

AGRÉGATION SESSION 2014

CONCOURS INTERNE

Section : Sciences Industrielles de l'Ingénieur
option : Ingénierie Électrique

EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE D'UN DOSSIER TECHNIQUE

DURÉE : 6 HEURES, COEFFICIENT : 1

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999)
Aucun document n'est autorisé

Technologies efficaces dans les véhicules

Le sujet comporte 29 pages : Questionnement : page 1 à 19

Annexes : page 20 à 29

Le sujet comprend deux parties :

Partie A : Appropriation des problématiques (durée conseillée 2h).....	4
Partie A.1 - Hybridation Thermique – Électrique des GMP.....	4
Partie A.2 - Mise en évidence de problématiques liées au bus CAN	6
Partie B : Développement d'une séquence pédagogique (durée conseillée 4h).....	10
Partie B.1 - Limitation de l'impact environnemental d'un système.....	13
Partie B.2 - Organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système.....	16
Partie B.3 - Mise en cohérence de l'ensemble des activités proposées et pilotage du groupe classe.....	18
Annexes.....	20

Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront chaque partie, le jury préférant une réflexion d'ensemble de la partie abordée à un éparpillement des réponses.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit : après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.
--

Enjeu : Réduction des émissions de CO₂ des véhicules automobiles

Contexte Général

Les transports routiers contribuent directement à l'effet de serre par les émissions de gaz comme le *dioxyde de carbone* (CO₂) qui est généré par la combustion de carburant. Cette contribution est très importante puisqu'elle représente plus de 95% des émissions dues aux transports.

Aujourd'hui le dérèglement climatique amène les pays à s'interroger sur les émissions de gaz à effet de serre et à mettre en place des dispositifs afin de les réduire. Si en 1920 les émissions de CO₂ étaient de 0,8 GTeC (Giga tonne équivalent carbone) par an, nous arrivions à 6 GTeC en 2009 et les perspectives envisagent, si rien n'est fait, d'atteindre les 10 GTeC en 2050. Les prévisions établies lors du protocole de Kyoto (décembre 1997 – ratifié par l'Union Européenne en 2002) présentent différents scénarios de l'évolution du climat en fonction de l'évolution des activités humaines. Une vision optimiste (scénario B1 – approche environnementale dans un contexte mondial) prévoit une augmentation de +2°C à l'horizon 2050.

Afin d'atteindre ces objectifs, la commission européenne a mis en place en 2009 des normes de performance en terme d'émissions pour les voitures neuves. Il s'agit de limiter les émissions à 130g de CO₂ par km puis de les réduire à 95 gCO₂/km en 2020. Les objectifs sont progressifs : 65% des véhicules sont pris en compte en 2012, puis 75% en 2013, 80% en 2014 et enfin 100% en 2015. Les constructeurs de véhicules particuliers ont donc des enjeux de réduction de consommation de carburant (le dioxyde de carbone, CO₂, est produit par la combustion de carburant).

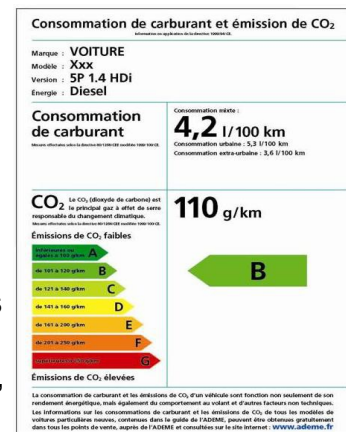
L'automobile et la consommation de carburant

Depuis les chocs pétroliers de 1973 et 1979, les constructeurs automobiles fabriquent des véhicules dont les moteurs consomment de moins en moins de carburant. Cette avancée technologique est souvent masquée par le phénomène de l'effet rebond : si les moteurs consomment moins de carburant, nous pouvons produire des véhicules plus grands, plus lourds... à consommation constante ou équivalente.

Aujourd'hui, la réglementation et la demande des consommateurs amènent les constructeurs à proposer des véhicules ayant une consommation raisonnable. Afin de comparer différents véhicules, les constructeurs ont l'obligation d'afficher une étiquette énergétique depuis 2006 (voir figure ci-contre). Celle-ci comprend l'identification du véhicule, le type de carburant, la consommation selon les cycles urbain, extra-urbain et mixte en litres/100km, les émissions de dioxyde de carbone CO₂ sur le cycle mixte et le positionnement du véhicule sur l'échelle des émissions (classes A à G).

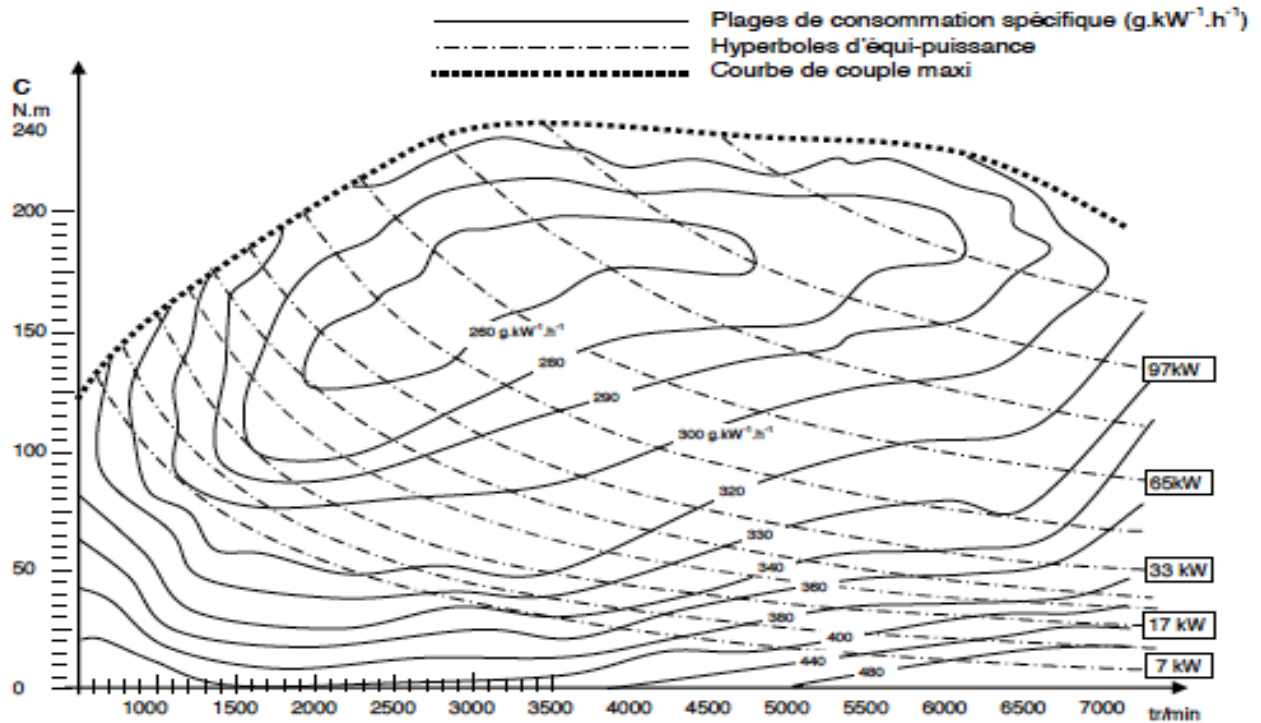
La consommation de carburant des véhicules automobiles est liée à plusieurs caractéristiques comme la consommation du moteur, la masse du véhicule, sa géométrie pour tenir compte des efforts de pénétration dans l'air, des efforts dus au roulement du véhicule, etc.

Pour un moteur à combustion interne, la quantité de carburant dépend de sa puissance, du couple demandé et de son régime en tours par minute. Les courbes d'iso-consommation indiquent les zones où le moteur est économe et celles qui engendrent une



forte consommation. Ces courbes permettent de comparer des motorisations différentes en fonction de la **consommation spécifique** CSP en g/kWh (gramme de carburant par kilowattheure). La donnée CSP représente l'inverse du rendement du moteur thermique.

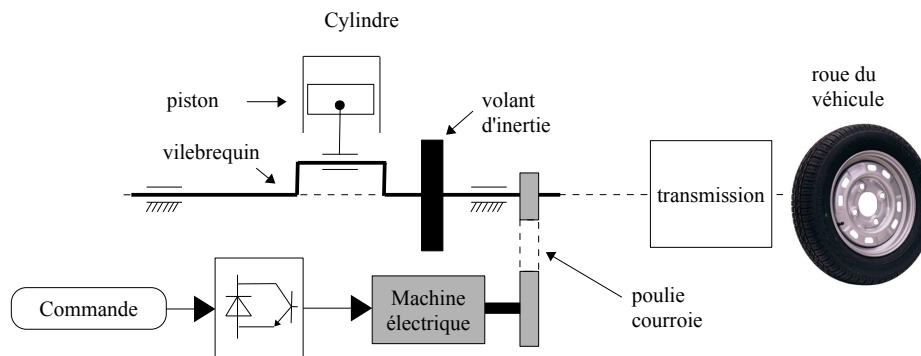
Courbes d'iso-consommation : (Fig.1)



source : Éducation Nationale

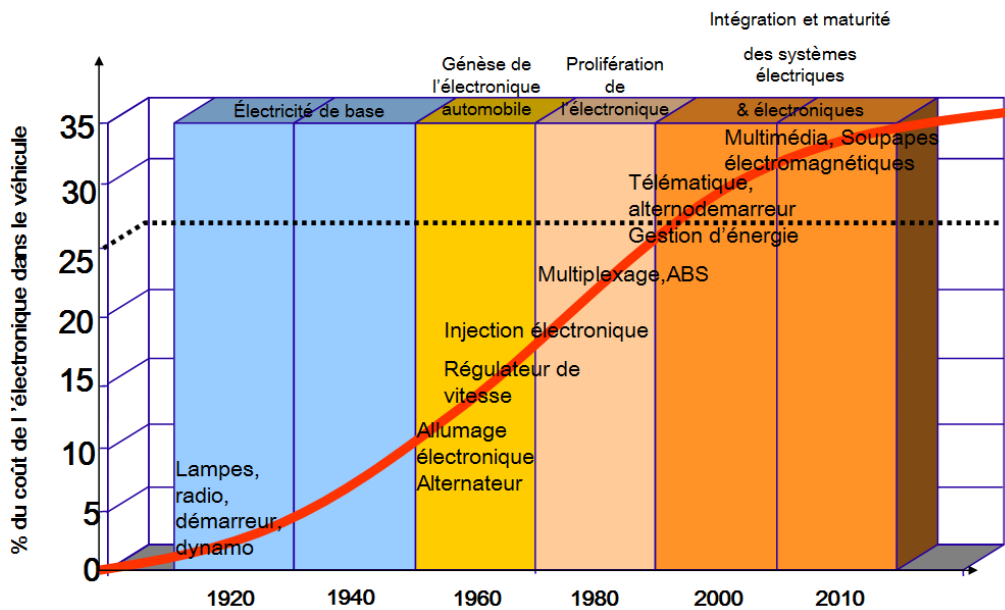
Le type de carburant employé dans le véhicule sera également à prendre en considération pour déterminer la quantité de CO₂ émise par kilomètre. Par exemple, l'objectif de 120 gCO₂/km impose une consommation de 5,2 litres/100km pour un véhicule essence.

Les moteurs hybrides sont aujourd'hui une solution pour réduire les émissions de CO₂ sans dégrader l'autonomie des véhicules automobiles. La solution consiste à sous-dimensionner le moteur thermique et à lui adjoindre une machine électrique pour des performances du groupe moto-propulseur (GMP) comparables à celles des véhicules classiques. En effet, le moteur électrique permet de recharger des batteries et d'apporter la réserve de couple nécessaire aux phases d'accélération.



Les éléments de réduction de la consommation des véhicules ne se limitent pas au groupe moto-propulseur ; l'usage d'un bus de communication (bus CAN) à la place du faisceau électrique traditionnel a permis de palier aux problèmes de connectiques et permet d'alléger le véhicule de 30 à 40 kg de cuivre.

Ce réseau de communication répond également aux exigences de robustesse et de fiabilité liées aux échanges d'informations entre les différents calculateurs du véhicule. La part des systèmes électriques et électroniques embarqués autorise les évolutions de gestion énergétique inhérents aux nouveaux véhicules automobiles.



Taux de pénétration des systèmes embarqués - source PSA Peugeot Citroën

Partie A : Appropriation des problématiques (durée conseillée 2h)

Partie A.1 - Hybridation Thermique – Électrique des GMP

L'étude propose de montrer l'intérêt de l'hybridation du GMP sur le point de fonctionnement du moteur thermique.

Hypothèses retenues pour cette étude

Le véhicule roule à 80 km/h à vitesse stabilisée sur route horizontale.

Véhicule

- Masse totale : $m_T = 1300$ kg
- Maître couple : $S.Cx = 0,55$ m²
- Coefficient de résistance au roulement : $K_r = 0,015$
- on considérera un rendement unitaire pour la transmission

Groupe Moto-Propulseur

- Moteur thermique :
- Essence, 4 cylindres, 16 soupapes, cycle ATKINSON
 - Puissance maximum : 52 kW (70 CV)
 - Cylindrée : 1,5 litre
 - Courbe d'iso-consommation donnée en document réponse page 20

- Moteur électrique :
- Puissance utile max = 33 kW

Batterie d'accumulateurs

- Pmax durant la charge : 15 kW
- énergie utilisable : 720 Wh

Carburant

- Supercarburant :
- densité 0,72
 - rejets de CO₂ : 2,28 kg/litre brûlé

Point de fonctionnement du moteur thermique seul à la vitesse stabilisée de 80 km/h (V_{80})

QA1.1- Calculer la force de résistance à l'avancement du véhicule pour V_{80}
Pour faire ce calcul, on donne les relations suivantes :

$$F_r = K_r \cdot m_T \cdot g \quad (\text{Résistance au roulement due aux pneumatiques})$$

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V^2 \quad (\text{Résistance due aux efforts aérodynamiques})$$

$$F = F_r + F_a$$

où :

- x K_r représente le coefficient de résistance à l'avancement dû aux pneumatiques

- x $g = 9,81\text{m/s}^2$
- x ρ représente la masse volumique de l'air ($1,2\text{ kg/m}^3$)
- x S représente la surface frontale du véhicule
- x C_x représente le coefficient de pénétration du véhicule

QA1.2- Calculer la puissance correspondante P_{80} que doit fournir le GMP pour la vitesse V_{80} .

QA1.3- Pour la puissance P_{80} , calculer et représenter sur le document réponse « Courbes iso-consommation », page 20, les valeurs du couple C_r pour les valeurs de n comprises entre 1000 tr/min et 4500 tr/min.

QA1.4- Toujours pour la puissance P_{80} , calculer le rejet de CO_2 en gCO_2/km dans le cas le plus favorable pour des vitesses comprises entre 1500 tr/min et 4500 tr/min.

Mise en évidence de l'intérêt d'une hybridation thermique-électrique pour les points de fonctionnement à la vitesse V_{80}

Phase 1 : Le véhicule roule à 80 km/h avec le moteur thermique réglé sur son meilleur point de fonctionnement : on prendra $n=2400\text{ tr/min}$; $C = 90\text{ Nm}$ soit une consommation spécifique (CSE) de 233 g/kWh . Le moteur thermique entraîne le véhicule et recharge la batterie.

QA1.5- Calculer alors la puissance que délivre le moteur thermique.

QA1.6- En déduire la puissance disponible pour charger la batterie.

QA1.7- La batterie étant déchargée, calculer le temps de charge pour ce régime de fonctionnement.

QA1.8- Calculer la consommation de carburant ainsi que la distance parcourue durant cette phase 1.

Phase 2 : La batterie d'accumulateurs est chargée, le véhicule roule à 80 km/h avec le moteur thermique éteint. Seul le moteur électrique entraîne le véhicule.

QA1.9- Calculer le temps de décharge de la batterie pour ce régime de fonctionnement ainsi que la distance parcourue par le véhicule.

Conclusion

QA1.10- Calculer le rejet de CO_2 en gCO_2/km pour cette motorisation.

QA1.11- En prévision de l'exploitation pédagogique, proposer une représentation graphique qui illustre la circulation des flux d'énergie durant chacune des phases.

Partie A.2 - Mise en évidence de problématiques liées au bus CAN

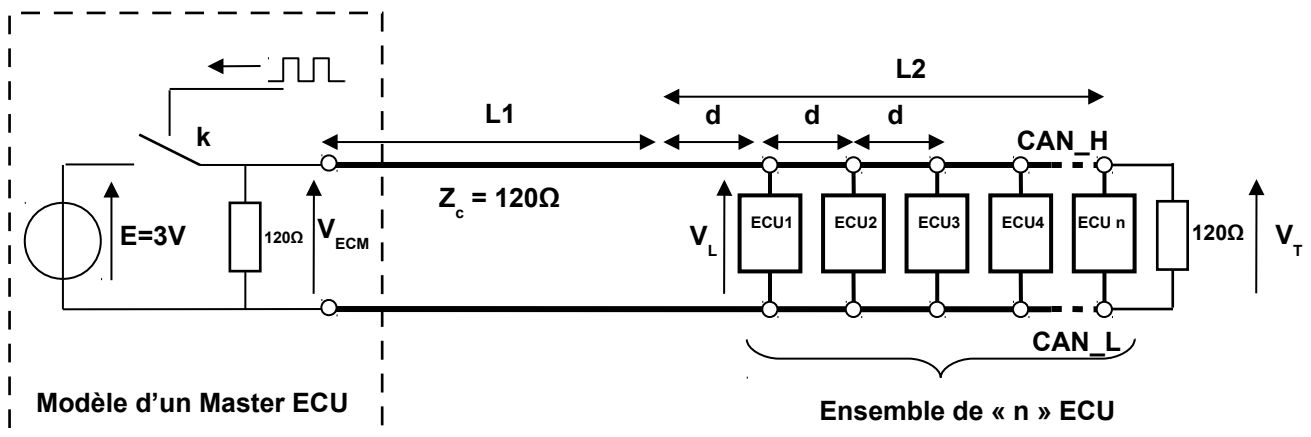
L'étude suivante propose de mettre en évidence différentes techniques permettant la fiabilisation des échanges d'informations au sein d'un bus CAN. Cette étude pourra servir de base lors de la conception de l'activité pédagogique, partie intégrante de la séquence devant être produite (demandée en partie B du sujet).

L'ensemble des relations mathématiques ou connaissances nécessaires à la résolution des questions posées ci-après est contenue dans le dossier technique.

Préconisation pour une règle d'espacement des ECU sur le bus

Les différentes ECU ne sont pas forcément uniformément réparties tout le long du bus. Il est ainsi possible de retrouver des ensembles d'ECU venant **dégrader localement l'impédance de la ligne**. Chaque ECU amène en effet un ensemble de capacités liées aux transceivers employés ainsi qu'à la connectique. On se propose d'analyser les contraintes liées à la disposition des différents ECU sur le bus et de valider une règle participant à l'amélioration de la robustesse du bus.

On considère le modèle suivant pour l'analyse menée :



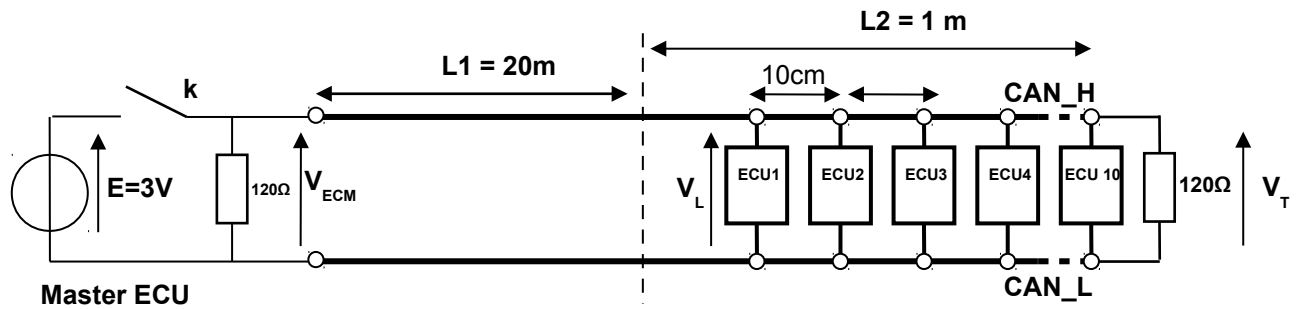
Pour **simplifier l'étude**, on considère que la capacité C_L amenée par chaque ECU peut être **uniformément répartie sur un tronçon de ligne de longueur « d »**.

QA2.1- C_L est la capacité maximum amenée par chaque ECU telle que :

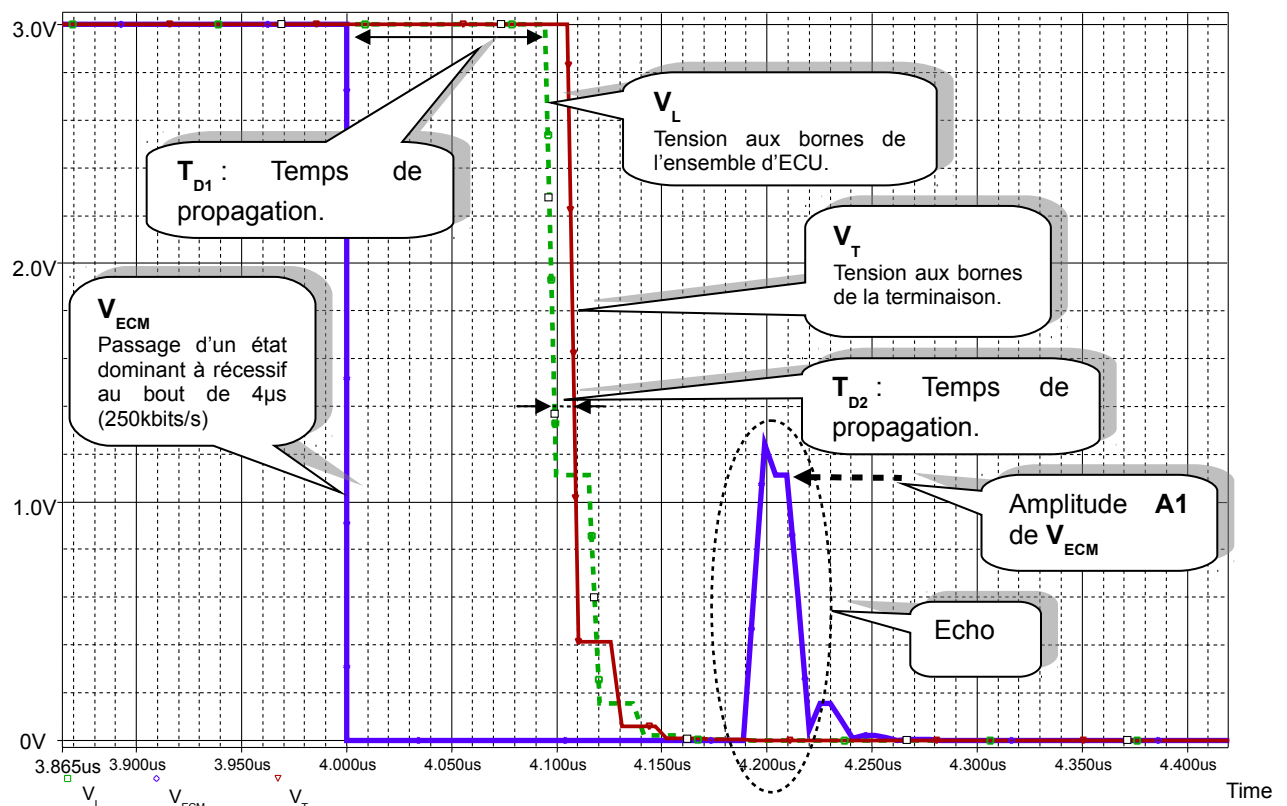
$C_L = C_c + C_T \max$ où C_c est la capacité différentielle équivalente liée au circuit imprimé et à la connectique de chaque ECU (estimée ici à 5pF) et $C_T \max$ est la capacité différentielle maximum de l'entrée du transceiver. Déterminer la valeur de C_L .

QA2.2- Déterminer l'expression de l'impédance caractéristique du tronçon de ligne de longueur $L2$ (câble de longueur $L2 + ECU$) en fonction notamment de C_L et de d .

Les problèmes engendrés par la présence d'ensembles d'ECU, groupés sur le bus, sont illustrés dans l'exemple ci-après (valeur de C_L déterminée précédemment) :



Résultat de simulation de la structure



QA2.3- Justifier les valeurs des durées T_{D1} et T_{D2} .

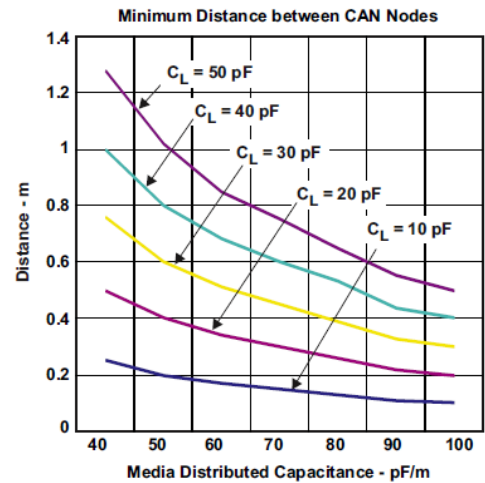
QA2.4- Dessiner un schéma faisant apparaître les différentes lignes entrant « en jeu » et préciser les différentes valeurs des impédances caractéristiques rencontrées (*l'impédance caractéristique de la ligne de longueur L_2 sera notée Z'*). Justifier succinctement :

- la présence de l'écho sur $V_{ECM}(t)$
- la valeur de l'amplitude **A1** liée à la présence de Z' .

QA2.5- Préciser en quoi cet écho est gênant pour le Master ECU. Préciser la valeur limite de **A1** qui est sans incidence sur l'état devant être interprété.

On se propose à présent de généraliser cet exemple en considérant une ligne (longueur L2) d'impédance Z' dont la valeur dépend, notamment, de C_L .

QA2.6- Établir, à partir des dernières analyses menées, une relation entre d , C_L et C permettant de valider les préconisations d'espacement des différentes ECU données par Texas Instruments (voir graphe ci-contre).



Gestion du trafic des informations

La gestion du trafic informationnel présent sur le bus CAN et notamment la résolution des conflits, dans le cas où plusieurs ECU désirent transmettre en même temps, impose un mécanisme de gestion des priorités.

QA2.7- Indiquer quel champ de la trame de données permet de gérer les conflits.

QA2.8- On considère pour cette question que deux ECU désirent émettre en même temps :

Identification	ID
ECU1 Brake	0x030
ECU2 Batterie ECU	0x03B

- Indiquer le nom de l'ECU qui prendra le contrôle du bus.
- Expliciter cette prise de contrôle.

Sécurisation du transfert des informations

Afin de sécuriser la transmission des données, un champ CRC (Cyclic Redundancy Check) est ajouté au champ de données. On se propose d'analyser, en partie, cette méthode qui permet à un récepteur de vérifier la validité des données transmises.

QA2.9- Montrer comment le récepteur (ECU) est capable de vérifier l'intégrité des données reçues (données correspondant au polynôme $T(x)$, voir dossier technique en **page 22**).

On considère que les données transmises correspondent à un polynôme $T_1(x)$ et que les données reçues correspondent à un polynôme $T_2(x)$. Le polynôme représentant l'erreur à la réception est $E(x) = T_1(x) \oplus T_2(x) = e_{n-1}x^{n-1} + e_{n-2}x^{n-2} + \dots + e_0$

QA2.10- Donner la valeur de $E(\mathbf{x})$ lorsqu'il n'y a pas d'erreur de transmission.

QA2.11- On considère que $T_1(\mathbf{x})$ est différent de $T_2(\mathbf{x})$. Définir la condition sur $E(\mathbf{x})$ pour laquelle aucune erreur n'est détectée.

QA2.12- Le polynôme BOSCH91 $G(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^{15} + \mathbf{x}^{14} + \mathbf{x}^{10} + \mathbf{x}^8 + \mathbf{x}^7 + \mathbf{x}^4 + \mathbf{x}^3 + 1$ est divisible par $(\mathbf{x} + 1)$ (voir dossier technique page **22**). En employant ce polynôme et dans le cas où aucune erreur n'est détectable, montrer que l'erreur contient un nombre pair de '1'. Conclure sur l'intérêt d'un polynôme $G(\mathbf{x})$ factorisable par $(\mathbf{x} + 1)$.

QA2.13- Montrer qu'une division du polynôme $x^k M(x)$ par $G(x) = x + 1$ conduit à réaliser un générateur de parité paire.

QA2.14- Conclure sur l'intérêt du bus CAN dans le contexte du véhicule hybride.

Partie B : Développement d'une séquence pédagogique (durée conseillée 4h)

Afin de répondre à la réduction des émissions de CO₂, la partie précédente a montré qu'il est possible d'agir sur le point de fonctionnement du groupe moto-propulseur et d'employer l'électronique embarquée du véhicule afin de garantir une optimisation de l'émission de CO₂.

Il est demandé au candidat de produire une partie d'une séquence pédagogique d'enseignement technologique transversal destinée à une classe de terminale STI2D.

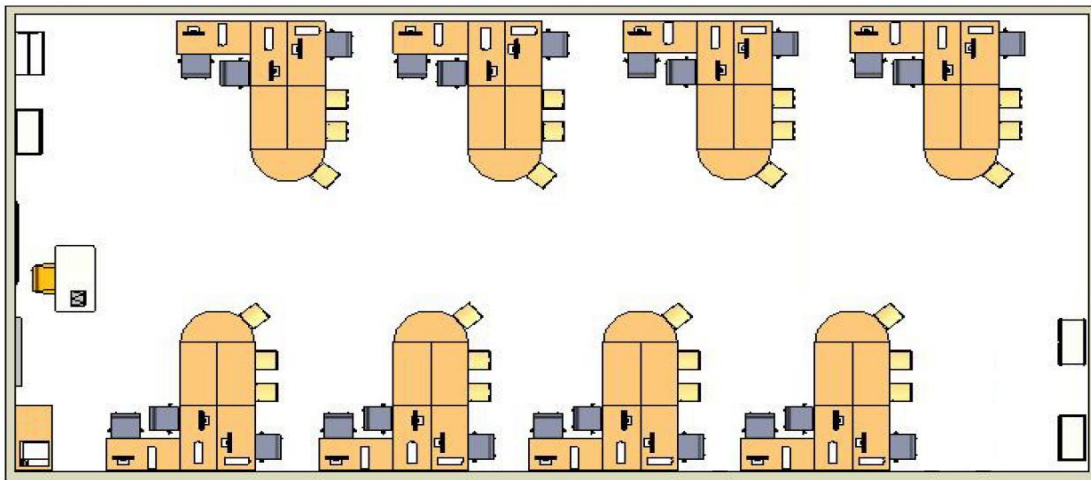
Cette séquence sera décrite à travers deux activités d'équipe de quatre élèves (parties B1 et B2) et d'une mise en cohérence pour l'ensemble de la classe (partie B3) :

- x partie B1 : production d'une activité destinée à évaluer l'efficacité énergétique d'un moteur thermique et à justifier l'architecture d'une motorisation hybride thermique-électrique ;
- x partie B2 : production d'une activité concernant des différents éléments concourants à la sûreté de la communication dans les véhicules et notamment quelques aspects de la robustesse du bus CAN ;
- x partie B3 : mise en cohérence de l'ensemble des activités proposées et pilotage du groupe classe.

Indications :

- ◆ La durée prévisionnelle de la séquence proposée est de 15h dont 10h consacrées aux activités en équipe ;
- ◆ La classe STI2D concernée comporte 30 élèves ;
- ◆ L'enseignement technologique transversal est dispensé en classe de terminale STI2D à raison de 5h hebdomadaire réparties comme suit ;
 - 2h classe entière ;
 - 3h pour un groupe de 16 élèves ;
 - 3h pour un groupe de 14 élèves.

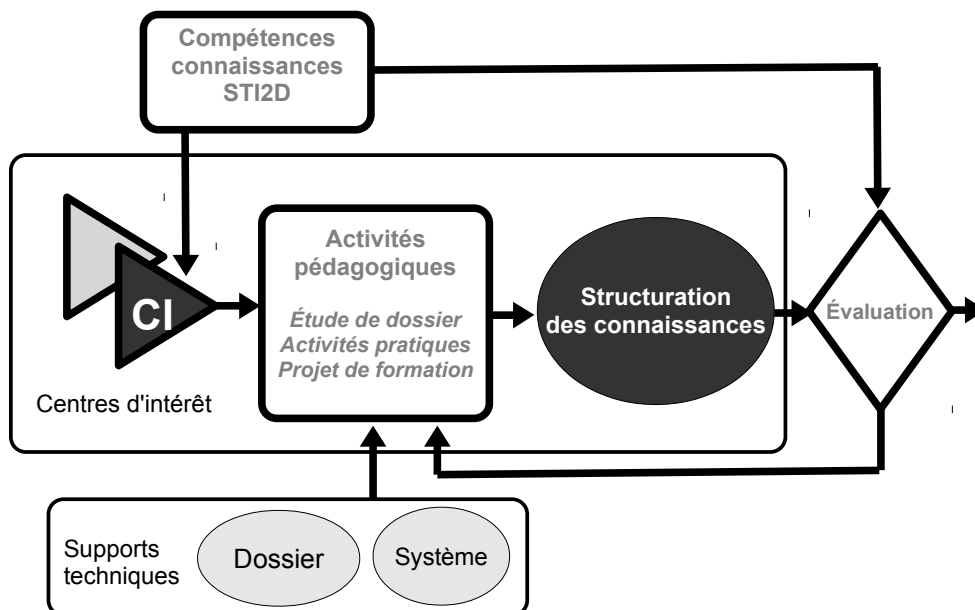
- L'ensemble des activités proposées auront lieu dans le laboratoire STI2D destiné aux enseignements technologiques transversaux. Les îlots représentés (plan ci-dessous) comportent chacun deux ordinateurs équipés des logiciels usuels de simulation et modélisation.



Plan générique d'un laboratoire d'enseignement transversal STI2D

- Prise en compte des centres d'intérêt dans l'organisation des enseignements :

Les activités de formation permettent, à l'intérieur d'une séquence, de viser l'appropriation de connaissances et compétences relatives à un nombre limité de **centres d'intérêts** afin de réduire le temps entre la phase d'activités de formation et la phase de structuration des connaissances. La notion de centre d'intérêt, organisation qui permet d'enseigner à un moment donné et sur des systèmes techniques différents, une classe limitée de connaissances et de compétences, est basée sur l'identification, dans le référentiel, des savoirs qui méritent une approche inductive, par l'analyse selon certains critères (expérience de l'équipe pédagogique, niveaux de complexité, de criticité et d'automatisation ou autre méthode permettant l'analyse et la hiérarchisation).



Les centres d'intérêt : une organisation pédagogique

Défini par des connaissances et des compétences, un CI permet d'aborder des points particuliers d'un programme. Afin de ne pas s'éloigner d'approches porteuses de sens, il est intéressant de construire un CI autour de problématiques réelles significatives.

Un CI s'appuie obligatoirement sur les supports disponibles d'un établissement.

Matrice des Centres d'intérêt

Niveaux d'analyse	Fonctionnel	Structural	Comportemental
Matière	Caractéristiques des matériaux et des structures	Caractérisation des matériaux et des structures	Dimensionnement et choix des matériaux et structures
Matière et Énergie		Efficacité énergétique dans la relation ME	Optimisation des choix ME d'un système par simulation
Énergie	Formes caractéristiques de l'Énergie et de	Caractérisation des chaînes d'énergie, rendement	Amélioration de l'efficacité énergétique à partir de simulations
Énergies et Information		Efficacité énergétique dans la relation EI	Optimisation des choix EI par simulation temporelle d'un système
Information	Formes caractéristiques de l'information et de	Caractérisation des chaînes d'info, réseaux	Validation d'une commande et de son support par simulation
Information et Matériaux		Relation info/matériau: captage de l'info	Optimisation des choix IM par simulation fréquentielle d'un système

extrait du document « ressources pour la classe de terminale technologique » Juin 2011

Partie B.1 - Limitation de l'impact environnemental d'un système

Les objectifs pédagogiques visés sont les suivants :

Objectif de formation et compétences attendues

extrait du Bulletin Officiel n°3 du 17 mars 2011

- O2-** Identifier les éléments permettant la limitation de l'impact environnemental d'un système et de ses constituants.
- CO2.1.** Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système.
- CO2.2.** Justifier des solutions constructives d'un système au regard des impacts environnementaux et économiques engendrés tout au long de son cycle de vie.

Pour cela, cette partie s'intéresse au développement d'une activité pédagogique **de travaux pratiques** s'appuyant sur l'évaluation de l'efficacité énergétique d'un moteur thermique décrite ci-dessous.

Évaluation de l'efficacité énergétique d'un moteur thermique

1- Objectif de l'expérimentation

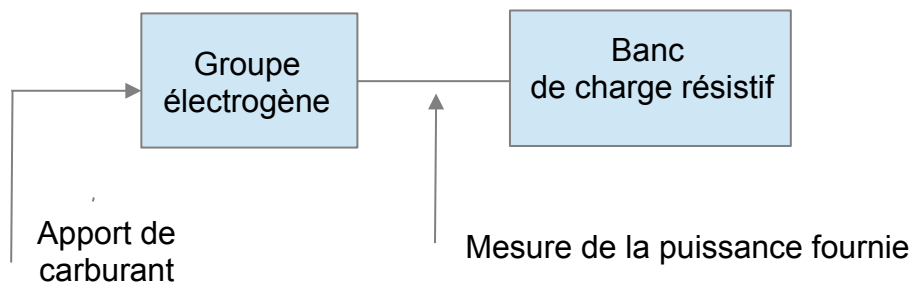
L'objectif de l'expérimentation est d'évaluer le rapport qui existe entre la quantité de carburant consommée et la production d'énergie mécanique fournie par un moteur thermique. Cette expérimentation montre que le rendement du moteur thermique dépend de son point de fonctionnement.

Malgré la faiblesse de leur rendement, les moteurs thermiques restent des groupes de propulsion intéressants pour la motorisation automobile du fait de l'autonomie permise. Dans le cadre des politiques de développement durable et pour garder une gamme de véhicules à large autonomie, il semble opportun de réfléchir à des stratégies visant à améliorer l'efficacité énergétique des groupes moto-propulseurs. Parmi de nombreuses solutions, la motorisation hybride thermique-électrique permet de préserver l'autonomie des véhicules et de réduire la consommation de carburant tout en gardant des performances comparables avec les motorisations traditionnelles. Pour cela, le moteur thermique doit toujours fonctionner à son meilleur rendement. Les groupes moto-propulseurs hybrides thermique-électrique résultent de l'association d'un moteur thermique et d'une machine électrique connectée à des batteries. L'ensemble est piloté par une stratégie de commande qui permet l'optimisation du rendement du moteur thermique.

2- Protocole de mesure

Chez les motoristes, la mesure du rendement se fait par l'intermédiaire de l'évaluation de la consommation spécifique CSE. En effet, pour tous les points de fonctionnement d'un moteur thermique, la mesure de la consommation spécifique CSE donne l'image du rendement. Pour rendre accessible l'évaluation du rendement des moteurs thermiques dans un contexte pédagogique, il est possible d'illustrer la démarche des motoristes par l'utilisation d'un groupe électrogène. Le groupe électrogène retenu dans cette expérimentation est un SDMO Phoenix 2800 (voir documentation page 21).

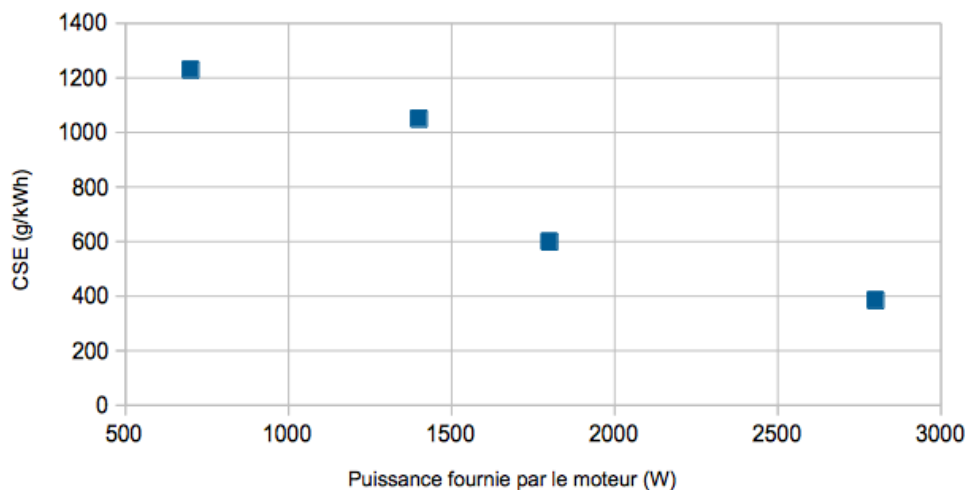
La mise en situation de l'expérimentation est la suivante :



Pour effectuer une mesure de rendement, une quantité de carburant dosée avec une éprouvette graduée est versée dans le réservoir puis le banc de charge est réglé à une fraction de la puissance nominale du groupe. Le groupe est démarré puis le temps de fonctionnement jusqu'à l'arrêt total est mesuré à l'aide d'un chronomètre.

3- Résultats de mesure

Consommation spécifique du moteur KOLHER
en fonction de la puissance à la fréquence de rotation de 3000 tr/min

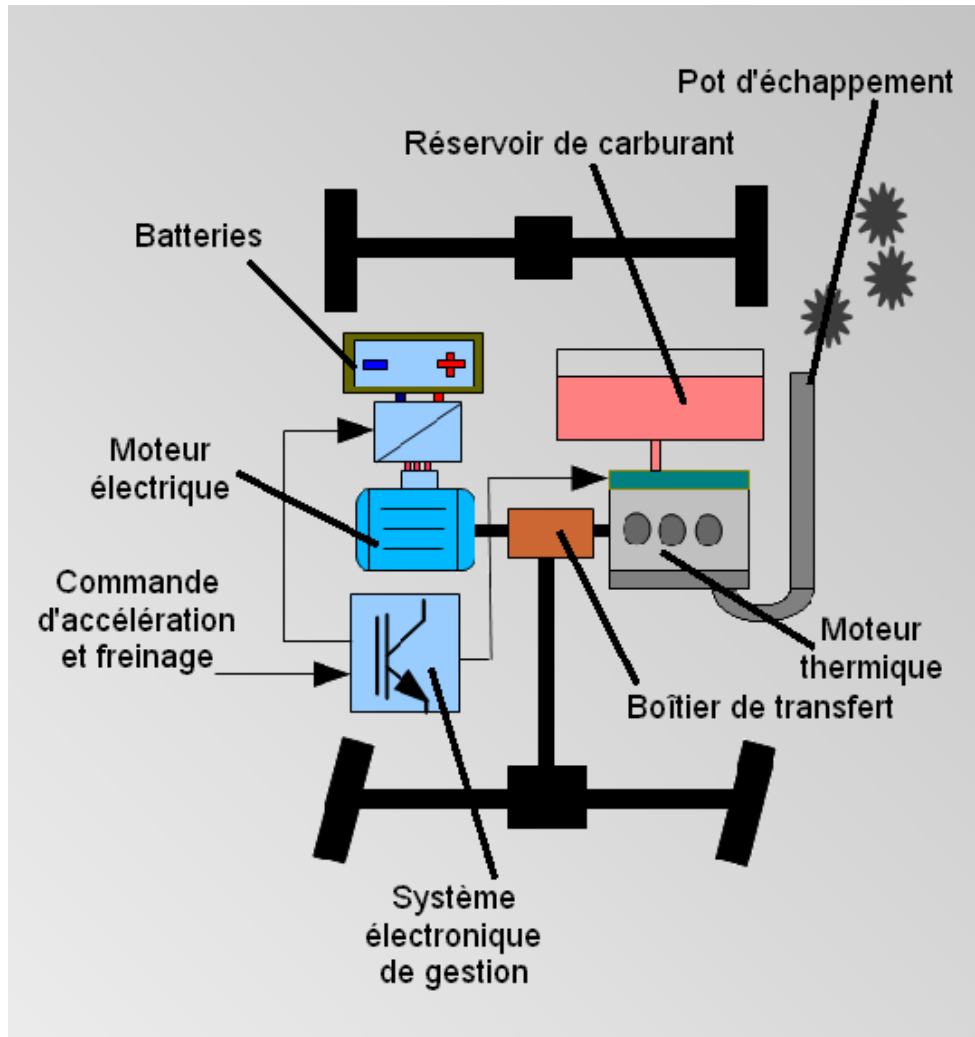


4- Discussion

L'expérimentation montre bien que le rendement du moteur est le meilleur quand il fonctionne à sa puissance nominale (CSE environ égale à 400 g.kWh^{-1}) alors qu'à mi-puissance, la CSE est de 1100 g.kWh^{-1} . La valeur de 400 g.kWh^{-1} était prévisible car le constructeur annonce une consommation de 1,3 litre par heure à la puissance nominale (3kW) pour un litre de supercarburant (PCI : 44 MJ.kg^{-1} , densité : 0,76). Nous observons par ailleurs que le rendement est, dans le meilleur des cas, inférieur à 30 %.

Cette expérimentation peut s'avérer difficile à intégrer dans une séquence pédagogique car pour chaque point de fonctionnement, il est nécessaire de doser le carburant et laisser le moteur vider son réservoir. La mise en place d'un débitmètre entre le réservoir et le carburateur pourrait sans aucun doute rendre l'expérimentation plus facile à réaliser dans la durée limitée d'une séance pédagogique.

Architecture simplifiée d'un véhicule hybride



Question B.1

Afin de répondre aux objectifs définis précédemment, on demande de décrire une activité pédagogique qui permet à une équipe de quatre élèves de terminale STI2D de :

- mettre en évidence par une expérimentation sur un groupe électrogène qu'un moteur thermique possède des points de fonctionnement plus ou moins efficaces vis à vis des émissions de CO_2 ;
- montrer que le fait d'utiliser un moteur thermique à son meilleur rendement dans un environnement où la charge n'est pas constante nécessite un stockage d'énergie ;
- justifier l'architecture du groupe moto-propulseur d'un véhicule hybride thermique électrique.

La production attendue comprendra tous les documents nécessaires à la compréhension de l'intention pédagogique, notamment :

- les documents « professeur » des démarches et stratégies pédagogiques mobilisées ;
- la trame des documents remis aux élèves ;
- l'organisation du poste de travail ;
- une description du matériel nécessaire à l'expérimentation ;
- le schéma de l'installation ;
- le mode opératoire de l'expérimentation.

Partie B.2 - Organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système

Les objectifs pédagogiques visés sont les suivants :

Objectif de formation et compétences attendues
extrait du Bulletin Officiel n°3 du 17 mars 2011

O4 : Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système.

CO4.2 : Identifier et caractériser l'agencement matériel et/ou logiciel d'un système.

CO4.3 : Identifier et caractériser le fonctionnement temporel d'un système.

CO4.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations (acquisition, traitement, transmission) d'un système.

Extrait du programme "enseignements technologiques communs en STI2D" ;

2.3.6 Comportements informationnels des systèmes (3)				<i>Activités pratiques liées à la mise en œuvre d'un produit industriel ou d'un système permettant l'application des différents modèles de description de l'information (en statique et en dynamique) et la caractérisation des entrées-sorties de ses différents constituants. Les modèles de comportement sont étudiés autour d'un point de fonctionnement. Au niveau de l'expression de l'information on se limite aux grandeurs statistiques usuelles (moyenne et écart type)</i>
Caractérisation de l'information : expression, visualisation, interprétation, caractérisations temporelle et fréquentielle		1ère/T	2	
Modèles de description en statique et en dynamique		1ère/T	3	
Modèles algorithmiques : structures algorithmiques élémentaires (boucles, conditions, transitions conditionnelles). Variables	M(4)	1ère/T	3	

(3) On se limite au domaine des basses fréquences. Le mesurage en hautes fréquences peut éventuellement être abordé dans la spécialisation Sin.

(4) Nécessité d'une étroite coordination avec la progression pédagogique en mathématiques

3.1.4 Traitement de l'information				<i>Les opérandes simples (somme, différence, multiplication, retard, comparaison) sont extraites de bibliothèques graphiques fournies. On se limite aux principes de la programmation objet. Pour les systèmes événementiels on utilise les composants programmables intégrés.</i>
Codage (binaire, hexadécimal, ASCII) et transcodage de l'information, compression, correction		1ère/T	3	
Programmation objet : structures élémentaires de classe, concept d'instanciation		1ère/T	2	
Traitement programmé : structure à base de microcontrôleurs et structures spécialisées (composants analogiques et/ou numériques programmables)		1ère/T	2	
Systèmes événementiels : logique combinatoire, logique séquentielle		1ère/T	3	
Traitement analogique de l'information : opérations élémentaires (addition, soustraction, multiplication, saturation)(6)		1ère/T	1	

Les éléments de contexte généraux sont rappelés dans l'introduction de la partie B.

- Activité destinée à une équipe de quatre élèves de terminale STI2D dans le cadre de l'enseignement technologique commun ;
- Le laboratoire est équipé des outils informatiques et logiciels usuels (outils de simulations et modélisations) ;
- Le dossier technique du bus CAN à disposition ;

Pour cela, cette partie s'intéresse au développement d'une activité pédagogique sous forme d'une **étude de cas** s'appuyant sur les éléments donnés ci-dessus.

Question B.2

Il est demandé au candidat de décrire une activité pédagogique sous la forme d'une étude de cas qui permettra à une équipe de quatre élèves de terminale STI2D de :

- montrer, en identifiant les éléments pertinents du système, que la topologie d'un bus CAN revêt une importance quant à la fiabilité des échanges d'informations ;
- montrer que l'emploi d'un code CRC permet de vérifier l'intégrité des données transmises sur le bus et participe ainsi à la fiabilité des messages échangés ;
- expliciter et justifier la gestion des priorités des différentes informations circulant sur le bus.

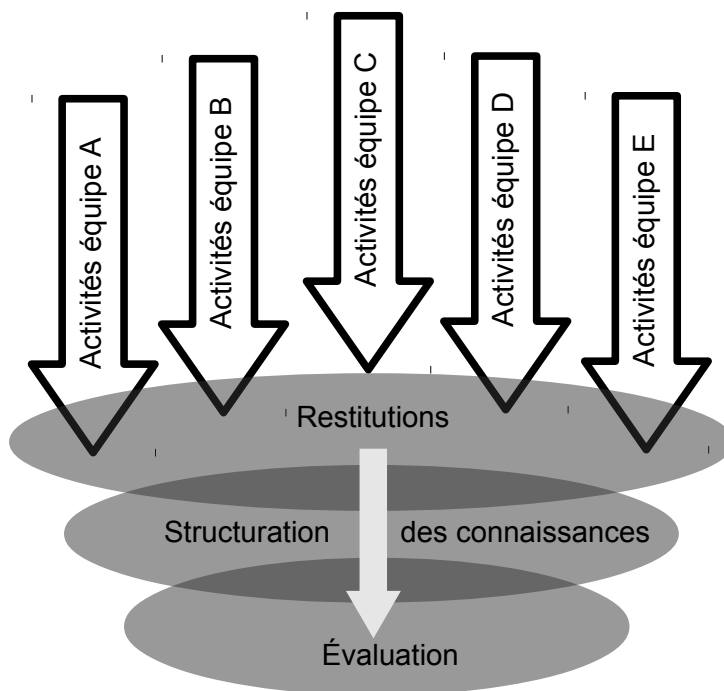
La production attendue comprendra tous les documents nécessaires à la compréhension de l'intention pédagogique, notamment :

- les documents « professeur » des démarches et stratégies pédagogiques mobilisées ;
- une trame des documents remis aux élèves ;
- l'organisation du poste de travail ;
- une description des outils logiciels, des modèles, et/ou des matériels mis en œuvre.

Partie B.3 - Mise en cohérence de l'ensemble des activités proposées et pilotage du groupe classe

L'objectif de cette partie est d'amener le candidat à définir l'organisation du travail de l'ensemble de la classe, notamment en intégrant les activités des groupes d'élèves A et B telles que définies respectivement dans les questions B1 et B2 .

Les activités des deux équipes d'élèves D et E participent aux mêmes centres d'intérêts et ne sont pas étudiées dans cette épreuve. L'organisation de la séquence proposée sera construite conformément au graphe suivant :



QB3.1- À partir de la matrice des centres d'intérêts représentée dans l'introduction de la partie B, choisir le centre d'intérêt à associer respectivement aux activités des équipes A et B. Justifier succinctement les deux choix retenus.

QB3.2- On souhaite que l'activité conduite par l'équipe C soit en relation avec l'un des deux centres d'intérêt retenus précédemment. Décrire, en dix lignes plus ou moins deux lignes, l'activité envisageable en précisant les intentions pédagogiques.

QB3.3- -Expliciter l'organisation spatio-temporelle retenue pour la mise en œuvre de cette séquence de façon à faire apparaître toutes les composantes de l'organisation conformément au cahier des charges et éléments de contexte précédemment précisés. La réponse sera formulée de façon synthétique, éventuellement à partir d'un ou plusieurs tableau(x) ou tout autre format jugé pertinent par le candidat.

QB3.4- Expliciter les modes opératoires envisagés pour la restitution des travaux des différentes équipes en prévision d'une structuration des connaissances à l'échelle du groupe classe. Réponse attendue en dix lignes plus ou moins deux lignes.

À l'issue de cette séquence, suite aux phases de restitution des travaux et de structuration des connaissances, une évaluation des acquis des élèves est envisagée.

QB3.5- Proposer une trame d'évaluation sommative, envisagée pour l'ensemble de la classe, permettant d'évaluer le transfert des compétences acquises par les élèves à l'issue de la phase de structuration.

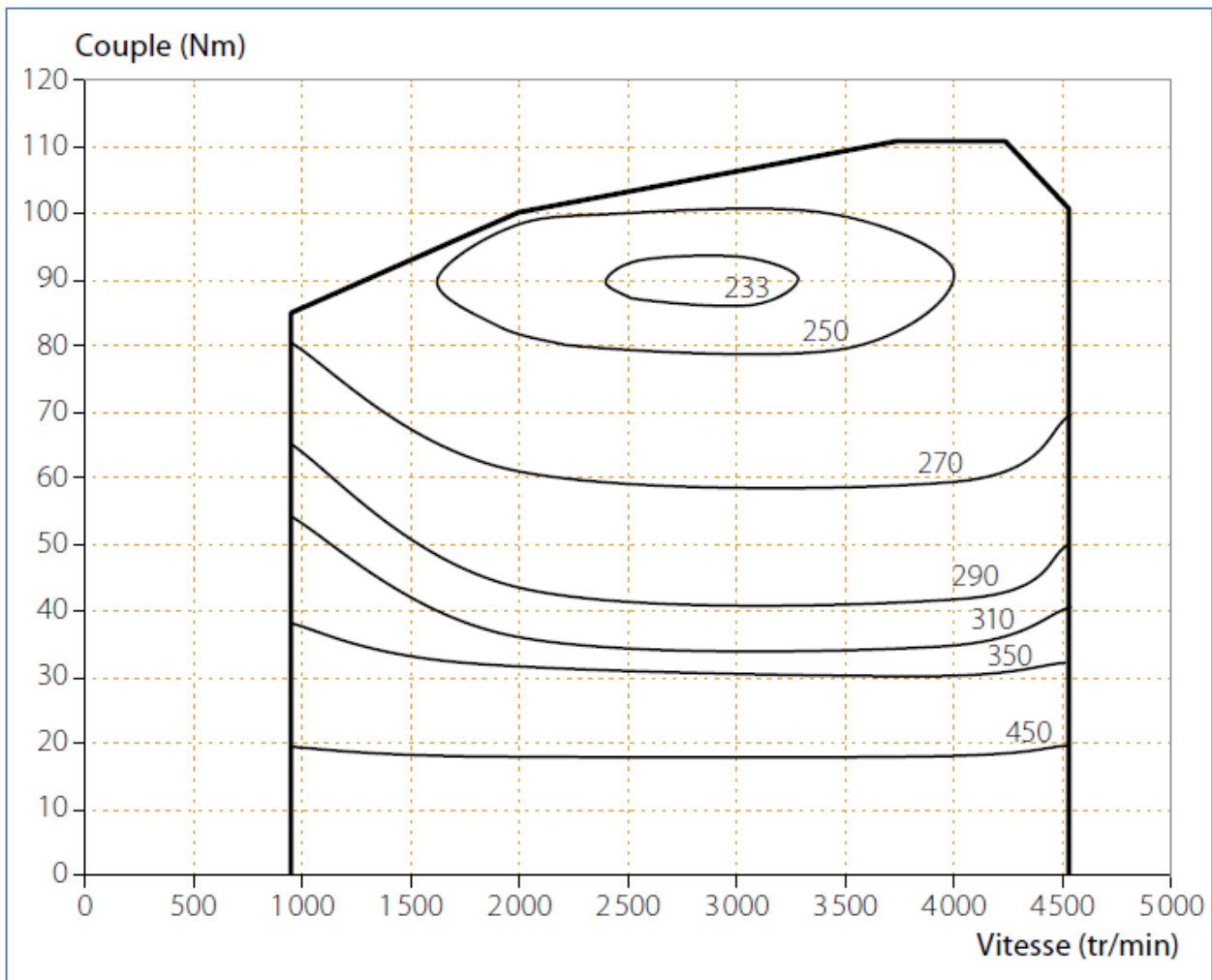
Il n'est pas demandé au candidat de rédiger les documents élèves.

QB3.6- Conclure en proposant une analyse critique des modèles pédagogiques et organisationnels proposés et en discutant notamment de l'adéquation des objectifs pédagogiques visés en regard des moyens mis en œuvre.

Annexes

Courbe iso-consommation (à rendre avec la copie)

Consommation Spécifique CSE en g/kWh



Annexe - Groupe électrogène PHOENIX 2800

CARACTERISTIQUES GENERALES

Gamme	Phoenix
Fréquence (Hz)	50
Puissance max. (LTP) (kW)	3
Puissance max. (LTP) (kVA)	3,75
Tension nominale (V)	230
Nombre de phase	Monophasé
Puissance acoustique garantie Lw(A)	96
Niveau sonore dB(A) à 1m	83
Niveau sonore dB(A) à 7m	68



CARACTERISTIQUES MOTEURS

Type moteur	CH270
Distribution	O.H.V.
Autonomie (h)	3,20
Consommation (L/h)	1,30
Réservoir (L)	4,10
Sécurité huile	Oui
Cylindrée (cm3)	208
Capacité d'huile (L)	0,60

CARACTERISTIQUES ALTERNATEURS

Type	Sans bague ni balai
Régulation	Mécanique
Classe de protection	IP 23
Classe d'isolement	Classe H

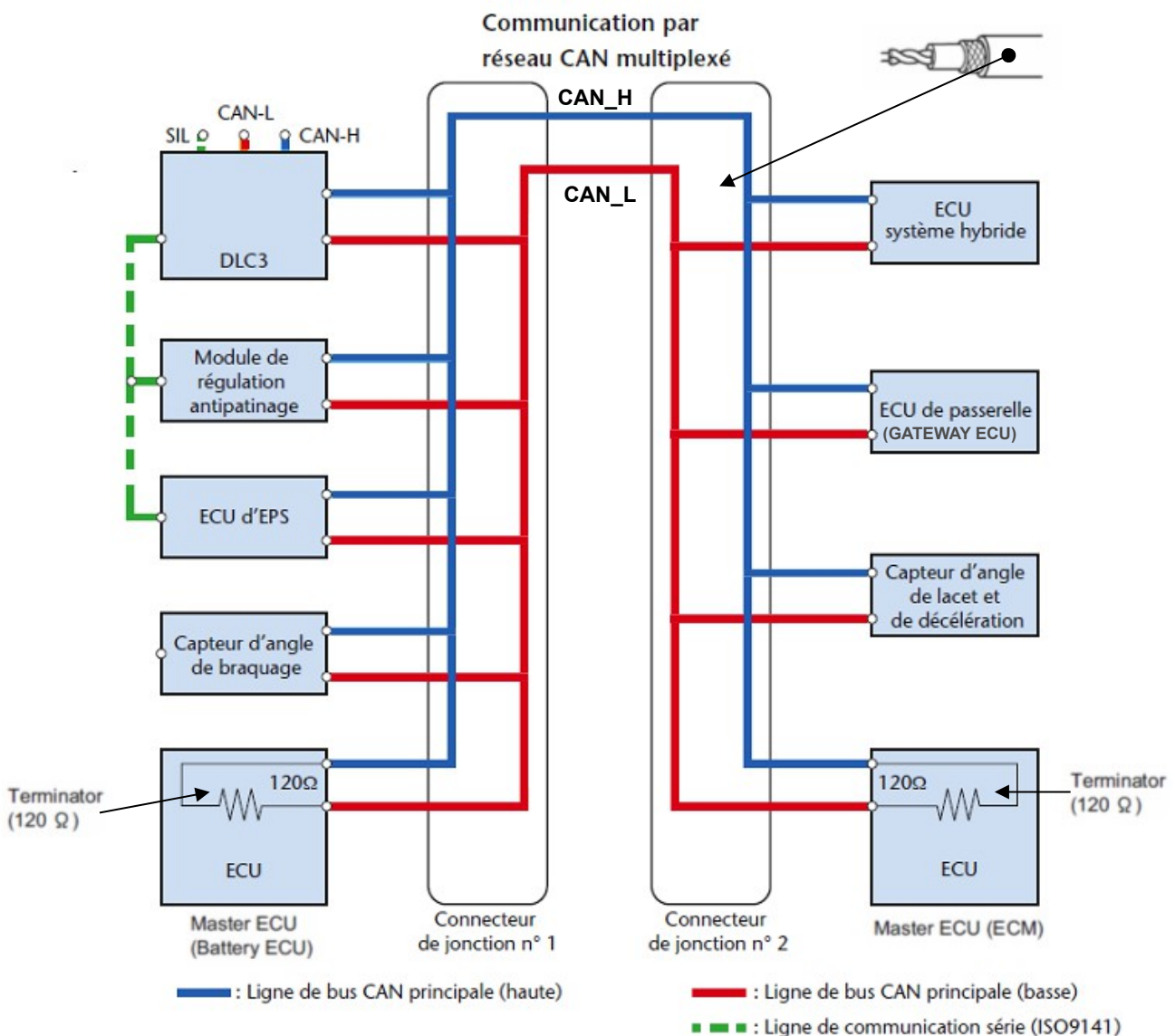
ÉLÉMENTS DOSSIER TECHNIQUE BUS CAN

1. BUS CAN HS (High Speed)

1.1 Présentation

Afin de répondre aux exigences liées à la gestion énergétique des véhicules hybrides, la qualité des échanges d'informations est primordiale. De la robustesse du bus **CAN HS** (Controller Area Network High Speed _norme ISO 11898_) dépendent l'efficacité énergétique du véhicule ainsi que sa mise en sécurité.

Le bus CAN HS(Controller Area Network) est un bus multi maître qui permet la liaison entre un ensemble de nœuds (ECU : Electronic Control Unit). Le débit d'information peut atteindre 1Mbit/s.



Legende :

ECU : Electronic Control Unit

ECM : Electronic Control Module

1.2 Principales caractéristiques du BUS CAN

La méthode d'accès au média est basé sur la méthode CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

Carrier Sensor (CS) : Chaque noeud écoute le bus pendant une période (bus libre) avant de transmettre.

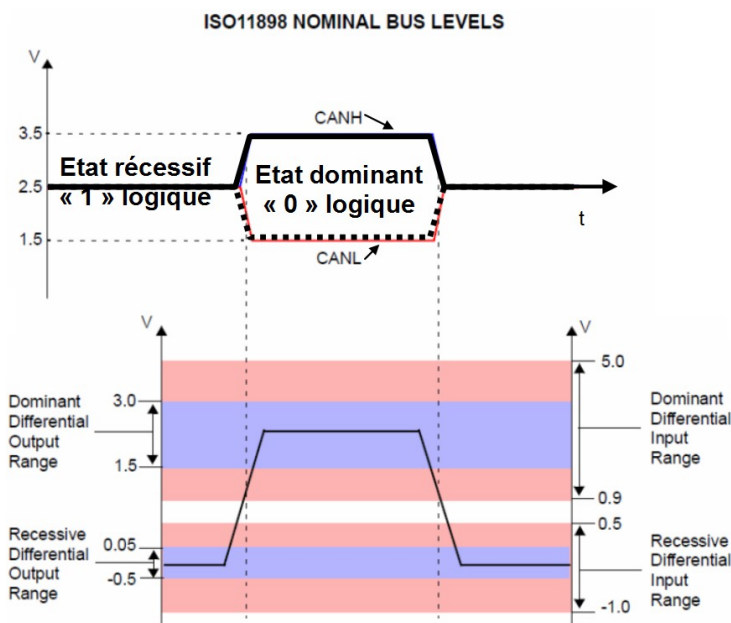
Multiple Access (MA) : Chaque noeud a la même priorité pour envoyer des messages lorsque le bus est libre.

Collision Detection (CD) – Si deux noeuds décident de transmettre au même moment, il y a collision. Chaque noeud transmet et écoute. Si ce qu'il écoute est différent de ce qu'il a transmit
→ collision

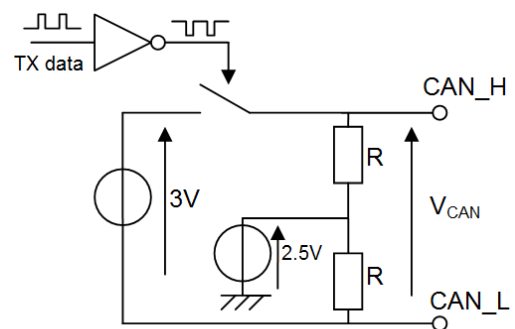
Collision Resolution (CR) – La production de collision ne détruit pas les messages (collision non-destructive)

1.3 Niveaux de tensions présentés sur le bus par les ECU

La méthode de codage des bits composant la trame est de type « NRZ ». A chaque bit généré correspond un niveau de tension.



Les « transceivers » ou coupleurs différentiels assurent la création des états **récessifs** (1 logique) ou **dominants** (0 logique) en appliquant sur la "paire" CAN_H, CAN_L les niveaux de tension décrits ci-contre. **C'est la valeur de la tension différentielle appliquée sur le bus qui représente l'état souhaité.**



Modèle équivalent d'un transceiver en transmission de données

1.4 Exemple de transceiver : TJA1050 High speed CAN transceiver

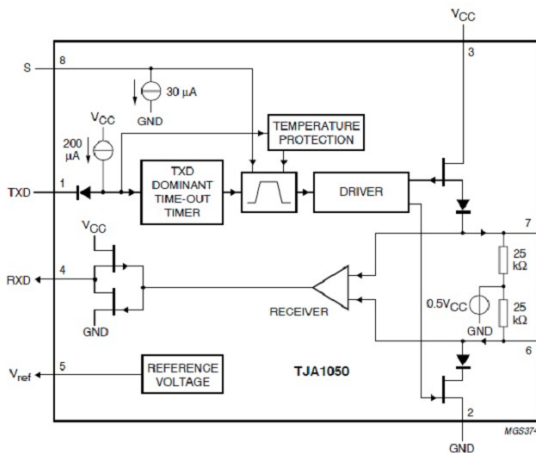
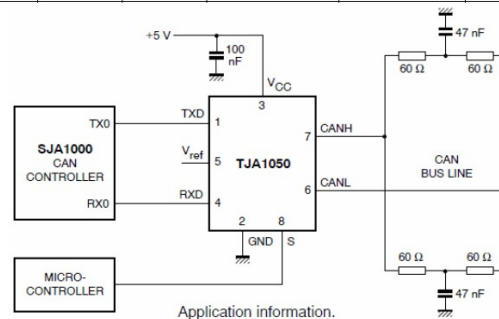


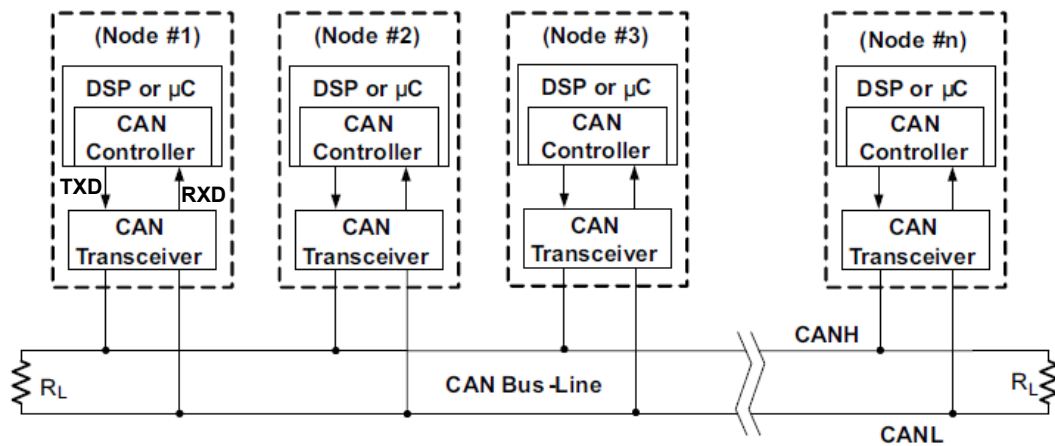
Table 1 Function table of the CAN transceiver; X = don't care

V _{CC}	TXD	S	CANH	CANL	BUS STATE	RXD
4.75 V to 5.25 V	LOW	LOW (or floating)	HIGH	LOW	dominant	LOW
4.75 V to 5.25 V	X	HIGH	0.5V _{CC}	0.5V _{CC}	recessive	HIGH
4.75 V to 5.25 V	HIGH (or floating)	X	0.5V _{CC}	0.5V _{CC}	recessive	HIGH



SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{i(dif)}$	differential input resistance		25	50	75	k Ω
$C_{i(CANH)}$	input capacitance at pin CANH	$V_{TXD} = V_{CC}$; not tested	–	7.5	20	pF
$C_{i(CANL)}$	input capacitance at pin CANL	$V_{TXD} = V_{CC}$; not tested	–	7.5	20	pF
$C_{i(dif)}$	differential input capacitance	$V_{TXD} = V_{CC}$; not tested	–	3.75	10	pF

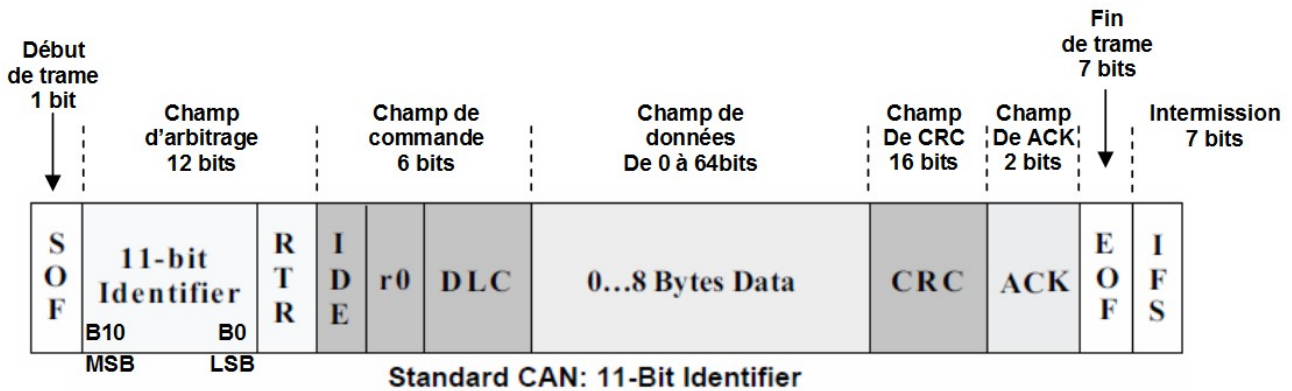
1.5 Structure d'une ECU et connexions sur le bus CAN



1.6 Description d'une trame de donnée standard véhiculée sur le bus CAN

Le bus CAN est capable de véhiculer quatre types de trames :

- **Trame de données (voir description ci-dessous)**
- **Trame de questionnement (remote frame)**
- **Trame d'erreur (error frame)**
- **Trame de surcharge (overload frame)**

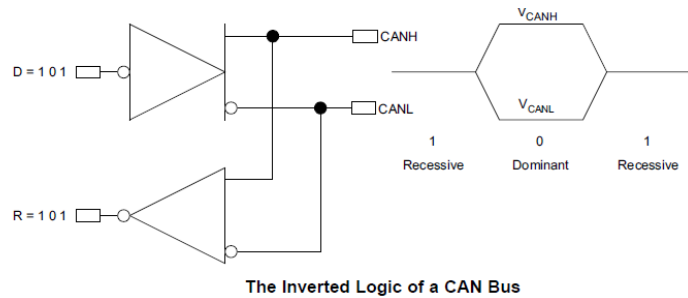


Trame de données

- **SOF**—The single dominant start of frame (SOF) bit marks the start of a message, and is used to synchronize the nodes on a bus after being idle.
- **Identifier**—The Standard CAN 11-bit identifier establishes the priority of the message. The lower the binary value, the higher its priority.
- **RTR**—The single remote transmission request (RTR) bit is dominant when information is required from another node. All nodes receive the request, but the identifier determines the specified node. The responding data is also received by all nodes and used by any node interested. In this way, all data being used in a system is uniform.
- **IDE**—A dominant single identifier extension (IDE) bit means that a standard CAN identifier with no extension is being transmitted.
- **r0**—Reserved bit (for possible use by future standard amendment).
- **DLC**—The 4-bit data length code (DLC) contains the number of bytes of data being transmitted.
- **Data**—Up to 64 bits of application data may be transmitted.
- **CRC**—The 16-bit (15 bits plus delimiter) cyclic redundancy check (CRC) contains the checksum (number of bits transmitted) of the preceding application data for error detection.
- **ACK**—Every node receiving an accurate message overwrites this recessive bit in the original message with a dominate bit, indicating an error-free message has been sent. Should a receiving node detect an error and leave this bit recessive, it discards the message and the sending node repeats the message after re-arbitration. In this way, each node acknowledges (ACK) the integrity of its data. ACK is 2 bits, one is the acknowledgment bit and the second is a delimiter.
- **EOF**—This end-of-frame (EOF), 7-bit field marks the end of a CAN frame (message) and disables bit-stuffing, indicating a stuffing error when dominant. When 5 bits of the same logic level occur in succession during normal operation, a bit of the opposite logic level is *stuffed* into the data.
- **IFS**—This 7-bit interframe space (IFS) contains the time required by the controller to move a correctly received frame to its proper position in a message buffer area.

1.7 Arbitrage de données sur le bus CAN

Plusieurs ECU peuvent être amenées à émettre des données simultanément. Pendant le champ d'arbitrage (11bits+RTR) les bits transmis (ID d'identification) et reçus sont comparés par l'interface CAN. Une ECU perd l'arbitrage dès l'instant où elle désire transmettre un « 1 » (état récessif) et qu'elle reçoit un « 0 » (état dominant), dans ce cas, elle cesse aussitôt d'émettre.



ID	Informations	période d'émission
030	pédale de frein, force de freinage demandée	6 ms
039	température moteur	8 ms
03A	force motrice demandée, tension batterie	8 ms
03B	courant et tension batterie	8 ms
03E	position angulaire axe moteur électrique	8 ms
0B1	vitesse rotation des roues avant	12 ms
0B3	vitesse rotation des roues arrières	12 ms
0B4	vitesse moyenne des roues avant	12 ms
230	distance parcourue par le véhicule	24 ms
244	vitesse moteur électrique, position de la pédale d'accélération	24 ms
348	vitesse demandée et couple du moteur thermique	40 ms
3C8	vitesse du moteur thermique	65 ms

Exemple de données circulant sur le bus CAN d'un véhicule hybride

1.8 Champ CRC (Cyclic Redundancy Check)

Ce champ est formé de 16 bits (15 bits pour le code CRC et 1 bit récessif pour signifier la fin du champ). Le code **CRC** est le mot binaire formé par les coefficients de $R(x)$ qui est le reste de la division polynomiale euclidienne suivante (base 2):

$$\frac{x^k M(x)}{G(x)} \text{ soit } R(x) = x^k M(x) \bmod(G(x)).$$

$$\text{et } P(x) = x^k M(x) = Q(x) \times G(x) \oplus R(x)$$

ou :

$$R(x) = r_{k-1}x^{k-1} + r_{k-2}x^{k-2} + \dots + r_1x + r_0 \text{ avec } CRC = r_{k-1}, r_{k-2}, \dots, r_1, r_0$$

$M(x)$ est le polynôme d'ordre m représentant le message binaire à transmettre (dans le cas du bus CAN ce message contient les trois premiers champs de la trame ainsi que le bit de SOF).

$G(x)$ est le **polynôme générateur** d'ordre k qui est connu de l'émetteur et du récepteur.

$Q(x)$ est le polynôme quotient de la division euclidienne.

$P(x)$, d'ordre $m + k$, est le polynôme dividende de la division euclidienne.

un de ceux utilisé dans le bus CAN est le « **BOSCH91** » :

$$G(x) = x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1 = (x+1)(x^7 + x^3 + 1)(x^7 + x^3 + x^2 + 1)$$

A noter : Performance de la détection des erreurs

Le CRC permet de :

- détecter à 100% jusqu'à 5 erreurs aléatoires réparties dans un message ;
- détecter toutes les erreurs si leur nombre total est impair ;
- détecter tous les paquets d'erreurs dont la longueur l est telle que $l \leq k$ (avec k ordre du polynôme $G(x)$, soit ici, $k = 15$) ;
- détecter, avec une probabilité de $1 - \frac{1}{2^{k-1}}$, tous les paquets d'erreurs dont la longueur l est telle que $l = k + 1$;
- détecter avec une probabilité de $1 - \frac{1}{2^k}$ tous les paquets d'erreurs dont la longueur l est telle que $l \geq k + 2$.

2. Câble pour BUS CAN High Speed



Type de câble : UNITRONIC BUS CAN UL/CSA

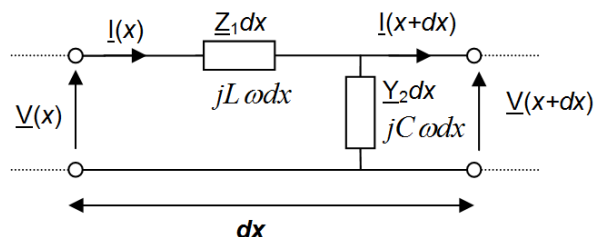
- **Capacité et inductance linéiques** : 40 pF/m et 576nH/m

- **Impédance caractéristique** : $Z_c = 120$ ohms

3. Éléments de calcul liés aux lignes de transmission

Dans une ligne de transmission sans pertes, le signal se propage sous la forme d'une onde. La vitesse de propagation dépend de la capacité et de l'inductance linéique de cette ligne

Le modèle **sans perte** d'un élément dx de cette ligne est :



L'impédance mesurée en tout point de la ligne est constante, on l'appelle impédance caractéristique de la ligne et on la note Z_c .

Une ligne est **adaptée** quand elle est chargée par son impédance caractéristique. Dans ce cas, le coefficient de réflexion ρ_L est nul.

L'expression de la tension $\underline{V}(x)$ est donnée par : $\underline{V}(x) = \underline{V}_i e^{-\gamma x} + \underline{V}_R e^{\gamma x}$

$\underline{V}_i e^{-\gamma x}$ représente l'onde incidente (ou progressive)

$\underline{V}_R e^{\underline{\gamma}x}$ représente l'onde réfléchie (ou rétrograde)

$\underline{\gamma}$ est l'exposant linéique de propagation tel que : $\underline{\gamma} = j\beta = \sqrt{\underline{Z}_1 / \underline{Z}_2} = \frac{j\omega}{v_0}$ (v_0 représente la vitesse de propagation)

■ la vitesse de propagation s'exprime : $v_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

■ \underline{Z}_c est l'impédance caractéristique de la ligne telle que : $\underline{Z}_c = \sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ où L est l'inductance linéique de la ligne de transmission et C est la capacité linéique de cette ligne.

■ Le coefficient de réflexion $\underline{\rho}(x)$ est le rapport onde réfléchie sur onde incidente :

$$\underline{\rho}(x) = \frac{\underline{V}_R e^{\underline{\gamma}x}}{\underline{V}_I e^{-\underline{\gamma}x}} = \frac{\underline{V}_R e^{2\underline{\gamma}x}}{\underline{V}_I}$$

■ Le coefficient de réflexion à la longueur L (pour $x = L$) est : $\rho_L = \frac{\underline{Z}_L - \underline{Z}_C}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_C}$

où \underline{Z}_L est l'impédance de charge de la ligne située à une distance L du début de la ligne.