



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.**

Campagne 2012

Examen : BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR	SESSION 2012
Spécialité : APRES-VENTE AUTOMOBILE	Code : AVE4SCP
Épreuve : E4 ANALYSE DES SYSTEMES ET CONTROLE DES PERFORMANCES	Durée : 6h Coef : 4

BTS AVA

ANALYSE DES SYSTEMES ET CONTROLE DES PERFORMANCES

TURBOCOMPRESSEUR A GEOMETRIE VARIABLE

Composition du sujet :

Dossier ressource pages A1/15 à A15/15

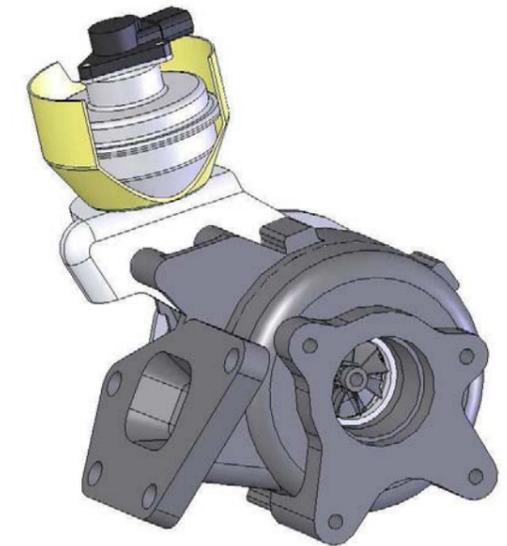
Dossier questions pages B1/10 à B10/10

Dossier réponses pages C1/6 à C6/6

Il est recommandé de lire rapidement la totalité du dossier ressource.

Les différentes parties du sujet sont indépendantes, mais il est préférable de suivre la progression proposée pour bien répondre à la problématique posée.

Le dossier réponses est à compléter et à joindre aux feuilles de copie.



Barème / 200

Parties 1, 2 et 3 – Organisation des composants, démarche de diagnostic, étude du circuit d'air et du schéma électrique

Question	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	3.1	3.2
Points	5	4	5	5	5	6	5	5

Partie 4 – Étude thermodynamique du circuit de suralimentation

Question	4.1.1	4.1.2	4.2.1	4.2.2	4.2.3	4.2.4	4.3.1	4.3.2	4.4.1	4.4.2
Points	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4

Question	4.5.1	4.5.2	4.5.3	4.5.4
Points	4	4	3	3

Partie 5 – Étude de l'écoulement dans la turbine

Question	5.1.1	5.1.2	5.1.3	5.2.1	5.2.2	5.2.3	5.3	5.4.1	5.4.2	5.4.3	5.4.4
Points	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4

Partie 6 – Étude mécanique de la commande de régulation du turbocompresseur

Question	6.1.1	6.1.2	6.2.1	6.2.2	6.2.3	6.2.4	6.3.1	6.3.2	6.3.3	6.3.4
Points	3	3	3	2	2	2	4	4	4	3

Parties 7 et 8 – Analyse du capteur de recopie, contrôles et remise en conformité

Question	7.1	7.2	8.1.1	8.1.2	8.1.3	8.2
Points	6	6	6	8	6	8

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISE

DOSSIER QUESTIONS

Problématique

Un constructeur constate qu'un nombre significatif de véhicules diesel équipés d'un turbocompresseur à géométrie variable revient en concession suite à des problèmes de dysfonctionnement moteur.

Par une étude technique et scientifique, on cherche à déterminer la cause probable de ce dysfonctionnement.

Analyse du dysfonctionnement

Informations communiquées par le client :

- lors de la montée en régime, le moteur tourne irrégulièrement, la montée en régime n'est pas progressive
- le moteur manque de puissance et ne réagit pas instantanément après une action rapide sur la pédale d'accélérateur
- toutefois, à pleine charge et une fois lancé, le moteur délivre une puissance normale
- le client n'a pas constaté la présence anormale de fumées à l'échappement.

Observations et tests réalisés par le réceptionnaire :

- **poste de conduite** : aucun bruit de fonctionnement anormal, le témoin « défaut mineur du calculateur moteur » est allumé au tableau de bord
- le système d'assistance au freinage fonctionne
- le carnet de bord indique un entretien régulier du véhicule
- **compartiment moteur** : les connexions sont conformes, tous les raccords pneumatiques sont en bon état
- l'appareil de diagnostic indique que le calculateur moteur a enregistré une incohérence de mesures au niveau de la régulation de pression de suralimentation.

1 - Organisation structurelle et fonctionnelle des composants.

Etude du schéma du circuit d'air (documents ressource A2/15 et A3/15)

- 1.1 *Sur le schéma fourni document réponse C1/6, en supposant que la vanne EGR (4) est fermée, coloriez :*
 - le circuit d'admission en bleu
 - le circuit d'échappement en rouge.
- 1.2 *Un dysfonctionnement de la vanne EGR peut-il être à l'origine des symptômes ressentis par le client ? Justifiez votre réponse.
Si cet élément était défectueux, quels seraient les symptômes observables sur le véhicule ?*

Etude du schéma électrique (documents ressource A8/15 à A10/15)

- 1.3 Sur le schéma électrique du document réponse C2/6, repérez en les encerclant les capteurs et pré-actionneurs suivants relatifs à la régulation de pression du circuit d'air du moteur :
- capteur de recopie de position de turbo
 - électrovanne de régulation de pression de suralimentation
 - capteur de pression d'air de suralimentation.
- 1.4 Repassez en rouge les liaisons électriques entre le calculateur et ces trois éléments.
- 1.5 Complétez les colonnes du tableau page C3/6.

2 - Démarche de diagnostic

Un essai routier avec l'appareil de diagnostic embarqué a permis de mettre hors de cause le capteur de pression de suralimentation.

A partir de l'analyse des ressentis client et réceptionnaire et de l'analyse structurelle qui vient d'être faite, on oriente la démarche de diagnostic sur les éléments suivants :

- échangeur air/air
 - mécanisme de variation de la géométrie du stator de turbine
 - poumon de commande de variation et son capteur de recopie de position.
- 2.1 Complétez le tableau du document réponse C3/6 en remplissant les colonnes :
- liste des causes possibles de dysfonctionnements sur l'élément considéré
 - contrôles visuels ou signaux et / ou grandeurs physiques à vérifier.

3 – Etude du circuit de commande par dépression**Schéma pneumatique de la commande de variation de géométrie du turbocompresseur**

- 3.1 Complétez le schéma pneumatique du système de commande de régulation de la pression de suralimentation du document réponse C4/6 en ajoutant les différents raccordements et conduites pneumatiques.

Le constructeur indique une pression nominale absolue de commande de 0,3 bar (dépression de - 0,7 bar) moteur au ralenti.

- 3.2 Proposez dans le cadre du document réponse C4/6 une procédure permettant de vérifier que la dépression arrive bien à l'électrovanne (7) puis au poumon (9).

4 - Etude thermodynamique du circuit de suralimentation en air

L'étude thermodynamique du moteur diesel turbocompressé a pour objectif de montrer l'influence de l'échangeur air / air dans les symptômes décrits par le client, ainsi que de déterminer les paramètres d'état des gaz d'échappement dans le but de valider le fonctionnement du dispositif de géométrie variable du stator de turbine.

Durant toute cette étude, l'air sera considéré comme un gaz parfait, et on négligera la modification de ses caractéristiques liée à l'injection de carburant et à la combustion de celui-ci.

Données techniques et thermodynamiques

Type de moteur	DW10BTED4
Nombre de cylindres	$n = 4$
Cylindrée totale	1997 cm ³
Alésage x course	85 x 88 (mm)
Rapport volumétrique	$\varepsilon = 17,6 / 1$
Pression de suralimentation maximale absolue	$p_{adm} = 2,3 \text{ bar}$
Puissance maximale	100 kW / 136 ch à 4000 tr/min
Constantes de l'air, considéré comme un gaz parfait :	$r_{air} = 287,1 \text{ J.kg}^{-1} . \text{K}^{-1}$ $\gamma = 1,4$

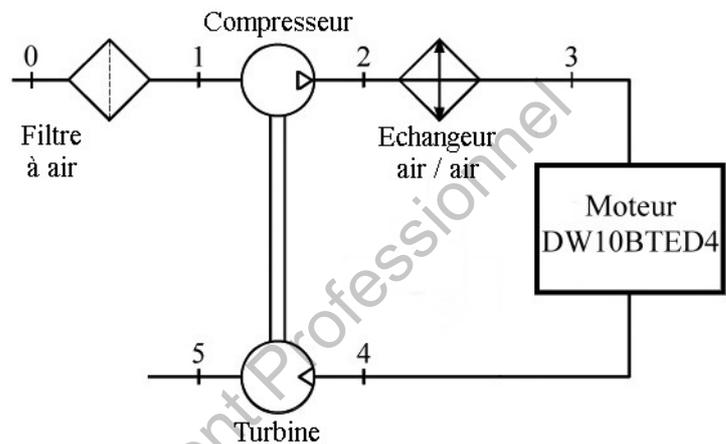


Schéma pneumatique du circuit de suralimentation en air

Travail préliminaire

4.1.1 Calculez les capacités thermiques massiques c_v et c_p de l'air.

4.1.2 Calculez la cylindrée unitaire (notée V_u) et les volumes aux points morts haut et bas, notés V_{PMH} et V_{PMB} .

Détermination des paramètres d'état de l'air en sortie du compresseur

En aval du filtre à air, les paramètres d'admission sont : $T_1 = 288 \text{ K}$, $p_1 = 0,9 \text{ bar}$.

4.2.1 Déterminez la masse volumique ρ_1 de l'air à l'entrée du compresseur.

Le constructeur indique une pression maximale absolue en sortie de compresseur de 2,3 bar. La compression de l'air est considérée comme isentropique. On rappelle que pour une transformation

isentropique, on a la relation
$$\frac{T_{2is}}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$
.

4.2.2 Déterminez la température théorique de l'air T_{2is} en sortie du compresseur.

Dans les conditions de fonctionnement du turbocompresseur, le rendement isentropique de compression a pour valeur $\eta_{is_comp} = 0,7$. On rappelle que
$$\eta_{is_comp} = \frac{T_{2is} - T_1}{T_{2r} - T_1}$$

4.2.3 Déterminez la température réelle T_{2r} de l'air en sortie du compresseur.

On donne à titre de vérification $T_{2r} = 414,5 \text{ K}$.

4.2.4 Calculez la masse volumique ρ_2 de l'air en sortie du compresseur.

Etude de l'échangeur air / air

On fait l'hypothèse que la température de l'air au passage de l'échangeur chute de 60 K de manière isobare.

L'étude thermodynamique nous indique alors que la masse volumique de l'air en sortie de l'échangeur est $\rho_3 = 2,26 \text{ kg.m}^{-3}$.

En faisant l'hypothèse d'un rendement constant, on peut considérer que la puissance maximale du moteur est directement proportionnelle à la masse volumique de l'air admis dans les cylindres.

Si l'échangeur air / air était colmaté, la température de l'air ne diminuerait pas à son passage et on retrouverait au point 3 la même masse volumique qu'au point 2.

- 4.3.1 *Estimez alors quelle serait la puissance maximale du moteur dans ces conditions, ainsi que la variation de puissance en pourcentage.*
- 4.3.2 *Cette baisse de puissance vous paraît-elle cohérente avec les symptômes évoqués par le client ? Que concluez-vous quant à l'hypothèse d'un échangeur colmaté ?*

Détermination du débit masse d'air traversant le moteur

Suite à l'étude précédente, on considère que l'échangeur air / air n'est pas en cause.

La masse volumique de l'air à l'entrée des cylindres est $\rho_3 = 2,26 \text{ kg.m}^{-3}$.

On fait l'hypothèse qu'en raison de la suralimentation et de l'épure de distribution, chaque cylindre admet à chaque cycle une quantité d'air frais correspondant à son volume au point mort bas.

On donne $V_{\text{PMB}} = 529,33 \text{ cm}^3$.

- 4.4.1 *Calculez la masse d'air admise à chaque cycle pour l'ensemble du moteur.*
- 4.4.2 *Déduisez le débit masse d'air traversant le moteur à un régime de 3000 tr.min^{-1} .*

Etude énergétique du turbocompresseur

- 4.5.1 *En exploitant les résultats précédents, calculez le travail massique de transvasement $w_{\text{tr}12}$ fourni à l'air par le compresseur.*
- 4.5.2 *Calculer la puissance mécanique sur l'arbre du compresseur $P_{\text{mec_comp}}$.*

On suppose que le rendement mécanique du turbocompresseur est $\eta_m = 0,9$.

- 4.5.3 *Calculez la puissance mécanique prélevée sur la turbine $P_{\text{mec_turb}}$.*
- 4.5.4 *Calculer le travail massique de transvasement $w_{\text{tr}45}$ prélevé aux gaz d'échappement par la turbine (attention au signe !)*

Sachant que la présence du catalyseur et du filtre à particules entraîne une pression absolue en aval de la turbine estimée à $p_5 = 1,12 \text{ bar}$, une étude thermodynamique et énergétique de l'écoulement dans la turbine permet de calculer les valeurs suivantes :

$$p_4 = 3,375 \cdot 10^5 \text{ Pa} ; T_4 = 520,04 \text{ K} ; \rho_4 = 2,2598 \text{ kg.m}^{-3} ; T_5 = 379,49 \text{ K} ; \rho_5 = 1,0280 \text{ kg.m}^{-3}$$

Ces résultats vont permettre de déterminer dans la partie suivante les caractéristiques de l'écoulement au niveau de la turbine.

5 - Étude de l'écoulement dans la turbine

L'objectif de cette étude est de comprendre comment le dispositif de variation de géométrie du turbocompresseur permet d'en optimiser le fonctionnement, de contrôler la variation de pression d'admission et de réguler son régime de rotation.

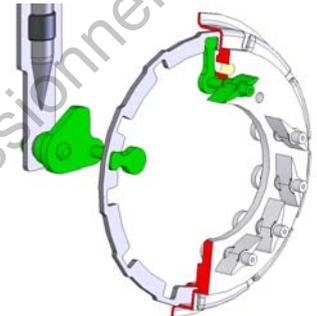
Présentation de la géométrie variable du stator de turbine



Aubes mobiles

Le stator de turbine comporte 11 aubes mobiles dont les axes de rotation sont répartis sur un diamètre de 59 mm.

Le déplacement angulaire de ces aubes est assuré depuis l'arrière du stator par un système à cames commandé par une capsule à dépression (poumon) montée sur le corps du turbocompresseur. L'étude de cette commande sera l'objet d'une autre partie du sujet.



Commande des aubes

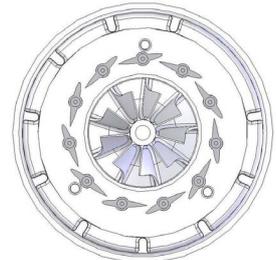
La variation angulaire de position des aubes de stator de turbine permet de modifier à la fois la section de passage des gaz, donc leur vitesse, et l'angle d'attaque de ceux-ci sur les aubes de la turbine.

Cette variation permet de contrôler le régime de rotation de la turbine, donc la pression de suralimentation délivrée par le compresseur.

Cette régulation permet de se dispenser d'un « waste gate » (clapet de décharge) présent sur les turbocompresseurs à géométrie fixe.



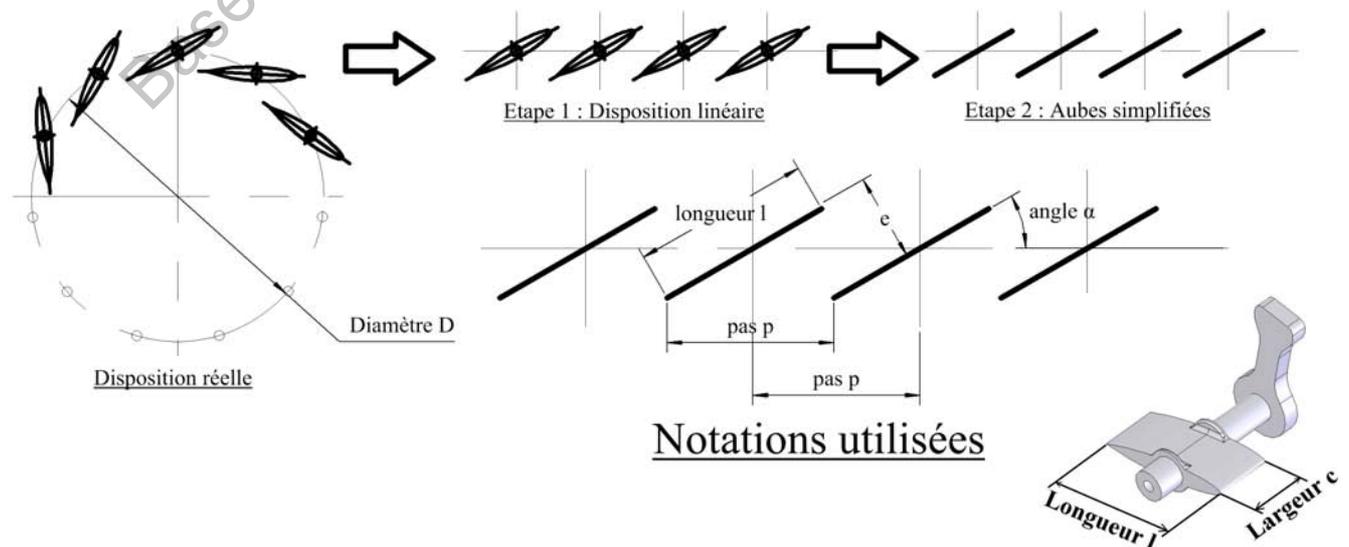
Aubes ouvertes



Aubes fermées

Modélisation de la variation de géométrie

Afin de pouvoir effectuer assez simplement quelques calculs permettant de mieux comprendre l'intérêt de la géométrie variable, il est nécessaire de modéliser la géométrie du stator de turbine.

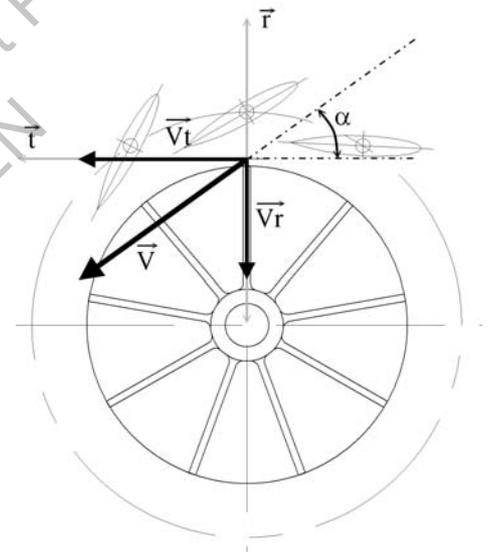


- 5.1.1 Sachant qu'il y a 11 aubes réparties sur un diamètre de 59 mm, déterminez le pas p entre deux aubes.
- 5.1.2 A l'aide d'une construction géométrique que vous indiquerez sur votre feuille de copie, exprimez l'espace e entre deux aubes en fonction de l'angle α et du pas entre les aubes.
- 5.1.3 La largeur (notée c) des aubes est de 7,3 mm.
Montrez que la section de passage offerte aux gaz d'échappement par l'ensemble des aubes est donnée par $S = 1,353 \cdot 10^{-3} \cdot \sin \alpha$ (S en m^2)

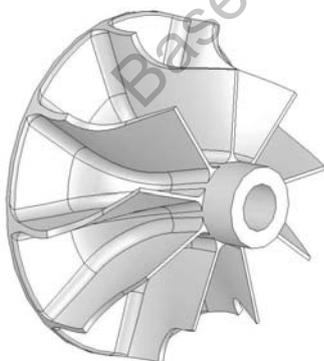
Etude de la vitesse des gaz en sortie de stator

On admettra que les paramètres d'état des gaz d'échappement, qu'on assimilera à de l'air considéré comme un gaz parfait, sont en entrée de stator de turbine $p_4 = 3,374$ bar, $T_4 = 520$ K et $\rho_4 = 2,26$ $kg \cdot m^{-3}$.
Au régime moteur étudié, on admettra que le débit masse d'air traversant le moteur et le turbocompresseur est $q_m = 0,120$ kg/s.

- 5.2.1 Calculez le débit volume q_v de l'air à l'entrée du stator de turbine.
- 5.2.2 Déterminez alors le module V de la vitesse des gaz en fonction de l'angle α des aubes de stator de turbine.
- 5.2.3 En admettant l'hypothèse que le flux des gaz d'échappement arrive sur la turbine avec un angle α identique à l'inclinaison des aubes de stator, calculez les composantes radiale V_r et tangentielle V_t de la vitesse des gaz en fonction de l'angle α .



Etude de la roue de turbine.



Vue complète de la roue de turbine

La roue de turbine du turbocompresseur est de type hélico-centrifuge.
Sur sa partie extérieure, qui reçoit le flux d'air venant du stator, les aubes peuvent être considérées comme radiales.
D'une manière simplifiée, on peut considérer que selon le côté des aubes sur lequel arrive le flux des gaz d'échappement, la turbine sera accélérée ou ralentie.



Vue coupée de la roue de turbine illustrant l'aspect radial des aubes.

- 5.3 Exprimez la vitesse tangentielle $V_{t_{turbine}}$ de l'extrémité des aubes de la roue de turbine en fonction de la vitesse de rotation $\omega_{turbine}$ de la roue et du rayon extérieur de celle-ci, notée R .

La comparaison de cette vitesse $V_{t_{turbine}}$ avec la vitesse tangentielle V_t des gaz d'échappement en sortie de stator va permettre de comprendre comment la variation d'angle des aubes de stator influe sur l'accélération ou le ralentissement de l'arbre du turbocompresseur, et donc sur son régime et sur la pression de suralimentation du moteur.

Si $V_t > V_{t_{turbine}}$, alors les gaz « poussent » la turbine et celle-ci accélère.

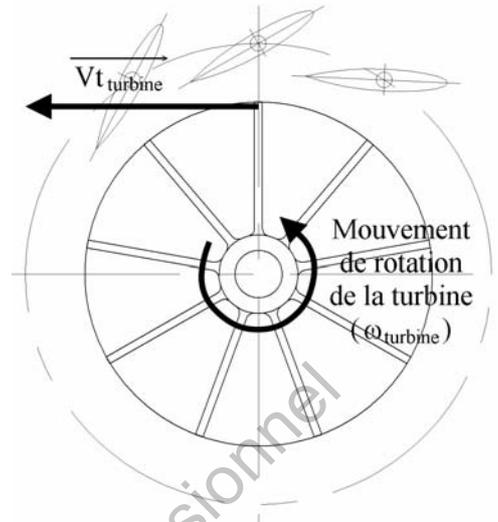
Si $V_t < V_{t_{turbine}}$, alors la turbine se freine sur les gaz d'échappement.

Etudes de cas

Le rayon extérieur de la roue de turbine est $R = 22 \text{ mm}$.

On admet que la turbine tourne à un régime $N_{turbine} = 100\,000 \text{ tr/min}$

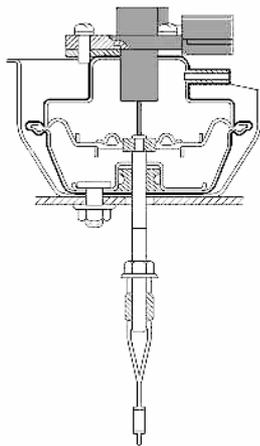
- 5.4.1 Calculez la vitesse de rotation de la turbine $\omega_{turbine}$ en rad/s.
- 5.4.2 Calculez l'angle α des aubes qui permet aux gaz d'échappement d'arriver à la même vitesse tangentielle que les aubes de la roue de turbine ($V_t = V_{t_{turbine}}$).
- 5.4.3 Si on veut ralentir la vitesse de rotation de l'arbre du turbocompresseur, faut-il augmenter ou diminuer l'angle α ? Justifier.
- 5.4.4 L'angle α peut varier de 4 à $31,5^\circ$. Dans les conditions d'échappement étudiées, déterminez les vitesses mini et maxi de rotation de la turbine (vitesses pour lesquelles $V_t = V_{t_{turbine}}$).



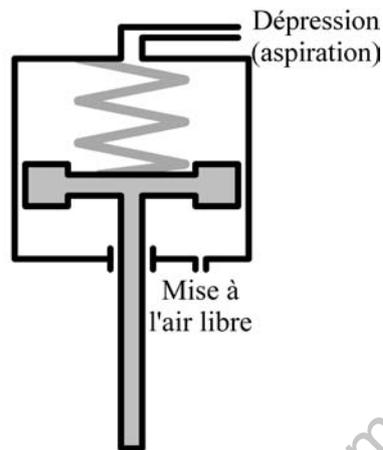
6 – Etude mécanique de la commande de régulation du turbocompresseur

La variation de géométrie du stator de la turbine du turbocompresseur est commandée par une capsule pneumatique à dépression.

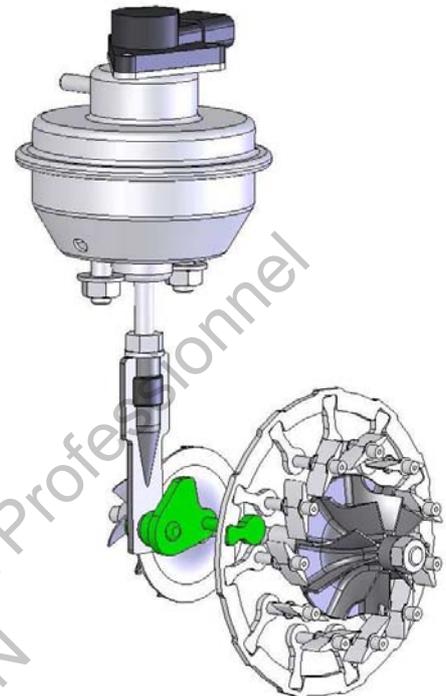
Cette capsule, aussi appelée « poumon » peut être modélisée par un vérin simple effet représenté ci-dessous.



Section du poumon



Modélisation par un vérin Simple effet



Vue d'ensemble du dispositif de commande des aubes

Des mesures et calculs ont permis d'estimer que ce vérin équivalent aurait comme caractéristiques :

- Alésage du vérin $D = 48 \text{ mm}$
- Raideur du ressort $k = 4,3 \text{ N.mm}^{-1}$
- Longueur à vide du ressort $l_0 = 35 \text{ mm}$
- Longueur au repos du ressort monté dans le poumon $l_1 = 30 \text{ mm}$
- Course utile du vérin (butée) $c = 22 \text{ mm}$

Le déplacement de la tige est commandé par la différence de pression appliquée entre la surface supérieure du piston (reliée au circuit de commande par dépression) et la surface inférieure soumise à la pression atmosphérique, que l'on admettra égale à $p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$.

On admettra dans toute cette étude que les différentes pressions s'appliquent sur l'intégralité de la surface S du piston.

Relation entre la dépression appliquée et le déplacement de la tige du poumon en l'absence d'effort sur la tige.

- 6.1.1 Calculez l'effort F_0 exercé au repos par le ressort sur la surface supérieure du piston.
- 6.1.2 Calculez la pression absolue p à appliquer dans le vérin pour que le piston décolle de son siège (la valeur calculée doit être inférieure à la pression atmosphérique).

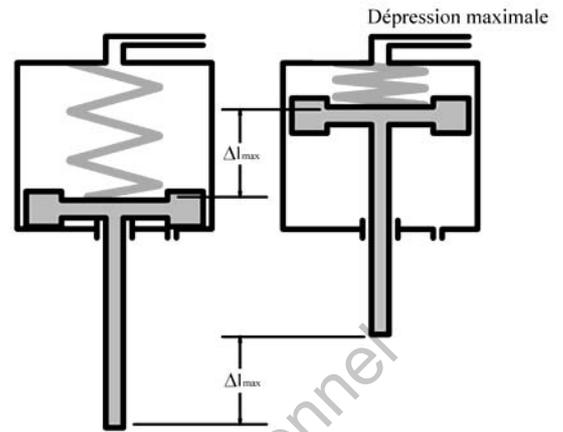
La dépression maximale (pression relative) créée par la pompe à vide du véhicule est $p_{rel_max} = -0,7$ bar (ou en pression absolue $p_{abs_max} = 0,3$ bar).

6.2.1 Calculez le déplacement Δl_{max} de la tige du vérin lorsque la dépression maximale est appliquée

6.2.2 Comparez cette valeur à la course utile du vérin. Que se passe-t-il lorsqu'on applique la dépression maximale ?

6.2.3 Relevez sur le document réponse C5/6 la valeur de dépression relative nécessaire pour amener le vérin en butée. Repérez ce point ① en rouge sur la courbe 1 de ce document réponse.

6.2.4 Relevez l'effort exercé par le ressort sur le piston quand le piston est en butée haute. Repérez ce point ② en rouge sur la courbe 2 du document réponse C5/6.



Etude de l'influence d'un effort résistant sur les caractéristiques du poumon.

En temps normal, la commande de mouvement des aubes n'entraîne que très peu d'efforts sur la tige du poumon.

Toutefois, en raison de la présence de particules dans les gaz d'échappement, le dispositif peut progressivement s'encrasser jusqu'au grippage.

La position de la tige du poumon étant évaluée par le potentiomètre de recopie présent sur sa face supérieure, le calculateur peut mesurer la différence entre la position demandée et celle réellement obtenue, et corriger ainsi la consigne.

Le constructeur prévoit que le calculateur passe en mode dégradé si l'écart entre la valeur attendue et la valeur mesurée dépasse + 30 % ou - 20 %.

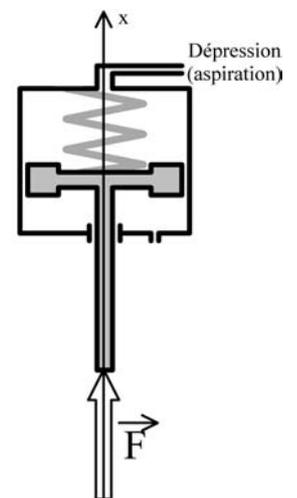


6.3.1 Le calculateur, via le signal RCO envoyé à l'électrovanne de régulation de pression de suralimentation, commande une dépression relative de - 0,4 bar. A l'aide des courbes du document réponse C5/6, déterminez la position de la tige du poumon et l'effort exercé par le ressort en l'absence de charge résistante. Repérez ce point ③ en rouge sur les deux courbes du document réponse C5/6.

6.3.2 Calculez les positions acceptées par le calculateur pour une tolérance de position de + 30 % et de - 20 %. Représentez ces deux points extrêmes ④ et ⑤ sur le document réponse C5/6.

6.3.3 A partir d'une étude statique analytique faisant intervenir l'effort résistant F , ou par interprétation des courbes fournies sur le document réponse C5/6, déterminez la valeur de l'effort résistant F (qui peut être >0 ou <0) dans les deux cas correspondant au décalage de position de + 30 % et - 20 %. Dans le cas d'une interprétation graphique, vous indiquerez votre démarche sur votre feuille de copie.

6.3.4 L'analyse de mécanismes très encrassés permet de mesurer un effort résistant typique de 8 N. D'après votre étude, ce type de grippage peut-il être à l'origine d'une mise en mode dégradé du calculateur ?



7 – Analyse fonctionnelle du capteur de recopie de position

Le document réponse C6/6 contient un actigramme A-0 d'analyse fonctionnelle du capteur de recopie.

- 7.1 *Sur ce document C6/6, complétez l'actigramme A-0 en indiquant la grandeur physique à mesurer, ainsi que la grandeur de sortie exploitable, en précisant les valeurs de référence (voir documents du dossier ressource : A12/15, A13/15 et A14/15).*
- 7.2 *En vous appuyant sur cette analyse fonctionnelle et sur la description des modes de régulation dans les documents du dossier ressource : A6/15 et A7/15, expliquez pourquoi la déficience de ce capteur est susceptible d'être à l'origine des symptômes de panne ressentis par le client et le réceptionnaire.*

8 – Contrôles et remise en conformité

Contrôles

Le technicien d'atelier décide de poursuivre ses investigations sur le véhicule au niveau du poumon de commande de variation de géométrie et de son capteur de recopie de position.

- Il contrôle la course de la tige de commande, et s'assure qu'il n'y a pas de point dur.
- Il souhaite également effectuer des contrôles électriques au niveau du capteur de recopie

- 8.1.1 *Sur le document réponse C6/6, raccordez électriquement les appareils de mesure au schéma du capteur de recopie.*
- 8.1.2 *Complétez le tableau concernant les procédures de mesure et les valeurs attendues, commentez les valeurs mesurées dans la colonne « conclusions ».*
- 8.1.3 *Les mesures de tension U_1 et U_2 sont elles suffisantes pour contrôler le capteur de recopie et le faisceau d'alimentation? Justifiez votre réponse sur votre feuille de copie.*

Remise en conformité

Le technicien décide de procéder à l'échange du poumon et de son capteur de recopie de position.

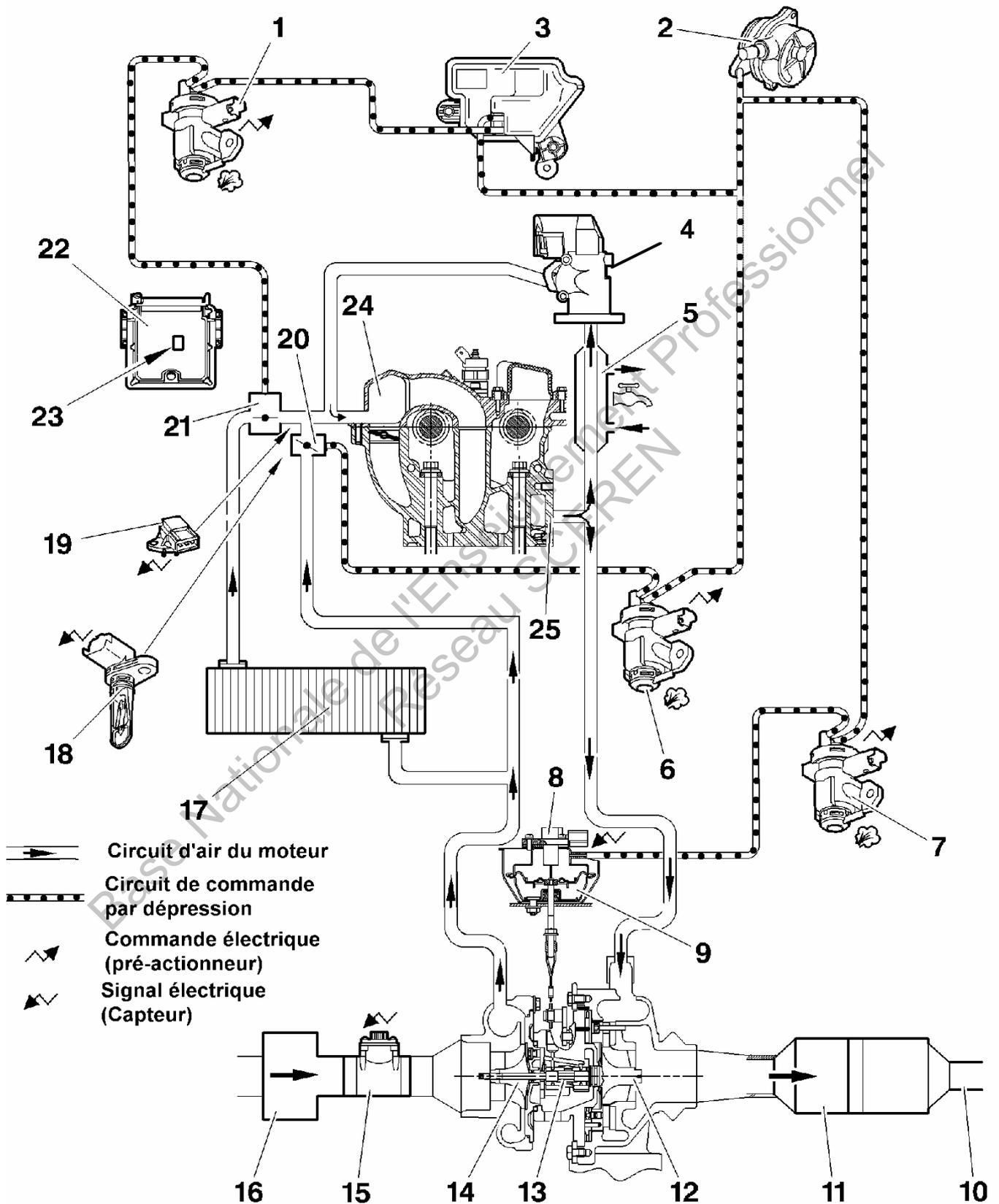
Il applique la procédure décrite dans les documents du dossier ressource : A11/15 à A15/15.

Lors de l'étape 3.1 décrite page A12/15 du dossier ressource, le technicien mesure une tension de 4,68 V. Cette valeur nécessite donc la mise en place de cales d'épaisseur.

- 8.2 *En appliquant la procédure décrite en partie 3.2 page A13/15 du dossier ressource, calculez l'épaisseur de cales à ajouter précisez les repères et nombre de cales à utiliser.*

DOSSIER REPONSES

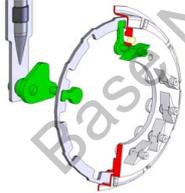
Question 1.1 – Etude du schéma du circuit d'air



Question 1.5 – Etude du circuit d’air et du schéma électrique

Eléments	Repère sur le circuit d’air	Repère sur le schéma électrique	N° de(s) voie(s) sur le calculateur
Capteur recopie de position turbo			
Électrovanne de régulation de pression de suralimentation			
Capteur de pression d’air de suralimentation			

Question 2.1 – Démarche de diagnostic

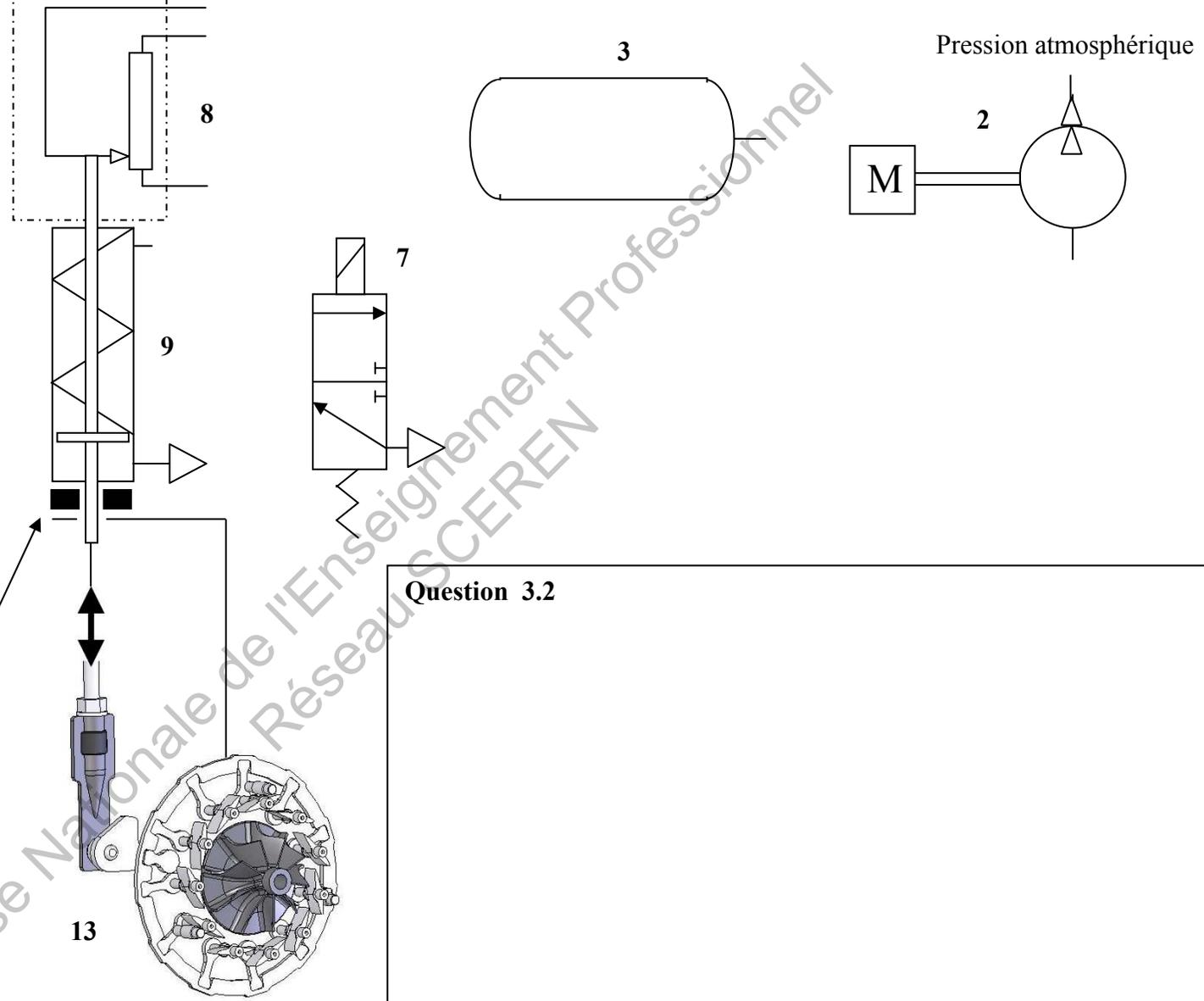
Eléments	Liste de causes possibles de dysfonctionnement	Contrôle(s) à effectuer.
<p>Echangeur air / air</p> 		
<p>Mécanisme de variation de géométrie</p> 		
<p>Poumon de commande de variation</p> 		

Question 3.1 – Schéma pneumatique

LEGENDE

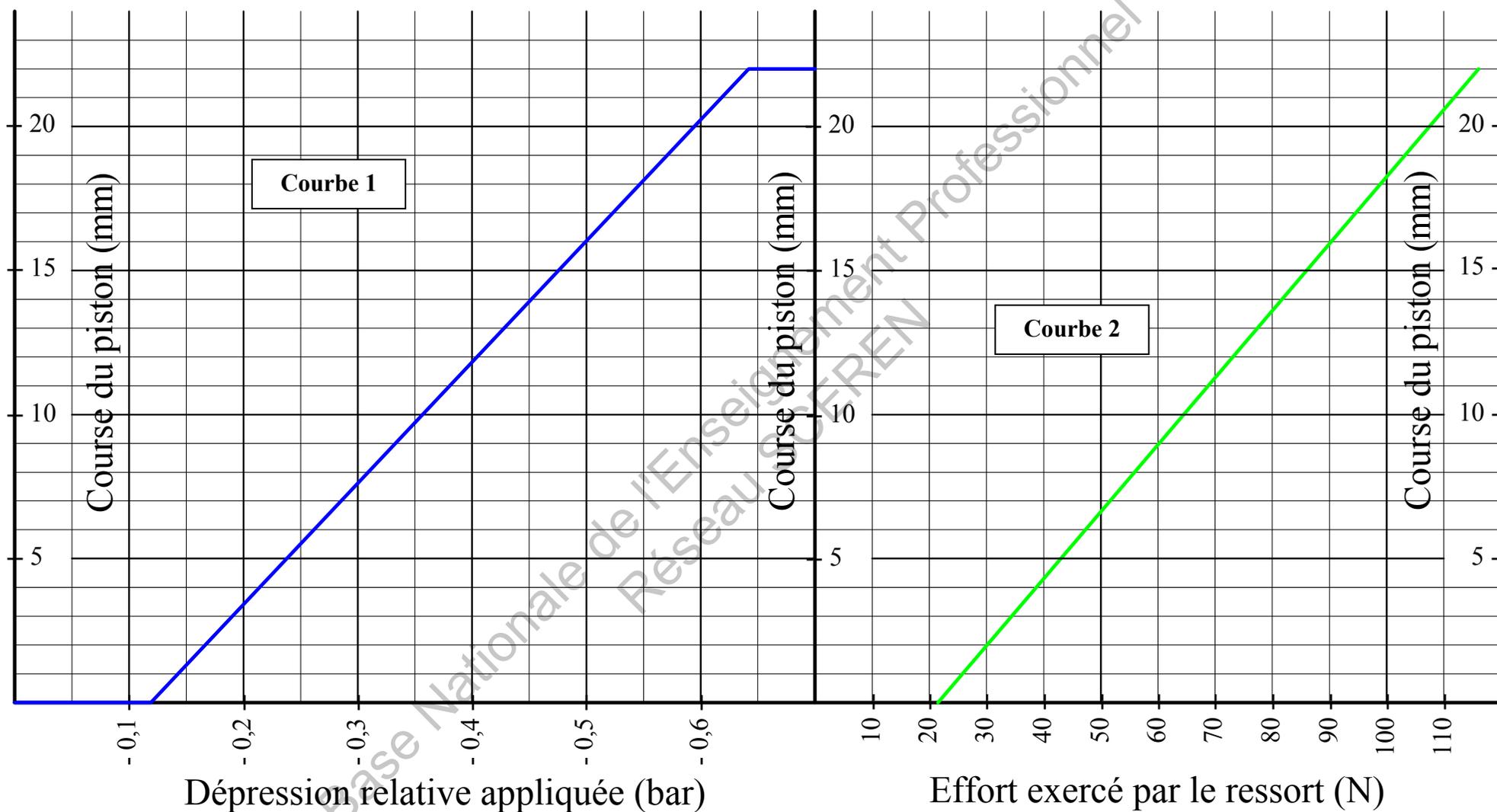
- 2 – Pompe à vide
- 3 – Réservoir de vide
- 7 – Electrovanne de régulation de pression de suralimentation
- 8 – (1374) – Capteur de recopie
- 9 – Poumon.
- 13 – Turbocompresseur

Cale de positionnement de la capsule à dépression par rapport à son support

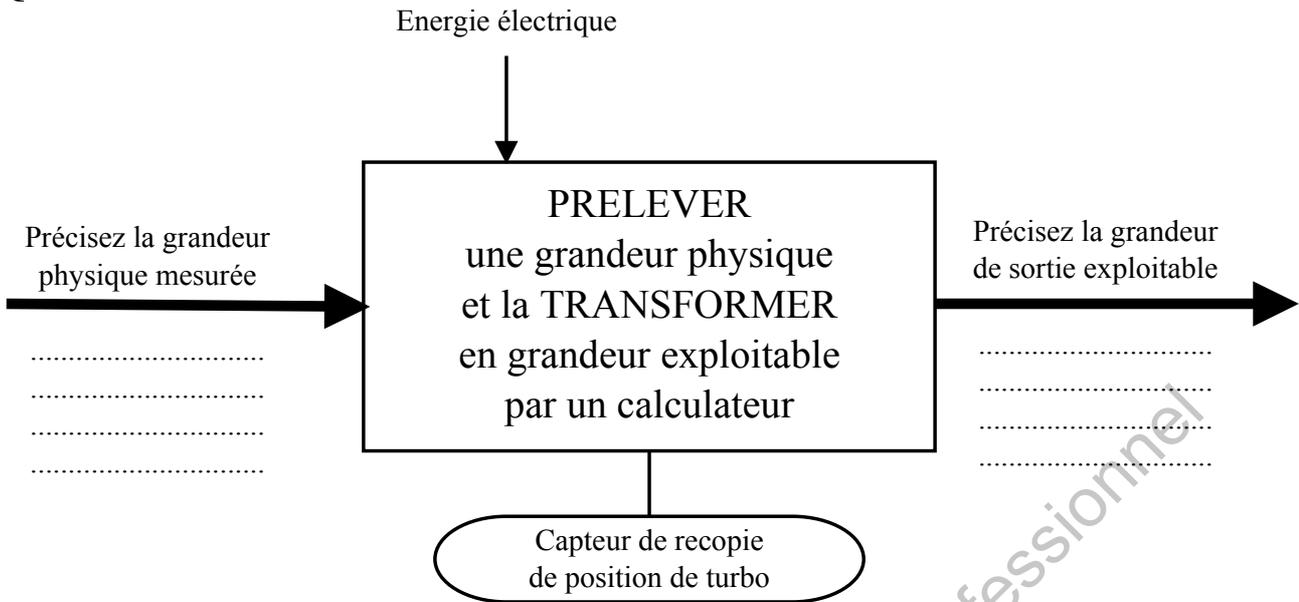


Question 3.2

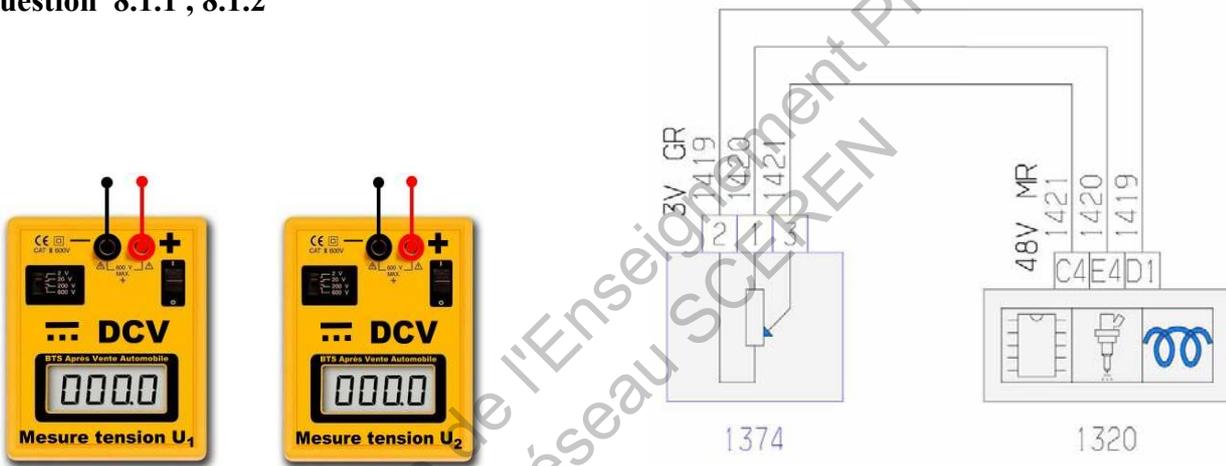
Questions 6.2.3 à 6.3.3



Question 7.1



Question 8.1.1 , 8.1.2



Mesures à effectuer	Procédure de mesure	Valeurs attendues	Valeurs relevées	Conclusions
U ₁ : Tension d'alimentation capteur 1374			4,95 V	
U ₂ : Tension de sortie capteur 1374			Variation aléatoire sur l'ensemble de la course	

DOSSIER RESSOURCE**Présentation du système étudié****Justification de l'implantation d'un compresseur sur un moteur**

La puissance maximale développée par un moteur est directement fonction de la quantité de carburant injectée et de la masse d'air admise.

Pour augmenter cette puissance, il faut donc admettre davantage d'air, ce qui permettra d'injecter davantage de carburant et ainsi de dégager une puissance thermique qui sera convertie en puissance mécanique dans le moteur.

Pour augmenter la masse d'air admise, on peut simplement augmenter la cylindrée du moteur, mais cela entraîne une augmentation de sa masse et de son encombrement.

On peut aussi jouer sur la masse volumique de l'air admis en le comprimant avant son introduction dans les cylindres : c'est le rôle du compresseur.

Celui-ci peut être entraîné par la courroie d'accessoires du moteur (compresseur mécanique) ou par une turbine entraînée par les gaz d'échappement (turbocompresseur).

L'utilisation d'un compresseur permet ainsi d'augmenter dans des proportions importantes la puissance développée par un moteur sans augmenter de manière trop importante sa masse ni son encombrement. La même base mécanique pourra servir à développer un moteur en version « atmosphérique » ou « turbo », ce qui réduit les coûts de production.

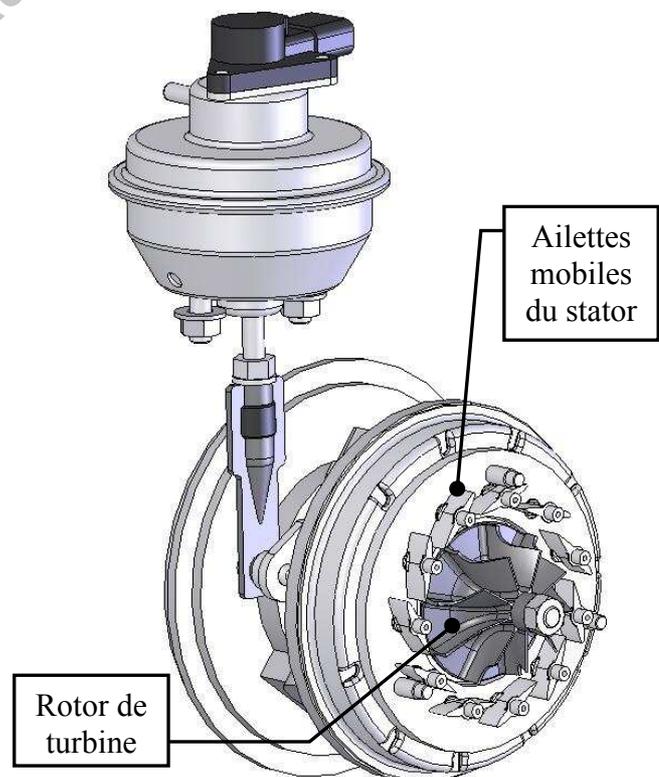
Régulation du turbocompresseur.

Le turbocompresseur est un ensemble mécanique de précision dont le régime de fonctionnement peut être très élevé (100 000 à 200 000 tr/min). Plus le régime de rotation est élevé, plus la puissance délivrée par le moteur sera importante en raison de la compression de l'air d'admission.

Plus la puissance et le régime de rotation du moteur seront élevés, plus le débit et l'énergie des gaz d'échappements alimentant la turbine seront importants. En l'absence de dispositif de régulation, on risque un emballement de la vitesse de rotation du turbo et sa rupture.

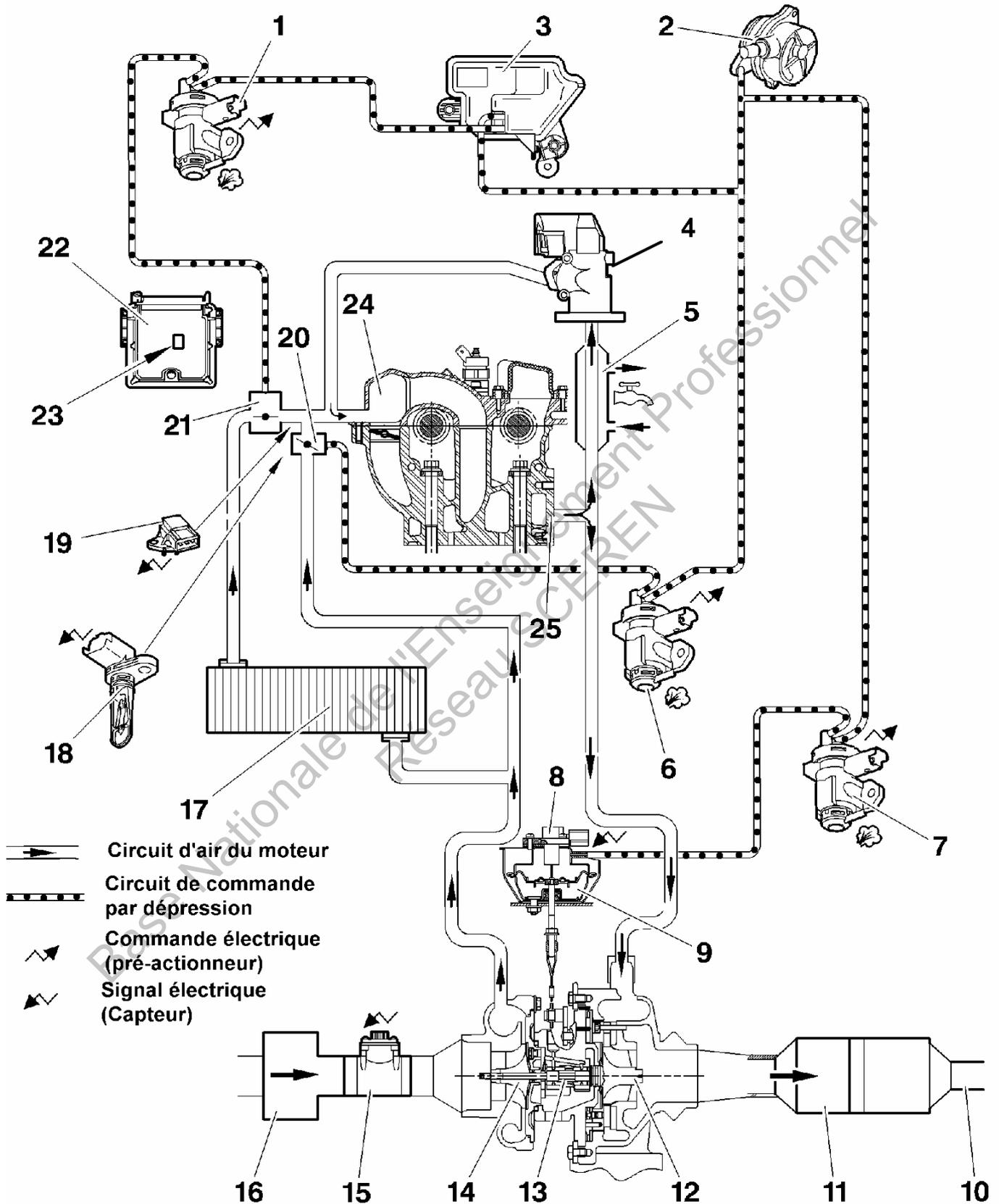
La régulation du turbocompresseur peut se faire en dérivant une partie des gaz d'échappement grâce à une soupape de décharge ou « waste gate » ou en jouant sur la géométrie interne de la turbine à l'aide par exemple d'ailettes mobiles.

C'est ce dernier cas, appelé **turbocompresseur à géométrie variable**, qui sera étudié dans ce sujet.



Éléments de turbocompresseur à géométrie variable

Le circuit d'air



Nomenclature du circuit d'air

Repères	Légende des composants du circuit d'air
25	Collecteur des gaz d'échappement
24	Répartiteur d'admission d'air
23	Capteur de pression atmosphérique (intégré au calculateur d'injection)
22	Calculateur d'injection
21	Boîtier papillon (EGR)
20	Papillon by-pass échangeur thermique air/air
19	Capteur de pression tubulure d'admission
18	Sonde de température d'admission d'air
17	Échangeur thermique air/air
16	Filtre à air
15	Débitmètre d'air + Sonde de température d'air
14	Turbine d'admission d'air
13	Turbocompresseur à géométrie variable
12	Turbine d'échappement
11	Pré catalyseur
10	Filtre à particules + Catalyseur
9	Poumon pneumatique du bras de commande du dispositif de régulation de pression
8	Capteur recopie de position turbo
7	Électrovanne de régulation de pression de suralimentation
6	Électrovanne de commande du papillon by-pass échangeur thermique air/air
5	Échangeur des gaz d'échappement/eau
4	Vanne de recyclage des gaz d'échappement (E.G.R)
3	Réserve de vide
2	Pompe à vide
1	Électrovanne de commande du boîtier papillon (EGR)

Le turbocompresseur à géométrie variable

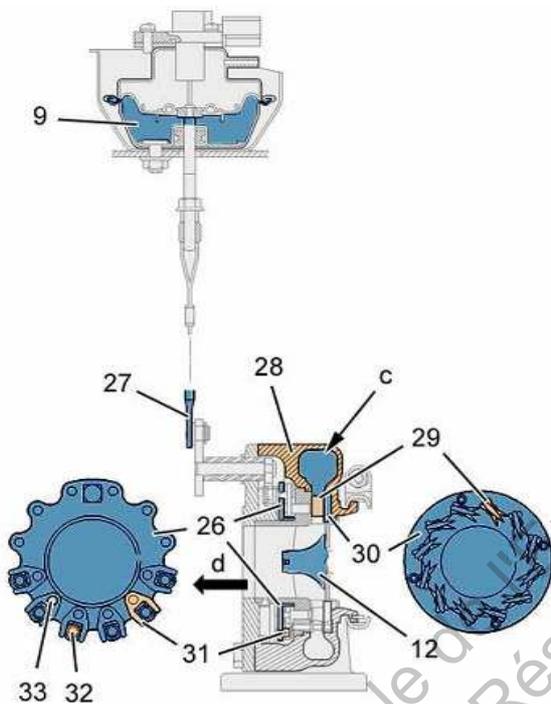
Rôle

Le turbocompresseur permet la suralimentation en air du moteur.

Le turbocompresseur à géométrie variable permet :

- d'augmenter la vitesse des gaz d'échappement qui heurtent la turbine à bas régime
- de diminuer la vitesse des gaz d'échappement qui heurtent la turbine à haut régime
- d'adapter le comportement de la turbine à une variation de débit des gaz d'échappement.

Description



"c" Entrée gaz d'échappement.

"d" Sortie gaz d'échappement.

(9) : Poumon pneumatique du bras de commande du dispositif de régulation de pression : Commande par dépression.

(12) : Turbine d'échappement.

(26) : Plateau d'entraînement mobile.

(27) : Bras de commande du dispositif de régulation de pression.

(28) : Corps extérieur.

(29) : Ailettes mobiles.

(30) : Plateau guide.

(31) : Renvoi d'aillettes.

(32) : Axe fixé dans le corps du turbocompresseur.

(33) : Axe de rotation des ailettes.

Le turbocompresseur se compose de deux chambres distinctes.

Il possède les éléments suivants :

- une chambre liée à la fonction échappement du moteur
- une chambre liée à la fonction admission du moteur
- une turbine et un compresseur, rendus solidaires par un arbre.

La turbine, mise en action par les gaz d'échappement, entraîne le compresseur qui assure la compression de l'air admis.

La rotation des ailettes par rapport à leur axe respectif permet :

- la variation de la section d'entrée des gaz d'échappement sur la turbine d'échappement
- de diriger plus précisément les gaz d'échappement sur la turbine d'échappement.

La régulation de la pression de suralimentation est progressive et gérée par une cartographie (calculateur moteur).

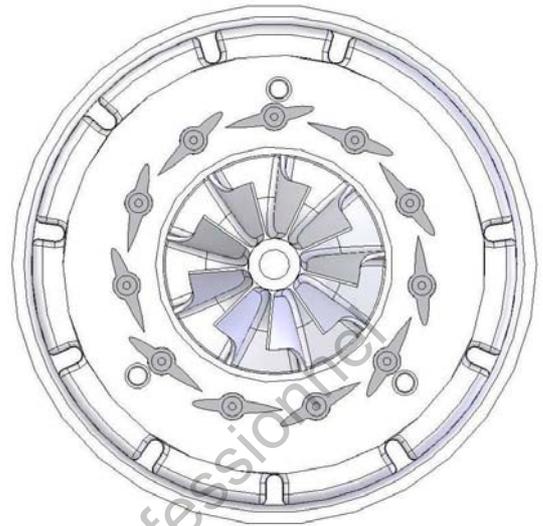
Lorsque le poumon n'est pas commandé, les ailettes occupent la position du schéma du fonctionnement à haut régime (voir illustration page suivante).

Fonctionnement à bas régime : ailettes fermées

L'énergie cinétique des gaz d'échappement est faible à la sortie du moteur. Le turbocompresseur à géométrie variable augmente cette énergie en offrant une faible section de passage aux gaz d'échappement.

Les ailettes mobiles en position quasi-fermée dirigent de manière optimale les gaz d'échappement sur la turbine d'échappement (12).

Avec ces deux conditions la vitesse de rotation de la turbine d'échappement est augmentée à bas régime.

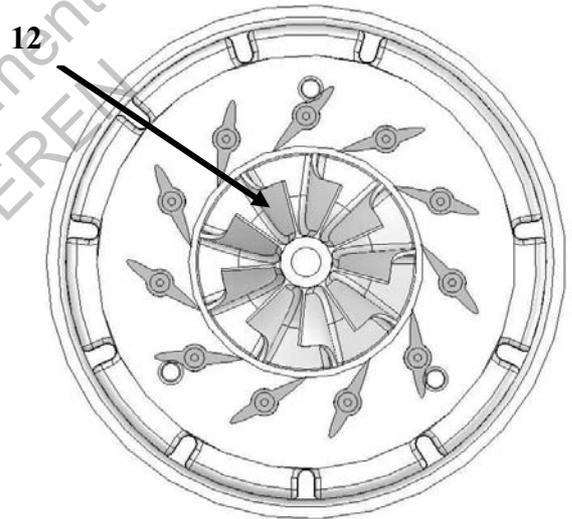


Fonctionnement à haut régime : ailettes ouvertes

A la sortie du moteur, l'énergie cinétique des gaz d'échappement est élevée.

Les ailettes mobiles en position ouverte dirigent avec une incidence plus faible les gaz d'échappement sur la turbine d'échappement (12) et limitent ainsi le transfert d'énergie vers l'arbre du compresseur.

Avec ces deux conditions la vitesse de rotation de la turbine d'échappement est diminuée à haut régime.



Capteur de recopie position turbocompresseur

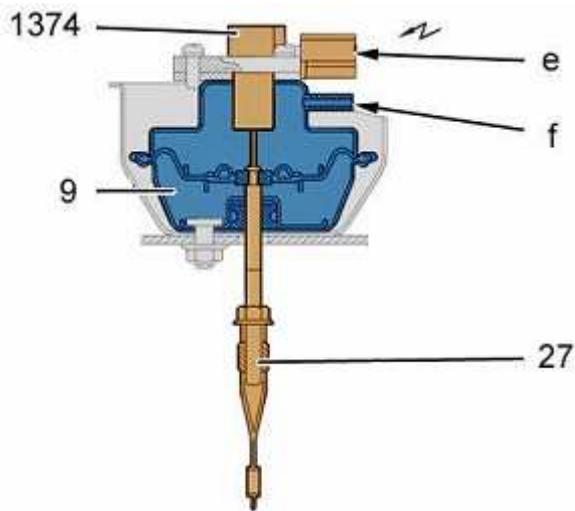
Rôle

Le capteur permet de déterminer la position du bras de commande du dispositif de régulation de pression d'admission assuré par la modification de la position des ailettes.

Ainsi le calculateur de gestion moteur pourra en fonction de l'information reçue :

- réguler la pression de suralimentation
- optimiser le débit d'air en entrée moteur
- optimiser la dépollution.

Description



"e" Connecteur électrique.

"f" Entrée dépression.

(9) Poumon pneumatique du bras de commande du dispositif de régulation de pression.

(27) Bras de commande du dispositif de régulation de pression.

Le capteur (1374) fournit une tension proportionnelle au déplacement du bras de commande (27).

ATTENTION : la dépose du capteur est interdite (risque de dysfonctionnement du turbocompresseur).

En cas de défaillance, il faut remplacer l'ensemble poumon + capteur.

Particularités électriques

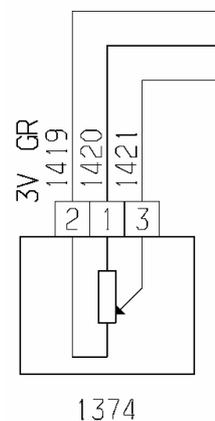
Connecteur 3 voies gris.

Affectation des voies du connecteur :

- voie 1 : Masse
- voie 2 : 5 Volts
- voie 3 : Information signal

Pas de dépression : $\approx 0,5$ Volt (ailettes ouvertes).

Dépression maximale : 4,2 Volts (entre voie 1 et 3) (ailettes fermées, pression relative de -0,7 bar).



Implantation

Le capteur de position est fixé sur le poumon pneumatique de commande.

Rôle de la vanne EGR

La dépollution du moteur passe par la diminution de la température de combustion qui peut être obtenue à charge partielle en réinjectant à l'admission une partie des gaz d'échappement au travers de la vanne EGR. A pleine charge, la vanne EGR est fermée.

Une vanne EGR ouverte à pleine charge (situation de grippage) entraîne une perte de puissance et l'émission de fumées noires à l'échappement.

Régulation de la pression de suralimentation

Le calcul de la pression de suralimentation est effectué à partir des paramètres suivants :

- régime moteur
- quantité de carburant injectée.

Les seuils de la valeur de la pression de suralimentation sont variables et dépendent principalement des conditions de charge moteur.

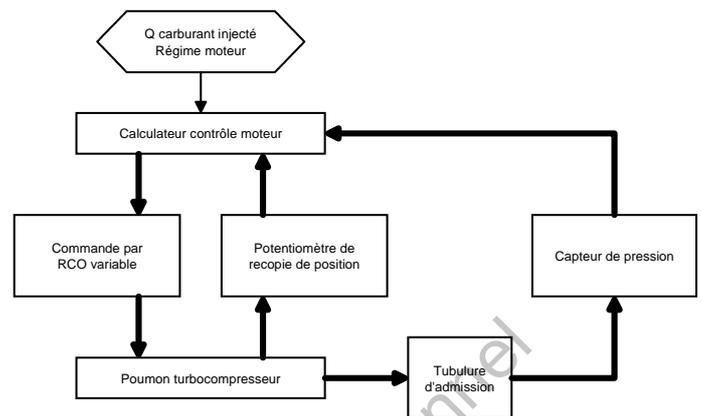
En charge, la valeur maximale de la pression absolue de suralimentation est de 2300 mbar entre 2500 et 3500 tr/min.

La pression de suralimentation peut être réglée selon les deux modes décrits page suivante :

Mode de fonctionnement sans EGR

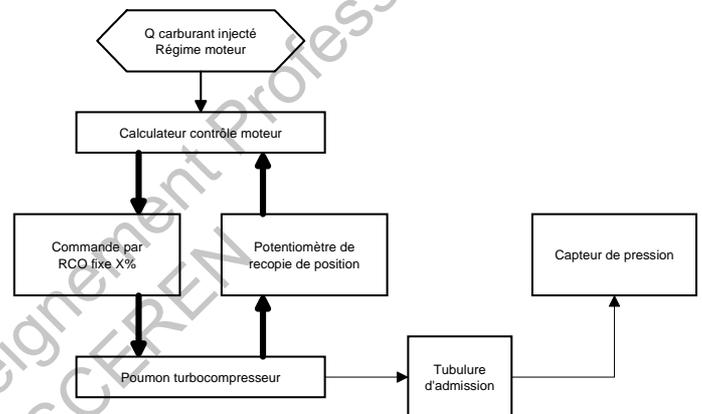
Cette régulation s'effectue en priorité par la mesure de la pression dans la tubulure d'admission, afin d'obtenir le maximum de précision par rapport à la valeur de consigne.

Cette régulation est complétée par la mesure de la position de la commande des ailettes à l'aide du potentiomètre de recopie, afin d'obtenir une meilleure réactivité.



Mode de fonctionnement avec EGR

Elle ne fait intervenir que l'information du potentiomètre de recopie de la position de la commande des ailettes du turbocompresseur, la pression dans la tubulure d'admission étant perturbée par l'ouverture de la vanne EGR.



Réserve de vide

Rôle

La réserve de vide permet de conserver une assistance de freinage suffisante en cas de commande simultanée des composants suivants :

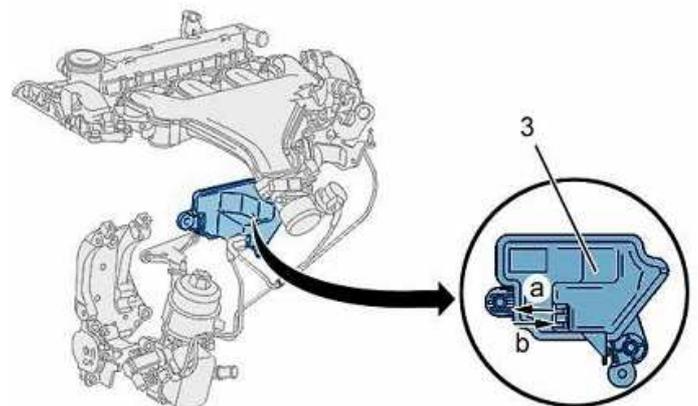
- papillon by-pass échangeur thermique air/air
- poumon pneumatique du bras de commande du dispositif de régulation de pression de suralimentation.

Implantation

"a" Entrée dépression de la pompe à vide.

"b" Sortie : Électrovanne de commande du boîtier papillon (EGR).

La réserve de vide (3) est implantée sur le carter, sous la rampe d'injection.



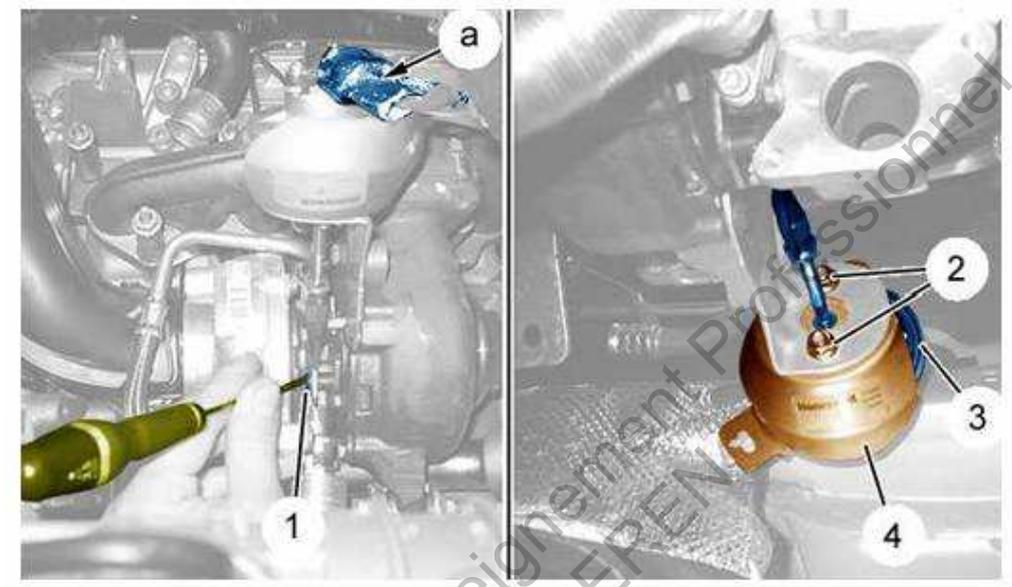
Nomenclature du schéma électrique

Repères	Légende des composants du schéma électrique
PSF 1	Platine de servitude
BSI 1	Boîtier de servitude intelligent
7800	Calculateur contrôle stabilité
7306	Contacteur de sécurité de régulateur de vitesse (embrayage)
4050	Indicateur charge batterie
2120	Contacteur bi-fonction frein
1374	Capteur recopie de position turbo
1344	Capteur haute température gaz échappement amont
1343	Capteur haute température gaz échappement aval
1341	Capteur pression différentiel filtre à particule
1334	Injecteur cylindre n°4
1333	Injecteur cylindre n°3
1332	Injecteur cylindre n°2
1331	Injecteur cylindre n°1
1322	Régulateur haute pression gazole
1321	Capteur haute pression gazole
1320	Calculateur de gestion moteur
1313	Capteur régime moteur
1312	Capteur de pression tubulure admission
1310	Débitmètre d'air
1291	Electrovanne eau dégazage
1276	Réchauffeur gazole
1265	Thermo contact préchauffage
1263	Electrovanne EGR + papillon
1261	Capteur position pédale accélérateur
1240	Capteur température air-admission
1233	Electrovanne de régulation de pression de suralimentation
1221	Thermistance gazole
1220	Capteur température de liquide de refroidissement
1208	Pompe d'injection diesel
1160	Bougies de préchauffage
1158	Boîtier de commande pré-post préchauffage
1115	Capteur référence véhicule

Procédure d'échange de l'ensemble « poumon – capteur de recopie »

1 - Dépose

Mettre le véhicule sur un pont élévateur deux colonnes.
Débrancher la batterie.



ATTENTION : ne pas endommager la protection thermique du connecteur.

Débrancher le connecteur du capteur du poumon (presser et tirer en bout de connecteur en "a").

Désaccoupler le tube de dépression.

Déposer :

- le clip (1) à l'aide d'un tournevis plat
- les écrous (2)
- le poumon de régulation de pression de suralimentation (3) munie de son écran thermique (4).

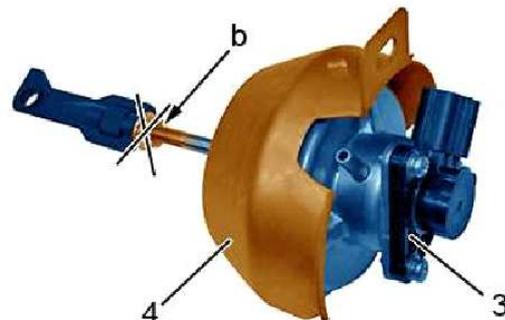
2 - Repose

ATTENTION : ne pas intervenir sur la tige de commande "b" (risque d'endommagement du poumon de régulation de pression de suralimentation (3)).

ATTENTION : respecter le sens de montage de l'écran thermique (4) sur le poumon de régulation de pression de suralimentation (3).

Reposer :

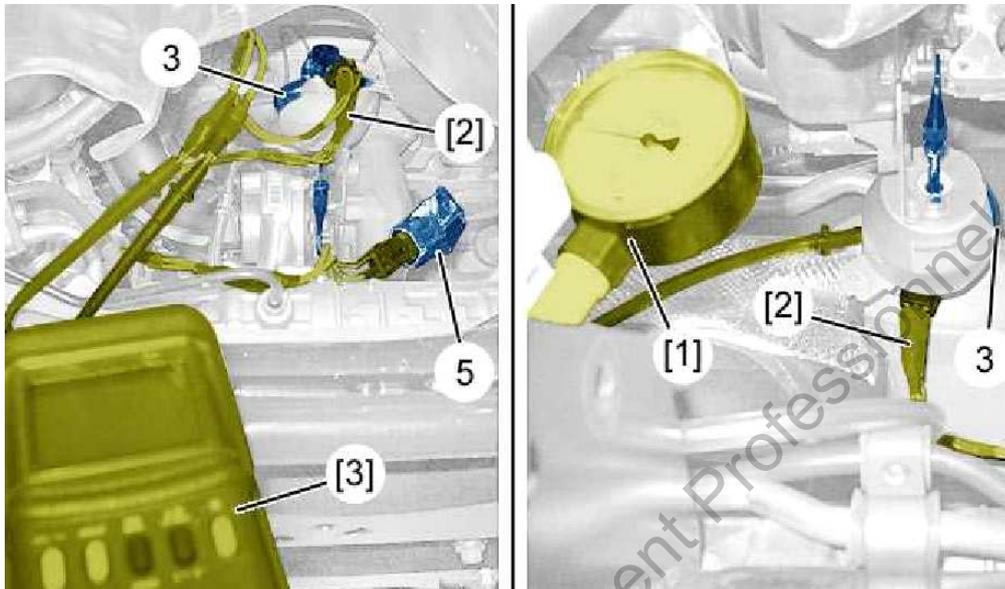
- le poumon de régulation de pression de suralimentation (3) muni de son écran thermique (4)
- les écrous (2) (neufs) ; serrer à 6 N.m
- le clip (1) (neuf)



3 - Contrôle / Calibration

3.1. Contrôle

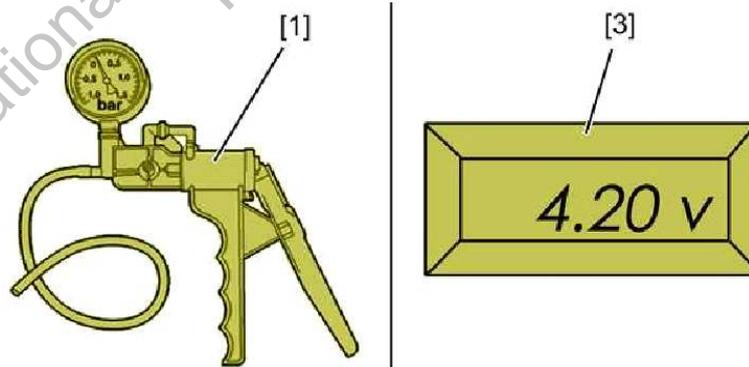
Nota : les indices entre crochets (ex : [3]) sont relatifs aux outillages utilisés lors de la procédure.
Les indices simples ou entre parenthèses (ex : 3 ou (3)) sont relatifs aux composants du véhicule.



- connecter le faisceau électrique dérivateur [2] entre le capteur de recopie du poumon de régulation de pression de suralimentation (3) et le faisceau électrique (5).
- connecter le voltmètre [3] sur les bornes du faisceau électrique dérivateur [2].
- accoupler la pompe à vide manuelle [1] sur la vanne de régulation de pression de suralimentation (3).

ATTENTION : manœuvrer le poumon à 3 reprises et s'assurer visuellement que le déplacement de la tige se fait librement sans point dur à l'aide de la pompe à vide [1].

- rebrancher la batterie.
- mettre le contact. ATTENTION : ne pas démarrer le moteur.



- appliquer une dépression (relative) de -0,7 bar

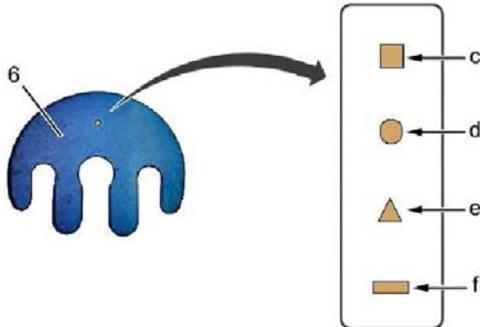
NOTA : la tige de commande doit se déplacer jusqu'en butée.

- relever la tension à l'aide du voltmètre [3] :
- si la tension relevée est égale à $4,20 \pm 0,05$ V (tension de référence), ne pas calibrer le capteur de position sur le poumon, effectuer le contrôle final (voir § 4)
- si la tension relevée est hors tolérances, calculer l'épaisseur des cales à insérer puis calibrer le capteur de position sur le poumon.

3.2. Calcul de l'épaisseur des cales à mettre en place

La calibration s'effectue à l'aide de cales (6) à insérer entre le poumon et son support.

Le kit contient des cales de 0,2 mm , 0,3 mm , 0,5 mm et 0,7 mm, chaque cale est livrée en 3 exemplaires. L'épaisseur des cales est identifiable à l'aide de figures géométriques découpées dans le métal, il est possible d'empiler plusieurs cales pour atteindre l'épaisseur calculée.



Repérage des cales :

"c" = 0,2 mm .

"d" = 0,3 mm .

"e" = 0,5 mm .

"f" = 0,7 mm .

Le calcul de l'épaisseur se fait à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Épaisseur} = (\text{Tension relevée} - \text{Tension de référence}) \times 2,5$$

(Épaisseur en mm, tension en V)

Exemple pour une tension relevée de 4,55 V :

- appliquer la formule $(4,55 - 4,20) \times 2,5 = 0,875$
- arrondir l'épaisseur au dixième de millimètre près (exemple : 0,875 mm devient 0,9 mm)
- l'empilage à réaliser se compose d'une cale de 0,7 mm + une cale de 0,2 mm.

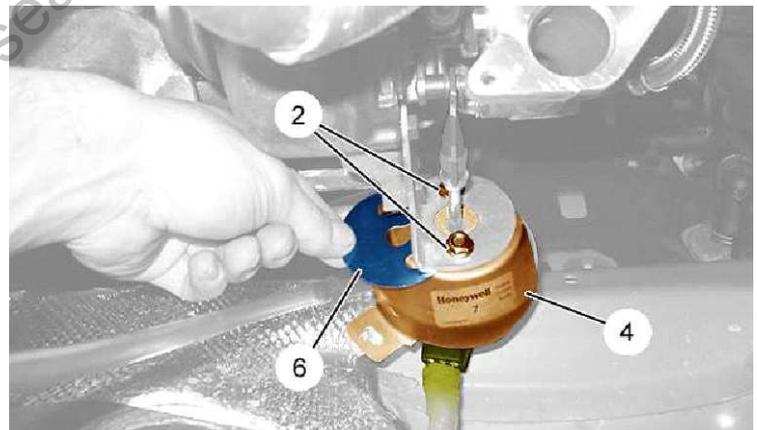
3.3 - Mise en place des cales

Desserrer de plusieurs tours les écrous (2).

Intercaler la ou les cales (6) correspondant à l'épaisseur calculée entre l'écran thermique (4) et son support.

NOTA : la ou les cales doivent être insérées à fond de boutonnière.

- serrer les écrous (2) à 6 N.m
- appliquer une dépression de -0,7 bar à l'aide de l'outil [1]
- relever la valeur de la tension.



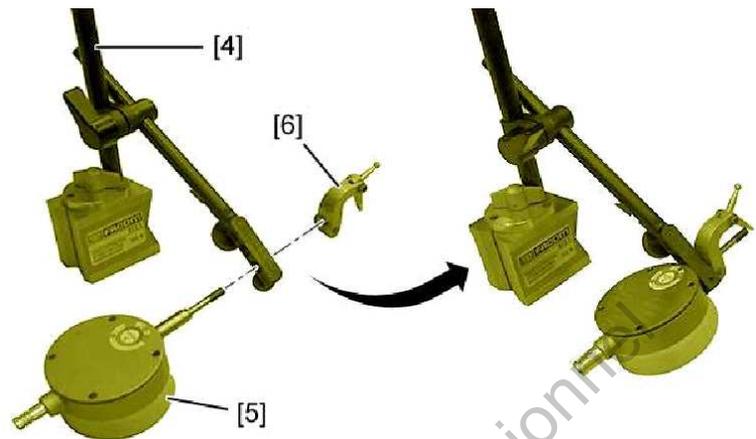
NOTA : si la nouvelle tension relevée est supérieure à la tension de référence ($4,20 \pm 0,05$ V) : effectuer de nouveau le calcul avec la nouvelle tension relevée, sans déposer la ou les cales du turbocompresseur, jusqu'à obtention de la bonne valeur.

Lorsque la tension relevée correspond à la tension de référence, effectuer le contrôle final.

4 - Contrôle final avant repose

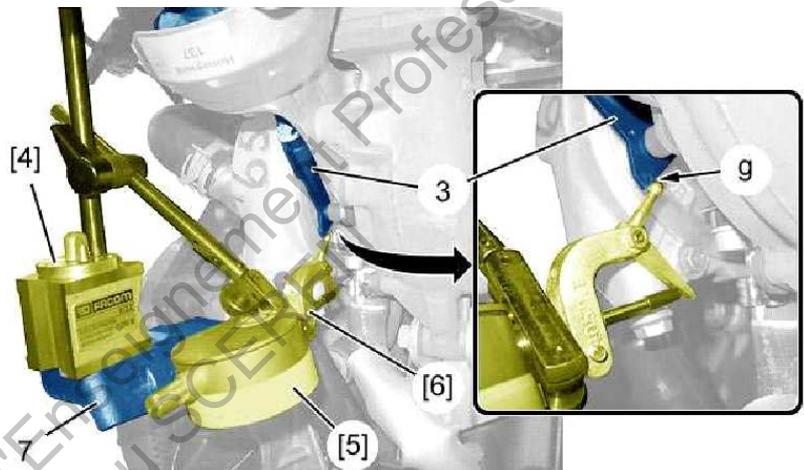
Réaliser un pré montage du pied magnétique [4], du comparateur [5] et du renvoi d'angle [6] (voir figure).

NOTA : la face de lecture du comparateur doit être orientée vers le bas.



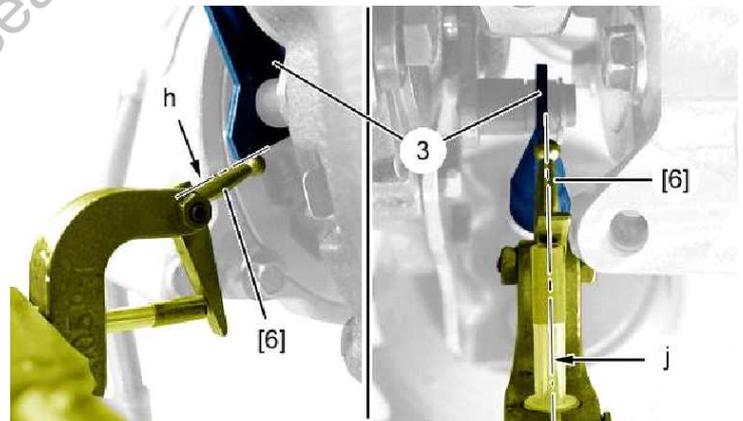
ATTENTION : appliquer une dépression de -0,7 bar à l'aide de l'outil [1].

- poser l'ensemble d'outils [4], [5], [6] sur le support de pré-catalyseur (7).
- positionner la touche du renvoi d'angle [6] sur l'extrémité de la tige de commande (3) (en "g").



ATTENTION : la touche du renvoi d'angle [6] doit être positionnée selon les axes "h", "j".

- vérifier que la pompe à vide [1] indique toujours -0,7 bars de dépression.
- étalonner le comparateur à zéro.



- pincer le tuyau de la pompe à vide [1] à l'aide du pince-durite (non représenté sur les illustrations)
- ouvrir la vanne de la pompe à vide [1]
- ouvrir délicatement le pince-durite pour atteindre 3 mm de course sur le comparateur [5]
- la tension relevée sur le voltmètre [3] doit être égale à $2,95 \pm 0,21$ V

ATTENTION : dans le cas contraire, vérifier le bon positionnement des outils [4], [5], [6] et reprendre l'opération de calibration du poumon :

- couper le contact.
- déposer les outils [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

5 - Opérations complémentaires

- accoupler le tube de dépression sur la vanne de régulation de pression de suralimentation.
- rebrancher le connecteur du capteur du poumon (en "a")
- reposer le pré-catalyseur
- rebrancher la batterie
- effacer les défauts en mémoire à l'aide de l'outil de diagnostic
- faire un essai routier.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN