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 2012

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°99-186 du 16 novembre 1999.

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

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

CODE ÉPREUVE : MOE5EAM		**EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**	**SPÉCIALITÉ :** 1.1 - MOTEURS À COMBUSTION INTERNE
SESSION : 2012	**SUJET**	***ÉPREUVE* : ÉTUDE DES MOTEURS U52 – ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS**	
Durée : 3h	**Coefficient : 3**	**SUJET N°05ED11**	**18 pages**

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 : 15 min
- première partie : 65 min
- deuxième partie : 35 min
- troisième partie : 65 min

Les trois parties sont indépendantes.

La clarté des réponses et la précision de l'argumentation seront prises en compte dans la notation.

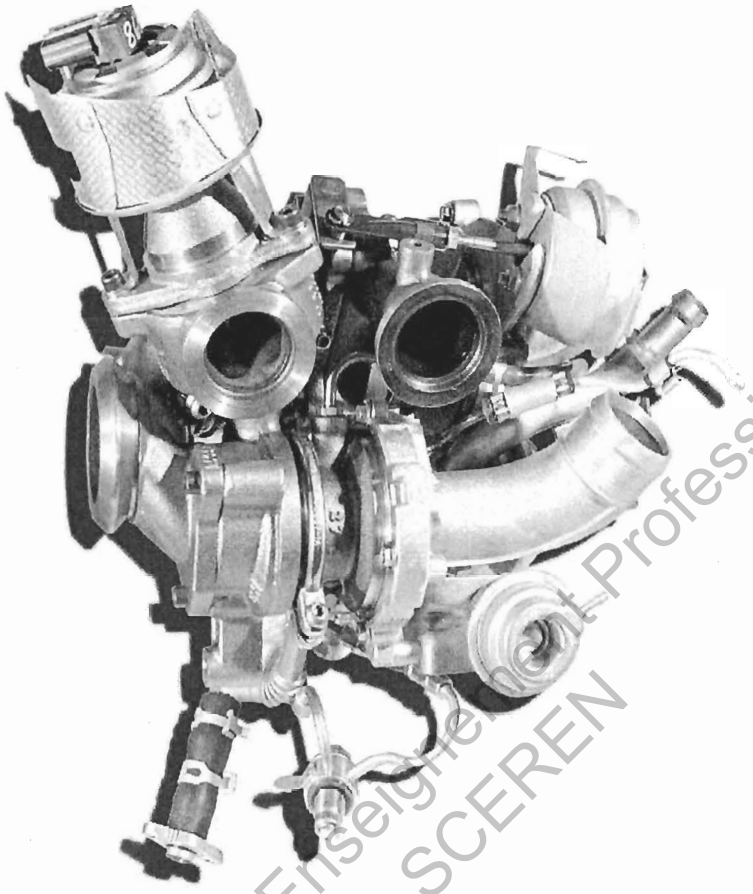
Le dossier du sujet est composé de :

- Document ressource : pages 3 à 6
- Texte du sujet comprenant les documents réponses DR1 : pages 7 à 13
- Document 1 - tableau de relevé pleine charge : page 14
- Document 2 - données et mise en situation : page 15
- Document réponse DR2 : page 16
- Document réponse DR3 : page 17
- Document réponse DR4 : page 18

Nombre de documents à rendre : 8 (DR1.1, DR1.2, DR1.3, DR1.4, DR1.5, DR2, DR3, DR4).

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Document ressource : système de suralimentation parallèle.



L'ensemble est composé de deux turbocompresseurs de taille réduite. A bas régime, un seul turbocompresseur assure la réactivité du moteur. Il est ensuite épaulé par le second turbocompresseur. Le pilotage de l'ensemble est entièrement assuré par le boîtier de commande contrôle moteur.
Par ailleurs, la faible inertie des turbocompresseurs, due à leur petite taille supprime le temps de réponse lors de leur mise en action. Ces innovations technologiques permettent l'amélioration de l'agrément de conduite et, en particulier, de disposer d'une grande disponibilité du couple. De plus, l'utilisateur peut rouler davantage à bas régime et réduire ainsi sa consommation de carburant.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

1. Caractéristiques des turbocompresseurs

	Turbocompresseur 1	Turbocompresseur 2
Type de géométrie	Fixe	Fixe
Type de turbo	GT 14	GT 12
Vitesse de rotation maxi	230 000 $tr.mn^{-1}$	270 000 $tr.mn^{-1}$

2. Description du système

- **Circuit de commande**

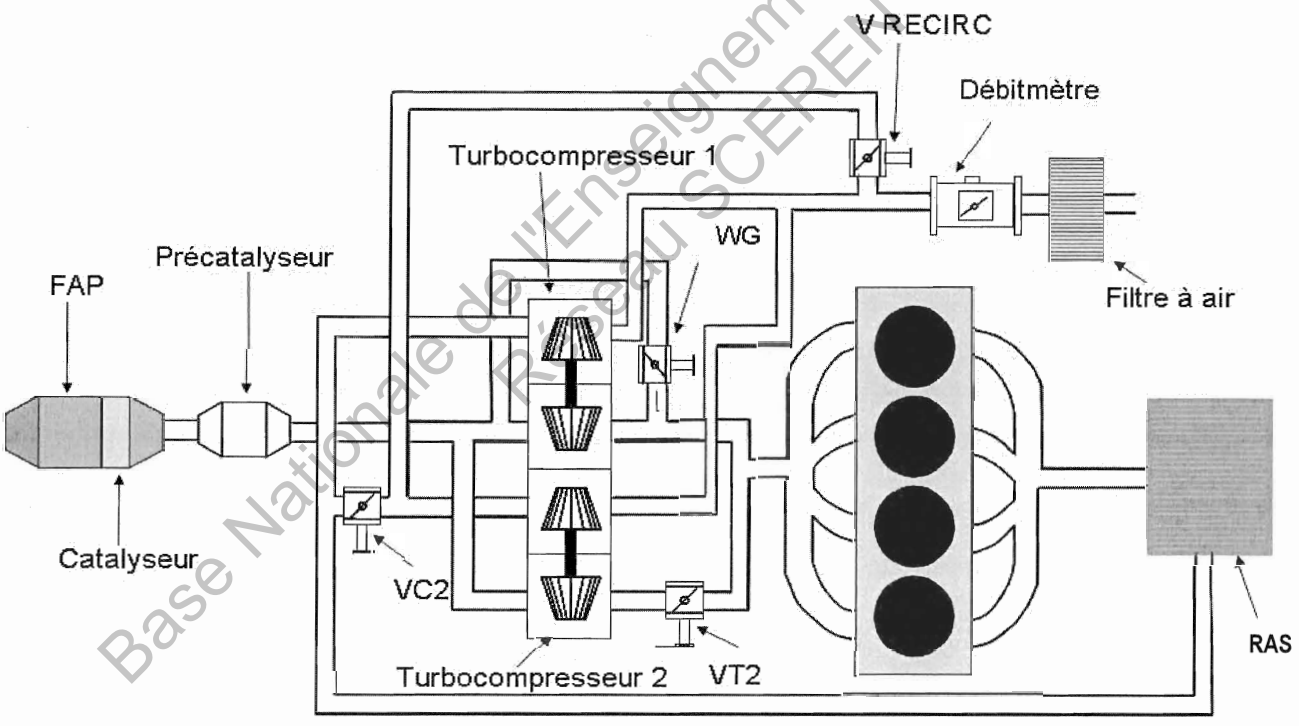
Le système est géré par le contrôle moteur qui commande quatre vannes. Le principe de suralimentation du moteur repose sur l'utilisation de 2 turbocompresseurs à géométrie fixe avec la possibilité de fonctionner en mode mono turbo ou en mode double turbo.

- **Présentation des actionneurs :**

Sur le circuit d'admission 2 vannes tout ou rien		Sur le circuit d'échappement 2 vannes proportionnelles	
1 vanne de recirculation	V RECIRC	1 vanne waste gate	WG
1 vanne d'isolation	VC2	1 vanne d'isolation équipée d'une recopie	VT2

Remarque: les vannes avec l'indice 2 sont sur le turbocompresseur 2.

- **Les boucles d'air**

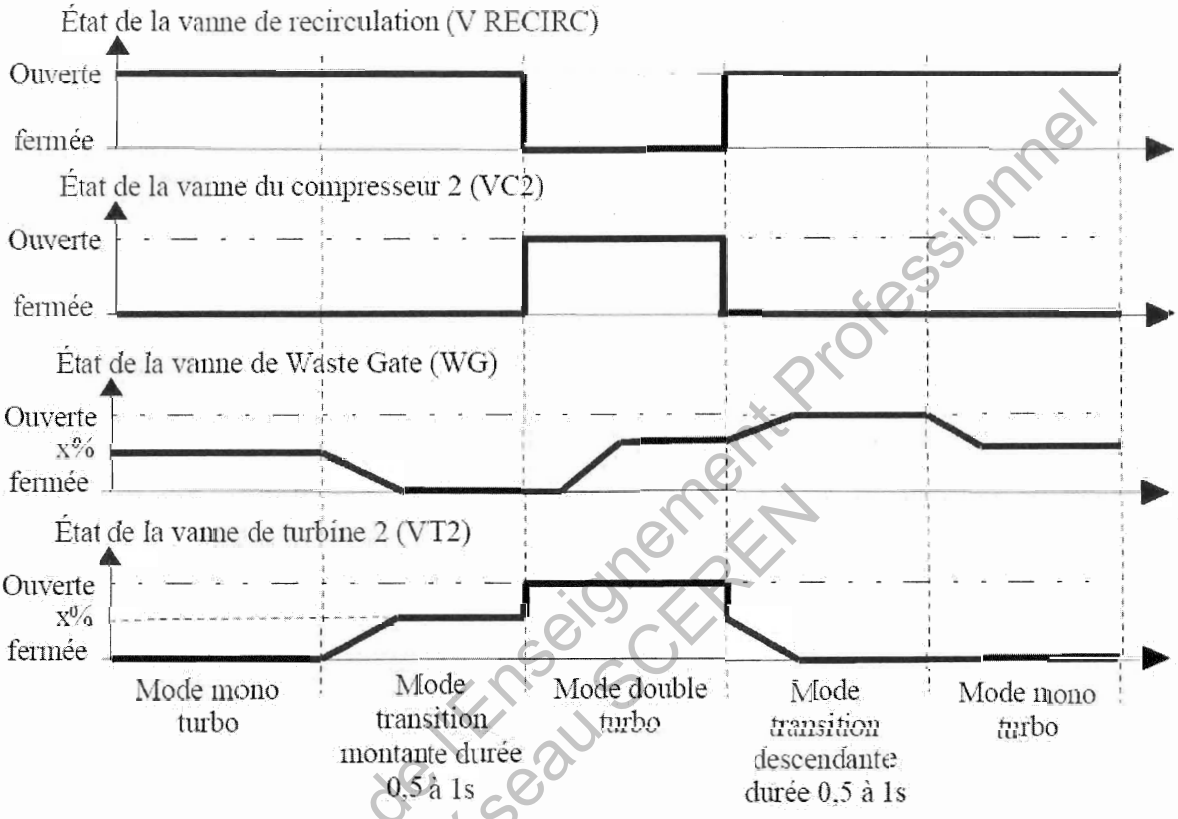


Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

3. Modes de fonctionnement :

Il existe quatre modes de fonctionnement : - mode mono turbocompresseur,
- mode de transition montante,
- mode double turbocompresseur,
- mode de transition descendante.

- **Chronogramme de pilotage :**



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Description des modes de fonctionnement :

- Mode mono turbocompresseur

La vanne VC2 permet, lors du fonctionnement mono turbo, d'isoler le compresseur 2 du compresseur 1 (qui débite seul l'air nécessaire au moteur). La vanne V RECIRC assure la liaison entre le circuit de recirculation et le compresseur 2. En phase mono turbo, elle est ouverte.
Remarque: Même si V RECIRC est ouverte, le compresseur 2 ne tourne pas.

- Mode de transition montante

Le mode de transition montante est la phase de passage du mode mono turbo au mode double turbo. La durée d'une transition est variable de 500 ms à 1 s en fonction de la demande conducteur et des paramètres moteur.
La vanne VT2 joue un rôle essentiel dans le passage du mode mono turbo au mode double turbo puisque son temps d'ouverture impose le temps de transition.

Durant les phases de transition, la vanne VC2 est fermée ; l'aspiration de l'air fait une boucle dans l'admission via la vanne V RECIRC.
La vanne WG permet de limiter mécaniquement la pression de suralimentation. Une partie des gaz d'échappement est dérivée avant leur passage dans les turbines des turbocompresseurs.

- Mode double turbo

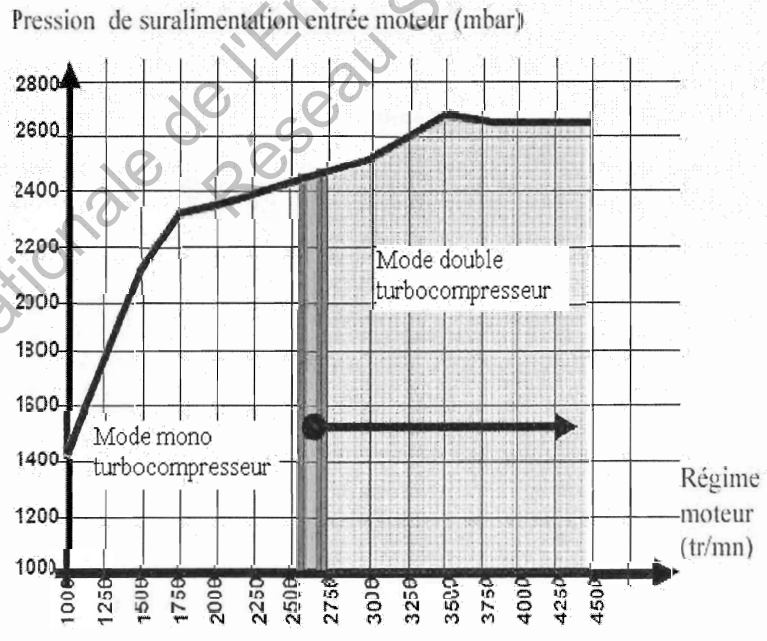
Les 2 turbocompresseurs fonctionnent. La vanne WG est pilotée et régule la pression de suralimentation. Les 2 Vannes VT2 et VC2 d'isolation du turbocompresseur 2 sont ouvertes et la vanne V RECIRC est fermée.

- Mode de transition descendante

Le mode de transition descendante est la phase de passage du mode double turbo au mode mono turbo. La durée d'une transition est également variable de 500 ms à 1 s en fonction de la demande conducteur et des paramètres moteurs.
La vanne VT2 joue un rôle essentiel dans le passage du mode double turbo au mode mono turbo puisque son temps de fermeture impose le temps de transition. Elle permet l'arrêt de la rotation du turbocompresseur 2.

La vanne V RECIRC assure la liaison entre le circuit de recirculation et le compresseur 2. Durant les phases de transition, la vanne VC2 est fermée ; l'aspiration de l'air fait une boucle dans l'admission via la vanne V RECIRC.

La WG permet de limiter mécaniquement la pression de suralimentation. Une partie des gaz d'échappement est dérivée avant leur passage dans la turbine d'entraînement des 2 turbocompresseurs.



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT REPONSE DR1.1 (à rendre).

1ère partie : Étude du système

L'objectif de cette partie est d'identifier les différents éléments constitutifs du système et d'analyser son fonctionnement.

1.1 - Soit un moteur diesel ayant une limite de richesse de 0,8 en performance. Comment le turbocompresseur va-t-il participer à l'augmentation de la puissance introduite ? (Répondre dans le cadre).

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

1.2 - Identification des turbocompresseurs.

A partir du document ressource (pages 3 à 6), relevez les caractéristiques des deux turbocompresseurs. La vitesse maximale en bout d'aube pour une roue compresseur est d'environ $500 m.s^{-1}$.

	Turbocompresseur N°1	Turbocompresseur N°2
Type		
Géométrie		
Vitesse de rotation maxi (tr/mn)		
Sachant que $V = r \times \omega$, calculez le diamètre approximatif de la roue compresseur (mm). Justifiez vos résultats en écrivant l'application numérique.		
Montage des turbocompresseurs (rayez la mention inutile)	Parallèle - série	
Pour une même pression de suralimentation, quel est le turbo compresseur qui possède le potentiel de débit le plus important ?		

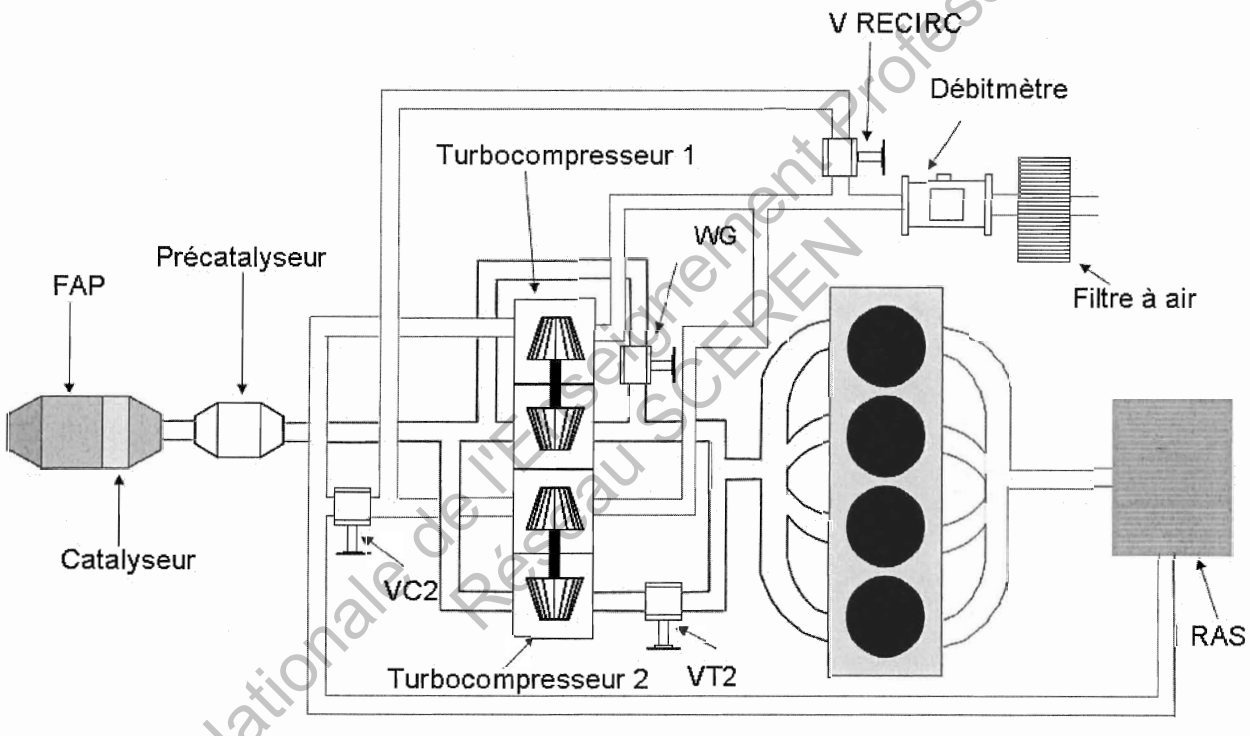
DOCUMENT REPONSE DR1.2 (à rendre).

1.3 - Fonctionnement du système en mode mono turbocompresseur.

1.3.1 - A l'aide du document ressource, représentez sur le schéma ci-dessous la position des 4 vannes, puis coloriez en rouge le flux des gaz d'échappement et en bleu le flux des gaz d'admission (ne pas colorier les conduits ou le flux est nul ou pratiquement nul).

Symbolisation de la position d'une vanne :

Vanne ouverte | Vanne fermée | Vanne entrouverte



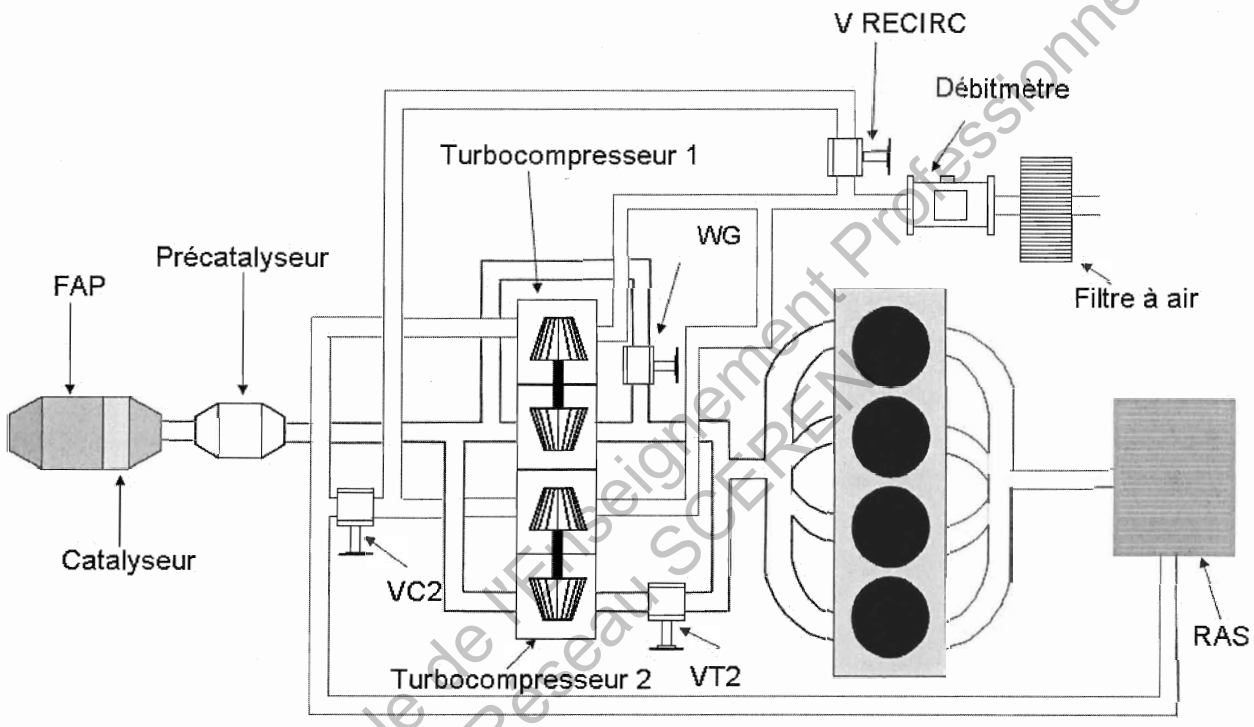
1.3.2 - Expliquez le fonctionnement du système dans cette phase et indiquez la plage de régime où le système fonctionne en mode mono turbocompresseur.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel Réseau SCEREN

DOCUMENT REPONSE DR1.3 (à rendre).

1.4 - Fonctionnement du système en mode transition montante (mono turbo vers double turbo).

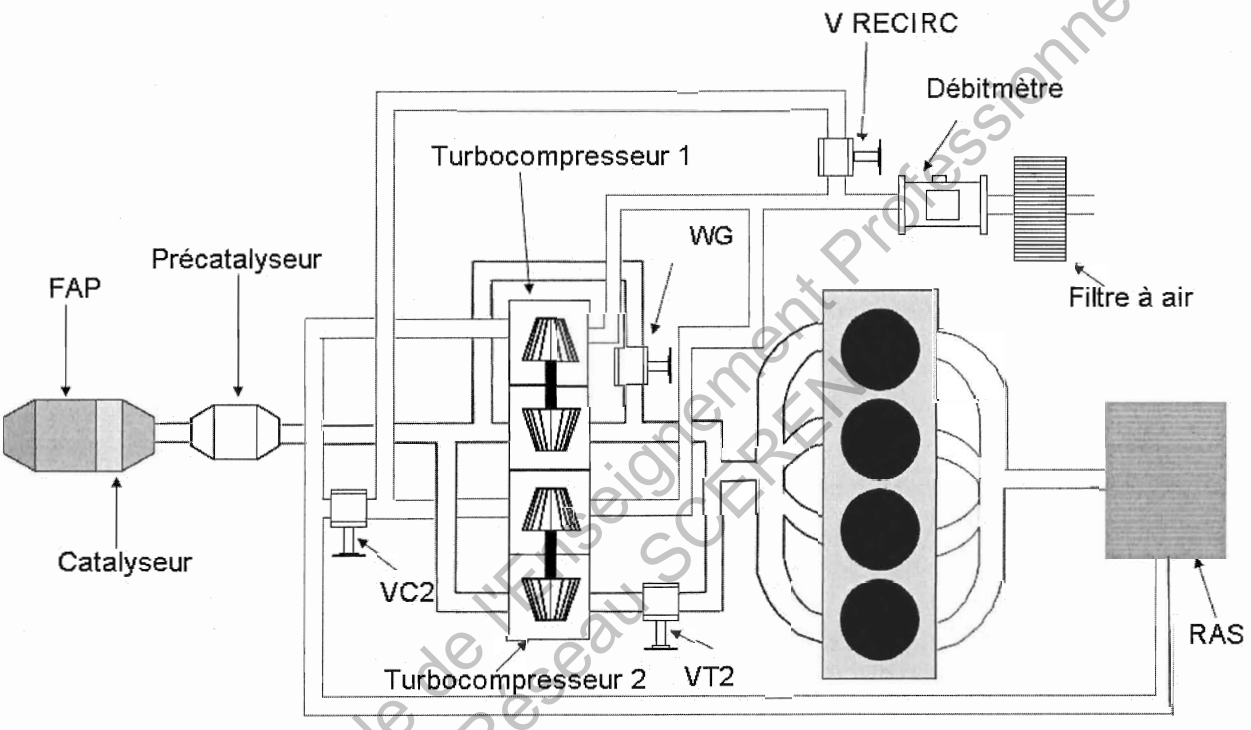
1.4.1 - A l'aide du document ressource, représentez sur le schéma ci-dessous la position stabilisée des 4 vannes, puis coloriez en rouge le flux des gaz d'échappement et en bleu le flux des gaz d'admission (ne pas colorier les conduits où le flux est nul ou pratiquement nul).



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT REPONSE DR1.4 (à rendre).

1.5 - Fonctionnement du système en mode double turbocompresseur.



A l'aide du document ressource, représentez sur le schéma ci-dessous la position des 3 vannes, puis coloriez en rouge le flux des gaz d'échappement et en bleu le flux des gaz d'admission (ne pas colorier les conduits où le flux est nul ou pratiquement nul).

1.5.1 - Expliquez en 5 lignes maximum, le fonctionnement du système dans cette phase.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel Réseau SCEREN

DOCUMENT REPONSE DR1.5 (à rendre).

1.6 - Bilan.

-Hachurez la (les) cellule(s) du tableau pour indiquer le(s) turbocompresseur(s) utilisé(s) pour alimenter en air le moteur,
-Cochez la (les) cellule(s) du tableau quand le(s) turbocompresseur(s) tourne(nt) sans pour autant alimenter en air le moteur.

	Turbocompresseur 1	Turbocompresseur 2
Mode mono turbocompresseur		
Mode transition montante		
Mode double turbocompresseur		
Mode transition descendante		

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

2ème partie : Étude d'avant projet

L'objectif de cette partie est de quantifier en avant projet les besoins moteur en terme de débit d'air et de pression collecteur pour atteindre l'objectif de couple et de puissance maxi du moteur et permettre ainsi de pré dimensionner le(s) compresseur(s) du (des) turbocompresseur(s).

Données et hypothèses d'avant projet :

-les caractéristiques moteur et carburant sont définies document 2 page 15
-l'objectif de couple est de 400 Nm à 1750 $tr.mn^{-1}$
-l'objectif de puissance est de 125 kW à 4000 $tr.mn^{-1}$
-le rendement effectif moteur est fixé à 35%
-le coefficient d'excès d'air λ est fixé à :
*1,2 au couple maxi
*1,4 à puissance maxi
-la température air collecteur maxi à couple et puissance maxi est fixée à 130°C
-le rendement volumétrique moteur est fixé à 0,95.

2.1 - Débit d'air moteur

2.1.1 - Exprimez de manière littérale le débit d'air moteur *Qmair* en fonction du débit de carburant moteur *Qmcarb*, du pouvoir comburivore *Pco* et du coefficient d'excès d'air λ.

2.1.2 - Exprimez de manière littérale le débit d'air moteur *Qmair* en fonction de la puissance moteur *Pe*, du pouvoir comburivore *Pco*, du coefficient d'excès d'air λ, du pouvoir calorifique *Pci* et du rendement effectif ηe. Calculez les débits d'air moteur *Qmair* aux points de couple et de puissance maxi.

2.2 - Pression collecteur

Pour la suite du sujet nous prendrons comme valeurs de débit d'air :

- **Au point de couple maxi: *Qmair* = 83,4 $g.s^{-1}$**
- **Au point de puissance maxi: *Qmair* = 166 $g.s^{-1}$**

2.2.1 - Exprimez de manière littérale la masse d'air admise par cycle et par cylindre *Mair* en fonction de *Qmair* moteur et du régime de rotation *N* du moteur.

Calculez les masses d'air admises par cycle et par cylindre *Mair* aux points de couple et de puissance maxi.

Sachant que le rendement volumétrique (fixé en avant projet à 0,95) est défini par l'expression $\eta v = \frac{Mair}{Mair\ admissible\ sous\ conditions\ collecteur}$, calculez les masses volumiques air collecteur minimales (en $kg.m^{-3}$) à couple et puissance maxi pour satisfaire les besoins en air du moteur.

On rappelle que : $Mair\ admissible\ sous\ conditions\ collecteur = Vu \times \rho air\ collecteur$

2.2.2 - En prenant en compte la température air maxi définie en avant projet, déduisez les pressions de suralimentation nécessaires aux points de couple et de puissance maxi (on considère l'air comme un gaz parfait et $r_{air} = 287\ J.kg^{-1}.K^{-1}$).

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

3ème partie: validation du choix des turbocompresseurs

Objectif :

- A partir de résultats d'essais pleine charge (document 1 page 14), vous allez tracer la courbe caractéristique du moteur dans les champs compresseurs (documents réponses DR3 et DR4). Vous aurez à déterminer le fonctionnement en modes mono et double turbocompresseur.

3.1 - Points de pleine charge dans le champ compresseur 1 :

3.1.1 - Indiquez et explicitez (en 5 lignes maximum) les limites définies sur le champ compresseur 1 (document réponse DR3).

3.1.2 - Calculez pour les points de couple et de puissance maxi les éléments suivants :

a) le débit massique de carburant *Qmcarb* en $g.s^{-1}$ en fonction de la *Cse* et de la *Pe*
b) le débit massique d'air réel *Qmair* en $g.s^{-1}$ en fonction de *Qmcarb* , du *Pco* et de la richesse *R*
c) le débit d'air corrigé *Qmaircorr* en $g.s^{-1}$ selon l'expression définie document réponse DR2
d) le rapport de pression *Papc/Pavc*

3.1.3 - Complétez le tableau du document réponse DR2.

3.1.4 - Tracez la courbe caractéristique pleine charge du moteur dans le champ compresseur 1 correspondant aux points 1 à 9 (document réponse DR3), en considérant que le compresseur 1 fournit 100% du débit (répartition 100 / 0).

3.2 - Interprétation de la courbe caractéristique pleine charge.

3.2.1 - A partir de quel point de fonctionnement (précisez le régime moteur) ce turbocompresseur seul n'est-il plus suffisant pour subvenir aux besoins du moteur ? Justifiez votre réponse en 3 lignes maxi.

3.2.2 - Tracez les points 8 à 12 en prenant en compte la répartition des débits indiquée dans le tableau DR2. Ce tracé se fait donc dans les champs compresseurs 1 et 2 (documents réponses DR3 et DR4).

3.2.3 - Au point de puissance maxi, déterminez pour chaque turbocompresseur le régime de rotation *Nréel* en $tr.mn^{-1}$ et le rendement isentropique de compression.

3.2.4 - On constate dans cet essai une répartition 60 / 40 des débits en mode 2 turbos, avec par conséquent la même pression aval pour les compresseurs. Si le constructeur veut modifier cette répartition, expliquez en 5 lignes maxi sur quels éléments il peut agir ?

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT 1

Tableau de relevé pleine charge

Points	Régime moteur Nmot $tr.mn^{-1}$	Cse $g.(kW.h)^{-1}$	Puissance effective Pe kW	T° air avant compresseur Tavc °C	Pression avant compresseur Pavc hPa	Pression après compresseur Papc hPa	Richesse R
1	1250	250	33	25,0	995	1600	0,900
2	1500	235	55	24,0	992	2100	0,870
3	1750	210	73	24,0	990	2300	0,850
4	2000	215	83	26,0	987	2350	0,830
5	2250	218	91	25,0	983	2400	0,825
6	2500	220	98	25,0	979	2425	0,800
7	2750	225	107	25,0	975	2500	0,800
8	3000	235	116	24,0	970	2550	0,780
9	3250	238	121	25,0	966	2600	0,770
10	3500	245	122	24,0	960	2675	0,760
11	3750	250	124	27,0	952	2650	0,740
12	4000	257	125	25,0	950	2650	0,710

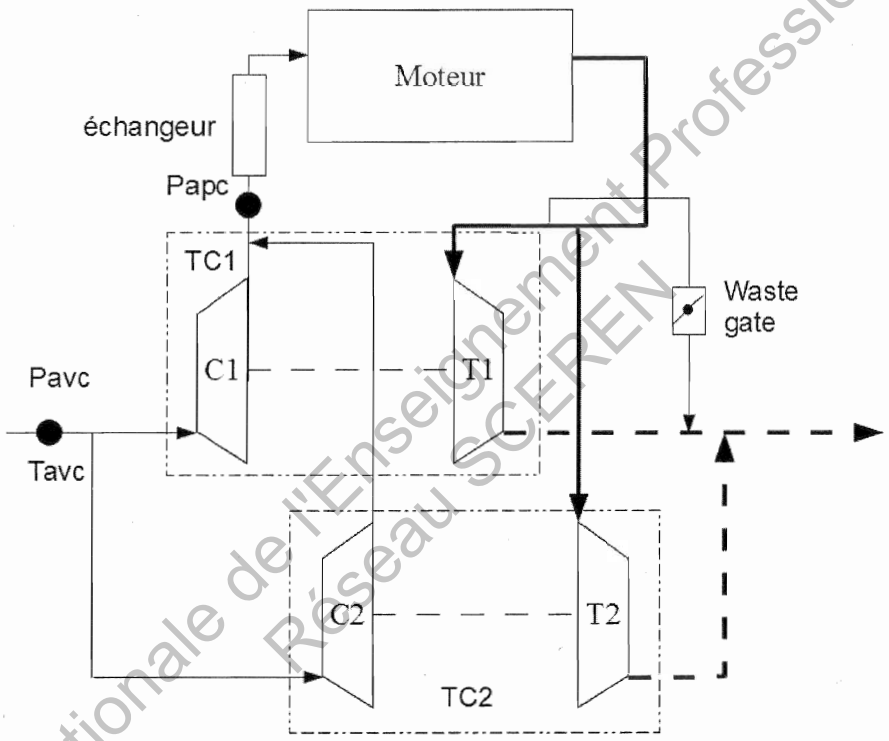
Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT 2

Caractéristiques du moteur et du carburant

Cylindrée :	2179 cm^3
Rapport volumétrique :	16 : 1
Nombre de cylindres :	4
Puissance maxi :	125 kW à 4000 $tr.min^{-1}$
Couple maxi :	400 N.m à 1750 $tr.min^{-1}$
Pouvoir comburivore Pco :	14,6
Pouvoir calorifique du carburant :	44000 $kJ.kg^{-1}$

Mise en situation



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

TC1 : turbocompresseur n°1
C1 : compresseur n°1
T1 : turbine n°1
TC2 : turbocompresseur n°2
C2 : compresseur n°2
T2 : turbine n°2
Pavc : pression avant compresseur
Tavc : température avant compresseur
Papc : pression après compresseur

DOCUMENT REPONSE DR2 (à rendre).

Tableau réponse à la question 3.1.3

points	Régime moteur Nmot $tr.mn^{-1}$	Débit massique carburant Qmcarb $g.s^{-1}$	Débit massique air réel Qmair $g.s^{-1}$	Débit massique air corrigé Qmaircorr $g.s^{-1}$	Rapport de pression Papc/Pavc	répartition des débits entre turbo 1 et 2 TC1/TC2
1	1250	2,292	37,18	36,94	1,61	100 / 0
2	1500	3,590	60,25	59.94	2,12	100 / 0
3	1750					100 / 0
4	2000	4,957	87,19	87,48	2,38	100 / 0
5	2250	5,511	97,52	98,07	2,44	100 / 0
6	2500	5,989	109,30	110,37	2,48	100 / 0
7	2750	6,688	122,05	123,75	2,56	100 / 0
8	3000	7,572	141,74	144,21	2,63	60 / 40
9	3250	7,999	151,68	155,22	2,69	60 / 40
10	3500	8,303	159,50	163,97	2,79	60 / 40
11	3750	8,611	169,89	177,01	2,78	60 / 40
12	4000					60 / 40

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

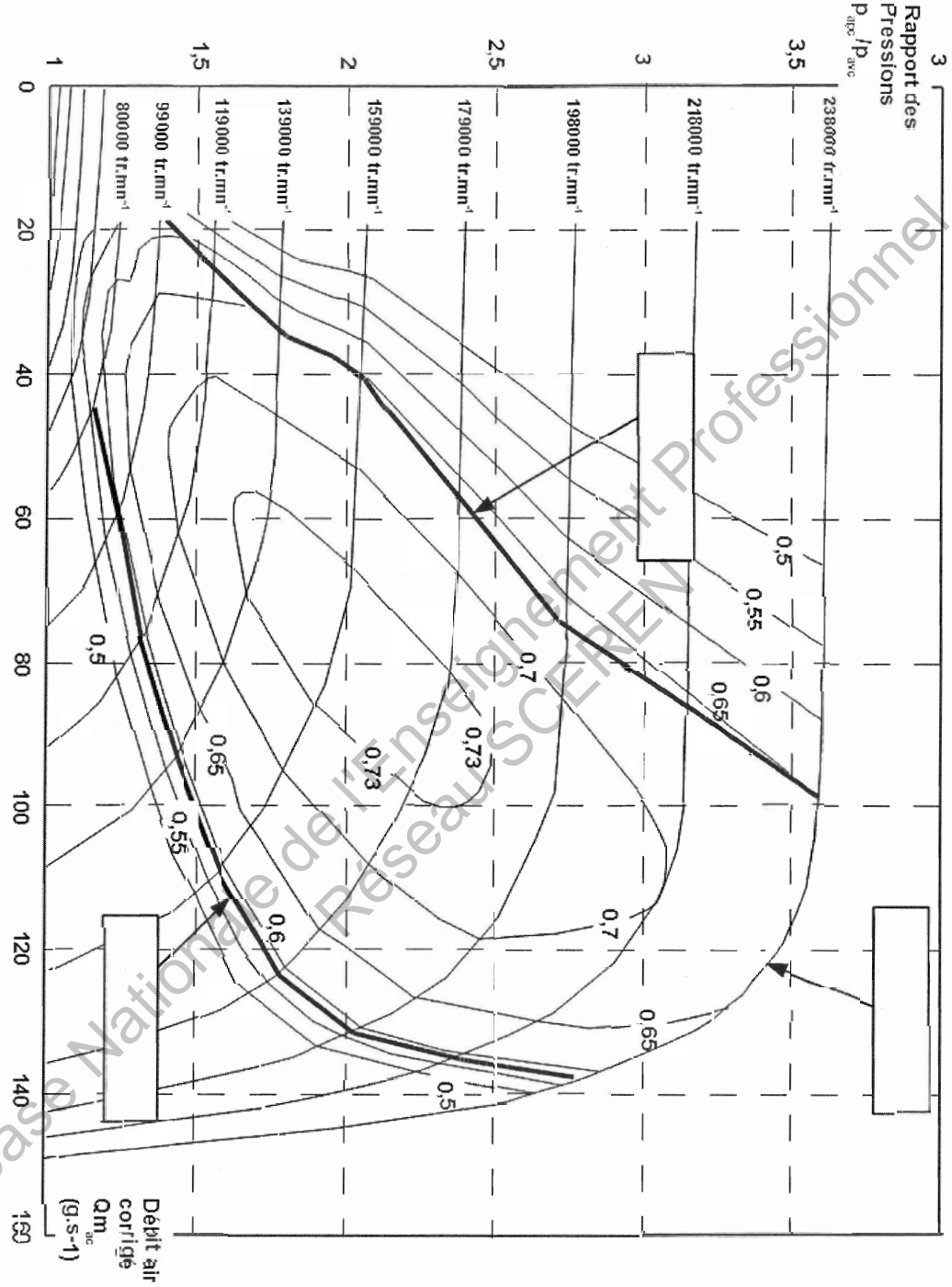
Débit d'air corrigé = $Qmaircorr = Qmair \times \sqrt{\frac{Tavc}{To}} \times \frac{Po}{Pavc}$

Régime compresseur corrigé $Ncorr = Nréel \times \sqrt{\frac{To}{Tavc}}$

avec :

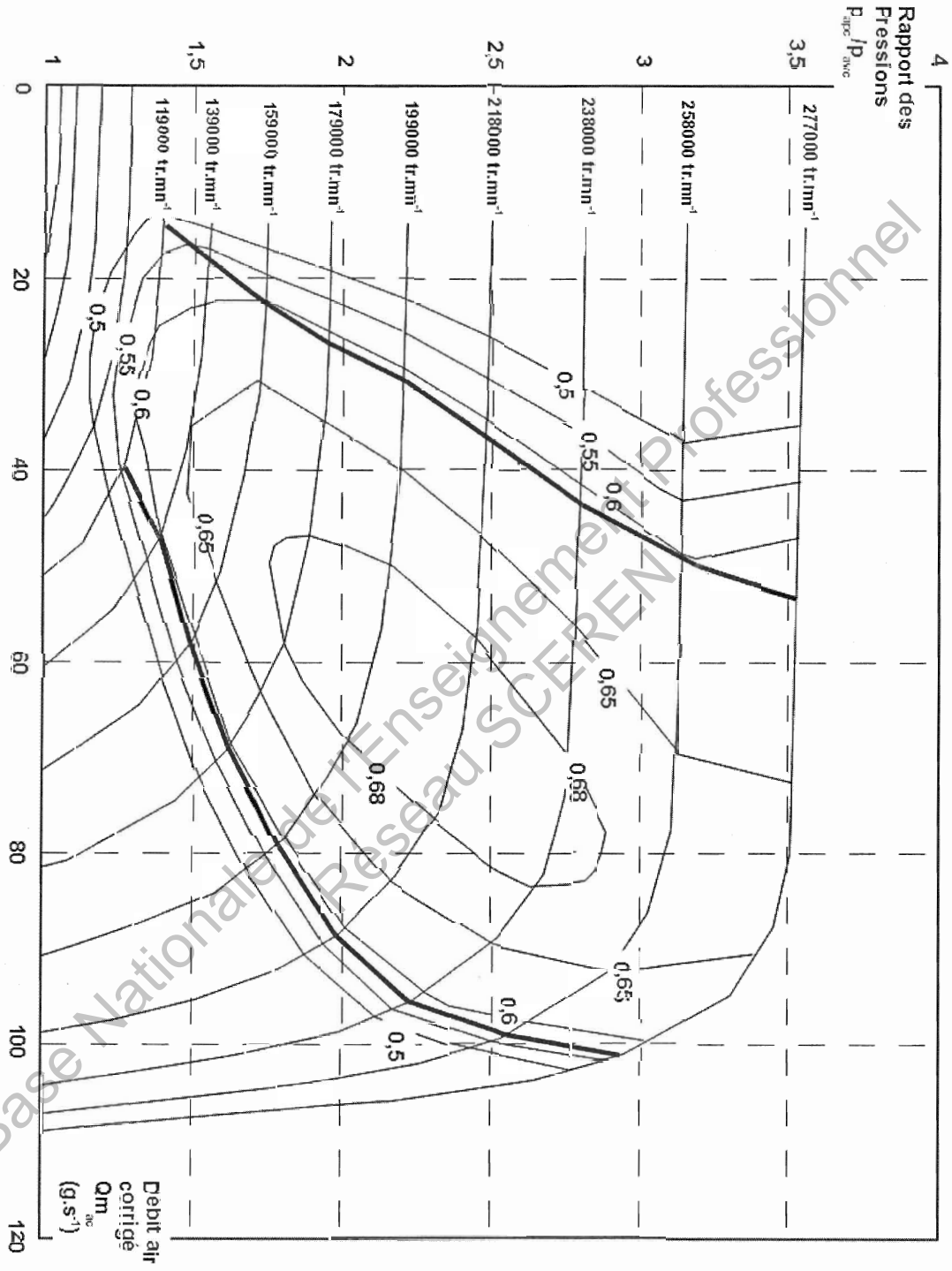
- Po = 980mbar
- To = 273K

DOCUMENT REPONSE DR3 (à rendre).
Champs compresseur n°1



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT REPONSE DR4 (à rendre).
Champs compresseur n°2



Base Nationale 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.