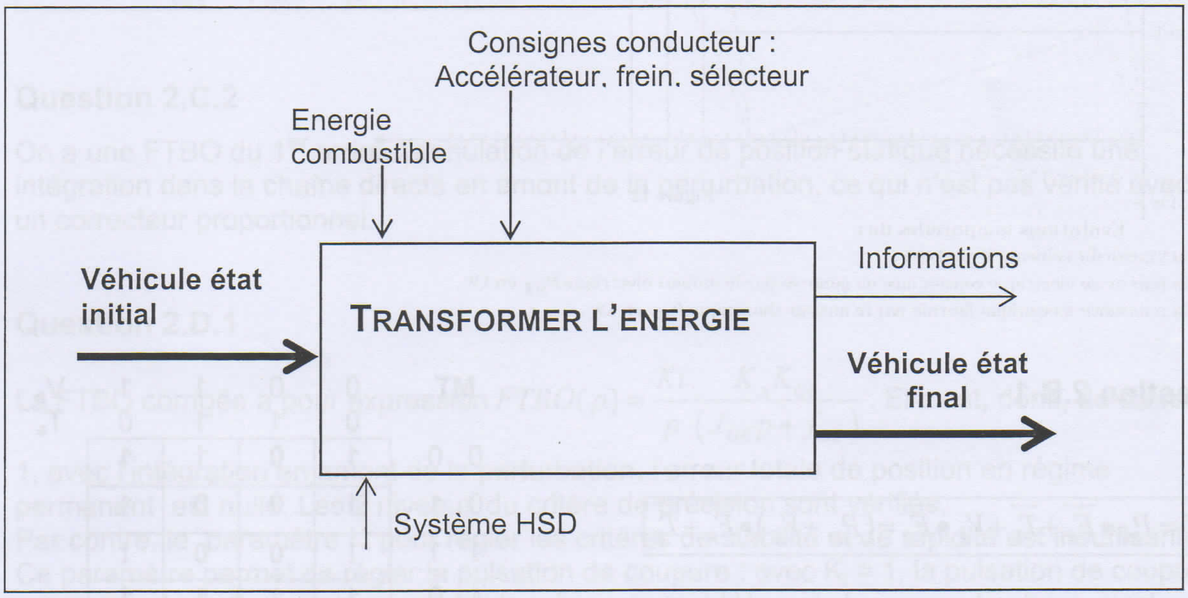
PSI* 2009-2010
Examen d'essai

CORRIGE

Sélection : PM, MAv, MAr

Question 1.B.1



Question 1.C.1

Voir feuille réponse

Question 1.C.2

- Une génératrice tachymétrique,
- Capteur incrémental avec dérivation
- Synchro-resolver avec dérivation

Question 1.C.3

Déplacements des pédales de frein et d'accélérateur

- Capteur potentiométrique (linéaire ou rotatif),
- Codeur incrémental.(avec transformation de mouvement

Question 1.C.4

- Poulies courroie crantée
- Engrenage

Question 1.D.1

- Accélération de 0 à 100km/h en 11s (environ)
- De 50 à 80km/h en 4s.

Réponses aux questions I.D.1, II.B.3 et III.D.1

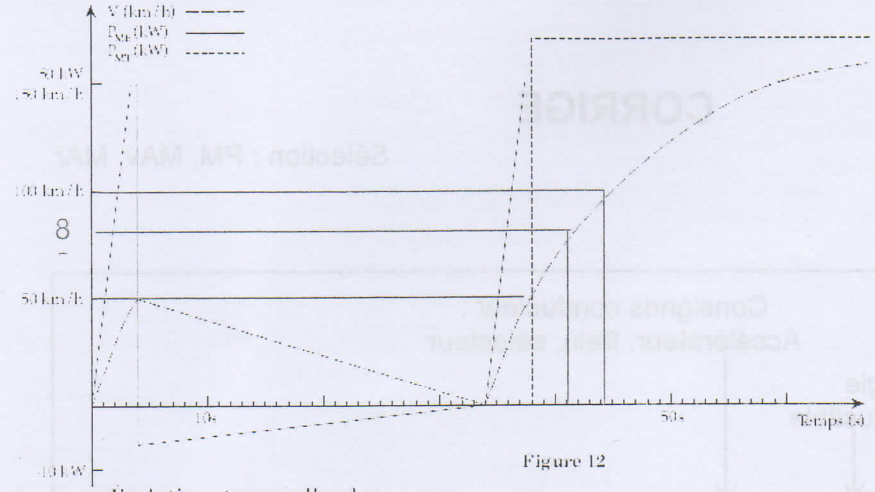


Figure 12

Evolutions temporelles de :

- la vitesse du véhicule V en km/h,
- la puissance électrique consommée ou générée par le moteur électrique P_{ME} en kW,
- la puissance mécanique fournie par le moteur thermique P_{MT} en kW.

Question 2.B.1

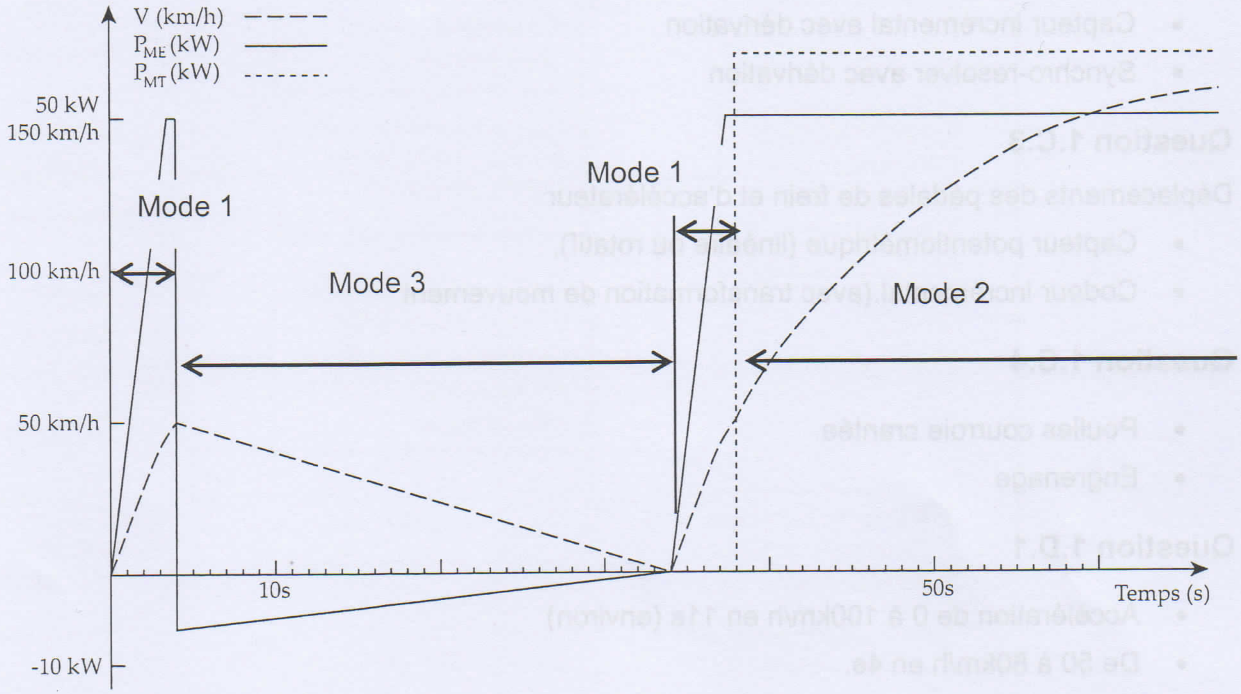
$P_{tot}\ F_r$ \ MT ($V_e\ T_e$)	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	1	0	1	1
0 1	1	0	0	1
1 1	1	0	0	1
1 0	1	1	1	1

$$\boxed{MT_1 = P_{tot} \bullet \overline{F_R} + \overline{T_E} + V_E \bullet \overline{F_R} = \left(P_{tot} + V_E\right) \bullet \overline{F_R} + \overline{T_E}}$$

Question 2.B.2

$$\boxed{MT = \left(\left(P_{tot} + V_E\right) \bullet \overline{F_R} + \overline{T_E}\right) M_A \bullet \left(\overline{E_V} + V_E\right)} \quad \text{ou} \quad \boxed{MT = MT_1 \bullet M_A \bullet \left(\overline{E_V} + V_E\right)}$$

Question 2.B.3



Question 2.C.1

Par application du théorème de superposition aux cas $C_{MT}=0$ et $\Omega^c{}_{GE}(p)$

$$\Omega_{GE}(p)=\frac{1}{J_{GE}p+f_{GE}}\left(K_{GE}K_A C(p)\left(\Omega^c{}_{GE}(p)-\Omega_{GE}(p)\right)+\gamma C_{MT}(p)\right)$$

$$\boxed{\Omega_{GE}(p)=\frac{K_{GE}K_A C(p)}{J_{GE}p+f_{GE}+K_{GE}K_A C(p)}\Omega^c{}_{GE}(p)+\frac{\gamma}{J_{GE}p+f_{GE}+K_{GE}K_A C(p)}C_{MT}(p)}$$

Question 2.C.2

On a une FTBO du 1ier ordre, l'annulation de l'erreur de position statique nécessite une intégration dans la chaîne directe en amont de la perturbation, ce qui n'est pas vérifié avec un correcteur proportionnel.

Question 2.D.1

La FTBO corrigée a pour expression $FTBO(p)=\dfrac{Ki}{p}\dfrac{K_A K_{GE}}{(J_{GE}p+f_{GE})}$. Elle est, donc, de classe 1, avec l'intégration en amont de la perturbation, l'erreur totale de position en régime permanent est nulle. Les 2 niveaux du critère de précision sont vérifiés.
Par contre, le paramètre K_i pour régler les critères de stabilité et de rapidité est insuffisant. Ce paramètre permet de régler la pulsation de coupure : avec $K_i = 1$, la pulsation de coupure est de 2 rad.s^{-1}. Cette valeur satisfait le critère de rapidité, mais la marge de phase ainsi obtenue ne satisfait pas le critère de stabilité (Mφ>45°).
Le correcteur proposé ne convient pas.

Question 2.E.1

A la pulsation de coupure 1.5 rad.s^{-1}, on a une phase de -170°, alors qu'il faudrait au minimum -135° sur le diagramme de Bode de R(p).
Le correcteur à avance de phase doit apporter une avance de phase minimale de 35° pour avoir une marge de phase minimale de 45°

Dans un tel correcteur on a les relations : $\sin(\phi_m)=\dfrac{1-a}{1+a}$ et $\omega_m=\dfrac{1}{T\sqrt{a}}$

On en déduit , pour $\phi_m=35°$: $\boxed{a=\dfrac{1-\sin\phi_m}{1+\sin\phi_m}=0,26}\Rightarrow\boxed{T=\dfrac{1}{\omega_m\sqrt{a}}=1,31s}$

Question 2.E.2

Nous avons le module qui a pour expression :

$\left|C_2(j.\omega_m)\right|_{dB}=10.\log\left(\dfrac{1}{a}\right)=5,8\ dB$ avec ω_m=1,5 rad.s^{-1},

Or pour la pulsation 1,5 rad.s^{-1}, on lit un module de 6 dB sur le diagramme de Bode de R(p), on déduit 20.log(K_i)= -11,8 dB

soit $K_i = 10^{-\frac{11.8}{20}}$ <u>K_i = 0,25</u>

On peut déterminer Ki par le calcul :
Il faut que le gain soit nul en ω_m soit :

$$20\log K_i + 10\log\frac{1}{a} + 20\log(K_A K_{GE}) - 20\log(\omega_m) - 20\log(\sqrt{f^2{}_{GE} + J^2{}_{GE}\omega^2{}_m}) = 0 \Rightarrow \boxed{\mathrm{K_i} = 0{,}23}$$

Question 2.E.3

La marge de gain n'est pas définie car elle est infinie.

Question 2.E.4

Avec les réglages suivants :
$K_i = 0{,}25$; $a = 0{,}26$; $T = 1{,}31s$
On vérifie obtient :

- écarts nuls en régime permanent en réponse à un échelon et perturbation constante
- pulsation de coupure de 1.5 rad.s^{-1}
- marge de phase de 45

Le correcteur convient.

Question 3.A.1

Les roues roulent sans glisser sur le sol $\Rightarrow V = \dfrac{D}{2}\omega_R = \dfrac{D}{2}K\omega_S \;\Rightarrow\; \boxed{\rho = \dfrac{KD}{2}}$

Question 3.A.2

La démarche utilisera le théorème de l'energie cinétique appliquée au véhicule.

Energie cinétique

- Energie cinétique du véhicule: $T(\text{véhicule/sol}) = \frac{1}{2}MV^2$, l
- Energie cinétique du moteur $T(moteur/\text{sol}) = \frac{1}{2}J_{MT}\omega^2_{MT}$. (remarque : le moment d'inertie J_{MT} n'a pas été défini avec précision dans le sujet) nous le supposerons négligeable.
- Toutes les autres inerties sont négligées.

Expression des puissances

- Puissance galiléenne des actions aérodynamiques : $P(\text{air} \to \text{véhicule/sol}) = -f_V V^2$,
- Le véhicule se déplace sur une route horizontale (la pesanteur n'intervient pas)
- Les roues roulent sans glisser sur le sol (pas de puissance dissipée par frottement).
- Puissance motrice :
  $\mathrm{P(HSD} \leftrightarrow \text{arbre de sortie)} = C_{ME}\omega_{ME} + C_{MT}\omega_{MT} - C_{GE}\omega_{GE} = C_S\omega_S$; le rendement est supposé égal à 1

Théorème de l'énergie cinétique

$MV\dot{V} + J_{MT}.\omega_{MT}.\dot{\omega}_{\mathrm{MT}} \;=\; Cs\omega s \;-\; fvV^2$ avec $V = \rho.\omega_S$

soit : $M\dot{V} \;=\; \dfrac{Cs}{\rho} - fv.V \;\Rightarrow\; \boxed{M\dot{V} + fv.V = \dfrac{Cs}{\rho}}$

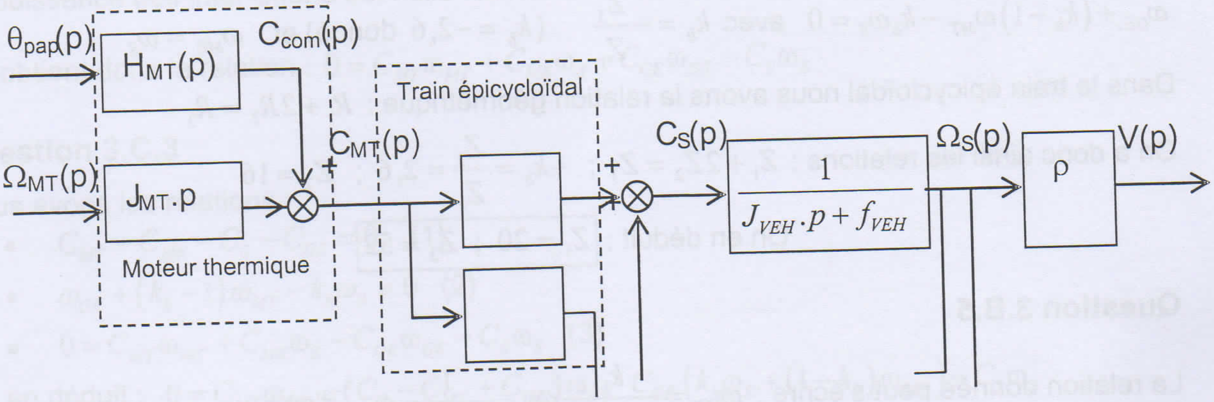
Question 3.A.3

Dans la relation précédente on remplace V par son expression en fonction de Ω_S et on obtient dans le domaine de LAPLACE :

$$M\rho p\Omega_S(p) + f_V\rho\Omega_S(p) = \frac{C_S(p)}{\rho} \quad \text{ou} \quad \Omega_S(p) = \frac{C_S(p)}{M\rho^2 p + f_V\rho^2}$$

On en déduit : $\boxed{J_{Veh} = M\rho^2}$ $\boxed{J_{Veh} = 7{,}65 kg.m^2}$ et $\boxed{f_{Veh} = f_V\rho^2}$ $\boxed{f_{Veh} = 0{,}1125 N.m.s}$

Question 3.A.4



Question 3.B.1

Le porte-satellite est le solide S_4. On écrit la relation : $\dfrac{\omega_{1/4}}{\omega_{3/4}} = -\dfrac{Z_3}{Z_1} = \dfrac{\omega_{1/0} - \omega_{4/0}}{\omega_{3/0} - \omega_{4/0}}$

$$\Rightarrow \omega_{1/0} - \omega_{4/0} = -\frac{Z_3}{Z_1}\left[\omega_{3/0} - \omega_{4/0}\right] \text{ soit : } \omega_{1/0} + \frac{Z_3}{Z_1}\omega_{3/0} - \left[1 + \frac{Z_3}{Z_1}\right]\omega_{4/0} = 0$$

On obtient : $\boxed{\lambda = \dfrac{Z_3}{Z_1} \quad \text{et} \quad \mu = \left[1 + \dfrac{Z_3}{Z_1}\right]}$

Question 3.B.2

V_{maxi} = 170 km/h soit : $\omega_{S\,Maxi} = \dfrac{V_{maxi}}{\rho}$ $\boxed{\omega_{S\,Maxi} = 6\,012 \text{ tr/min}}$ et $\omega_{S\,mini} = 0$ tr/min

Question 3.B.3

On écrit les relations de roulements sans glissement par rapport au porte-satellite (voir question 3.B.1):

$$\frac{\omega_{14}}{\omega_{24}} = -\frac{R_2}{R_1} \; et \; \frac{\omega_{24}}{\omega_{34}} = \frac{R_3}{R_2} \quad \text{ainsi que : } \frac{\omega_{14}}{\omega_{34}} = -\frac{R_3}{R_1}$$

$$\frac{\omega_{14}}{\omega_{34}} = -\frac{R_3}{R_1} \Leftrightarrow \omega_{10} - \omega_{40} = -\frac{R_3}{R_1}(\omega_{30} - \omega_{40}) \Leftrightarrow \omega_{10} = \omega_{40}\left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) - \omega_{30}\frac{R_3}{R_1}$$

Nous utilisons cette dernière expression pour analyser la compatibilité avec les courbes fournies.

La première courbe montre $\omega_{MT} = 0$ en testant tous les cas possibles on s'aperçoit que seul le cas $MT \equiv (4)$ est possible.

L'analyse de la courbe montre que $|\omega_{ME/0}| < |\omega_{GE/0}|$

Avec $\frac{R_3}{R_1} > 1$ on en déduit $ME \equiv (3)$ et $GE \equiv (1)$

Question 3.B.4

Pour que deux pignons puissent engrener il faut qu'ils aient le même module ave la relation : $D_i = m.z_i = 2.R_i$; R_i étant le rayon primitif.

Par hypothèse et en conformité avec la question précédente on a la relation :

$\omega_{GE} + (k_b - 1)\,\omega_{MT} - k_b\omega_S = 0$ avec $k_b = -\frac{Z_3}{Z_1}$ ($k_b = -2,6$ donné) et $\omega_{ME} = \omega_S$

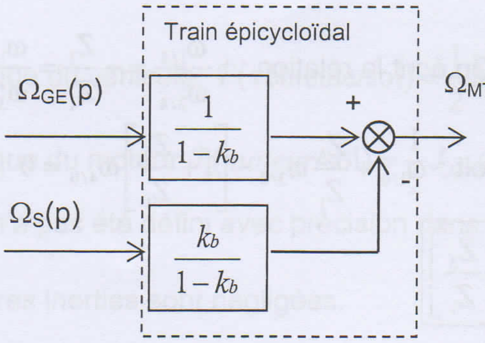
Dans le train épicycloïdal nous avons la relation géométrique : $R_1 + 2R_2 = R_3$

On a donc ainsi les relations : $Z_1 + 2Z_2 = Z_3$; $-k_b = \frac{Z_3}{Z_1} = 2,6$; $Z_2 = 16$

On en déduit : $\boxed{Z_1 = 20 \ ; \ Z_3 = 52}$

Question 3.B.5

La relation donnée peut s'écrire : $\omega_{MT} = \frac{k_b}{(k_b - 1)}\omega_S - \frac{1}{(k_b - 1)}\omega_{GE}$ d'où :



Question 3.C.1

Système isolé le train épicycloïdal et l'arbre de sortie
On applique le Principe fondamental de la dynamique
On écrit l'équation des moments en projection sur l'axe (O ; z_0) :

Remarque : Il existe deux relations possibles. L'énoncé étant imprécis on ne sait pas si C_{XX} est une valeur algébrique ou une norme.

<u>Cas où C_{XX} est une valeur algébrique</u>

On obtient ainsi la relation : $\boxed{C_{MT} + C_{ME} + C_S + C_{GE} = 0}$

<u>Cas où C_{XX} est une norme</u>

On obtient alors la relation : $\boxed{C_{MT} + C_{ME} - C_S - C_{GE} = 0}$

Pour la suite nous retiendrons cette deuxième relation car elle confirme les questions posées par la suite. De plus, la relation donnée page 6/9 : $J_{MT}\dfrac{d\omega_{MT}}{dt} = C_{comb} - C_{MT}$ laisse à penser que c'est bien cette forme qui est retenue.

Question 3.C.2

On applique le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble train épicycloïdal + arbre de sortie. : $\dfrac{dE_C(\Sigma/0)}{dt} = P_{\text{int}}(\Sigma) + P\left(\overline{\Sigma} \to \Sigma/0\right)$

Les inerties et masses étant négligées, donc l'énergie cinétique est négligée,nulle
La puissance des inter-efforts est nulle car le rendement est supposé égal à 1.

On obtient donc la relation : $0 = C_{MT}\omega_{MT} + C_{ME}\omega_S - C_{GE}\omega_{GE} - C_S\omega_S$

Question 3.C.3

Nous avons les relations :

- $C_{MT} + C_{ME} - C_S - C_{GE} = 0$ (1)
- $\omega_{GE} + (k_b - 1)\omega_{MT} - k_b\omega_S = 0$ (2)
- $0 = C_{MT}\omega_{MT} + C_{ME}\omega_S - C_{GE}\omega_{GE} - C_S\omega_S$ (3)

On en déduit : $0 = C_{MT}\omega_{MT} - (C_S - C_{MT} + C_{GE})\omega_S - C_{GE}\left(k_b\omega_S + (1-k_b)\omega_{MT}\right) - C_S\omega_S$

$\Rightarrow C_{GE}(1-k_b)(\omega_{MT} - \omega_S) = C_{MT}(\omega_{MT} - \omega_S)$

Soit pour $\omega_{MT} \neq \omega_S$: $C_{GE} = \dfrac{C_{MT}}{1-k_b}$ on obtient : $\boxed{\gamma = \dfrac{1}{1-k_b}}$

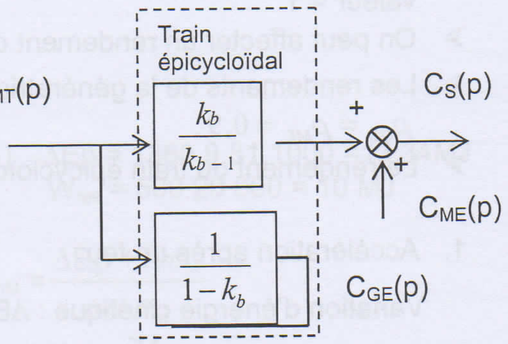
Question 3.C.4

$C_S = \alpha C_{ME} + \beta C_{MT}$

On élimine C_{GE} de la relation (1), on obtient : $C_S = -C_{ME} - C_{MT} - \gamma.C_{MT}$

$C_S = -C_{ME} - \dfrac{k_b}{1-k_b}C_{MT} = -C_{ME} - C_{MT}(1+\gamma)$

Donc : $\boxed{\alpha = 1}$ et $\boxed{\beta = \dfrac{k_b}{k_b - 1}}$



Question 3.D.1

- La vitesse maxi de 170 km/h correspond pour FS1 (tableau 1)
- La puissance du moteur thermique : P_{MTmaxi} = 60 kW (57 KW tableau 5)
- La puissance du moteur électrique : P_{MEmaxi} = 50 kW (50 KW tableau 5)

soit la Puissance maximale du système hybride 110 kW à 85 km/h (tableau 1)

Question 4.D.1

Modes de fonctionnement utilisés sur tout le trajet :

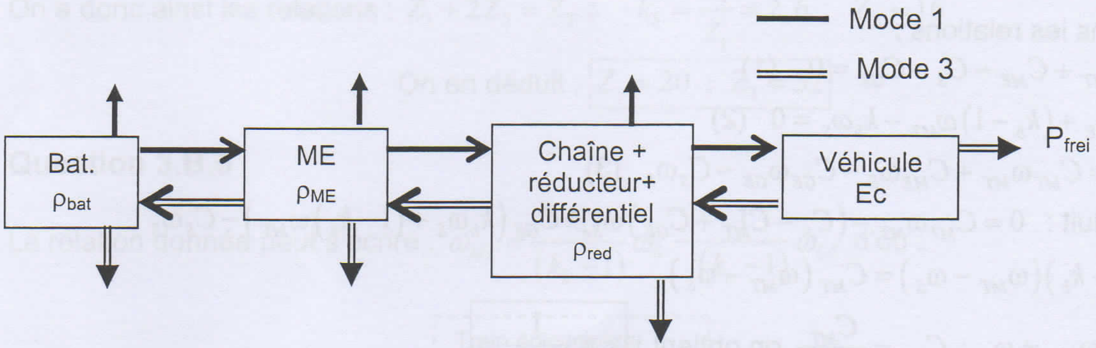
Cas 1 : arrivée à un feu rouge
Le véhicule est en mode 3 : l'énergie cinétique est récupérée pour recharger la batterie

Cas 2 : Départ d'un feu rouge de 0 à 50 km/h
Le véhicule est en mode 1 ; en fonctionne en tout électrique

Cas 3 : fonctionnement de 50 à 90 km/h
Le véhicule est en mode 2 : Le moteur thermique fournit la puissance nécessaire au véhicule et aussi à la génératrice pour recharger la batterie.

Sur le trajet urbain seul les modes 1 et 3 sont utilisés.

Les conditions peuvent être représentées sur le diagramme suivant :



Question 4.D.2

Pour faire un bilan énergétique il faut connaître tous les rendements des constituants de la chaîne d'énergie.

Hypothèses supplémentaires:

- Le rendement du réducteur+ la chaîne a fait l'objet d'une hypothèse précédente avec la valeur = 1
- On peut affecter un rendement de l'ordre de $\rho_{dif} = 0{,}9$ au différentiel.
- Les rendements de la génératrice et du moteur électrique sont supposés égaux à $\rho_{GE} = \rho_{ME} = 0{,}9$.
- Le rendement du train épicycloïdal est déjà supposé égal à 1 sur la figure 10.

1. Accélération après un feu:

   Variation d'énergie cinétique : ΔEc = ½ M.V² $\Delta Ec = \frac{1}{2} 1360 \frac{50}{3{,}6} = 0{,}131 MJ$

   Soit une consommation de la batterie $E_{URB1} = \dfrac{\Delta Ec}{\rho_{bat} \cdot \rho_{dif} \cdot \rho_{ME}}$

2. Freinage avant un feu:

La variation d'énergie cinétique : ΔEc = ½ M.V² est récupérée à 70% pour la recharge de la batterie, soit une consommation de la batterie :

$$E2_{bat} = -E_{URB2} = 0{,}7.\Delta Ec.\rho_{bat} \cdot \rho_{dif} \cdot \rho_{ME}$$

Le bilan pour un feu est donc $E_{Bat} = \Delta Ec\left(\frac{1}{\rho_{bat}\cdot\rho_{dif}\cdot\rho_{ME}} - 0{,}7.\rho_{bat}.\rho_{dif}.\rho_{ME}\right)$

$$E_{Bat} = \Delta Ec\left(\frac{1}{0{,}9.0{,}9.0{,}9} - 0{,}7.0{,}9.0{,}9.0{,}9\right) = 0{,}86.\Delta Ec = 0{,}112MJ$$

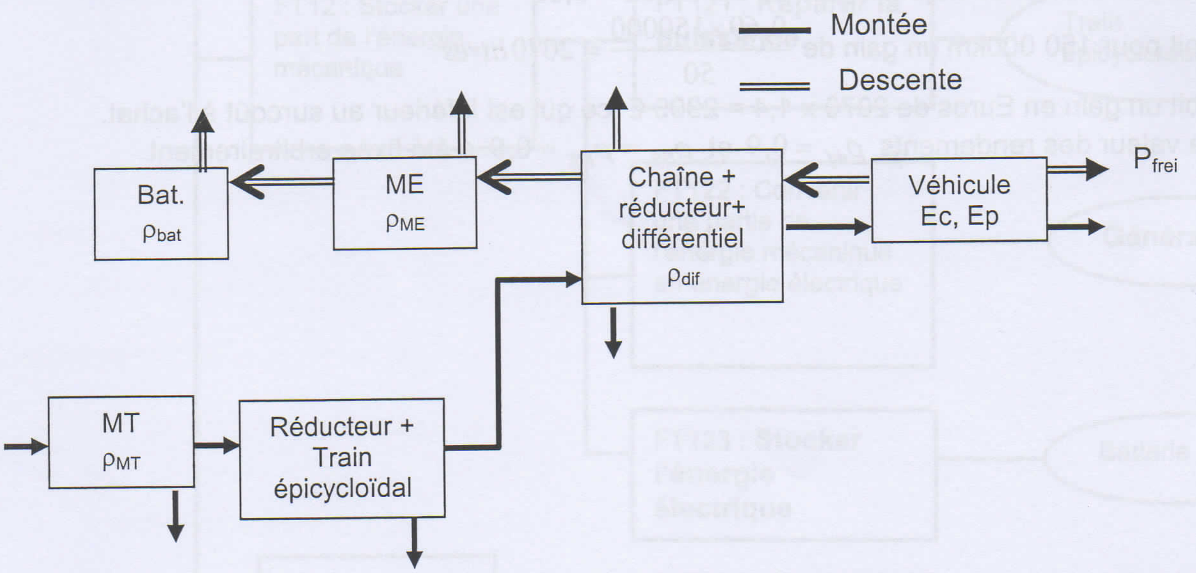
Question 4.D.3

Dans le cycle urbain la consommation due aux feux sera : $25.E_{Bat} = 2{,}8MJ$
Soit environ 40% de la charge maximale de la batterie 6,7MJ).

La recharge par le moteur thermique va nécessiter une énergie chimique : $E_{CH} = \frac{25.E_{bat}}{\rho_{bat}.\rho_{GE}.\rho_{MT}}$

A.N : $E_{ch} = \frac{2{,}8}{0{,}9.0{,}9.0{,}35} = 9{,}88MJ$ soit un volume de carburant : $\frac{9{,}88}{32} = 0{,}3$litre au lieu de 0,36litre pour un véhicule classique, soit un gain de 17% en ville.

Question 4.E.1



1. Montée à vitesse constante = 90km/h :
   Variation d'énergie potentielle : $\Delta Ep = M.g.(z_c - z_1)$ $\Delta Ep = 1360.9{,}81.1000 = 13{,}34MJ$
   Travail de l'effort résistant : $W_{res} = F_R.L$ $W_{res} = 500.20\,000 = 10$ MJ

   Soit une consommation d'énergie chimique : $E_{chM} = \frac{\Delta Ep + F_R.L}{\rho_{dif}.\rho_{MT}}$

   $E_{chM} = \frac{13{,}34 + 10}{0{,}9.0{,}35} = 74MJ$ soit un volume de carburant : $\frac{74}{32} = 2{,}3$litre

2. Descente à vitesse constante = 90 km/h:
   L'excédant d'énergie est $\Delta Ep - W_{res}$ soit 3,34MJ

   On calcule l'effort de freinage du moteur électrique F_f :

   $3{,}34MJ = F_f.L$ soit $F_f = \frac{3{,}34.10^6}{20.10^3} = 167N$ ce qui est inférieur à $F_f$maxi (440N),

⇒ Il ne sera pas nécessaire de freiner à la descente. (pour ce trajet modèle)

La recharge de batterie sera : $E_{batD}=\boxed{F_f.L.\rho_{bat}.\rho_{dif}.\rho_{ME} = 3,34.0,95.0,9.0,9 = 2,57MJ}$

Question 4.F.1

- En ville la consommation électrique est : $2x25xE_{bat} = 5,6MJ$
- En montée : consommation carburant de 2,3 litre
- En descente : recharge électrique de $E_{batD} = 2,57$ MJ

Pour recharger la batterie à son niveau d'origine par le moteur thermique, il faut :

$$\frac{5,6-2,57}{0,35.0,95.0,9.32} = 0,32\,\text{litre}$$

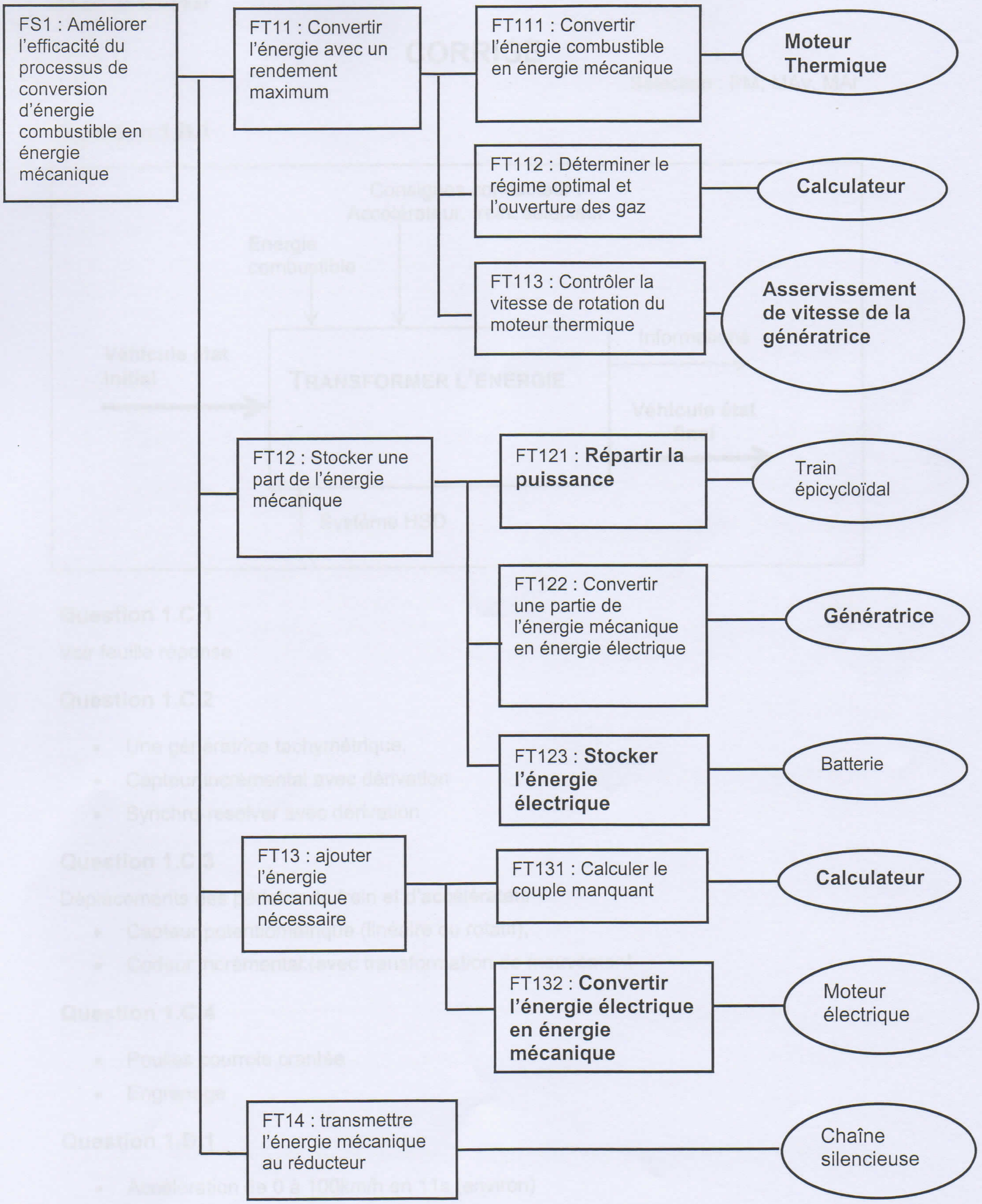
La consommation totale sera donc de 2,3 + 0,32 = 2,62 litres. Le gain est donc de 21% .
Ce qui est le gain minimum pour assurer la rentabilité

Question 4.F.2

Le trajet peut être majoré à 50 kms
Nous avons sur ce trajet un gain de 3,31-2,62 = 0,69

Soit pour 150 000km un gain de $\frac{0,69 \times 150000}{50} = 2070\,litres$

Soit un gain en Euros de 2070 x 1,4 = 2900 € ce qui est inférieur au surcoût à l'achat.
La valeur des rendements $\rho_{dif} = 0,9$ et $\rho_{GE} = \rho_{ME} = 0,9$ a été fixée arbitrairement.


FS1 : Améliorer l'efficacité du processus de conversion d'énergie combustible en énergie mécanique
FT11 : Convertir l'énergie avec un rendement maximum
FT111 : Convertir l'énergie combustible en énergie mécanique
Moteur Thermique
FT112 : Déterminer le régime optimal et l'ouverture des gaz
Calculateur
FT113 : Contrôler la vitesse de rotation du moteur thermique
Asservissement de vitesse de la génératrice
FT12 : Stocker une part de l'énergie mécanique
FT121 : Répartir la puissance
Train épicycloïdal
FT122 : Convertir une partie de l'énergie mécanique en énergie électrique
Génératrice
FT123 : Stocker l'énergie électrique
Batterie
FT13 : ajouter l'énergie mécanique nécessaire
FT131 : Calculer le couple manquant
Calculateur
FT132 : Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique
Moteur électrique
FT14 : transmettre l'énergie mécanique au réducteur
Chaîne silencieuse