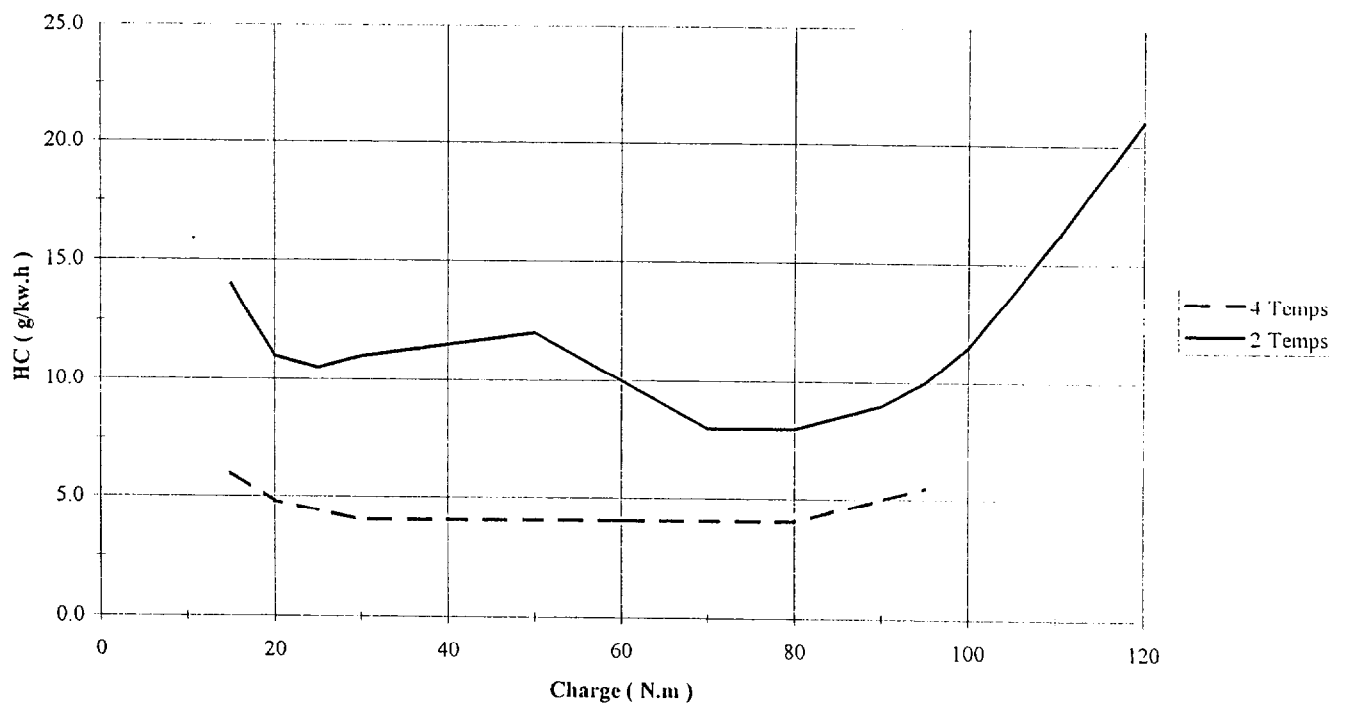
Déterminer le temps d'excitation de la commande de la vanne , du type RCO cadencée à 100 hz pour satisfaire les conditions :

- le débit de gaz d'échappement à recycler est de 26 kg/h .
- la différence de pression entre la tubulure d'échappement et le collecteur d'admission est de 300 hPa .

Couple = f ( N )



HC = f ( Charge ) à 2000 tr/mn



## Mesure de la consommation du moteur 2 temps au banc

Tableau récapitulatif :

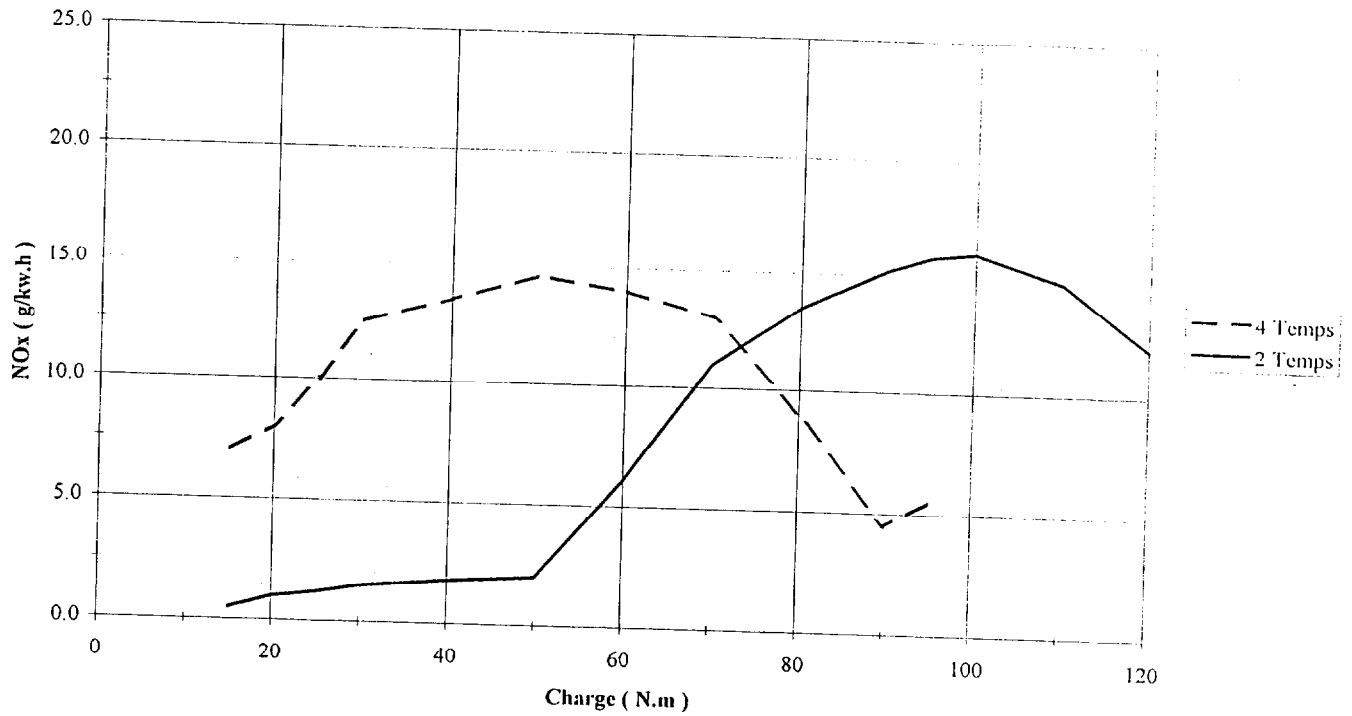
Régime tr/mn	Couple (Nm)	Masse (g)	Temps (s)
1500	121	100	55,8
2000	124	100	44,7
2500	118	100	37,5
3000	127	200	57,1
3500	117	200	54,9
4000	109	200	51,3
4500	106	200	47,2
5000	99	200	44,7
5500	85	200	46,6

remarque : "Masse" est la masse consommée  
"Temps" est le temps de consommation

Précision des appareils de mesure :

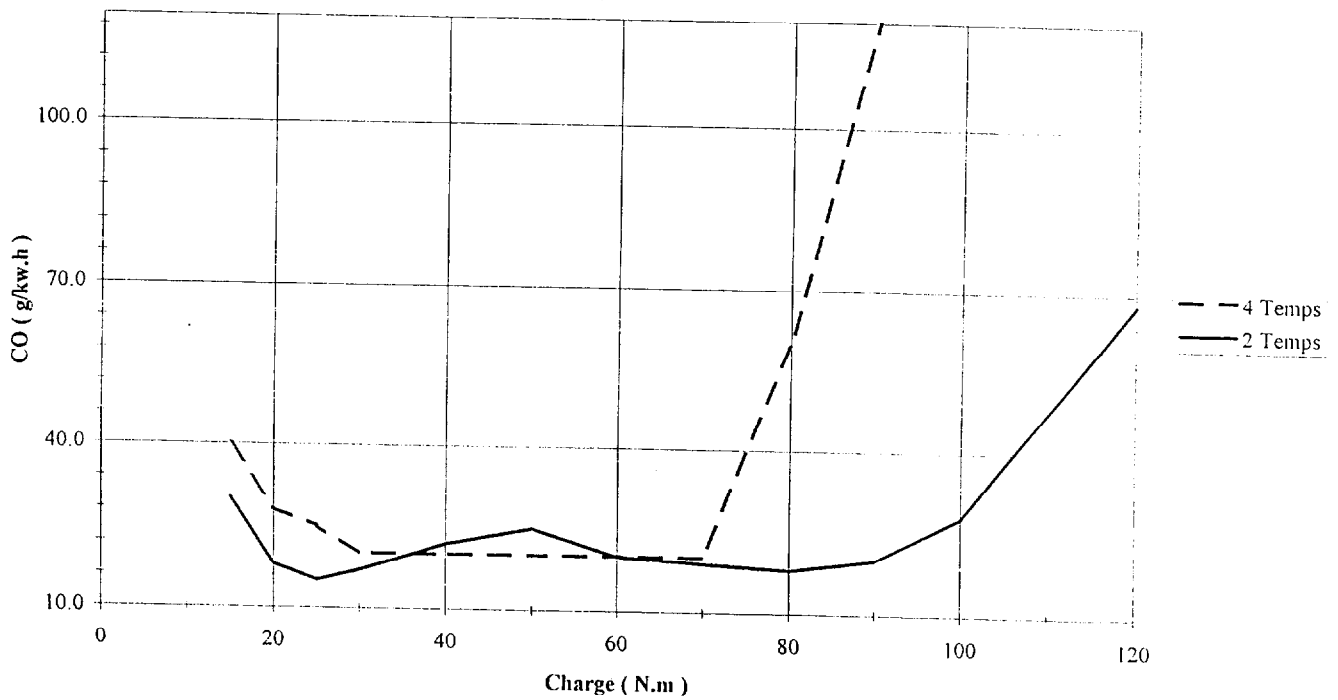
Fréquence de rotation	+ / - 1 tr.
Couple moteur	+ / - 1,5 %
Temps de consommation	+ / - 0,5 s
Masse consommée	+ / - 1 g

$\text{NO}_x = f(\text{Charge})$



à 2000 tr/mn

$\text{CO} = f(\text{Charge})$







## CAPTEURS PIEZO-RESISTIFS DE PRESSION ABSOLUE PIEZORESISTIVE ABSOLUTE PRESSURE TRANSDUCERS

Les capteurs de pression piézo-résistifs mesurent des pressions absolues statiques et dynamiques. Ils se caractérisent par une tension de sortie élevée, une bonne linéarité et stabilité, ainsi qu'un encombrement réduit. Grâce à leur fréquence propre élevée, ils permettent aussi la mesure de pointes de pression de très courtes durées, par exemple dans des soupapes hydrauliques rapides.

### DESCRIPTION

Par l'intermédiaire d'une fine membrane en acier soudée de façon absolument étanche au boîtier du capteur, la pression agit sur une cellule de mesure en silicium. Cette cellule de mesure comporte des résistances piézo-résistives diffusées, reliées entre elles en pont de mesure Wheatstone. Lors de l'apparition d'une pression, le pont de mesure est déséquilibré et donne un signal de sortie qui atteint 500 mV pour la gamme totale. Les effets thermiques sont compensés dans une large mesure par des résistances intégrées au circuit.

Pour en faciliter le montage, le capteur est muni d'un filetage, et d'un connecteur à 4 broches, équipé d'un joint torique pour en assurer l'étanchéité.

### APPLICATION

Les capteurs de la série du type 4073A... sont mis en oeuvre dans la plage des températures ambiantes usuelles de  $-20 \dots 50^\circ\text{C}$ , alors que ceux de la série du type 4075A..., qui sont essentiellement utilisés pour les mesures de pression dans la technique des procédés, sont compensés pour des températures de  $20 \dots 120^\circ\text{C}$ . Ces capteurs mesurent la pression absolue, c'est-à-dire que la référence est le vide absolu et non la pression atmosphérique ambiante du moment. Les variations de la pression barométrique (environ  $\pm 30$  mbar) sont donc incluses dans la mesure et doivent être prises en considération dans les gammes de pression jusqu'à 10 bar.

Les mesures de pression par rapport à la pression atmosphérique, comme dans le cas de mesures du niveau de remplissage, s'effectueront au moyen de capteurs de pression relative. Dans les gammes de pressions supérieures à 10 bar, les variations de la pression atmosphérique pourront être négligées. Les capteurs correspondant à ces gammes peuvent donc être utilisés aussi bien pour les mesures absolues que pour les mesures relatives.

### COURANT D'ETALONNAGE

Le pont de mesure du capteur est alimenté par un courant constant dont l'intensité est déterminée en usine lors de l'étalonnage. Le courant d'étalonnage, qui est fourni par une source de courant logée dans l'amplificateur de mesure correspondant, est le courant pour lequel le capteur engendre un signal gamme totale de 500 mV. Le réglage du courant d'étalonnage s'effectue pour l'amplificateur type 4601 à l'aide d'un potentiomètre au panneau frontal et pour l'amplificateur type 4651 sur carte Europe à l'aide d'une fiche normalisante type 4951A0 accordée au capteur utilisé.

### MONTAGE

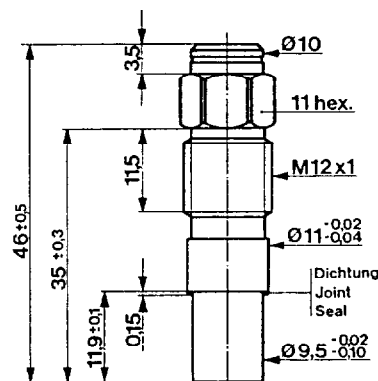
Le capteur peut être vissé directement dans un taraudage prévu à cet effet dans l'objet soumis à mesure. Il y a toutefois lieu de tenir compte du couple de serrage indiqué au tableau des données techniques.



1 : 1

### DONNEES TECHNIQUES

Type	Type	4073/75...	A10	A20
Gamme	Range	bar abs	0 ... 10	0 ... 20
Surcharge	Overload	bar abs	25	50
Pression d'éclatement	Burst pressure	bar abs	25	50
Seuil de réponse	Threshold	mbar	<5	<10
Sensibilité	Sensitivity	mV/bar	50	25
Fréquence propre	Natural frequency	kHz	>45	>70



Signal gamme totale (FSO)	mV	500 $\pm 0,5$ -2,0
Alimentation en courant constant	mA	<10 (max. 28 V)
Courant d'étalonnage	mA	2 ... 5
Impédance d'entrée/de sortie	k $\Omega$	3 (nominal)
Zéro	mV	$\pm 20$
Linéarité	%FSO	< $\pm 0,3$
Hystérésis	%FSO	<0,1
Réproductibilité	%FSO	<0,1
Stabilité: de la sensibilité du zéro	%/a	<0,2
Décalage thermique du zéro	%FSO	<0,1/d, <0,5/a
Décalage thermique de la sensibilité	%	< $\pm 1$
Gamme de température d'utilisation	$^\circ\text{C}$	$-20 \dots 50$
Types 4073...	$^\circ\text{C}$	$20 \dots 120$
Types 4075...	$^\circ\text{C}$	
Température minimale/maximale	$^\circ\text{C}$	$-40 / 70$
Types 4073...	$^\circ\text{C}$	$0 / 140$
Types 4075...	$^\circ\text{C}$	
Couple de serrage	Nm	12 ... 20
Erreur d'accélération	bar/g	< $3 \cdot 10^{-4}$
Résistance au choc	g	1000
Résorption	mm <sup>3</sup>	<0,2
Résistance d'isolement	M $\Omega$	>100
Poids	g	18
Matériau: Tête et membrane		18/3 steel No. 1.4301 (AISI 304)
Corps avec filet		Armco 17-4 PH
Prise pour fiche		Fischer Type S 103A053
Terminologie d'après		ISA-Standard S 37.1/1969

# CAPTEUR DE PRESSION A QUARTZ POUR FREQUENCES ELEVEES QUARTZ PRESSURE TRANSDUCER FOR HIGH FREQUENCIES



2:1

Par l'intermédiaire de la membrane, la pression agit sur l'élément de mesure à quartz, qui transforme la pression  $p$  (at) en charge électrique  $Q$  ( $pC$  = pico-Coulombs). La membrane parfaitement plane en acier inoxydable est soudée hermétiquement, au ras du front, au boîtier en acier inoxydable. Le connecteur avec isolement en céramique est également hermétiquement soudé. Il en résulte un capteur étanche. Les éléments en quartz sont combinés avec une masse sismique de telle façon qu'une compensation de la sensibilité à l'accélération est obtenue. La situation des surfaces de serrage réduit au minimum l'effet des forces au montage.

## APPLICATION

Le capteur 603 B se prête tout particulièrement pour la mesure de variations de pression de fréquence élevée ou de court temps de montée et dans des objets vibrants.

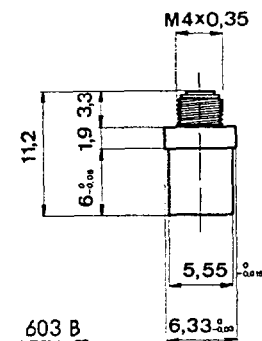
Applications typiques: Mesure des pressions dans les tubes de choc, analyse de bruits de combustion dans la chambre de combustion de moteurs, mesure des conditions de propagation d'ondes d'explosion.

## MONTAGE

Normalement le capteur est monté dans l'objet de la mesure directement à l'aide d'un écrou-connecteur ou par l'intermédiaire d'un adaptateur de montage. Si on mesure des pressions basses dans des objets vibrants à fréquence élevée et à forte amplitude, la compensation d'accélération incorporée n'est pas toujours suffisante. Pour isoler le capteur contre les accélérations haute fréquence (par exemple dans les tubes de choc), on utilise des adaptateurs de montage spéciaux en plastique. Pour éviter la dérive due à la température pendant la mesure de basses pressions dans les gaz chauds, on applique une couche de caoutchouc aux silicones sur le diaphragme.

Le capteur 603 B peut être monté dans tous les adaptateurs prévus pour le capteur 601A, en utilisant un écrou-connecteur plus long.

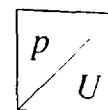
Le signal de charge fourni par le capteur ( $pC$  = pico-Coulomb) est amplifié et transformé en une tension de sortie proportionnelle dans l'amplificateur de charge Kistler. Le capteur 603 B fournit entre 0,25 mV/at et 5 V/at environ suivant le type d'amplificateur et la gamme choisie. La tension du câble de connexion dans des limites assez larges.



gamme max. de mesure	at*	0 - 200
gammes part. étalonnées: 10% 5%	at*	0 - 20
	at*	0 - 10
résolution	at*	0,005
pression maximale	at*	350
sensibilité	pC/at	5
fréquence propre	kHz	> 400
temps de montée	µs	1
linéarité (déviat. max. pour chaque gamme étalonnée)	±%	1
résistance d'isolement	Ω	> 10 <sup>13</sup>
capacité	pF	10
sensibilité d'accélération	at/g	< 10 <sup>-4</sup>
coefficient de température	%/°C	-0,02
température d'utilisation	°C	-190 + 260
accélération admissible	g	10'000
poids	gr**	1,7

# Capteurs piézorésistifs de pression absolue

Mesure de pressions de gaz de 3 bar max.



- Élément sensible à semi-conducteur présentant une caractéristique de mesure linéaire.
- Construction très robuste.
- Compensation de la température.

## Application

Ces capteurs de pression absolue sont destinés à une utilisation dans des conditions environnementales extrêmes.

## Construction et fonctionnement

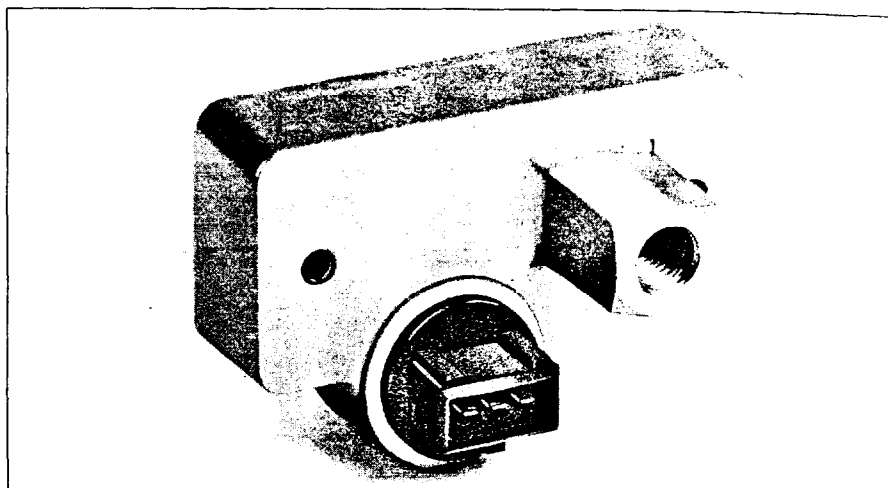
Le composant principal du capteur de pression est une membrane au silicium à résistances piézorésistives, reliées par un montage en pont. Les résistances varient de façon linéaire en fonction de la pression pneumatique absolue qui leur est appliquée. La variation de résistance est détectée par un circuit électronique qui assure une compensation de température, outre l'amplification des signaux. Le capteur délivre en signal de sortie une tension proportionnelle à la tension d'alimentation. Les deux composants, l'élément sensible et la partie électronique, sont logés dans un boîtier en aluminium très robuste.

## Courbes caractéristiques

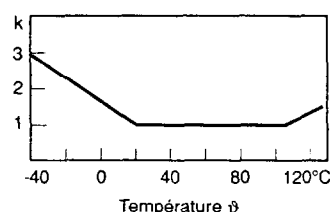
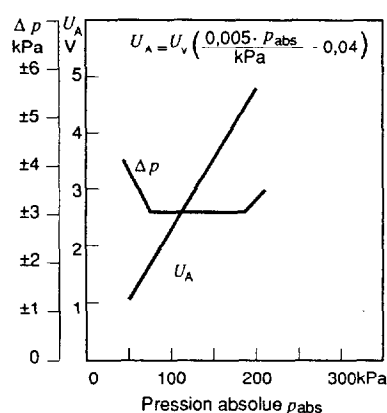
Il existe un rapport linéaire entre la pression absolue  $p_{abs}$  et la tension de sortie  $U_A$ . En dehors de la plage de température de 20 ... 110 °C, la précision de mesure  $\Delta p$  doit être corrigée avec le multiplicateur de tolérance  $k$ .

## Explication des paramètres:

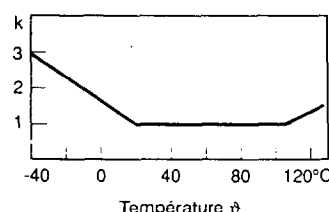
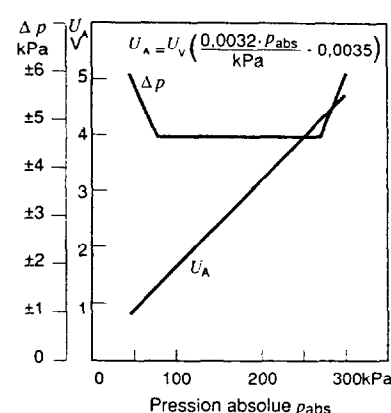
$U_A$  tension de sortie  
 $U_V$  tension d'alimentation  
 $p_{abs}$  pression absolue  
 $\Delta p$  précision, en fonction de la pression  
 $k$  multiplicateur de tolérance  
 $\vartheta$  température



Courbes caractéristiques 1 ( $U_V = 5 \text{ V}$ ).

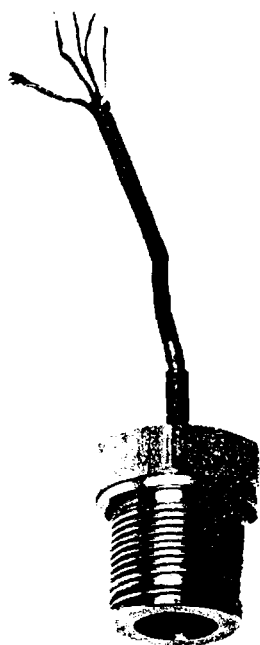


Courbes caractéristiques 2 ( $U_V = 5 \text{ V}$ ).



## Caractéristiques techniques / offre

Plage de mesure de pression absolue		Pression maximale admissible (25 °C)	Plage de température de service	Accélération vibratoire	Impédance de sortie	Courant de sortie	Tension d'alimentation	Courant d'alimentation	Courbes caractéristiques	Référence
$p_{abs}$ kPa	$p_{abs}$ bar	$p_{max}$ kPa	$\Delta\vartheta$ °C	$a_{max}$ m·s <sup>-2</sup>	$R_A$ kΩ	$I_A$ mA	$U_V$ V	$I_V$ mA		
50 ... 200	0,5 ... 2	300	-40 ... +120	100	50	0,1	4,75 ... 5,25	10	1	
50 ... 300	0,5 ... 3	400	-40 ... +120	100	50	0,1	4,75 ... 5,25	10	2	



BM

Grandeur nature  
Actual size

# CAPTEUR DE PRESSION PRESSURE TRANSDUCER

**BM**

**Economique**  
**Pression relative**  
**Jauges métalliques collées**  
**Construction tout inox**

## DESCRIPTION

Le capteur du type BM est de construction entièrement soudée en acier inoxydable, ce qui lui confère une haute fiabilité et une bonne tenue à la corrosion.

La combinaison des jauges métalliques collées à une membrane affleurante élimine les phénomènes de friction et assure un grand nombre de cycles de fonctionnement, une bonne réponse aux fréquences élevées et une résolution infinie.

Chaque capteur, après vérification de toutes ses caractéristiques, est livré accompagné de sa fiche technique individuelle.

## APPLICATIONS

Emploi général :

- domaine des pressions moyennes,
- systèmes hydrauliques et oléo-pneumatiques,
- contrôle continu et surveillance,
- applications industrielles.

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

**Economique**  
**Pression relative**  
**Jauges métalliques collées**  
**Construction tout inox**

### ENTRÉE

Etendue de mesure : EM  
approx.

Alimentation maximale  
Résistance  
Isolement

### SORTIE

Signal de sortie pour EM  
Décalage initial du zéro  
Résistance

### TRANSFERT

Non-linéarité et hystérésis combinées  
Reproductibilité  
Dérive thermique du zéro  
Variation thermique du signal de sortie

### ENVIRONNEMENT

Fluides compatibles  
Charge maximale admissible

Températures max. d'emploi  
Plage de température compensée

### MÉCANIQUES

Matériau constitutif  
Raccordement mécanique  
Raccordement électrique  
Poids

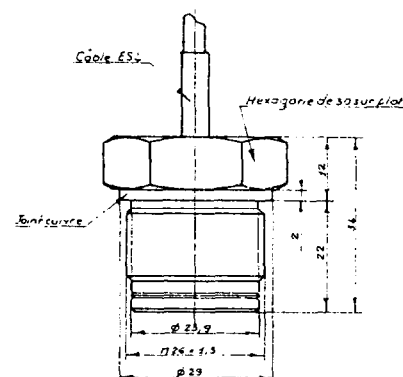
Bar 0-20 à 0-200  
psi 0-300 to 0-3000  
Volt  $\leq 6 \text{ V} = \text{ou}$   
Ohm 120  
MOhm  $> 10^3$

mV/V 2  
%  $\leq 5$   
Ohm 120

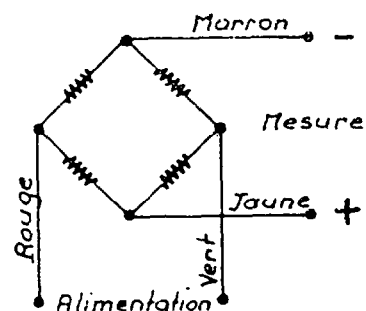
% 1  
% 0,2  
%/ °C  $\leq 0.05$   
%/ °C  $\leq 0.05$

**NOTE 1**  
% EM or 150  
RR - 30 + 100  
°C 0, + 60

**NOTE 2**  
FIG. 1  
FIG. 2  
g 75

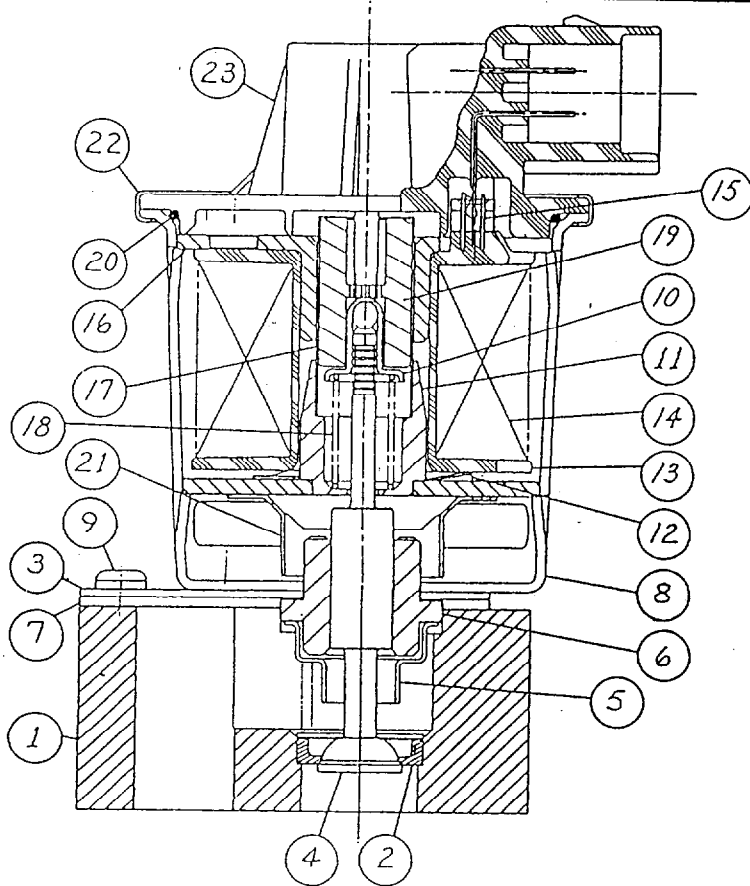


**Dimensions**  
(Toutes cotes en mm)  
(All dimensions in mm)



**Raccordement électrique**  
**Electrical connection**

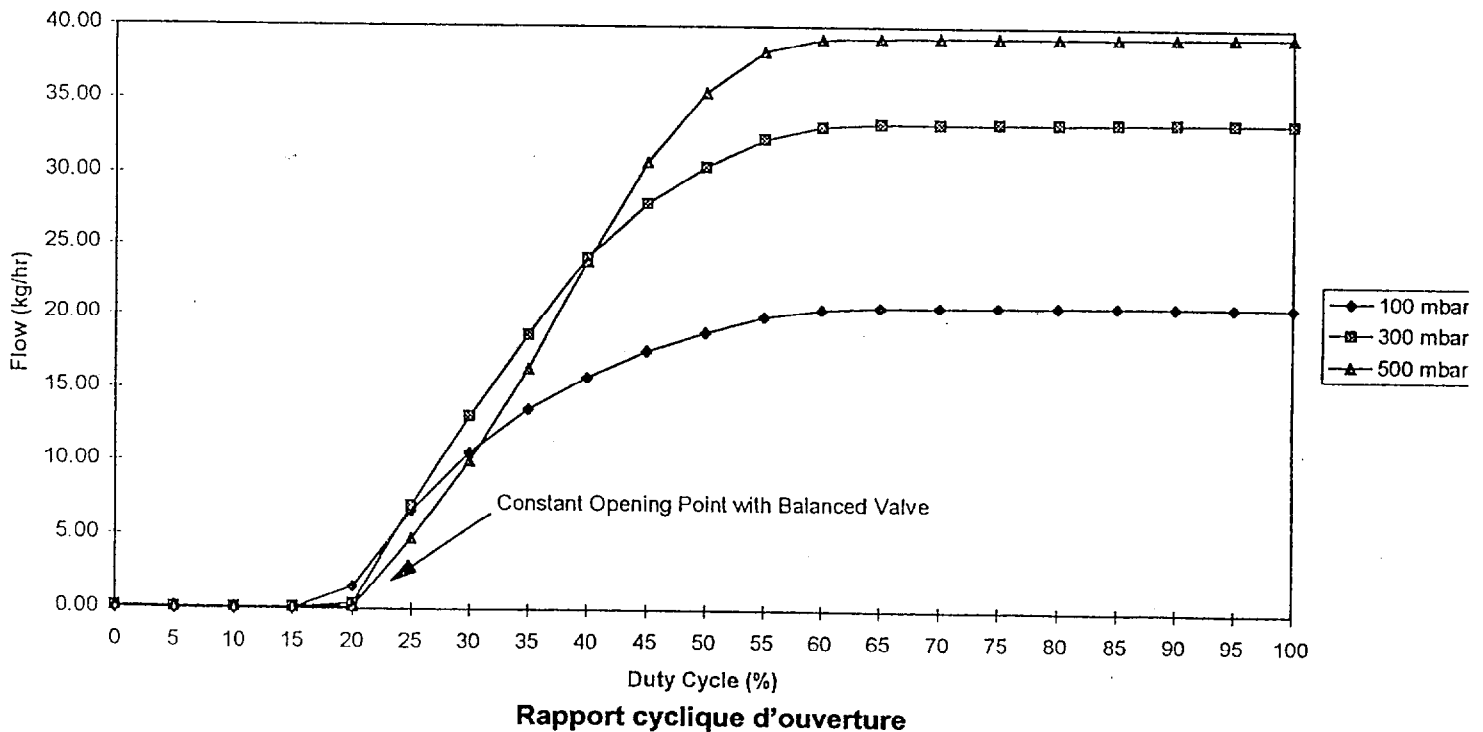
## MINI EEGR VALVE - PRODUCTION ASSEMBLY



No.	COMPONENT
1	Base
2	Valve Seat
3	Base Cover
4	Pin/Pintle
5	Pin Protector
6	Bearing
7	Gasket
8	Shell
9	Drive Screw
10	Spring Locator
11	Lower Stator
12	Spring Washer
13	Bobbin
14	Wire
15	Terminals
16	Upper Stator
17	Sleeve
18	Spring
19	Armature
20	O-ring
21	Guard
22	Clinch Ring
23	Sensor Cap Assembly

## MINI EEGR VALVE - TYPICAL FLOW CURVE (Various Source Vacuums)

Flow vs Duty Cycle



**Consommation spécifique et précision de mesure**

Indiquer les formules utilisées avec les unités :

$C_{se} = \dots\dots\dots$

$\Delta C_{se} / C_{se} = \dots\dots\dots$

Régime (tr.mln <sup>-1</sup> )	Cse (g.kW <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	$\Delta C_{se}$ (%)
2000	308	
2500	351	
3500	305	
4000	309	
4500	307	
5000	316	
5500	320	
