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 2014

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.

Le sujet comporte 18 pages numérotées de la façon suivante :

- Du texte : 6 pages numérotées de 2 à 7.
- Du document technique : 9 pages numérotées de 8 à 16.
- Du document réponse : 2 pages numérotées 17 et 18. Ces pages sont à rendre avec la copie.

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

CODE ÉPREUVE : 1406MOE5EAM		**EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**	**SPÉCIALITÉ :** MOTEURS À COMBUSTION INTERNE
SESSION : 2014	**SUJET**	***ÉPREUVE* : ÉTUDE DES MOTEURS U52 – ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS**	
Durée : 3h	**Coefficient : 3**	**SUJET N° 05ED14**	**18 pages**

Moteur à « 5 temps »

PRÉSENTATION DU SUJET

1. contexte

   - D'une façon générale, les recherches pour améliorer les performances des moteurs à combustion interne en termes de consommation et de pollution sont toujours actives, et cela depuis plus d'un siècle. Mais nous sommes désormais face à des enjeux cruciaux pour l'avenir de notre planète, et tous les efforts pour réduire la consommation de carburants fossiles sont actuellement mis en œuvre. C'est pourquoi des solutions permettant d'améliorer le rendement des moteurs sont toujours d'un vif intérêt.
   - On sait que le moteur à allumage commandé classique a un rendement théorique limité par le fait que les phases de compression et de détente se font avec des rapports volumétriques identiques, alors que l'augmentation de la phase de détente permettrait de récupérer plus d'énergie. De nombreuses solutions existent pour aller dans ce sens. On propose dans ce sujet d'étudier l'une d'entre elles : le moteur à « cycle à 5 temps ».
   - Ce principe de moteur est basé sur l'utilisation d'un – ou plusieurs – cylindres avec un rapport volumétrique relativement faible de façon à utiliser une forte suralimentation, et d'un autre cylindre avec un rapport volumétrique élevé permettant de réaliser une détente « prolongée » des gaz.

2. Organisation du sujet et conseils pour la rédaction

   Le sujet se compose :
   - Du texte : 6 pages numérotées de 2 à 7.
   - Du document technique : 9 pages numérotées de 8 à 16.
   - Du document réponse : 2 pages numérotées 17 et 18. Ces pages sont à rendre avec la copie.

   Le sujet est décomposé en 3 parties **inégales en temps et difficulté**, mais indépendantes.
   - Partie 1 : analyse théorique.
   - Partie 2 : simulation numérique.
   - Partie 3 : résultats d'essai sur moteur prototype et synthèse.

D'une façon générale, **on demande de rédiger les réponses de manière littérale et de préciser les unités utilisées.**

On conseille de bien lire les questions et les documents techniques ; **un petit texte décrit, au début de chaque partie et/ou sous partie, l'objectif, la problématique et les documents auxquels se référer.** Pour répondre aux questions posées, il faut mobiliser des connaissances fondamentales du cours, utiliser la documentation et faire preuve d'un peu de réflexion. Il n'y a pas de difficultés mathématiques ou calculatoires dans le sujet.

Temps conseillés :

Lecture du sujet :	10'
Partie 1 :	2h10'
Partie 2 :	25'
Partie 3 :	15'

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

ORGANISATION DE L'ÉTUDE

partie 1
- Point de vue théorique thermodynamique.
- Analyse du gain potentiel par détente prolongée.

partie 2
- Analyse des résultats d'une simulation numérique prenant en compte une loi de combustion, les pertes aux parois et les transferts de gaz.

partie 3
- Analyse des premiers résultats d'essai du prototype.

PARTIE 1 : POTENTIEL DE GAIN SUR LE RENDEMENT THÉORIQUE

Le but de cette partie est de calculer le gain potentiel de la solution proposée du « cycle à 5 Temps » au niveau du rendement thermodynamique théorique. Cette partie se fait sans suralimentation : la pression d'admission est de 1 bar et la température de 298 K.

Pour les calculs thermodynamiques, on se placera du « point de vue du gaz » : un travail de détente sera donc négatif ($dW = -p \cdot dv$).

On propose le plan de travail suivant :

Étude du potentiel de gain en rendement théorique par la détente prolongée sur la base d'un cycle Beau de Rochas (BdR).

Étude du moteur 3 cylindres 5 Temps : schéma, tableau de fonctionnement.

Calcul du rendement. Potentiel de gain comparé.

Analyse critique des résultats : évolution du rendement du moteur 5 T en fonction des paramètres d'influence principaux.

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

1. Étude du potentiel de gain sur un cycle BdR à détente prolongée

Dans cette partie, on s'intéresse au cycle BdR à détente prolongée décrit sur le ***document technique 1.***
La masse d'air admise est la masse contenue dans le **volume déplacé**, toujours dans les conditions P_1 et T_1.

- ***Documents techniques*** à consulter pour cette partie : 1 page 8/18

1.1. Rendement théorique du cycle Beau de Rochas : η_{th_BdR}

- **Calculer** le rendement du cycle Beau de Rochas (BdR) constituant la « base » du cycle présenté : η_{th_BdR}.

1.2. Énergie introduite

1.2.1. Déterminer la masse de carburant admise par le moteur : m_{carb}

1.2.2. En déduire l'énergie introduite dans le cycle : Q_1

1.3. Travail du cycle

- **Calculer** le travail fourni par ce cycle BdR : W_{cycle_BdR}

1.4. Travail de détente prolongée

1.4.1. Rapport volumétrique de détente prolongée : ε_{4-5}

- **Exprimer** et **calculer** le rapport volumétrique de « détente prolongée », c'est-à-dire du point 4 au point 5.

1.4.2. Calcul du travail de détente prolongée

On donne la formule de calcul du travail lors d'une **transformation isentropique** d'un point i à un point f :

$W_i^f = \frac{p_i.V_i}{\gamma-1} \cdot \left[\varepsilon_{i-f}^{1-\gamma} - 1\right]$ où p_i et V_i sont respectivement la pression et le volume au point initial, et ε_{i-f} le rapport volumétrique entre les points f et i $\left(\varepsilon_{i-f} = \frac{V_f}{V_i}\right)$.

- **Calculer** le travail de détente prolongée W_4^5

1.5. Calcul du travail échappement

- **Calculer** le travail d'échappement W_5^1

1.6. Calcul le travail du cycle à détente prolongée : W_{cycle}

- **Calculer** le travail du cycle « **complet** » à détente prolongée W_{cycle}

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

1.7. Bilan du cycle à détente prolongée

On prendra pour la suite : $W_{cycle} = -2390\ J$

1.7.1. En déduire le rendement théorique de ce cycle : η_{th_cycle}

1.7.2. Calculer le gain de rendement théorique par rapport au cycle BdR

2. Étude du cycle du moteur à 5 Temps

Dans cette partie, on s'intéresse au moteur à 5 Temps décrit sur le ***document technique 2***.
Le cycle modélisant le fonctionnement de ce moteur est décrit sur le ***document technique 2/2***.
Toutes les données nécessaires aux calculs sont indiquées dans ce document.
On a tracé sur un tableur les évolutions du travail, pour chaque cylindre, en fonction de l'angle a, et cela sur 2 tours (un cycle). Ces graphiques permettront de mieux comprendre le fonctionnement du système et de déterminer plus facilement le rendement du cycle.

- ***Documents techniques*** à consulter pour cette partie : 1, 2 et 3.
- ***Documents réponses*** à compléter pour cette partie : 1.

2.1. Compléter le tableau de fonctionnement (document réponse 1)

2.2. Détermination du rapport volumétrique de détente dans le cylindre 2 : ε_{5-6}

2.2.1. Déterminer le volume V_5

2.2.2. Déterminer le volume V_6

2.2.3. En déduire rapport volumétrique de détente dans le cylindre 2 : ε_{5-6} ainsi que la variation de volume $\Delta V = V_6 - V_5$

2.3. Calcul du travail de détente prolongée : W_5^6

- À l'aide de la formule donnée en §1.42, **calculer** le travail de détente : W_5^6.
- Le ***graphique 1*** du ***document technique 3/3*** (travail **cumulé** durant la phase de détente prolongée) donne-t-il une valeur comparable ? **Justifier** la réponse.

2.4. Travail des 3 cylindres

On pourra lire, sur le graphique du **document technique 3/3**, le travail pour chaque cylindre selon la même « méthode » qu'à la question 2.3.

- À l'aide du ***graphique 2*** du ***document technique 3/3,*** **déterminer** la valeur du travail de chacun des 3 cylindres pour un cycle (2 tours).

2.5. Travail du cycle et rendement théorique

- **Déduire** des questions précédentes le travail du cycle complet (pour les 3 cylindres).
- **Déterminer** enfin le rendement théorique. **Justifier** la réponse.

2.6. Calculer le gain par rapport au cycle BdR

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

3. Analyse critique l'évolution du rendement théorique en fonction des 4 facteurs d'influence

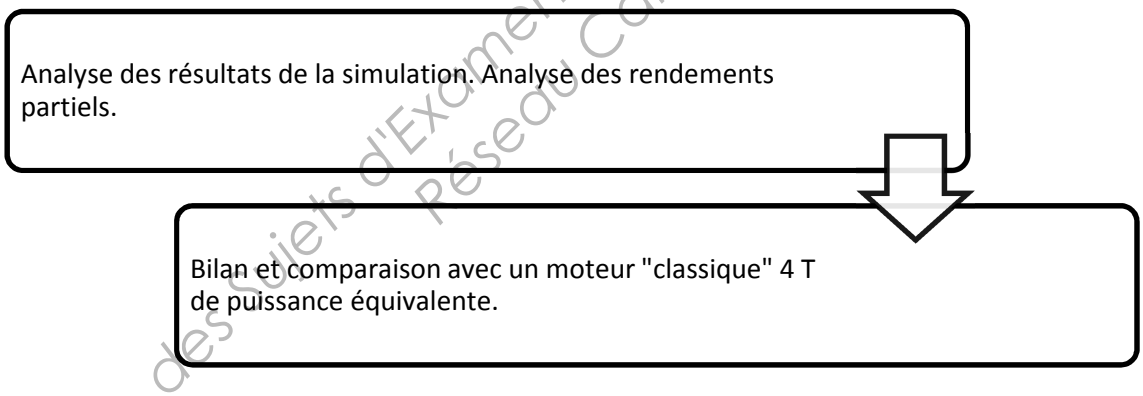
Les calculs de thermodynamique montrent que le rendement du cycle du moteur à 5 Temps tel que modélisé plus haut est une fonction de : Q_1, ε_{cyl1}, ε_{cyl2} et V_{cyl2}.
On a tracé sur le ***document technique 4*** (page 14) l'évolution du rendement théorique en faisant varier ces 4 facteurs, deux par deux.

- ***Documents techniques*** à consulter pour cette partie : 4 (page 14).

- **Analyser** et **justifier**, à l'aide des graphiques du ***document technique 4*** et en quelques lignes, l'évolution du rendement en fonction de Q_1, ε_{cyl1}, ε_{cyl2} et V_{cyl2}.

PARTIE 2:SIMULATION NUMÉRIQUE

Une simulation numérique a été menée sur un logiciel de calcul moteur. Cette étude porte sur les performances du moteur « 5 Temps », **suralimenté à 3,9 bars**. La simulation a été effectuée pour un régime constant de 4000 tr.min^{-1}, pleine charge.
Le logiciel de simulation prend en charge des modèles pour calculer la géométrie du moteur, les pertes par friction, les échanges thermiques, les transferts gazeux, la combustion…Il fournit donc des résultats permettant de poursuivre, de façon plus fine que la simple analyse théorique, l'étude du potentiel du moteur à 5 Temps.
On propose le plan de travail suivant :



Données complémentaires pour cette partie :

- Énergie introduite pour **un** cylindre « HP » (cylindre 1 ou 3) : $Q_1 = 1582{,}8\ J$
- Le rendement de combustion est donné : $\eta_c = 0{,}98$.
- Le rendement thermodynamique théorique du moteur « 5 T », établi dans la partie 1 est : $\eta_{th} = 0{,}655$.
- **Attention :** les travaux sont, dans cette partie, exprimés « du point de vue piston » (travail de détente positif).
- Une simulation similaire a été menée pour un moteur « classique » 4 T 4 cylindres de 1200 cm^3. Les résultats sont donnés dans le tableau de synthèse.
  Reporter tous les résultats dans les tableaux de synthèse du document réponse 2.

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

- ***Documents techniques*** à consulter pour cette partie : 5
- ***Documents réponses*** à compléter pour cette partie : 2

4. Analyse des résultats de la simulation

4.1. Déterminer, pour le cycle (3 cylindres) :

- le travail indiqué W_{i_3cyl}.
- le travail de frottement W_{f_3cyl}
- le travail effectif W_{eff_3cyl}

Reporter tous les résultats dans les tableaux de synthèse du document réponse 2.

4.2. En déduire, dans l'ordre :

- Le rendement indiqué η_{i_5T} .
- Le rendement effectif η_{eff_5T}.
- Le rendement mécanique η_{m_5T}.
- Le rendement de forme η_{f_5T}.

PARTIE 3:ANALYSE DES ESSAIS SUR MOTEUR PROTOTYPE _ SYNTHÈSE

Des essais ont été menés sur un moteur « 5 Temps » prototype. Tous les résultats ne sont pas disponibles, mais on donne des résultats de CSE pour 2 moteurs : un 4 Temps « classique » et le « 5 Temps ».

- ***Documents techniques*** à consulter pour cette partie : 6

5. Champ d'iso-CSE

- Déterminer les meilleurs CSE et rendements pour chacun des moteurs.

Reporter les résultats dans le tableau de synthèse (document réponse 2).

6. Synthèse

- En quelques lignes, rédiger une synthèse de l'étude. On pourra utiliser les résultats synthétisés sur le tableau, et commenter les rendements théoriques et mécaniques…

Répondre sur le document réponse 2.

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

Document technique 1

Hypothèses, données et modélisation

1. Données générales

- Gaz parfaits assimilés à l'air.

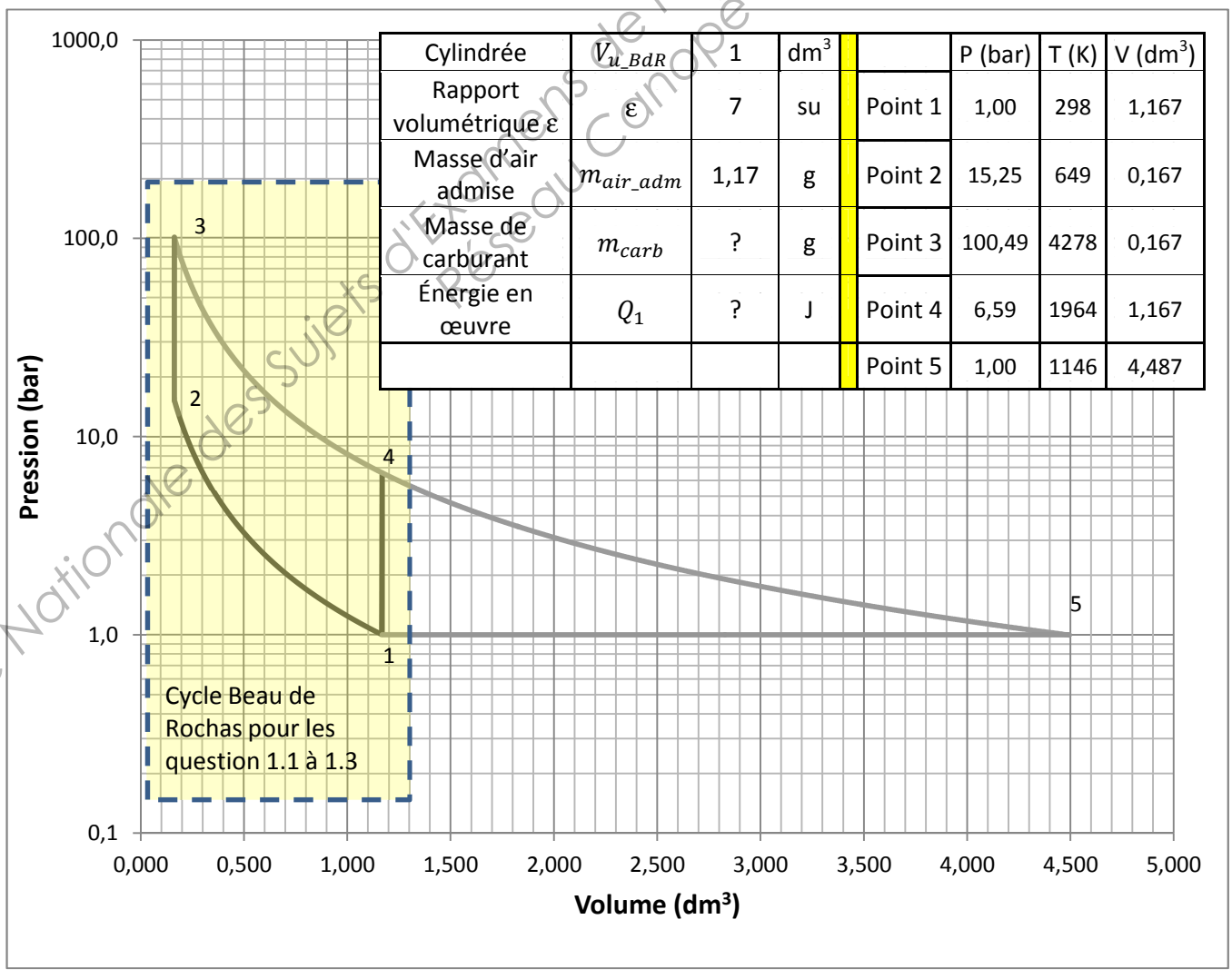
Pression initiale	P_1	10^5	Pa
Température initiale	T_1	298	K
Pouvoir Calorifique Inférieur	PCI	44	$kJ.g^{-1}$
Pouvoir Comburivore	PCO	14,5	su
Richesse	ϕ	1	su
Exposant isentropique	γ	1,4	su
Constante de l'air	r	286,7	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
Capacité thermique massique à pression constante	c_p	1003,4	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
Capacité thermique massique à volume constant	c_v	716,7	$J.kg^{-1}.K^{-1}$

su : sans unité

2. Cycle théorique à détente prolongée

- Diagramme **« log(p)=f(v) »** d'un cycle théorique BdR, sur lequel on a « ajouté » une détente prolongée jusqu'à revenir à la pression initiale.

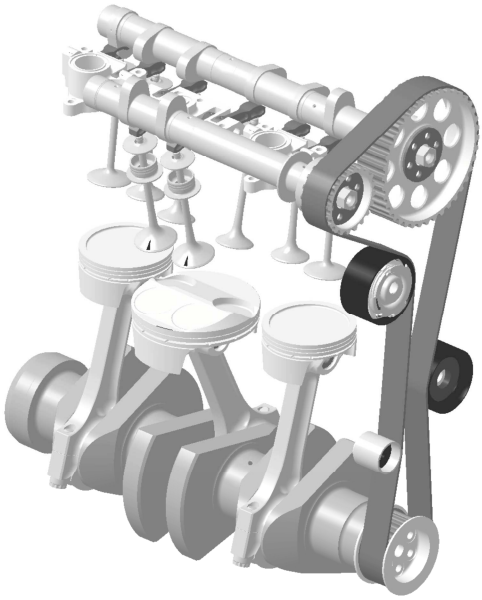
Cylindrée	V_{u_BdR}	1	dm^3		P (bar)	T (K)	V (dm^3)
Rapport volumétrique ε	ε	7	su	Point 1	1,00	298	1,167
Masse d'air admise	m_{air_adm}	1,17	g	Point 2	15,25	649	0,167
Masse de carburant	m_{carb}	?	g	Point 3	100,49	4278	0,167
Énergie en œuvre	Q_1	?	J	Point 4	6,59	1964	1,167
				Point 5	1,00	1146	4,487

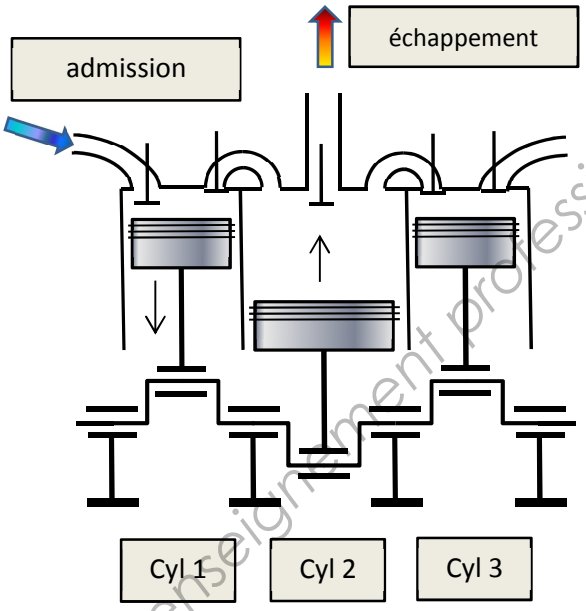


Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

Document technique 2 (1/2)

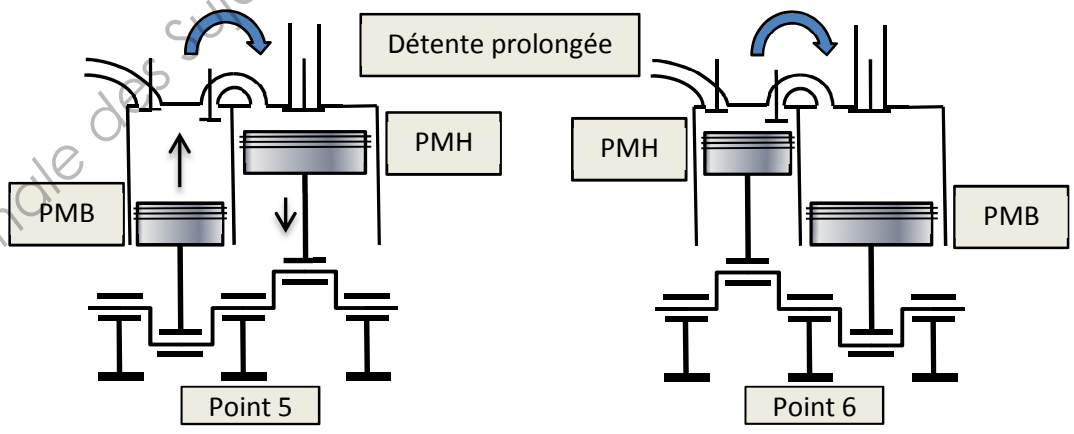
Schéma de présentation du moteur à 5 Temps





Le moteur comporte 3 cylindres. Seuls les cylindres 1 et 3 réalisent des combustions. Le cylindre 2 assure la détente « prolongée » des gaz grâce aux canaux de transfert. Il assure également l'évacuation des gaz brûlés. On pourra parler de cylindres HP (Haute Pression) pour le 1 et le 3, et de cylindre BP (Basse Pression) pour le 2.

Situation en début et fin de détente « prolongée »

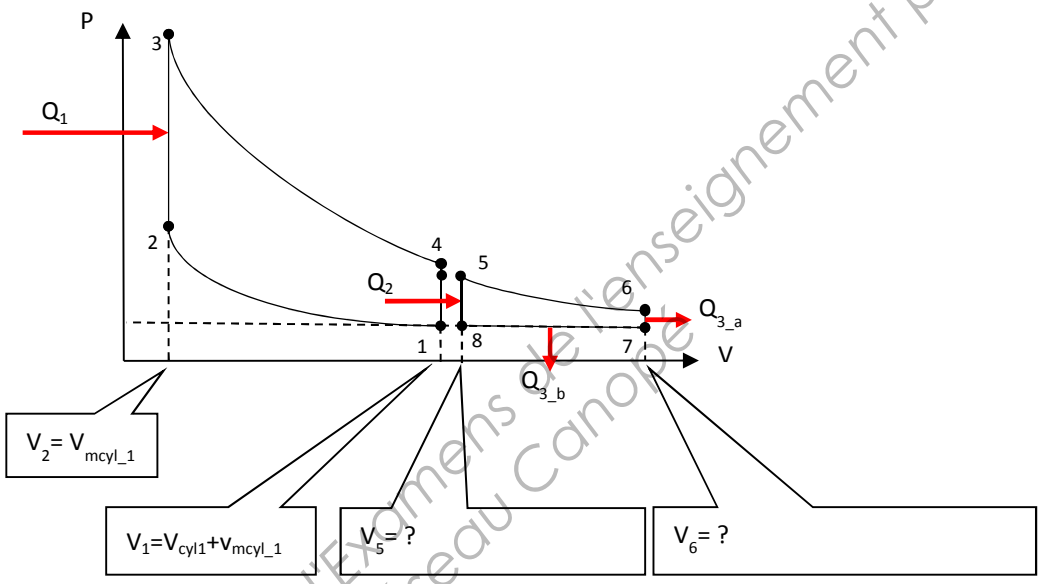


Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Document technique 2 (2/2)

Cycle représentant le Moteur 5 Temps

- Pour ce modèle, on ne considère que les cylindres 1 et 2. Il existe une « symétrie » de fonctionnement avec les cylindres 3 et 2.
- On néglige les volumes des canaux de transfert.
- On considère un cycle Beau de Rochas classique, auquel on « adjoint » une détente prolongée.
- La combustion isochore est réalisée avec l'énergie Q_1.
- En fin de détente, le transfert vers le cylindre 2 s'ouvre. La détente se poursuit **dans les cylindres 1 et 2**. L'énergie Q_2 est « transférée » dans le système formé par les **cylindres 1 et 2**. En d'autres termes, le volume à prendre en compte est la somme des volumes des cylindres 1 et 2 à chaque position du vilebrequin.



	cylindres 1 et 3			cylindre 2		
cylindrée	V_{cyl1}	0,150	dm^3	V_{cyl2}	0,449	dm^3
volume mort	vm_{cyl_1}	25.10^{-3}	dm^3	vm_{cyl_2}	$26,9.10^{-3}$	dm^3
rapport volumétrique	ε_{cyl1}	7	S	ε_{cyl2}	17,7	su
énergie introduite	Q_1	532	J	Q_2	?	J

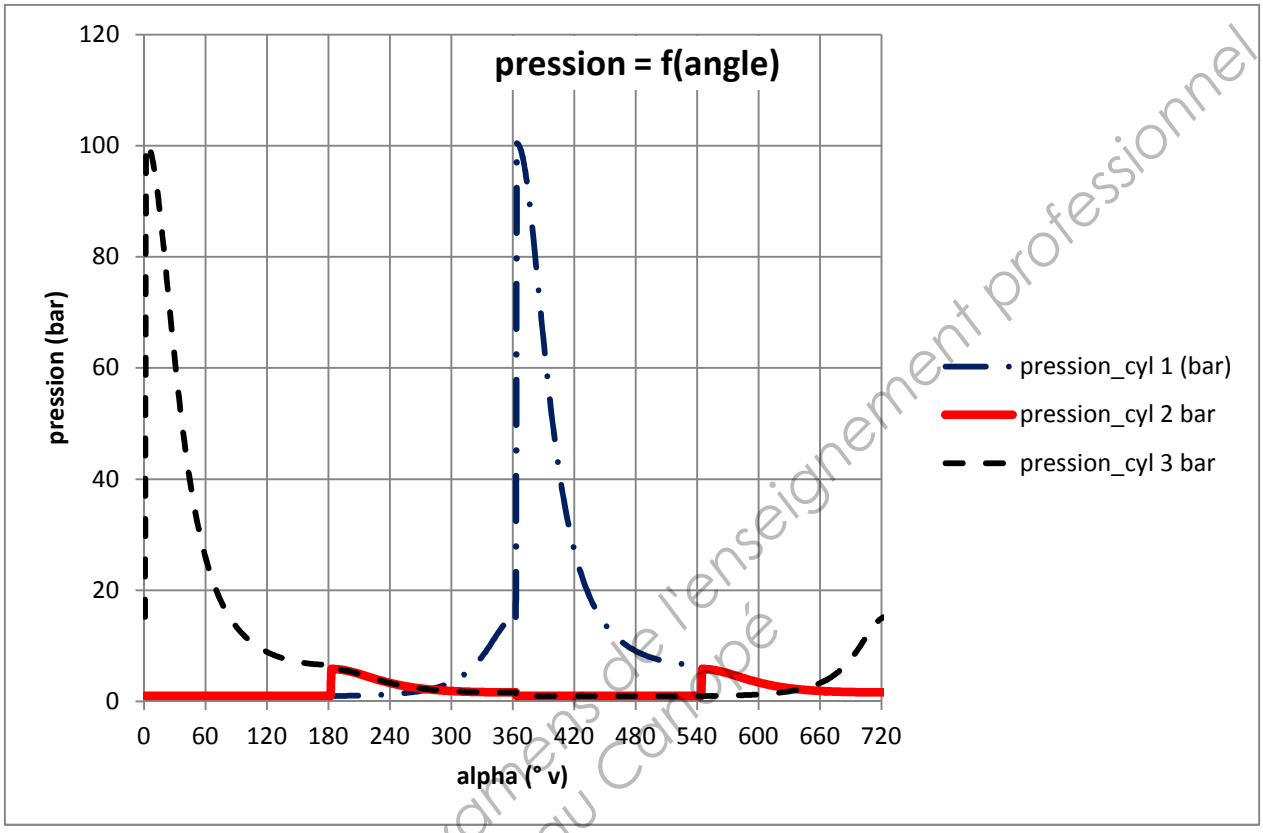
	P (bar)	T (K)	V (dm3)
Point 5	5,85	1742,37	?
Point 6	1,64	1211,40	?
Point 7	1,00	739,35	?
Point 8	1,00	298,00	?

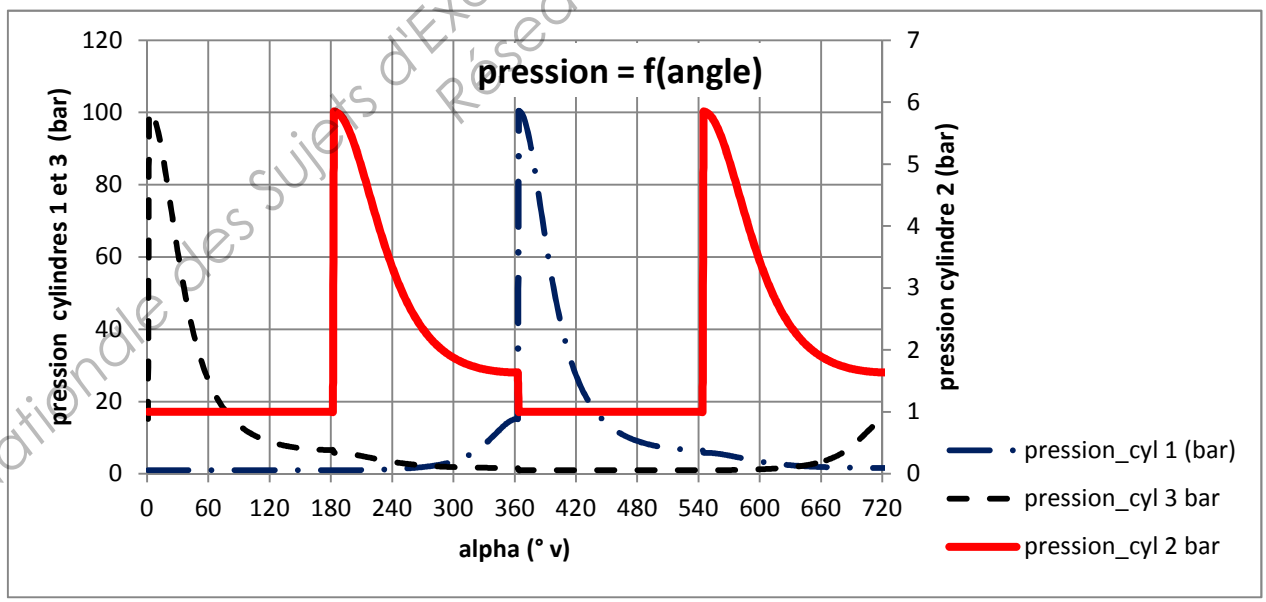
su : sans unité

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

Document technique 3 (1/3)

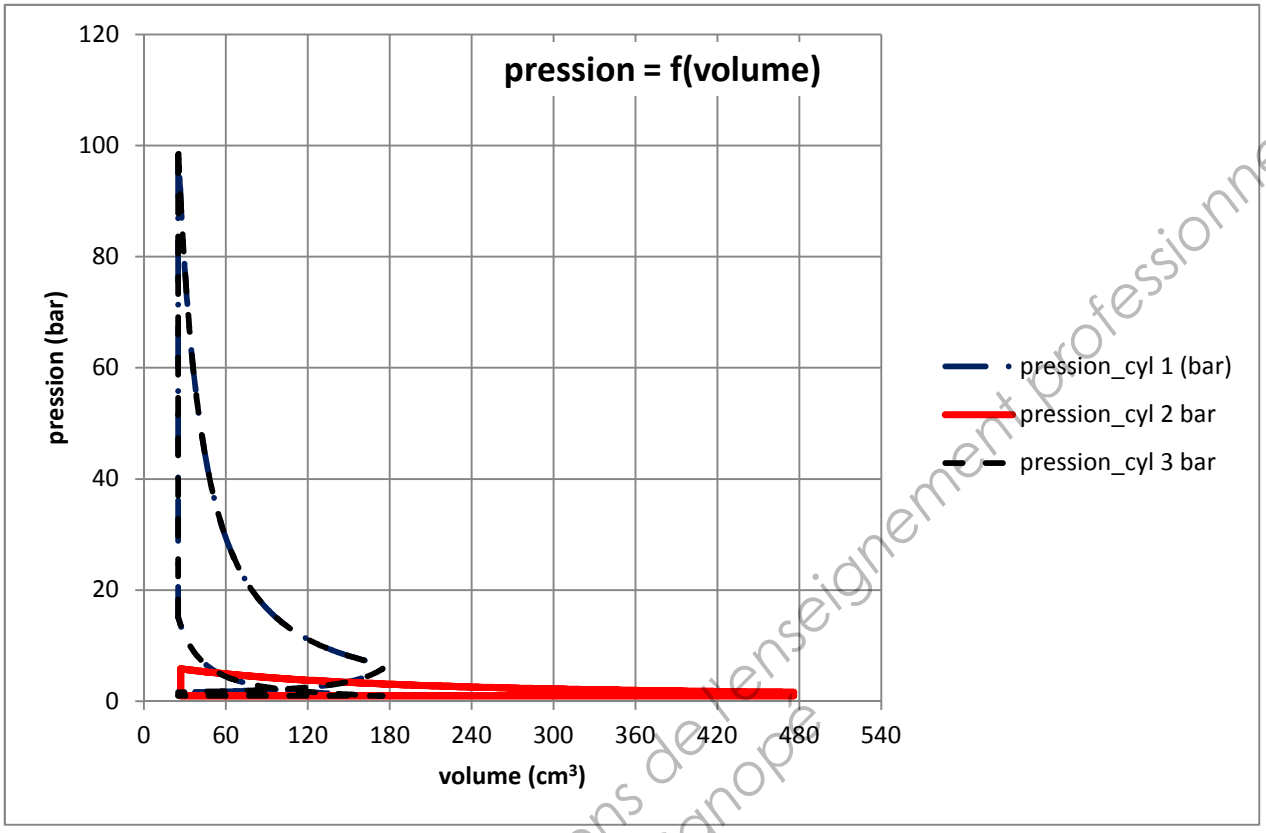
Cycles théoriques calculés et tracés sur tableur

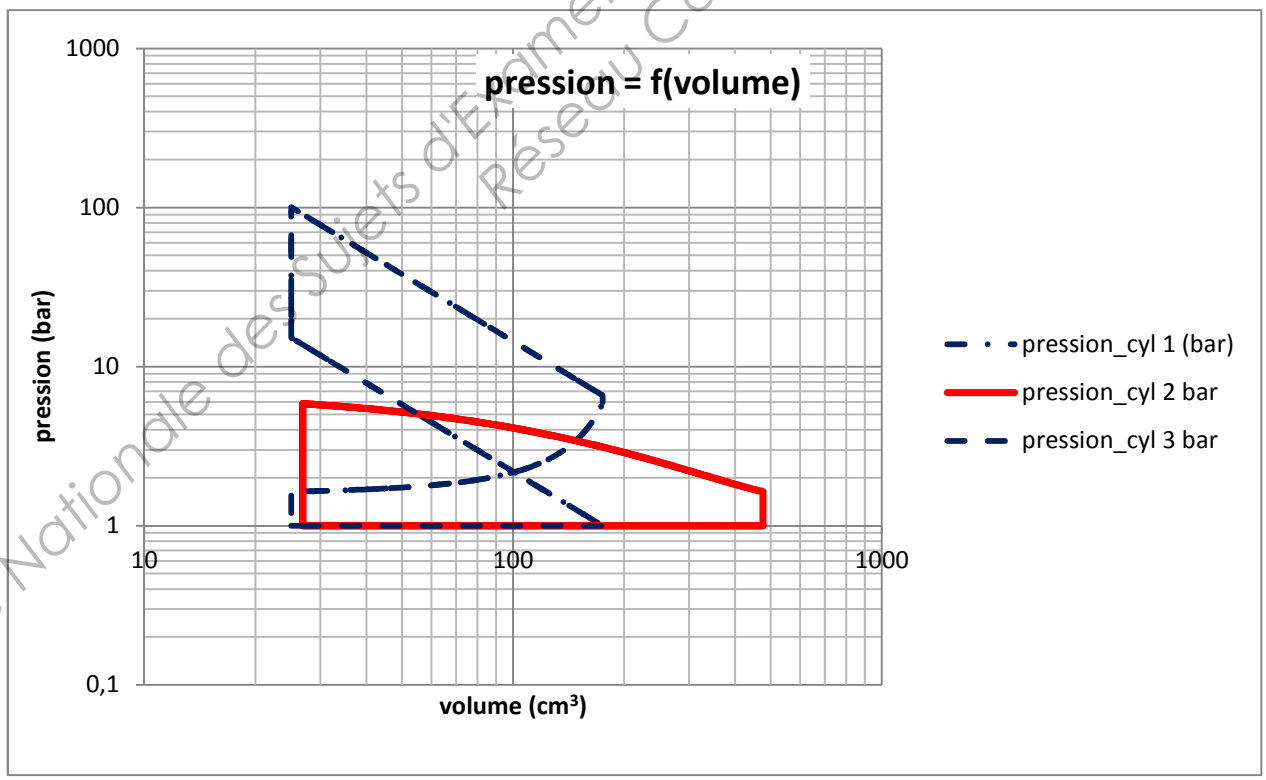




Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

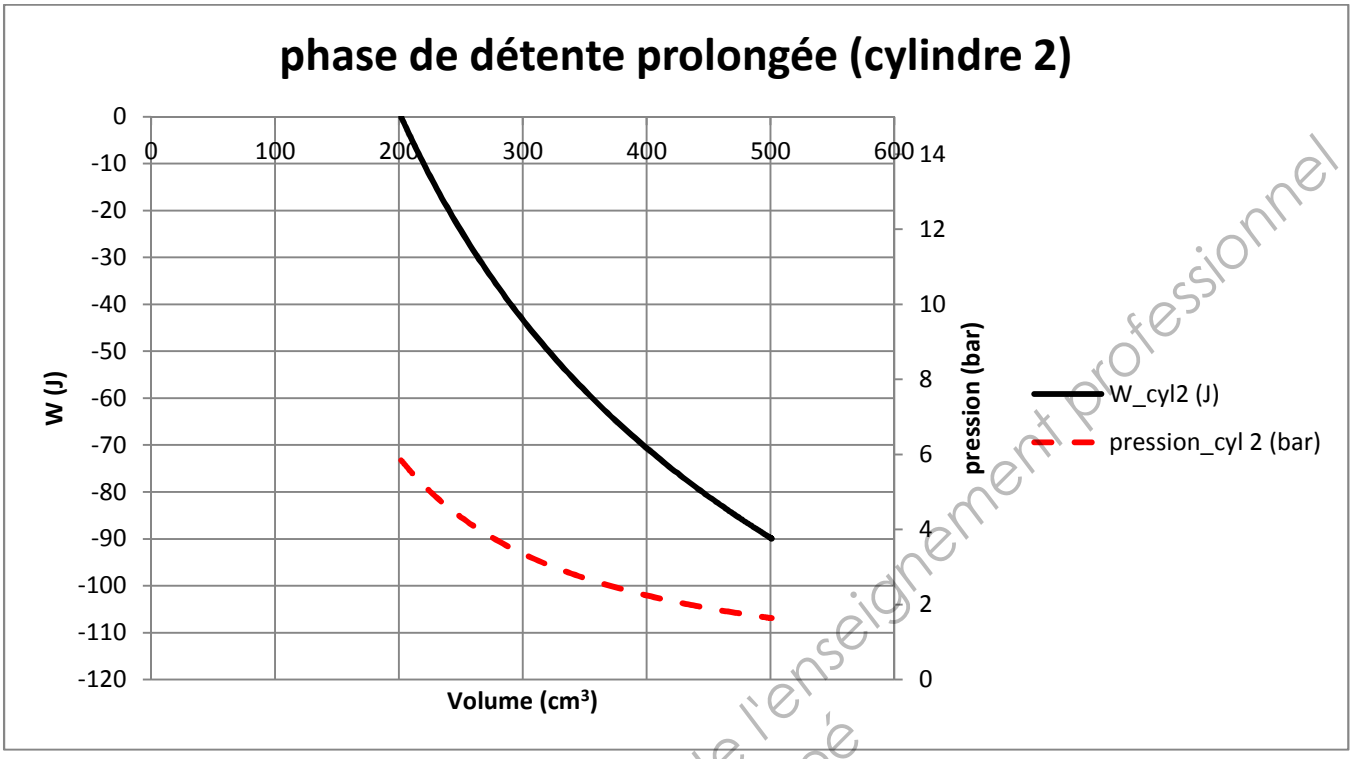
Document technique 3 (2/3)

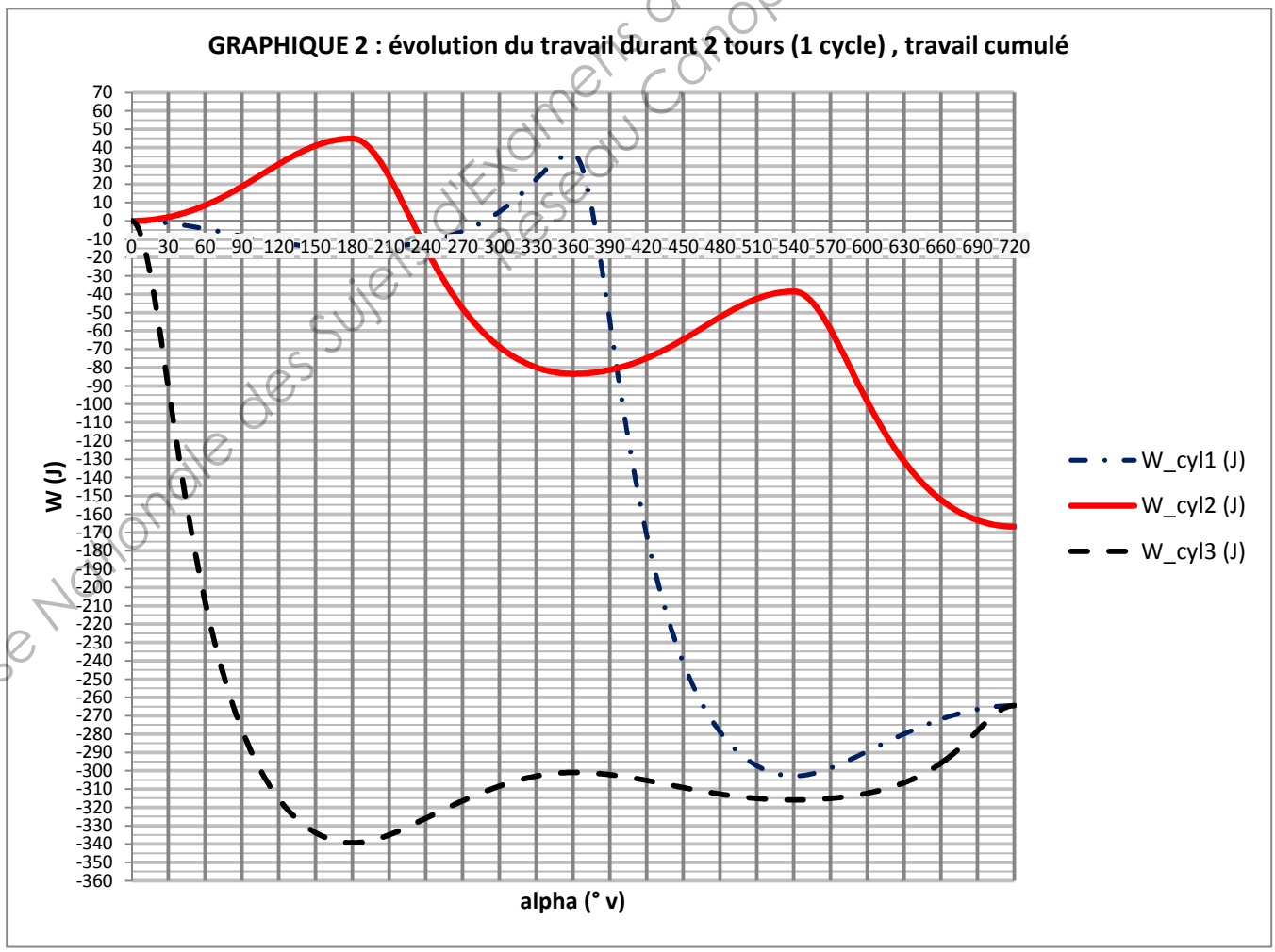




Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Document technique 3 (3/3)

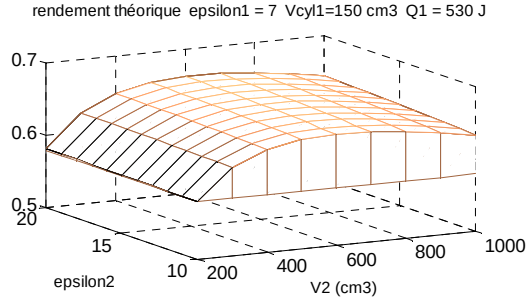


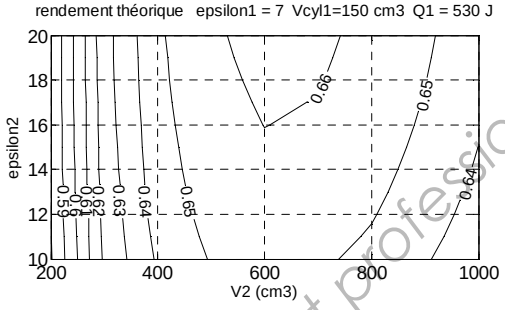


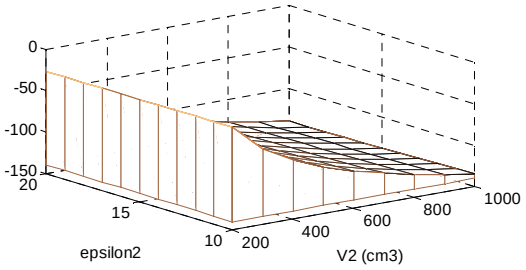
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

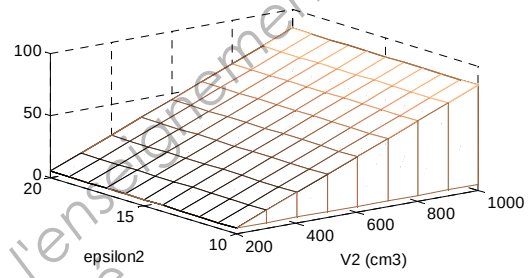
Document technique 4

Évolutions du rendement théorique en fonction de : ε_2 et V_2

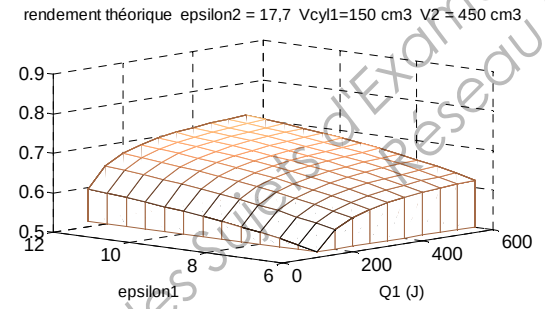


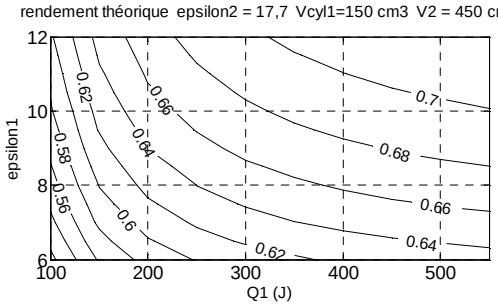


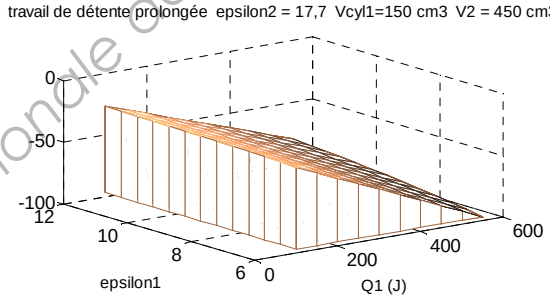


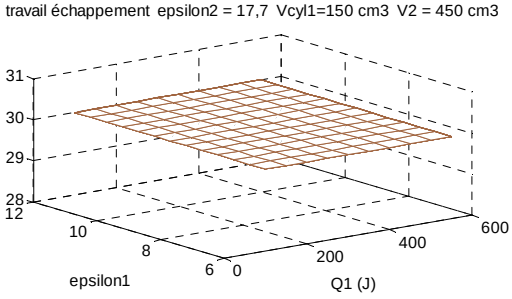


Évolutions du rendement théorique en fonction de : ε_1 et Q_1





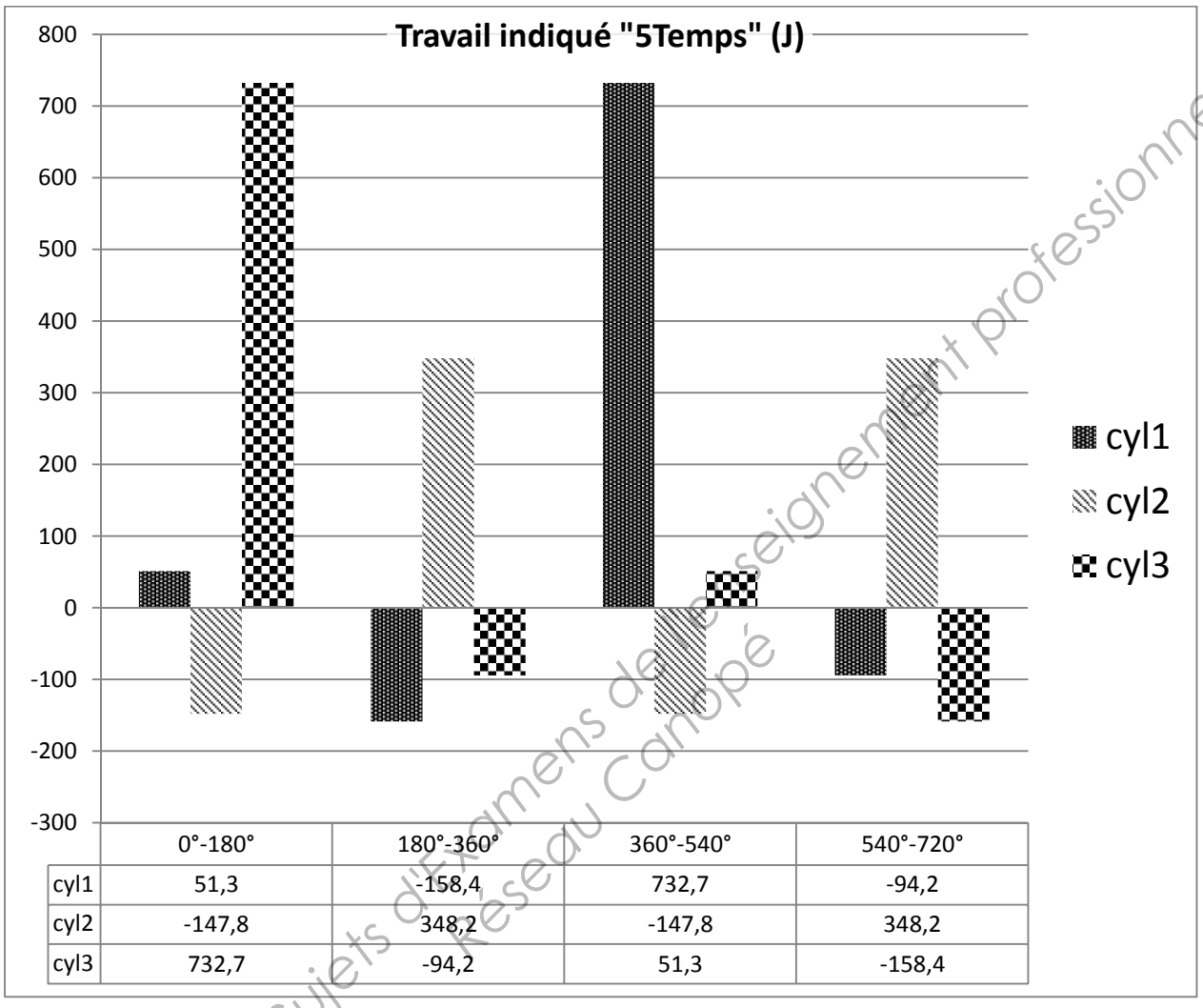




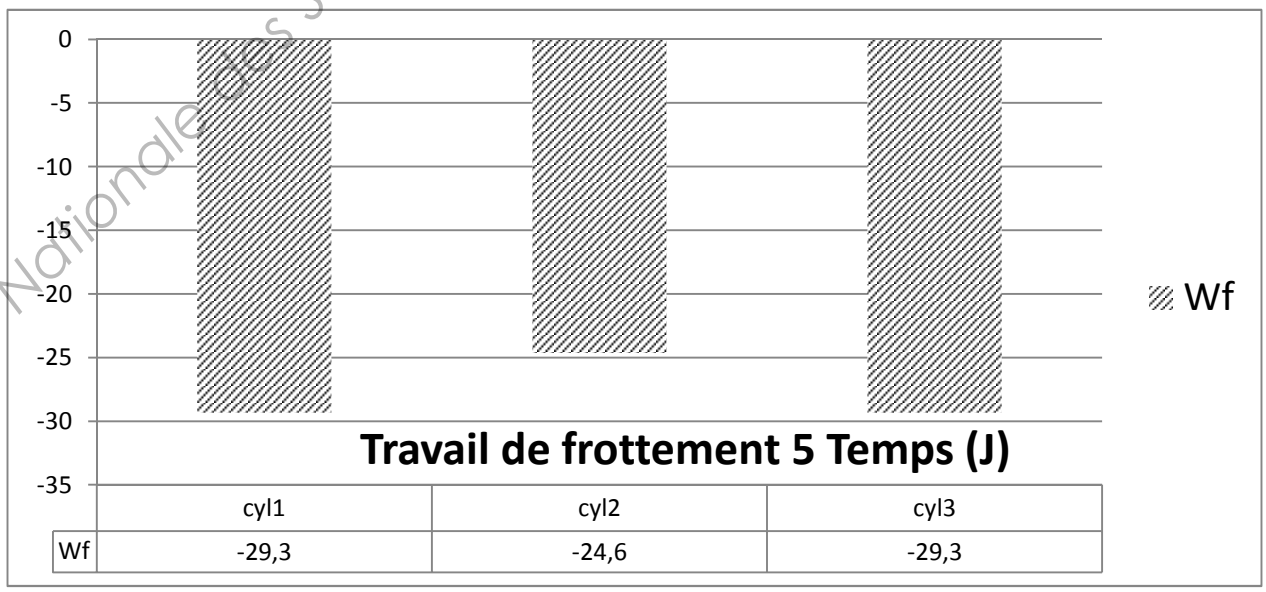
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Document technique 5

Résultats de la simulation



	0°-180°	180°-360°	360°-540°	540°-720°
cyl1	51,3	-158,4	732,7	-94,2
cyl2	-147,8	348,2	-147,8	348,2
cyl3	732,7	-94,2	51,3	-158,4



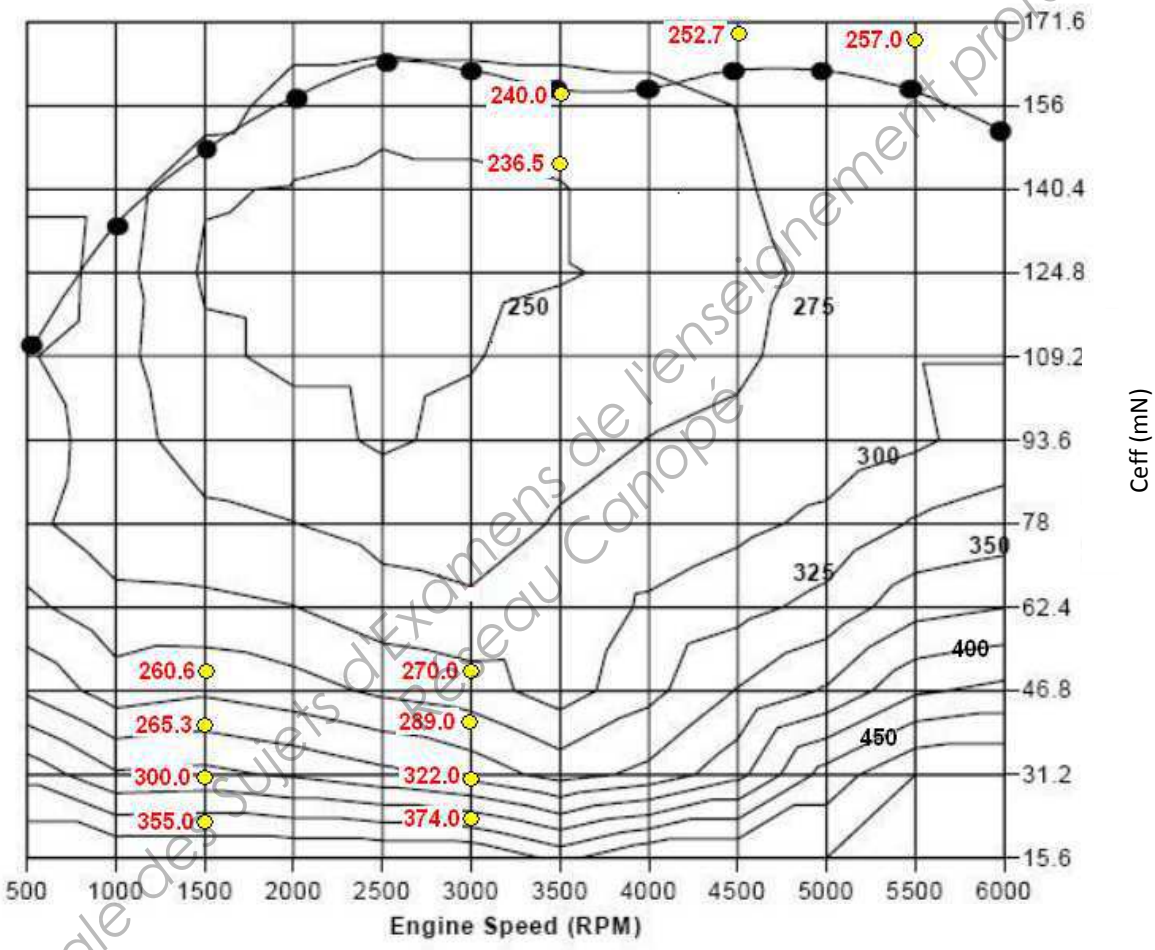
	cyl1	cyl2	cyl3
Wf	-29,3	-24,6	-29,3

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

Document technique 6

Mesures sur prototype

Le graphe ci-dessous représente le champ de la CSE d'un moteur de référence (standard 4T) dans lequel on a placé quelques points mesurés lors d'essais du prototype « 5T ».



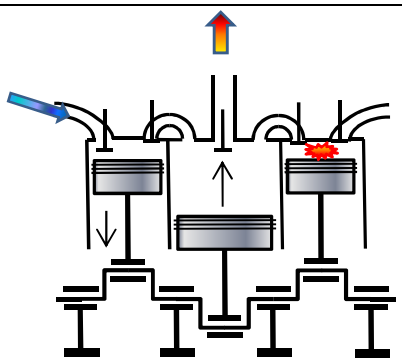
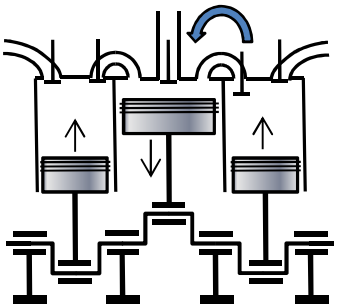
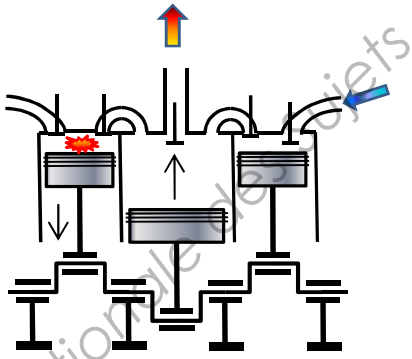
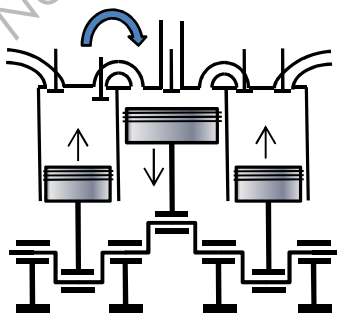
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

Document Réponse 1

- Question 1.1 : **indiquer** les différentes phases de fonctionnement avec les « codes » ci-dessous :

A ↓ : admission ; C ↑ : compression ; CD ↓ : combustion détente (HP) ;

T ↑ : transfert ; E ↑ : échappement ; D ↓ : détente (BP).

	Cylindre 1	Cylindre 2	Cylindre 3
	A ↓		
			
			
			

0°

180°

360°

540°

720°

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

Document Réponse 2

	pour un cycle (720°)		
	travail indiqué (J)	**travail de frottement (J)**	**travail effectif (J)**
cyl1	?	?	?
cyl2	?	?	?
cyl3	?	?	?
bilan pour le moteur	?	?	?

su : sans unité.

				moteur 4 T	moteur 5 T
	rapport volumétrique ε	ε	su	10,0	7 / 17,7
	C_{eff} @ 4000 tr.min^{-1}	C_{eff}	mN	109,8	109,8
simulation	PME @ 4000 tr.min^{-1}	PME	bar	11,5	46,0
	PMF @ 4000 tr.min^{-1}	PMF	bar	1,5	2,8
	PMI @ 4000 tr.min^{-1}	PMI	bar	13,0	48,8
	rendement théorique thermodynamique	η_{th}	su	0,602	0,665
	rendement de combustion	η_c	su	0,98	0,98
	rendement indiqué	η_i	su	0,402	?
	rendement mécanique	η_m	su	0,885	?
	rendement de forme	η_f	su	0,682	?
	rendement effectif	η_{eff}	su	0,356	0,436
prototype	rendement effectif	η_{eff}	su	0,327	?

Synthèse

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

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.