



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

EFE GMV 1

SESSION 2018

**CAPLP
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

**Option : MAINTENANCE DES VÉHICULES, MACHINES AGRICOLES,
ENGINS DE CHANTIER**

ANALYSE D'UN PROBLÈME TECHNIQUE

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

BUS MULTI-HYBRIDE



Informations aux candidats

Le sujet est organisé en :

- un dossier technique (DT1 à DT11) ;
- un dossier ressource (DRES1 et DRES2) ;
- un dossier questionnaire qui se décline en 45 questions ;
- un dossier réponse (DR1)

Le dossier questionnaire est structuré en quatre parties qui se décomposent en sous parties. Celles-ci sont totalement indépendantes mais il est préférable de les traiter dans l'ordre du sujet afin d'avoir une progressivité dans la compréhension des systèmes.

Les trois premières parties se terminent par la recherche de causes de dysfonctionnements des systèmes qui participent à la propulsion du véhicule.

Le dossier ressource comprend un formulaire (DRES2).

Il est demandé aux candidats de répondre sur feuilles de copie, en prenant soin d'indiquer le numéro de la question et rendre, avec les feuilles de copie, le documents réponse DR1 complété ou non.

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► Concours externe du CAPLP de l'enseignement public :

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E F E	4 5 0 0 J	1 0 1	7 3 9 7

► Concours externe du CAFEP/CAPLP de l'enseignement privé :

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E F F	4 5 0 0 J	1 0 1	7 3 9 7

DOSSIER TECHNIQUE

DT1 Description générale



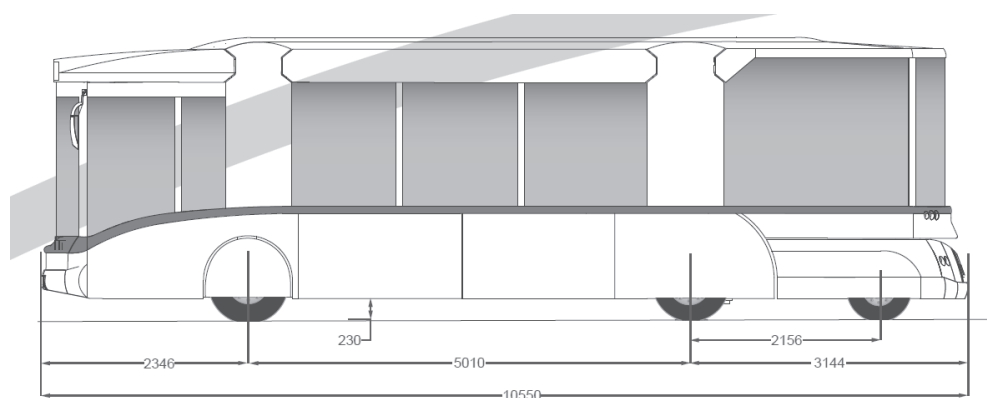
Ce bus électrique est doté d'une assistance à la propulsion hydropneumatique et d'un moteur Diesel qui permet d'accroître l'autonomie. Les trois sources d'énergie s'articulent autour d'une boîte de couplage et d'un module informatisé de contrôle multi-énergies qui sélectionne l'énergie motrice utilisée afin de tendre vers le « zéro émission » en ville. Ce dispositif permet une autonomie jusqu'à 100 km sans utiliser le moteur thermique. En phase démarrage, la transmission hydraulique exploite l'énergie qui a été stockée dans l'accumulateur hydropneumatique lors de la décélération précédente. Lorsque l'énergie hydropneumatique s'épuise, la transmission électrique prend le relais. L'énergie du moteur thermique vient éventuellement en appoint afin d'augmenter l'autonomie.

Le module informatisé de contrôle est programmable en fonction des caractéristiques de l'itinéraire et du comportement attendu. Les batteries sont rechargées pendant la nuit et lors des phases de décélération (récupération de l'énergie cinétique). L'accumulateur hydropneumatique est prioritaire sur les batteries lors de la récupération de l'énergie cinétique.

Le châssis du bus a été divisé en deux modules, l'un pour le stockage des batteries (vue ci-contre), l'autre pour les passagers. Cette architecture permet de dédier le module arrière à la source d'énergie principale, la rendant interchangeable en cas de panne.



DT2 Caractéristiques techniques

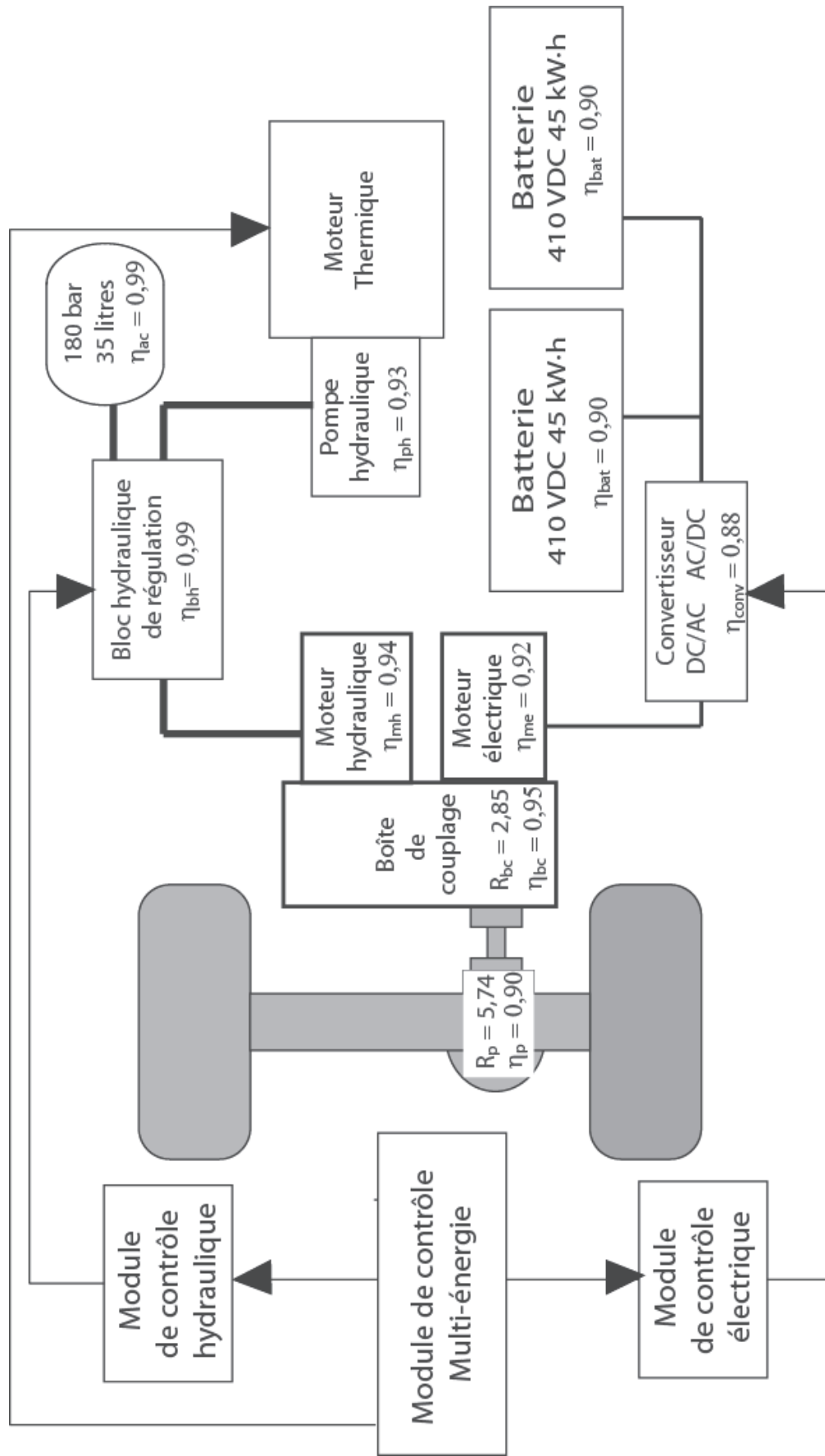


Capacité totale du véhicule	70 places
Configuration	14 places assises + 1 UFR
Masse totale autorisée en charge	19 200 kg
Moteur thermique Euro 6	70 kW
Motorisation électrique	moteur synchrone 90 kW
Motorisation hydraulique	à cylindrée variable de $110 \text{ cm}^3 \cdot \text{tr}^{-1}$
Pompe hydraulique	à cylindrée fixe de $60 \text{ cm}^3 \cdot \text{tr}^{-1}$
Boîte de couplage	réduction de vitesse 2,85
Ralentisseur par récupération d'énergie	hydraulique et électrique
Batterie lithium-ion propulsion	2 x 45 kW·h
Batterie lithium-ion auxiliaire	35 kW·h
Essieu directeur	2 roues indépendantes
Essieu moteur	réduction de vitesse 5,74
Essieu suiveur	roues indépendantes

Performances

Vitesse maximum à vide	$75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Vitesse en pente à pleine charge	$30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Pente maximum	25 %
Autonomie	100 km environ en électrique
Consommation gasoil	15 l / 100 km

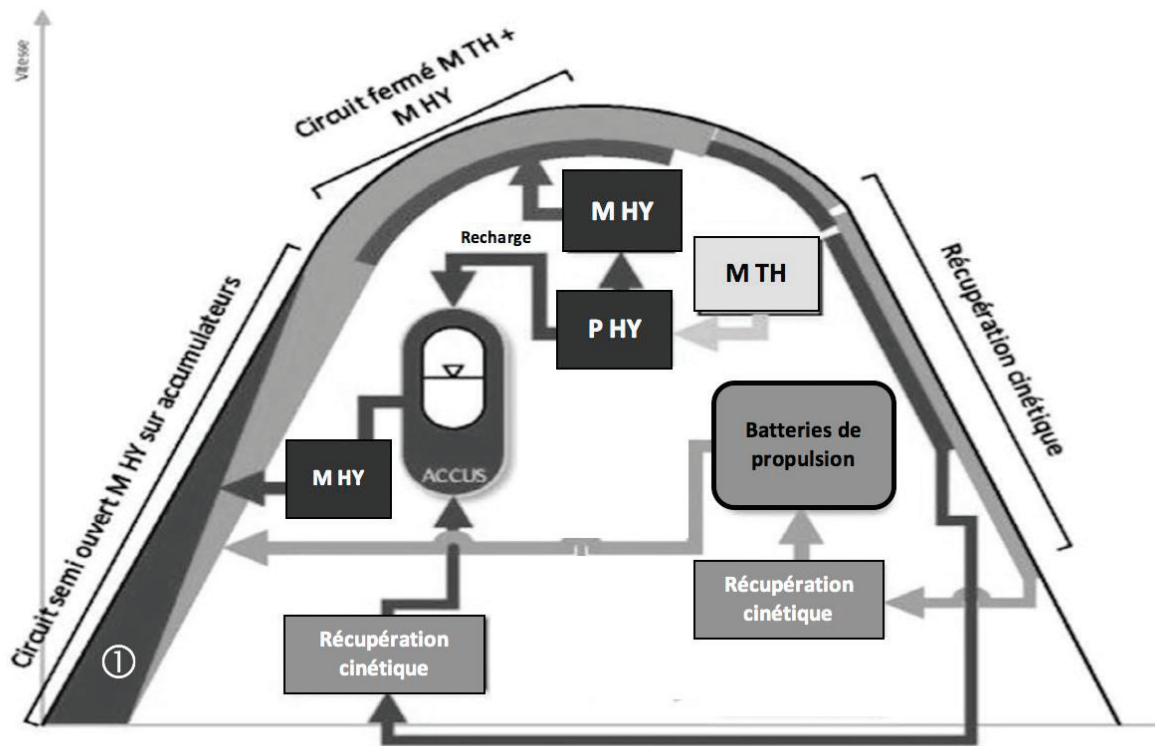
DT3 Organisation du système de propulsion



R_{xx} : Rapport de réduction du composant xx

η_{xx} : Rendement global du composant xx (en moyenne sur la plage d'utilisation)

DT4 Utilisation des énergies (entre deux stations)



Le graphique ci-dessus décrit qualitativement les transferts d'énergie entre deux stations. Au départ de la station, l'énergie contenue dans l'accumulateur hydropneumatique permet la mise en mouvement du bus (triangle noir ①) par l'intermédiaire du moteur hydraulique (M HY). Rapidement, l'énergie électrique des batteries de propulsion (gris clair) vient assister l'hydraulique. Lorsque l'énergie hydraulique est épuisée, les batteries peuvent apporter la totalité de l'énergie.

En fonction du cycle choisi, le moteur thermique (M TH) peut fournir tout ou partie de l'énergie nécessaire au déplacement. Cet apport s'effectue par l'intermédiaire de la pompe hydraulique (P HY) et du moteur hydraulique (M HY).

Le moteur thermique sert également à initialiser le remplissage (recharge) des accumulateurs.

Lors de la décélération du véhicule, l'énergie cinétique est récupérée et stockée en priorité dans l'accumulateur hydropneumatique (ACCUS). Le complément est stocké dans la batterie de propulsion.

DT5 Pneumatiques

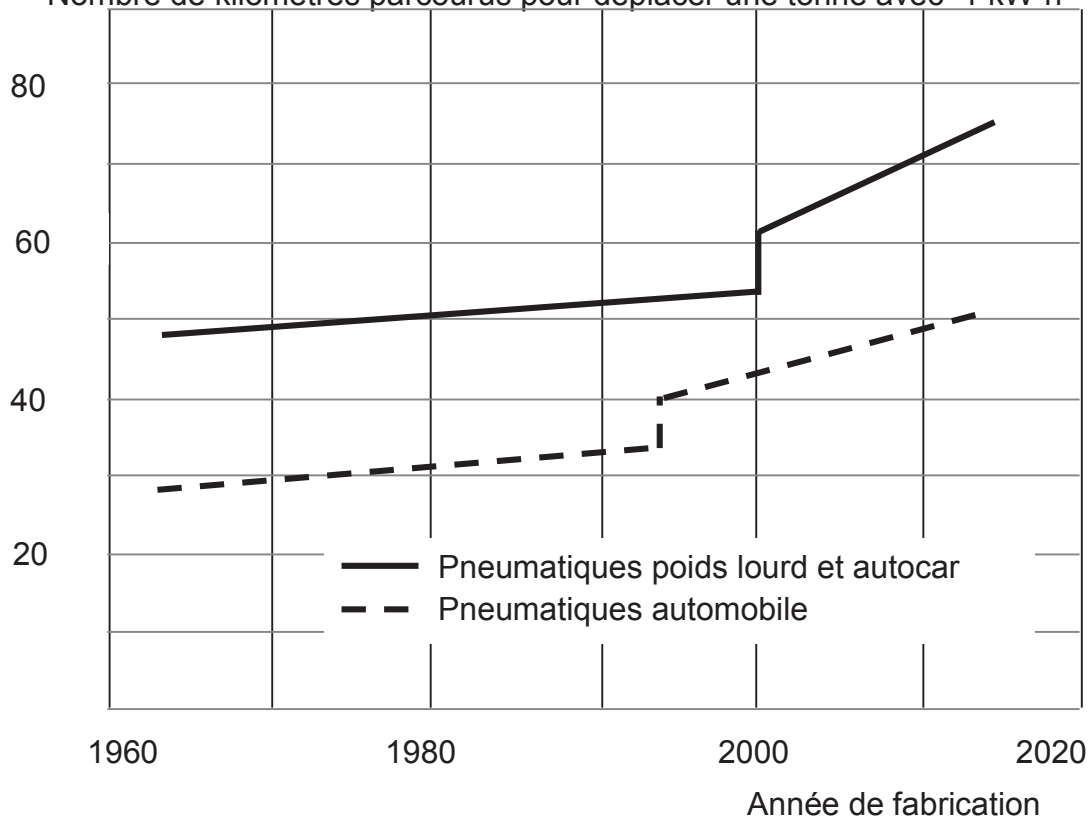
(essieu moteur)



Désignation	455/45 R 22.5
Charge nominale par essieu en simple (kg)	9 000
Pression nominale (bar)	9.00
Diamètre libre (mm)	980
Rayon écrasé (mm)	456
Circonférence de roulement en (mm)	3 022

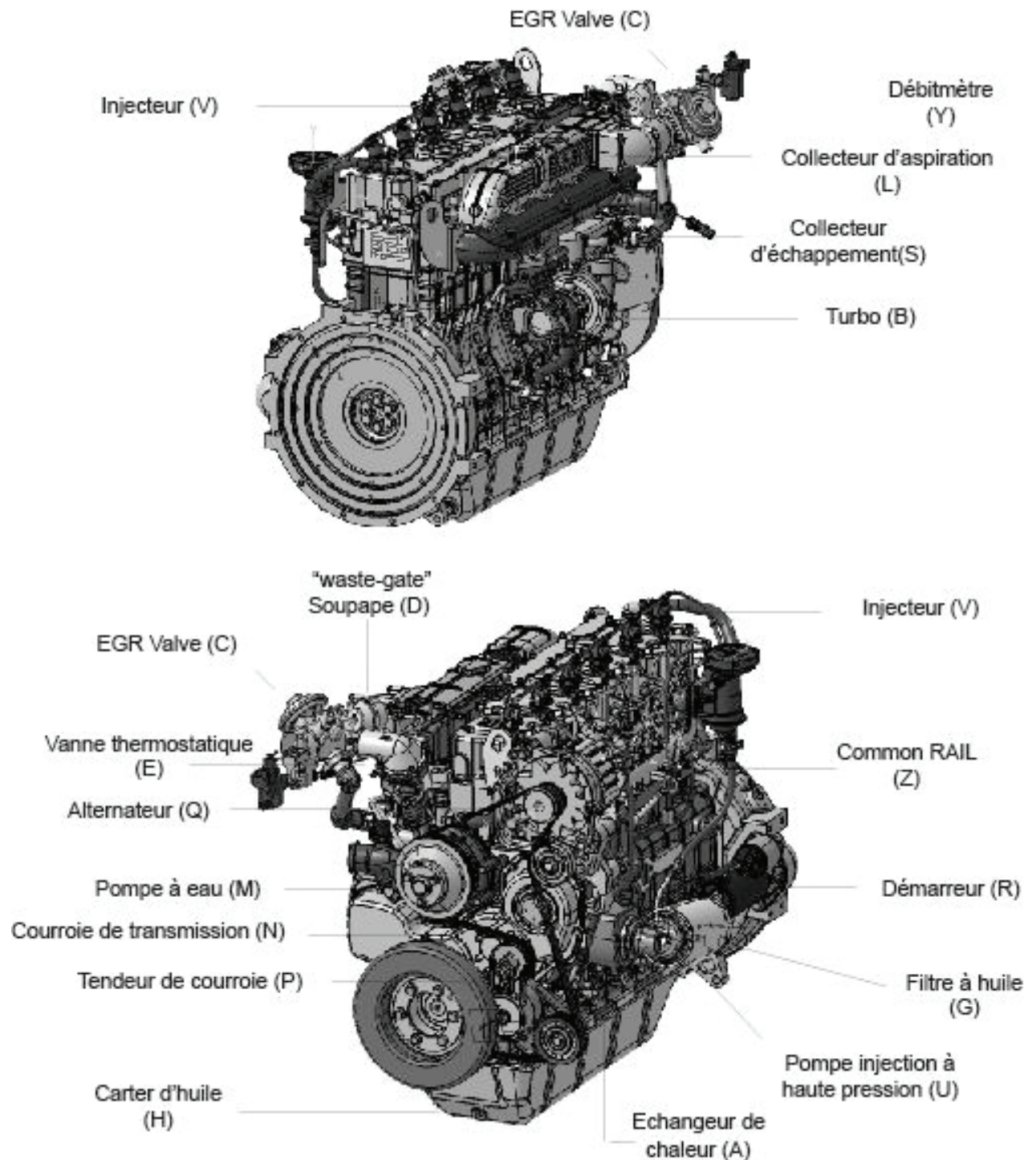
Évolution de la performance des pneumatiques

Nombre de kilomètres parcourus pour déplacer une tonne avec 1 kW·h



DT6 Moteur thermique

Le moteur thermique est conforme aux normes « Euro ». Les émissions polluantes ne dépassent pas $0,4 \text{ g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ pour les NOx et $0,01 \text{ g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ de particules fines.

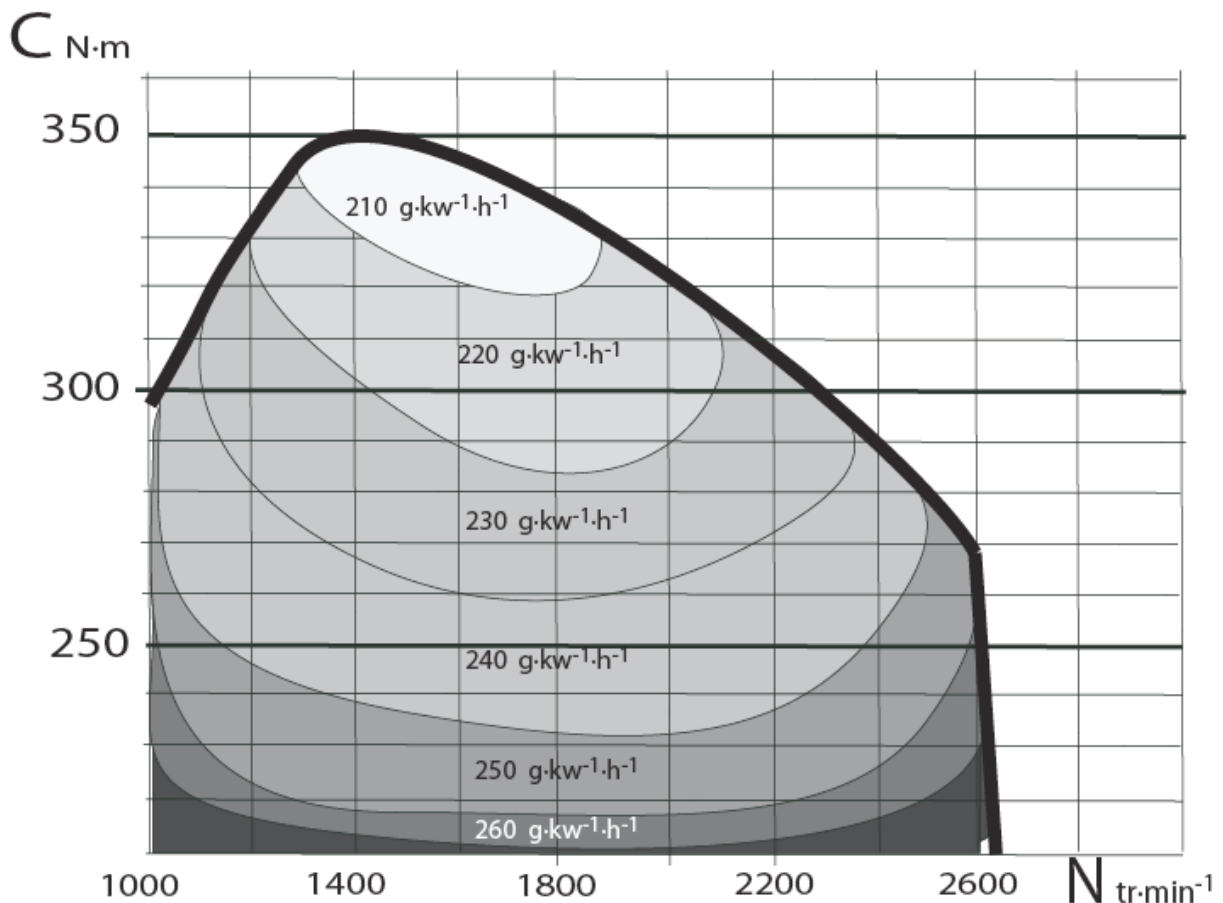


DT7

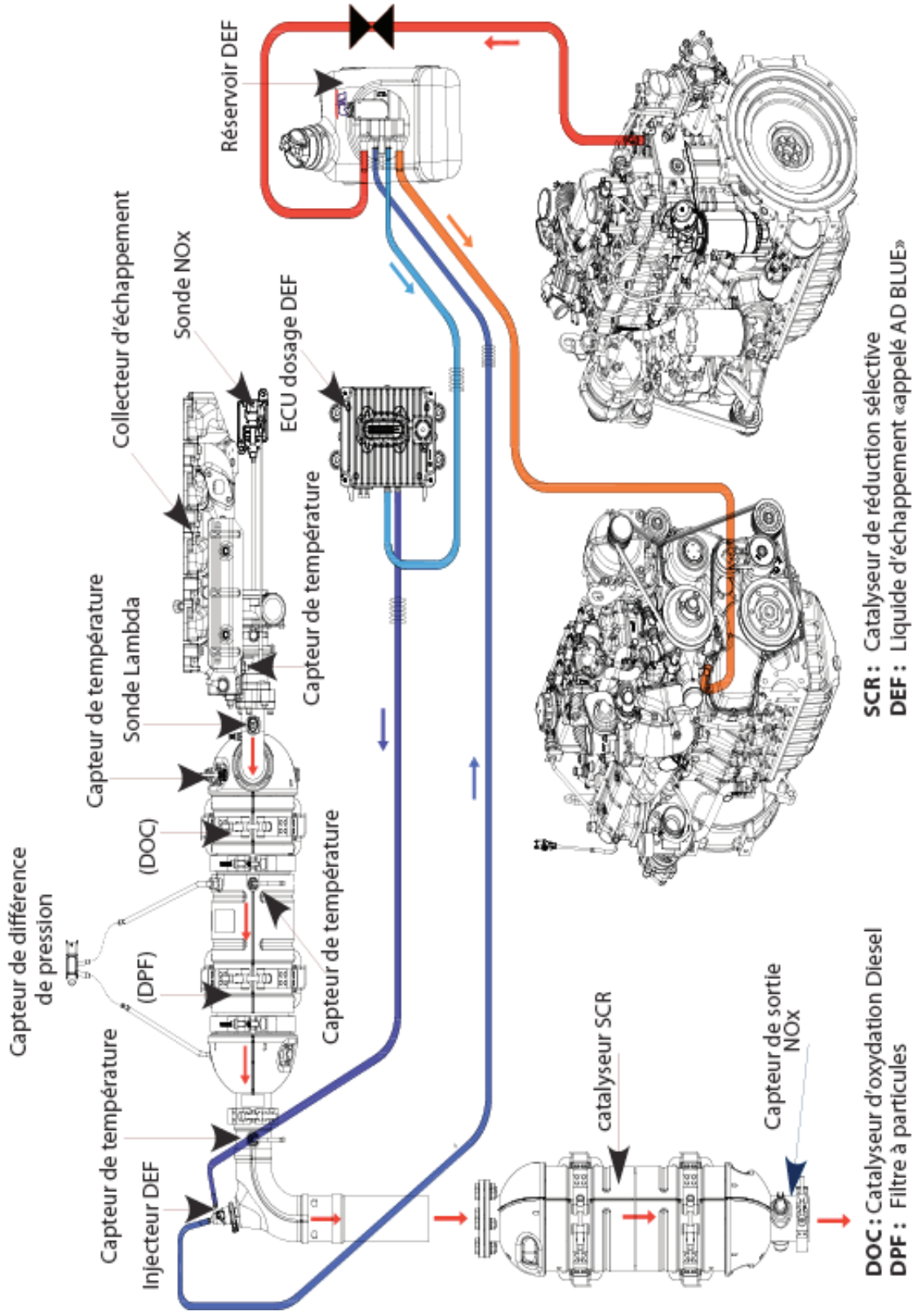
Caractéristiques générales	
Cycle de fonctionnement	diesel à quatre temps
Cylindrée totale (litre)	2,970
Nombre de cylindres	4
Alésage x course (mm)	94 x 107
Rapport volumétrique	17,8
Masse volumique carburant ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	850
Pouvoir calorifique inférieur ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	44 800
Type d'injection	Injection directe Common Rail

Courbes caractéristiques du moteur

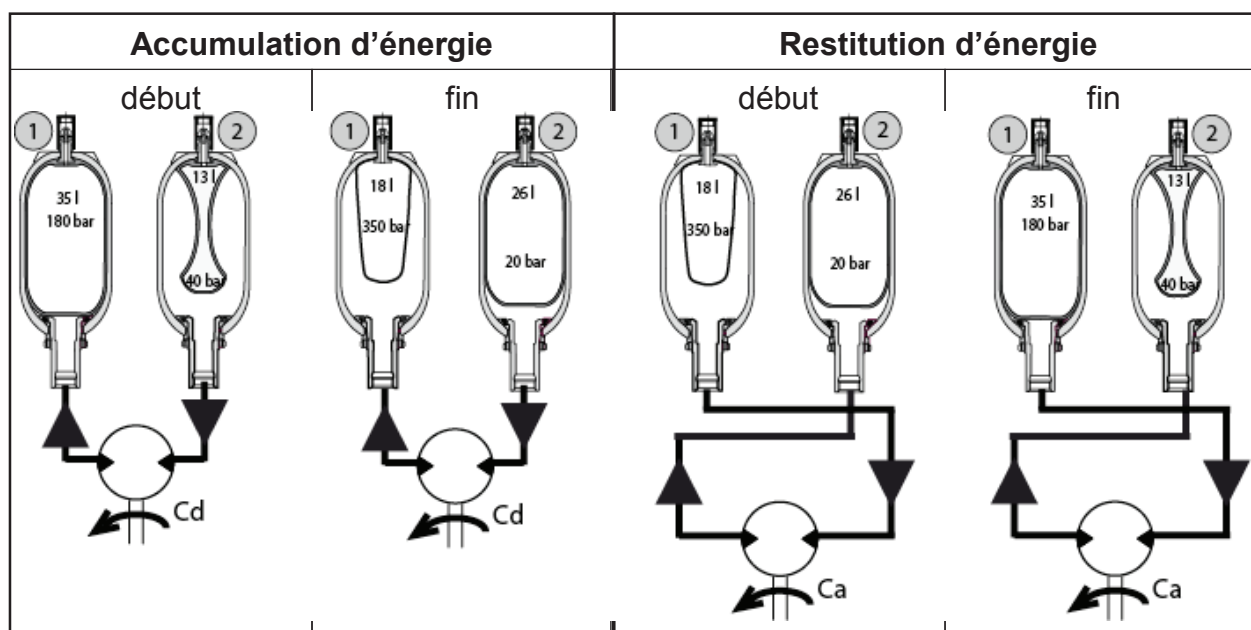
- Couple en fonction du régime de rotation
- Iso-consommations spécifiques en fonction du régime et du couple délivré



DT8 Dispositifs de post traitement



DT9 Accumulation d'énergie (Hydropneumatique)



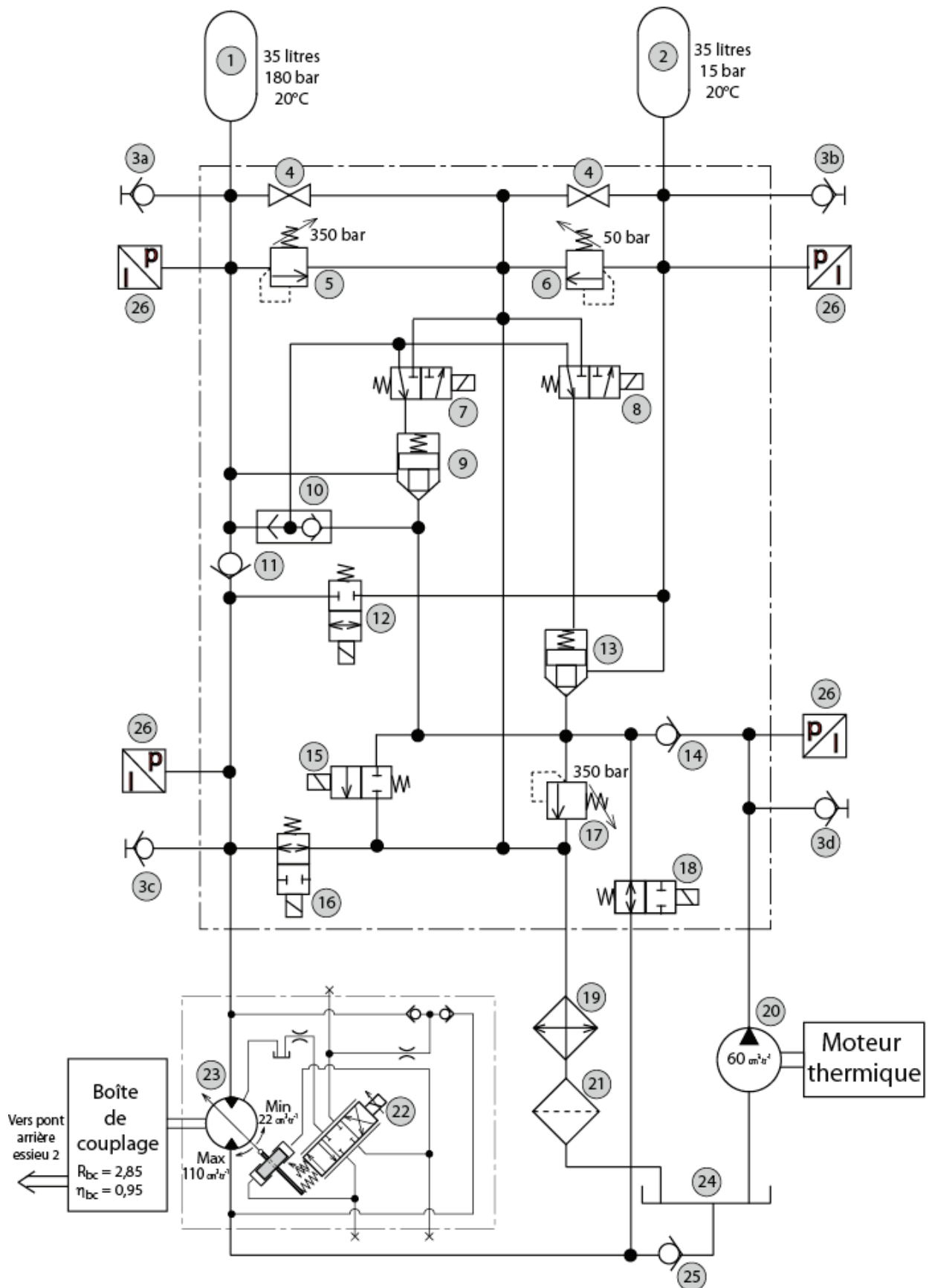
Phase d'accumulation d'énergie hydraulique

Lorsque le conducteur commande le ralentissement du véhicule, à l'approche de la station, le système automatique de récupération d'énergie cinétique du véhicule connecte le moteur hydraulique en série entre les 2 accumulateurs. Dans cette phase, le couple de décélération (C_d), proportionnel au ralentissement attendu, entraîne le moteur hydraulique qui se comporte comme une pompe. L'huile est alors transférée de l'accumulateur hydropneumatique 2 (basse pression) vers l'accumulateur hydropneumatique 1 (haute pression). Le couple de décélération (C_d) est régulé par l'automatisme en agissant sur la cylindrée du moteur hydraulique (pompe) en fonction de la décélération attendue par le conducteur et de la différence de pression mesurée aux bornes du moteur hydraulique. Dans cette phase, le système de récupération d'énergie électrique peut agir en complément pour obtenir la décélération attendue.

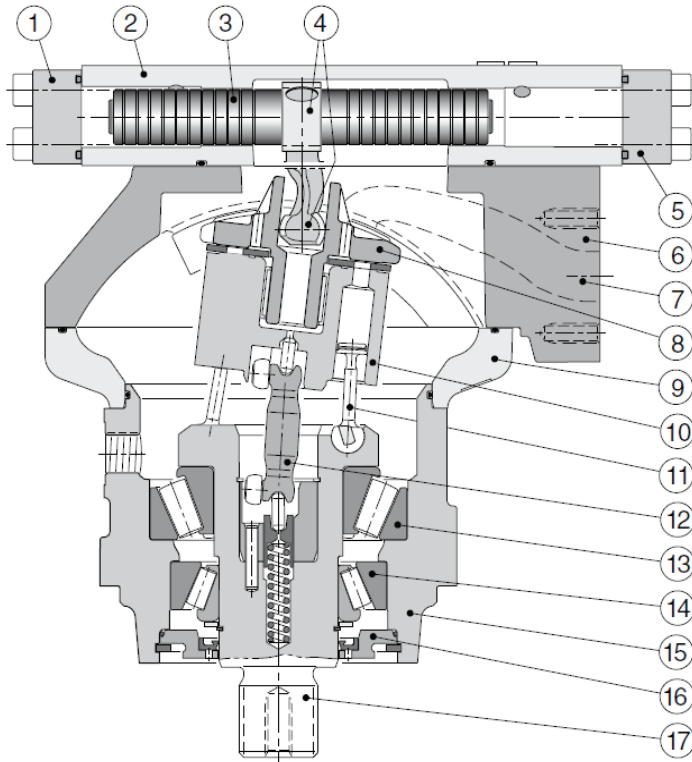
Phase de restitution d'énergie hydraulique

Lors de la mise en mouvement du véhicule, au départ de la station le système automatique de gestion d'énergie connecte le moteur hydraulique en série entre les 2 accumulateurs. Dans cette phase, le branchement du moteur hydraulique est inversé par rapport à la phase d'accumulation d'énergie. L'entraînement du moteur hydraulique est obtenu par le transfert de l'huile de l'accumulateur hydropneumatique 1 (haute pression) vers l'accumulateur hydropneumatique 2 (basse pression). L'accélération du véhicule est gérée par le système automatique proportionnellement à la demande du conducteur. Pour cela l'automatisme régule le couple d'accélération (C_a) en agissant sur la cylindrée du moteur hydraulique en fonction de l'accélération attendue et de la différence de pression mesurée aux bornes du moteur hydraulique. Dans cette phase, l'énergie électrique peut agir en complément par l'intermédiaire du moteur électrique.

DT10 Circuit hydraulique



DT11 Moteur hydraulique

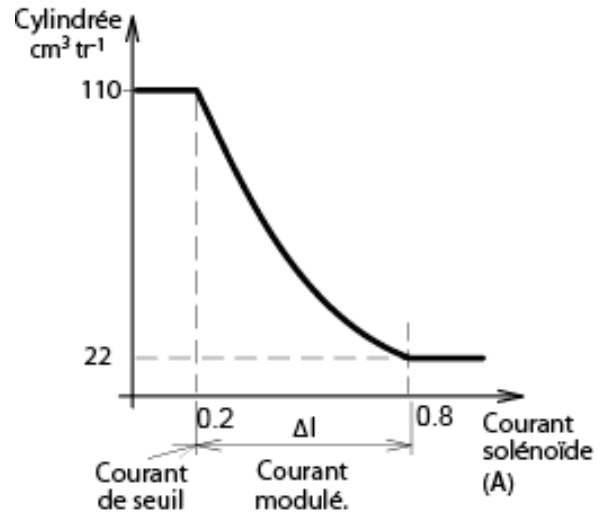
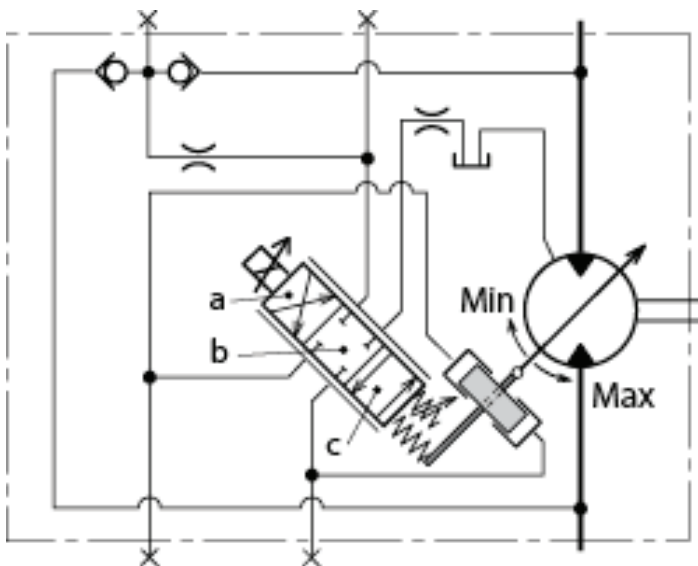


Caractéristiques :

Cylindrée max. $110 \text{ cm}^3 \cdot \text{tr}^{-1}$

Cylindrée min. $22 \text{ cm}^3 \cdot \text{tr}^{-1}$

1. Flasque, cyl. min.
2. Corps de commande
3. Piston de réglage
4. Bras de connexion
5. Flasque, cyl. max.
6. Carter supérieur
7. Alimentation hydraulique
8. Culasse
9. Carter intermédiaire
10. Barillet
11. Piston sphérique avec segments
12. Arbre de liaison
13. Roulement à rouleaux
14. Roulement à rouleaux
15. Carter de palier
16. Joint d'arbre avec clavette
17. Arbre de sortie



La commande électrohydraulique proportionnelle permet d'adapter la cylindrée du moteur hydraulique au besoin. Le distributeur peut prendre une des trois positions (a, b ou c) en fonction des actions extérieures qu'il subit (force électromagnétique et forces des ressorts). La cylindrée du moteur hydraulique commence à se réduire lorsque le courant de commande dépasse le courant de seuil (0,2 A). L'évolution de la cylindrée en fonction du courant de commande est représentée sur le graphique ci-dessus à droite. Le courant de commande est le résultat d'une tension de commande modulée par contrôle de la largeur d'impulsion.

DOSSIER RESSOURCE

DRES1 Résultats de relevés (Performances du moteur thermique)

Afin de vérifier l'état du moteur thermique, des mesures de performance de celui-ci ont été effectuées. Pour cela, le moteur a été mis au régime maxi et trois valeurs de pression résistantes ont été appliquées en refoulement de la pompe hydraulique afin de stabiliser le moteur thermique sur trois de ses valeurs caractéristiques de régime. Les résultats des mesures sont fournis dans le tableau ci-après.

Relevés de mesures			
	Régime moteur tr·min ⁻¹	Pression appliquée bar (relevé sur 3d du schéma hydraulique)	Consommation cm ³ ·min ⁻¹
Mesure 1	2600	275	360
Mesure 2	2000	295	290
Mesure 3	1400	305	210

À partir du relevé de mesures ci-dessus, les différentes valeurs caractéristiques du moteur thermique ont été calculées et reportées dans le tableau ci-après. Pour effectuer les calculs, l'hypothèse d'un rendement mécanique de 97 % pour la pompe hydraulique a été pris en compte.

Caractéristiques du moteur				
Régime moteur tr·min ⁻¹	Couple moteur N·m	Consommation horaire l·h ⁻¹	Consommation spécifique g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹	Puissance kW
2600	255	21,6	0,285	69,4
2000	273	17,4	0,277	57,2
1400	283	12,6	0,268	41,4

DRES2 Relations scientifiques

Mécanique

$$\Delta x = v_0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2$$

$$v = a \cdot t$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Hydraulique

$$Q = q \cdot \omega$$

$$C = q \cdot \Delta p$$

Thermodynamique

Équation d'état : $pV = m r T$

avec

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

et $r = c_p - c_v$

$$\rightarrow c_v = \frac{r}{\gamma - 1} \quad \text{et} \quad c_p = \frac{\gamma r}{\gamma - 1}$$

Transformation 1 → 2	$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = U_2 - U_1$	$\Delta H_{1 \rightarrow 2} = H_2 - H_1$	$W_{1 \rightarrow 2}$	$Q_{1 \rightarrow 2}$	Compléments
Isotherme ($\Delta T = 0$)	0	0	$- m r T \ln \left \frac{V_2}{V_1} \right $	$+ m r T \ln \left \frac{V_2}{V_1} \right $	$Q_{1 \rightarrow 2} + W_{total} = 0$ $pV = Cte$
Isobare ($\Delta P = 0$)	$m c_v (T_2 - T_1)$	$m c_p (T_2 - T_1)$	$- p_1 (V_2 - V_1)$	$m c_p (T_2 - T_1)$	$Q_{1 \rightarrow 2} = \Delta H_{1 \rightarrow 2}$
Isochore ($\Delta V = 0$)	$m c_v (T_2 - T_1)$	$m c_p (T_2 - T_1)$	0	$m c_v (T_2 - T_1)$	$Q_{1 \rightarrow 2} = \Delta U_{1 \rightarrow 2}$
Adiabatique ($\Delta Q = 0$) (réversible)	$m c_v (T_2 - T_1)$	$m c_p (T_2 - T_1)$	$m c_v (T_2 - T_1)$ ou $\frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$	0	$W_{1 \rightarrow 2} = \Delta U_{1 \rightarrow 2}$ $p V^\gamma = Cte$ $T V^{(\gamma-1)} = Cte$ $T^\gamma p^{(1-\gamma)} = Cte$
Polytropique ($1 < k < \gamma$)	$m c_v (T_2 - T_1)$	$m c_p (T_2 - T_1)$	$\frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{k - 1}$	$\left(\frac{1}{\gamma - 1} - \frac{1}{k - 1} \right) (p_2 V_2 - p_1 V_1)$	$p V^k = Cte$ $T V^{(k-1)} = Cte$ $T^k p^{(1-k)} = Cte$

Symbole	Nom	Unité
a	Accélération	$m \cdot s^{-2}$
C	Couple	$N \cdot m$
c_p	Capacité massique à pression constante	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
c_v	Capacité massique à volume constant	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Δ	Différence	
E_c	Energie cinétique	J
γ	Coefficient adiabatique	
H	Enthalpie	J
k	Coefficient polytropique	
m	Masse	kg
p	Pression	pa
q	Cylindrée	$m^3 \cdot rd^{-1}$

Symbole	Nom	Unité
Q (hydraulique)	Débit	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q (thermodynamique)	Quantité de chaleur	J
r	Constante gaz parfait	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
t	Temps	s
T	Température	K
U	Energie interne	J
v	Vitesse	$m \cdot s^{-1}$
V	Volume	m^3
W	Travail	J
ω	Vitesse angulaire	$rd \cdot s^{-1}$
x	Distance	m

Propriétés de l'azote contenu dans l'accumulateur

$$c_v = 0,743 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$c_p = 1,039 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\gamma = 1,4$$

DOSSIER QUESTIONNEMENT

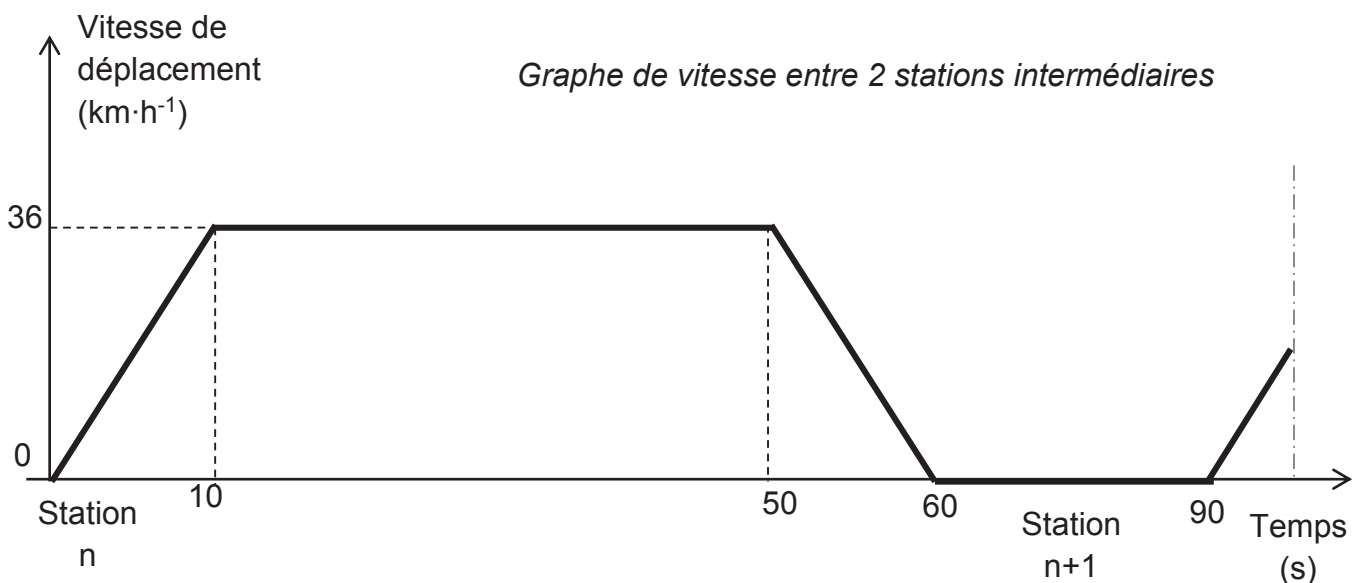
Problématique générale

Le bus multi-hybride manque d'autonomie dans l'utilisation du système électrique de propulsion et la consommation de carburant est élevée. Les différentes parties du questionnement visent dans un premier temps à analyser le système et à définir les paramètres fonctionnels puis dans un deuxième temps à proposer les causes correspondant au dysfonctionnement énoncé.

Partie A : énergies lors du déplacement entre deux stations



Le bus d'une masse moyenne de 15 tonnes, en charge, circule sur une ligne urbaine allant de A à B en aller-retour. Cette ligne, de 8 km, constituée de 15 stations intermédiaires réparties à équidistance est parcourue en 24 min en moyenne. À chaque station, le temps d'arrêt est de 30 s. Au départ et à l'arrivée en station, l'accélération et la décélération seront considérées constantes ($1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Le dénivelé de la ligne est négligeable et les consommations d'énergies autres que celles relatives à l'avancement du bus ne sont pas prises en compte.



A-1 Étude énergétique : l'objectif de cette sous-partie est de quantifier les énergies mises en jeu lors du déplacement du bus entre deux stations.

Question 1 : déterminer la distance parcourue dans la phase de déplacement à vitesse constante.

Question 2 : déterminer la distance parcourue dans les phases d'accélération et de décélération.

Question 3 : déterminer la distance parcourue entre les 2 stations.

Question 4 : la vitesse de pointe atteinte entre chaque station est de $36 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Déterminer l'énergie nécessaire pour atteindre cette vitesse depuis le départ de la station.

Question 5 : le bus est équipé des meilleurs pneumatiques actuels. En fonction des caractéristiques fournies (DT5), déterminer l'énergie consommée par le roulement des pneumatiques sur le sol lors du trajet de 500 m (donner le résultat en joules).

Question 6 : l'énergie nécessaire pour vaincre la traînée (forces aérodynamiques) est de 20 kJ dans la phase accélération puis de 200 kJ dans la phase à vitesse constante et enfin de 20 kJ dans la phase décélération. Déterminer, en kJ, l'énergie motrice totale à apporter aux roues pour aller d'une station à l'autre.

Question 7 : déterminer l'énergie potentiellement récupérable lors de la phase décélération.

Question 8 : en partant de l'hypothèse que 450 kJ sont effectivement récupérés (en tenant compte des pertes) et que ceux-ci sont réutilisés pour la propulsion. Exprimer en pourcentage l'énergie qui est économisée entre 2 stations.

A-2 Diagnostic : l'objectif de cette sous-partie est de déterminer les causes d'une surconsommation de l'énergie stockée (énergie électrique et carburant).

Question 9 : représenter sous forme de diagramme d'Ishikawa (diagramme de causes et effets ou encore appelé diagramme en arêtes de poissons) les trois causes principales qui peuvent engendrer une surconsommation de l'énergie stockée.

Partie B : système hydropneumatique

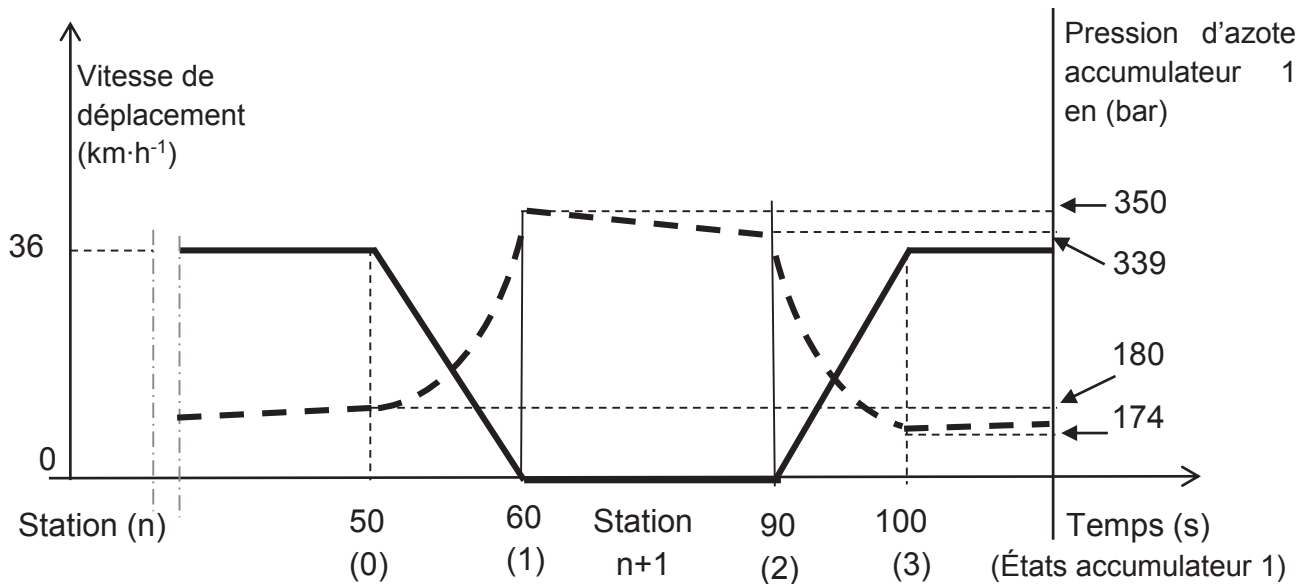
B-1 Analyse fonctionnelle et structurelle : l'objectif de cette sous-partie est d'analyser le comportement du système hydropneumatique dans les différentes phases de fonctionnement.

Question 10 : compléter le tableau 1 sur DR1 en indiquant le nom et le rôle dans le circuit des composants portant les repères indiqués sur le schéma hydraulique (DT10).

Question 11 : en prenant comme référence la description du principe du système hydropneumatique (DT9) et le schéma du circuit hydraulique (DT10), compléter le tableau 2 (DR1) relatif à l'état des composants pour les différentes situations énoncées (l'état 0 correspond à l'état tel que représenté sur le schéma et l'état 1 lorsque le composant est activé).

B-2 Performances du système hydropneumatique : l'objectif de cette sous-partie est de déterminer les performances du système hydropneumatique dans les différentes phases de fonctionnement.

Relation entre le graphe des vitesses (—) et la pression dans l'accumulateur 1 (- - -) en fonction du temps



Question 12 : montrer qu'à une température de 20 °C, la masse d'azote contenue dans l'accumulateur 1 est voisine de 7 kg.

Phase accumulation d'énergie : lors du passage de l'état 0 à l'état 1 (sur le graphe de la page précédente) la transformation est polytropique ($k = 1,2$).

Question 13 : donner les valeurs de pression de l'azote contenu dans l'accumulateur 1 aux états 0 et 1 (donner le résultat en bar et en Mpa).

Question 14 : dans la phase d'accumulation d'énergie, montrer qu'à l'état 1 de l'accumulateur 1, l'azote occupe un volume voisin de 20 litres.

Question 15 : déterminer le volume d'huile contenu dans l'accumulateur 1 à l'état 1 de cette phase.

Question 16 : déterminer l'énergie totale accumulée par l'accumulateur 1 dans cette phase.

Question 17 : la sous-partie A-1 a permis de montrer que l'énergie récupérée est de 450 kJ. Comparer cette valeur au résultat de la question 16 et indiquer comment le constructeur complète la récupération d'énergie.

Phase conservation d'énergie : (passage de l'état 1 à l'état 2 sur le graphe de la page précédente)

Question 18 : donner les valeurs de pression de l'azote contenu dans l'accumulateur 1 aux états 1 et 2 (donner le résultat en bar).

Question 19 : nommer le type de transformation entre l'état 1 et l'état 2.

Question 20 : dans cette phase qui dure 30 secondes (temps d'arrêt en station), la température de l'azote contenu dans l'accumulateur hydropneumatique baisse. Montrer que la température de l'azote a chuté d'environ 10 °C.

Question 21 : déterminer la quantité d'énergie perdue par les échanges thermiques durant l'arrêt en station.

Phase restitution d'énergie : lors du passage de l'état 2 à l'état 3 (sur le graphe de la page précédente) la transformation est polytropique ($k = 1,2$).

Question 22 : déterminer l'énergie restituée par l'accumulateur hydropneumatique.

Question 23 : déterminer le rendement de l'accumulateur hydropneumatique.

Question 24 : comparer la quantité de chaleur perdue (question 21) et l'écart entre le travail d'accumulation (question 16) et de restitution (question 22). Expliquer la différence entre ces résultats.

B-3 Performances de la transmission mécanique : l'objectif de cette sous-partie est de déterminer l'impact de l'énergie stockée par l'accumulateur hydropneumatique sur la propulsion du véhicule.

Question 25 : le volume d'huile restitué par l'accumulateur hydropneumatique étant de 15 l et le moteur hydraulique étant en cylindrée maximale, déterminer la distance durant laquelle le moteur hydraulique peut participer à la transmission.

Question 26 : le moteur hydraulique ayant un rendement mécanique de 96 %, déterminer le couple maximum que peut produire le moteur hydraulique en tout début de restitution d'énergie.

Question 27 : montrer que la force motrice totale sur les roues peut s'exprimer sous la forme ci-dessous :

$$F_{\text{motrice}} = \frac{C_{\text{moteur}} \times \eta_{bc} \times \eta_p \times R_{bc} \times R_p}{r_{\text{roue}}}$$

Question 28 : le moteur hydraulique fournissant un couple de 560 N·m, déterminer la force motrice maximale.

Question 29 : en négligeant l'inertie des pièces en rotation et les différentes résistances parasites (frottements, résistance au roulement...), déterminer l'accélération maximale théorique du bus sur terrain plat.

Question 30 : Pour obtenir une accélération du véhicule de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, suivant la demande du conducteur, le calculateur modifie le courant de consigne (de 0,2 à 0,26 A). La cylindrée du moteur hydraulique passe alors de $110 \text{ cm}^3\cdot\text{tr}^{-1}$ à une nouvelle cylindrée stable de $100 \text{ cm}^3\cdot\text{tr}^{-1}$. En exploitant le dossier technique, expliquer dans le détail, comment la cylindrée du moteur hydraulique va être réduite et stabilisée à $100 \text{ cm}^3\cdot\text{tr}^{-1}$.

Question 31 : dans le cas d'une accélération de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, l'accumulateur hydropneumatique peut participer à la mise en mouvement du véhicule sur une distance d'environ 25 m. Expliquer pourquoi ce dispositif hydropneumatique n'est pas capable à lui seul de maintenir l'accélération sur les 25 m.

B-4 Diagnostic du système hydropneumatique : l'objectif de cette sous-partie est de déterminer les éléments susceptibles d'être en cause lors d'une accélération insuffisante du bus au départ de la station.

Question 32 : en se limitant au système hydraulique et ses commandes, indiquer dans un tableau (modèle ci-après à reproduire sur feuille de copie) les causes principales du dysfonctionnement et pour chaque cause les éléments qui peuvent en être à l'origine.

Causes principales	Éléments défectueux
Cause 1	<ul style="list-style-type: none"> - élément x - élément y - ...
...	...

Partie C : moteur thermique

C-1 Analyse des performances : l'objectif de cette sous-partie est d'analyser les caractéristiques et les performances du moteur thermique.

Question 33 : pour lutter contre la pollution atmosphérique, l'Union Européenne a établi des normes strictes concernant les rejets des véhicules. La norme Euro 6 qui s'applique actuellement à tous les types de véhicules limite les émissions de NOx et de particules. Indiquer les facteurs qui sont à l'origine de la production de NOx d'une part, de particules d'autre part.

Question 34 : le moteur est équipé d'un DOC, d'un filtre à particules, d'une valve EGR et d'un SCR. Indiquer précisément la fonction de chacun de ces éléments et leur finalité en termes de polluants.

Question 35 : à partir de la courbe caractéristique du moteur (DT7), déterminer pour un régime moteur de $1400 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$:

- le couple maximum disponible ;
- la puissance maximum disponible ;
- la consommation spécifique au couple maximum ;
- la consommation horaire (en $\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$) au couple maximum ;
- le rendement du moteur au couple maximum ;
- la plage idéale d'utilisation en vitesse et en couple.

Question 36 : la sous partie A-1 a permis de montrer que 450 kJ d'énergie pouvaient être économisés sur 500 m (entre 2 stations). Pour une chaîne d'énergie (moteur thermique + transmission) ayant un rendement global de 30 %, déterminer la masse de carburant qu'il est possible d'économiser pour 100 km parcourus.

Question 37 : déterminer le volume de carburant que la récupération d'énergie permet d'économiser pour 100 km parcourus.

C-2 Diagnostic : l'objectif de cette sous-partie est d'identifier la cause d'une surconsommation journalière de carburant.

Question 38 : en fonction du tableau de relevés sur DRES1, montrer que le couple moteur est bien de 283 N·m pour un régime moteur de 1400 tr·min⁻¹.

Question 39 : analyser les résultats obtenus et conclure sur les causes de la surconsommation journalière du moteur.

Question 40 : proposer des tests et mesures complémentaires pour identifier précisément l'origine de la surconsommation journalière du moteur.

Partie D : système électrique de propulsion

D-1 Performances du système : l'objectif de cette sous-partie est d'analyser les caractéristiques et les performances du système électrique de propulsion.

Question 41 : donner en kJ l'énergie stockée par les batteries.

Question 42 : déterminer le rendement global de la chaîne d'énergie (des batteries aux roues).

Question 43 : pour une énergie restituable par les batteries de 280 000 kJ, déterminer l'énergie motrice utile.

Question 44 : l'énergie stockée consommée entre 2 stations distantes de 500 m étant de 950 kJ (déduction faite de l'énergie récupérée réutilisée), déterminer la distance qu'il est possible de parcourir sur l'autonomie des batteries.

D-2 Conclusion sur les performances du système

Question 45 : comparer la chaîne d'énergie électrique et la chaîne d'énergie hydraulique et justifier le choix du système multi-hydrure par le constructeur.

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

TABLEAU 1 (Question 10)		
Repère	Nom	Rôle dans le circuit
3		
4		
19		
20		
21		
22		
26		

TABLEAU 2 (Question 11)								
Situation	Repère du composant hydraulique							
	7	8	9	12	13	15	16	18
Transmission hydraulique	0	0	0	0	0	0	0	0
Initialisation accumulateur 1 avant le départ	1	0	1	0	0	0	0	1
Restitution d'énergie en départ de station (accélération)								
Accumulation d'énergie en arrivée en station (décélération)								
Transmission électrique (sans apport d'énergie hydraulique)								