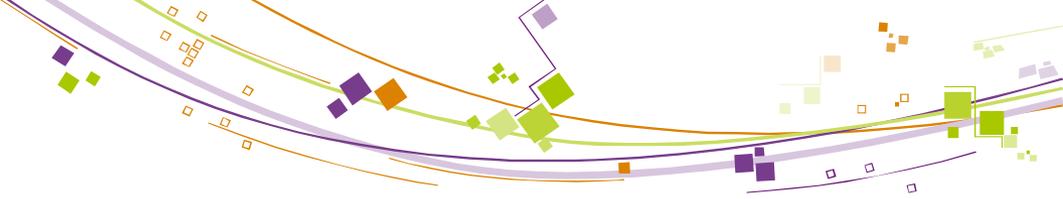


Du moteur thermique au véhicule électrique : quels enjeux pour la recherche ?

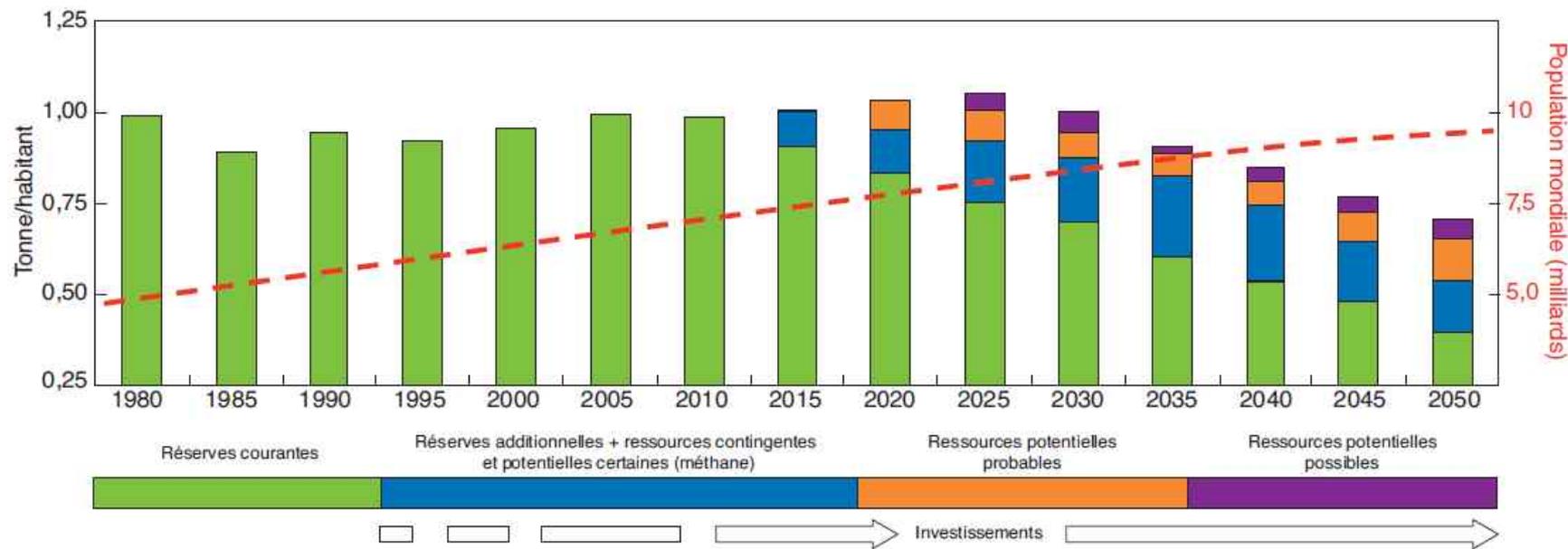
Philippe Ungerer
IFP, Directeur expert



Contexte

- demande croissante en énergie (population mondiale, pays émergents)
- exigence croissante de préservation de l'environnement local (particules, oxydes d'azote, bruit) et global (gaz à effet de serre, ressources renouvelables)
- caractère fini des ressources en combustibles fossiles, difficiles à substituer pour les transports

disponibilité moyenne en pétrole +gaz par habitant sur la planète : projection jusqu'en 2050



source : IFP, Entretiens Panorama 2010 (Y. Mathieu)

il est indispensable d'augmenter le rendement des motorisations et de diversifier progressivement les sources d'énergie



Voies d'amélioration de l'efficacité énergétique et de la diversification des sources d'énergie (1)

- hybride thermique/électrique classique (non rechargeable)
 - nombreuses configurations possibles (micro, mild, full hybrid)
 - **utilise le moteur à combustion dans de meilleures conditions de rendement**
 - récupération d'énergie efficace (freinage, descentes,..)
 - autonomie normale sans surpoids majeur
 - motorisation complexe mais surcoût modéré
 - le carburant reste la seule source d'énergie → émissions de CO2
- véhicule électrique :
 - préservation de l'environnement local (émissions, bruit)
 - **ne supprime pas les émissions de CO2 (production d'électricité)**
 - **autonomie limitée à 200-300 km par les performances des batteries**
 - densité énergétique <200 Wh/kg (carburants liquides >10000 Wh/kg)
 - vitesse de charge limitée → pénalise l'usage extra-urbain
 - coût des batteries et des infrastructures de recharge

Réalisations IFP dans le domaine des véhicules hybrides

■ Hybride Diesel HDI PSA

- Contribution : optimisation et calibration moteur
- Projet 2006-2007



■ Full Hybrid Gaz Naturel

- Base Toyota Prius
- Partenaires : GDF Suez
- **76 g CO₂/km**
- Projet 2006



■ Micro Hybrid Gaz Naturel (<80 g CO₂/km)

- Base Smart for two
- Partenaires : GDF Suez, Valeo, INRETS, ADEME
- Système Star + X de Valeo
- Projet 2006-2008





Voies d'amélioration de l'efficacité énergétique et de la diversification des sources d'énergie (2)

■ véhicule hybride rechargeable

- avantages du moteur thermique sur route (autonomie, coût)
- avantages de la motorisation électrique en milieu urbain (récupération d'énergie, faibles émissions locales, bruit)
- complexité de la motorisation (gestion de l'énergie, sécurité,...)
- permet une évolution progressive des infrastructures et de l'industrie

■ optimisation des moteurs thermiques et des carburants

- motorisations thermiques
 - **adaptations aux véhicules hybrides : fonctionnement en régime spécifique, réduction du nombre de cylindres, transitoires**
 - **évolution des normes sur les émissions (Euro 6) → exigences quasi identiques pour diesel et essence à partir de 2013**
- carburants alternatifs pour réduire les émissions de CO2 :
 - **plus riches en hydrogène (gaz naturel, GPL)**
 - **biocarburants (biodiesel, bioéthanol) de 2eme génération obtenus à partir de biomasse non alimentaire (bois, taillis, paille, déchets agricoles)**

Exemple de projet en cours

- **Projet VEL ROUE:**
Véhicule Utilitaire Léger hybride
bi mode
- Fonds de démonstrateur ADEME
(Grenelle de l'Environnement)
- Pilote : Renault
- Partenaires : Michelin et IFP
- 2009-2011

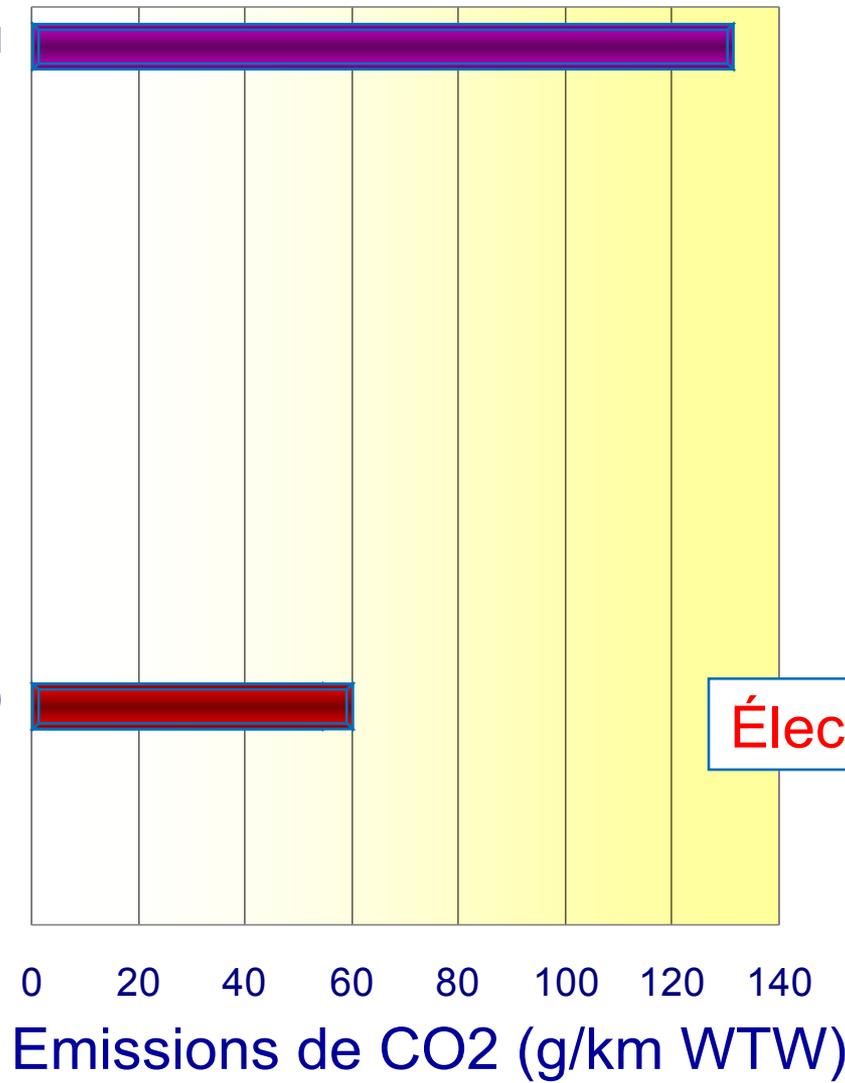


Émissions de CO2 du puits à la roue*

moteur thermique diesel

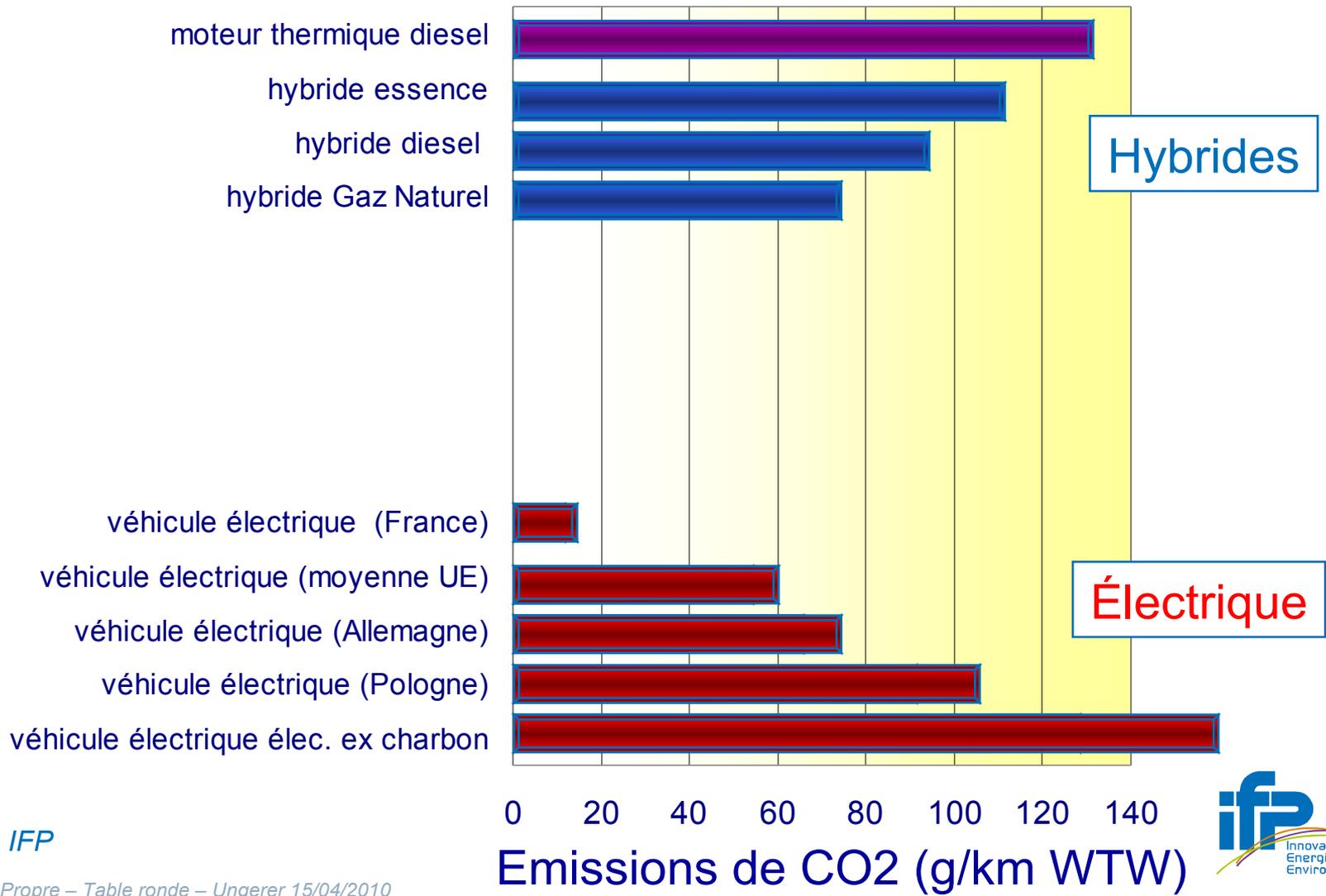
- * Ces émissions comptabilisent :
 - le CO2 émis par le véhicule
 - le CO2 émis pour fournir le carburant (raffinage,..)
 - le CO2 émis pour produire l'électricité (centrales thermiques)

véhicule électrique (moyenne UE)

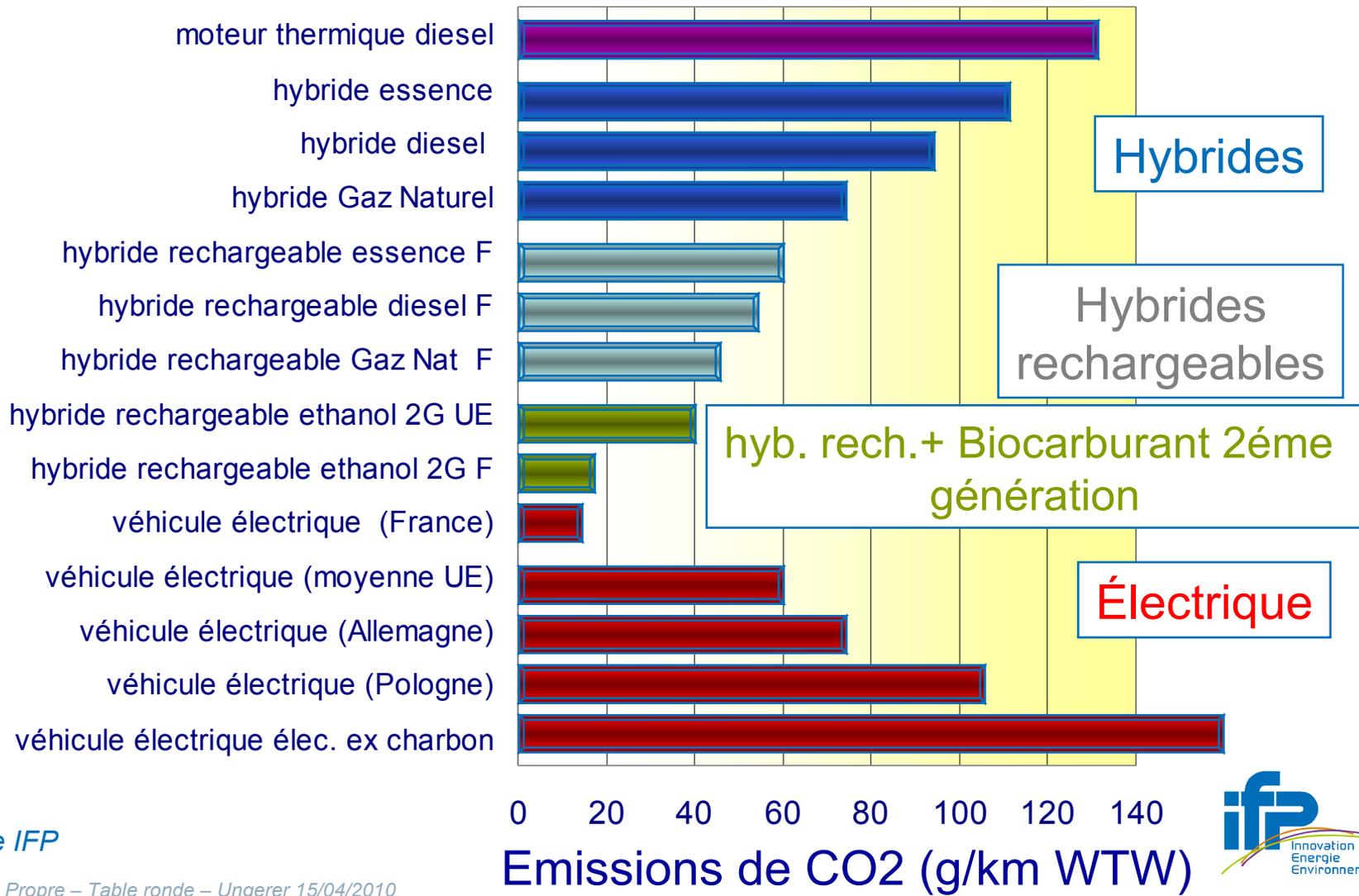


Électrique

Émissions de CO2 du puits à la roue



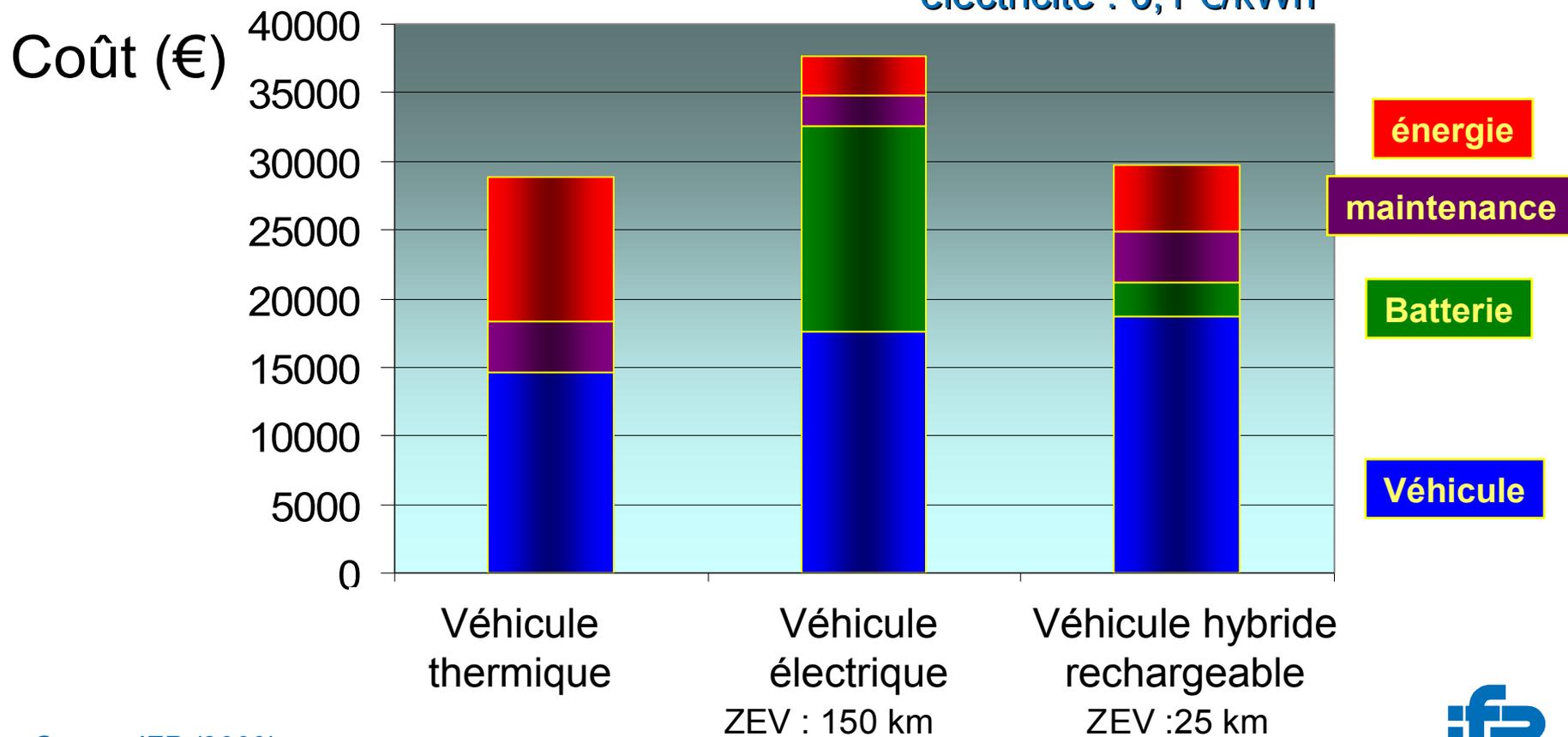
Émissions de CO2 du puits à la roue



Analyse des coûts sur la durée de vie du véhicule :aujourd'hui

Véhicule urbain 1100 kg hors batterie
200 000 km

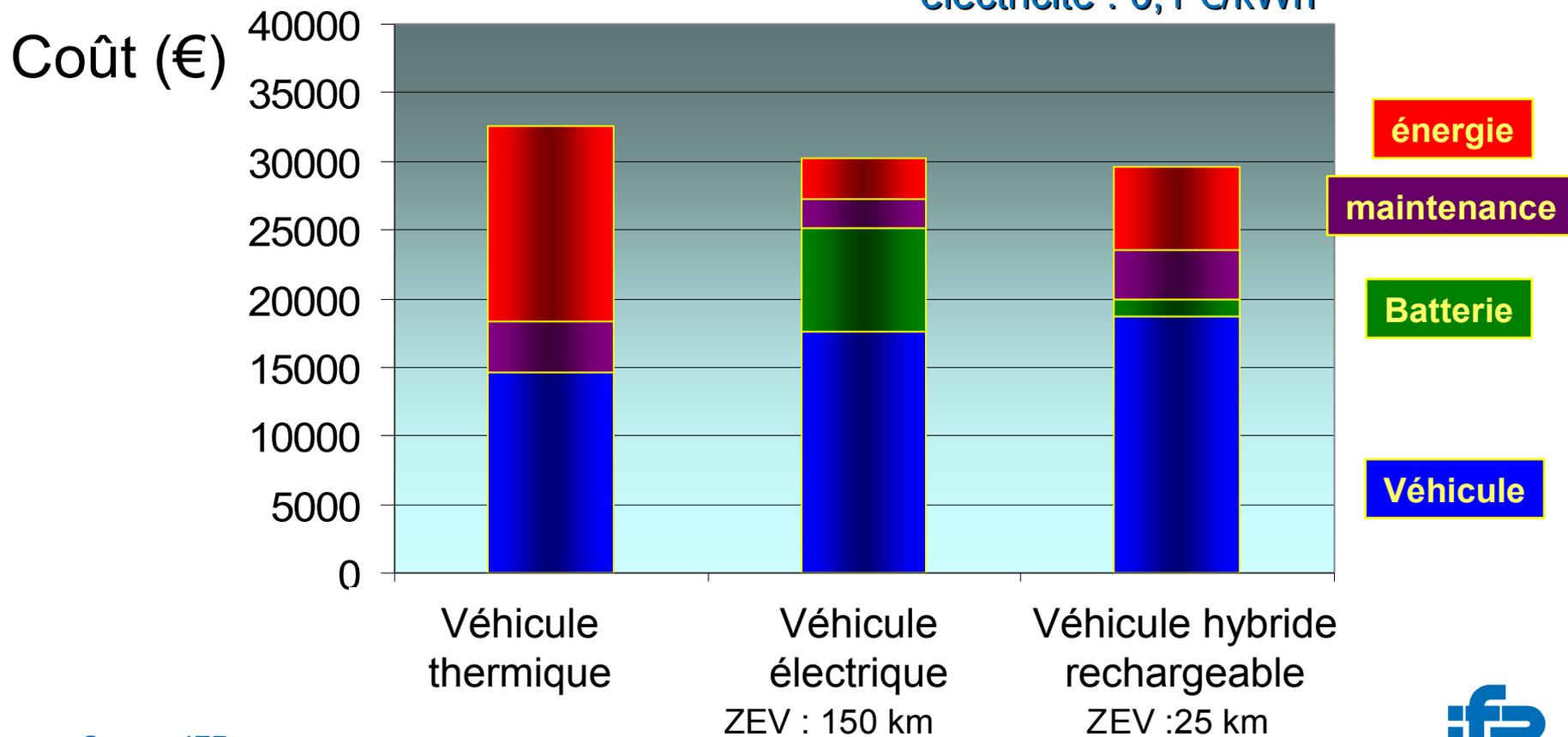
Batterie : 600 €/kWh
carburant : 1,1 €/l
électricité : 0,1 €/kWh



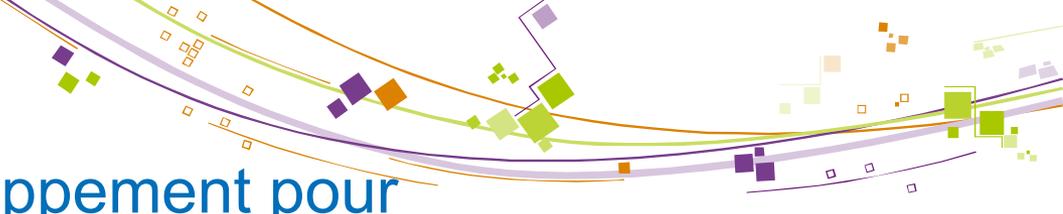
Analyse des coûts sur la durée de vie du véhicule : demain

Véhicule urbain 1100 kg hors batterie
200 000 km

Batterie : 300 €/kWh
carburant : 1,5 €/l
électricité : 0,1 €/kWh



Source IFP



Enjeux de recherche-développement pour l'électrification progressive des véhicules (1)

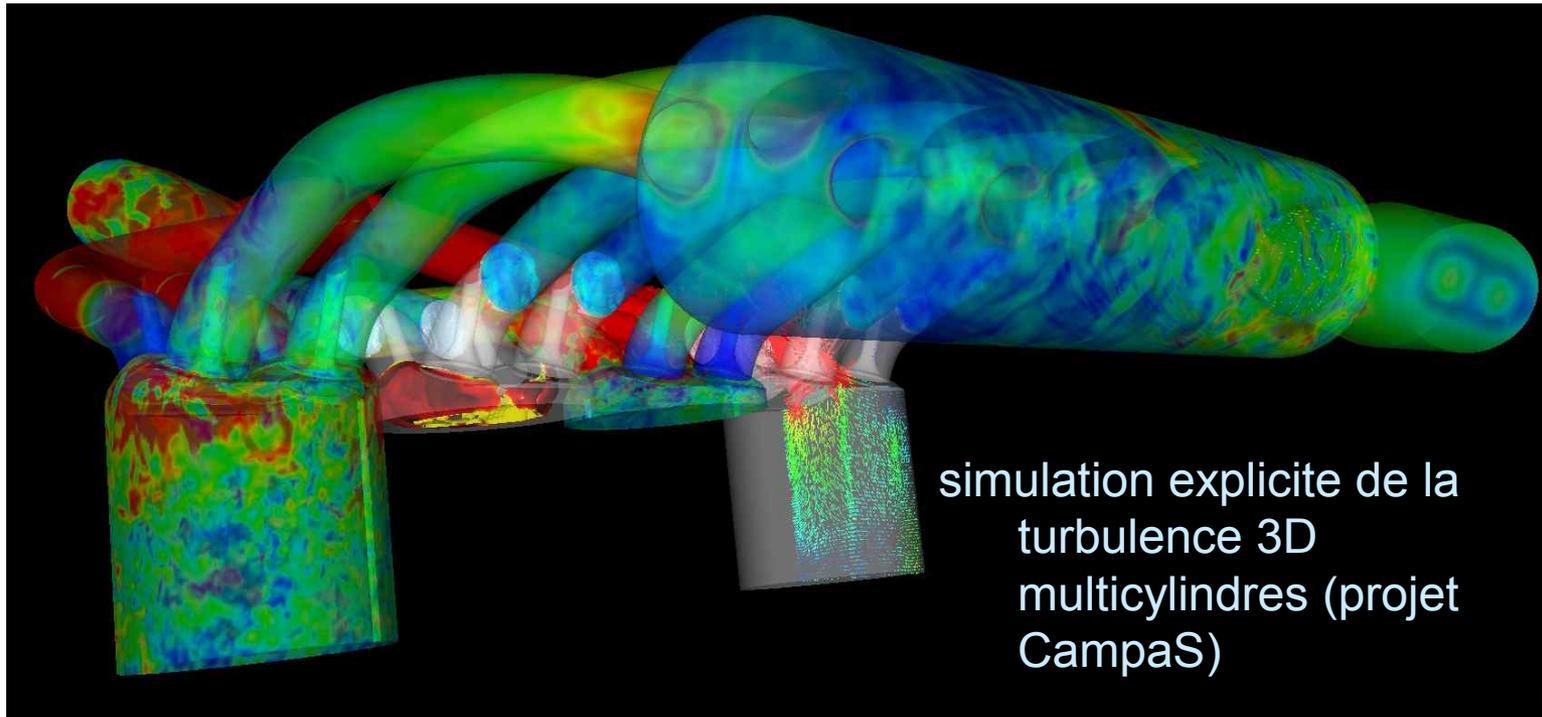
- optimisation des moteurs thermiques
 - simulation numérique avancée : combustion turbulente, vibrations, instabilités
 - améliorations technologiques : distribution variable, récupération de l'énergie thermique,...
- technologie des batteries et supercapacités
 - filières actuelles (Ni-MH, Li-ion)
 - réductions de coût (ex. électrodes LiFePO₄)
 - sécurité (électrolytes gélifiés, compréhension du vieillissement)
 - capteurs de charge et de santé des batteries
 - filières en projet (nouvelles électrodes pour Li-ion, Zn-air, Li-air,...)
→ amélioration de la densité d'énergie ?
 - infrastructures de recharge ou d'échange standard
 - supercapacités (densité de puissance), volants d'inertie,...

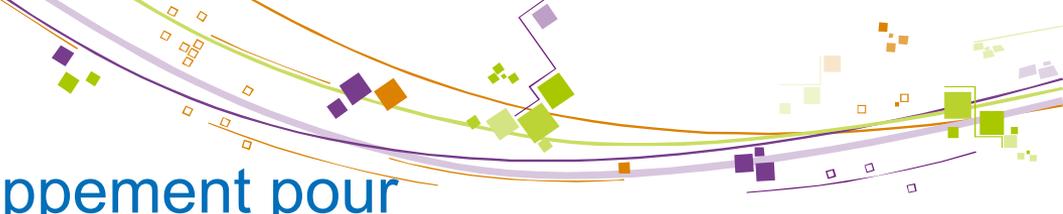
Simulation LES de la combustion moteur

(collaboration CERFACS, EM2C-CNRS, CINES, PSA, IFP)

■ Enjeux :

- origine des variations de pression entre cycles (jusqu'à 30%) et de leur incidence sur les émissions (NOx, particules)
- compréhension des instabilités, de l'origine des vibrations et du bruit
- développement accéléré de moteurs nouveaux (ex. 3 cylindres, ...)





Enjeux de recherche-développement pour l'électrification progressive des véhicules (2)

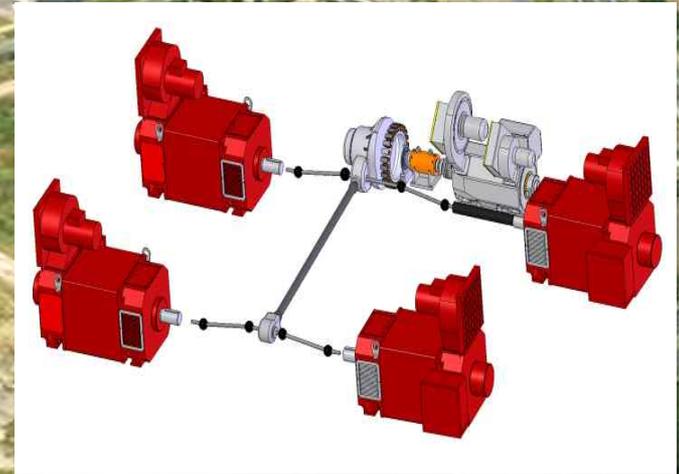
- technologie des moteurs électriques et de l'électronique de puissance
 - nouvelles technologies (ex. moteur à double excitation)
 - nouveaux matériaux (électronique, aimants, thermoélectricité,..)
- modélisation système
 - gestion de l'énergie à bord
 - calibration
 - sécurité
- évaluation du bilan environnemental du véhicule (hybride) électrique " du puits à la roue"
 - quel usage pour une base de comparaison équitable ?
 - fabrication/recyclage des nouveaux composants (ex. batteries)
- réalisation de véhicules démonstrateurs + validation
 - plateforme Moveo-DEGE

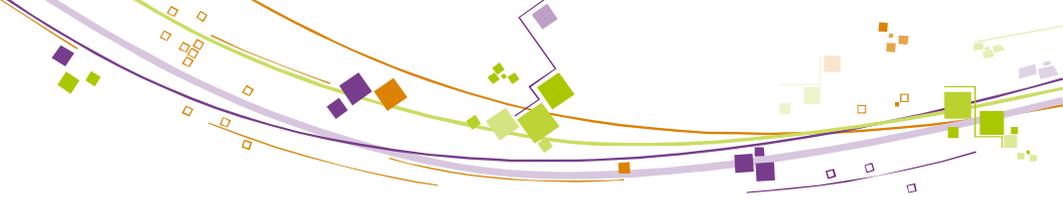
Le projet de plate forme de R&D Mov'eo DEGE sur le site de Versailles Satory

Une plate forme de R&D pour le développement des **véhicules hybrides et électriques** portée par le pôle de compétitivité MOV'EO

- Partenaires
 - IFP (pilote)
 - INRETS
 - CETIM
 - UVSQ
- Industriels associés
 - RENAULT
 - PSA
 - VALEO
 - D2t
- Centre d'essais
 - banc véhicules
 - banc chaîne de traction
 - batteries
 - machines électriques

mov'eo
pôle de compétitivité





Conclusions

- L'électrification des motorisations est une voie majeure d'amélioration de l'efficacité énergétique
- Elle permet l'emploi de carburants à faibles émissions de CO₂ (Gaz naturel, biocarburants 2eGén.) et de moteurs thermiques optimisés
- Le véhicule électrique est adapté à l'usage urbain mais des ruptures technologiques (ex. batteries) sont nécessaires pour l'extra-urbain
- Les motorisations hybrides, en particulier rechargeables, présentent de bons bilans environnementaux et économiques
- Enjeux de R&D importants