

STS M.V	2 ^{ème} ANNEE	TECHNOLOGIE ET INTERVENTIONS SUR VEHICULE
<i>MOTORISATION & TRANSMISSION</i>		
Ressources	ANALYSER DIAGNOSTIQUER	

1. Le projet en BTS maintenance des véhicules

Le projet de mesures et analyse s'inscrit dans le processus de formation lié au domaine du diagnostic en associant les enseignements d'analyse mécanique, de maintenance et de physique-chimie notamment.

1.3. Tâches professionnelles

Les professionnels ont rappelé l'importance du diagnostic dans les activités après-vente et les conséquences « désastreuses » lors des erreurs de diagnostic.

Le projet s'inscrit complètement dans le RAP.

Rappel des tâches concernées :

A1. Effectuer un diagnostic complexe.

A1-T3 : Effectuer les contrôles, mesurer et relever les écarts par rapport aux données constructeur / équipementier.

A1-T4 : Analyser le système en dysfonctionnement et interpréter les contrôles et mesures.

1.4. Compétences

Rappel des compétences principalement ciblées :

C2.3 : Effectuer des mesures, des essais.

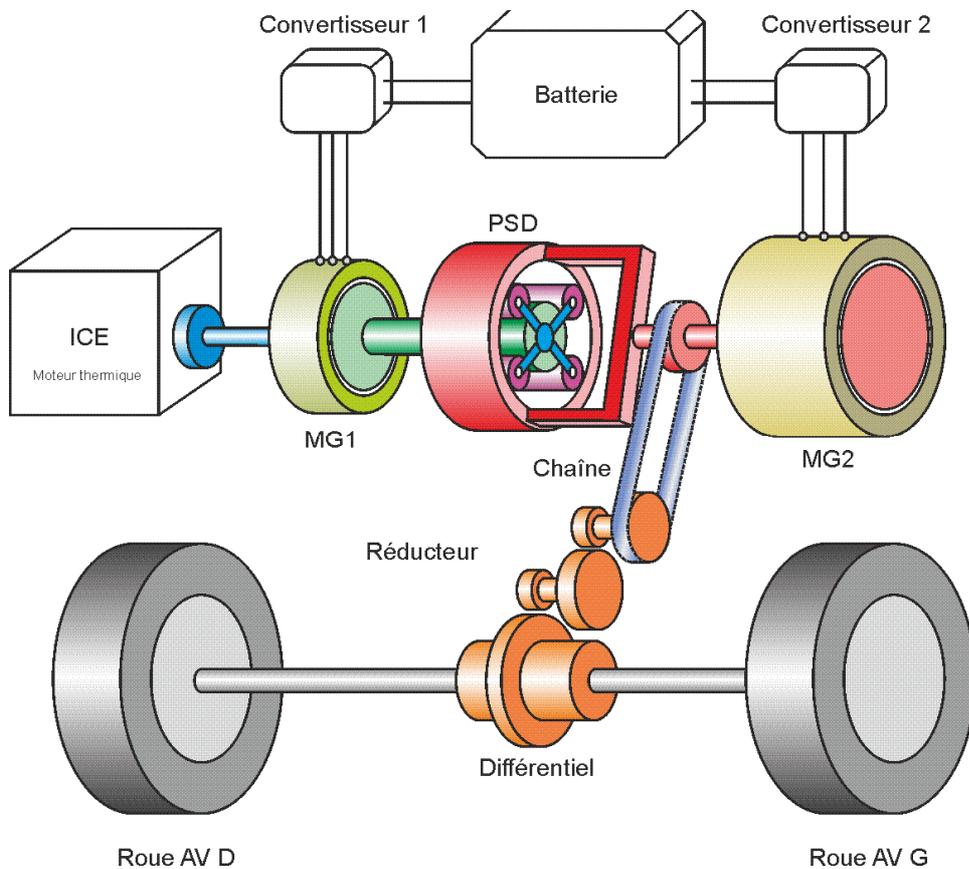
C4.3 : Collecter les données techniques.

La compétence C2.3 est bien sûr celle qui est par nature directement liée au projet.

La compétence C4.3 est également importante à développer car l'on sait :

- d'une part, l'importance du respect des procédures proposées par le constructeur ;
- d'autre part, l'importance de la bonne appréciation de ces procédures (regard critique).

STS M.V	2 ^{ème} ANNEE	TECHNOLOGIE ET INTERVENTIONS SUR VEHICULE
MOTORISATION & TRANSMISSION		
Ressources	ANALYSER DIAGNOSTIQUER	



SOMMAIRE

Principales architectures de véhicules hybrides :	1
Les micros-hybrides :	1
Les hybrides :	2
<i>Architecture Mild-Hybrid Série</i>	2
<i>Sans embrayage</i>	2
<i>Avec embrayage</i>	2
<i>Architecture Mild-Hybrid parallèle</i>	3
<i>Alterno-démarrreur</i>	3
<i>Solution Honda Civic IMA</i>	3
<i>Solution Audi Q5</i>	4
<i>Architecture Full Hybrid en série/parallèle "à sortie couplée"</i>	4
<i>En dérivation de puissance Toyota THS</i>	4
<i>En division de puissance avec réducteur à 2 rapports pour MG2</i>	5
<i>Architecture Full Hybrid en série/parallèle "à entrée couplée"</i>	5
Fonctionnement de la PRIUS avec transmission THS :	6
Montage du groupe motopropulseur et de la transmission	6
Analyse du train épicycloïdal :	7
<i>Schéma cinématique</i>	7
<i>Exploitation de la formule de WILLIS</i>	7
<i>Tableau nomographique du train épicycloïdal</i>	8
<i>Recherche de la répartition du moteur</i> :	8
Différentes phases de fonctionnement :	9
<i>Etat READY allumé</i>	9
<i>Mettre le moteur en marche (véhicule à l'arrêt)</i>	9
<i>Démarrage en tout électrique (mode EV)</i>	10
<i>Mettre le moteur thermique en marche lorsque le véhicule roule en mode EV</i>	11
<i>Le véhicule roule grâce au moteur thermique sans BV</i>	12
<i>Le véhicule roule à vitesse élevée</i>	15
<i>Le véhicule roule avec une forte accélération</i>	16
<i>Demande de SOC (recharge de la batterie nécessaire)</i>	17
<i>Le véhicule roule dans une pente importante à faible vitesse</i>	18
<i>Le véhicule roule dans une pente importante à vitesse élevée</i>	19
<i>Lors d'une décélération en mode "D"</i>	20
<i>Lors d'une décélération en mode "B"</i>	21
<i>En marche arrière "R"</i>	22
Constitution de la batterie HV	23
<i>Prise de service</i>	24
<i>Analyse de la gestion de la batterie</i>	24
Analyse de la gestion du système en mode "EV"	25
<i>Le véhicule roule à $V = Cte$ en palier</i>	25
<i>Le véhicule accélère en palier</i>	26
<i>Le véhicule monte une pente</i>	27
Système de commande THS-II :	28
<i>Différences entre le système THS et le système THS-II</i>	28
<i>Calcul de la force motrice</i> :	29

TECHNOLOGIES DES VEHICULES HYBRIDES

<i>Ensemble de variateur</i> :	29
<i>Fonction d'intensification de tension</i>	29
<i>Fonction de conversion de chute de tension</i>	30
<i>Fonction d'alimentation électrique</i>	30
<i>Commande de convertisseur</i> :	30
<i>Etude du convertisseur survolteur</i> :	32
<i>Schéma interne du survolteur</i>	32
<i>Fonctionnement du survolteur</i>	32
<i>Etude de l'onduleur</i> :	36
<i>Schéma interne de l'onduleur</i>	36
<i>Fonctionnement de l'onduleur</i>	36
<i>Etude du moteur synchrone (moteur à aimant permanent)</i> :	40
<i>Rappels de technologie interne</i>	41
<i>Etude du résolveur (capteur d'angle rotor)</i> :	42
<i>Schéma interne du résolveur</i>	42
<i>Fonctionnement du résolveur</i>	43
<i>Convertisseur CC-CC</i>	44
<i>Convertisseur DC-DC</i>	44
<i>Commande de surveillance de système</i>	45
<i>Commande de traction de moteur</i>	45
<i>Commande SMR</i>	45
<i>Généralités</i>	45
<i>A l'application du courant d'alimentation</i>	45
<i>A l'application du courant d'alimentation</i>	46
<i>A la coupure du courant d'alimentation</i>	46
<i>Commande pendant une collision</i>	46
<i>Prise de service</i>	47
<i>Contrôle de l'état de charge SOC</i>	47
<i>Système de refroidissement de batterie HV</i>	47
<i>Frein de parking</i>	48
 Mise en sécurité du système HT.....	 48
 Glossaire :.....	 1

Si un système hybride thermique-électrique bien adapté permet incontestablement une réduction de la consommation de carburant et des émissions des véhicules en parcours urbain, notamment pour les bus, il n'est pas certain que son bilan écologique et économique global soit positif pour un véhicule qui accomplit essentiellement des trajets routiers. Toutefois, étant donné l'engouement général pour les véhicules hybrides, il s'agit moins pour les constructeurs de déterminer si la production d'automobiles à propulsion hybride se justifie techniquement et écologiquement, mais plutôt de répondre aux questions « quel système d'hybridation ? » et « comment exploiter rentablement ce marché potentiel ? ».

La multiplicité des systèmes et des combinaisons possibles constituant un vrai casse-tête, tant pour les classer que pour inventorier les avantages et les inconvénients de chacun et en préférer un plutôt qu'un autre, nous nous limiterons à la description des concepts les plus intéressants et les plus prometteurs.

L'impérieuse nécessité de diminuer la consommation et les émissions des véhicules routiers fait que la possibilité d'accumuler l'énergie cinétique gaspillée en décélération et au freinage est désormais considérée comme un avantage primordial.

Le stockage d'énergie par air comprimé suscite des pertes considérables dues à la dissipation de la chaleur produite durant la compression et sa détente s'accompagne d'un refroidissement adiabatique qui fait chuter la pression.

Bien que l'usage de volants d'inertie soit sérieusement envisagé, notamment pour exploiter les possibilités offertes par le règlement des Formule 1, les nouveaux types de batteries, plus légères et performantes que les lourds accumulateurs au plomb, constituent encore le moyen préféré de stocker l'énergie.

Au lieu d'être dissipée en chaleur, une partie de l'énergie de freinage récupérée par un moteur-générateur électrique reflue dans la batterie ou inversement.

La propulsion par combinaison d'un moteur thermique et de moteurs électriques se prête à de nombreuses variantes ayant chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

Principales architectures de véhicules hybrides :

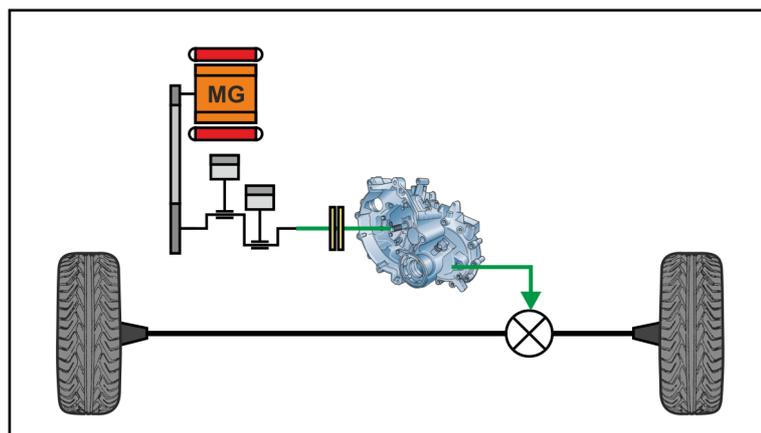
On distingue trois grandes familles d'architecture : série, parallèle et combinée. Une manière de différencier les deux premières est de considérer la nature du point de jonction entre les différentes chaînes de traction, appelé 'noeud'. Dans l'architecture 'Série', le noeud est électrique, dans l'architecture parallèle, il est mécanique.

Les micros-hybrides :

Le concept consiste à remplacer les deux machines électriques, alternateur et démarreur, par une seule nommée alerno-démarreur. Cet organe peut être monté en lieu et place de l'alternateur conventionnel.

Toutefois son système d'entraînement par courroie doit être non seulement renforcé, mais aussi réversible pour pouvoir transmettre la puissance dans les deux sens.

D'autre part, le lancement à froid des moteurs diesels est problématique, si bien qu'un démarreur conventionnel additionnel ou une poulie à deux vitesses avec train planétaire réducteur incorporé sont nécessaires.



Les hybrides :

Architecture Mild-Hybrid Série

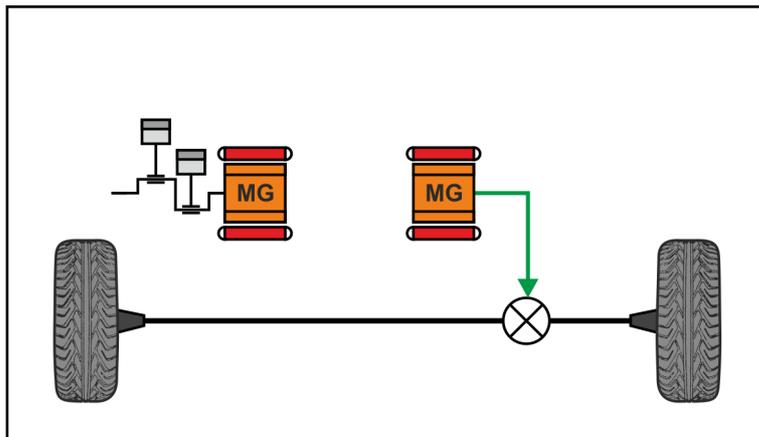
Sans embrayage

Dans l'architecture série, la propulsion est intégralement assurée par un moteur électrique.

Ce dernier peut être alimenté par les batteries et/ou par le groupe électrogène. Ce type d'architecture est souvent utilisé dans les bus hybrides.

Une utilisation « naturelle » de ce type d'architecture consiste à augmenter l'autonomie d'un véhicule électrique par l'ajout d'un groupe électrogène.

Cette architecture nécessite un moteur électrique relativement puissant car il assure à lui seul l'intégralité de la propulsion.

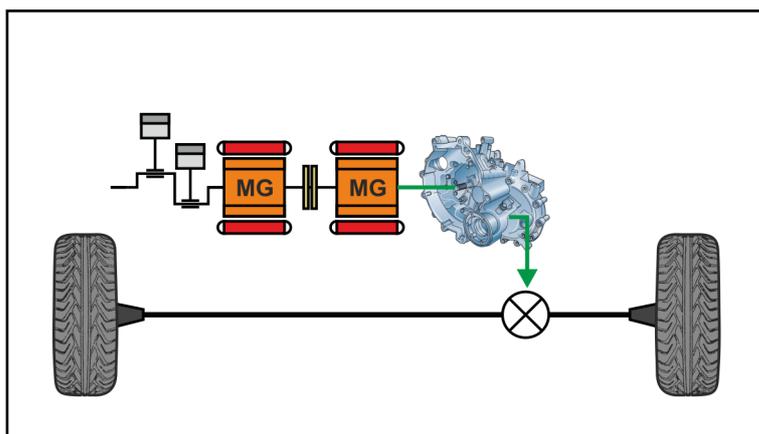


Un des inconvénients majeur de ce type d'architecture est le faible rendement global de l'ensemble car la puissance mécanique délivrée par le moteur thermique est tout d'abord convertie en puissance électrique par l'alternateur, éventuellement stockée dans les batteries, puis reconvertie en puissance mécanique par le moteur électrique. Cependant, du point de vue de la commande, cette architecture offre deux degrés de liberté : le régime et le couple du moteur thermique peuvent être choisis quasiment indépendamment des conditions de conduite.

Avec embrayage

Un embrayage peut être inséré entre le groupe électrogène et le moteur électrique de traction afin de permettre une transmission mécanique lorsque le véhicule roule à une vitesse acceptable pour le vilebrequin du moteur thermique. De cette manière, analogue à celle qui est procurée par l'embrayage de pontage d'un convertisseur hydrodynamique de couple, la transmission passe d'entièrement électrique à totalement mécanique, avec l'avantage d'un rendement supérieur.

Les deux machines électriques tournent néanmoins et peuvent soit apporter temporairement à la chaîne cinématique une puissance d'appoint en soutirant du courant des batteries, soit au contraire recharger ces batteries.



Architecture Mild-Hybrid parallèle

Alternateur-démarrageur

Pour l'architecture parallèle, le point de jonction entre les différentes chaînes de traction est cette fois mécanique. Lorsque les différents moteurs sont solidaires du même arbre, on parle d'architecture hybride parallèle simple arbre.

Lorsque le moteur électrique a une très faible puissance, on parle alors d'alternateur-démarrageur et celui-ci est placé avant l'embrayage. Dans ce cas, la propulsion est quasi intégralement assurée par le moteur thermique et l'alternateur-démarrageur n'est utilisé que dans la phase de démarrage du moteur thermique.

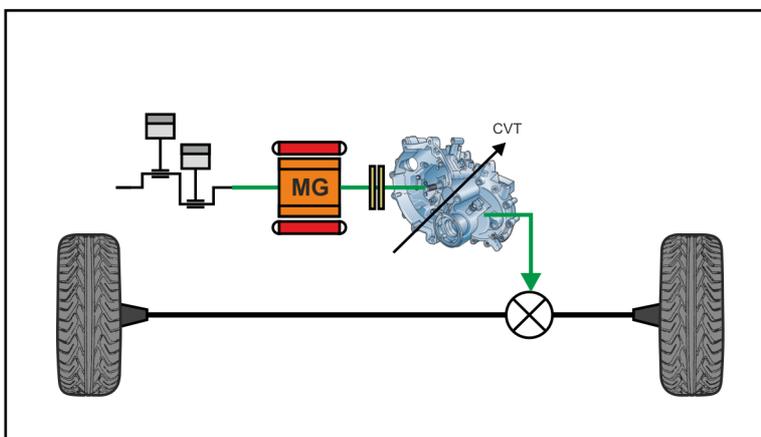
Le moteur thermique est arrêté dès que le véhicule est arrêté afin de réduire la consommation et les émissions de polluants. Lors des phases de démarrage, le moteur thermique pouvant être entraîné à régime beaucoup plus élevé qu'avec un démarreur classique, les émissions de polluants sont réduites de manière significative.

Solution Honda Civic IMA

Lorsque les deux moteurs ont des puissances similaires, le moteur électrique est placé entre l'embrayage et la boîte de vitesses. Les régimes des deux moteurs sont linéairement dépendant du régime des roues. Il s'agit alors de répartir le couple aux roues nécessaire à la propulsion du véhicule entre les deux moteurs.

Si un puissant alternateur-démarrageur est intégré entre le moteur et la transmission, il peut assurer la propulsion du véhicule en parallèle avec le moteur thermique

Autrement dit, ce montage – qui ne se distingue de l'alternateur-démarrageur que par la puissance de la machine électrique – permet la propulsion conjointement par les deux types de moteurs en conservant l'intermédiaire d'une transmission mécanique à plusieurs rapports ou d'une CVT, comme sur la Honda Civic IMA.

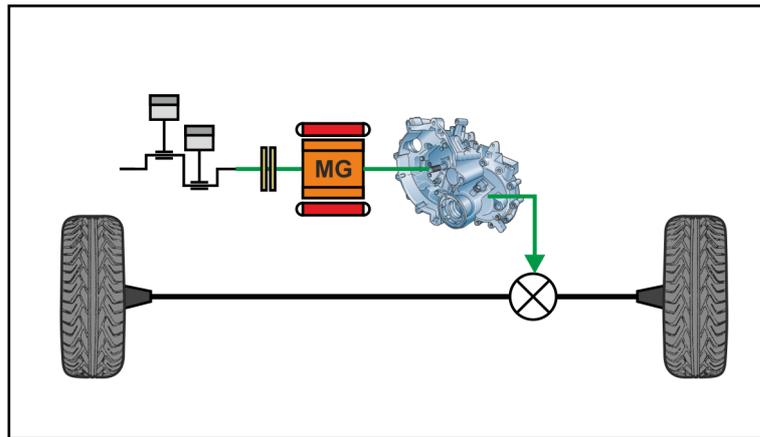


Solution Audi Q5

Il est avantageux de pouvoir découpler le moteur thermique de l'alternateur-démarrateur en intercalant l'embrayage entre les deux, car cela autorise en outre :

- Une récupération d'énergie cinétique conséquente en décélération étant donné que le moteur thermique n'est alors plus entraîné en pure perte;
- Le démarrage et la propulsion du véhicule tant en avant qu'en arrière uniquement par le moteur-générateur, moteur thermique arrêté.

À la masse du disque d'embrayage s'ajoute alors celle du rotor du moteur-générateur, ce qui impose son pilotage électronique au régime synchrone lors des changements de rapports.

**Architecture Full Hybrid en série/parallèle "à sortie couplée"**

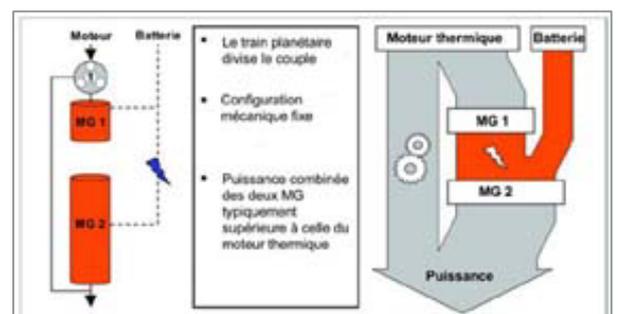
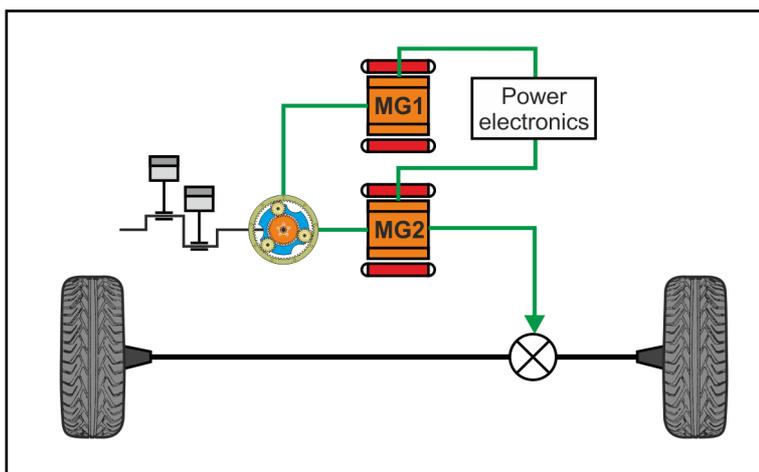
Il s'agit de système à division de puissance en entrée, le régime de MG2 étant lié à celui de l'arbre de sortie alors que MG1 est utilisé pour varier le rapport de transmission.

En dérivation de puissance Toyota THS

Le montage en dérivation de puissance, ou "division de puissance" est notoirement représenté par le système Toyota THS des Prius, Lexus RX400h, GS 450h et LS 600h.

Le principe est analogue à celui des autres transmissions en dérivation de puissance, qu'elles soient hydrodynamiques, hydrostatiques ou par variateur mécanique. Mais le variateur est ici électrique, ce qui permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique en décélération, de l'accumuler dans une ou des batterie(s) et de la réutiliser ensuite, comme dans tout véhicule routier hybride qui se respecte.

La division du couple du moteur thermique est effectuée par un train planétaire différentiel, dit aussi train épicycloïdal.



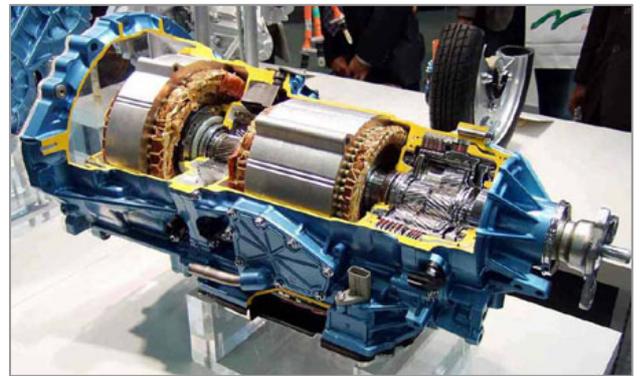
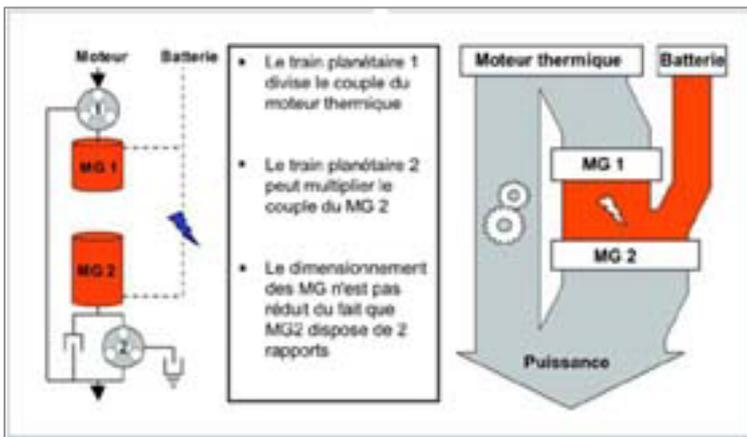
En division de puissance avec réducteur à 2 rapports pour MG2

Le régime maximum de MG2 d'environ 6500 tr/min correspond à 180 km/h alors que la vitesse maximum indiquée par le constructeur est de 170 km/h, soit 6150 tr/min du MG2.

La fraction du couple transmise mécaniquement n'est pas démultipliée non plus par un rapport de boîte et, par exemple dans le cas de la Prius, le vilebrequin du moteur est empêché d'atteindre son régime de couple maxi en dessous de 70 km/h ; il ne peut alors ajouter qu'environ 75 Nm aux 400 Nm qui sont développés par MG2 jusqu'à 33 km/h.

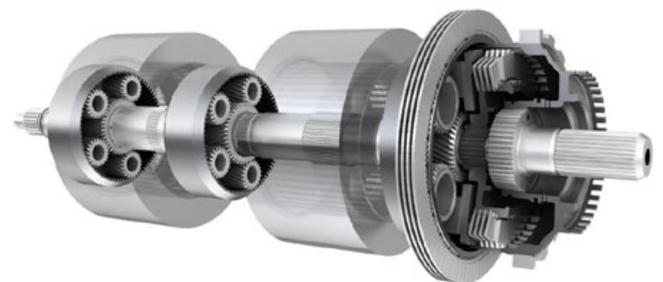
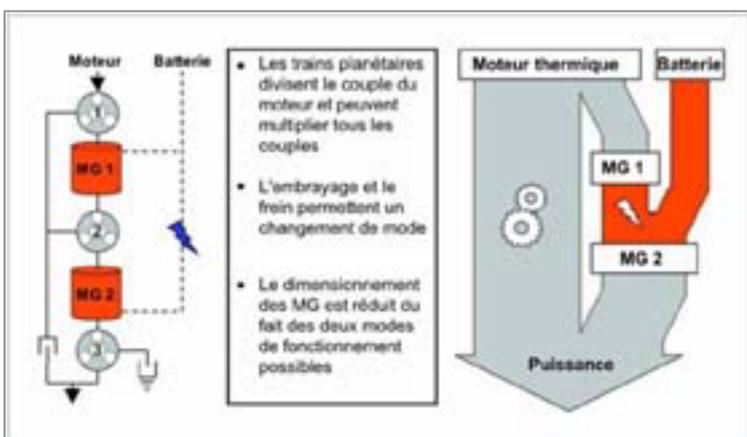
Pour remédier à cet inconvénient, les Lexus GS450h, dont le groupe motopropulseur est longitudinal et les roues motrices à l'arrière, ont un réducteur épicycloïdal Ravigneaux procurant deux rapports (3,9:1 et 1,9:1) entre le MG2 et l'arbre de sortie de la transmission.

Le MG2 de 147 kW est alimenté sous pas moins de 650 volts alors que celui des Prius III fonctionne sous 500 volts.



Architecture Full Hybrid en série/parallèle "à entrée couplée"

Un autre arrangement possible, dans lequel le train planétaire différentiel est disposé en sortie du système où il regroupe les couples provenant des deux voies. Dans ce type de configuration, le régime de MG1 est lié à celui de l'arbre d'entrée, en l'occurrence le vilebrequin du moteur et c'est MG2 qui sert à varier le rapport de démultiplication.



Fabricant mondialement réputé de transmissions automatiques pour poids-lourds, la division Allison de General Motors aura, à fin 2007, équipé plus de 1000 bus de systèmes hybrides bi-modes, la production ayant débuté en octobre 2003. Les transmissions sont conçues selon le brevet US 5'931'757 accordé le 3 août 1999 à Michael Roland Schmidt et elles sont extérieurement similaires aux boîtes automatiques Allison de série B.

Fonctionnement de la PRIUS avec transmission THS :



La solution technique employée sur la Prius est un système en dérivation de puissance (P112).

Montage du groupe motopropulseur et de la transmission.

Le système hybride utilise les forces motrices fournies par le moteur thermique et par le moteur électrique MG2, et il utilise le MG1 comme générateur.

Le répartiteur de puissance "PSD", est intégré à la transmission hybride au même titre que le générateur, le moteur électrique et les réducteurs. Comme son nom l'indique, il répartit la puissance motrice entre les roues et le générateur. De cette façon, la puissance émanant du moteur thermique peut suivre deux voies, l'une mécanique et l'autre électrique. C'est également lui qui assure la transmission de couple du moteur électrique aux roues.

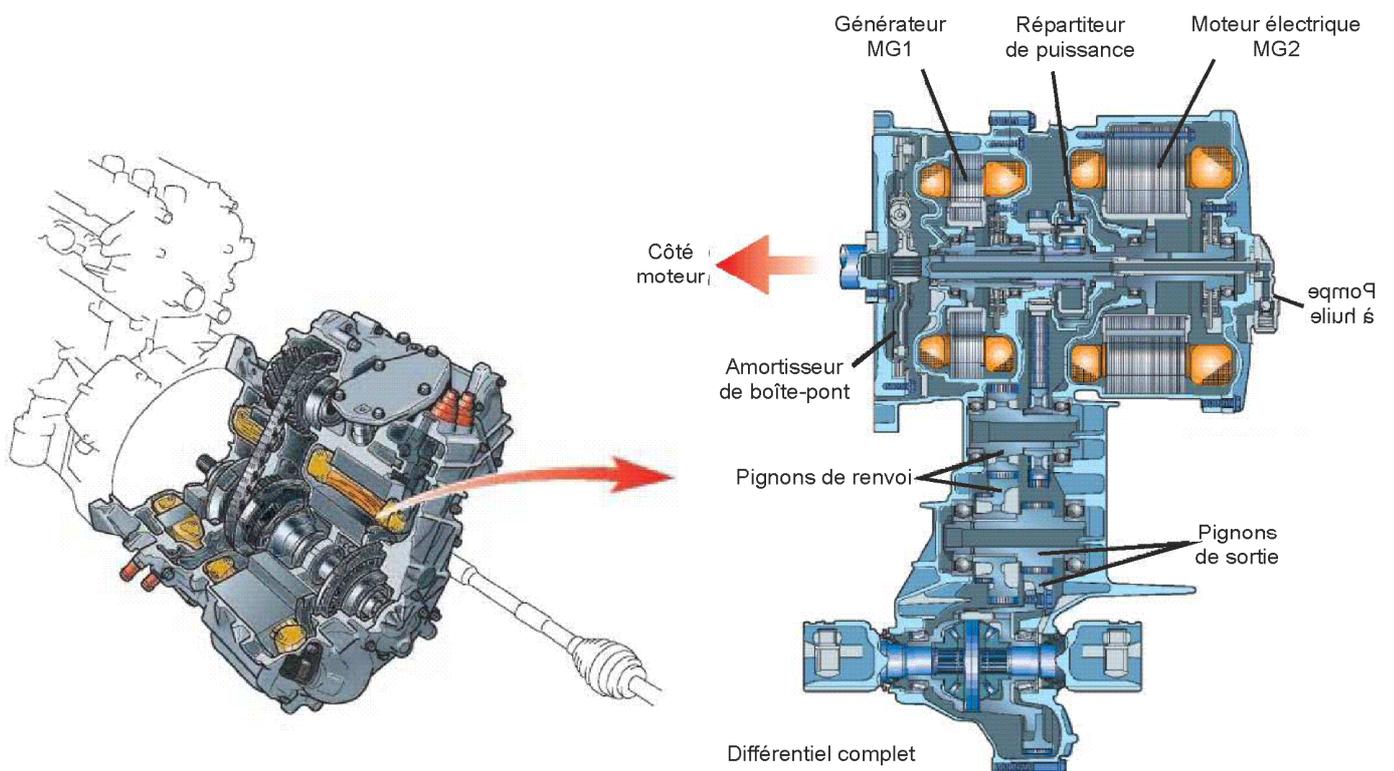
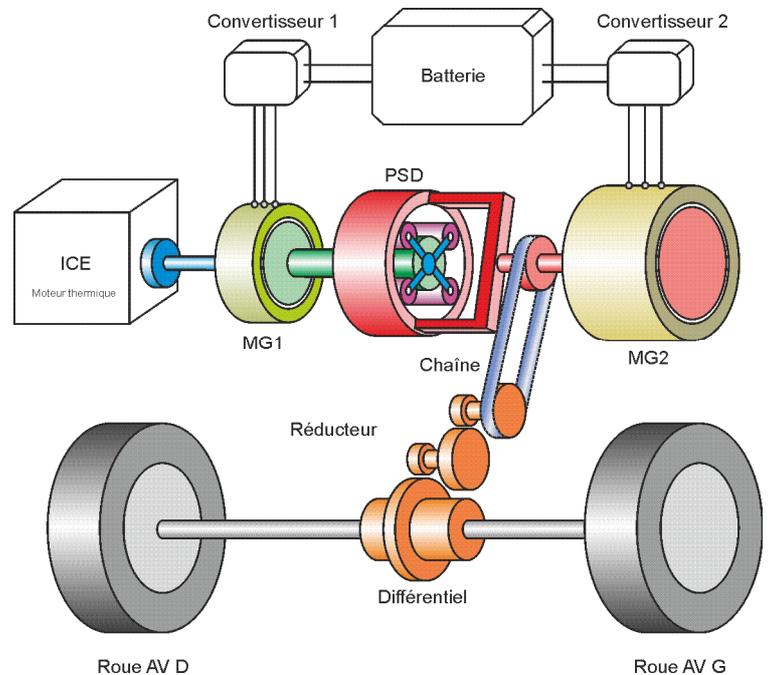
Le répartiteur de puissance recourt à un train épicycloïdal pour répartir la puissance du moteur thermique.

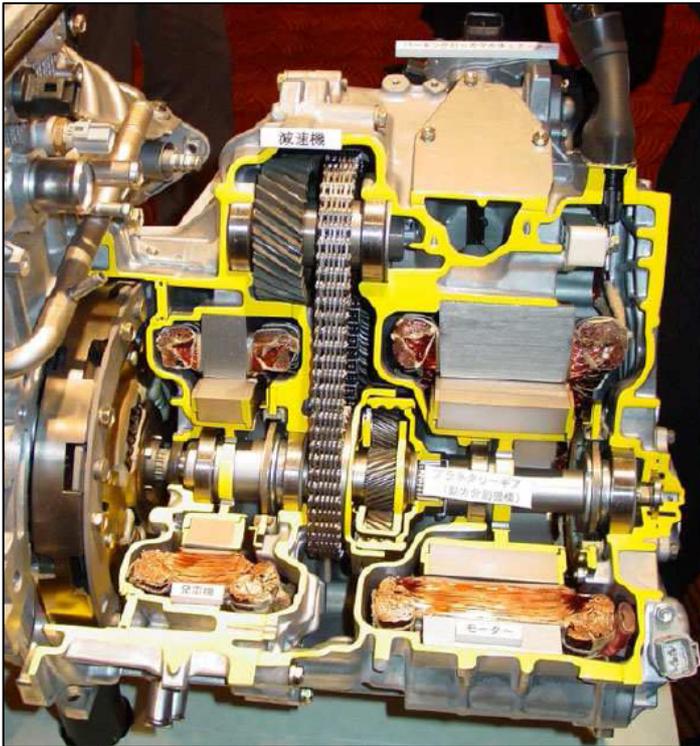
Le porte satellites, à l'intérieur du train épicycloïdal, est relié directement au moteur à essence et transmet la puissance à la couronne à denture intérieure ainsi qu'au planétaire central via les satellites.

La couronne, reliée au moteur électrique MG2, transmet la puissance aux roues via une chaîne et un réducteur.

Le planétaire central est quand à lui relié au générateur MG1.

Le système hybride entraîne le véhicule en combinant de manière optimale le fonctionnement du moteur thermique, du MG1 et du MG2 en fonction des conditions de conduite.



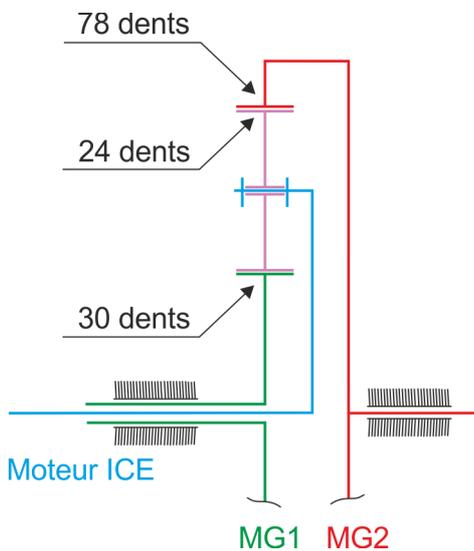


$$\omega_{\text{roue}} = \omega_{\text{MG2}} \cdot \frac{36 \cdot 30 \cdot 26}{35 \cdot 44 \cdot 75}$$

$$\text{Rapport du réducteur} = \frac{\omega_{\text{roue}}}{\omega_{\text{MG2}}} = 0,2431$$

Analyse du train épicycloïdal :

Schéma cinématique.



- Le porte-satellites est lié au moteur thermique ICE
- Le planétaire est solidaire du générateur MG1
- La couronne est liée au moteur électrique MG2

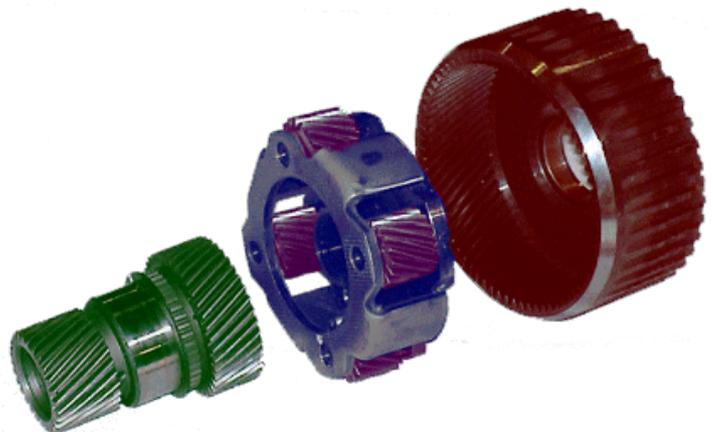
Appliquons la formule de WILLIS :

$$\frac{\omega_{\text{MG2}} - \omega_{\text{ICE}}}{\omega_{\text{MG1}} - \omega_{\text{ICE}}} = -\frac{30}{78}$$

Exploitation de la formule de WILLIS.

$$78 \cdot \omega_{\text{MG2}} - 78 \cdot \omega_{\text{ICE}} = 30 \cdot \omega_{\text{ICE}} - 30 \cdot \omega_{\text{MG1}}$$

$$3,6 \cdot \omega_{\text{ICE}} = \omega_{\text{MG1}} + 2,6 \cdot \omega_{\text{MG2}}$$



Nomographe du train épicycloïdal.

La représentation graphique ci-contre utilise la relation démontrée précédemment :

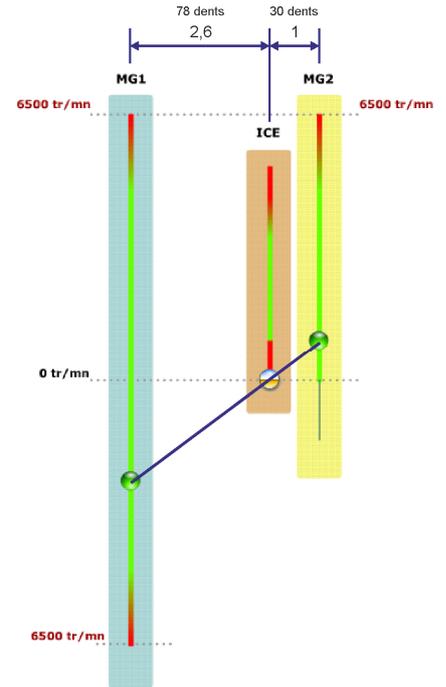
$$3,6. \omega_{ICE} = \omega_{MG1} + 2,6. \omega_{MG2}$$

Qui peut être déclinée sous 3 formes :

$$\omega_{MG1} = + 3,6. \omega_{ICE} - 2,6. \omega_{MG2}$$

$$\omega_{MG2} = + \frac{3,6}{2,6} . \omega_{ICE} - \frac{1}{2,6} . \omega_{MG1}$$

$$\omega_{ICE} = \frac{1}{2,6} . \omega_{MG1} + \frac{2,6}{3,6} . \omega_{MG2}$$



Recherche de la répartition du moteur :

. Appliquons le théorème des puissances (en négligeant les pertes dans le train épicycloïdal) :

$$P_{ICE} = P_{MG1} + P_{MG2}$$

$$C_{ICE} . \omega_{ICE} = C_{MG1} . \omega_{MG1} + C_{MG2} . \omega_{MG2}$$

$$\omega_{ICE} = \frac{C_{MG1}}{C_{ICE}} . \omega_{MG1} + \frac{C_{MG2}}{C_{ICE}} . \omega_{MG2} \quad \text{Equ ①}$$

. d'après la formule de Willis :

$$108 . \omega_{ICE} = 30 . \omega_{MG1} + 78 . \omega_{MG2}$$

$$\omega_{ICE} = 0,2777 . \omega_{MG1} + 0,7222 . \omega_{MG2} \quad \text{Equ ②}$$

. or, Equ ① = Equ ② :

$$\text{d'ou l'égalité : } \left\{ \begin{array}{l} \omega_{ICE} = \frac{C_{MG1}}{C_{ICE}} . \omega_{MG1} + \frac{C_{MG2}}{C_{ICE}} . \omega_{MG2} \\ \omega_{ICE} = 0,2777 . \omega_{MG1} + 0,7222 . \omega_{MG2} \end{array} \right\} \text{ et par identification : } \left\{ \begin{array}{l} \frac{C_{MG1}}{C_{ICE}} = 0,2777 \\ \frac{C_{MG2}}{C_{ICE}} = 0,7222 \end{array} \right\}$$

d'ou :	$\frac{C_{MG1}}{C_{ICE}} = \text{Répartition du couple moteur vers MG1} = 0,2777 = 27,77\%$
	$\frac{C_{MG2}}{C_{ICE}} = \text{Répartition du couple moteur vers MG2} = 0,7222 = 72,22\%$

Différentes phases de fonctionnement :

Etat READY allumé .

Le système hybride utilise les forces motrices fournies

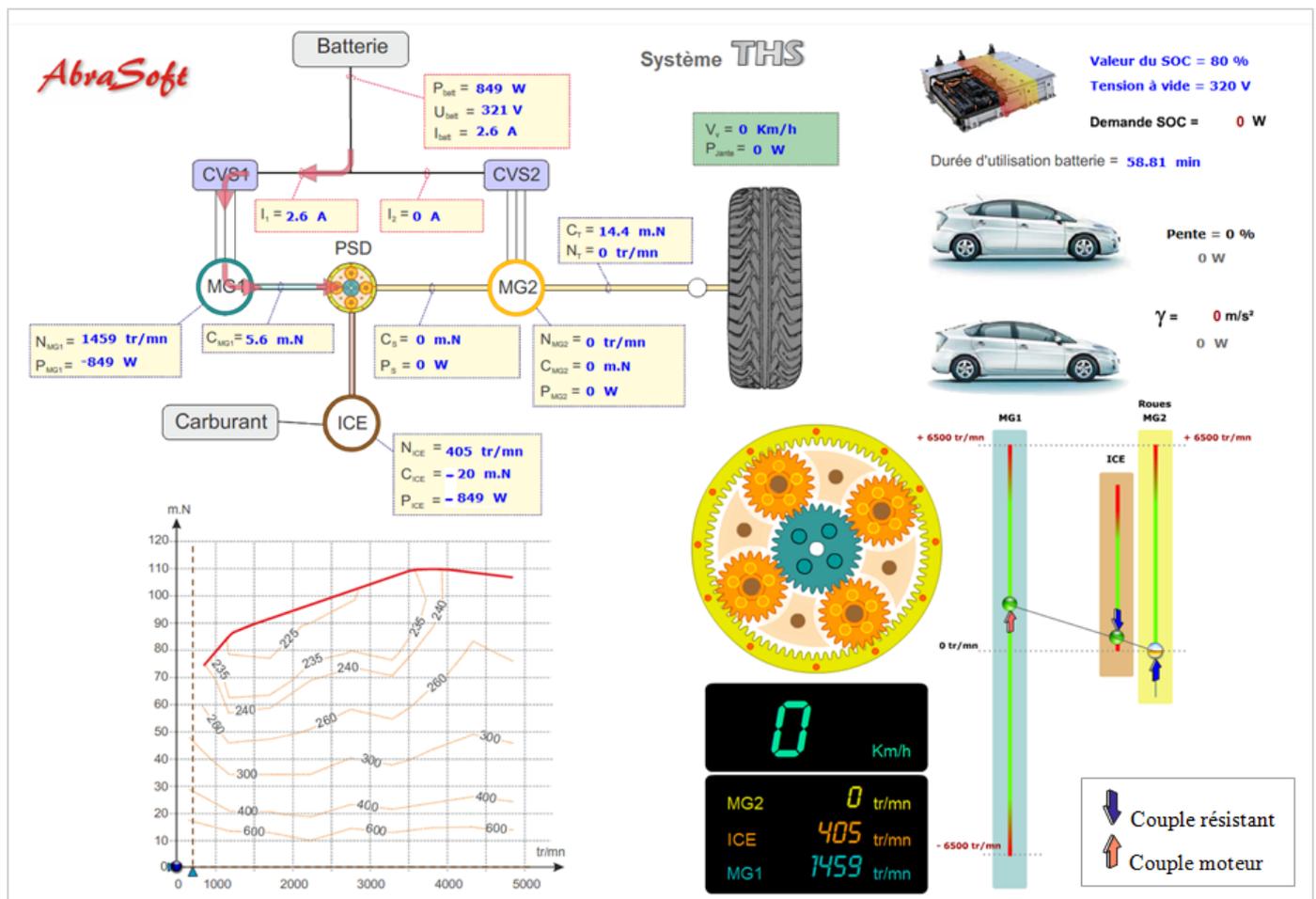
* Même si le conducteur appuie sur commutateur POWER et que l'indicateur READY s'allume, le moteur ne démarre pas tant que les conditions de température d'eau, les conditions SOC , de température de la batterie et les conditions de charge électrique ne sont pas remplies. Dans ces conditions, le moteur, MG1 et MG2 sont tous arrêtés.

* Après avoir roulé, si le conducteur arrête le véhicule et place la position de vitesse engagée sur "P", l'unité de commande électronique ECU HV continuera à actionner le moteur pendant une durée de temps prédéterminée et amènera le moteur à l'arrêt, à condition que les conditions de température d'eau, les conditions SOC, de température de la batterie et les conditions de charge électrique soient remplies. Dès cet instant, le moteur, MG1 et MG2 sont tous arrêtés.

Mettre le moteur thermique en marche (véhicule à l'arrêt).

* Si l'un ou l'autre des objets de contrôle de l'unité de commande électronique ECU HV ne satisfait pas aux conditions requises lorsque l'indicateur READY est allumé et que la position de changement de vitesses est la position "P" ou que le véhicule est conduit en sens inverse, l'unité de commande électronique ECU HV alimente MG1 pour démarrer le moteur.

* Pendant cette opération, pour empêcher de faire tourner la couronne de MG2 et d'entraîner les roues motrices, un courant électrique est appliqué à MG2 de manière à appliquer un freinage. Cette fonction a pour appellation "contrôle réactif".

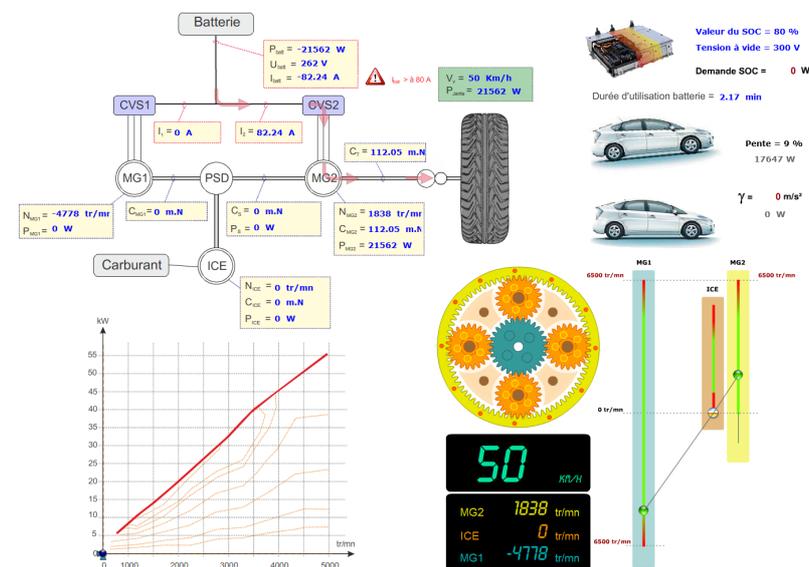
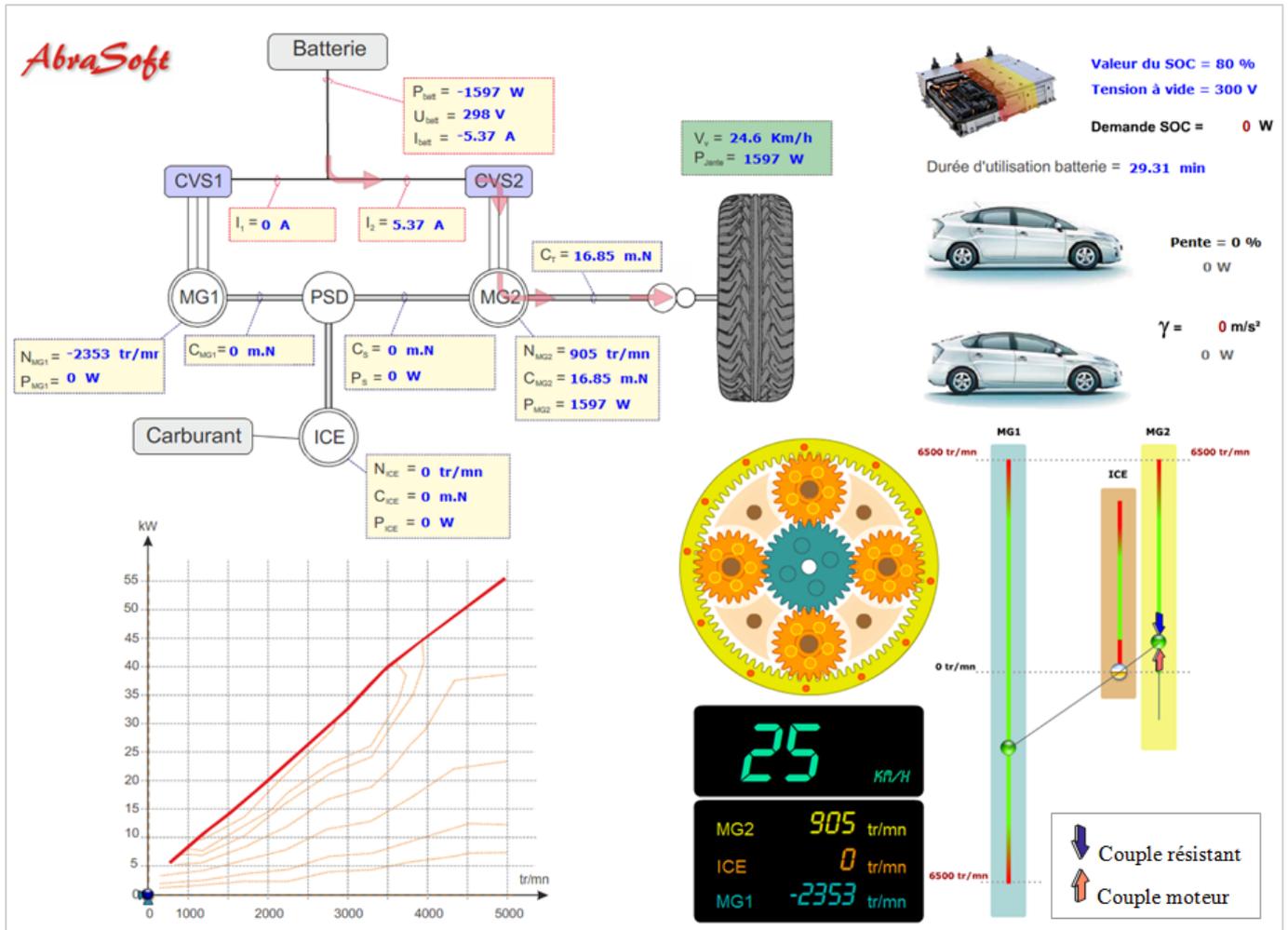


Démarrage en tout électrique (mode EV).

Lorsque le véhicule démarre, il fonctionne sous l'entraînement unique du moteur électrique MG2. Le moteur thermique ICE reste arrêté et MG1 tourne à vide, dans le sens opposé, sans produire d'électricité.

La vitesse maxi que peut atteindre le véhicule est de 50 km/h.

Nous analyserons l'autonomie du véhicule dans ce mode électrique, dans le chapitre " Gestion de la batterie en mode EV".



Pour préserver la batterie, le constructeur limite l'intensité consommée à 80A.

La puissance électrique est donc limitée autour des 21 KW.

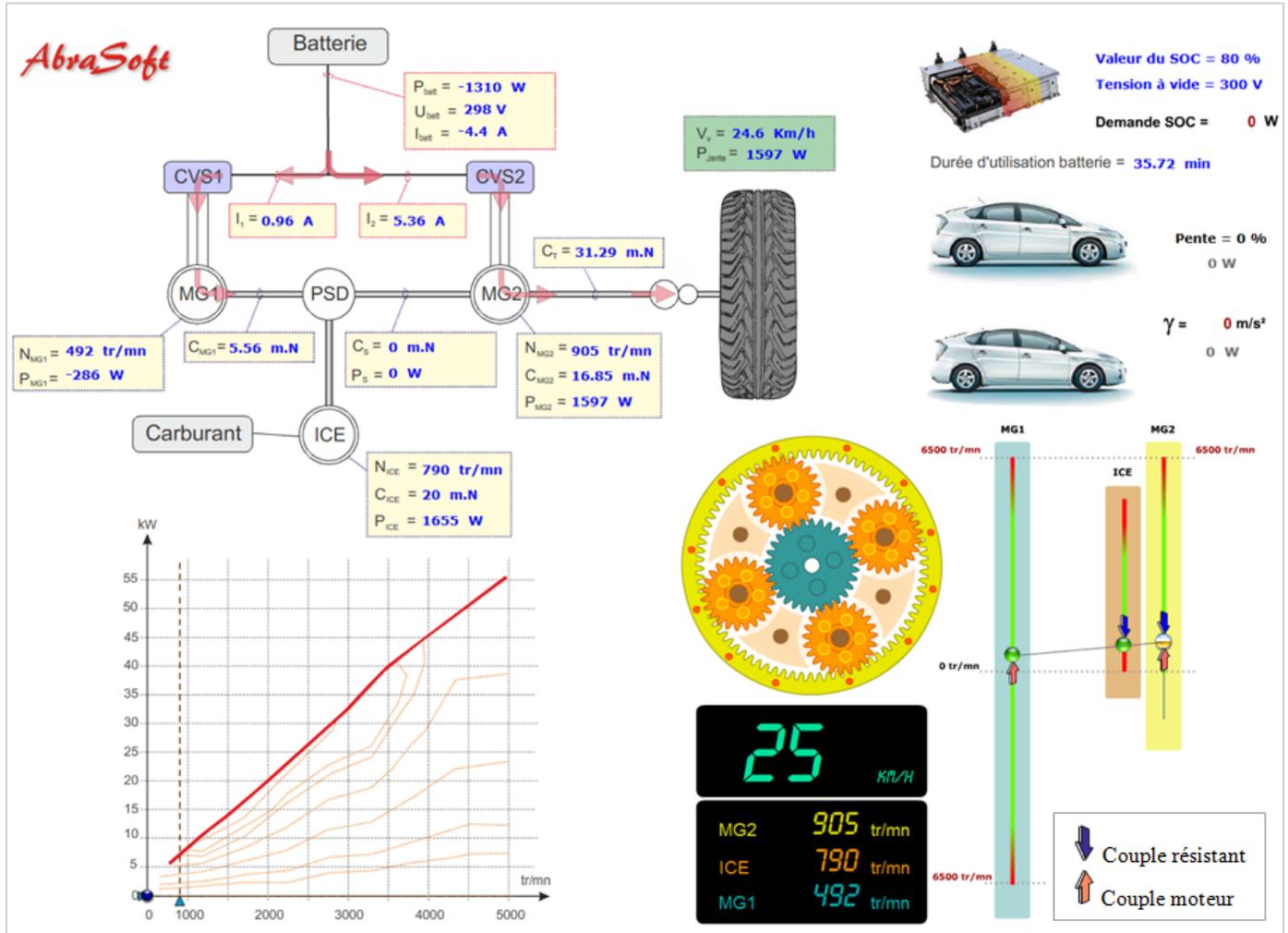
Ce qui correspond à une pente de 9%, si le véhicule roule à 50 km/h.

Si la pente est plus élevée, la vitesse du véhicule devra être plus faible.

En mode EV, la vitesse du véhicule est limitée à 50 km/h, pour ne pas détériorer MG1 qui tourne librement en sens inverse à une vitesse élevée, proche de sa valeur maxi (6500 tr/mn).

Mettre le moteur thermique en marche lorsque le véhicule roule en mode EV.

Si le couple d'entraînement requis augmente lorsque le véhicule roule seulement avec MG2, MG1 sera activé pour démarrer le moteur. Par ailleurs, si l'un des objets de contrôle de l'unité de commande électronique ECU HV tels que les conditions SOC, la température de la batterie, la température d'eau et les conditions de charge électrique s'écartent du niveau spécifié, MG1 sera activé pour démarrer le moteur thermique.



Le véhicule roule grâce au moteur thermique sans BV.

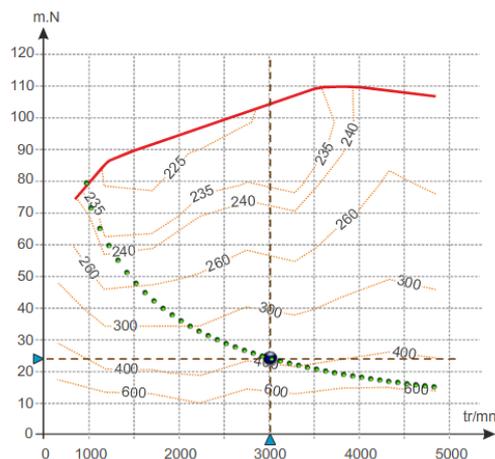
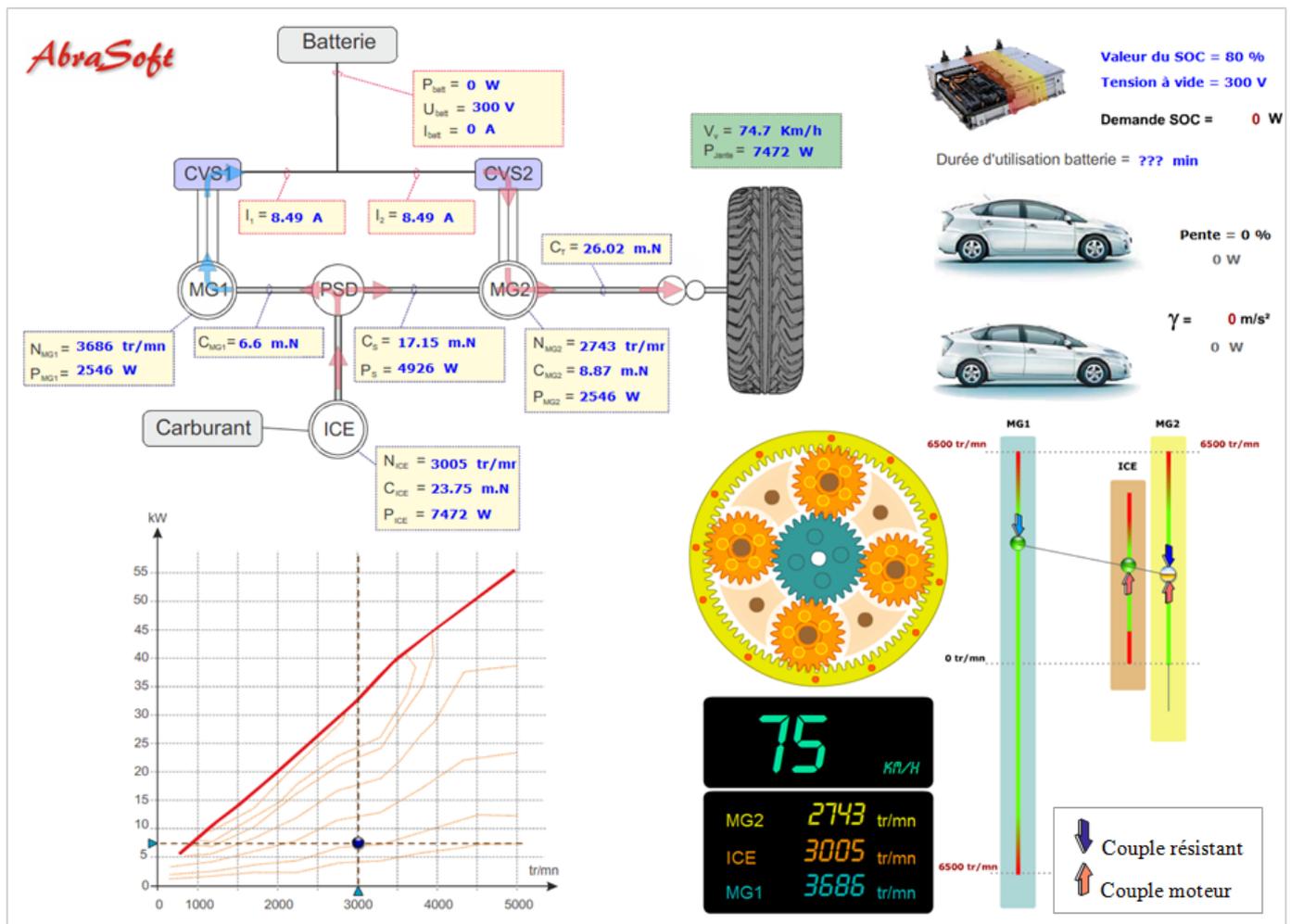
Le couple du moteur est divisé par les engrenages du train épicycloïdal. Une partie de ce couple est délivré directement aux roues et le reste est utilisé pour la production d'électricité par l'intermédiaire de MG1.

Les circuits électriques commandent le moteur MG2 grâce à la production du générateur MG1.

72,22 % du couple moteur est transmis sous forme mécanique par l'intermédiaire du train épicycloïdal.

27,77 % du couple moteur est transmis par l'intermédiaire du train épicycloïdal, MG1 en tant que générateur et MG2 en tant que moteur électrique.

Le régime du moteur thermique peut être ainsi contrôlé par le régime de rotation de MG1.



Dans l'exemple ci-dessus, la puissance nécessaire à l'avancement est de 7472 W, ce qui correspond à la résistance aérodynamique et au roulement du véhicule qui roule à 75 km/h.

Si nous exprimons cette puissance sur la courbe de couple du moteur thermique, nous obtenons le graphe ci-contre, avec en pointillés, la courbe d'isopuissance pour 75 km/h.

Dans l'exemple ci-contre, le régime moteur est de 3000 tr/mn, la charge moteur est partielle et la consommation spécifique vaut 400 g/kw.h.

Afin de diminuer la consommation, la gestion du système va réduire le régime moteur et augmenter la charge en agissant sur l'ouverture du papillon des gaz.

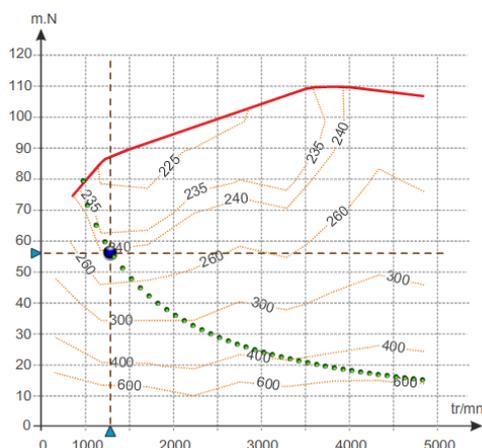
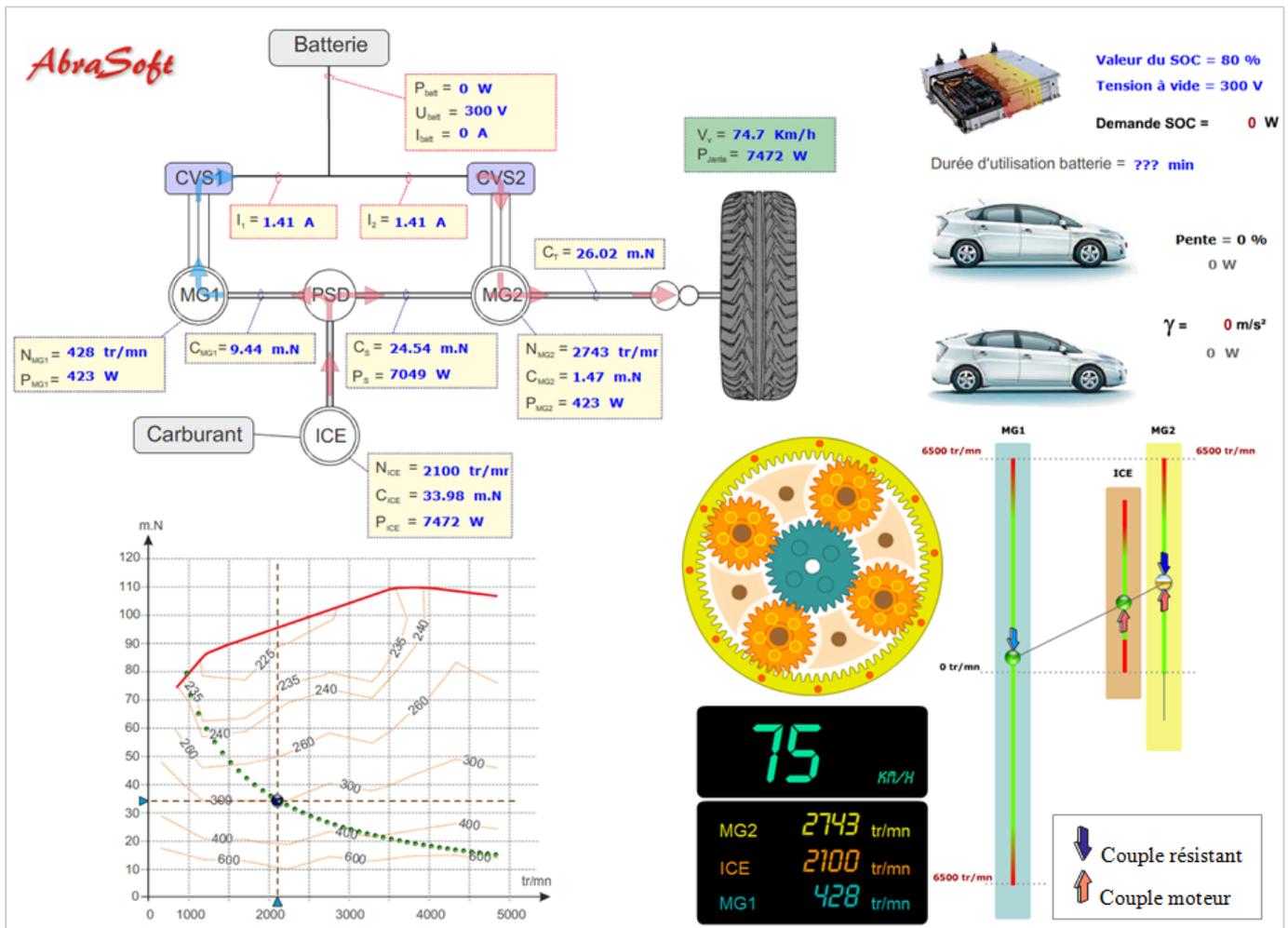
Pour réduire le régime moteur, MG1 en tant que générateur, diminue sa vitesse de rotation et applique un couple résistant plus important sur le PSD.

Le fait de diminuer le régime de MG1 (à régime MG2 constant) entraîne une baisse du régime de rotation du moteur thermique.

La charge du moteur augmentant, le couple moteur augmente et dans l'exemple ci-dessous, nous avons une nouvelle Cs de 300 g/kw.h.

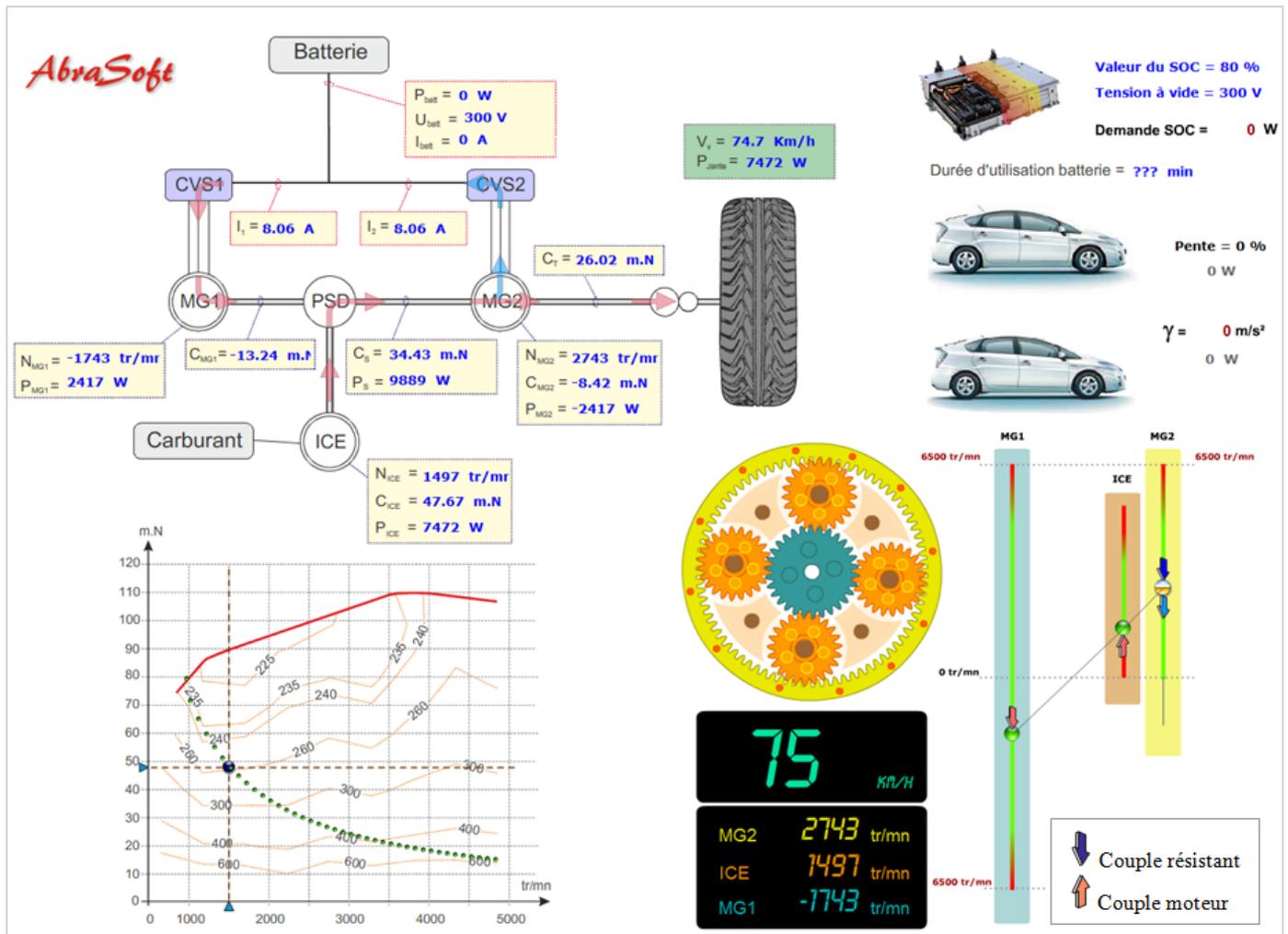
Nous constatons que le couple moteur augmentant, le couple en sortie du PSD en direction des roues (72,22%), à augmenté (24,54 m.N au lieu de 17,15 m.N).

La puissance que doit générer MG2 diminue donc, ainsi que la puissance générée par MG1.



On pourrait diminuer encore le régime moteur et compenser en augmentant la charge, ce qui donnerait la même puissance délivrée (graphe ci-contre).

Nous verrons page suivante comment obtenir un tel résultat.



Pour obtenir ce résultat, il faut faire tourner MG1 en sens inverse.
 Il faudra donc alimenter MG1, qui deviendra moteur et non plus générateur.
 L'augmentation de charge moteur et donc du couple généré, entraîne une augmentation du couple en sortie PSD vers les roues, ce qui engendre une augmentation de la puissance, supérieure au besoin à la jante.
 MG2 se transforme en générateur, "absorbant" l'excès de puissance qui sera transmise à MG1 devenu moteur.

La gestion du système permet tout en roulant à la même vitesse véhicule, d'adapter le régime et la charge moteur de façon à se positionner dans un zone de Cs faible (300 g/kw.h).

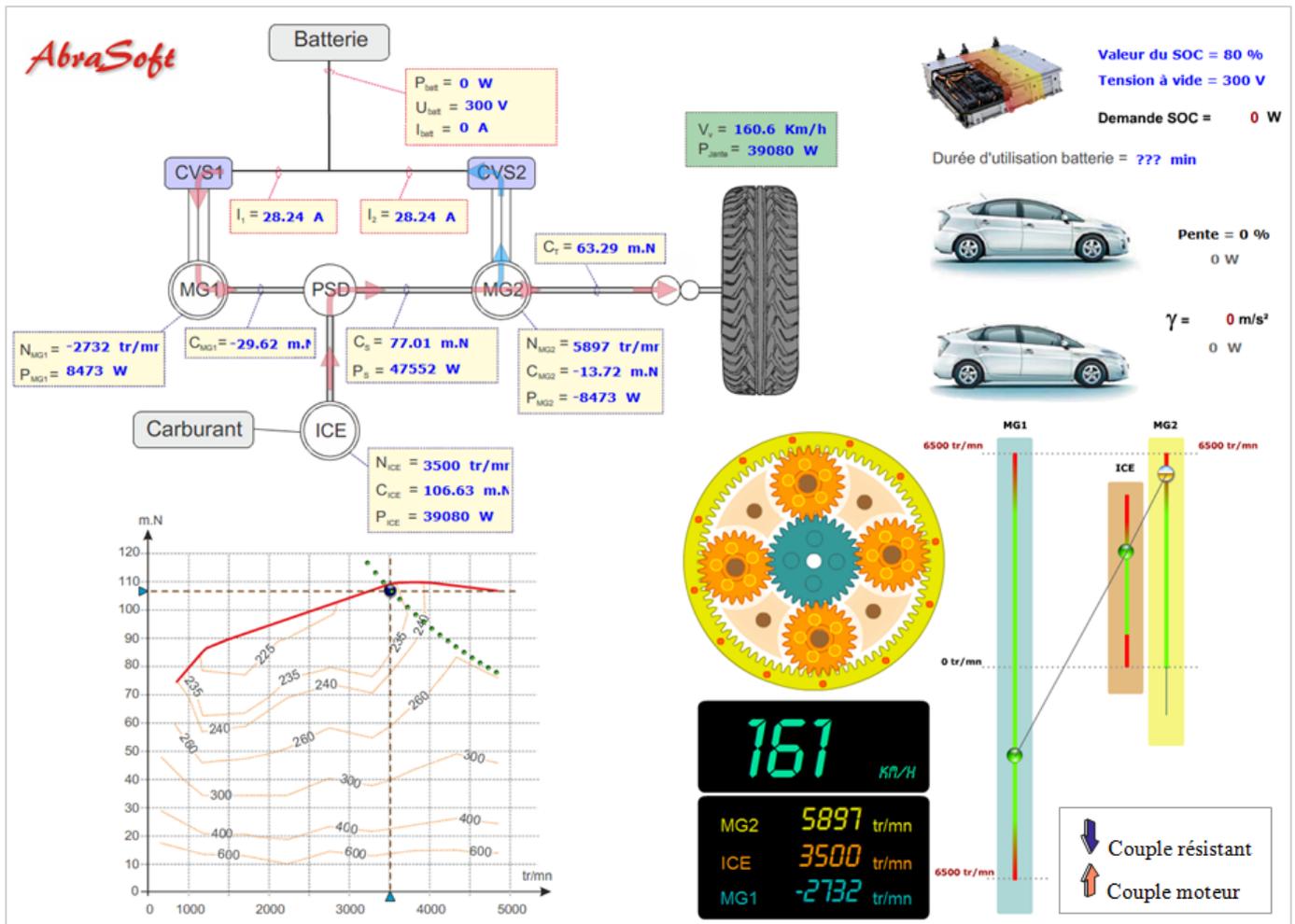


Le système essaie de positionner le moteur dans des zones de Cs faible.
 Pour cela, la charge du moteur doit être importante et le régime contrôlé.
 L'intégralité de la puissance est délivrée par le moteur thermique ICE.
 Les divers rendements du moteur sont supérieurs à ceux d'un moteur "classique" (Cs plus faible), pour ce faire, Toyota utilise un moteur à quatre temps à cycle d'Atkinson.



En faisant des relevés sur véhicule, on remarque que la solution proposée ci dessus n'est jamais utilisée par le constructeur.
 MG1 est toujours utilisé comme générateur en mode "hérétique". Il n'est seulement utilisé comme moteur au lancement du moteur thermique (démarrage de l'ICE).

Le véhicule roule à vitesse élevée.



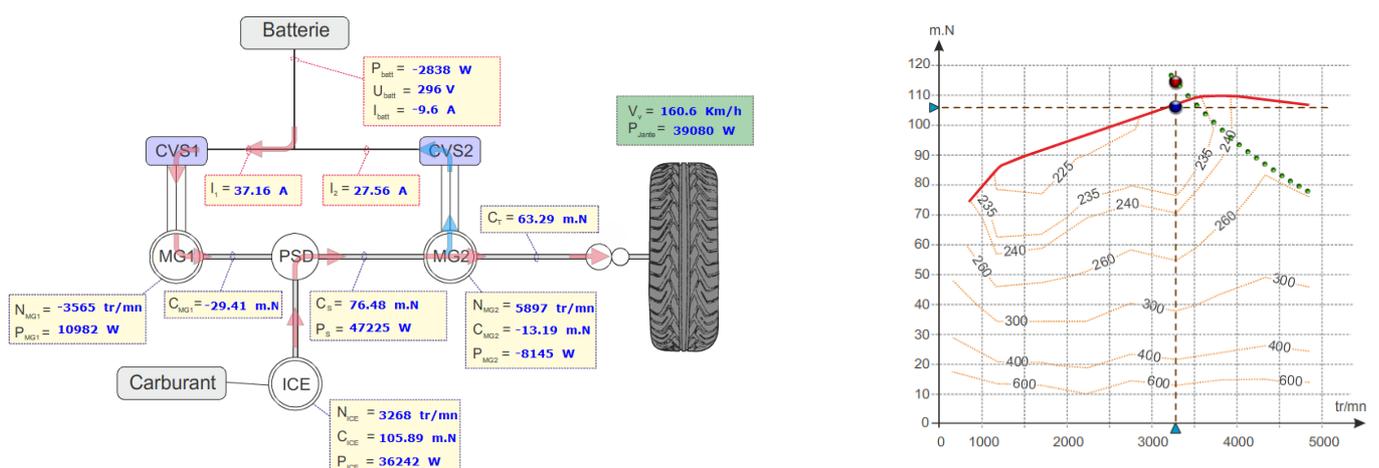
L'intégralité de la puissance est délivrée par le moteur thermique.

Afin d'avoir la puissance nécessaire en sortie vilebrequin et donc de ne pas "puiser" dans la batterie, le régime moteur doit être supérieur à 3500 tr/mn.

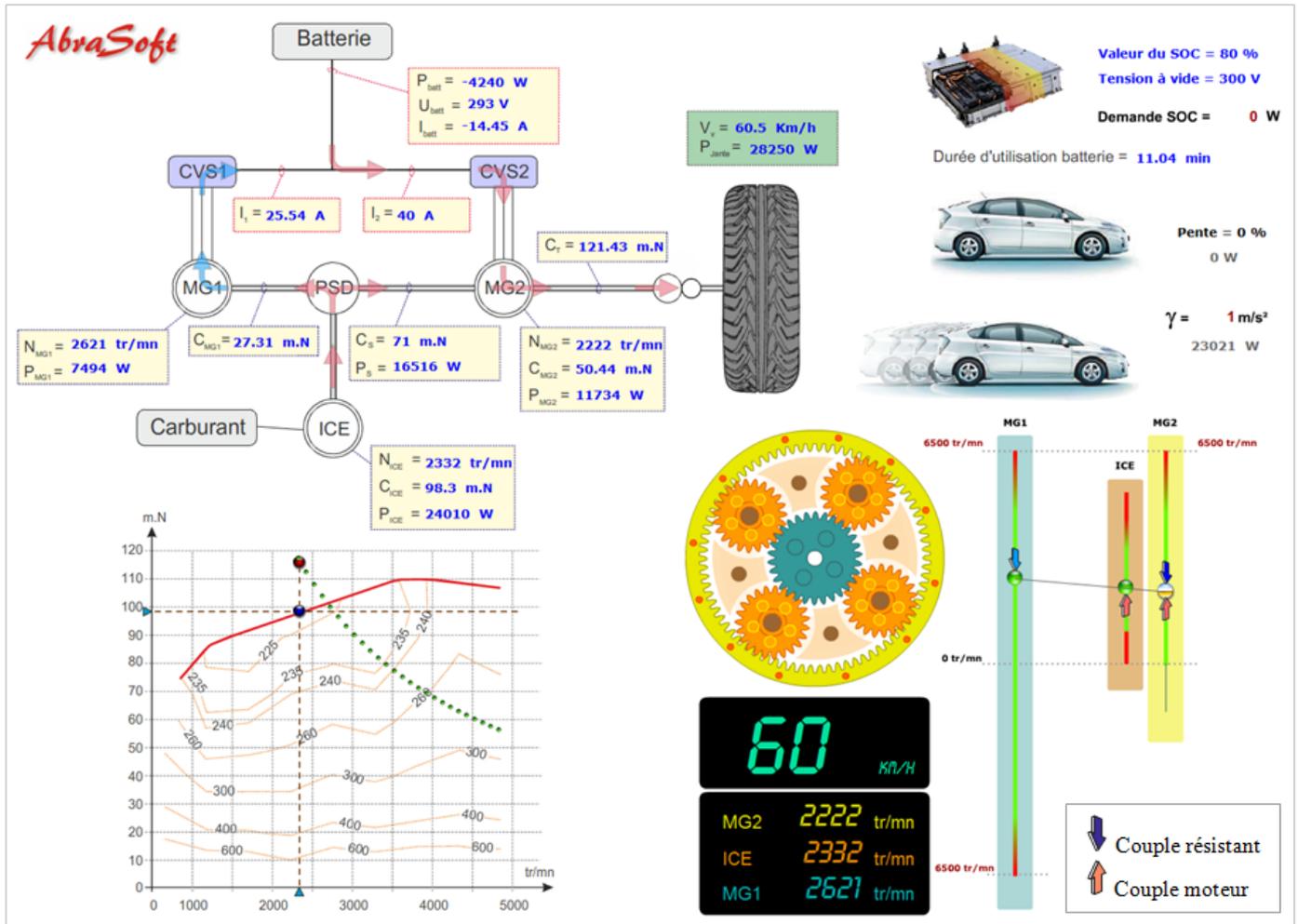
Pour maîtriser le régime moteur et se positionner dans une zone de C_s convenable, le système est obligé de faire tourner MG1 en sens inverse. Pour cela, il est moteur et reçoit sa puissance depuis MG2 qui est devenu générateur comme dans l'exemple précédent.

Nous remarquons que MG2 a presque atteint sa vitesse maxi de 6500 tr/mn qui limite la vitesse maxi du véhicule à 170 km/h.

Exemple ci dessous :  Si on se positionne en dessous de 3500 tr/mn à 161 km/h, on décharge la batterie avec une autonomie d'un quart d'heure (batterie chargée).



Le véhicule roule avec une forte accélération.



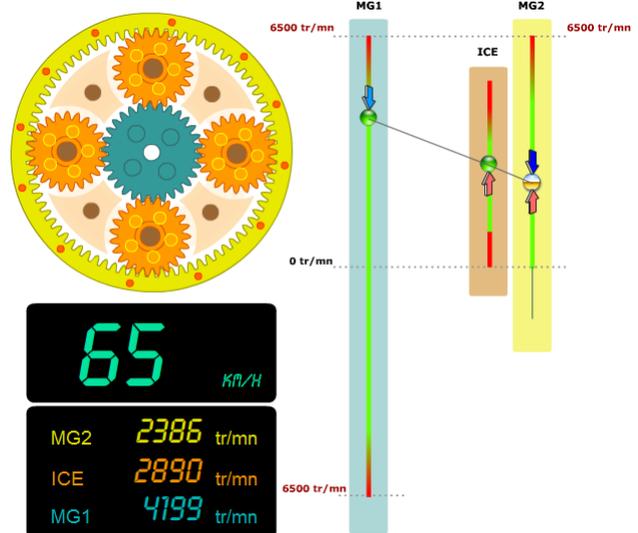
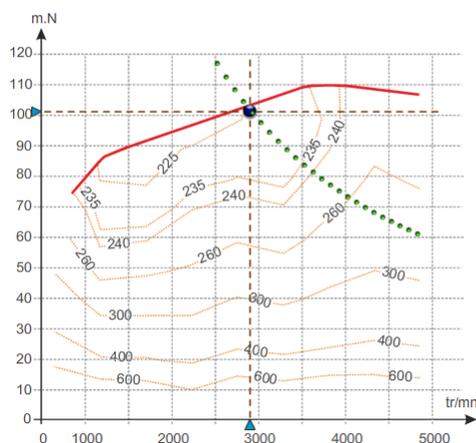
Lors d'une forte accélération, le système de gestion "utilise" momentanément l'énergie de la batterie de façon à alimenter MG2 en complément de ce que génère MG1. Le moteur thermique est bien entendu positionné en pleine charge, mais son faible régime au moment de la demande du conducteur ne permet pas de délivrer le couple nécessaire, d'où la nécessité d'augmenter le couple de MG2.

Pendant la phase d'accélération, le système va automatiquement se repositionner dans une zone d'utilisation permettant au moteur de délivrer la puissance nécessaire avec une Cs faible.

Repositionnement "normal" sans utilisation de la batterie :

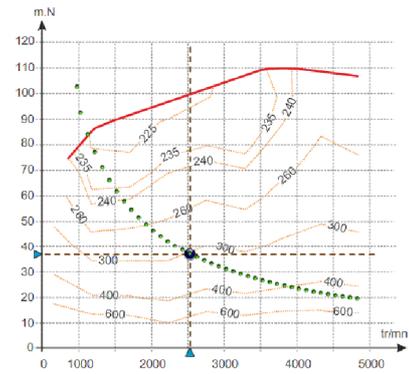
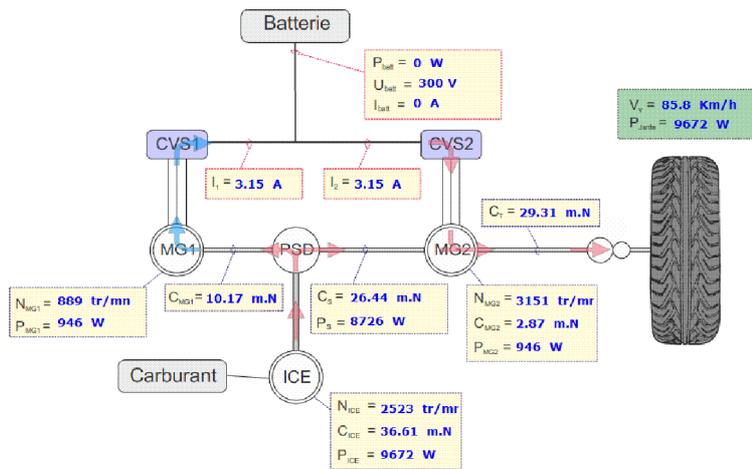


L'utilisation de la batterie est donc transitoire.



Demande de SOC (recharge de la batterie nécessaire).

Avant demande de SOC.



Valeur du SOC = 80 %
Tension à vide = 300 V
Demande SOC = 0000 W

Après demande de SOC.

Lors d'une décharge de la batterie, suite par exemple à une accélération importante, le système met en œuvre une "demande de SOC". Cette demande se traduit par une augmentation de la charge moteur. Le couple en sortie PSD en direction des roues augmente, ce qui permet de diminuer la puissance motrice de MG2. Le couple en direction de MG1, augmente lui aussi, permettant d'augmenter la puissance électrique générée. Cette puissance électrique alimente MG2 et charge la batterie à la valeur de demande du SOC.

AbraSoft

Valeur du SOC = 63.9 %
Tension à vide = 288 V
Demande SOC = 1000 W

Durée d'utilisation batterie = 28.01 min

Pente = 0 %
0 W

$\gamma = 0 \text{ m/s}^2$
0 W

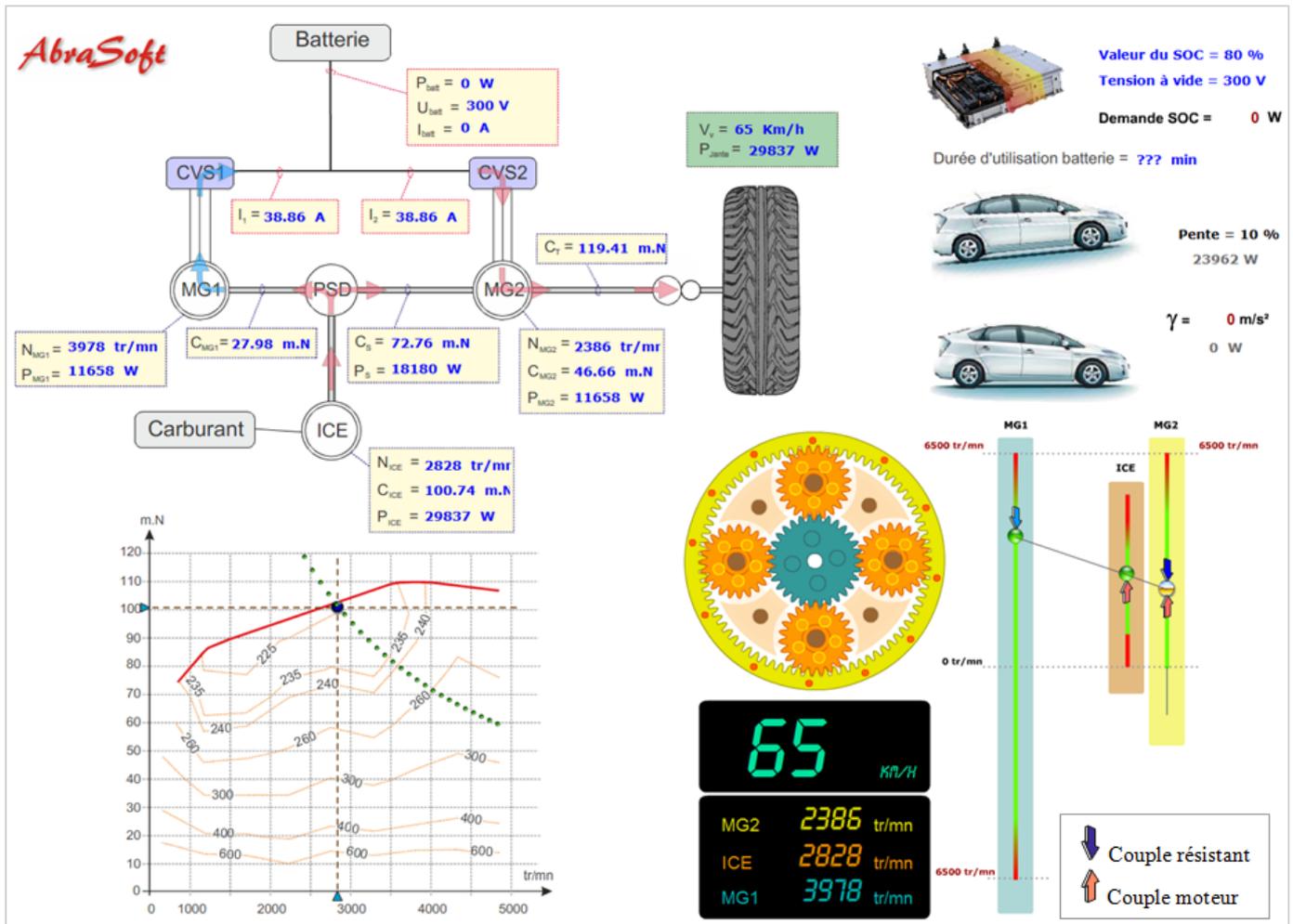
MG1: 1038 tr/mn, 1205 W
MG2: 3166 tr/mn, 205 W
ICE: 2575 tr/mn, 10762 W

86 Km/h

MG2 3166 tr/mn
ICE 2575 tr/mn
MG1 1038 tr/mn

↓ Couple résistant
↑ Couple moteur

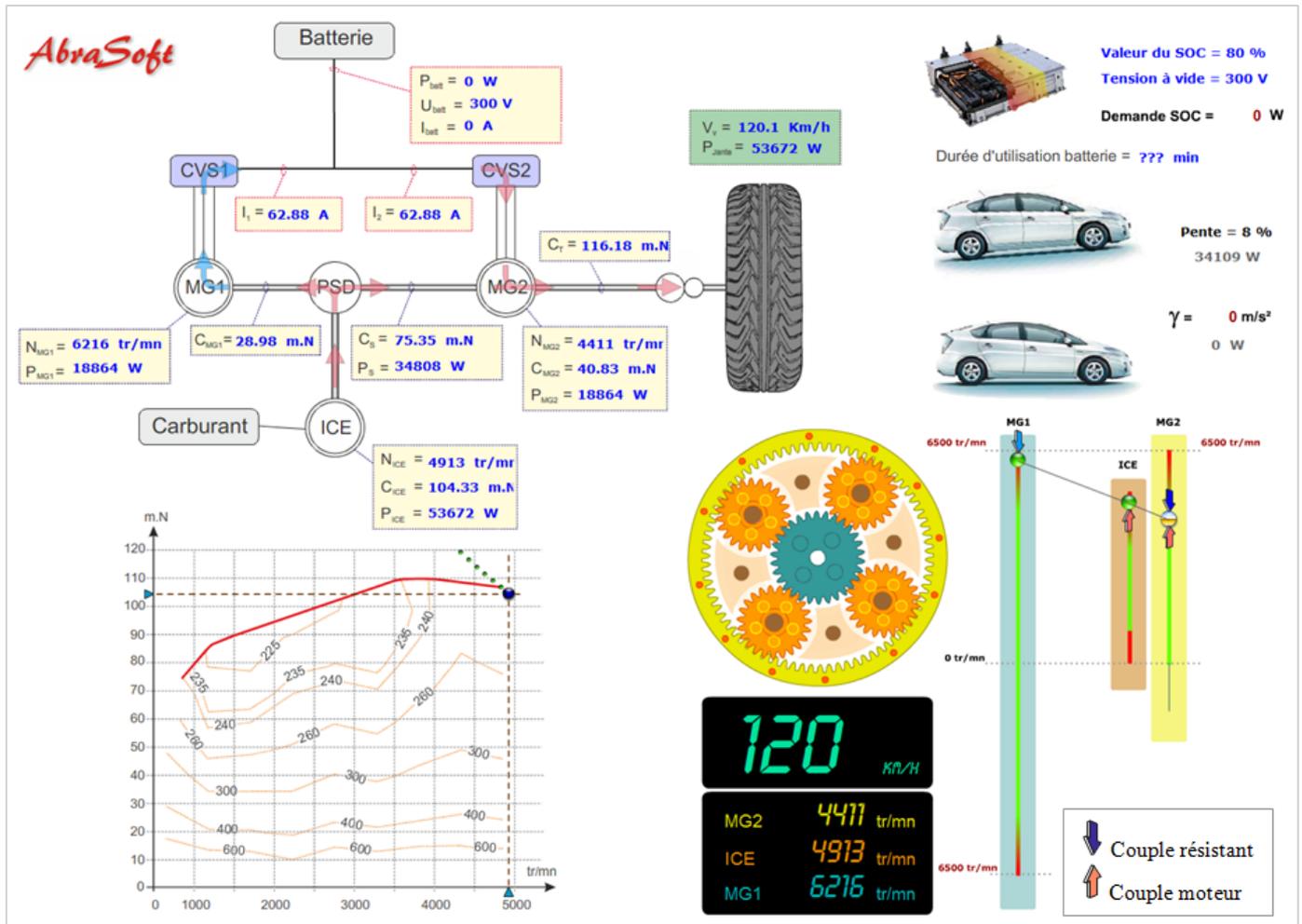
Le véhicule roule dans une pente importante à faible vitesse.



Lorsque la vitesse du véhicule est faible, nous retrouvons une gestion identique à celle présentée lors d'une forte accélération.

Le recours à la batterie sera transitoire, MG1 positionnera rapidement le régime moteur dans une plage pour laquelle il est capable de fournir seul, la puissance nécessaire.

Le véhicule roule dans une pente importante à vitesse élevée.

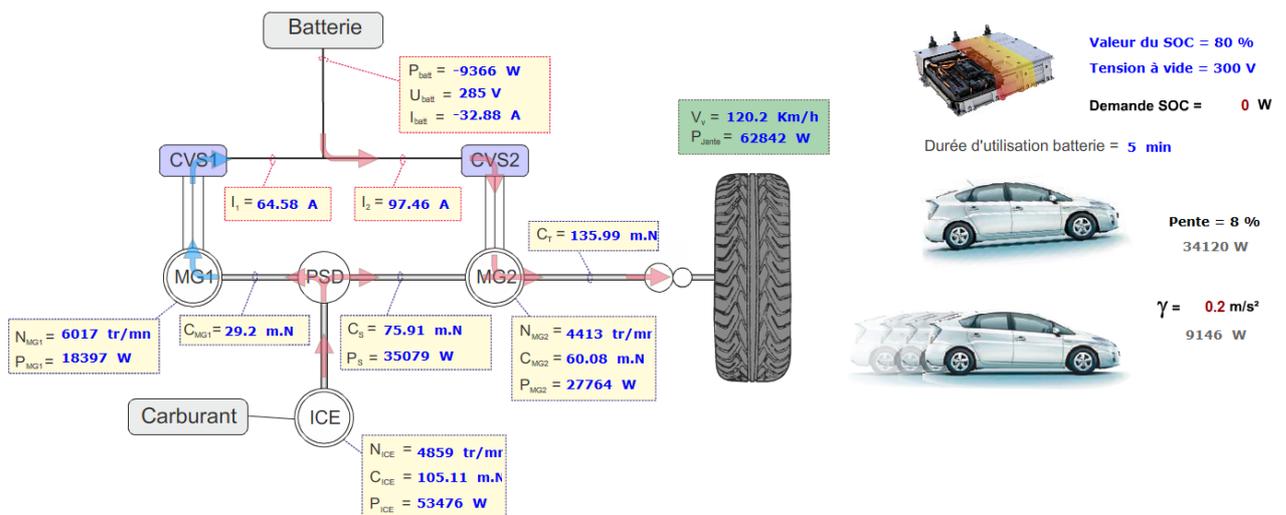


La simulation ci-dessus correspondrait par exemple à une situation de déplacement sur autoroute, avec des montées importantes à 120 km/h.

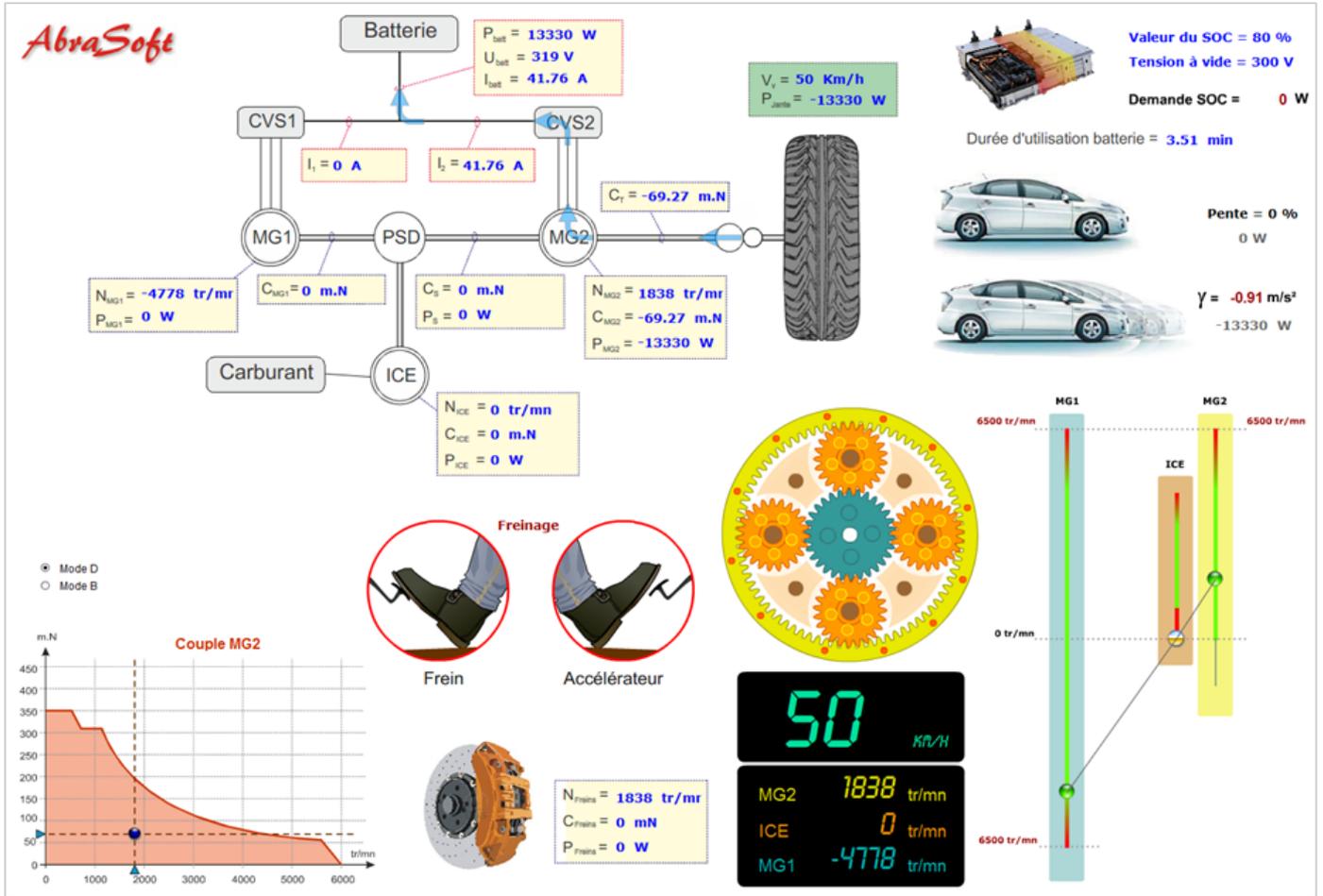
Lorsque la vitesse du véhicule est plus importante, les puissances mises en jeu sont nettement plus importantes. Le système doit impérativement positionner le moteur dans une plage pour laquelle il est capable de fournir seul, la puissance nécessaire.

On remarque qu'il est obligé, compte tenu de la faible puissance du moteur, de positionner ce dernier en pleine charge avec un régime élevé, sans possibilité d'accélérer par manque de puissance disponible.

Une demande temporaire d'accélération, impliquerait la décharge de la batterie, comme dans la simulation ci-dessous.



Lors d'une décélération en mode "D".

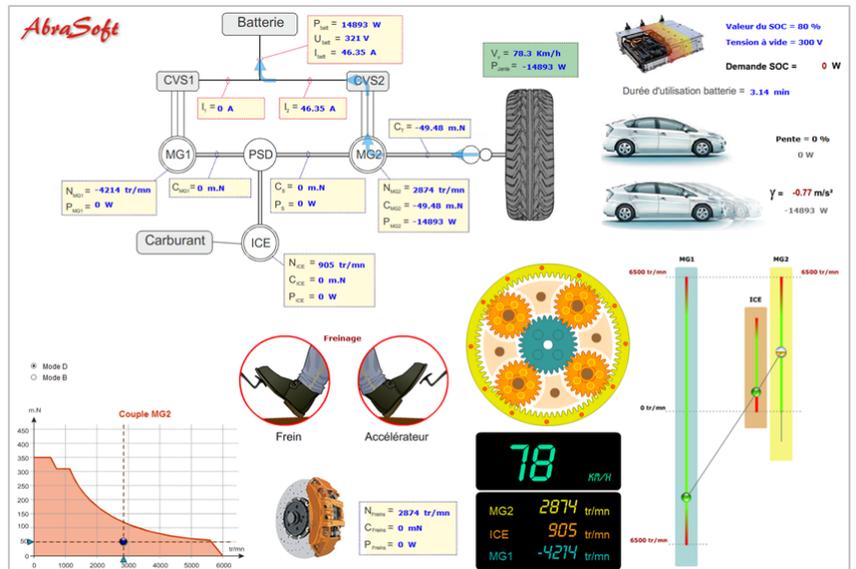


Si le véhicule décélère avec le rapport engagé en position "D", le moteur s'arrête et MG1 devient libre (*sans couple résistant*).

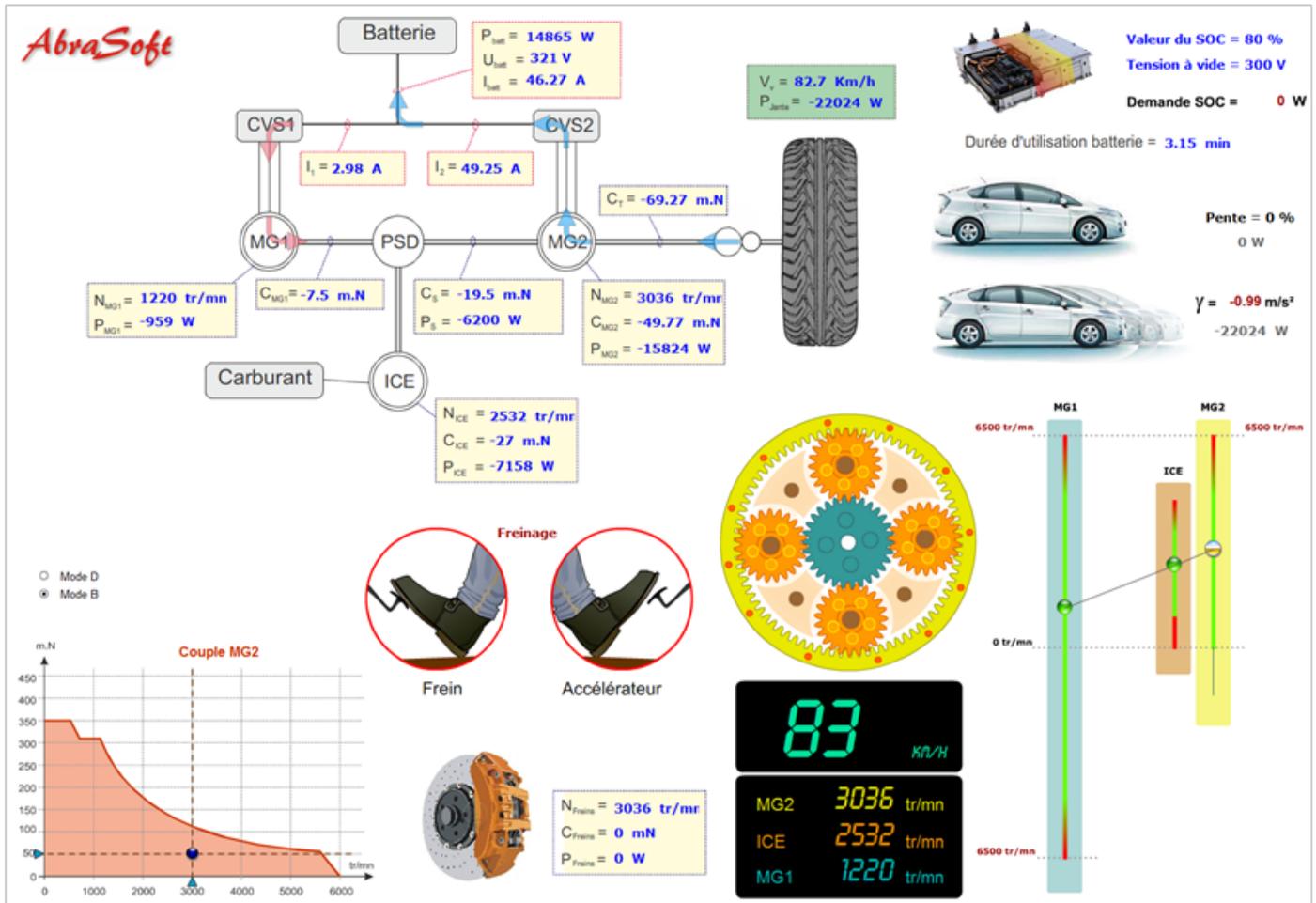
Dés cet instant, les roues entraînent MG2 qui devient générateur électrique et charge la batterie.



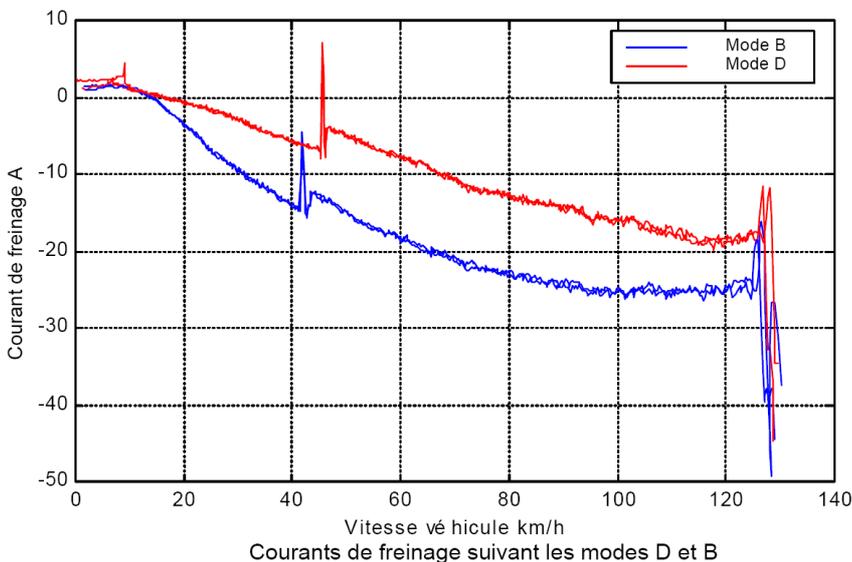
Si le véhicule décélère à partir d'une vitesse supérieure à 50 km/h, le moteur thermique se maintiendra à un régime prédéterminé sans s'arrêter, de manière à protéger MG1 et le train épicycloïdal.



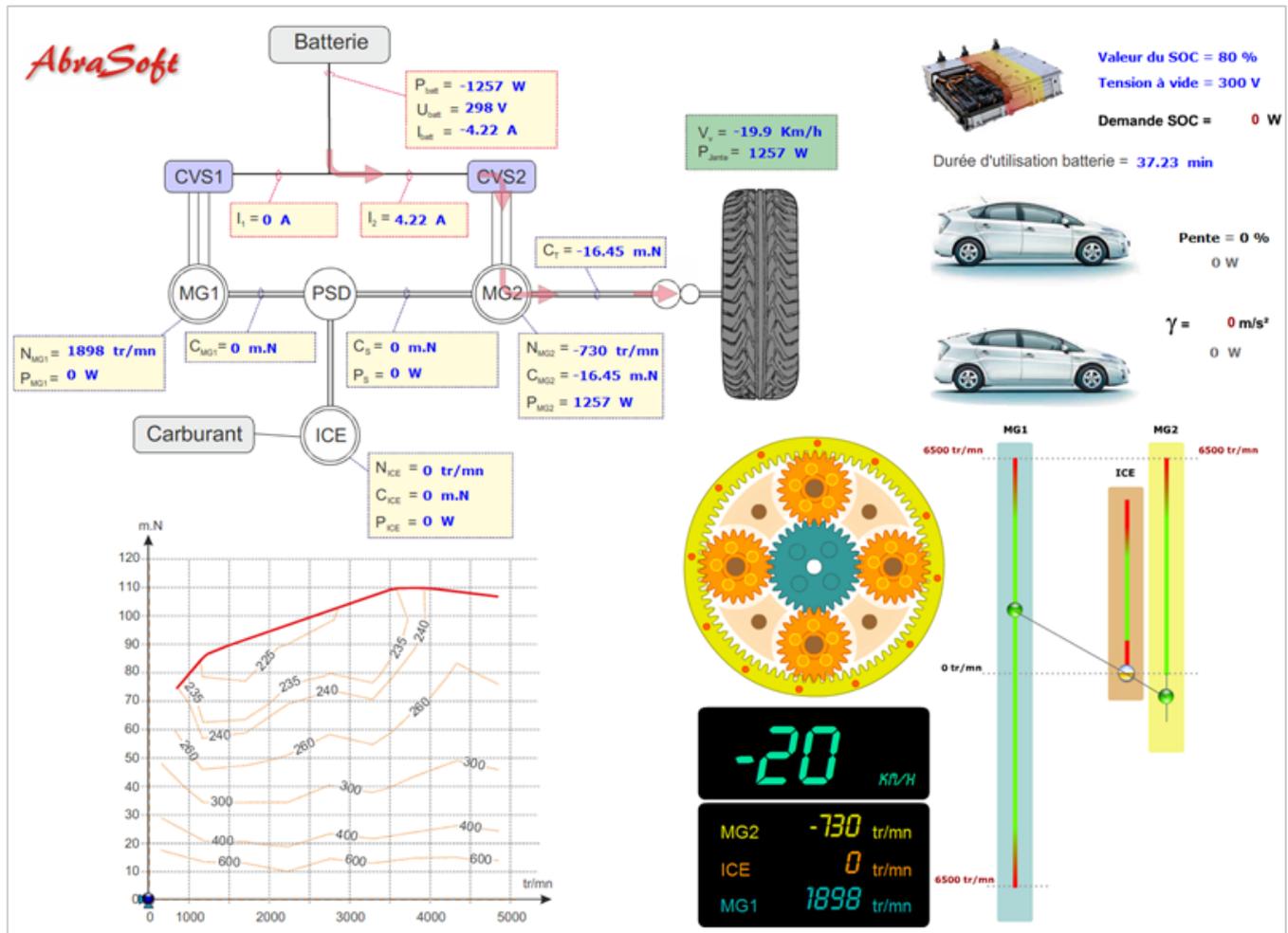
Lors d'une décélération en mode "B".



Si le véhicule décélère avec le rapport engagé en position "B", les roues entraînent MG2 qui devient générateur électrique, charge la batterie et fournit le courant d'alimentation à MG1. MG1 devient ainsi moteur électrique et maintient la vitesse de rotation du moteur thermique. Ce dernier applique 72,22% du frein moteur aux roues par le PSD, puisque l'injection d'essence est coupée.



En marche arrière "R".

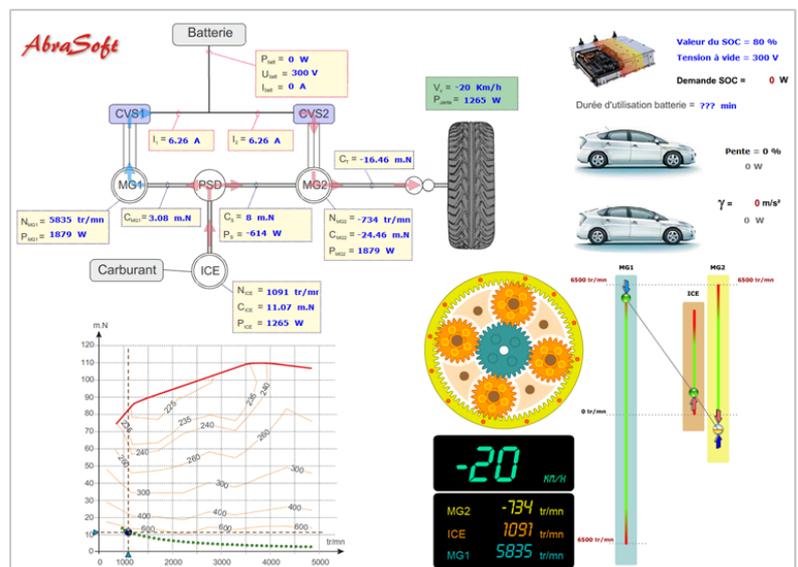


Lorsque le véhicule roule en marche arrière, il fonctionne uniquement en mode électrique "EV" par l'intermédiaire du moteur MG2.

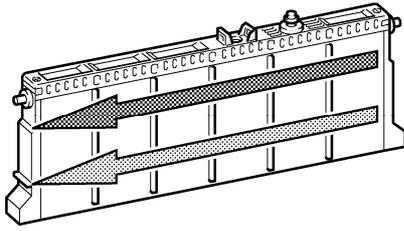
MG2 tourne dans le sens opposé, le moteur thermique reste arrêté et MG1 tourne librement dans le sens normal sans produire d'électricité.



Si la charge de la batterie l'impose, le système démarre le moteur thermique qui entraîne MG1, qui devient générateur afin d'alimenter le moteur électrique MG2.



Constitution de la batterie HV.



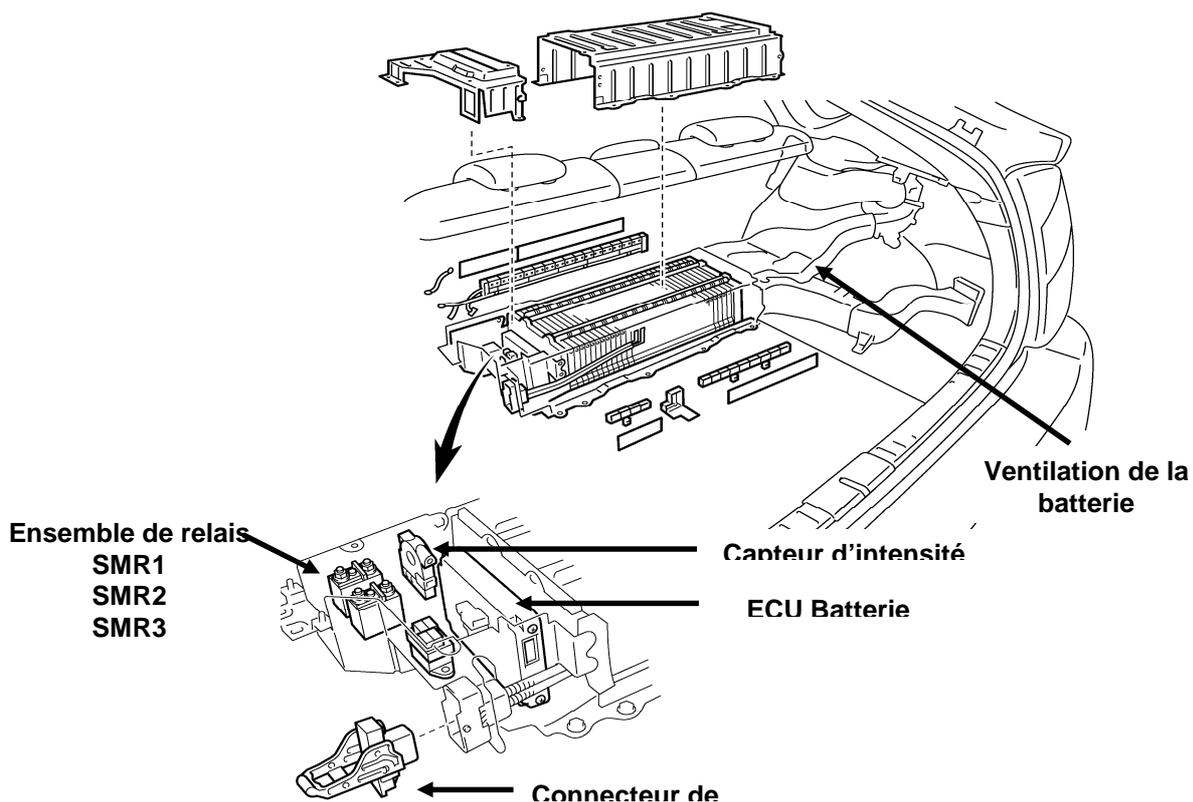
Le système THS-II a adopté des batteries étanches hydrure de métal-nickel (Ni-MH) pour la batterie HV. Cette batterie HV possède des caractéristiques une densité à haute puissance, elle est légère et possède une remarquable longévité spécifiquement conçue aux caractéristiques du système THS-II.

Une prise de service chargée de couper le circuit est installée en intermédiaire de 28 modules (entre le module no.19 et le module no.20). Avant de procéder à des travaux d'entretien de n'importe quelle partie du circuit haute tension, il ne faut pas oublier de débrancher au préalable la prise de service.

La batterie utilisée par le système hybride se compose de **228 éléments NiMH** (Nickel Métal Hydrure) regroupés dans un bloc placé sous les sièges arrière (masse totale : 52 kg) .

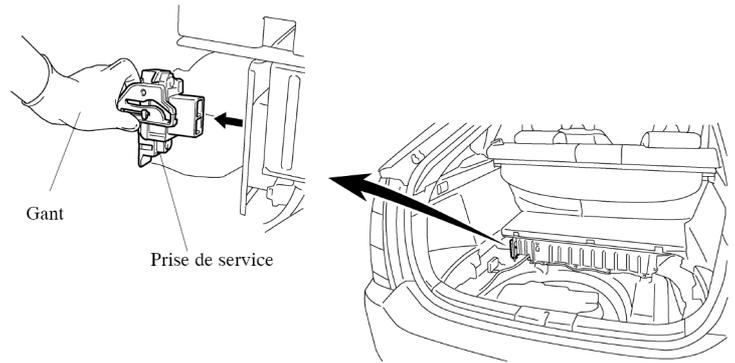
Chaque élément présente une tension d'environ **1,2 V** et une capacité de **6,5 Ah**.
Le courant maximal est de **80 A à la décharge** et de **50 A à la charge**.

Tension totale de la batterie : $U = 228 \times 1,2 = 273,6 \text{ V}$.



Prise de service

En débranchant la prise de service avant d'effectuer des travaux d'inspection ou d'entretien, le circuit haute tension est coupé à une position intermédiaire de la batterie HV, ce qui constitue une disposition permettant de travailler en toute sécurité pendant les travaux d'entretien. L'ensemble de la prise de service renferme un commutateur à lame servant de moyen de couplage.



Le relevage du verrouillage met le commutateur à lame au repos, ce qui a pour effet d'arrêter le SMR. Cependant, pour que la sécurité soit totale, il convient de tourner la clé de contact en position OFF avant de débrancher la prise de service.

Le fusible principal du circuit haute tension est installé dans l'ensemble de prise de service.



Après l'entretien, veuillez ne pas démarrer le système tant que la prise de service n'a pas été connectée. L'unité de commande électronique ECU batterie peut éventuellement tomber en panne.

Analyse de la gestion de la batterie.

Puissance maximales admissibles à la décharge : $P_{\max} \text{ décharge} = 273,6 \times 80 = 21,888 \text{ kW}$.

Puissance maximales admissibles à la charge : $P_{\max} \text{ charge} = 273,6 \times 50 = 13,68 \text{ kW}$.

Energie totale contenue dans la batterie : $W = Q \times U \quad W = 273,6 \times 6,5 = 1,78 \text{ kWh}$.

Pour augmenter la durée de vie de la batterie, son état de charge (noté SOC, pour State Of Charge) sera limité à 80 % de la pleine charge. Pour la même raison, l'état de charge ne pourra pas être inférieur à 40 % de la pleine charge (le constructeur garantit l'utilisation de la batterie pour plus de 200 000 km).

Seuls 40 % (80 – 40) de la charge sont utilisables : $W_{\text{utilisable}} = 712 \text{ Wh}$.

L'énergie dans la batterie varie de 712 à 1 424 Wh, ce qui correspond sur l'affichage aux indications « trompeuses » de 0 à Full...

Pour rouler à 40 km/h par exemple, les puissance résistives valent 2 754 W.

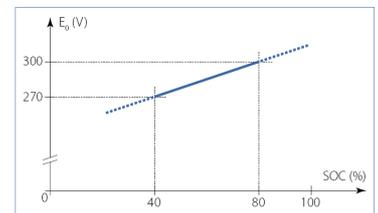
Donc 712 Wh permettront de faire avancer la voiture pendant 0,258 h (≈ 15 min).

La distance parcourue à cette vitesse est donc de $40 \times 0,258 \approx 10,33 \text{ km}$.

La résistance interne de la batterie étudiée a pour valeur $R = 0,46 \Omega$.

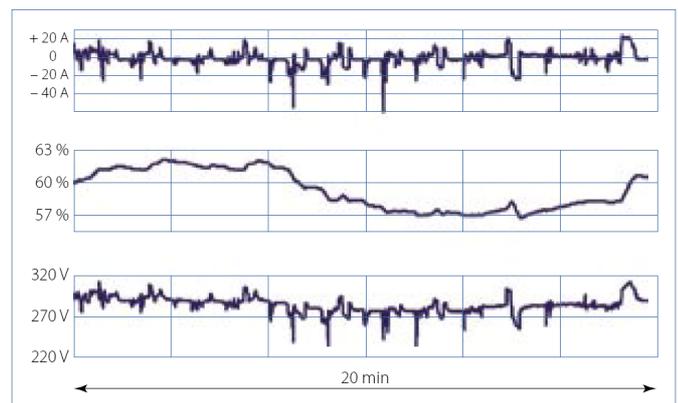
La tension à vide (pour un courant nul) est notée E0.

Sa valeur dépend de l'état de charge de batterie selon la caractéristique donnée en par le graphe ci-contre.



Le système de contrôle (calculateurs) du système hybride doit gérer le fonctionnement des machines (ICE, MG1, MG2) en fonction de l'état de charge de la batterie.

La stratégie adoptée vise à stabiliser ce dernier autour de 60 %, quelles que soient les situations de fonctionnement de la voiture

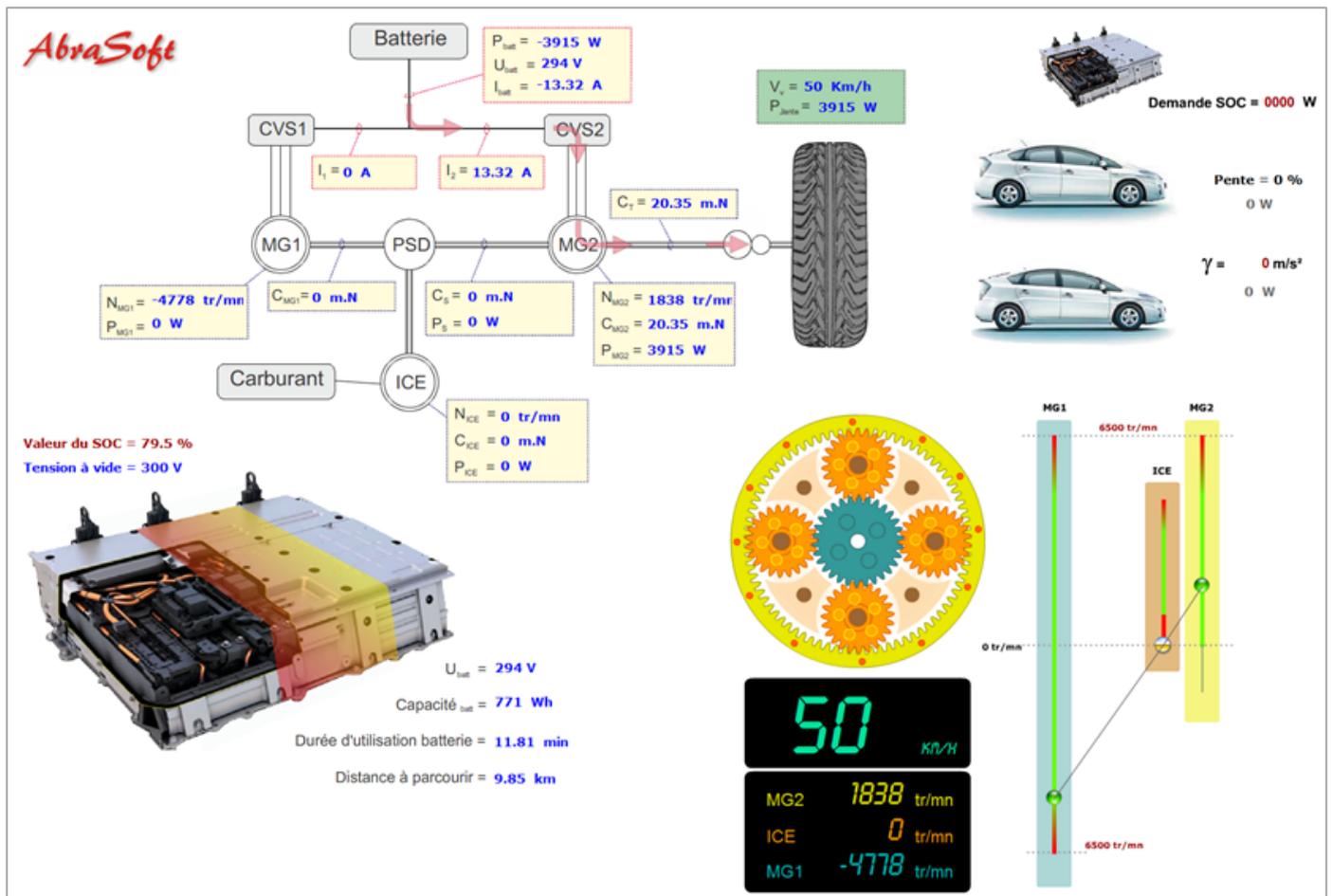


Analyse de la gestion du système en mode "EV".

Lorsque le véhicule roule en mode "EV", le moteur thermique reste à l'arrêt, toute l'énergie nécessaire à l'avancement du véhicule est issue du moteur électrique MG2, donc de la batterie.

Le véhicule roule à $V = Cte$ en palier.

Dans l'exemple ci-dessous, le véhicule roule à 50 km/h, sans accélérer et sans pente (en palier).

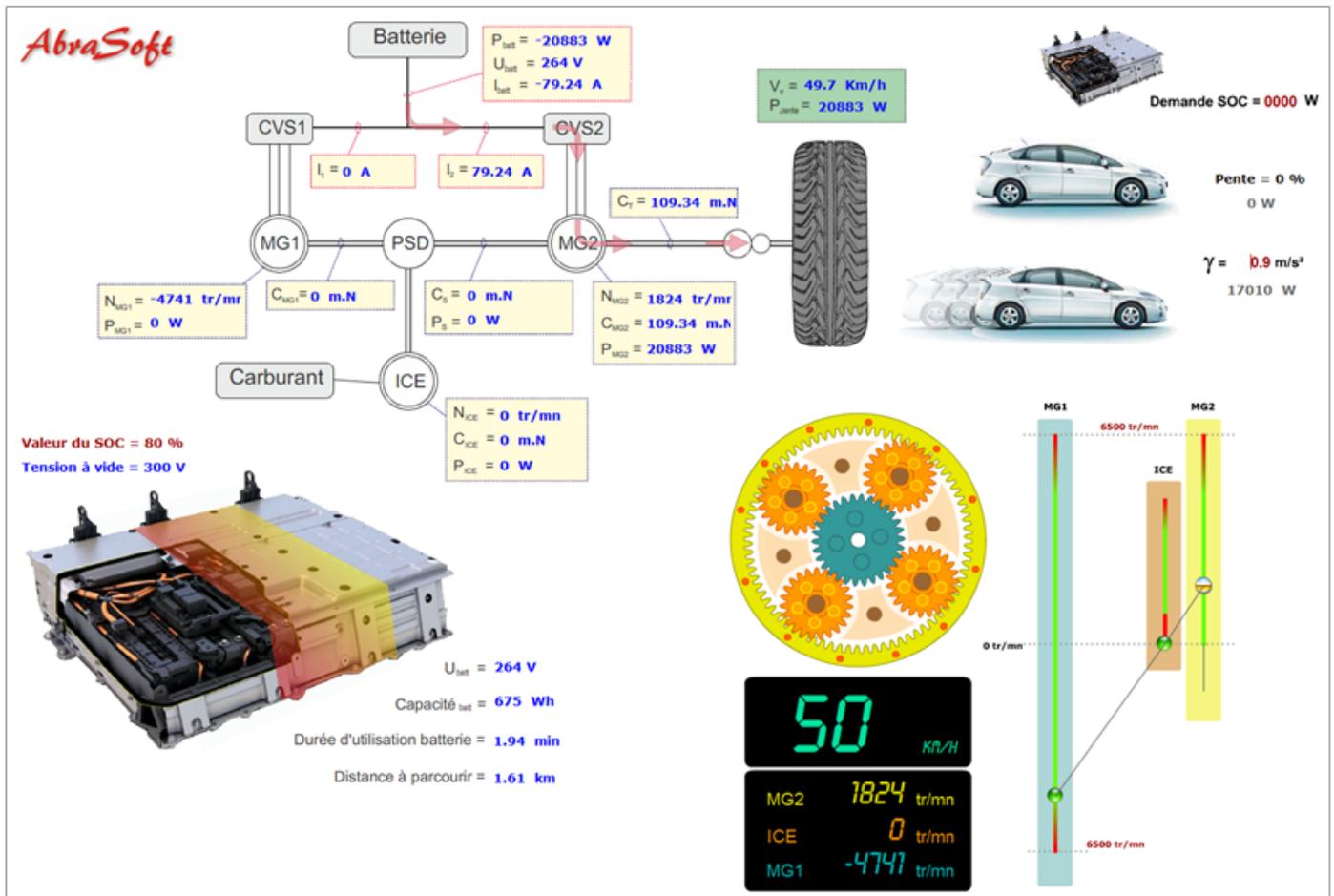


Remarques :

- Avec une batterie complètement chargée (SOC = 79,5%)
- Pour avancer à vitesse constante = 50 km/h en palier (pente = 0%), le système consomme 13A
- La durée d'utilisation avant d'atteindre un SOC de 40 % est de 12 mn
- La distance que l'on peut parcourir est de l'ordre de 10 kms

Le véhicule accélère en palier.

Dans l'exemple ci-dessous, le véhicule roule à 50 km/h, sans pente (en palier), mais accélère à une valeur de 0,9 m/s².



Remarques :

- Avec une batterie complètement chargée (SOC = 80%)
- Pour accélérer à partir de 50 km/h en palier (pente = 0%), le système consomme 79,24A
- La durée d'utilisation avant d'atteindre un SOC de 40 % est de 1,94 mn
- La distance que l'on peut parcourir est de l'ordre de 1,6 kms

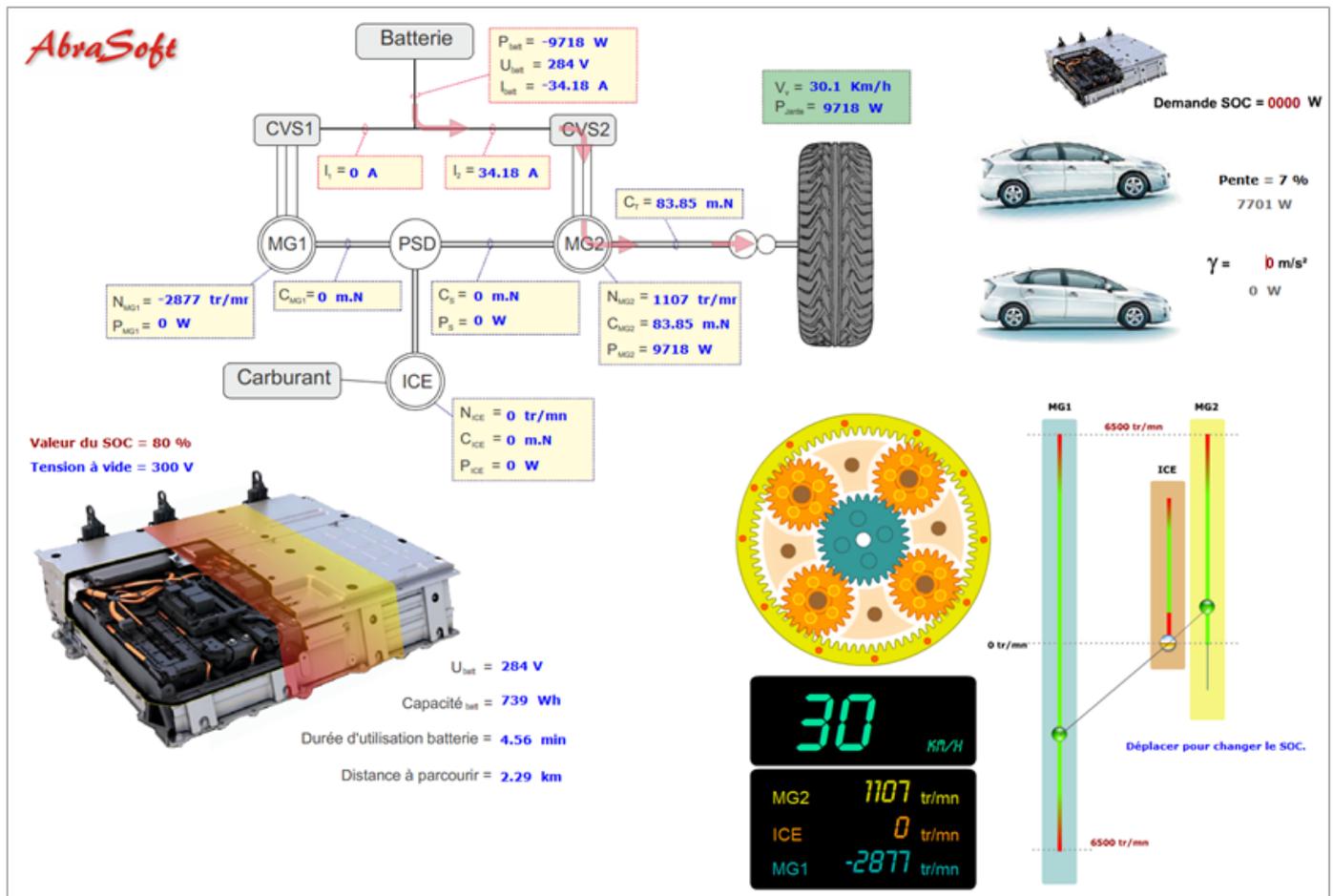


Le véhicule est limité en capacité d'accélération, car l'intensité consommée depuis la batterie est limitée à 80A.

Le système devra démarrer la moteur thermique afin de prendre le relais du moteur MG2.

Le véhicule monte une pente.

Dans l'exemple ci-dessous, le véhicule roule à faible vitesse, 30 km/h, sans accélération, mais dans une pente de 7%.



Remarques :

- Avec une batterie complètement chargée (SOC = 80%)
- Pour rouler à 30 km/h dans une pente de 7%, le système consomme 34A
- La durée d'utilisation avant d'atteindre un SOC de 40 % est de 4,5 mn
- La distance que l'on peut parcourir est de l'ordre de 2,3 kms



Le véhicule est limité en capacité de montée de côte en tout électrique, car il atteint rapidement la limite de consommation de 80A.

Le système devra démarrer le moteur thermique afin de prendre le relais du moteur MG2.

Système de commande THS-II :

Différences entre le système THS et le système THS-II.

La batterie HV du premier modèle Prius (*THS*) était constituée de 228 éléments ((1,2 V x 6 éléments) x 38 modules) avec une tension nominale de 273,6 V.

Sur le modèle Prius II (*THS-II*), la batterie HV est constituée de 168 éléments ((1,2 V x 6 éléments) x 28 modules) avec une tension nominale de 201,6 V.

Ceci a permis de parvenir à une configuration de batterie compacte et légère grâce à ces améliorations internes.

La puissance électrique nécessaire au moteur MG2 s'exprime sous la forme $P = U.I$

A puissance équivalente, si l'on augmente U, on diminue I.

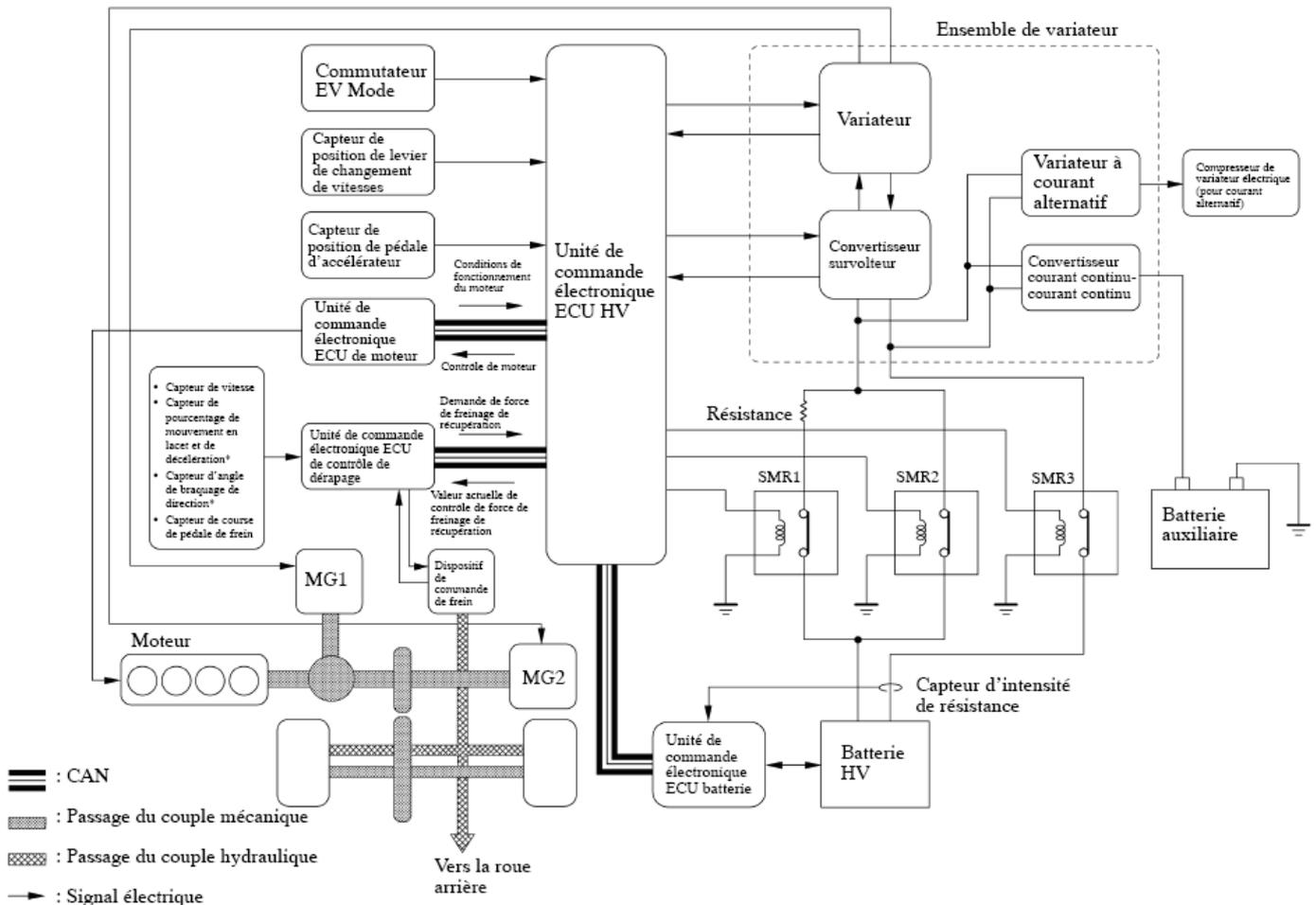
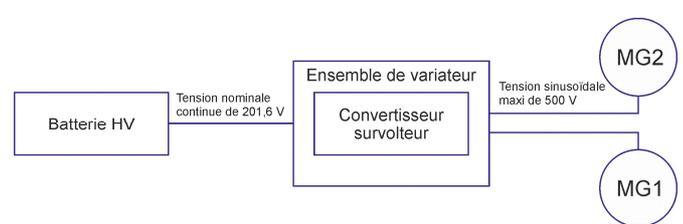
Or, les pertes joules sous forme de calories dans les câbles et autres systèmes, sont définies par l'équation suivantes :

Pertes Joules = $R.I^2$. En diminuant de façon importante l'intensité des moteurs, on diminue les pertes joules, ce qui explique l'intérêt du survolteur.

Système THS

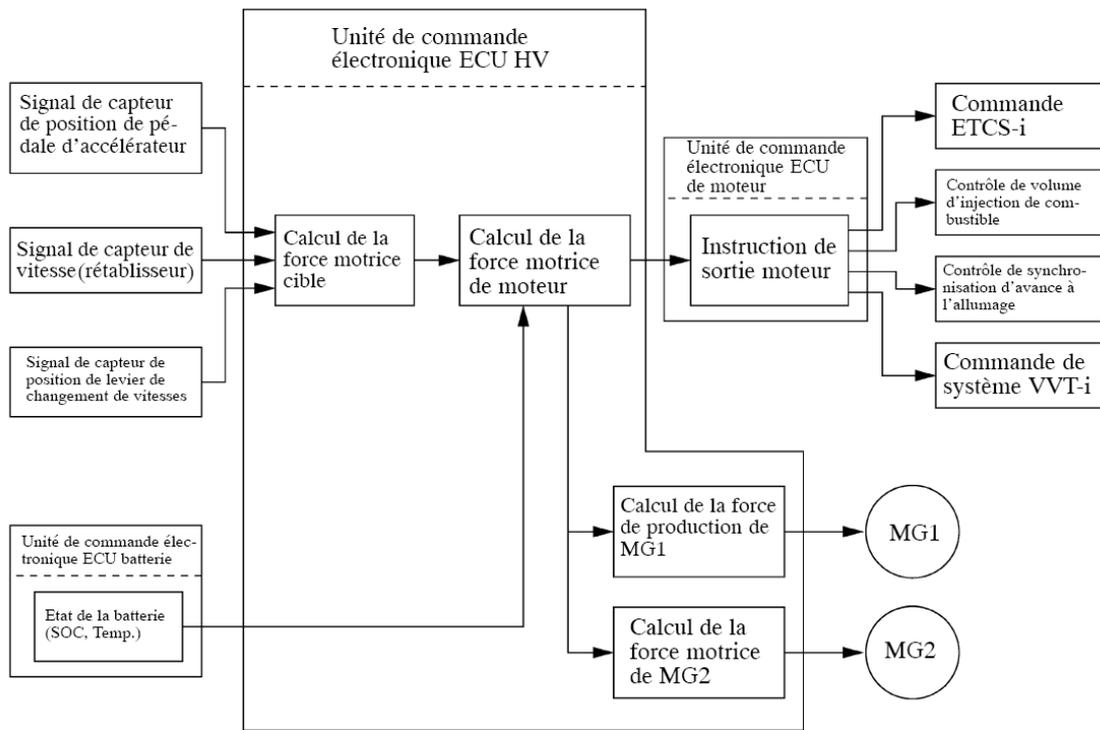


Système THS II

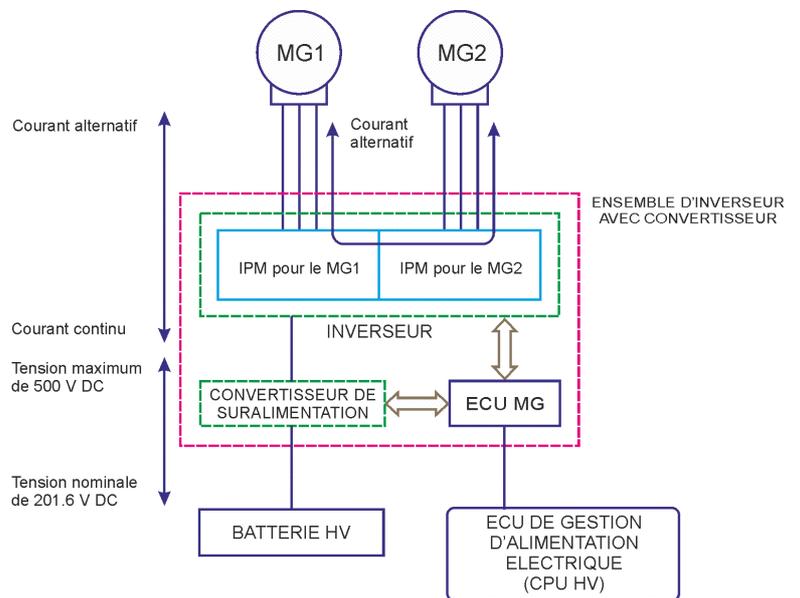


Calcul de la force motrice :

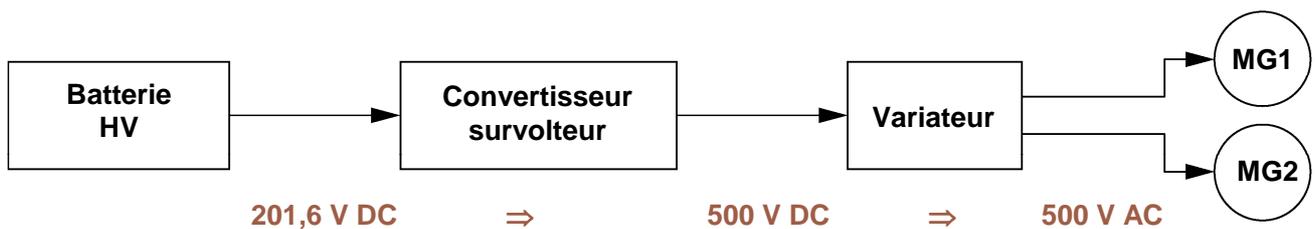
Force motrice cible - Force motrice du moteur thermique = Force motrice de MG2



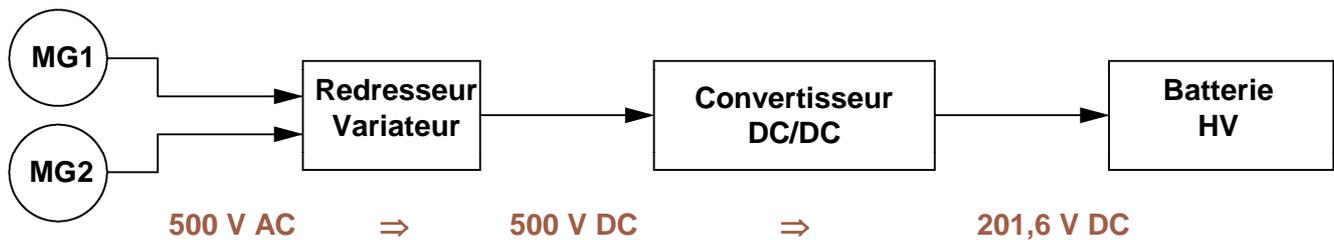
Ensemble de variateur :



Fonction d'intensification de tension



Conformément aux signaux fournis par l'unité de commande électronique ECU HV, le convertisseur survolteur intensifie la tension nominale continue de 201,6 V (pour la batterie HV) jusqu'à une tension maximum continue de 500 V.

Fonction de conversion de chute de tension

La tension maximum de 500 V CA produite par MG1 ou MG2 est convertie en tension continue par le variateur, puis le convertisseur survolteur l'abaisse jusqu'à une tension continue de 201,6 V (pour la batterie HV) sur la base des signaux provenant de l'unité de commande électronique ECU HV.

Fonction d'alimentation électrique

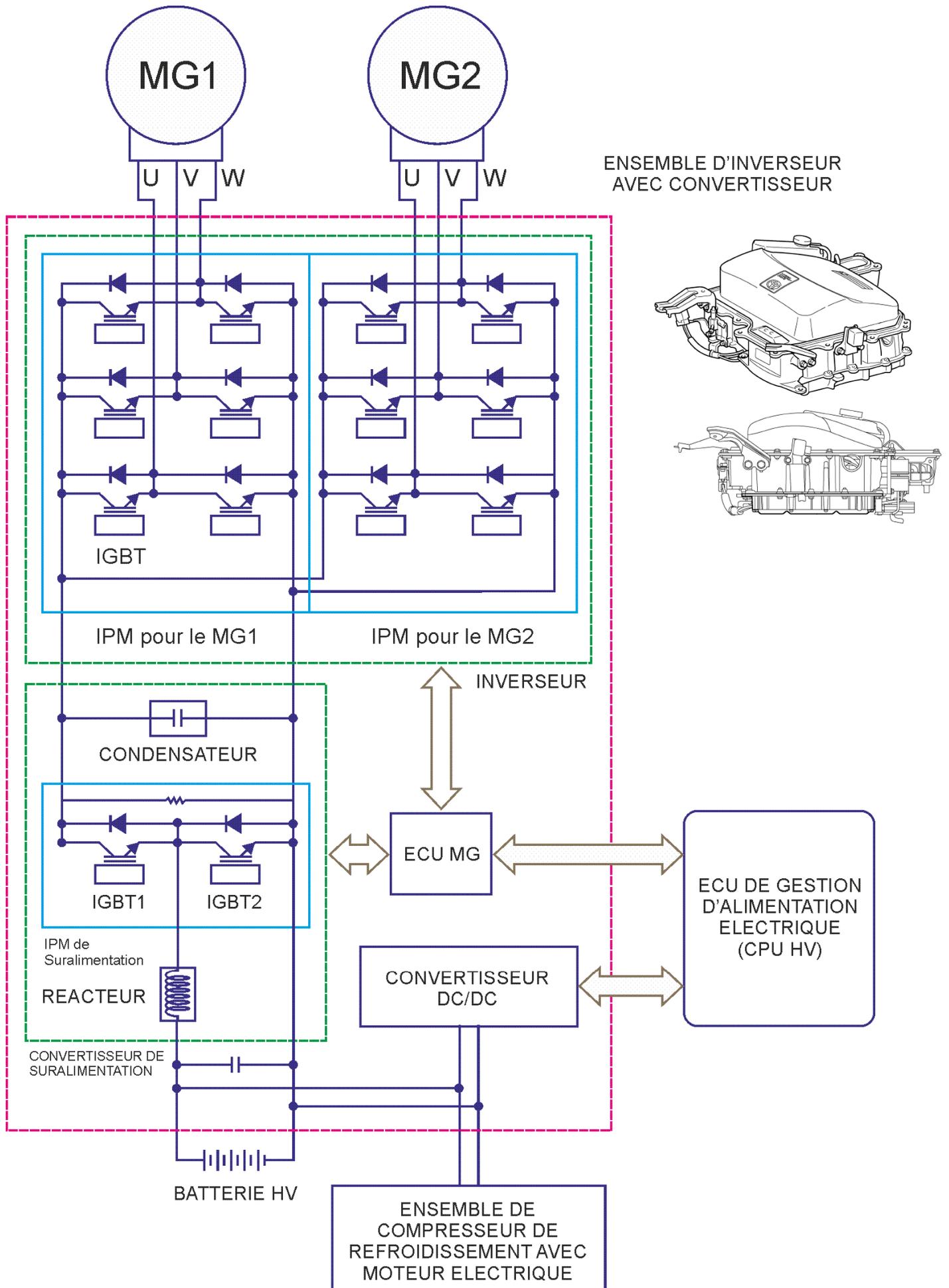
Conformément aux signaux fournis par l'unité de commande électronique ECU HV, le variateur convertit le courant continu provenant de la batterie HV en courant alternatif pour le MG1 et le MG2 ou vice versa.



En outre, le variateur fournit le courant alternatif provenant de l'alimentation MG1 au courant alternatif de MG2. L'unité de commande électronique ECU HV transmet le signal au transistor d'alimentation interne au variateur à des fins de commutation de phase U, V, W de MG1, MG2 de manière à exciter MG1 et MG2.

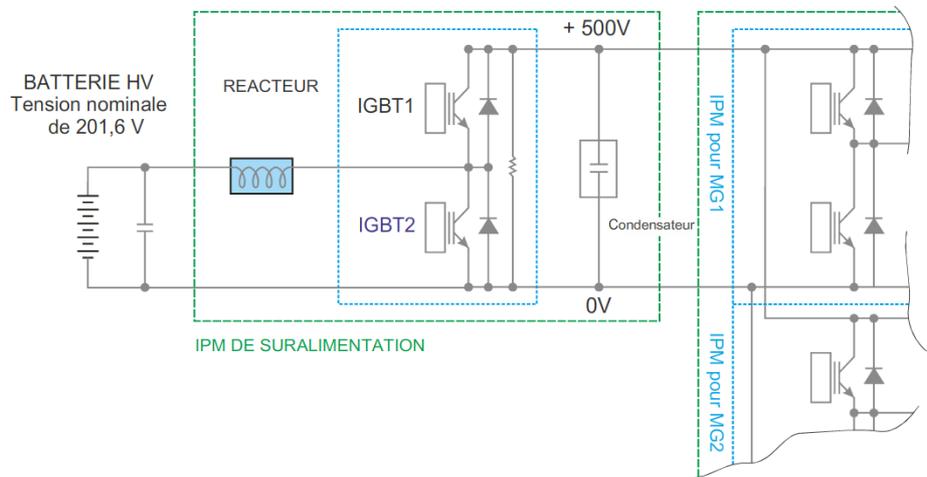
Commande de convertisseur :

Fait chuter la tension nominale continue de 201,6 V en tension continue de 12 V afin de fournir de l'électricité aux organes de l'équipement électrique de carrosserie, ainsi que pour recharger la batterie auxiliaire (tension de 12 V).



Etude du convertisseur survolteur :

Schéma interne du survolteur



Son rôle est double, il doit :

- Augmenter la tension nominale continue de 201,6 V (pour la batterie HV) jusqu'à une tension maximum continue de 500 V.
- Abaisser la tension générée par MG1 et MG2 et convertie par le variateur (500V), jusqu'à une tension continue de 201,6 V (pour la batterie HV).

Le réacteur est une bobine (utilisation des effets de self d'une bobine).

Fonctionnement du survolteur

En mode Moteur.

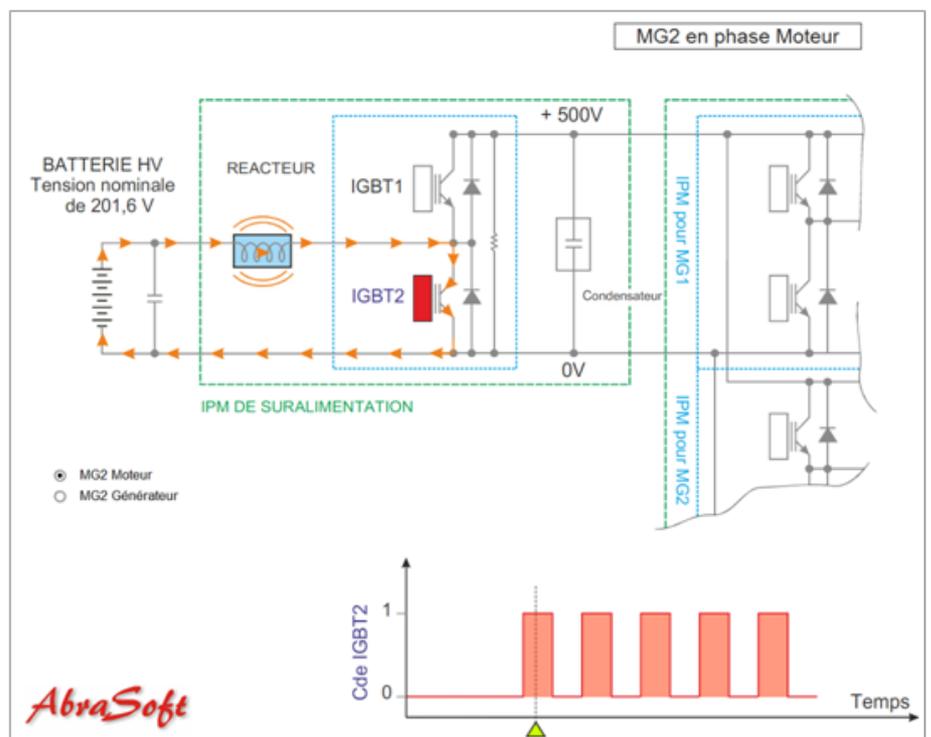
L'unité de commande électronique ECU HV, commande le transistor IGBT2 à fréquence variable et à rapport cyclique variable.

L'objectif est de faire passer la tension issue de la batterie (201,6V) à l'entrée du survolteur à 500V maxi en sortie.

Phase de charge du réacteur :

A cet instant de la commande, l'ECU commande l'IGBT2 qui devient "passant".

La bobine se "charge".

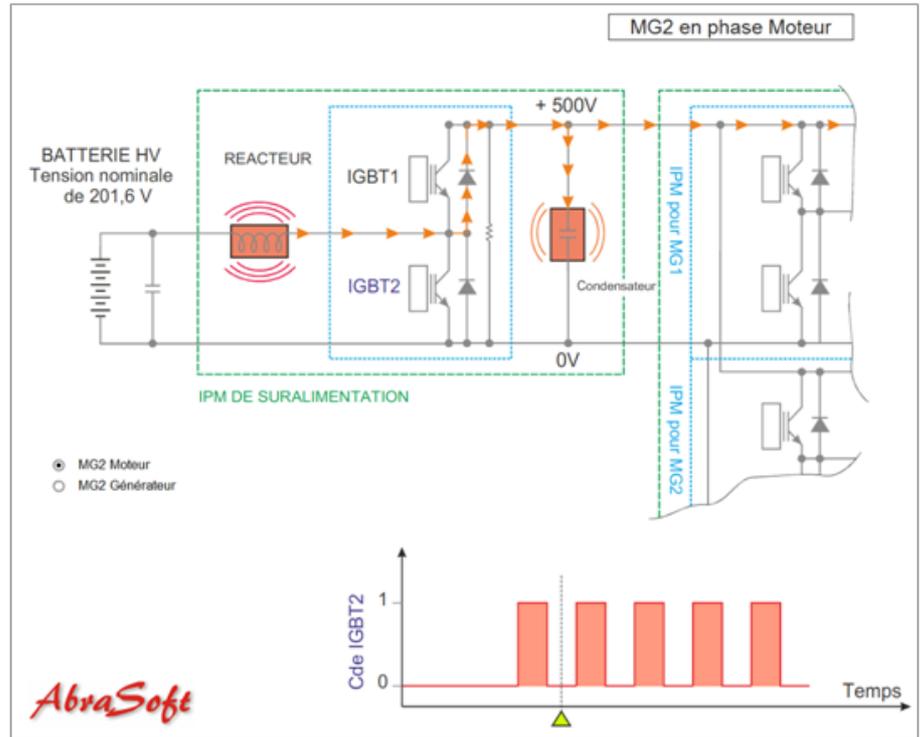


Phase de décharge du réacteur :

A cet instant de la commande, l'ECU arrête de commander l'IGBT2 qui devient "bloqué".

La f.e.m induite lors de la coupure du circuit, est de l'ordre de 500V.

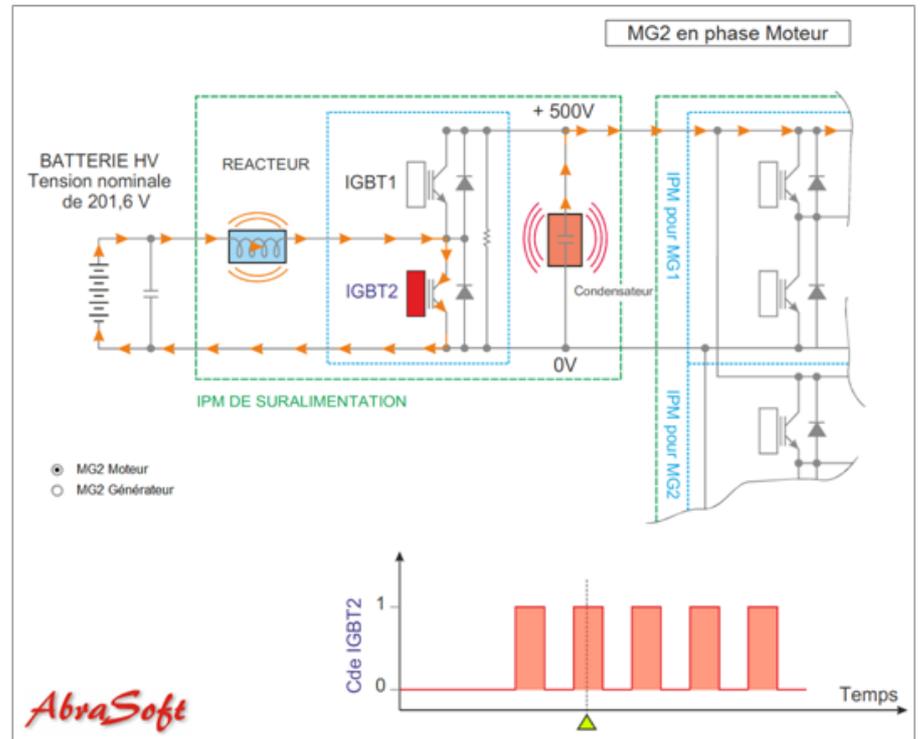
Un condensateur en parallèle "lisse" la tension induite en sortie du survolteur.



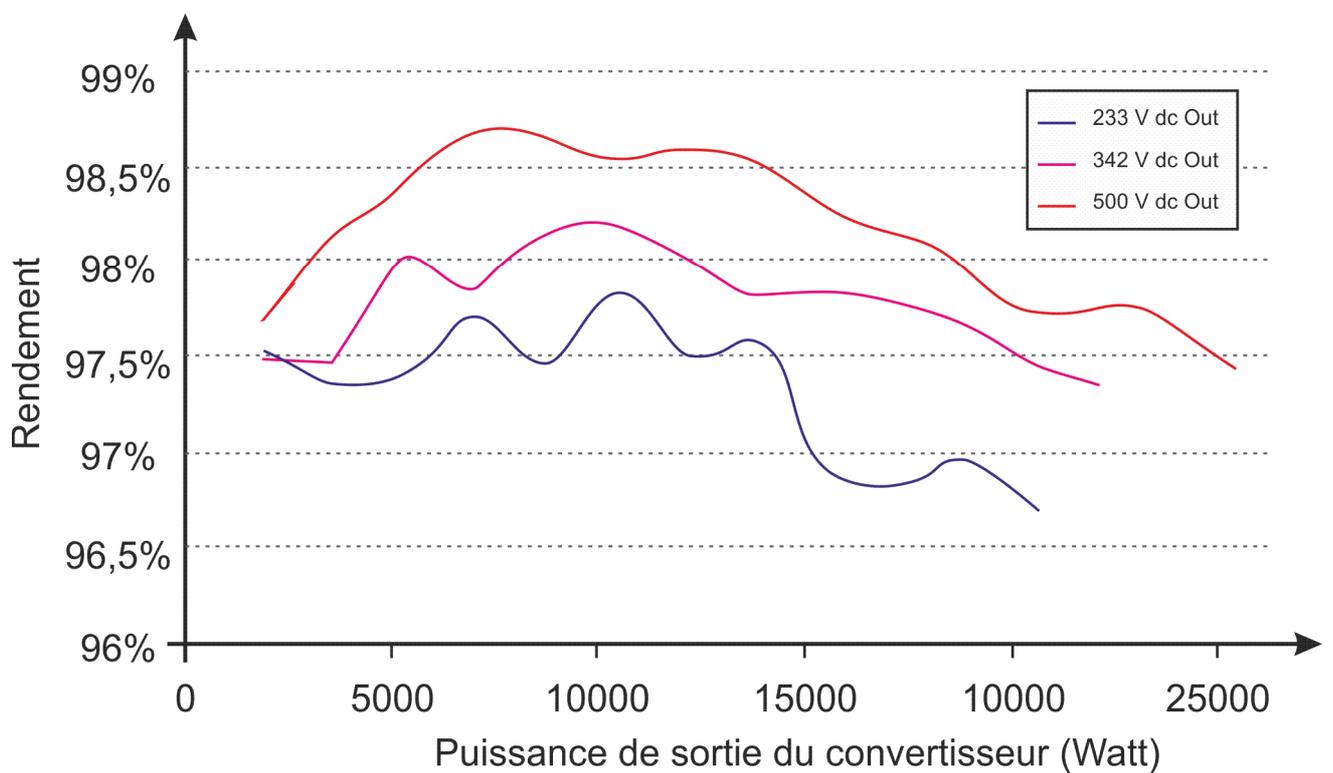
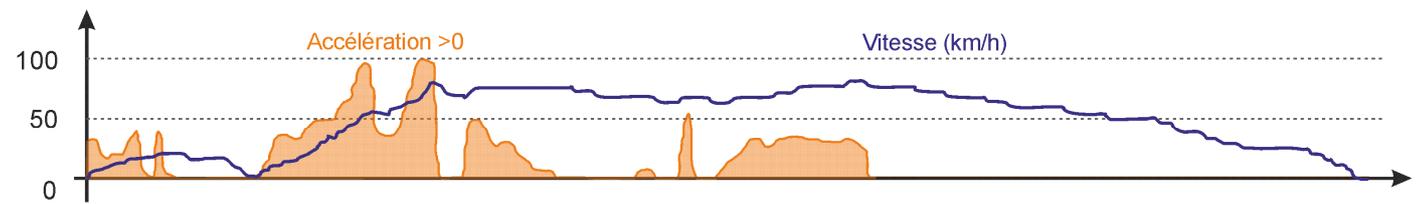
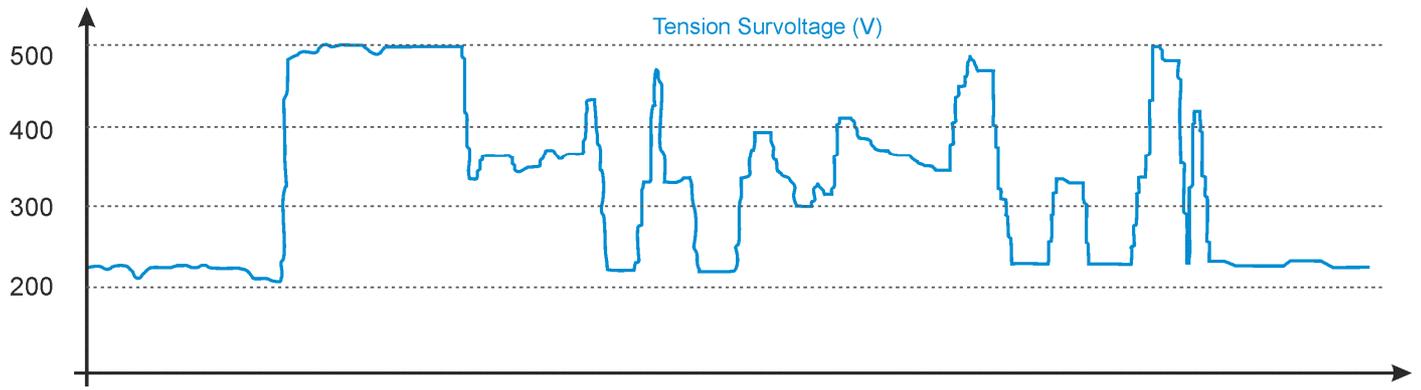
Phase de lissage du condensateur :

A cet instant de la commande, l'ECU commande l'IGBT2 qui devient "passant".

La bobine se "charge " à nouveau et le condensateur se "décharge" en sortie du survolteur.



 En faisant varier la fréquence et le rapport cyclique de pilotage du transistor IGBT2, l'ECU HV est capable de moduler la tension de sortie du survolteur de 201,6V à 500V maxi. Cela revient à dire que l'alimentation des moteurs/générateurs MG1 et MG2, pourra varier de 201,6V à 500V maxi.



En mode Générateur.

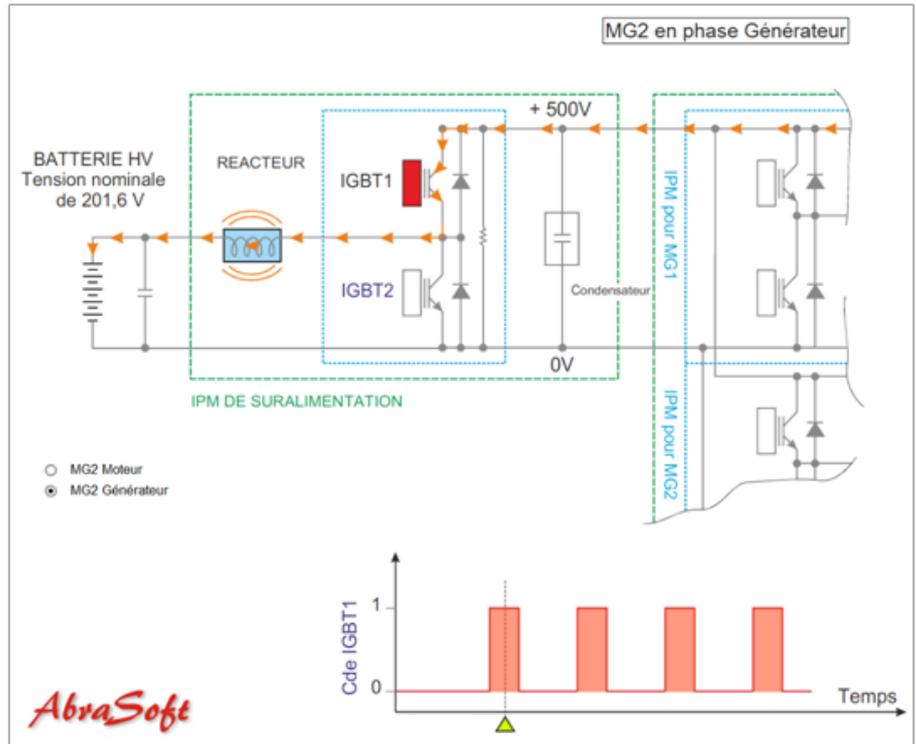
L'unité de commande électronique ECU HV, commande le transistor IGBT1 à fréquence variable et à rapport cyclique variable.

L'objectif est de faire passer la tension issue des moteurs/générateurs MG1 et MG2 (500V maxi) à l'entrée du survolteur à 201,6V en sortie (tension batterie).

Phase de charge du réacteur :

A cet instant de la commande, l'ECU commande l'IGBT1 qui devient "passant".

La bobine se "charge " à nouveau et le condensateur se "décharge" en sortie du survolteur.

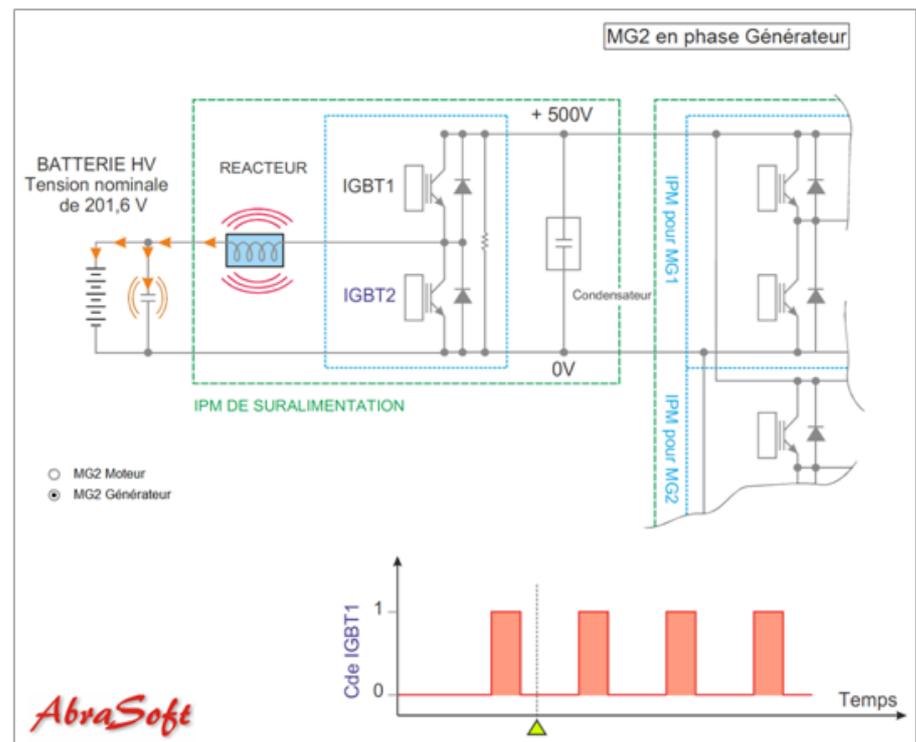


Phase de lissage du condensateur :

A cet instant de la commande, l'ECU arrête de commander l'IGBT1 qui devient "bloqué".

La f.e.m induite lors de la coupure du circuit, se dissipe au travers du condensateur.

Ce condensateur monté en parallèle "lisse" la tension à l'entrée de la batterie.



En faisant varier la fréquence et le rapport cyclique de pilotage du transistor IGBT1, l'ECU HV est capable de moduler la "charge" appliquée au génératrices.

Le couple résistant appliqué à MG2 en phase de régénération est donc contrôlé par la commande d' IGBT1 par l'ECU HV.

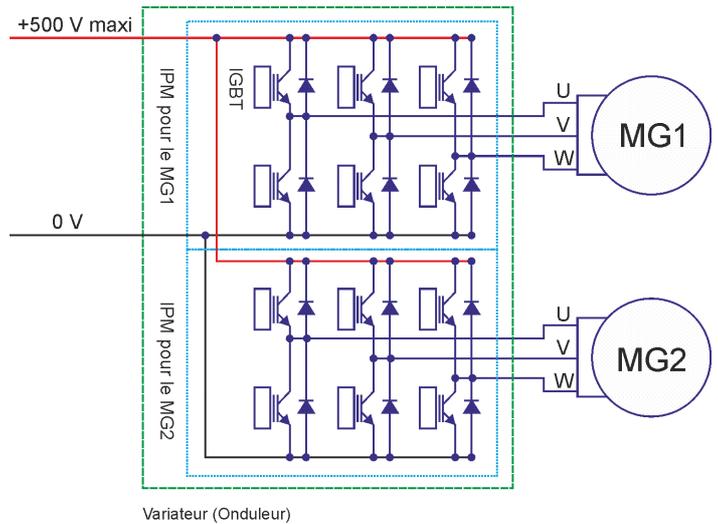
Etude de l'onduleur :

Schéma interne de l'onduleur

Son rôle est double, il doit :

- Alimenter les phases U, V et W des moteurs MG1 et MG2.
- Redresser la tension générée par MG1 ou MG2 afin de la rendre continue.

Le pilotage des IGBT se fait par MLI (Modulation de Longueur d'Impulsions) afin de générer des signaux de commande U, V et W sinusoïdaux.



 La fréquence des signaux générés définira le régime de rotation de MG1 ou MG2. L'amplitude des signaux définira l'intensité, donc le couple de MG1 et MG2.

Fonctionnement de l'onduleur

En mode Moteur et marche AV.

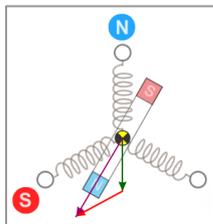
L'unité de commande électronique ECU MG, commande les transistors IGBT en MLI afin de générer des signaux sinusoïdaux de commande des bobines U, V et W des moteurs MG1 et MG2. La commande s'effectue dans l'ordre U, V et W.

Pour contrôler le régime de rotation des moteurs MG1 et MG2, le système module la fréquence des signaux de commande.

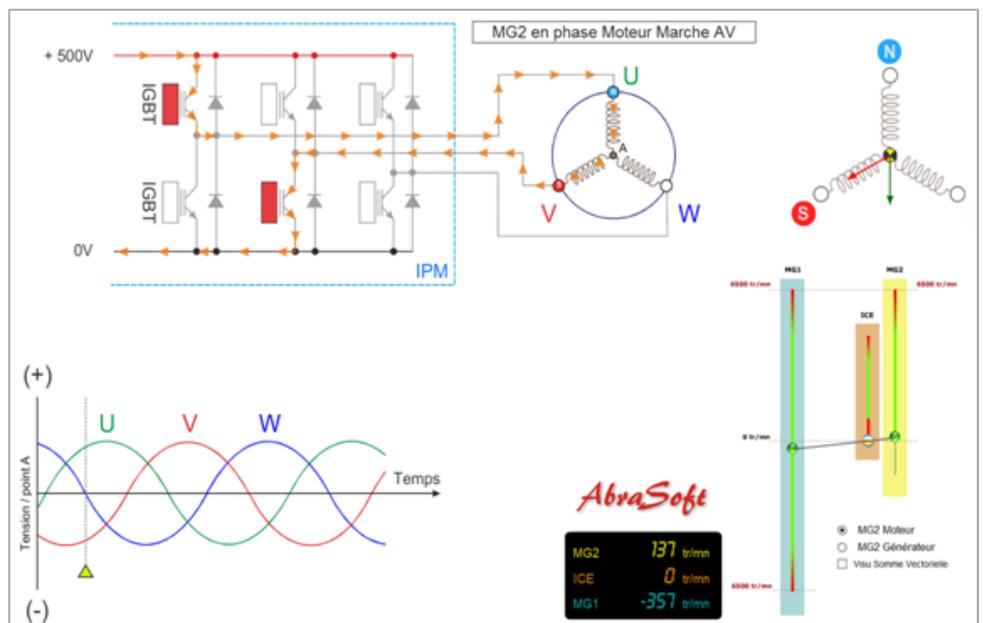
Pour contrôler le couple des moteurs MG1 et MG2, le système module l'amplitude des signaux U, V et W en agissant sur deux paramètres :

- Modifiant le MLI de pilotage des IGBT
- Modifiant la tension d'alimentation du variateur à l'aide du survolteur de tension batterie.

Phase commande de U et -V :

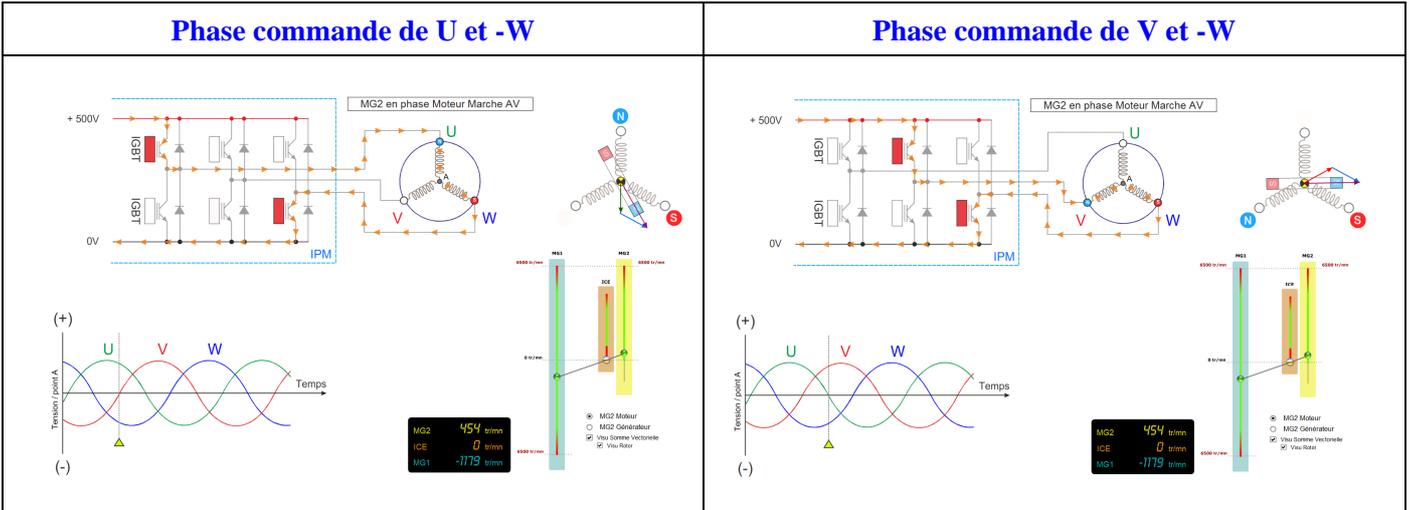


Le rotor vient toujours s'aligner sur le "champ tournant" représenté par la flèche violette du schéma ci dessus.



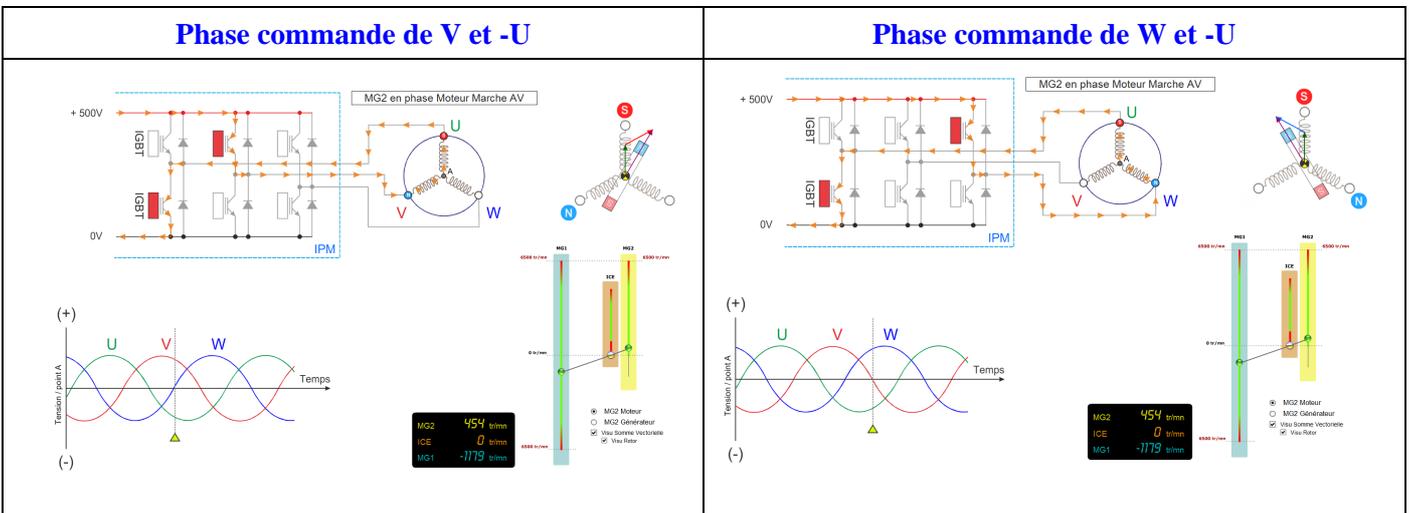
Phase commande de U et -W

Phase commande de V et -W



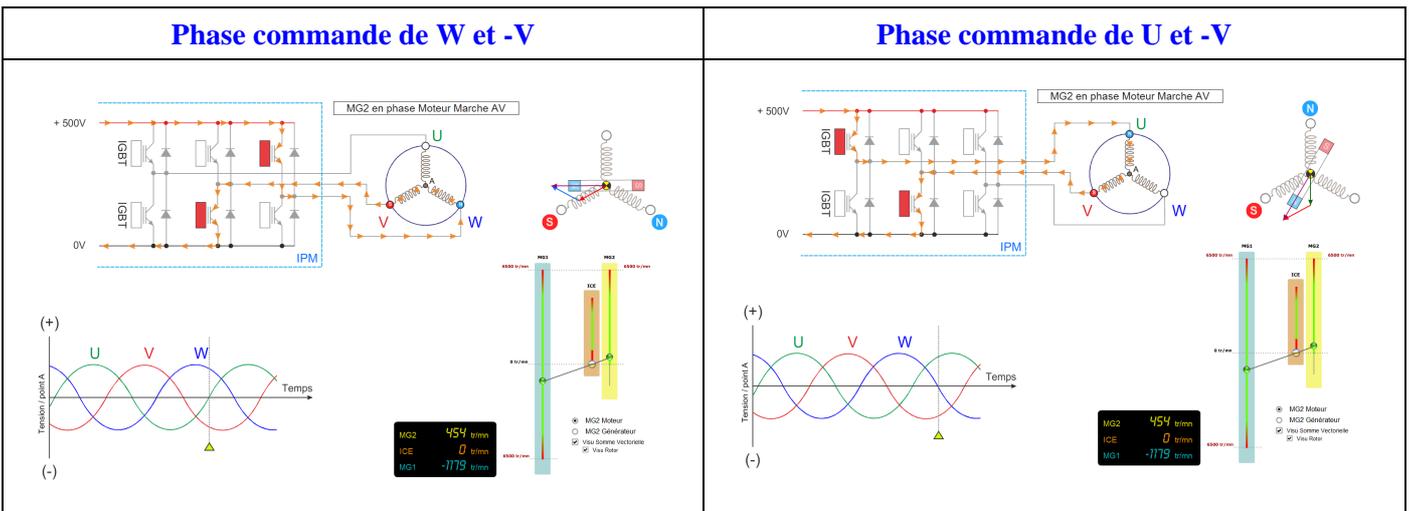
Phase commande de V et -U

Phase commande de W et -U

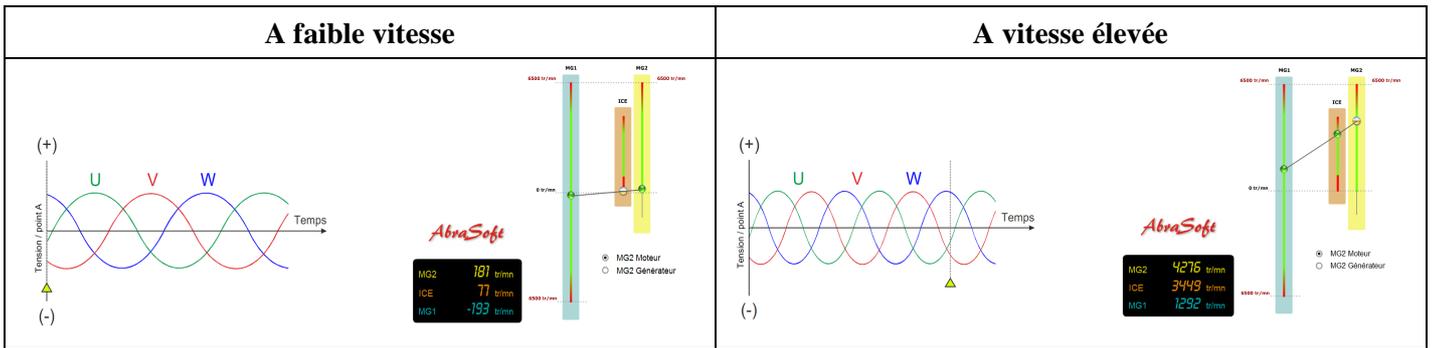


Phase commande de W et -V

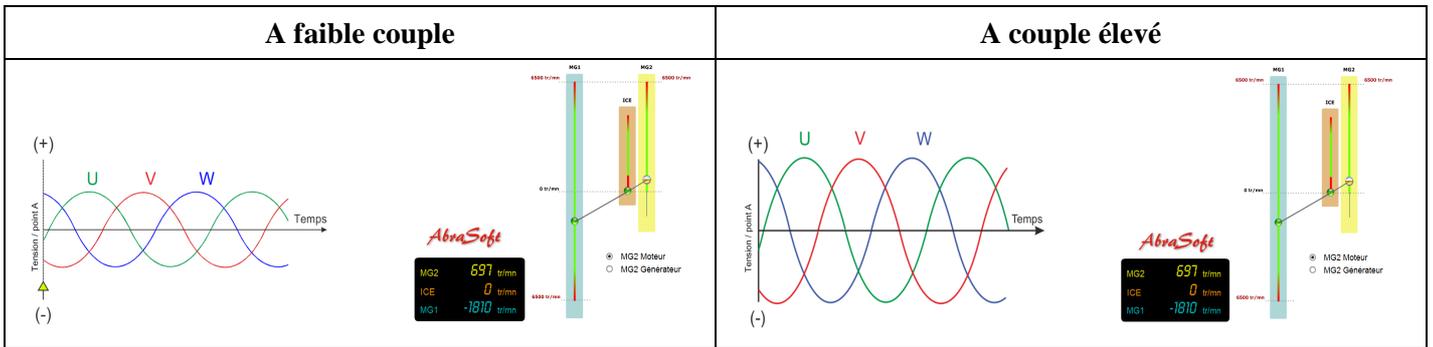
Phase commande de U et -V



Pour différentes vitesses MG2, variation de la fréquence :

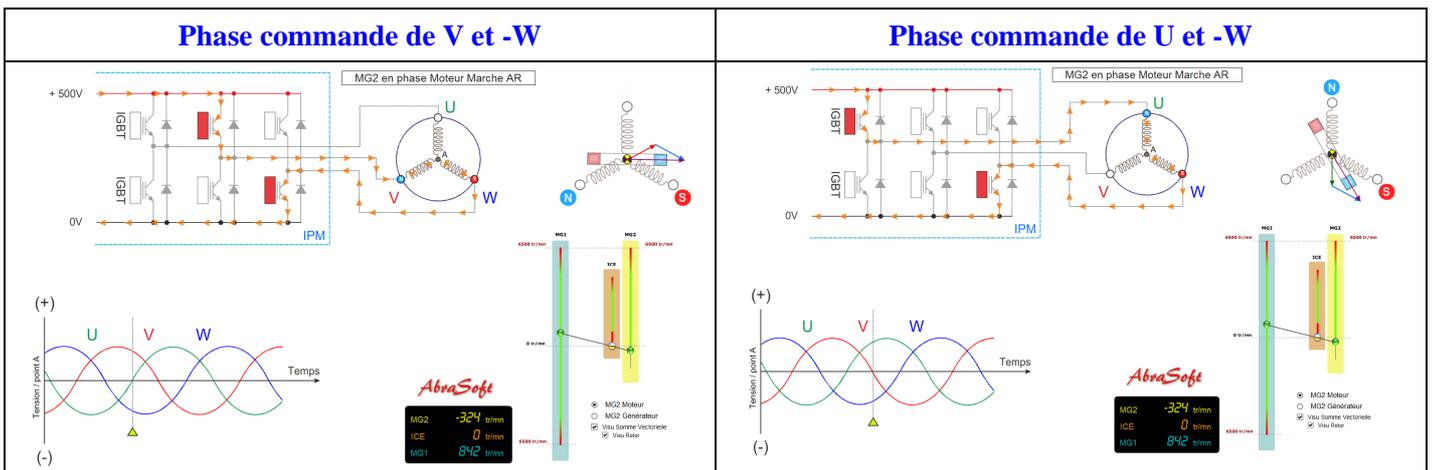
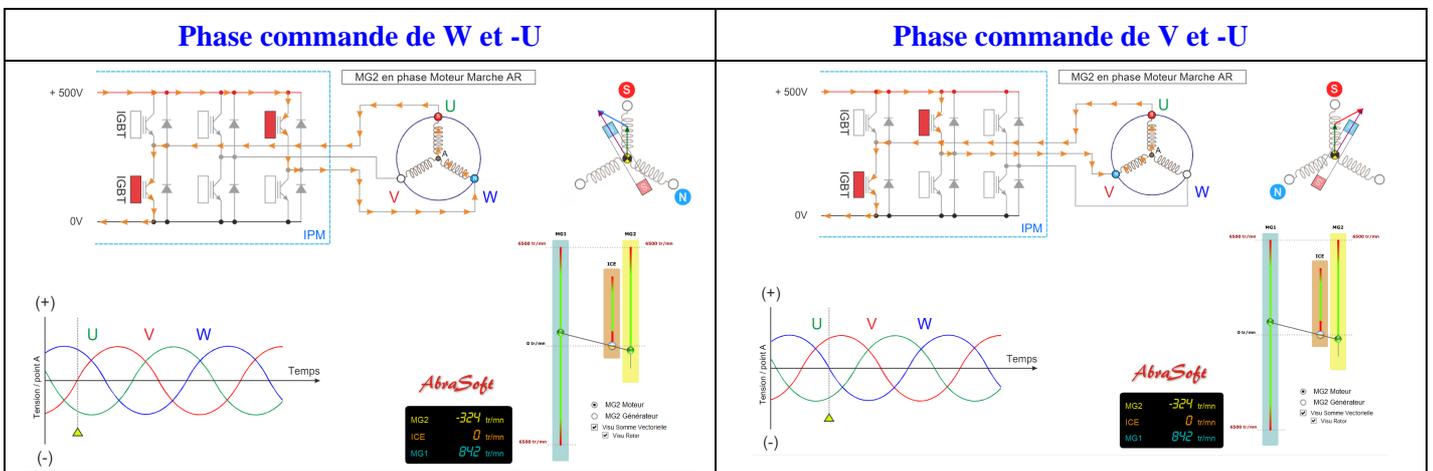


Pour différents couples MG2, variation de l'amplitude :



En mode Moteur et marche AR.

La commande s'effectue dans l'ordre U, W et V.



Différentes zones de gestion du MIL.

La stratégie de modulation mise en place dans le THSII de Toyota se base sur la plage de vitesse de la machine et le niveau de tension du bus continu du variateur.

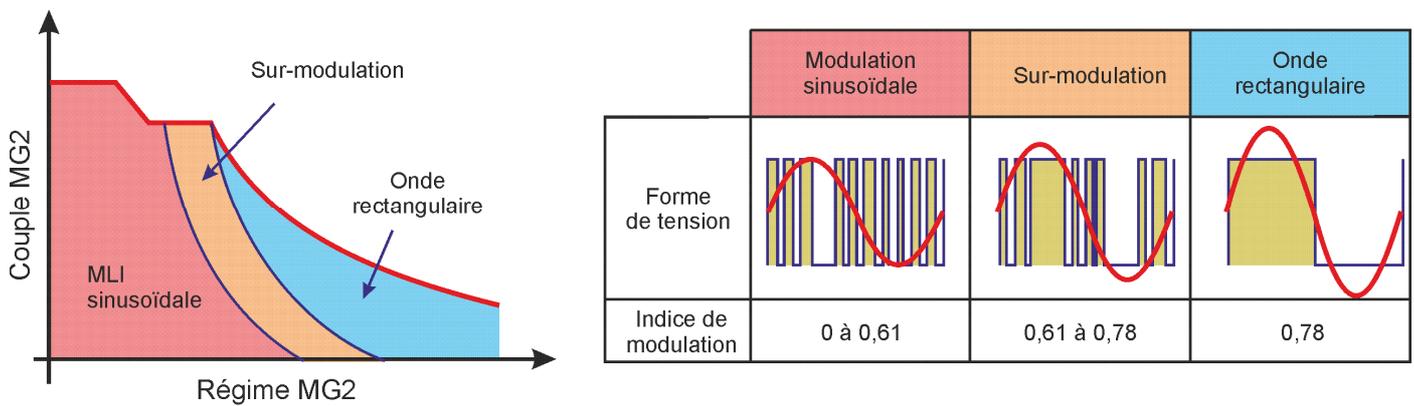
En basse vitesse, la tension du bus continu de l'onduleur est contrôlée par le survolteur à 300V.

Pendant cette phase de fonctionnement (basse fréquence), la modulation MLI est utilisée afin de garantir une meilleure qualité des signaux électriques (courants/tensions).

Dans la deuxième zone de fonctionnement, la tension du bus continu passe à 500V.

Dans cette plage fréquentielle relativement élevée, le THSII utilise la surmodulation.

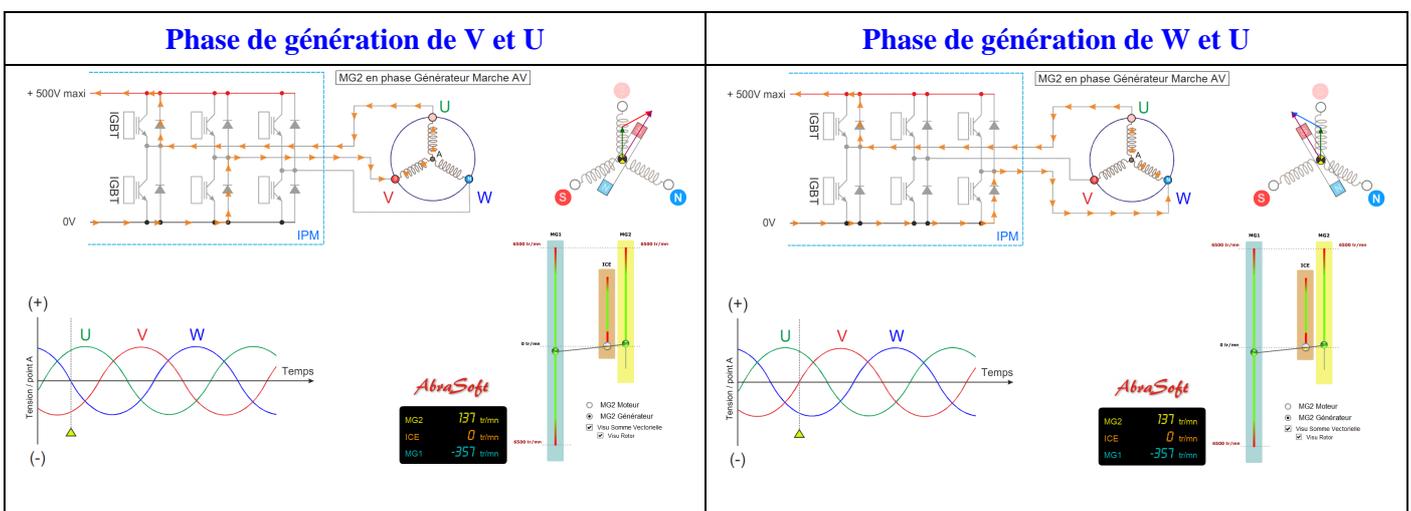
Dans la troisième plage de fonctionnement, la tension du bus continu est contrôlée à 500V. Dans cette zone, un pilotage en pleine onde permet d'optimiser le rendement et la tension maximale de l'onduleur à vitesse élevée.



En mode Générateur (marche AV).

Dans ce mode, les différents IGBT ne sont pas pilotés, le courant généré par MG2 passe au travers des diodes de redressement.

La tension ainsi redressée est envoyée vers le survolteur qui a pour tâche de ramener sa valeur à 201,6V.

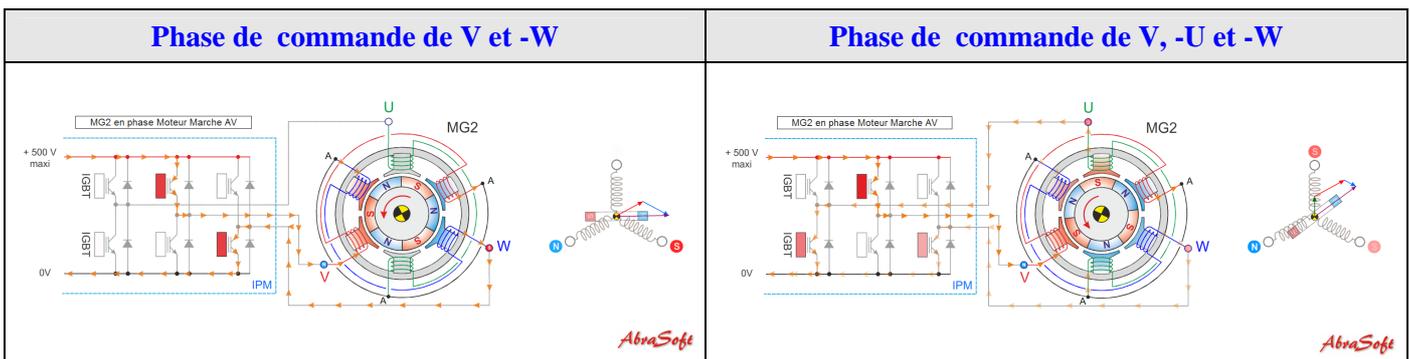
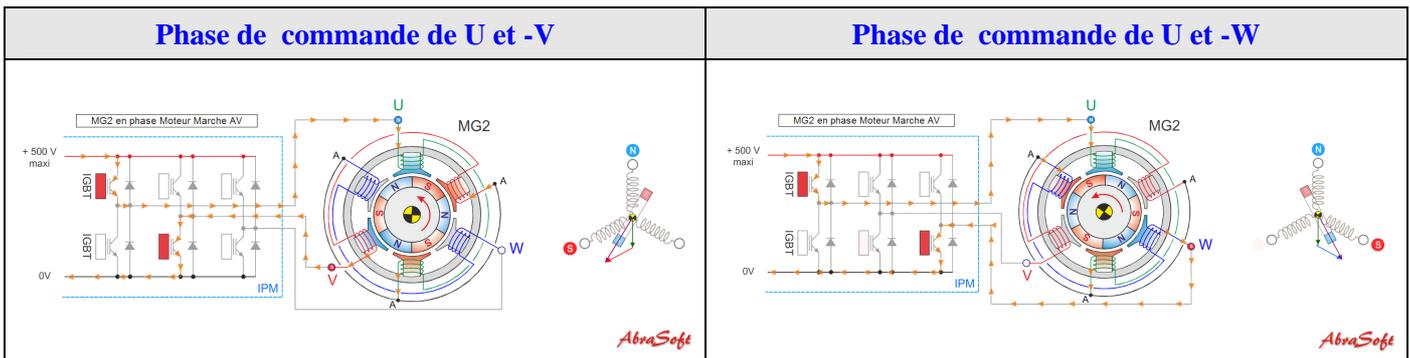
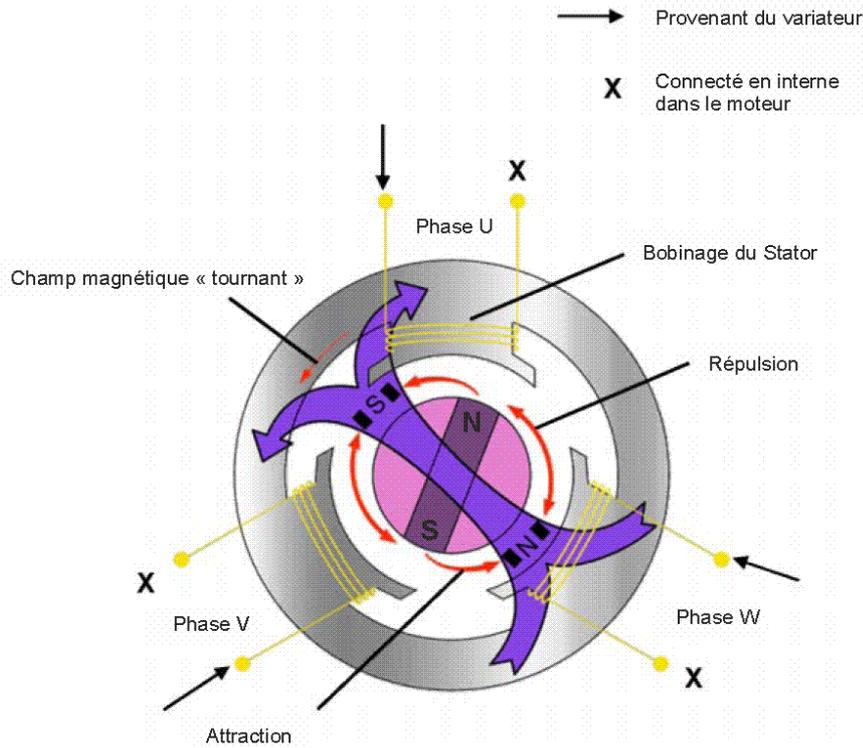


Le courant généré varie en fonction du régime de rotation de MG2 (donc de la vitesse véhicule), mais aussi du pilotage du transistor IGBT1 du survolteur.

Etude du moteur synchrone (moteur à aimant permanent) :

Lorsque du courant alternatif triphasé circule dans les enroulements triphasés de la bobine fixe, un champ magnétique tournant est engendré dans le moteur électrique. En régulant ce champ magnétique tournant en fonction de la position du rotor et de sa vitesse, les aimants permanents installés dans le rotor sont attirés par le champ magnétique tournant, ce qui a pour effet de créer un couple.

Le couple ainsi produit est proportionnel à la quantité de courant et la vitesse de rotation est régulée par la fréquence du courant alternatif.

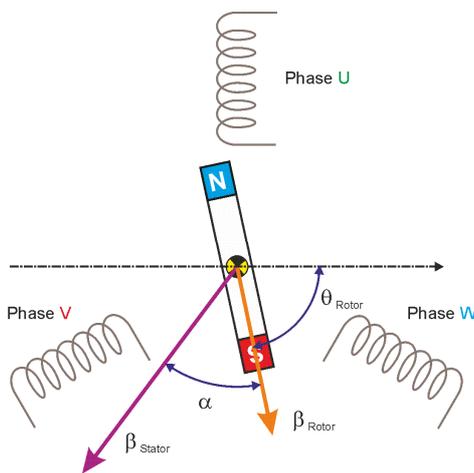


Rappels de technologie interne

Le stator se compose d'un noyau feuilleté ayant la forme d'un cylindre vide et comportant des encoches dans lesquelles sont logés les conducteurs de l'enroulement généralement triphasé. L'enroulement est toujours raccordé en étoile et le neutre est accessible. En effet, on préfère la connexion en étoile pour les raisons suivantes :

- La tension par phase étant seulement $\frac{1}{\sqrt{3}}$, ou 58 % de celle entre les lignes, on peut réduire l'épaisseur de l'isolant dans les encoches. Cela permet de grossir la section des conducteurs et, par conséquent, la puissance de la machine.
- Lorsque le moteur est en charge, la tension induite par phase se déforme de sorte que la forme d'onde n'est plus tout à fait sinusoïdale. Cette distorsion est due principalement à la présence de tensions d'harmonique qui se superposent au fondamental. Avec une connexion en étoile, les troisièmes harmoniques n'apparaissent pas entre les fils de ligne car elles s'annulent. Par contre, si l'on utilise une connexion en triangle, ces tensions s'additionnent et provoquent la circulation d'un courant dans le triangle et, par conséquent, occasionnent des pertes Joules supplémentaires.

Il est à noter que le rotor comporte autant de pôles que le stator



Le rotor, constitué d'aimants permanents, crée un champ magnétique rotorique β_{Rotor} qui suit le champ tournant statorique β_{Stator} avec un retard angulaire α lié à la charge (*plus la charge est importante, plus α est grand*).

$$\vec{C} = k.(\vec{\beta}_{Rotor} \wedge \vec{\beta}_{Stator})$$

$$C = k.\beta_{Rotor}.\beta_{Stator}.\sin(\alpha)$$

$$\text{Si } \alpha = 0 \Rightarrow C = 0$$

$$\text{Si } \alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow C = k.\beta_{Rotor}.\beta_{Stator} = C_{max}$$

$$\text{Si } \alpha > \frac{\pi}{2} \Rightarrow \text{Il y a "décrochage"}$$

Le constructeur devra maintenir constant l'angle entre le champ rotorique et le champ tournant (statorique) à une valeur de 90° .

Ceci deviendra possible, si le système de commande des bobinages du stator prend en compte la position angulaire θ du rotor.

Un capteur (codeur ou resolver) détecte la position exacte du rotor et permet au convertisseur de fréquence, de maintenir un angle α de 90° entre le champ tournant statorique β_{Stator} et le champ rotorique β_{Rotor} , de façon à ce que le couple moteur puisse toujours être maximal.

β_{Stator} , modulé en amplitude, fixe la valeur du couple. Il n'y a plus possibilité de décrochage. Le capteur donne également l'information " vitesse ".

Fonctionnement à vitesse constante : si la charge diminue, pour que la vitesse reste constante, il faut diminuer le couple moteur. Le variateur réduit donc l'amplitude du champ tournant statorique β_{Stator} , sans changer sa fréquence.

Fonctionnement à couple constant : si la consigne de vitesse diminue, le couple moteur reste constant si l'amplitude du champ tournant statorique reste constante. Le variateur réduit la fréquence de β_{Stator} , en conservant son amplitude.

Pour une phase, on notera P1 la puissance absorbée et C1 le couple « produit par cette phase », le couple sur l 'arbre vaut $C = q C1$ où q est le nombre de phases.

$$P_1 = U.I.\sqrt{3}.\cos(\varphi) = C_1.\omega + R.I^2 \Rightarrow C_1 = \frac{U.I.\sqrt{3}.\cos(\varphi) - R.I^2}{\omega}$$

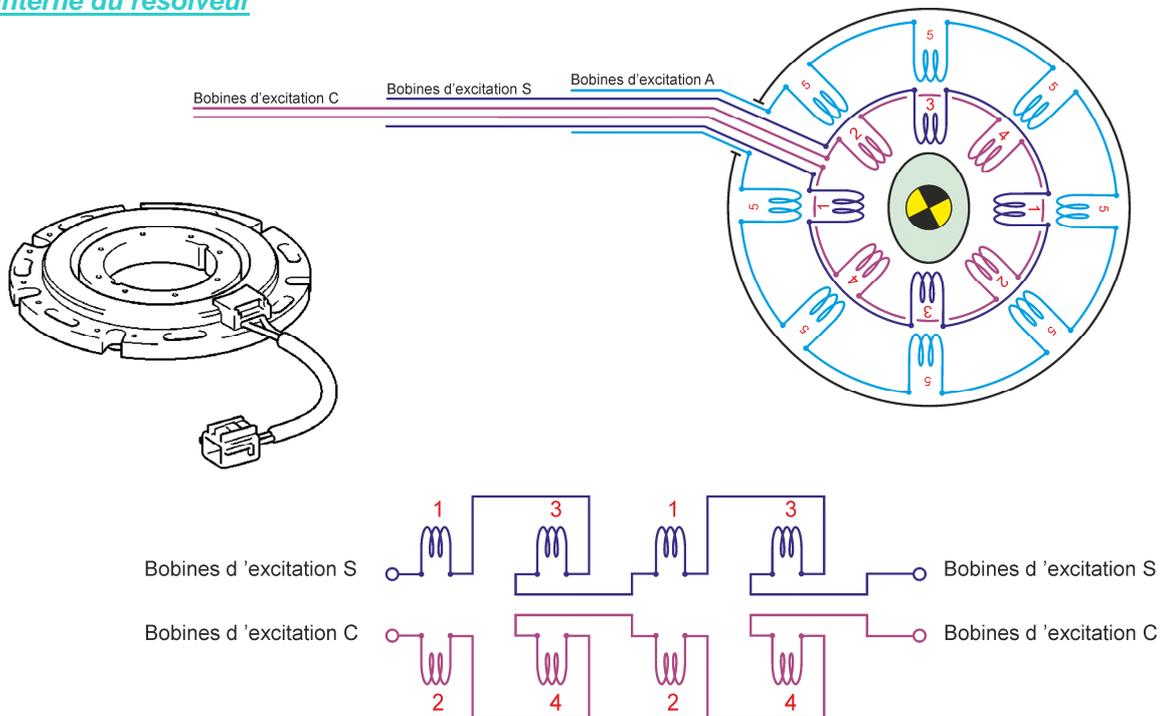
d'ou l'expression du couple moteur : $C_{moteur} = q.\left(\frac{U.I.\sqrt{3}.\cos(\varphi) - R.I^2}{\omega}\right)$



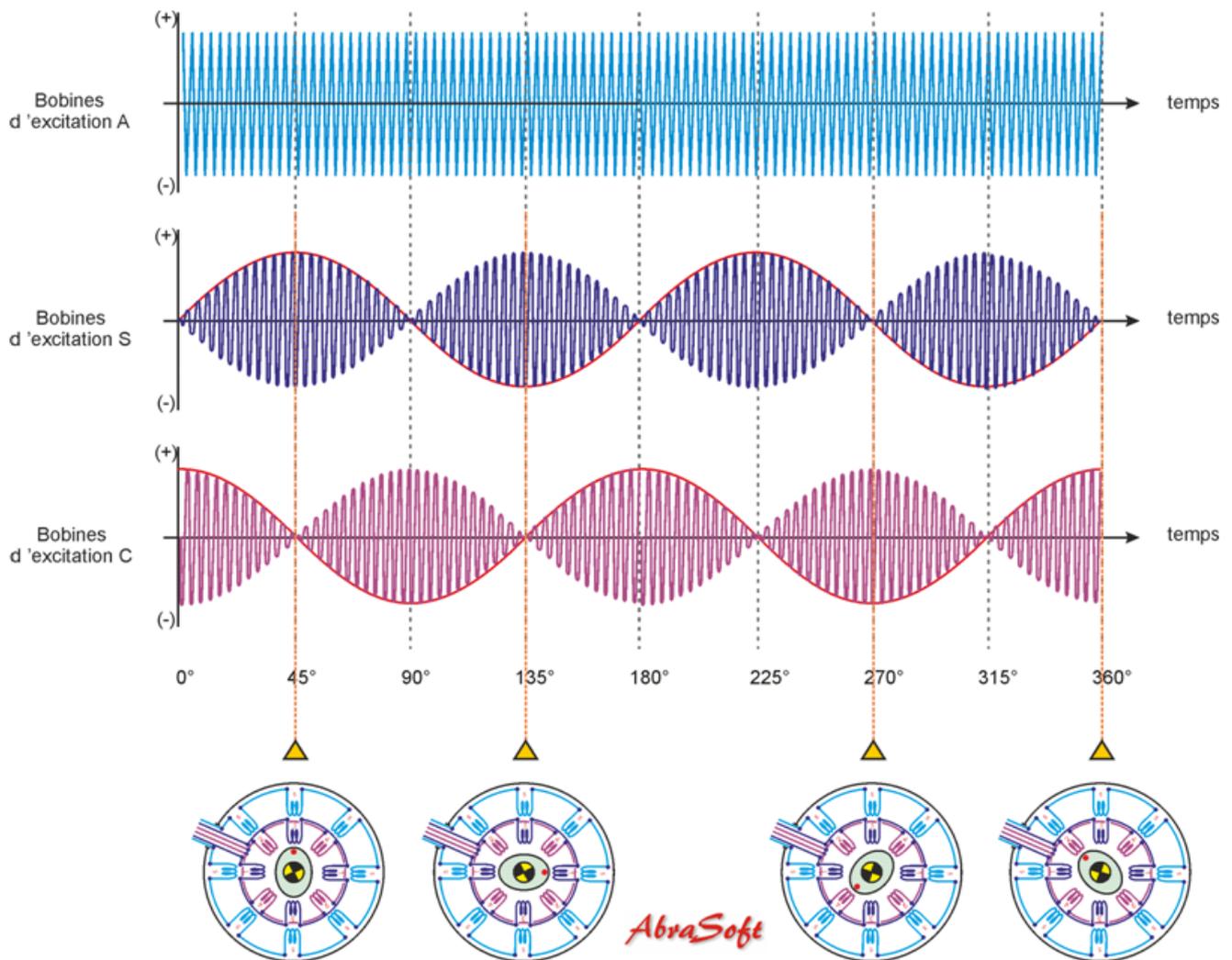
Le constructeur a intérêt à élever le plus possible la tension d'alimentation U des phases, ce qui permet de diminuer l'intensité I consommée, donc de diminuer les pertes joules ($R.I^2$), tout en obtenant le couple moteur souhaité.

Etude du résolveur (capteur d'angle rotor) :

Schéma interne du résolveur



Fonctionnement du résolveur



Il s'agit ici d'un capteur extrêmement fiable et compact capable de détecter avec précision la position du pôle magnétique qui est indispensable pour assurer un contrôle efficace de MG1 et MG2.

La bobine fixe du capteur renferme 3 enroulements comme représenté sur la figure de la page précédente et les enroulements de sortie S et C sont électriquement disposés à 90 degrés.

Étant donné que la bobine tournante solidaire du rotor est ovale, la distance de l'écart entre la bobine fixe et la bobine tournante varie avec la rotation de la bobine tournante. Ainsi, en faisant circuler du courant alternatif dans l'enroulement A, un courant de sortie correspondant à la position de la bobine tournante du capteur est produit dans les enroulements B et C.

Les signaux S et C sont de la forme :

$$\left. \begin{aligned} S &= K.A.\sin(\omega.t).\sin(\theta) \\ C &= K.A.\sin(\omega.t).\cos(\theta) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{S}{C} = \cos \frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta)} = \text{tg}(\theta) \quad \text{d'ou} \quad \theta = \text{Arctg}\left(\frac{S}{C}\right)$$

La position absolue est détectée en divisant le signal S par le signal C et en appliquant la fonction Arc tangente au résultat obtenu.

En outre, la fréquence du signal S est calculée par l'unité de commande électronique ECU HV, ce qui permet à ce capteur d'être utilisé comme capteur de vitesse de rotation.

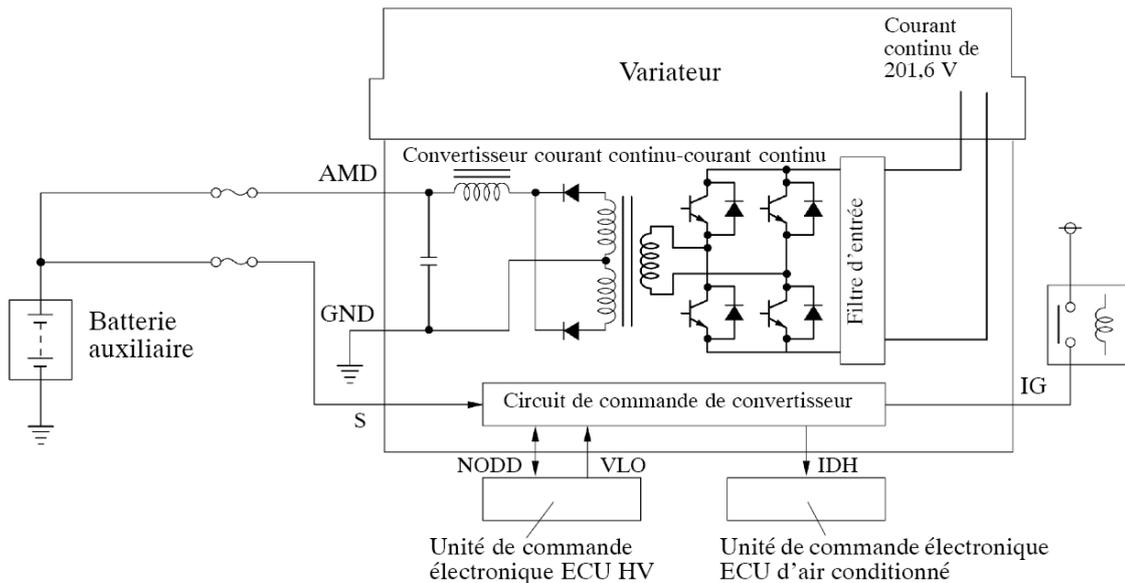
La connaissance très précise de la position angulaire du rotor, permet au système de commander les phases U, V et W de façon à toujours avoir un déphasage de flux stator et rotor de 90°. Le moteur synchrone ne "décroche" jamais et la régulation permet d'avoir le rendement maxi du moteur (couple maxi).

Convertisseur CC-CC

La source d'alimentation électrique de l'équipement auxiliaire du véhicule tel que les dispositifs d'éclairage, le système audio d'automobile et le système d'air conditionné (à l'exception du compresseur d'air conditionné), ainsi que les unités de commande électronique ECU, est basée sur un système à courant continu de 12 V.

Etant donné que le générateur électrique THS-II délivre une tension nominale de 201,6 V, on utilise un convertisseur pour transformer la tension continue de 201,6 V en tension continue de 12 V afin de recharger la batterie auxiliaire.

Le convertisseur est installé sur le variateur.

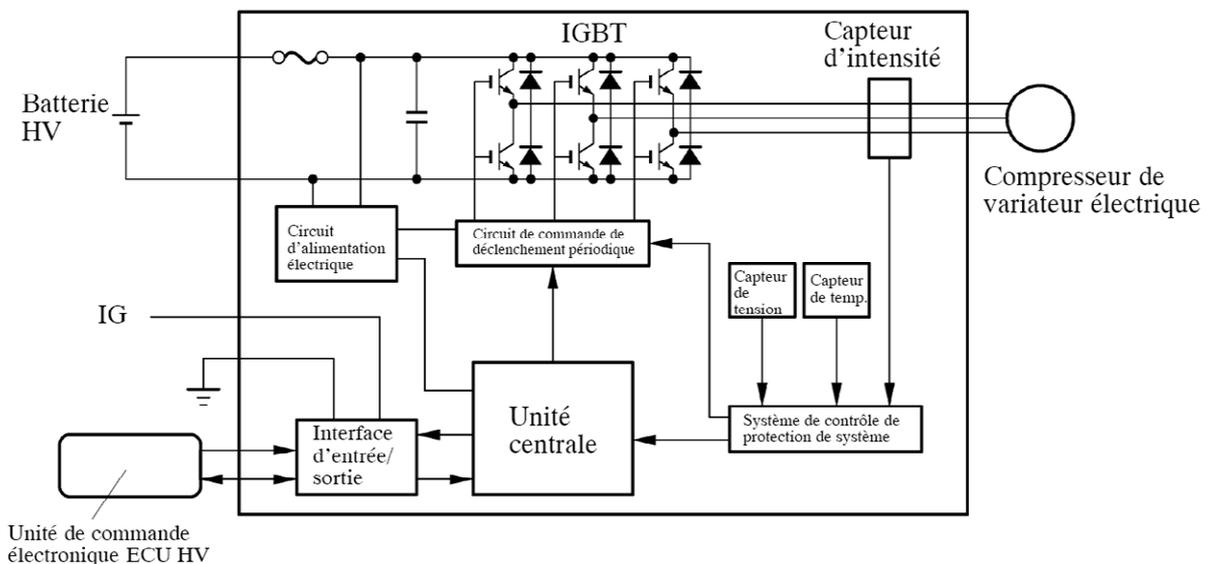


Convertisseur DC-DC

Un variateur à courant alternatif, fournissant le courant d'alimentation au compresseur de climatisation, a été inclus dans l'ensemble de variateur.

Le variateur convertit la tension nominale continue de 201,6 V de la batterie HV en tension alternative de 201,6 V et fournit le courant d'alimentation permettant d'actionner le compresseur de climatisation.

La compresseur est du type cylindrée fixe. La gestion de son débit, donc de son régime de rotation est fonction de la fréquence des signaux sinusoïdaux générés par le variateur.



Commande de surveillance de système

L'unité de commande électronique ECU de batterie surveille constamment le SOC (State of Charge – état de charge) de la batterie HV et transmet le SOC à l'unité de commande électronique ECU HV. Lorsque le SOC est inférieur au niveau inférieur, l'unité de commande électronique ECU HV augmente la puissance de sortie du moteur pour actionner MG1, qui charge la batterie HV. Lorsque le moteur est arrêté, MG1 est actionné pour démarrer le moteur, puis le moteur actionne MG1 pour charger la batterie HV.

Si le SOC est faible ou si la température de la batterie HV, MG1 ou MG2 est supérieure à la valeur spécifiée, l'unité de commande électronique ECU HV limite la force motrice appliquée aux roues motrices jusqu'à ce qu'elle soit ramenée sur sa valeur normale.

Un capteur de température incorporé à MG2 détecte directement la température de MG2. L'unité de commande électronique ECU HV calcule la température de MG1.

Commande de traction de moteur

Si une des roues motrices patine alors que le véhicule est conduit sur une chaussée glissante, MG2 (accouplé directement aux roues) patinera excessivement, ceci obligeant la vitesse rotationnelle relative du train planétaire épicycloïdal à augmenter.

Ces conditions pourraient endommager les pièces internes du train planétaire épicycloïdal.

Dans certains cas, ces conditions peuvent obliger MG1 à produire une quantité excessive d'électricité.

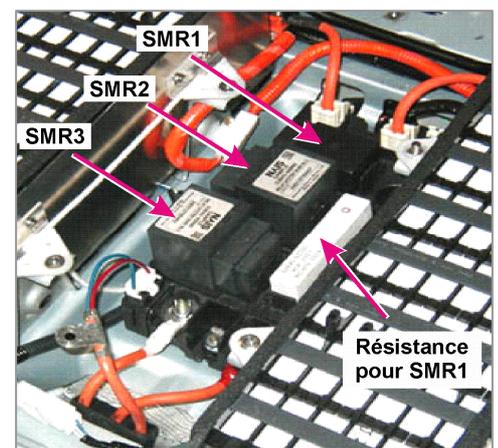
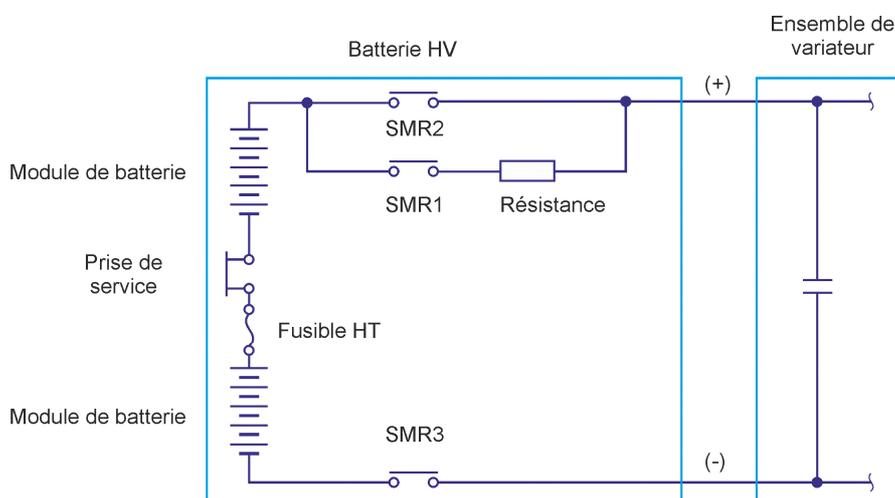
C'est la raison pour laquelle, si l'unité de commande électronique ECU HV détermine que MG2 patine excessivement après le contrôle d'un changement soudain des vitesses de rotation au moyen des signaux de capteur de vitesse, l'unité de commande électronique ECU HV applique la force de freinage pour supprimer la rotation de manière à protéger le train épicycloïdal.

Commande SMR

Généralités

Le SMR est un relais connectant et déconnectant la source d'alimentation du circuit haute tension après réception d'une instruction provenant de l'unité de commande électronique ECU HV.

Au total, 3 relais sont installés pour assurer les opérations appropriées, un pour le pôle négatif et deux pour le pôle positif.



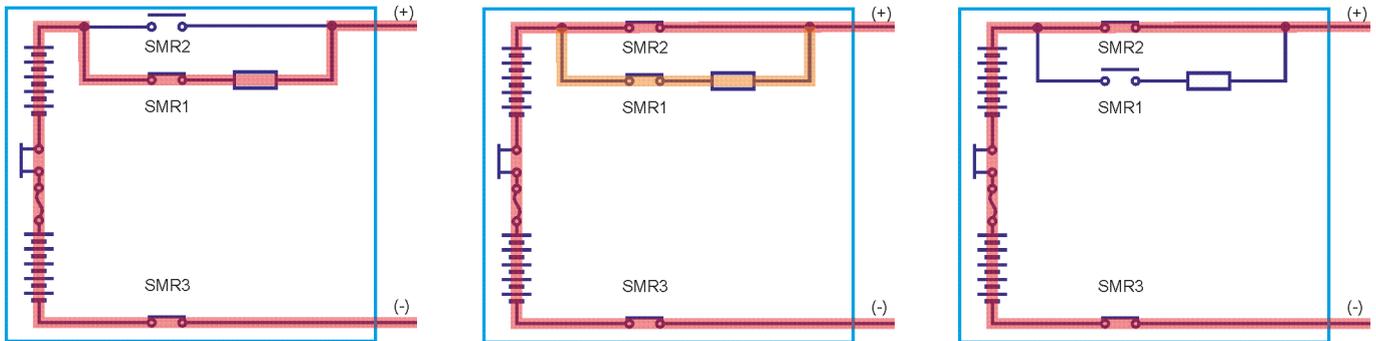
A l'application du courant d'alimentation

Au moment de la connexion du circuit, SMR1 et SMR3 sont excités; ensuite, SMR2 est excité à son tour tandis que SMR1 est mis au repos.

La fermeture du relais de charge SMR1 crée un pic de tension (arc électrique).

Le circuit de charge permet d'absorber ce pic via une résistance de charge.

La présence du relais et de sa résistance de charge, permettent d'éviter un charbonnage du contact du relais principal SMR2.

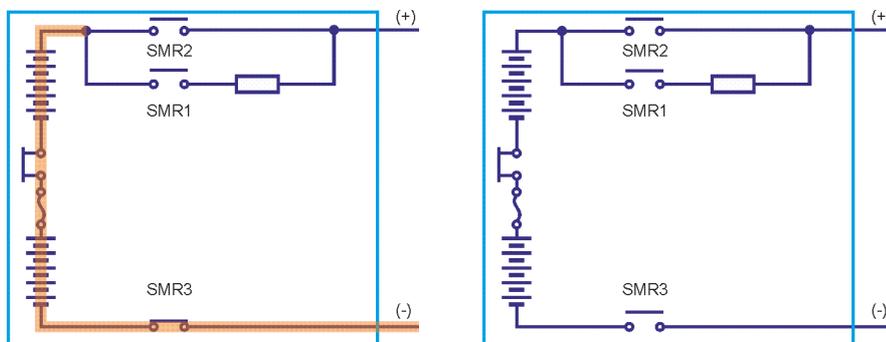


A la coupure du courant d'alimentation

Au moment de la déconnexion, SMR2 et SMR3 sont mis au repos dans cet ordre.

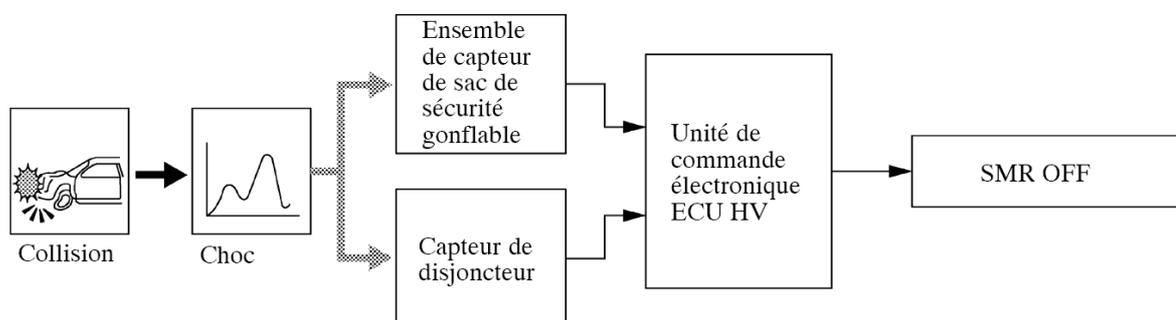
Ensuite, l'unité de commande électronique ECU HV vérifie que les relais respectifs ont bien été mis au repos.

Par conséquent, l'unité de commande électronique ECU HV est capable de déterminer si SMR2 est défaillant.



Commande pendant une collision

Pendant une collision, si l'unité de commande électronique ECU HV reçoit un signal de déploiement d'airbag ou un signal de déclenchement à partir du capteur de disjoncteur localisé dans le variateur, elle arrête l'ensemble de l'alimentation électrique en commutateur le relais SMR (System Main Relay – relais principal de système) en mode de sécurité.



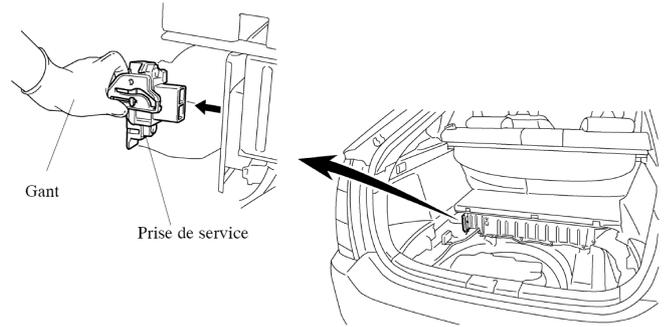
Prise de service

En débranchant la prise de service avant d’effectuer des travaux d’inspection ou d’entretien, le circuit haute tension est coupé à une position intermédiaire de la batterie HV, ce qui constitue une disposition permettant de travailler en toute sécurité pendant les travaux d’entretien.

L’ensemble de la prise de service renferme un commutateur à lame servant de moyen de couplage.

Le relevage du verrouillage met le commutateur à lame au repos, ce qui a pour effet d’arrêter le SMR. Cependant, pour que la sécurité soit totale, il convient de tourner la clé de contact en position OFF avant de débrancher la prise de service.

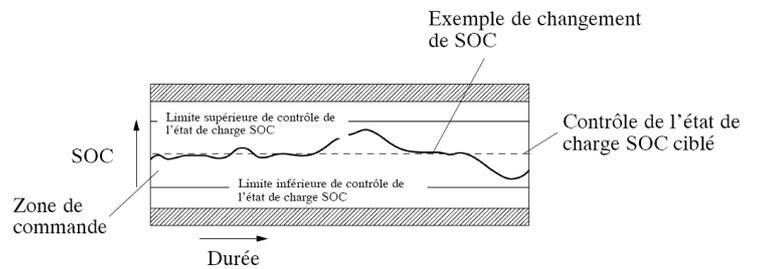
Le fusible principal du circuit haute tension est installé dans l’ensemble de prise de service.



Contrôle de l’état de charge SOC

Lorsque le véhicule roule, la batterie HV subit des cycles répétés de charge et de décharge. Elle est déchargée par MG2 pendant l’accélération et se charge par le freinage par récupération pendant la décélération.

L’unité de commande électronique ECU de batterie calcule le SOC sur la base des niveaux de charge/décharge détectés par le capteur de courant et transmet la valeur SOC calculée à l’unité de commande électronique ECU HV. L’unité de commande électronique ECU HV exécute le contrôle de charge/décharge sur la base de la valeur reçue afin de stabiliser le SOC à tout moment sur son niveau ciblé.



Système de refroidissement de batterie HV

Pour permettre à la batterie HV de développer toutes ses performances malgré la chaleur qu’elle produit pendant les cycles répétés de charge et de décharge, un système de refroidissement dédié à la batterie HV a été adopté.

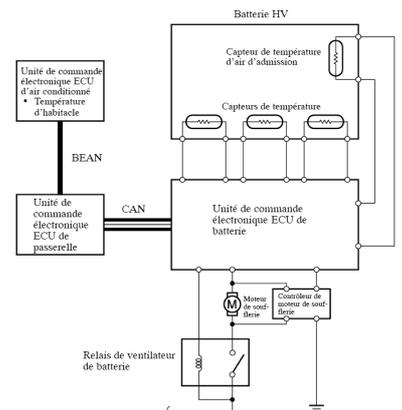
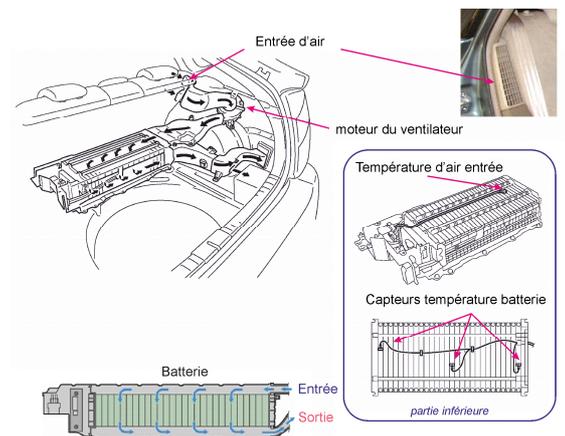
Un ventilateur de refroidissement est installé sur le côté droit du coffre à bagages de manière à aspirer l’air de l’habitacle par le passage d’admission d’air localisé sur le côté droit du siège arrière.

Ensuite, l’air d’admission qui est entré par la zone supérieure droite de la batterie circule entre les modules de batterie par la partie supérieure jusqu’à la partie inférieure afin de refroidir les modules de batterie.

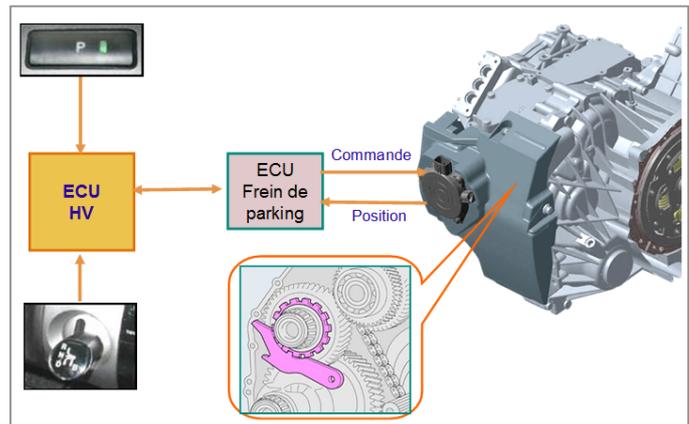
Ensuite, l’air circulant par l’intermédiaire de la gaine d’échappement et l’habitacle, de manière à être refoulé à l’extérieur du véhicule.

L’unité de commande électronique ECU de batterie contrôle le fonctionnement du ventilateur de refroidissement.

L’unité de commande électronique ECU batterie contrôle la température de la batterie HV suivant un niveau approprié conformément aux signaux fournis par les trois capteurs de température de batterie qui sont incorporés à la batterie HV et un capteur de température d’air d’admission.



Frein de parking



Mise en sécurité du système HT.



<p>1. Couper le contact et stocker la clé en lieu sûr</p>		<p>4. Enlever la prise service de la batterie HT et la Stocker en lieu sûr</p>	
<p>2. Enlever le fusible principal (boitier compartiment moteur)</p>		<p>5. Mettre en places les étiquettes ou panneaux de prévention Attendre 5 minutes</p>	
<p>3. Déposer le bac de coffre, et le cache sur la batterie HT.</p>		<p>6. Vérifier l'absence de tension</p>	

Glossaire :

ICE	(Internal Combustion Engine) : moteur essence.
MG	Moteur Générateur : machines électriques.
CVS	Convertisseurs électroniques associés aux machines électriques.
PSD	(Power Split Device) : répartiteur mécanique de puissance.
NiMH	(Nickel Métal Hydrure)
SOC	(State Of Charge) : état de charge de la batterie.
IMA	(Integrated Motor Assist) : système d'assistance électrique (Honda).
IGBT	(Insulated-Gate Bipolar Transistor) : transistor de commande bipolaire
IPU	(Intelligent Power Unit) : (Honda)
MPI	(Motor Power Inverter) : (Honda)
MLI	(Modulation de Longueur d'Impulsions)
SMR	(System Main Relay – relais principal de système)
ECB	(Electronically Controlled Brake System)
REF	(Répartiteur Electronique de Freinage)
ZEV	(Zero Emission Vehicle),