

## Guide de découverte de la Toyota PRIUS II

### Chapitre 1 :

Présentation de la PRIUS.	Page 1
PRIUS : LA voiture hybride de référence.	Page 2
Composition du groupe motopropulseur.	Page 3

### Chapitre 2 :

La PRIUS est construite autour du train d'engrenage épicycloïdal : PSD.	Page 4
Le conducteur décide d'aller PLUS VITE.	Page 5
Ouvrons le boîtier «INVERSEUR» à côté du moteur.	Page 6

### Chapitre 3 :

Comment la machine se « reconfigure » à la demande.	Page 7
La chaîne cinématique	Page 8
L'évolution cognitive.	Page 9

### Chapitre 4 :

Les 5 modes de fonctionnements d'une PRIUS	Page 10
Schéma de principe, du groupe motopropulseur de la PRIUS II	Page 11
Les 5 Modes en détail.	Page 12
Variation autour d'un variateur	Page 13

### Chapitre 5 :

Les petits plus.	Page 14
Recherche d'équilibre.	Page 15
Répartition des forces de freinage.	Page 16

### Chapitre 6 :

Evolution de la technologie hybride	Page 17
Perspectives	Page 18

### Chapitre 7 :

Définitions	Page 19
Lexique	Page 20
Site Internet et références	Page 21

**Chapitre 1 : PRIUS : Comment ça marche.**



Première version, sortie au Japon en 1997, la PRIUS I, arrive en Europe en 2000. 50 000 sont vendues dans le monde dont environ 170 en France.

La PRIUS II, plus aboutie, est développée pour les marchés Nord-américain et Européen. Sortie en septembre 2003 au Japon elle est introduite en France début 2004, puis améliorée en 2005 et 2006.

Les véhicules Hybrides du groupe Toyota :

Année	Étapes importantes
1997	Mars. Présentation du Système Hybride Toyota - Toyota Hybrid System (THS) Août. Lancement du Coaster Hybrid EV (au Japon uniquement) Décembre. Lancement de la Prius
2000	Novembre. Les ventes cumulées de la Prius atteignent 50 000 véhicules
2001	Juin. Lancement de l'Estima Hybrid (au Japon uniquement) Août. Lancement de la Crown Mild Hybrid (au Japon uniquement)
2002	Mars. Les ventes cumulées des véhicules hybrides dépasse la barre des 100 000 Août. Les ventes globales de la Prius atteignent 100 000 véhicules
2003	Avril. Présentation du système Toyota Hybrid Synergy Drive Juillet. Lancement de l'Alphard Hybrid (au Japon uniquement) Septembre. Lancement de la Prius II (2 <sup>ème</sup> génération) Novembre. Lancement du Dyna Hybrid et du Toyoace Hybrid (au Japon uniquement)
2005	Mars. Lancement du Harrier Hybrid (Lexus RX 400h) et du Kluger Hybrid (Highlander Hybrid) au Japon Octobre. Les ventes cumulées des véhicules hybrides dépasse le seuil des 500 000 Décembre. Début de la production de la Prius en Chine à l'usine de Sichuan FAW Toyota Motor Co., Ltd
2006	Mars. Lancement de la Lexus GS450h au Japon. Avril. Les ventes cumulées de la Prius atteignent 500 000 véhicules. Mai. Lancement de la Camry Hybrid (en Amérique du Nord seulement) Juin. Lancement du nouveau Estima Hybrid (au Japon seulement) Octobre. Début de la production de la Camry Hybrid aux USA à l'usine Toyota Motor Manufacturing, Kentucky, Inc.; Lancement du Quick Delivery 200 (au Japon uniquement)
2007	Mai. Les ventes cumulées de véhicules hybrides dépassent la barre des « 1 million ». Lancement des Lexus LS600h et LS600hL

**PRIUS : LA voiture hybride de référence.**

Représente 75% du Million d'hybrides vendus dans le monde par le groupe Toyota.

	Japon	Amérique du N.	Europe	dont France	Autres	TOTAL	CUMUL
2007 Prius	24 032	77 774	13 523	2 006	2 818	118 147	757 569
(Jan-Mai) RX 400h/Harrier	1 765	7 486	5 522	586	1 079	15 852	85 234
Highlander/Kluger	179	12 191			38	12 408	66 970
GS 450h	488	912	1 339	70	134	2 873	9 253
Camry hybride		24 676				24 676	58 313
LS 600h & hL	461					461	461
Autres*	6 609					6 609	69 204
<b>TOTAL 2007</b>	<b>33 534</b>	<b>123 039</b>	<b>20 384</b>	<b>2 662</b>	<b>4 069</b>	<b>181 026</b>	<b>1 047 004</b>

Quelques différences entre : PRIUS I (97-2000) et PRIUS II (2004-5-6)

Puissance du thermique (kW/Ch)	53 / 72	57 / 77
Puissance électrique	33 / 45	50 / 68
Puissance combinée	90 ch	110 Ch
Autonomie électrique	0,5 km	2 km
0 à 100 km/h départ arrêté	14 s	10,9 s

Elles ont en commun un moteur de Yaris, un litre et demi de cylindrée, dont l'admission est modifiée pour répondre au cycle de combustion Atkinson. Ce procédé donne au moteur plus de temps pour la combustion. Le mélange mieux brûlé confère à ce moteur moins de puissance en pointe mais un meilleur rendement et augmente sa longévité.

Un répartiteur d'effort relie le thermique à deux moteurs électriques, le tout sous le contrôle de l'ordinateur de bord «ODB». Ces composants ont été améliorés entre Prius I et II.

**PRIUS II « écolo-écono-techno-logique ».**

**Ecologique :**

Faible consommation 4,7 L/100 km  
Rejets maîtrisés, 104g/km de CO<sup>2</sup>

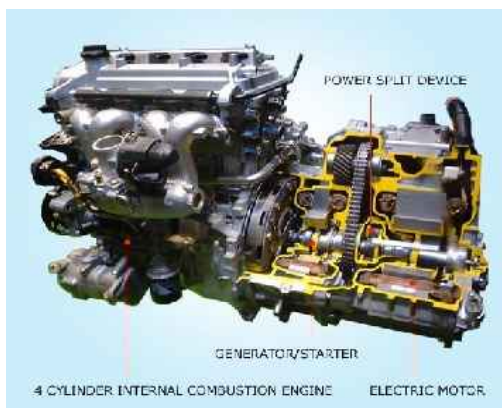
**Economique :**

Econome à l'entretien et sobre, cette bonne routière familiale a la longévité d'un camion.  
C'est un véhicule bien positionné **en milieu de gamme**.



**Technologique :**

Elle cache bien son jeu, sous un capot aux formes discrètes, un pari technologique : le premier moteur hybride du groupe Toyota / Lexus :



HSD, c'est :

**Un moteur** «simple» couplé à une étrange **boîte à vitesse** d'où sortent des câbles.

On ne voit ni batterie ni alternateur ni démarreur, mais un bloc électronique couvert d'un cache alu où est inscrit :

Attention : «haute tension».

**Le groupe motopropulseur est composé de :**

**Deux machines électriques :**

**Un Moteur thermique**

(1,5 litre SP 95  
Cycle Atkinson)

**Deux différentiels**  
(D1 et D2)

**Le PSD ou**  
au cœur de **Train épicycloïdal**  
**la transmission hybride.**

D1 et D2 sont des trains d'engrenages  
épicycloïdaux, des «différentiels».

Pourquoi « **différentiel** » :

Un différentiel est une boîte à pignons d'où sortent 3 axes.  
Sur un axe, le mouvement est égal à la **différence des mouvements** sur les deux autres axes.

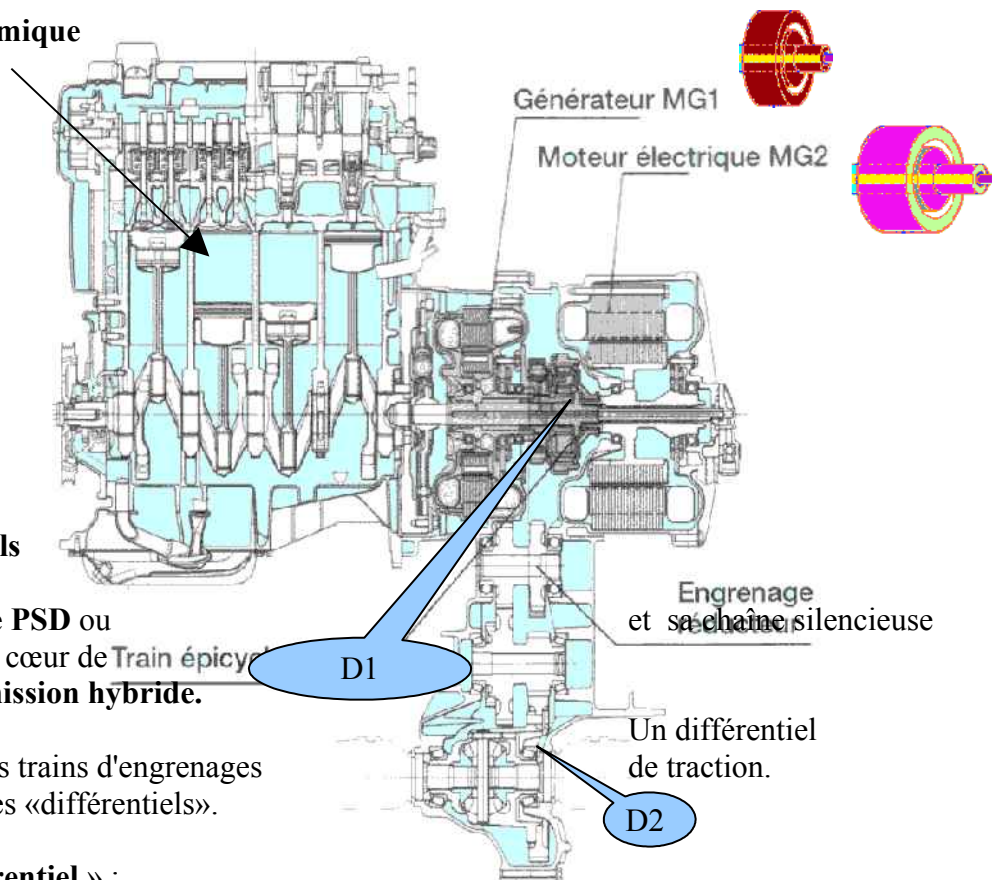
**Le différentiel D2** est classique (dans toutes les voitures), il relie la transmission aux roues.

Son rôle est de propulser de façon égale dans les virages. Il évite de faire dérapier la roue qui tient la corde, bien que sa trajectoire soit plus courte que l'autre. Un exemple qui parle :  
Votre voiture a une roue sur la chaussée et l'autre dans la boue de l'accotement.  
La chaussée résiste, la **roue se bloque** et ne transmet plus de mouvement. Alors, le **différentiel**, envoie la puissance du moteur à **l'autre roue**, qui **patine** !

**Le train épicycloïdal D1** répartit l'énergie mécanique entre ses 3 axes :

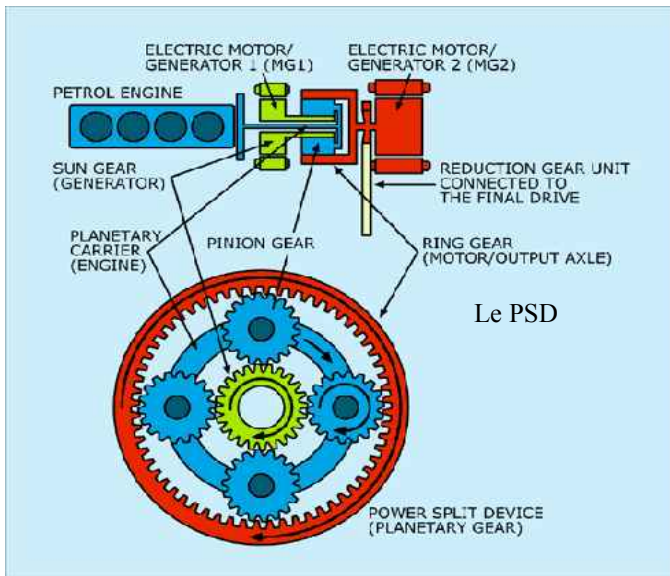
- [1] L'axe du moteur **Thermique**
- [2] L'axe d'**MG1 Moteur / Générateur (auxiliaire)**
- [3] L'axe d'**MG2 Moteur principal de traction**  
(relé aux roues du train avant)

Dans la littérature Toyota, le train d'engrenage épicycloïdal D1 est **appelé « PSD »**.  
De l'Anglais « Power Split Device », qui veut dire **dispositif de répartition de puissance**.





**Chapitre 2 : La PRIUS est construite autour du train d'engrenage épicycloïdal : PSD.**



3 axes 3 couleurs 3 moteurs.

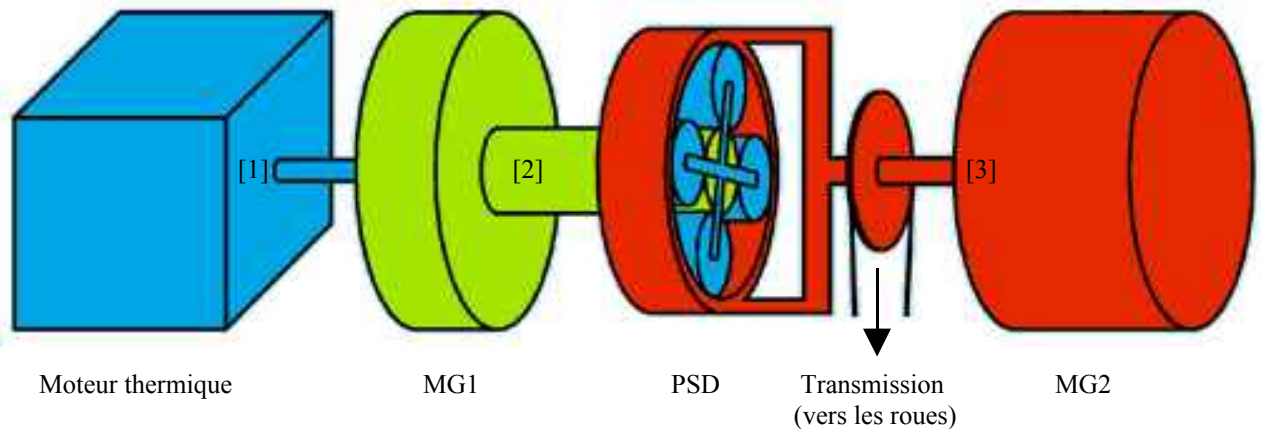
Sur l'axe [1] en bleu :  
L'entraînement des pignons planétaires est relié au thermique.

Sur l'axe [2] en vert :  
Le pignon central ou « solaire » est relié à MG1

Sur l'axe [3] en rouge :  
Le pignon extérieur ou couronne est relié à MG2 et aux roues,

Le PSD est un répartiteur de puissance, une sorte de «vase communicant» mécanique.

**Position des trois moteurs par rapport au PSD et ses trois axes :**

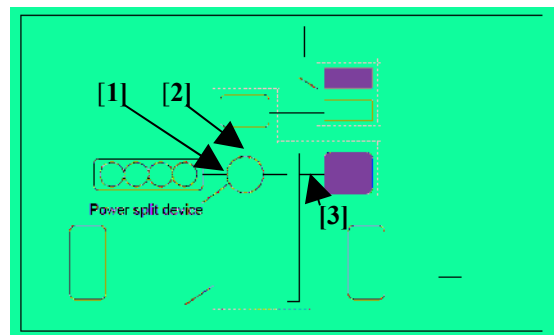
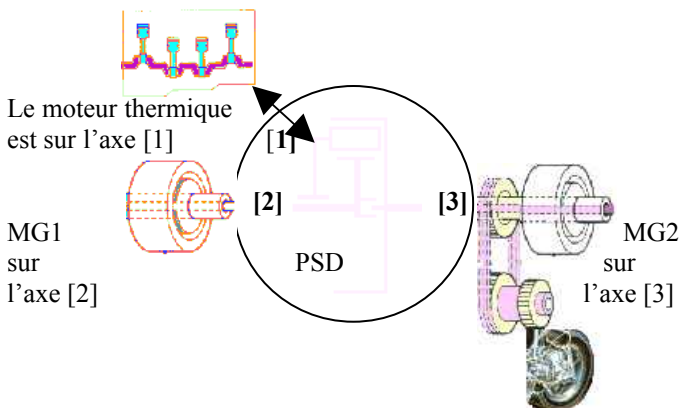


**Deux autres représentations :**

Schéma fonctionnel

et

Diagramme



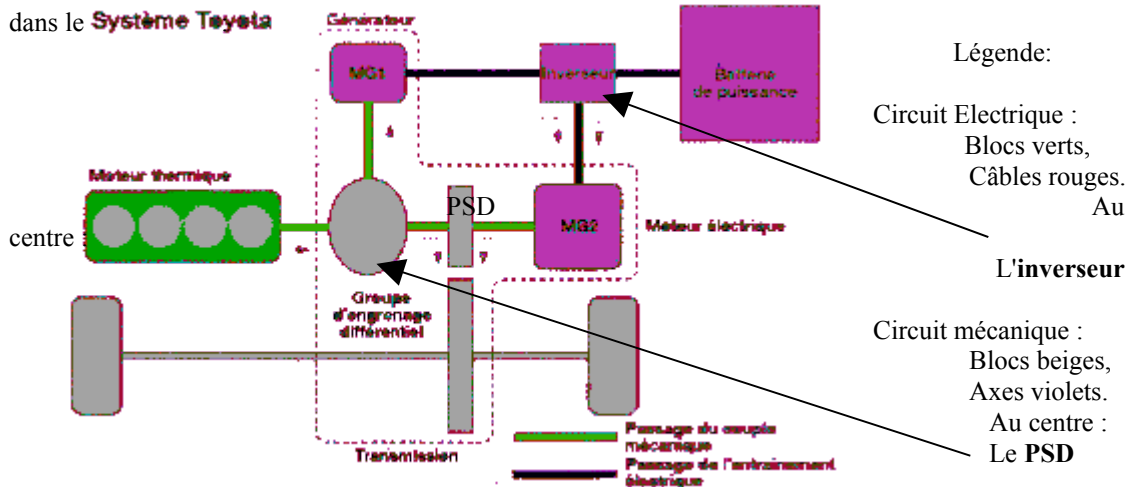
Le conducteur décide d'aller **PLUS VITE**.

L'ordinateur de bord (ODB) déchiffre l'ordre venant de l'accélérateur : (+) de vitesse. Il fournit la puissance permettant d'obtenir la vitesse désirée. A l'aide des deux moteurs électriques MG1 et MG2. Si cela ne suffit pas l'ODB commande l'injection d'essence dans le moteur thermique.

Les moteurs électriques et le thermique sont des transformateurs d'énergies contenues dans l'essence ou dans la batterie, en énergie mécanique. Tous sont reliés au PSD le «vase communicant mécanique» :

«**PLUS**» d'énergie, le circuit «déborde» et l'énergie en excès sort en direction des roues.

Comment les circuits d'énergies mécanique, électrique et thermique sont interconnectés,



Les énergies convergent en deux points : Le PSD et L'inverseur.

**Le PSD équilibre l'énergie mécanique, l'inverseur distribue l'énergie électrique.**

**La transmission d'énergie mécanique**, est familière.

L'effort pour déplacer un objet c'est l'énergie.

La force musculaire c'est la puissance. Nous avons déjà transmis de l'énergie mécanique par une ficelle, la chaîne d'un vélo ou l'engrenage d'un réveil mécanique.

Dans la transmission hybride, cette énergie se transmet entre les mécanismes, par les axes du PSD. Comme la roue bloquée d'un côté force l'autre à patiner à cause du différentiel (c.f. l'accotement), si un axe du PSD est bloqué et qu'on entraîne le deuxième axe, le troisième axe tourne.

Analogie : Le PSD est un « vase communicant » mécanique.

**La circulation de l'énergie électrique**, est plus difficile à visualiser.

Les électrons se déplacent dans un fil de cuivre. On les imagine voyageant, comme l'eau dans un tuyau. Prenons une batterie déchargée, son niveau est bas. On y branche un chargeur qui l'alimente progressivement, comme un réservoir se vide dans un autre. Le courant s'arrête quand les niveaux s'équilibrent : la batterie est rechargée.

Analogie : Le chargeur sur la batterie est un vase communicant électrique.

Ces deux analogies permettent de comprendre les transferts d'énergies dans la PRIUS.

**Ouvrons le boîtier «INVERSEUR» à côté du moteur.**

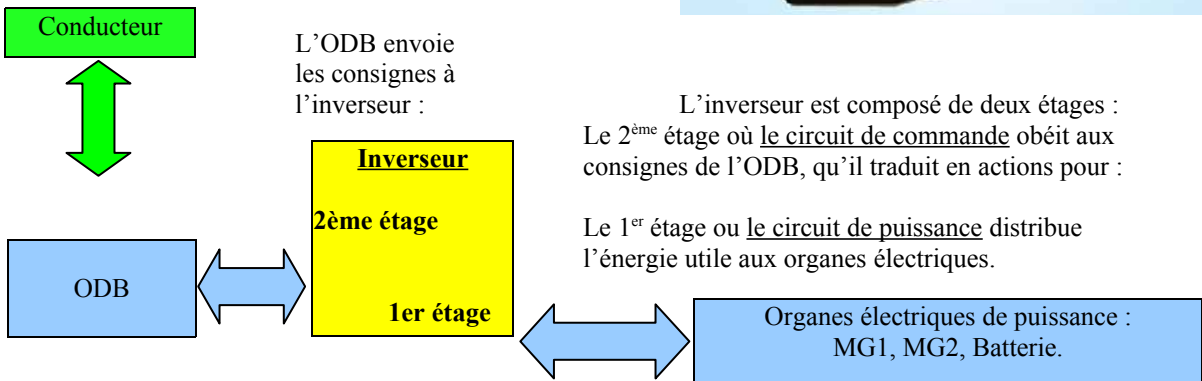
Truffé de composants, au niveau d'intégration élevé, il contient les circuits électroniques de commande et de puissance qui **inversent le courant à la demande.**



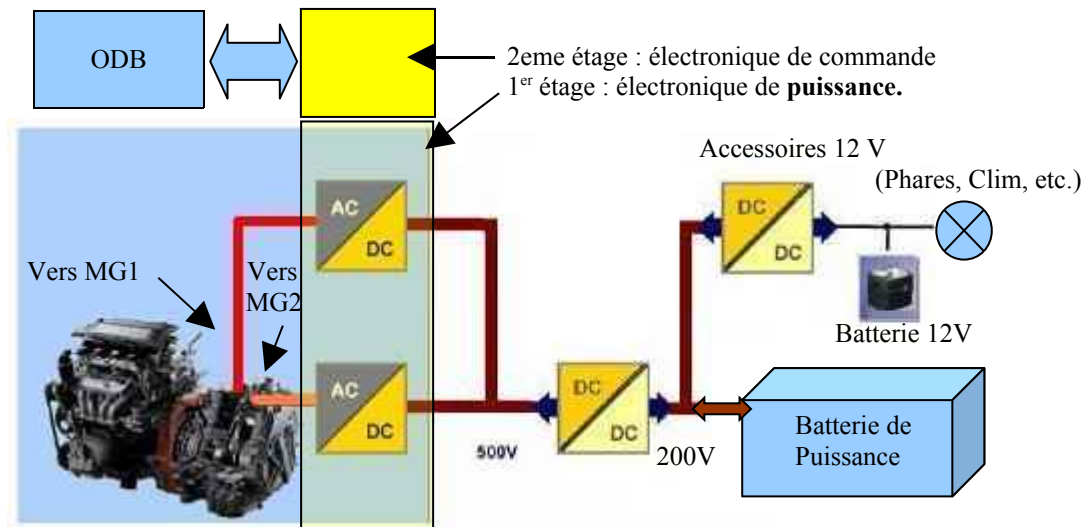
**Les ordres cheminent du conducteur vers la roue.**

A travers plusieurs interfaces :

Le conducteur communique avec l'ODB par l'accélérateur et le frein.



**Diagramme de l'inverseur :**



Rappel du cheminement : Conducteur → ODB → Inverseur Commutation des courants forts → Organes

Les courants forts sont commutés par les modules **AC/DC et DC/DC**. Ce sont des blocs convertisseurs de puissances agissant comme des vannes qui ouvrent et ferment les circuits électriques.  
Ces blocs convertisseurs transforment le courant venant d'un côté en un autre courant pour l'autre côté.

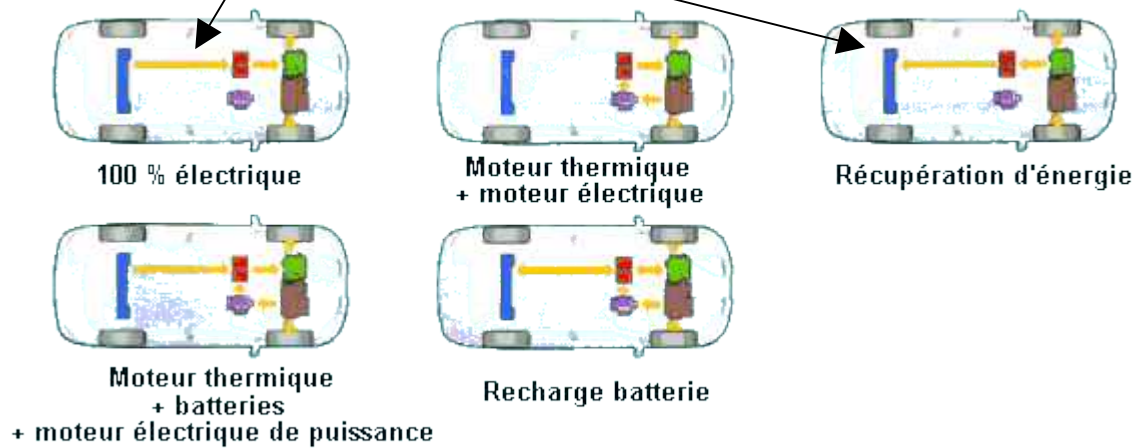
**Le bloc convertisseur DC/DC :** Converti un courant continu en un autre, en élevant ou abaissant la tension

**Le bloc convertisseur AC/DC :** Converti du courant continu en alternatif dans un sens, il est onduleur.  
Dans l'autre sens, converti du courant alternatif en continu, il est redresseur.

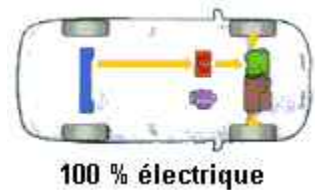
**Chapitre 4 : Les 5 modes de fonctionnements d'une PRIUS**

Il existe 5 modes de fonctionnements, correspondant au circuit qu'emprunte l'énergie.

Commençons par **deux modes simples** qui utilisent la batterie, l'inverseur et MG2.

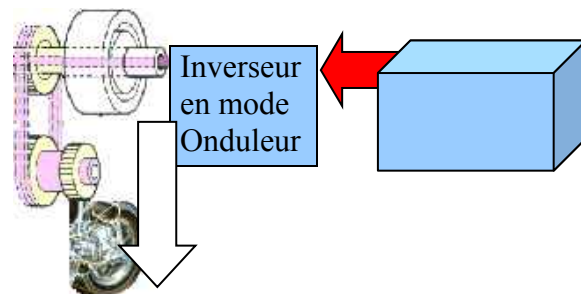


Appui léger sur l'accélérateur : Au démarrage, à faible sollicitation ou en mode EV :



- Le moteur thermique est éteint,
- MG1 n'est ni générateur ni moteur, il tourne en roue libre,
- MG2 est seul propulseur.

C'est le fonctionnement exclusif en Mode EV et en ...marche arrière.

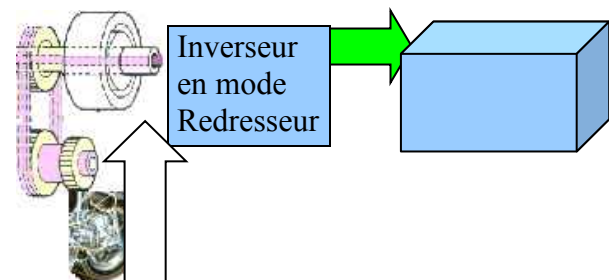


Si on relâche l'accélérateur :



- Le moteur thermique est éteint,
- MG1 n'est pas générateur ni moteur et tourne en roue libre,
- MG2 est générateur.

La PRIUS **en 100% électrique**, passe aisément de la propulsion à la récupération d'énergie, en fonction de la position de l'accélérateur. Par simple inversion électronique.



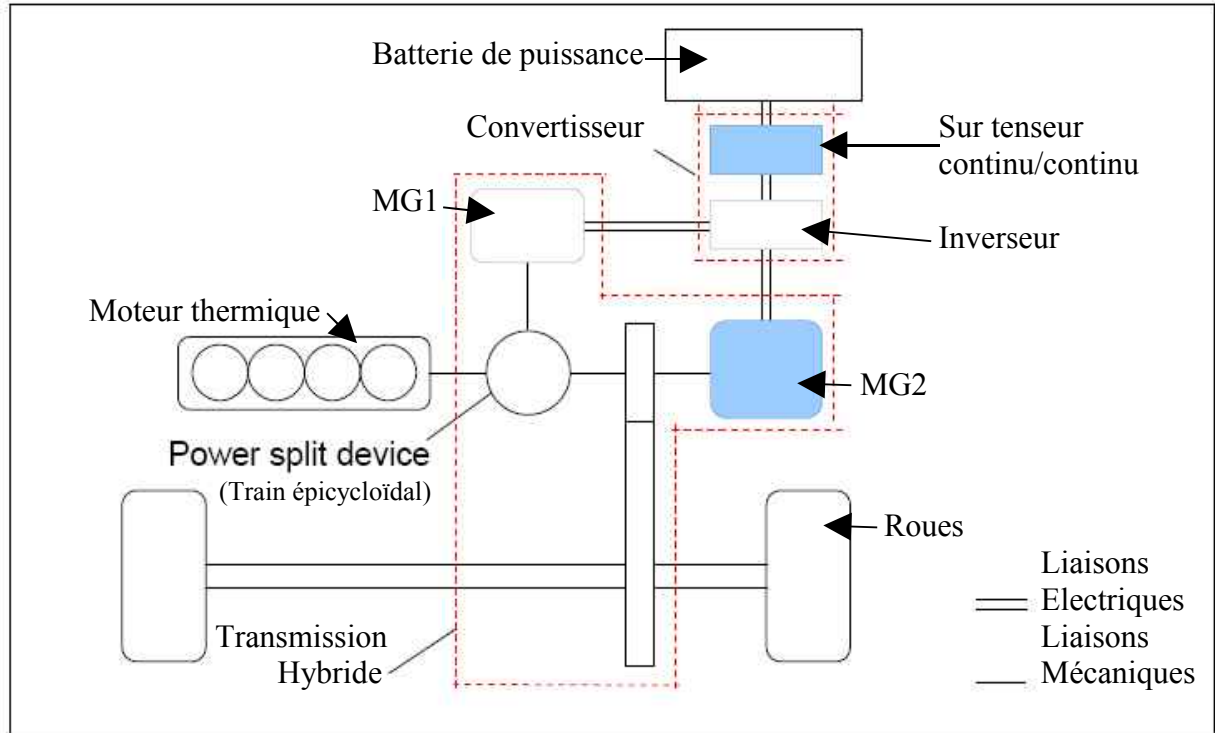
La batterie, l'inverseur, MG2 et d'autres éléments interviennent dans les modes suivants.



Schéma de principe, du groupe motopropulseur de la PRIUS II

Dans les deux régions en pointillé :

- L'électronique de puissance de l'inverseur,
- Les équipements électriques et mécaniques de la transmission hybride.

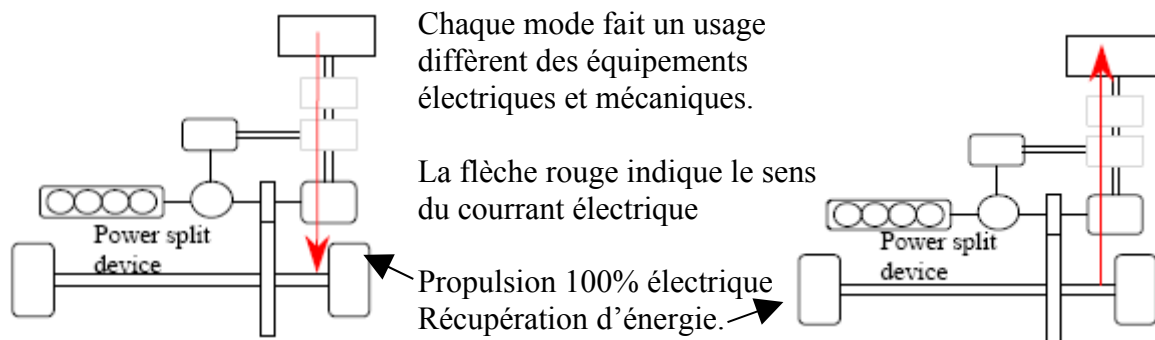


Les **deux éléments** représentés en bleu, sont ceux qui ont le plus évolués entre Prius I et II.

Dans le convertisseur, **le bloc sur tenseur** n'existait pas sur la Prius I. Ce qui limitait la tension nominale des moteurs. Ce nouveau convertisseur continu/continu dont la fonction est d'élever la tension (sur tenseur) permet à la Prius II d'utiliser une tension de 500 Volts.

Dans la transmission hybride, **MG2** a vu sa puissance augmentée d'un tiers, principalement par l'augmentation de sa vitesse de rotation, de 6 250 tours par minute à 10 000 tours. Son rendement à été amélioré par l'adoption d'aimants permanents en forme de V mieux adaptée.

Le train épicycloïdal (PSD) est conservé à l'identique.



## Des 5 Modes,

nous avons vu :

### **Récupération d'énergie**

et

### **100 % électrique**

Voici les 3 autres :

### **Moteur thermique + moteur électrique**

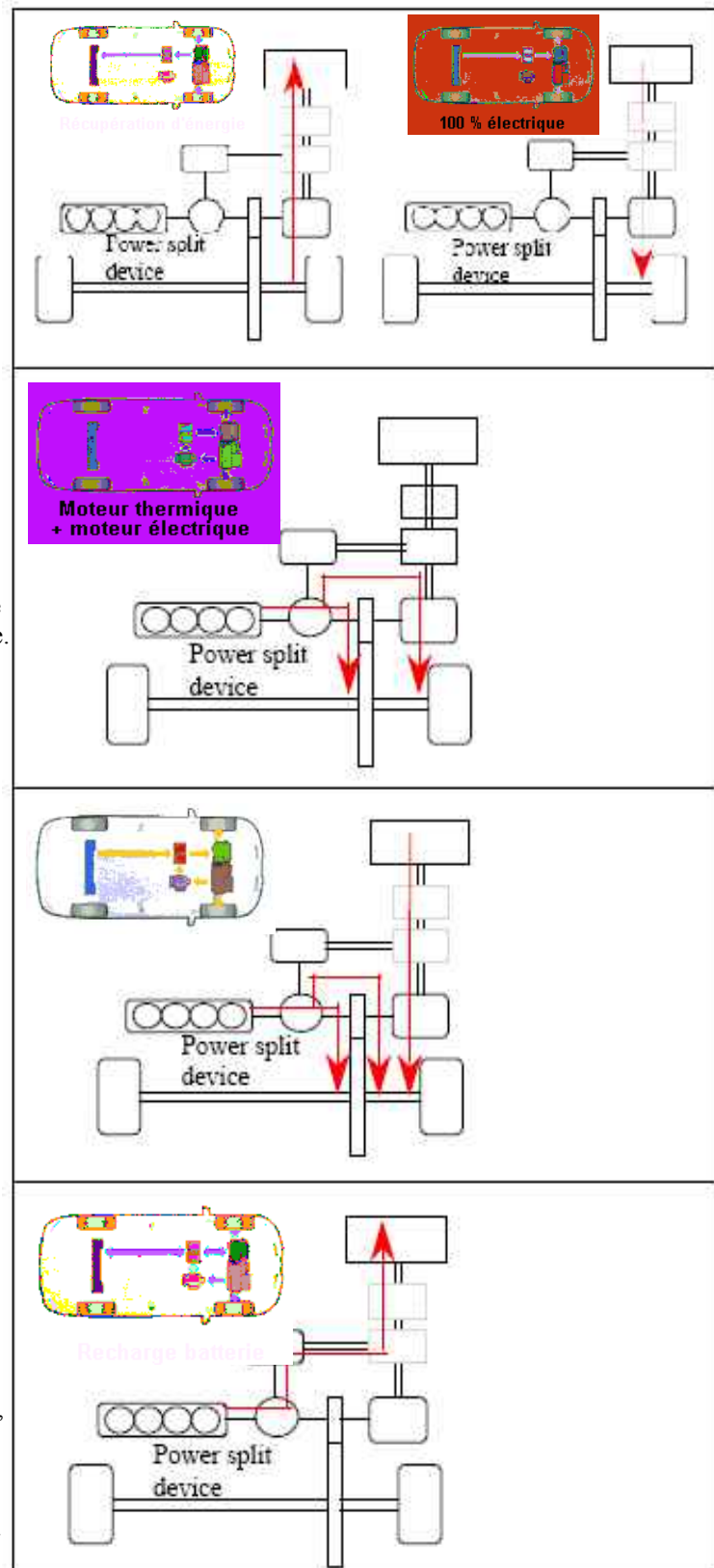
Une sollicitation, accélération, montée, dépassement des 50 km/h, le moteur thermique démarre : MG1 utilisé en moteur auxiliaire, donne un coup de pouce. La démultiplication du PDS offre un couple important, minimisant l'effort de démarrage. Absorbé par la chaîne silencieuse, le bruit généré est imperceptible par le conducteur

### **Moteur thermique + batteries + moteur électrique de puissance**

La demande augmente encore, toute la puissance est dirigée vers l'axe sortant. Du thermique via le PDS une partie va directement sur l'axe des roues, la puissance dérivée sur MG1 est envoyée en électricité à MG2, qui reçoit en plus celle disponible dans la batterie.

### **Recharge batterie**

A l'arrêt (Position P ou frein à pieds), si la batterie a besoin d'être rechargée, ou si l'on donne une impulsion sur l'accélérateur, le moteur thermique démarre. L'axe de transmission vers les roues étant bloqué, la puissance est dirigée en totalité par PSD vers MG1, qui recharge la batterie.



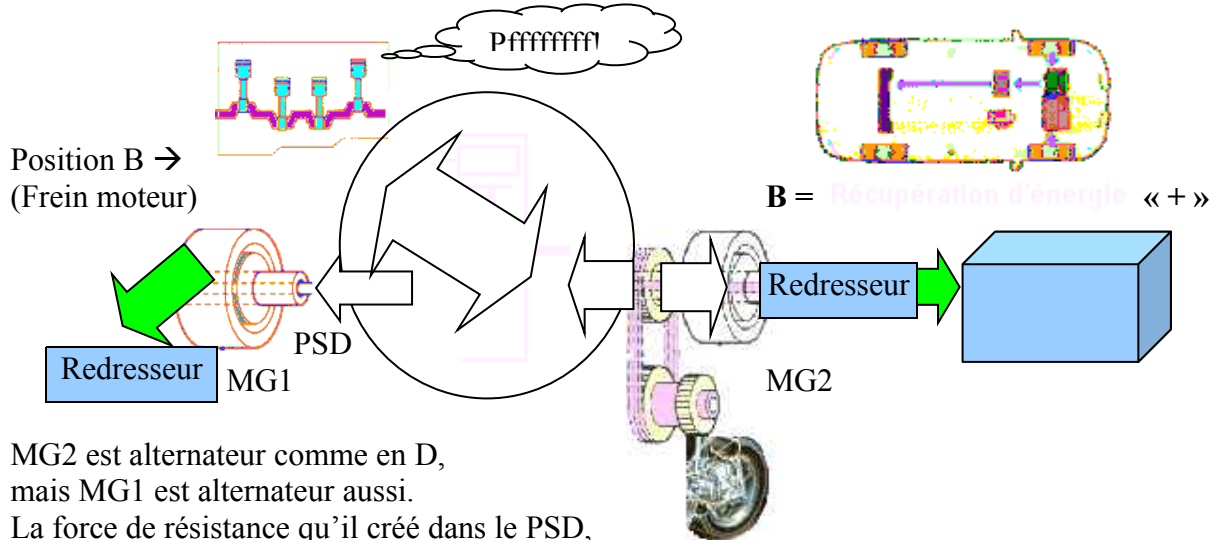
**Il existe quelques variantes.**



### Particularité de la position B

**B pour « Break »** (ralentisseur)

En D, la position normale de conduite, lorsqu'on lève le pied, la voiture récupère l'énergie. MG2 devenu générateur, oppose sa force. Dans certaines descentes, cette récupération ne suffit pas. Pour ralentir plus, on peut freiner ou passer en position B. Cette position a été développée pour augmenter le frein moteur de la transmission hybride.



MG2 est alternateur comme en D, mais MG1 est alternateur aussi. La force de résistance qu'il crée dans le PSD, entraîne le moteur thermique qui joue le rôle de compresseur.

En **position D**, moteur thermique à l'arrêt, la récupération électrique est assurée par MG2, directement sur l'axe des roues (à quelques démultiplication près) le rendement est optimum.

En **position B**, la puissance opposée par MG2 régénère avec la même efficacité. L'énergie qui va à MG1 passe par le PSD. Le rendement mécanique est moins bon car : Le PSD absorbe une partie de la puissance par frottement. La puissance dérivée vers MG1 par le couple qu'oppose le thermique, suppose que celui-ci compresse de l'air, énergie perdue. Ça **ralenti mieux**, MG1 et MG2 récupèrent à deux, ça **recharge plus vite, mais moins bien**. Toute l'énergie qui est partie dans le moteur thermique est gaspillée.

Sur une descente donnée, la part évacuée par le thermique sera bien « perdue dans l'air ». Le bilan énergétique est inférieur. On a plus ralenti, rechargé plus intensément moins longtemps. Bilan : moins bonne récupération, batterie moins bien rechargée.

Cette position B est très agréable dans une campagne « pentue » où recourir en permanence au frein peut devenir fastidieux. Ce mode reproduit bien le frein moteur... et son gaspillage.

### Que manque t-il pour faire « comme » une boîte automatique ?

**La position P** : Le frein de parking : c'est un relais électromagnétique bistable qui commande le blocage de l'arbre en sortie de transmission au moyen d'un frein à tambour.

**La Position N** : C'est le mode Neutre, qui permet de pousser ou monter sur la dépanneuse. En N, les inverseurs sont simplement désactivés (on dit « haute impédance ») ce qui laisse les moteurs en « roues libres ».



**Chapitre 5 :** Les petits plus.

**La surmultipliée « overdrive ».**

Dans une boîte mécanique, les vitesses sont étagées et présentent chacune un rapport entré/sortie différent. Exemple de trois vitesses. La première (rapport réducteur  $<1$ ) est démultiplié, la quatrième (rapport 1) est en prise directe « drive » en anglais, la sixième (rapport  $>1$ ) est surmultipliée « overdrive » en anglais. Avec le PSD, le rapport entrée /sortie de transmission est obtenu entre l'axe 1 (thermique) et l'axe 3 (des roues) par le changement de vitesse de MG1 sur l'axe 2. Un rapport réducteur (0,5) est obtenu en laissant filer MG1 à une certaine vitesse. Le rapport direct est obtenu lorsque MG1 est « bloqué ».

Avec cette configuration, à vitesse maxi du thermique, la voiture atteint 126 km/h. Pour aller plus vite, une seule solution : l'overdrive. Pour surmultiplier l'entrée/sortie PSD, MG1 doit tourner à l'envers. La batterie ne peut pas fournir en permanence l'énergie nécessaire...

Il faut prélever un peu d'énergie sur l'axe de sortie, MG2 devient générateur.

On comprend la limite du modèle, alors que toute la puissance disponible doit aller aux roues, à partir de 126 km/h on prélève de la puissance à la sortie pour l'envoyer en surmultiplication.

A cette vitesse, la totalité de la puissance va être absorbée par la friction dans l'air.

La limite est atteinte à 170 km/h. (C'est déjà bien).

**Le mode hérétique.**

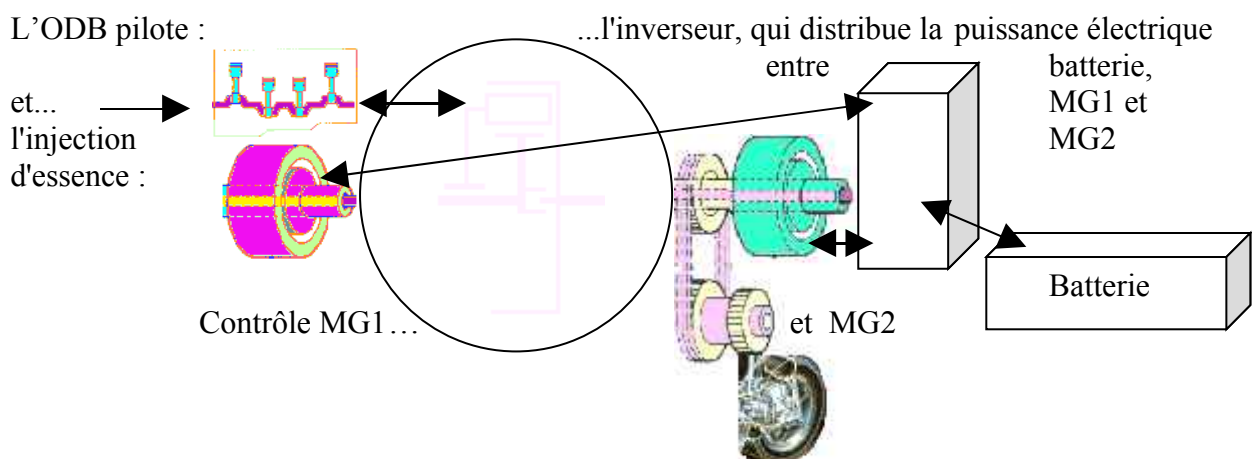
Ce terme laisse à penser que les développeurs ont résolu un problème qui n'avait pas de sens pour eux, car il n'avait pas été demandé dans le cahier des charges d'origine.

Dans sa logique mise au point par programme, l'ODB rétabli en permanence l'équilibre électrique/thermique/mécanique, avec des règles de commutations. Pour éviter que les commutations se succèdent trop rapidement, il existe des seuils de déclenchement.

En accélération, le PSD simule le changement de vitesse à variation continue, comme si l'on passait en « glissant » de la première à la deuxième, etc. Dans la progression du rapport glissant, si le conducteur « ralenti et appuie de nouveau », il met le dispositif dans une situation indécise équivalente à l'overdrive alors que ce n'est pas nécessaire à cette vitesse.

MG1 tourne en avance sur le « programme » et le PSD se trouve comme en 5eme avec le moteur au ralenti. L'O.S. pilote en recherche d'équilibre. Si le conducteur conserve le pied dans cette zone tenue de l'accélération, il indique avoir trouvé l'équilibre et l'ODB continue comme ça. Ce fonctionnement a été conservé, il est fréquemment utilisé par le « régulateur ».

**EN RESUME:** Le PSD équilibre l'énergie « mécanique »,



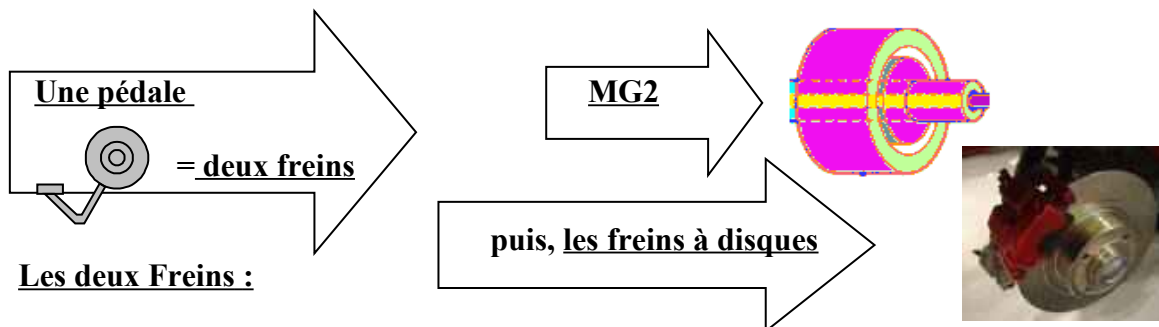
## RECHERCHE D'EQUILIBRE.

Accélérations et décélérations font évoluer les besoins, quand la puissance fournie est égale à la demande, c'est l'équilibre. Le plus fin est d'obtenir l'équilibre sans perte d'énergie dû à la charge ou à la décharge de la batterie. Après une accélération, ce point d'équilibre ou toutes les flèches de l'afficheur sont éteintes s'appelle le « **pulse and glide** » (pousse puis glisse).

### Le FREINAGE :

Certains camions ont **un ralentisseur**, c'est un frein électrique par courant de Foucauld. L'énergie évacuée dans l'air sous forme de chaleur, est perdue.

**La PIUS** fait mieux, elle **recupère** cette énergie **pour recharger la batterie.**



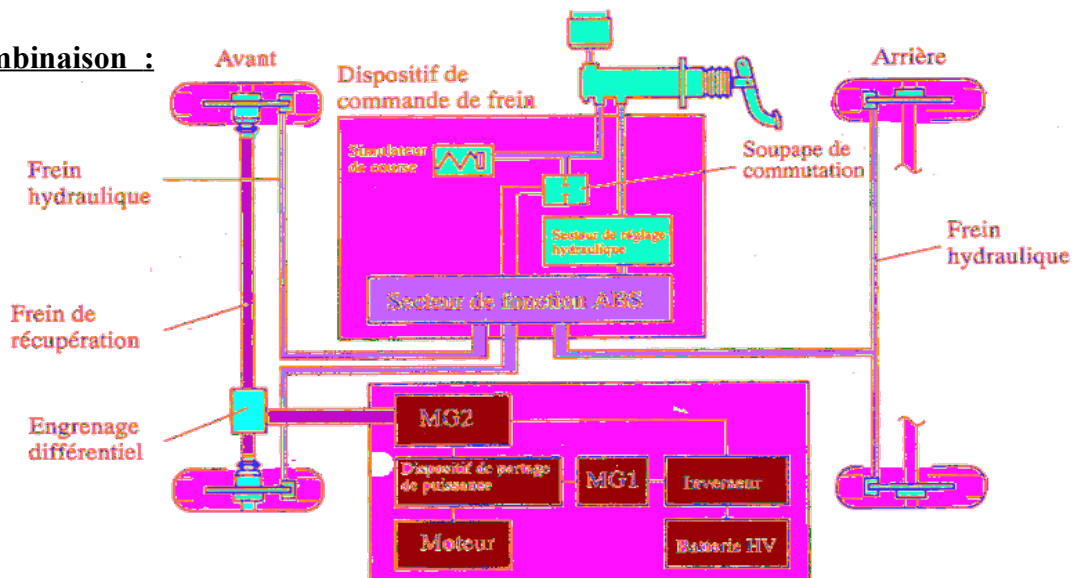
### Les deux Freins :

**Electrique :** en descente, décélération ou freinage en douceur, il y a recharge de la batterie. C'est systématique en EV, préférentiel en D et «forcé» en sélection B.

En sélection N, le groupe propulseur est désaccouplé le frein électrique ne marche pas.

**Par friction :** quand la fonction ralentisseur ne suffit pas, les commandes hydrauliques de freins à disques sont activées par le servomoteur. Cela arrive si l'on freine fort ou en dessous de 7 km/h, C'est le seul frein en sélection N.

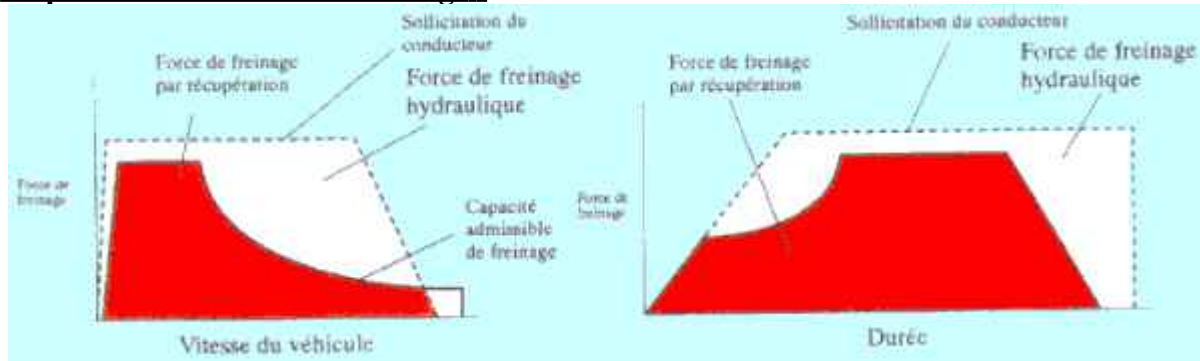
### Combinaison :



La combinaison est contrôlée par l'unité de contrôle ECU, la force de freinage totale correspond à la demande du conducteur.

La répartition de la force de freinage entre électrique et hydraulique, varie en fonction de la vitesse du véhicule et de la progressivité du freinage.

**Répartition des forces de freinage :**



**Plus le freinage est anticipé et doux, plus il récupère correctement l'énergie.**

Les diagrammes représentent l'efficacité en fonction de la vitesse et de la durée du freinage. La récupération représentée en rouge montre qu'un freinage prolongé et d'intensité modérée, va recharger efficacement et donner la main aux freins à disques en dernier lieu (< 7 km/h).

Le système de freins à disques utilise du liquide hydraulique stocké sous haute pression; il dispose d'un servofrein intégré au maître cylindre et de quatre freins à disques. Une réserve de pression est prévue dans un réservoir, pour avoir du frein au démarrage. On entend le compresseur électrique refaire l'appoint quelques secondes après l'arrêt. Elle prépare «du frein» pour le départ suivant.

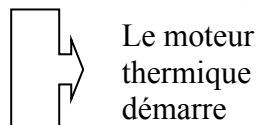
**La clef dans la poche, s'approcher de la voiture, elle vous reconnaît et s'ouvre... S'asseoir, mettre sa ceinture, presser le frein, power, D,** vous roulez déjà.

Occupez vous bien de la route, la voiture fait le reste et sur un parcour ça donne :

Démarrage batterie chargée  
Activation de la fonction EV (10 s)  
Accélération progressive jusqu'à 50 km/h



Accélération ou batterie faible  
Abord d'une légère côte  
Désactivation du mode EV



Décélération, descente  
Freinage souple  
ou position B (en descente forte)



Accélération importante  
Abord d'une côte prononcée  
Charge utile élevée ou vent



Lors d'un arrêt prolongé  
Après un temps en EV

