



Gestion de l'énergie dans les véhicules hybrides

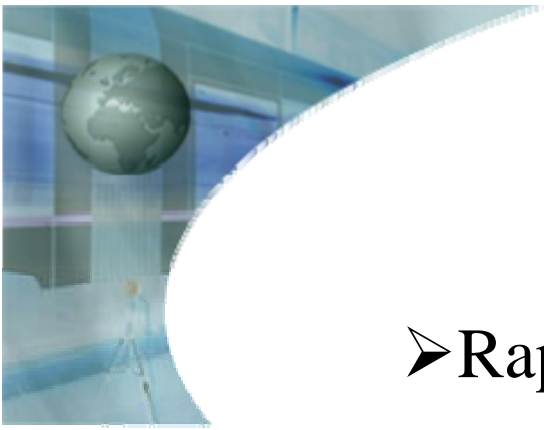


Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

**Laboratoire
Transport et
Environnement**

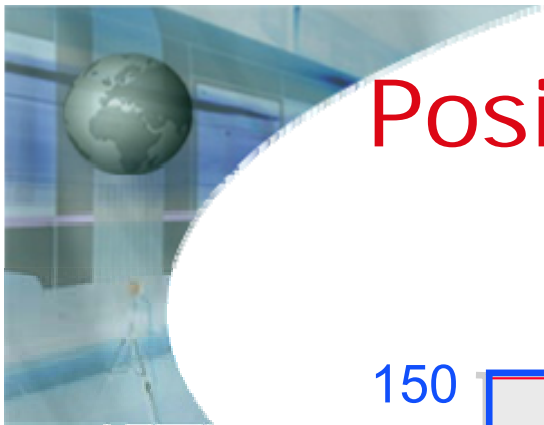
*Rochdi TRIGUI, INRETS-LTE
Réseau National MEGEVH*

Journées Club EEA. Lille 11-12 mars 2009

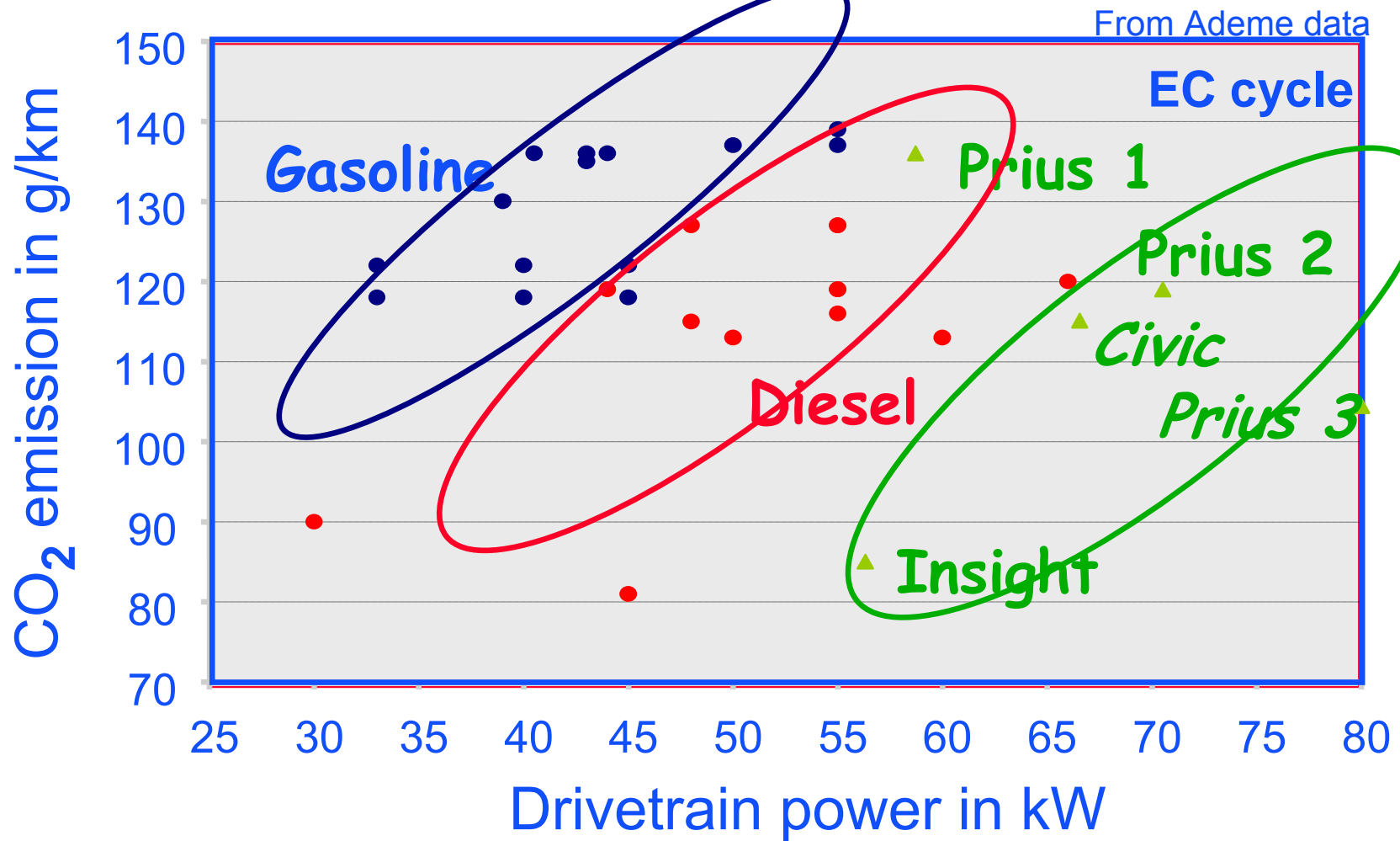


Plan

- Rappel des fonctions de l'hybridation
- Position du problème de la gestion de l'énergie
- Méthode de la programmation dynamique
- Méthode du calcul variationnel
- Éléments pour un dimensionnement optimal
- Applications en ligne : RN ou λ -control

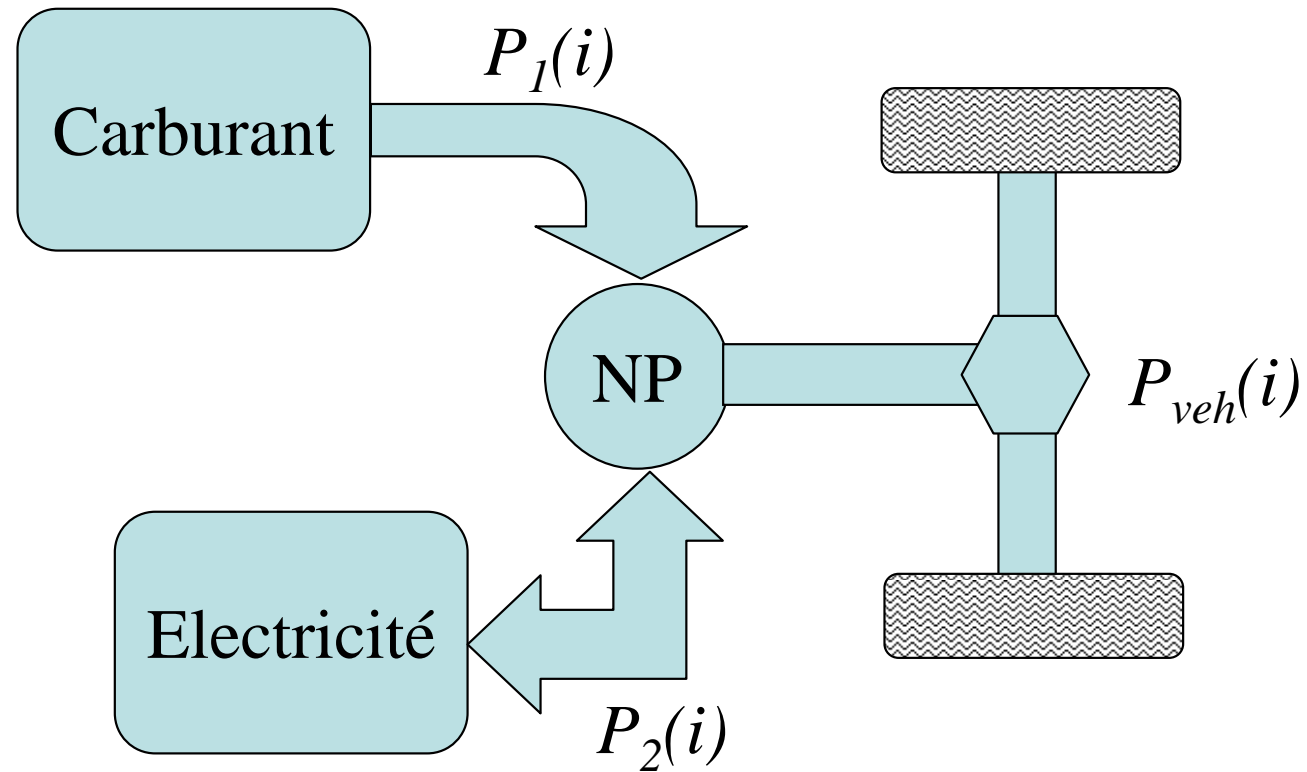
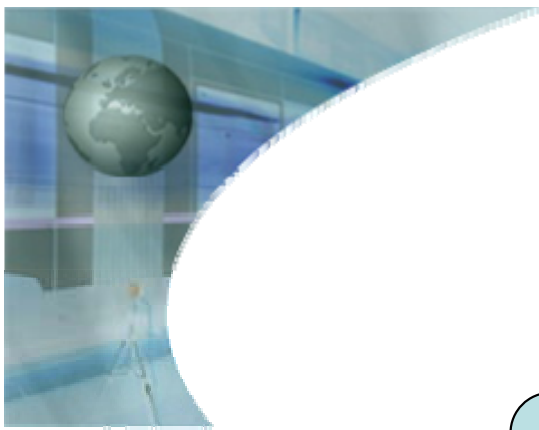


Position CO2 des Véhicules hybrides



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Hybride : Deux sources d'énergie => 1 degré de liberté

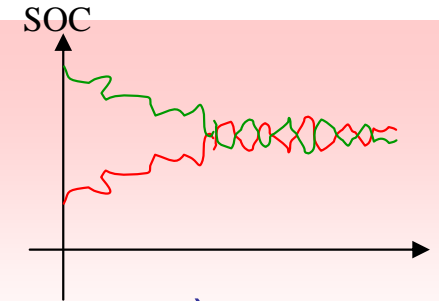


Deux options pour la gestion de la batterie

- Charge flottante (**sustaining**) CH. S.

Convergence vers un état de charge préférentiel

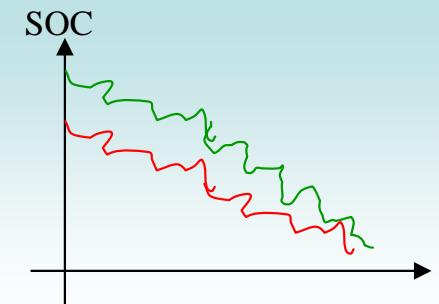
- * Puissance maxi de charge et de décharge
- * Durée de vie
- * Pas de recharge extérieure, (**carburant uniquement**)
- * batterie de puissance ou Supercondensateur.



- Charge décroissante (**depleting**) CH. D.

Décroissance de l'état de charge au cours du trajet :

- * Etat charge minimum visé
 - * Recharge par le réseau électrique :
- consommation mixte.**
- * Batterie d'énergie



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité



Gestion de l'énergie : Approche par fonction

CH. S : Amélioration des conditions de fonctionnement du moteur thermique

- . Arrêt démarrage (Stop - start)
- . Aide au décollage et aux reprises (Boost)
- . Récupération à la décélération
- . Mode tout électrique
- . Recharge préférentielle de la batterie (flux série)

CH. D : Amélioration des conditions de fonctionnement du moteur thermique;

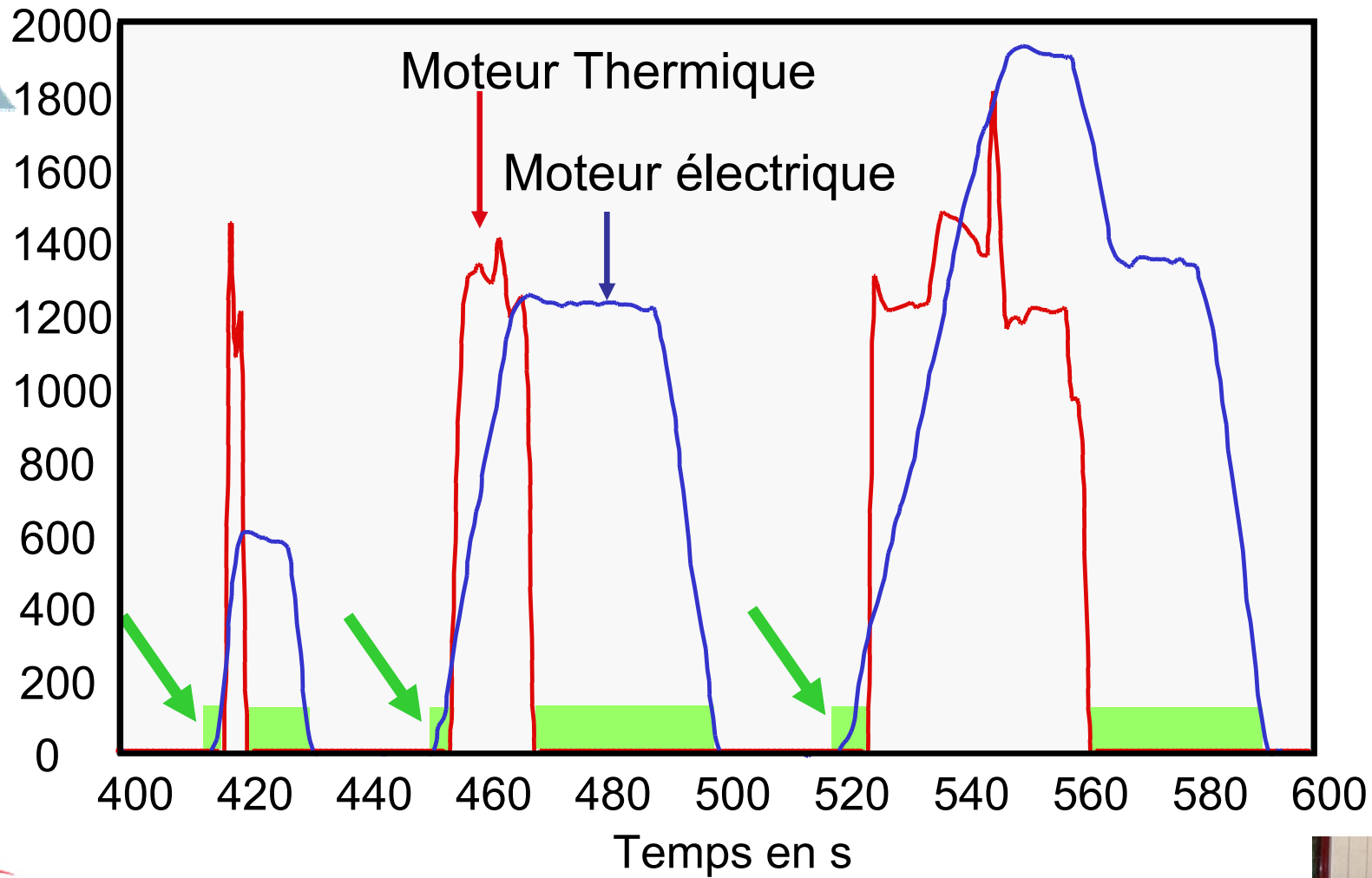
Degré de liberté sur l'état de charge final :

- * Taux de décharge selon la distance parcouru
- * Décharge complète en fin de journée.



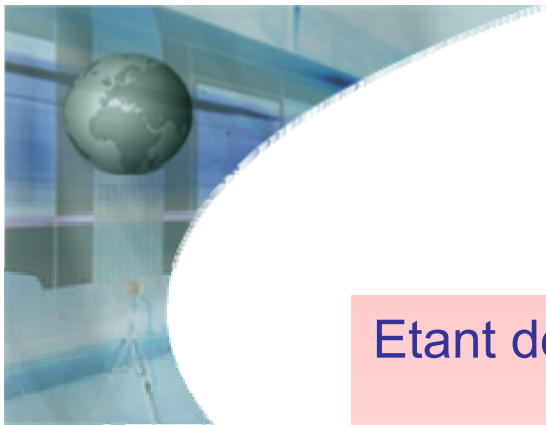
Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Gestion instantanée dans la prius 1



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité



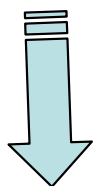


Position du problème

Etant données :

- Une architecture hybride
- La taille des différents composants
- Une sollicitation donnée (usage)
- Une contrainte sur la décharge batterie

Quelle est la meilleure loi de gestion de l'énergie pour la minimisation de la consommation de carburant?

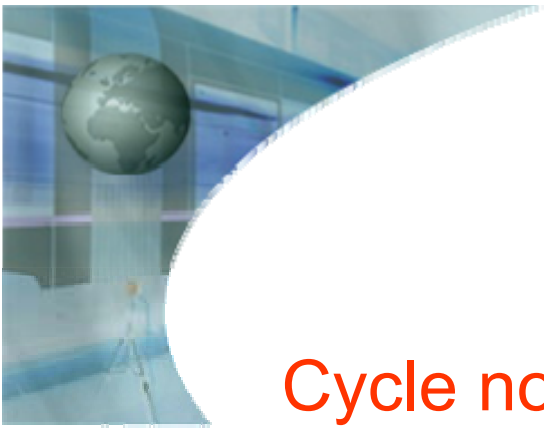


- Gain potentiel en consommation
- Comparaison objective entre les différents véhicules
- Indication pour les Lois de gestion en ligne

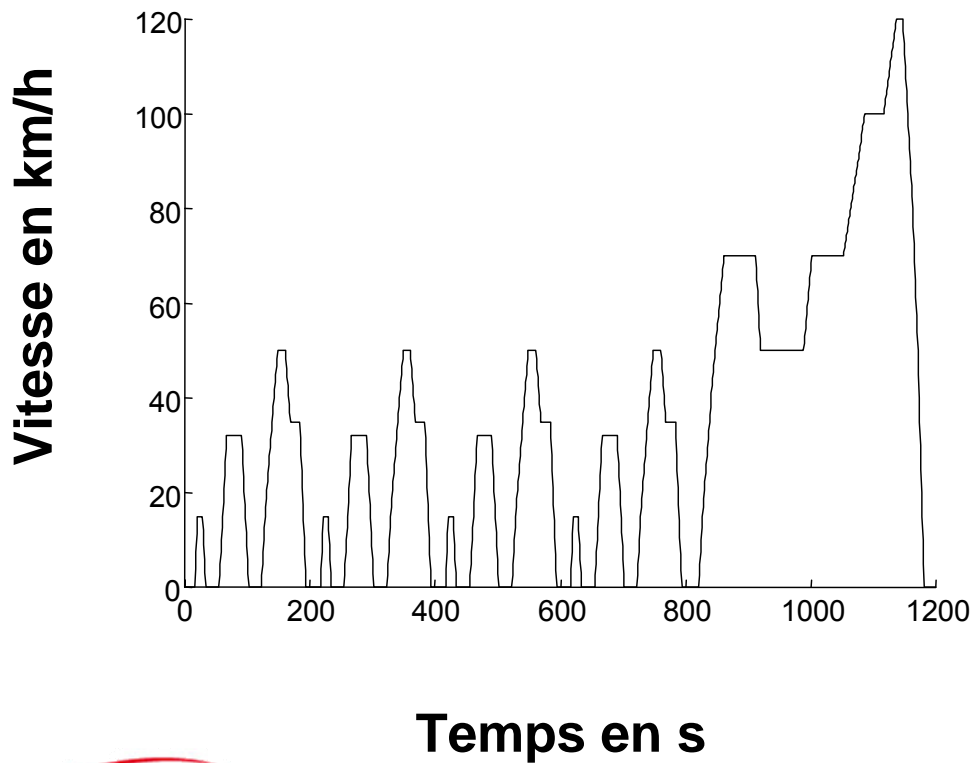


Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Les cinématiques ou cycles

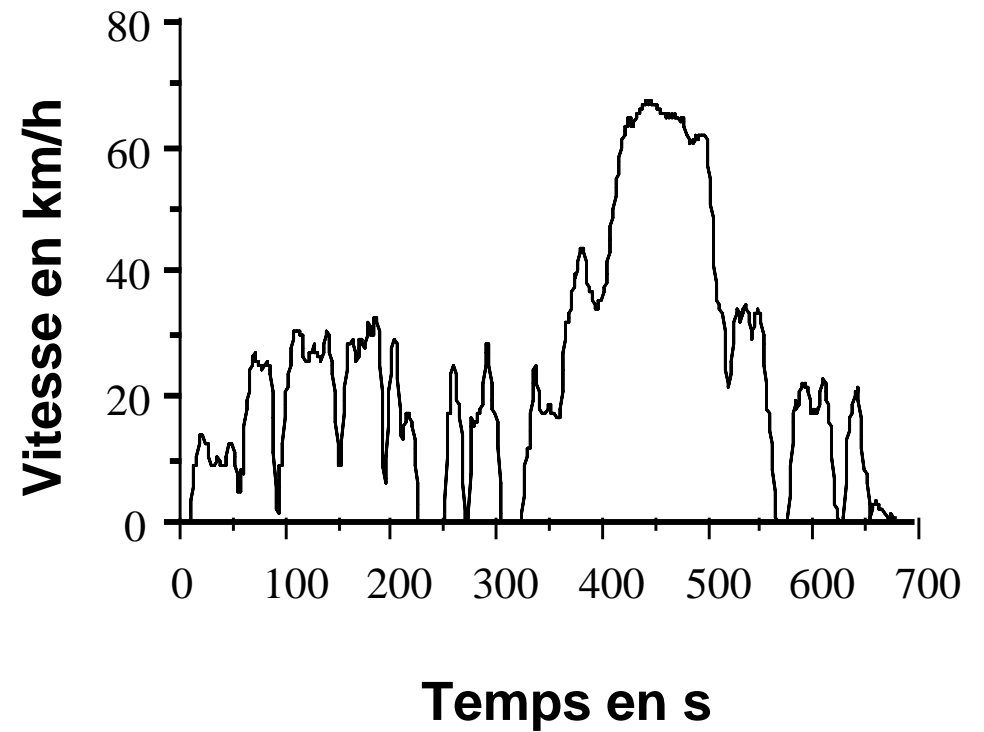


Cycle normalisé

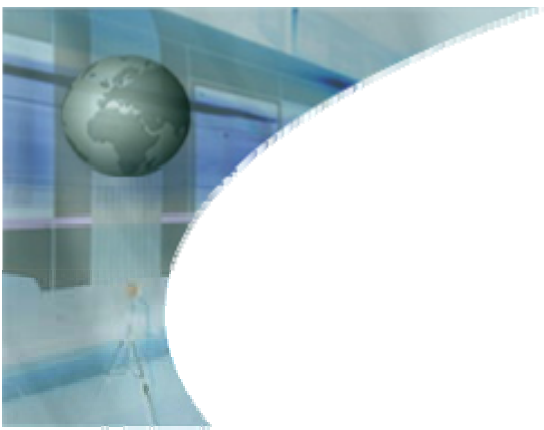


Cycle réel

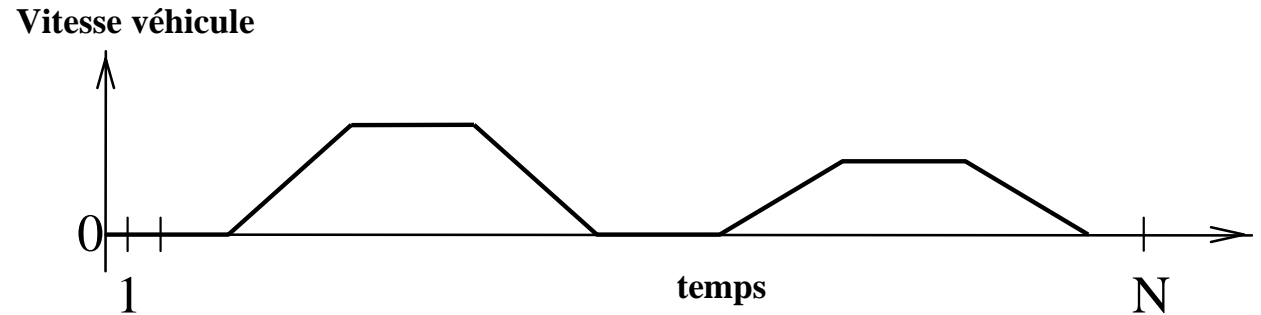
↑ HYZEM
↓ ARTEMIS



Mission du véhicule donnée Approche par modèle inverse



$$J_{veh} \frac{d\omega_r}{dt} = C_r - C_f$$



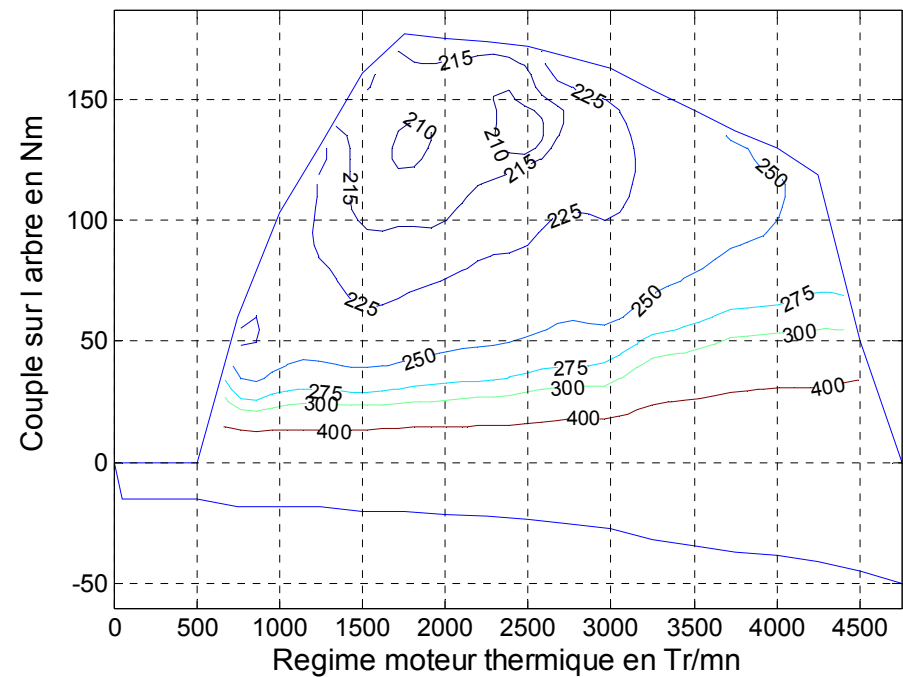
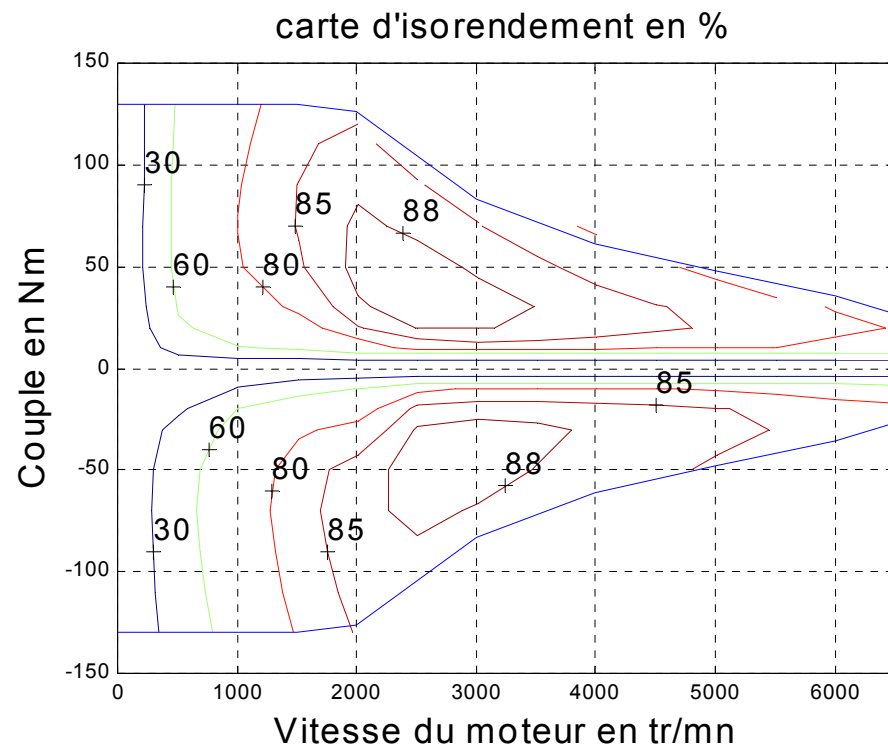
$$\underbrace{\omega_r = \begin{bmatrix} \omega_r(1) \\ \omega_r(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \omega_r(N) \end{bmatrix}}_{\text{Mission}} + \underbrace{C_f = \begin{bmatrix} C_f(1) \\ C_f(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ C_f(N) \end{bmatrix}}_{\text{Loi de route}} \Rightarrow \underbrace{C_r = \begin{bmatrix} C_r(1) \\ C_r(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ C_r(N) \end{bmatrix}}_{\text{Mission}}$$



Cartographies statiques de débit et de rendement

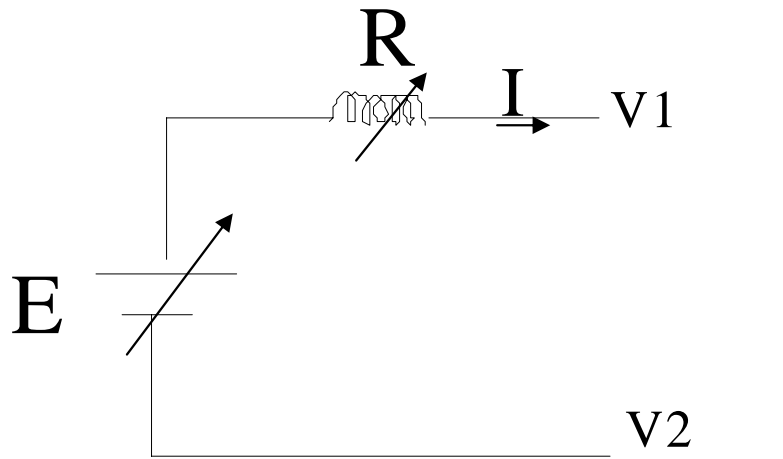
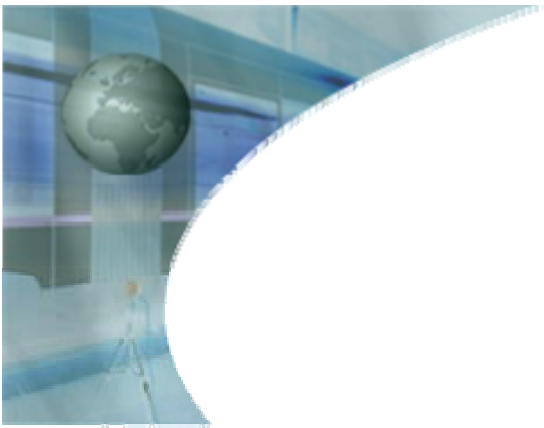
Modèle énergétique
« Cartographie » ACM

Modèle énergétique
« Cartographie » MCI CSP



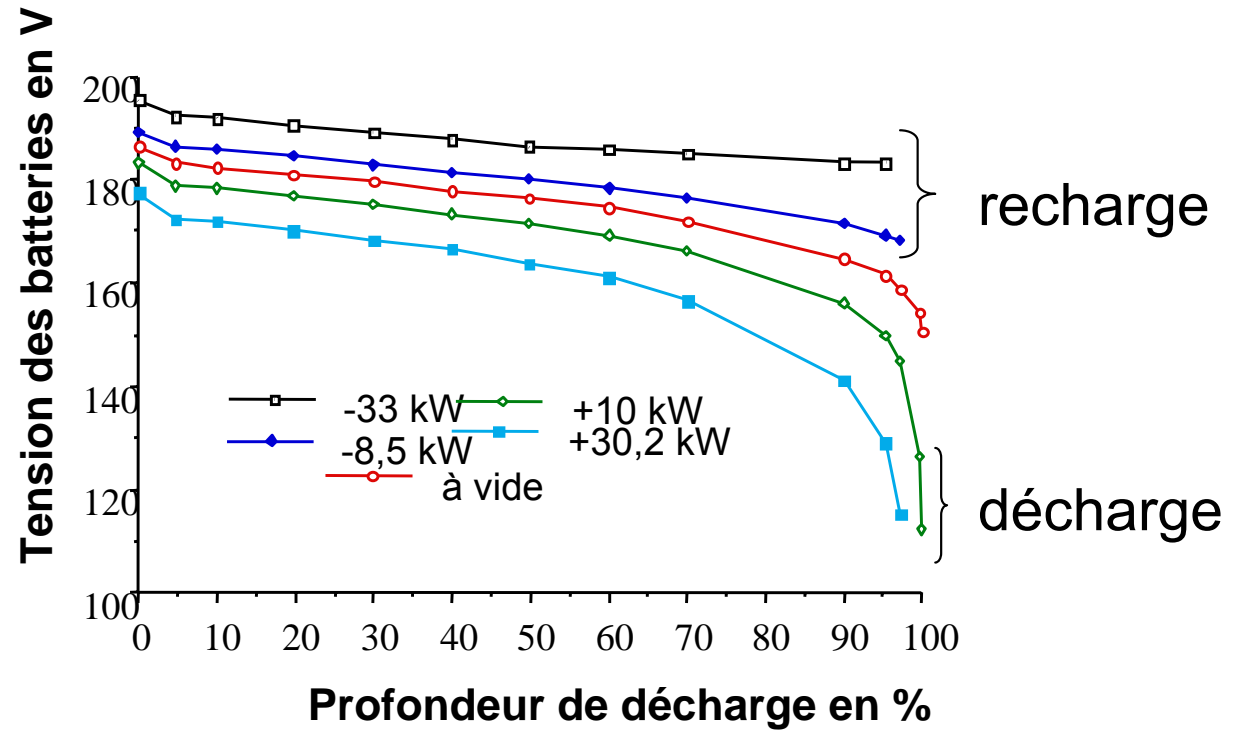
Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Modèle simple de la batterie



$$V1 - V2 = E(\text{SOC}, T) - R(\text{SOC}, T)I$$

Convention de signe :
 $I > 0$ décharge, $I < 0$ recharge



Formulation du problème d'optimisation globale

Systeme SE :

$$x(i+1) = x(i) - I(i).T_e$$

Critère à minimiser:

$$J = \sum_{i=0}^{N-1} D(C_{th}(i), k(i)).T_e$$

Contraintes :

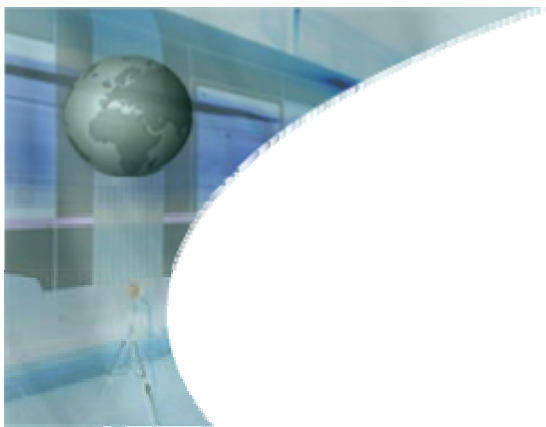
- rapport de boîte :
- Etat de charge

$$k(i) \in \{1, 2, \dots, p\}$$

$$x(0) = x(N) + \Delta Soc$$



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité



Deux familles d'algorithmes d'optimisation

Les heuristiques (et meta) :

- * Recuit simulé
- * Colonies de fourmis
- * Essaims particulaires
- * ...

Lentes

Beaucoup de réglage

Adapté aux Pb complexe avec peu de Connaissances sur le système à optimiser

Les méthodes « exactes » :

- * Calcul variationnel

Rapide

Formulation Analytique

- * Programmation dynamique

Compatible avec tout modèle du système

Ressource importantes (RAM)



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Calcul variationnel

Critère : $J' = \sum_{i=0}^{N-1} \{ D(C_{th}(i), k(i)).T_e + \lambda(i).(x(i+1) - x(i) + I(i).T_e) \}$

Consommation

Paramètres de Lagrange

Système

Condition d'optimalité : $\forall i \in [1..N], \forall k(i) \in [1..P]$

$$\frac{\partial J'}{\partial \lambda(i)} = 0 \Leftrightarrow x(i+1) - x(i) - \eta_F I(C_{th}(i), k(i)).T_e = 0$$

$$\frac{\partial J'}{\partial x(i)} = 0 \Leftrightarrow \lambda(i-1) - \lambda(i) = 0 \Leftrightarrow \lambda(i) = \lambda(0)$$

$\lambda(i)$ constant $\forall i \in [1..N]$

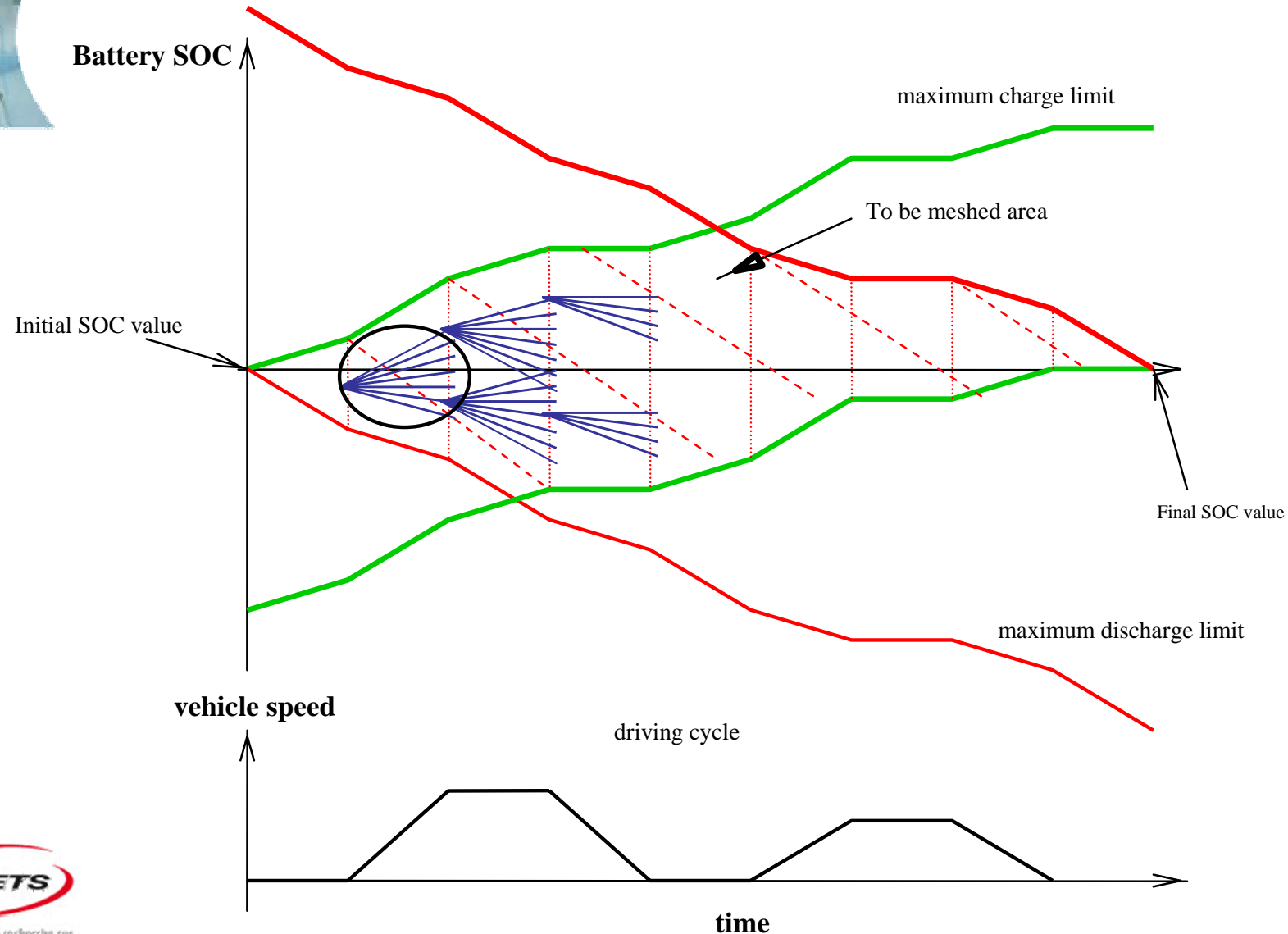
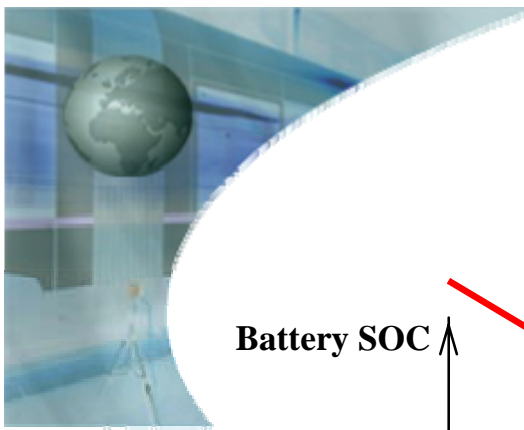
$$\frac{\partial J'}{\partial C_{th}(i)} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial D(C_{th}(i), k(i))}{\partial C_{th}(i)} - \lambda(i). \frac{\partial I(C_{th}(i), k(i))}{\partial C_{th}(i)} = 0$$

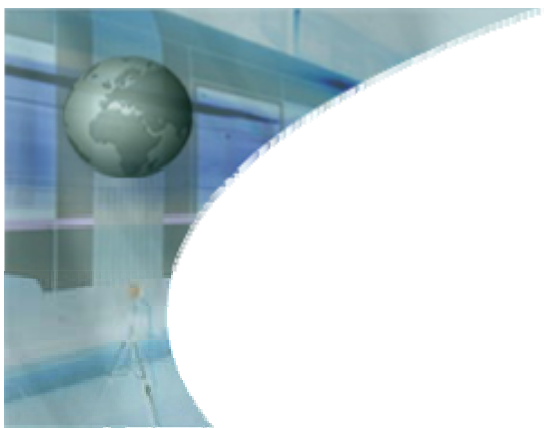
$C_{th}(i)$ Optimum

$$\frac{\partial^2 J'}{\partial C_{th}(i)^2} \geq 0 \Leftrightarrow \frac{\partial^2 D(C_{th}(i), k(i))}{\partial C_{th}(i)^2} - \lambda(i). \eta_F \frac{\partial^2 I(C_{th}(i), k(i))}{\partial C_{th}(i)^2} \geq 0$$

Programmation dynamique

Maillage de l'espace état de charge batterie.

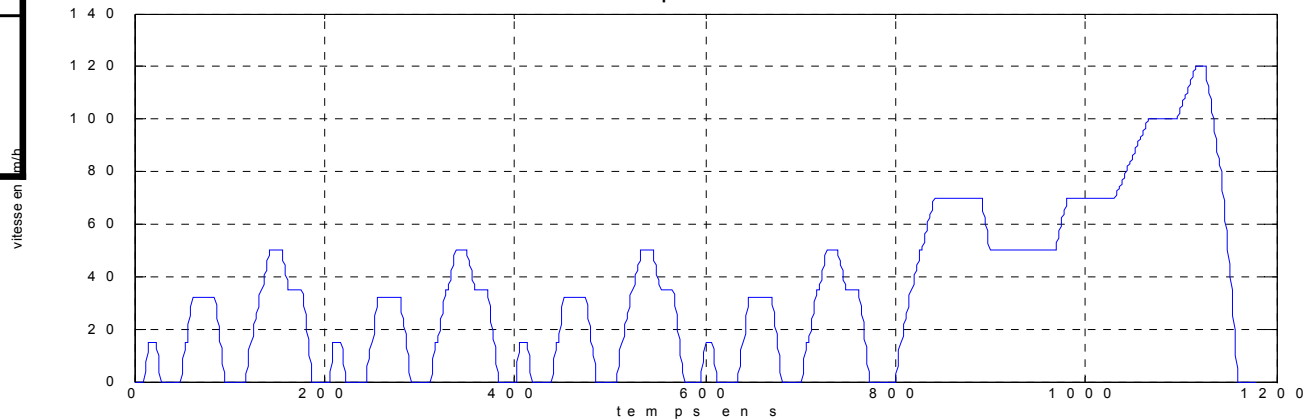
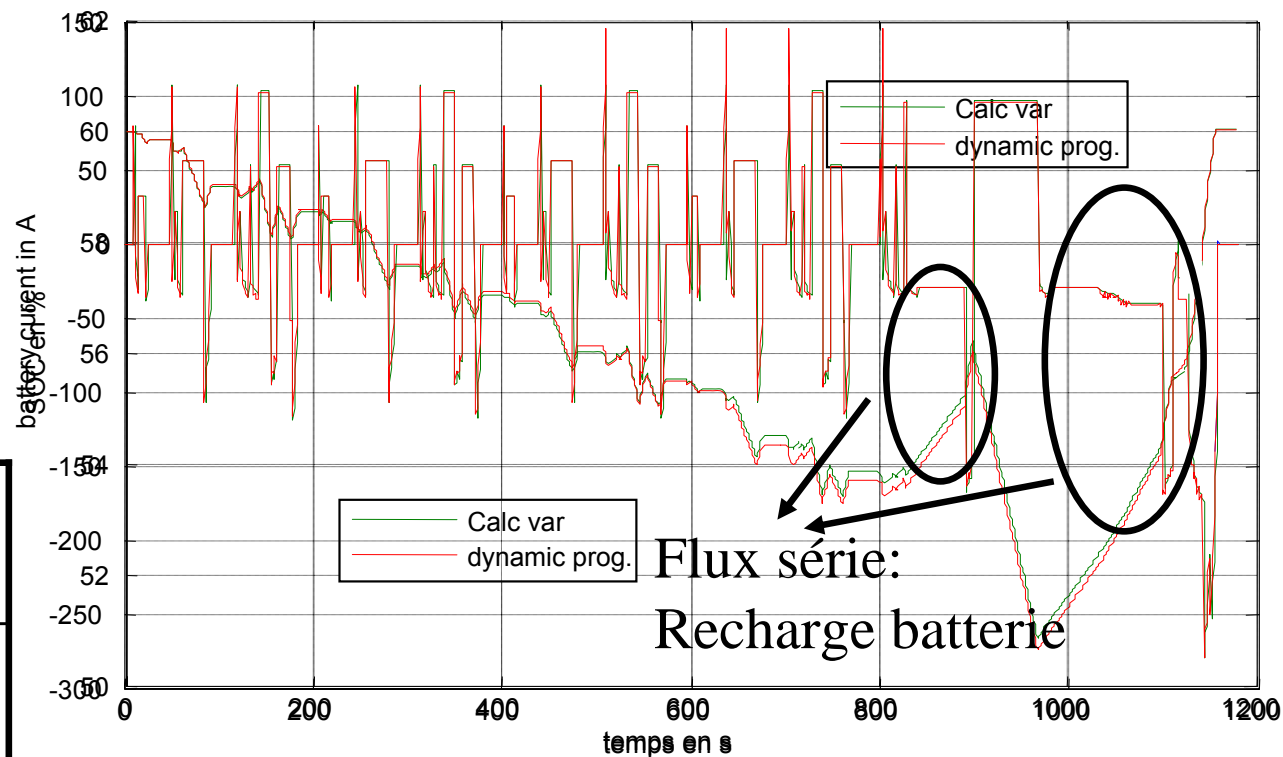




Comparison Programmation dynamique Et Calcul variationnel

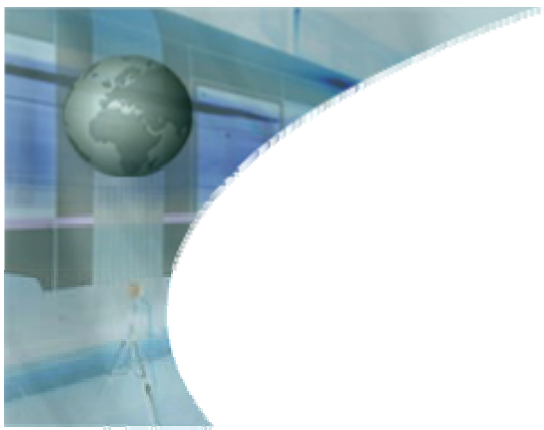
architecture parallele
2 Embrayages :
Moteur Diesel 54 kW,
Moteur électrique 15 kW

	Prog. dyn.	Calc Var
CO₂ (en g)	273,7	273,2
Cons. l/100 km	2,994	2,998



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Dimensionnement avec ou sans DSZ du MT



Deux options pour l'hybridation
d'un véhicule de référence



Sans downsizing du MT

Avec downsizing du MT



- poids

- prix

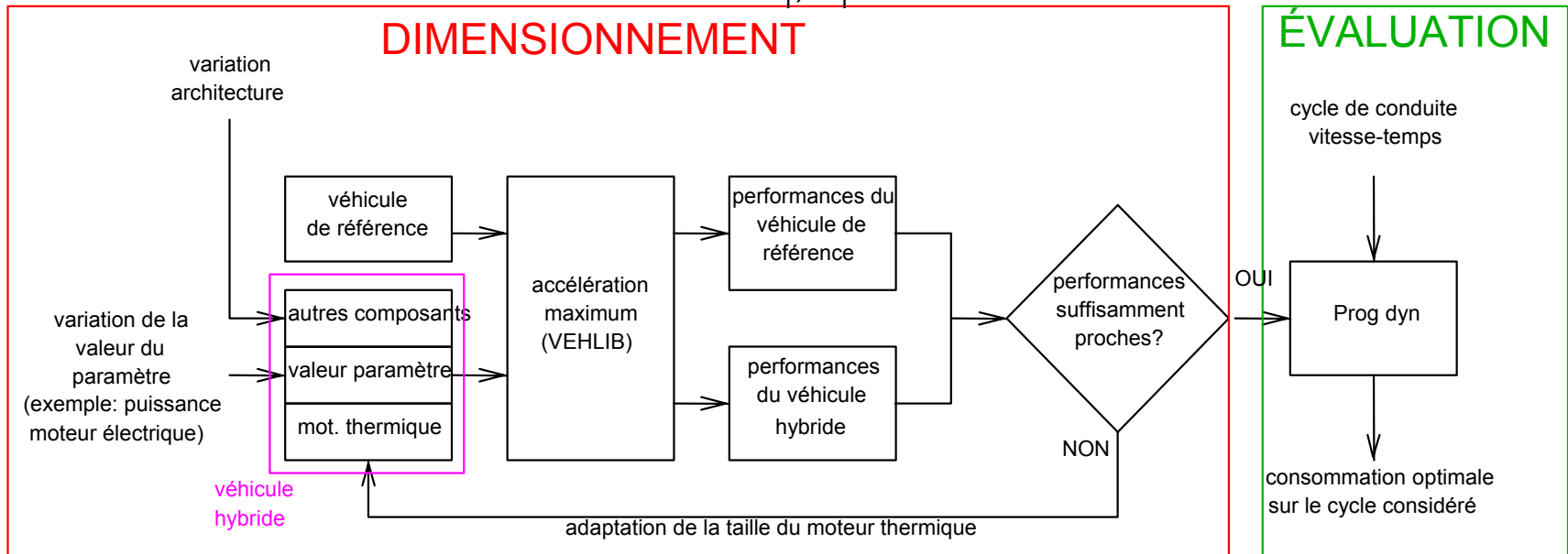
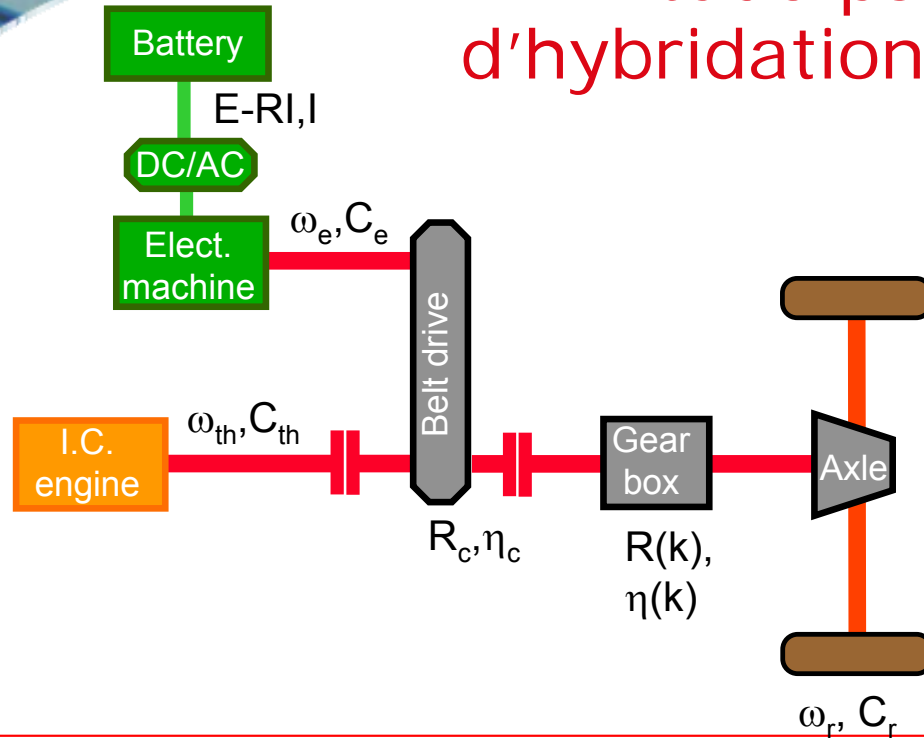
- Performances dynamiques
Batterie chargée

- Performances dynamiques
Batterie déchargée



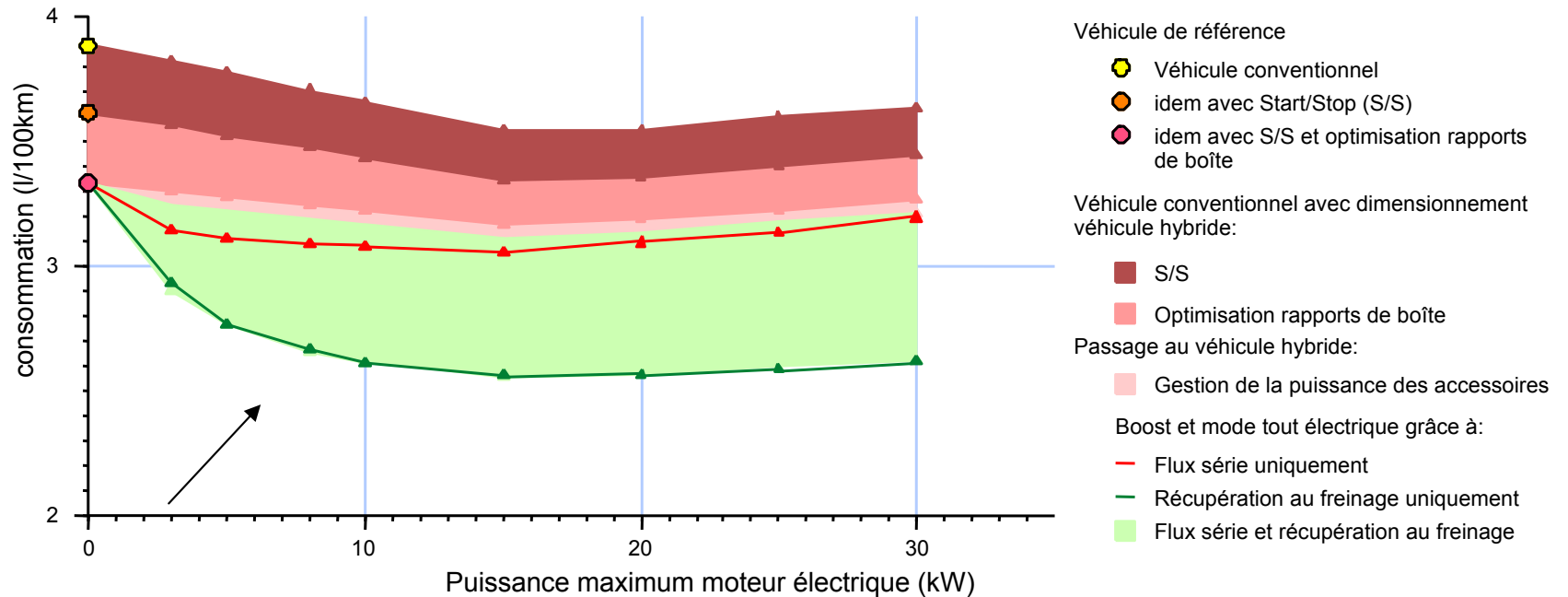
Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Etude paramétrique sur le taux d'hybridation d'un hybride parallèle



Évolution des gains potentiels en fonction de la puissance du moteur électrique

Variation de la puissance du moteur électrique - 2 embrayages - NEDC à chaud



• À partir de **10-15 kW** de puissance maximum de ME, la consommation est presque minimale (équilibre entre la masse supplémentaire, la quantité de récupération au freinage, et le downsizing du moteur thermique;

• La récupération au freinage est bien plus intéressante que le flux série.

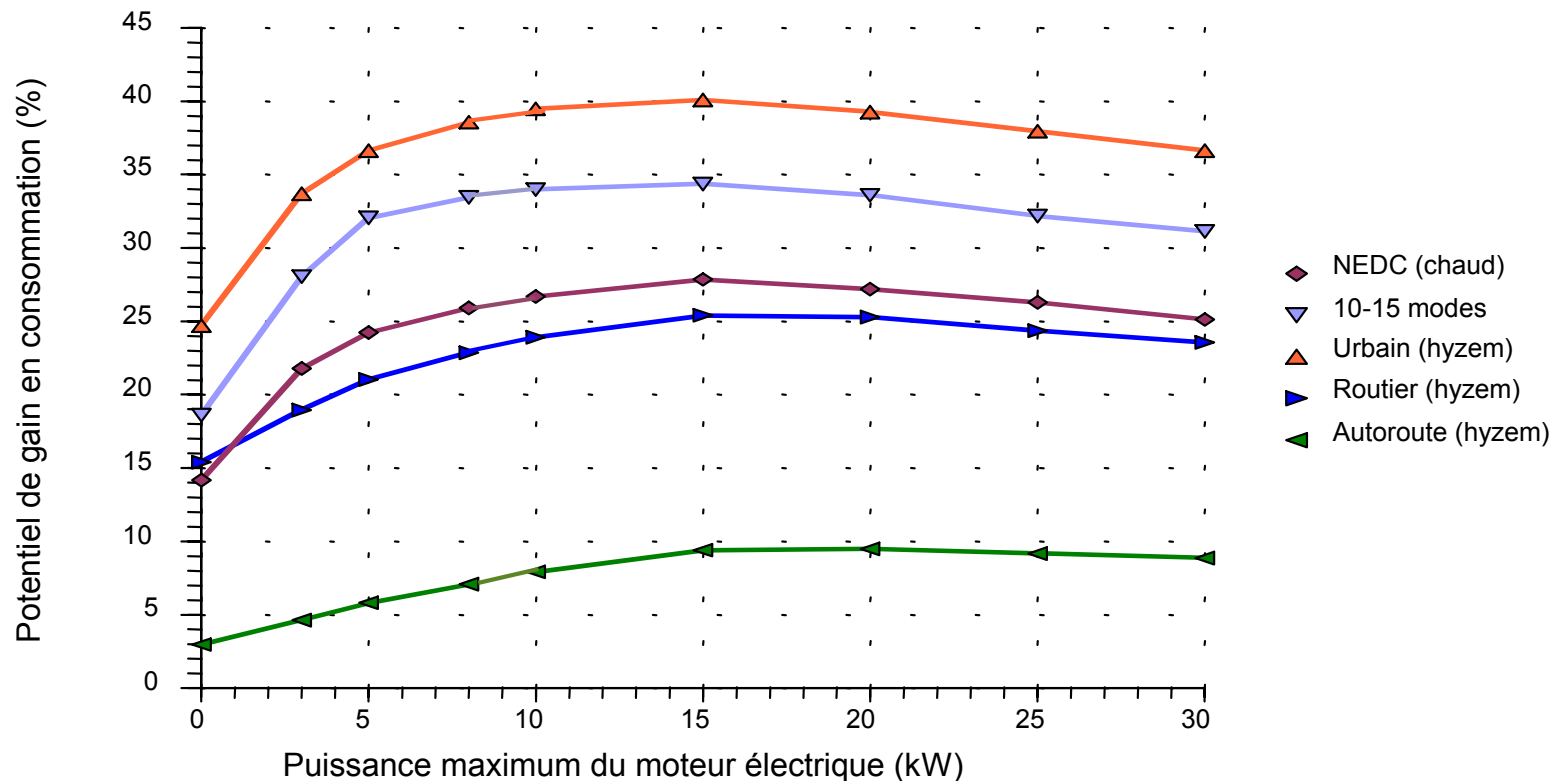


Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité



Gains potentiels de consommation par rapport au véhicule de référence (%)

Véhicule hybride deux embrayages – Clio hybridée

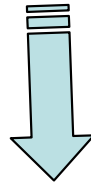


- Le gain en consommation est plus important **sur cycle urbain ou normalisé.**
- 15 kW permet d'atteindre le **maximum de potentiel de consommation** sur l'ensemble des cycles.

Gestion de l'énergie en ligne



Les deux méthodes d'optimisation globale précédentes supposent connu le cycle de vitesse.
=> Méthodes limitées à la simulation hors ligne



Adaptation en ligne :

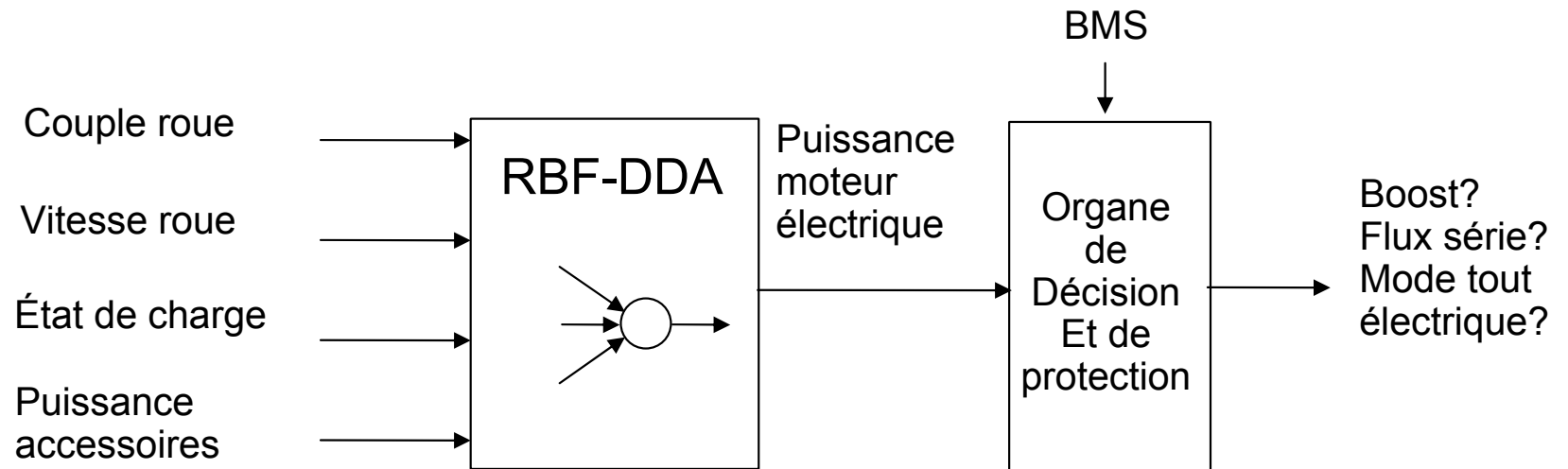
- Approche fonctionnelle avec interprétation experte des résultats de l'optimisation globale
- Approche par réseaux de neurone
- Lambda contrôle



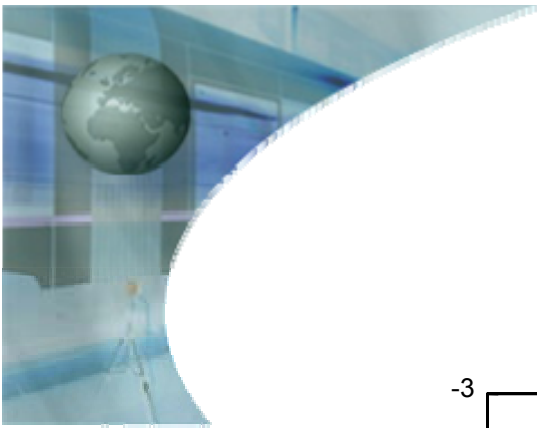
Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Utilisation d'un réseau « Radial Basis Functions – Dynamic Decay Adjustment »:

- **Grandeur de sortie:** puissance demandée au moteur électrique.



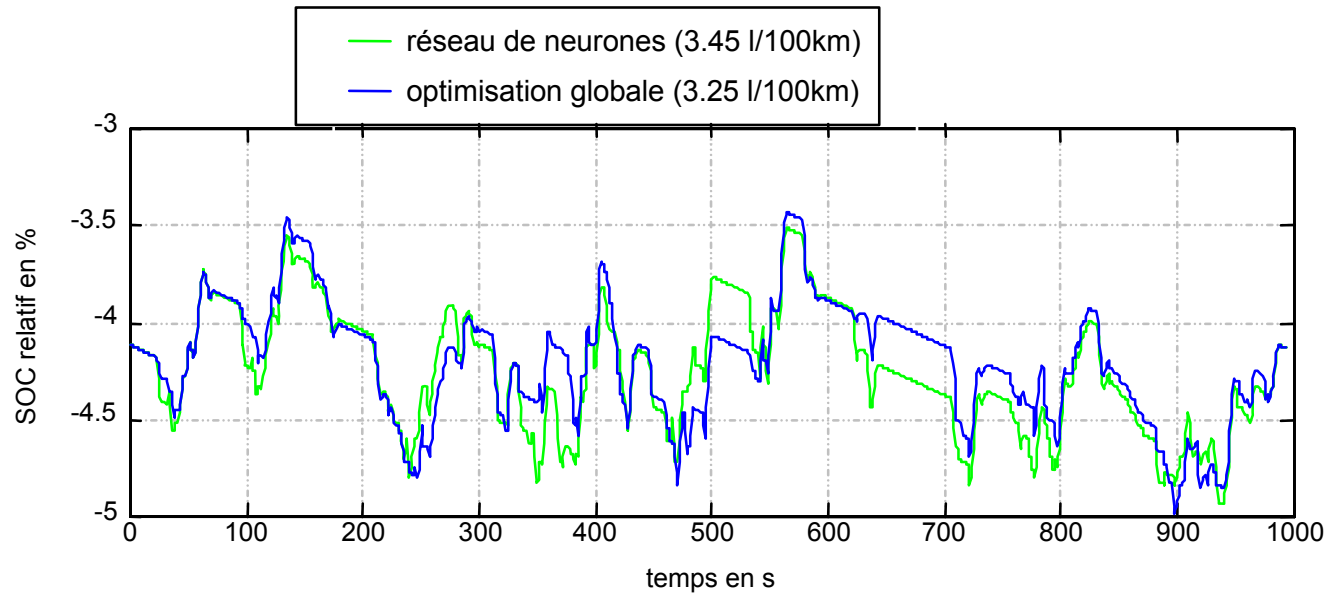
- L'apprentissage est réalisé sur un grand nombre de cycles d'usage réel HYZEM.



Effet du passage aux RNs

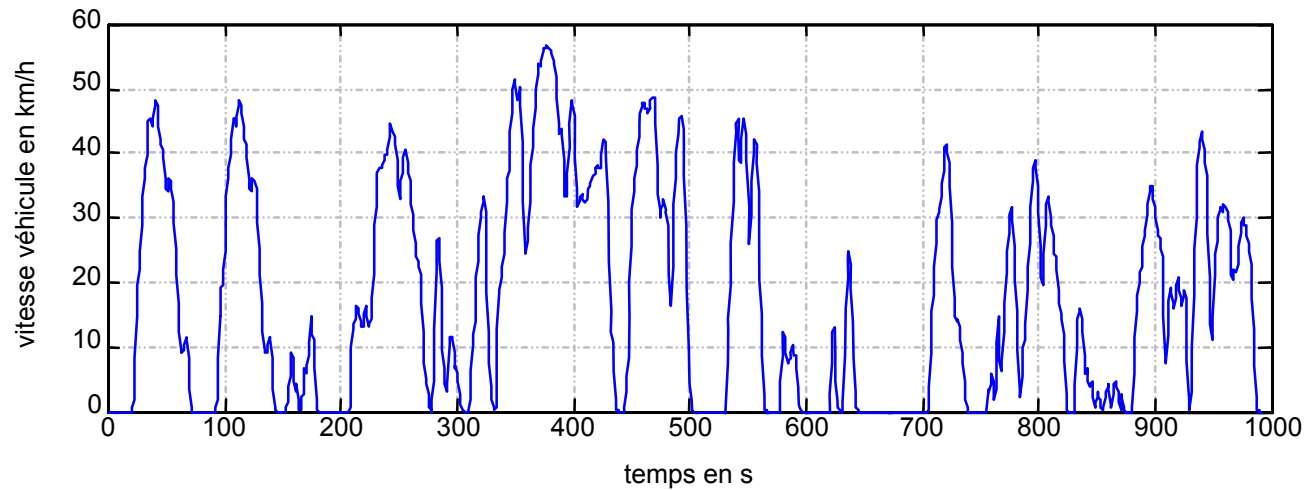
Comparaison courbes d'état de charge et conso.

Cas d'un hybride diesel à 2 embrayages



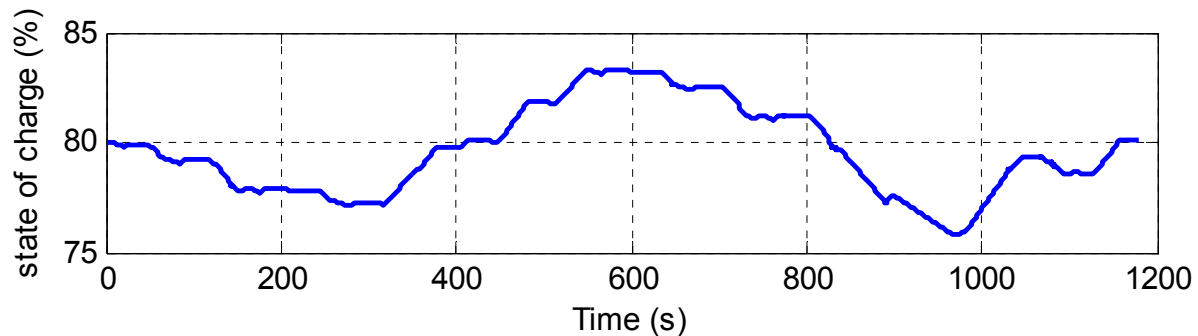
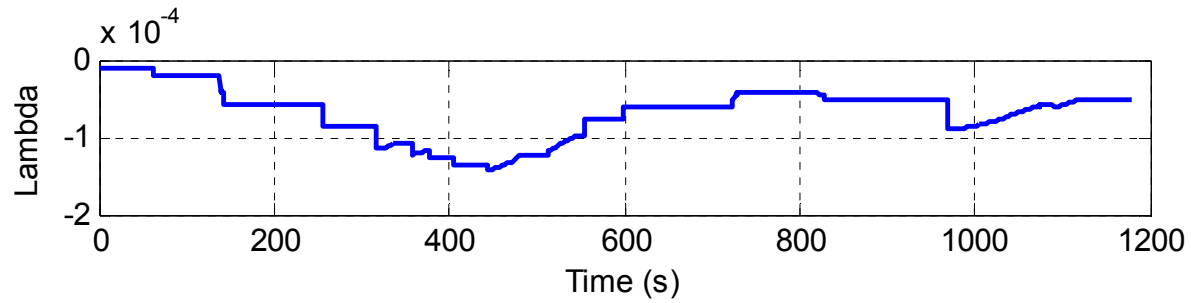
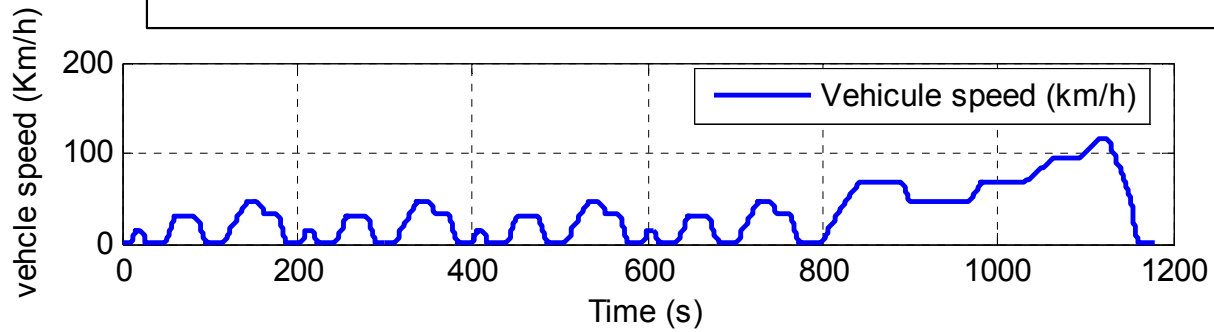
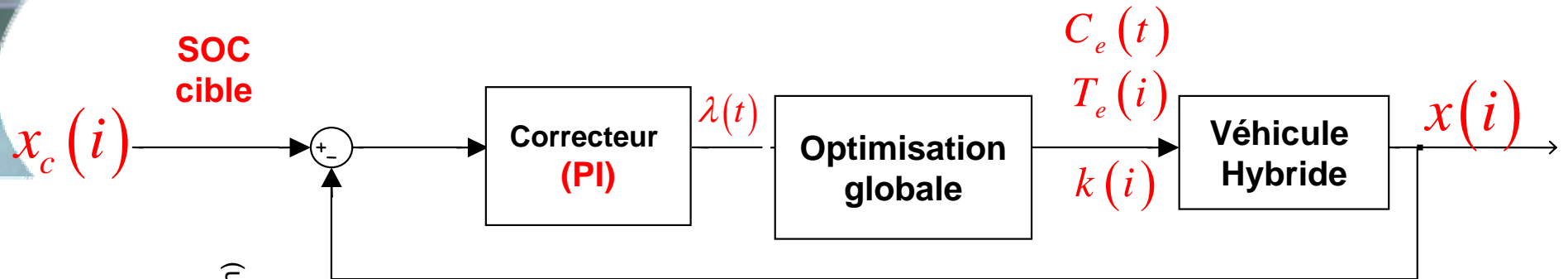
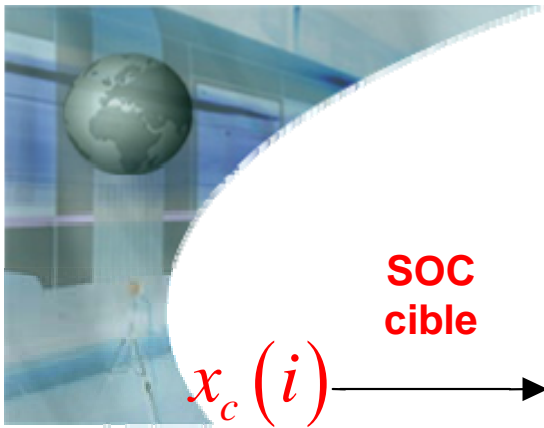
3.25
I/100km

3.45
I/100km
(6%)

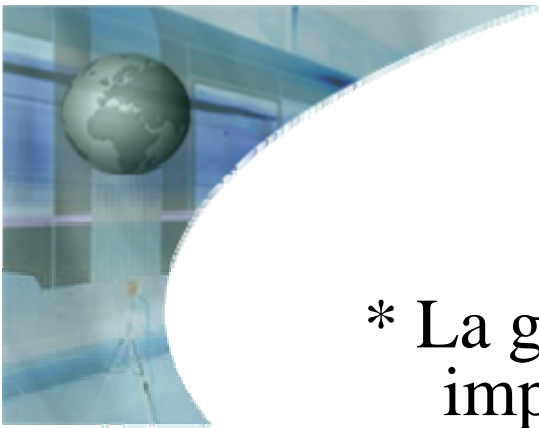


Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Le Lambda-contrôle (S. Delprat, S. Kermani, LAMIH)



Conclusions et perspectives



- * La gestion de l'énergie est un problème de première importance dans les VHs
- * Les deux méthodes d'optimisation globale sont équivalentes et utiles pour :
 - Comparaison objective selon un critère
 - Etude paramétriques : indications sur le dimensionnement des composants.
 - Elaboration de lois expertes pour implantation
- * Intégrer d'autres contraintes (ex : utilisation limitée de la batterie pour raison d'échauffement et durée de vie)
- * Prendre en compte un critère pondéré conso/pollu .. (Emission de NOx pour le diesel par exemple)



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité