

**Institut français
des sciences et technologies
des transports, de l'aménagement
et des réseaux**

Energies, applications aux véhicules et hybridation

Emmanuel Vinot (IFSTTAR-AME-LTE)



IFSTTAR

Menu

- ★ Entrée : Force puissance et énergie
- ★ Plat : Pertes et rendements
- ★ Dessert : La gestion de l'énergie



Menu

- ★ Entrée : Force puissance et énergie
- ★ Plat : Pertes et rendements
- ★ Dessert : La gestion de l'énergie

★ Boissons :

- Véhicules
- Véhicules électriques
- Véhicules hybrides



Menu

★ Entrée : Force puissance et énergie

★ Plat : Pertes et rendements

★ Dessert : La gestion de l'énergie

★ Boissons :

➤ Véhicules

➤ Véhicules électriques

➤ Véhicules hybrides

★ Un café, l'addition et pas d'équations (pas trop)

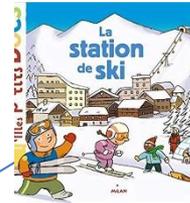


Force, puissance, énergie

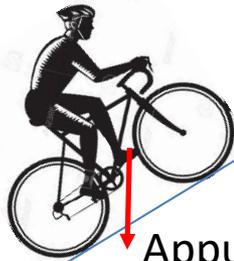
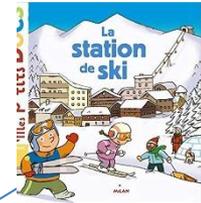
★ Exemple : Deux cyclistes montent l'alpe d'Huez



L'Alpe d'Huez



L'Alpe d'Huez

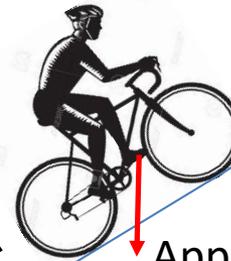


poids

Appui pédale



Le Bourg d'Oisans



poids

Appui pédale



Le Bourg d'Oisans

Force, puissance, énergie

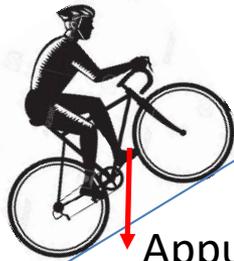
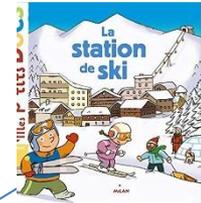
- ★ Exemple : Deux cyclistes montent l'alpe d'Huez
 - Cas 1 : Ils font du sur-place
 - Ils fournissent tous les deux la même force



L'Alpe d'Huez



L'Alpe d'Huez

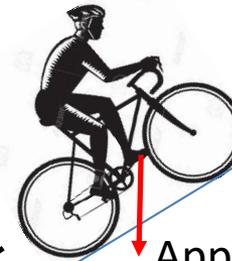


poids

Appui pédale



Le Bourg d'Oisans



poids

Appui pédale



Le Bourg d'Oisans

Force, puissance, énergie

★ Exemple : Deux cyclistes montent l'alpes d'Huez

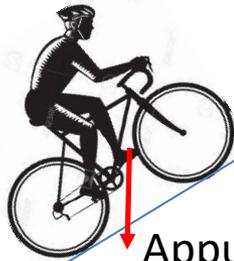
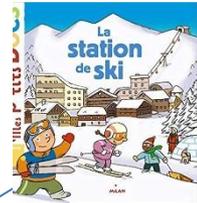
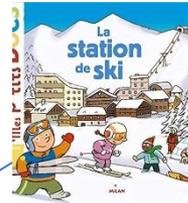
➤ Cas 1 : Ils font du sur-place

➤ Ils fournissent tous les deux la même force

$$F_{\text{Emmanuel}} = F_{\text{Romain}}$$

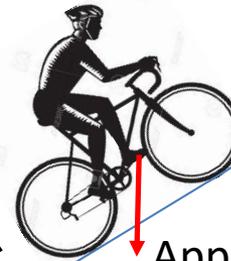
L'Alpe d'Huez

L'Alpe d'Huez



Appui pédale

poids



Appui pédale

poids



Le Bourg d'Oisans



Le Bourg d'Oisans

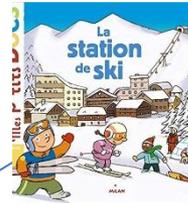
Force, puissance, énergie

★ Exemple : Deux cyclistes montent l'alpe d'Huez

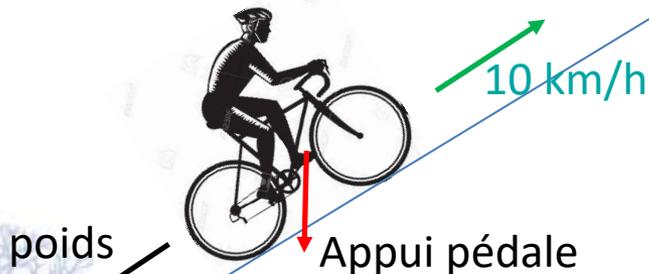
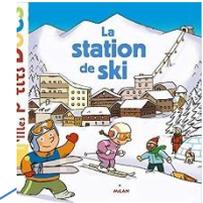
- Cas 2 : Ils avancent
- La force est toujours la même (sur le même développement)
- La puissance est la force fois la vitesse, plus grande pour le cycliste le plus rapide



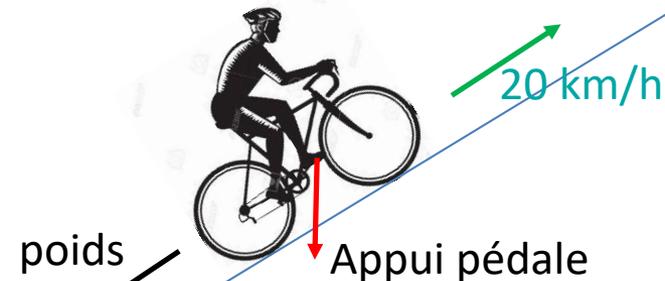
L'Alpe d'Huez



L'Alpe d'Huez



Le Bourg d'Oisans



Le Bourg d'Oisans

Force, puissance, énergie

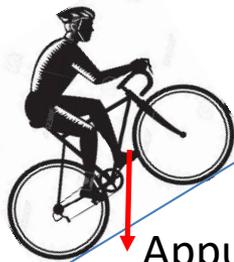
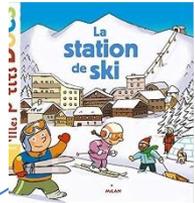
★ Exemple : Deux cyclistes montent l'alpes d'Huez

- Cas 2 : Ils avancent
- La force est toujours la même (sur le même développement)
- La puissance est la force fois la vitesse, plus grande pour le cycliste le plus rapide

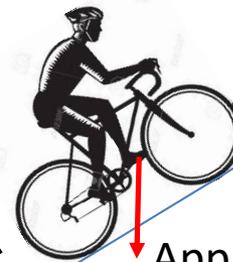
$$P_{\text{Emmanuel}} = 0,5P_{\text{Romain}}$$

L'Alpe d'Huez

L'Alpe d'Huez



10 km/h



20 km/h

poids

Appui pédale

poids

Appui pédale



Le Bourg d'Oisans



Le Bourg d'Oisans

Force, puissance, énergie

★ Exemple : Deux cyclistes montent l'Alpes d'Huez

- Cas 3 : Au sommet
- L'énergie dépensée est la puissance fois le temps
- Ils ont dépensé tous les deux la même énergie
- Ils ont mangé la même quantité de nourriture

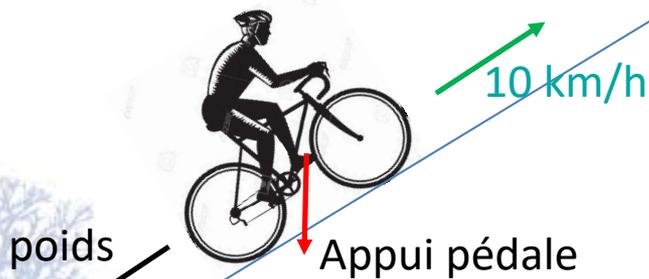
Temps de parcours :

1h10

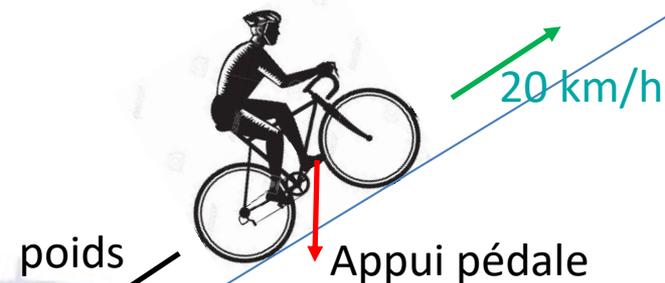


Temps de parcours :

35 min



Le Bourg d'Oisans



Le Bourg d'Oisans

Force, puissance, énergie

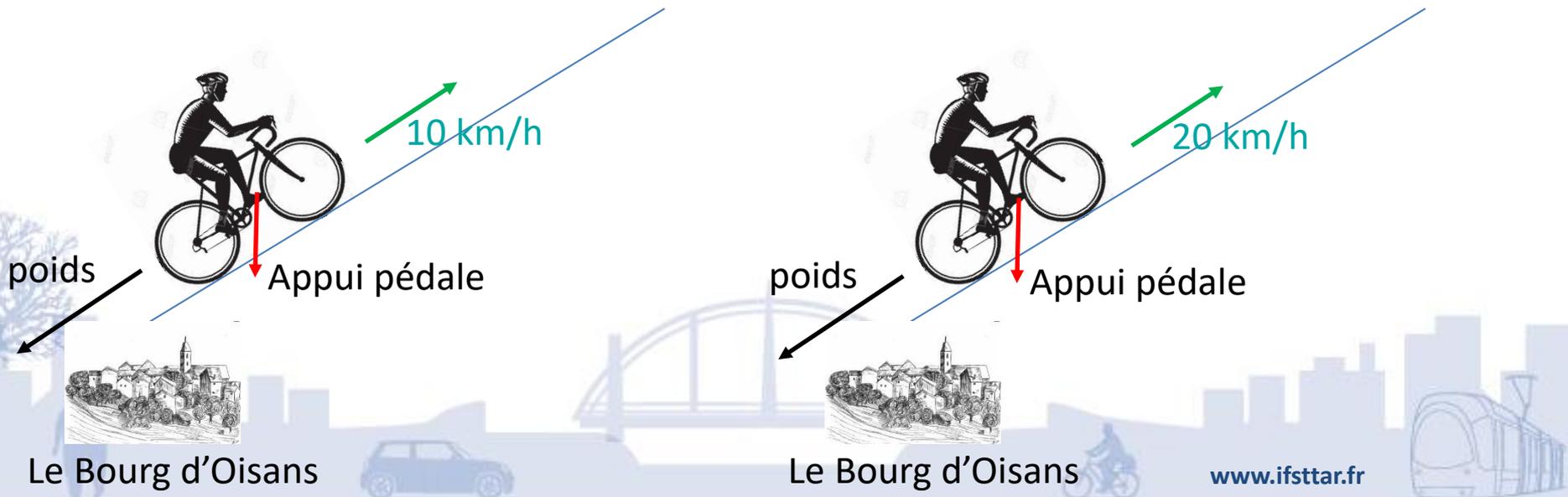
★ Exemple : Deux cyclistes montent l'Alpes d'Huez

- Cas 3 : Au sommet
- L'énergie dépensée est la puissance fois le temps
- Ils ont dépensé tous les deux la même énergie
- Ils ont mangé la même quantité de nourriture

Temps de parcours :
1h10

$$E_{\text{Emmanuel}} = E_{\text{Romain}}$$

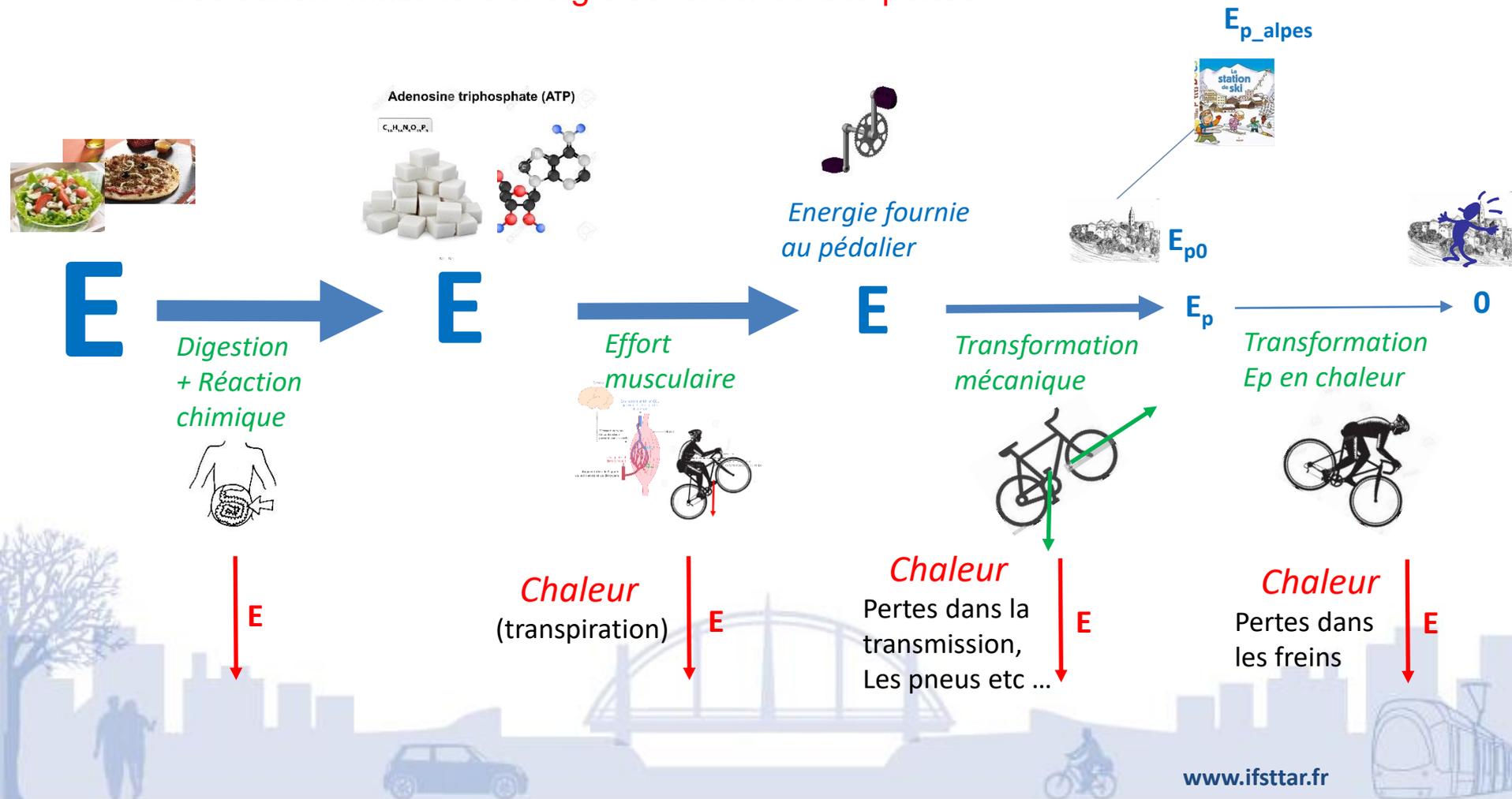
Temps de parcours :
35 min



Force, puissance, énergie

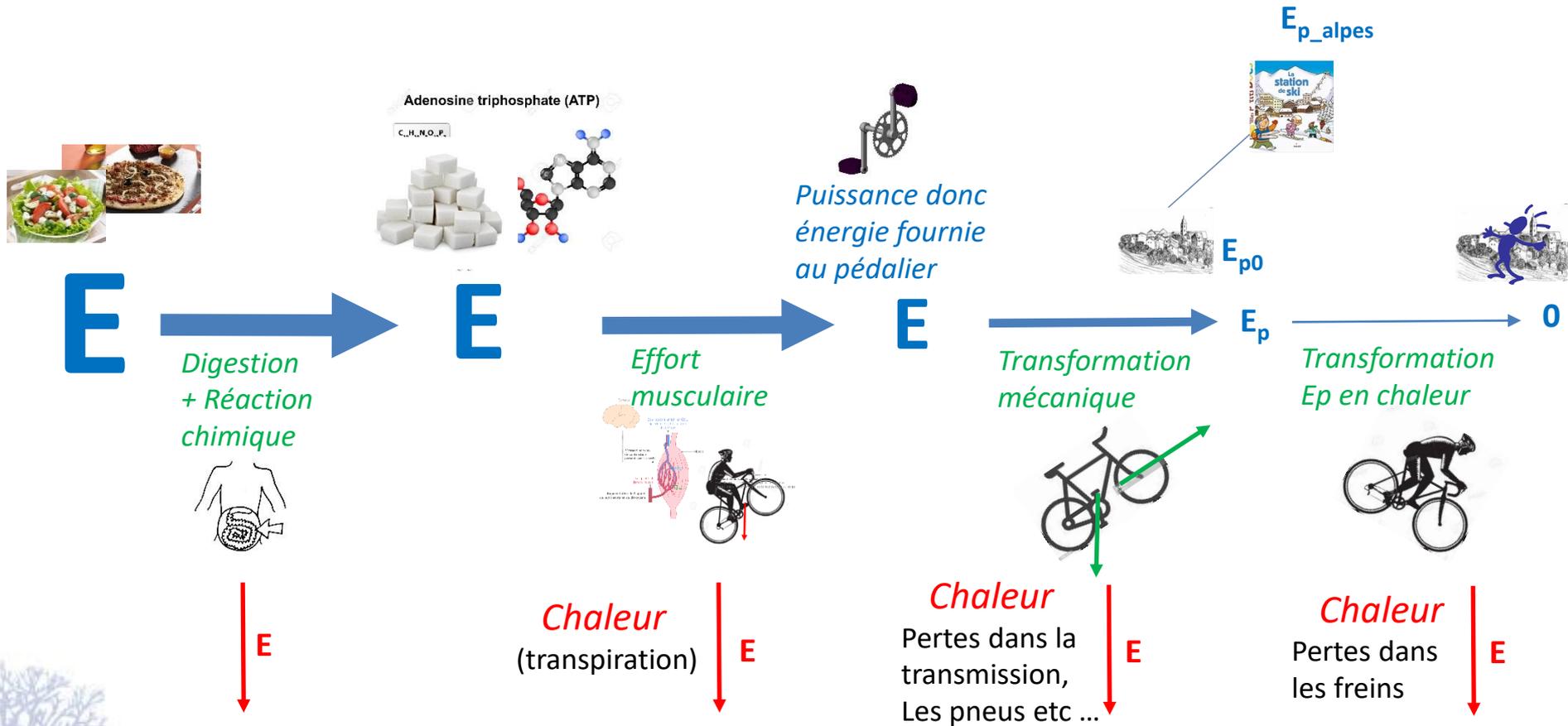
★ Exemple : Deux cyclistes montent l'alpes d'Huez

- Un cycliste peut être vu comme un transformateur d'énergie, association de plusieurs transformateurs d'énergie
- Ces transformations d'énergie se font avec des pertes



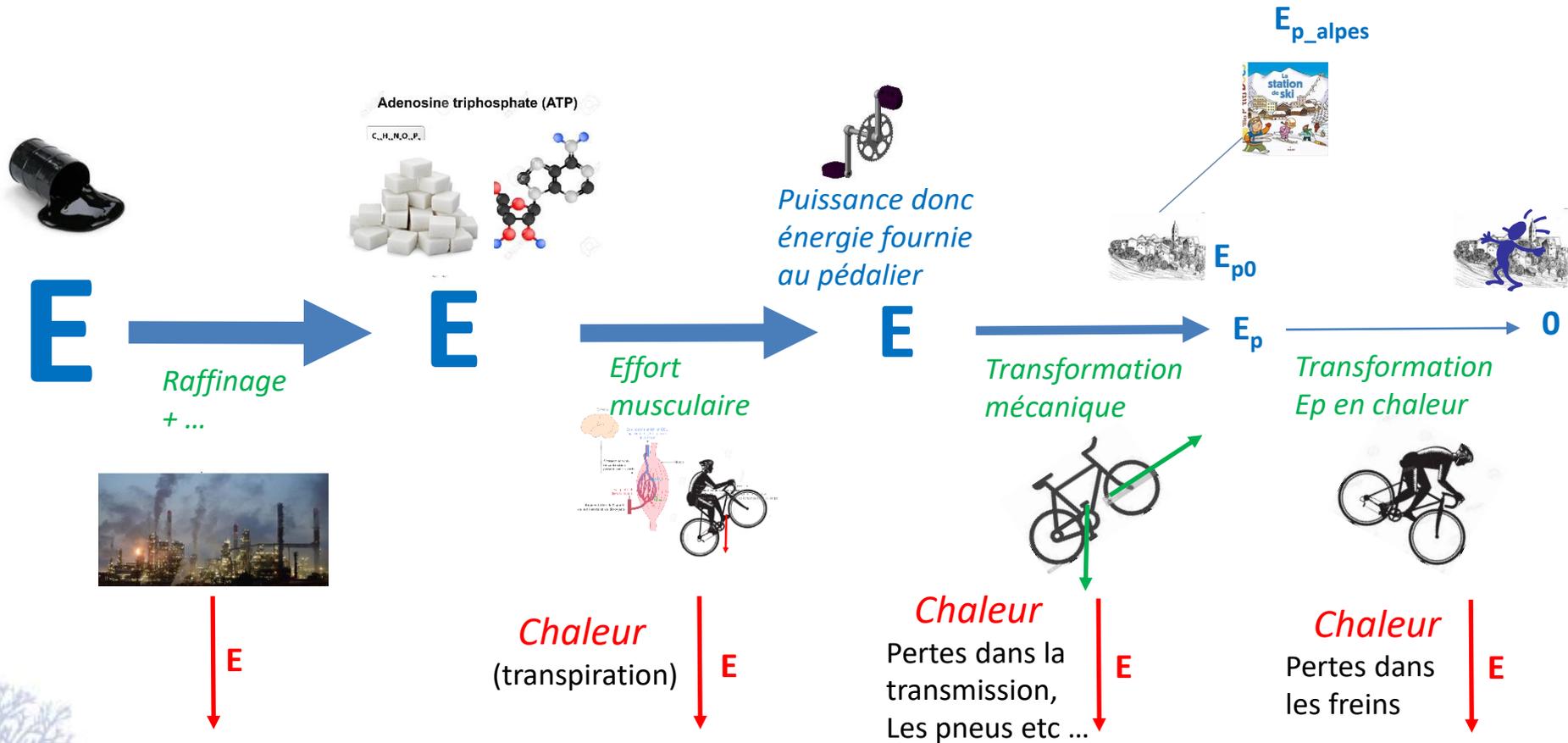
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture thermique conventionnelle



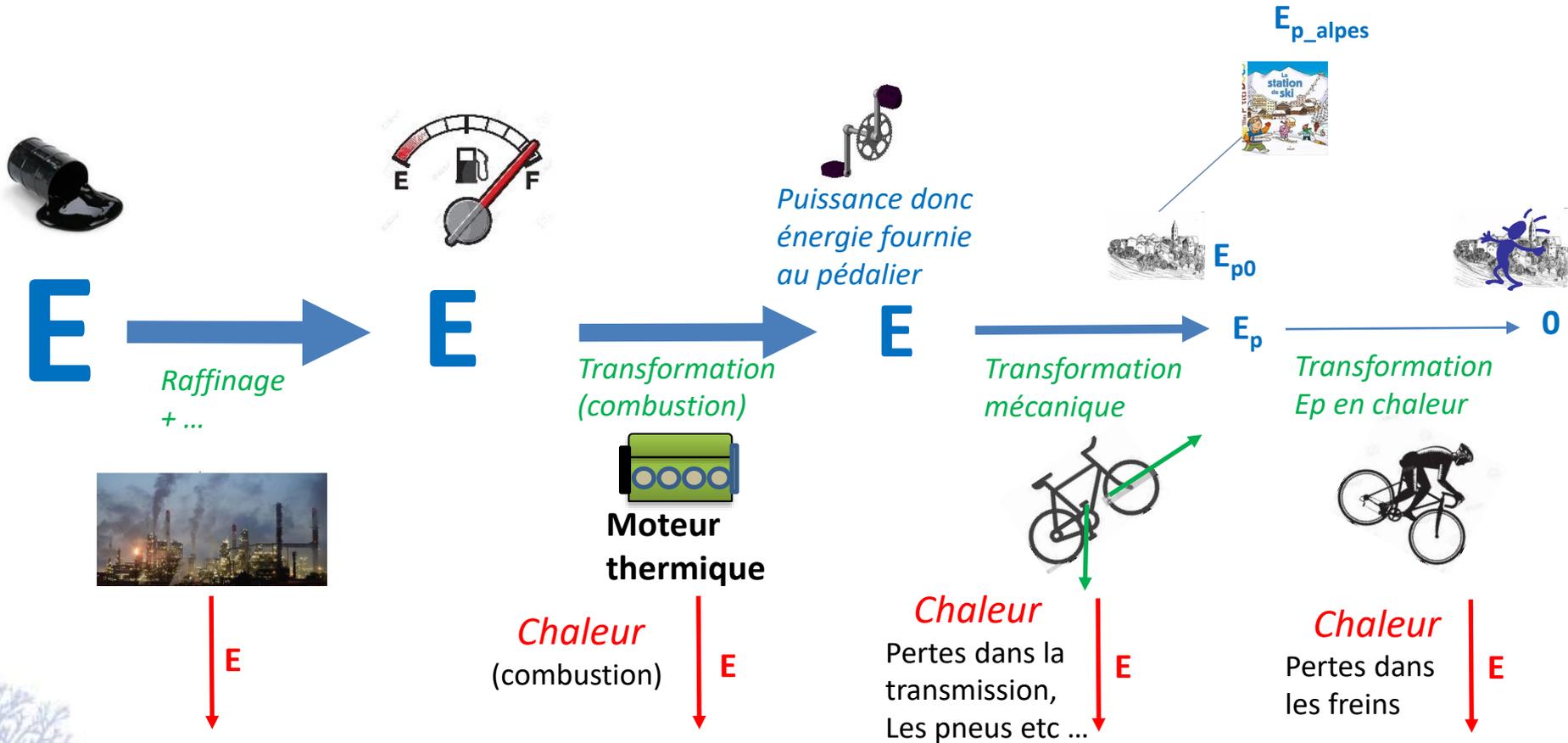
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture thermique conventionnelle



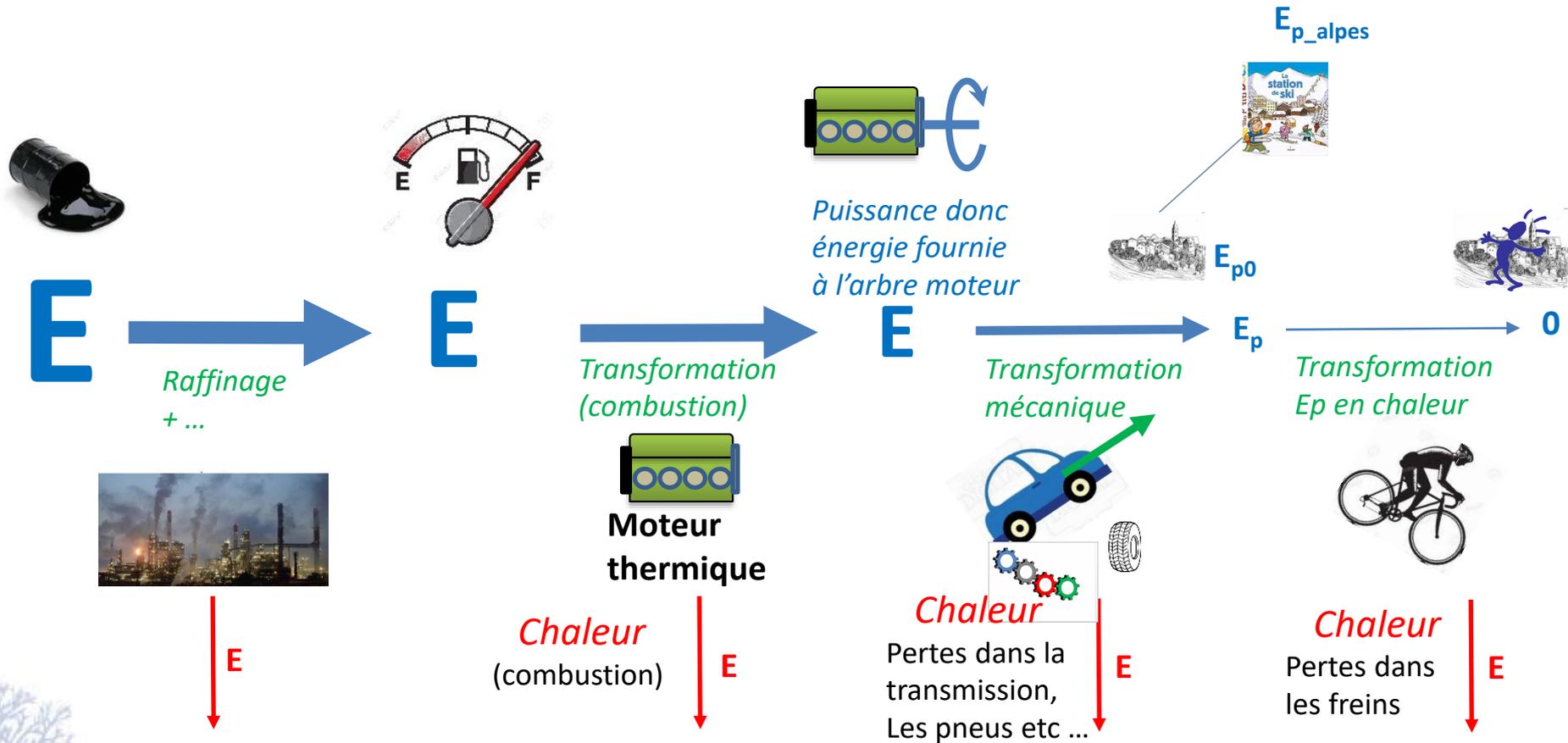
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture thermique conventionnelle



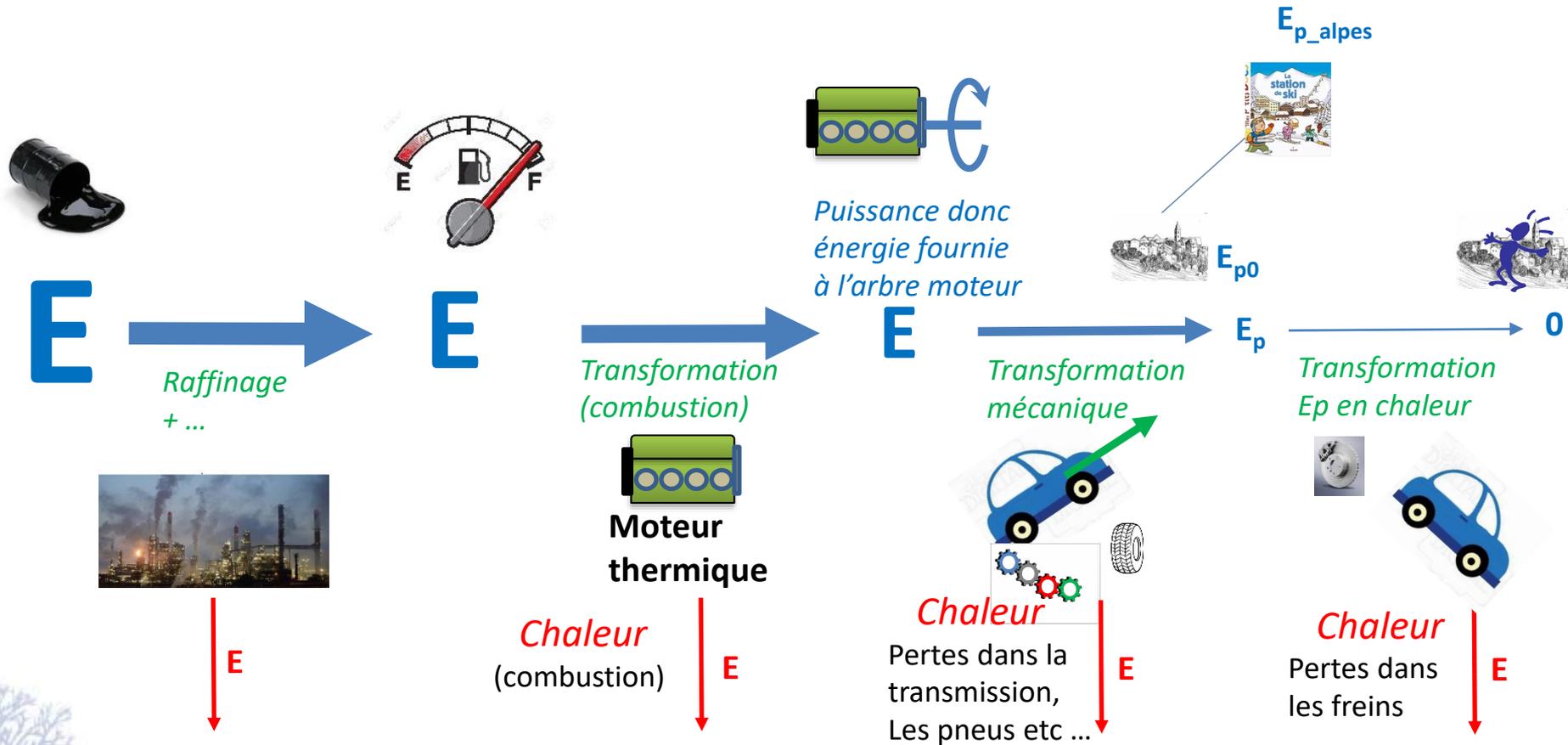
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture thermique conventionnelle



Force, puissance, énergie

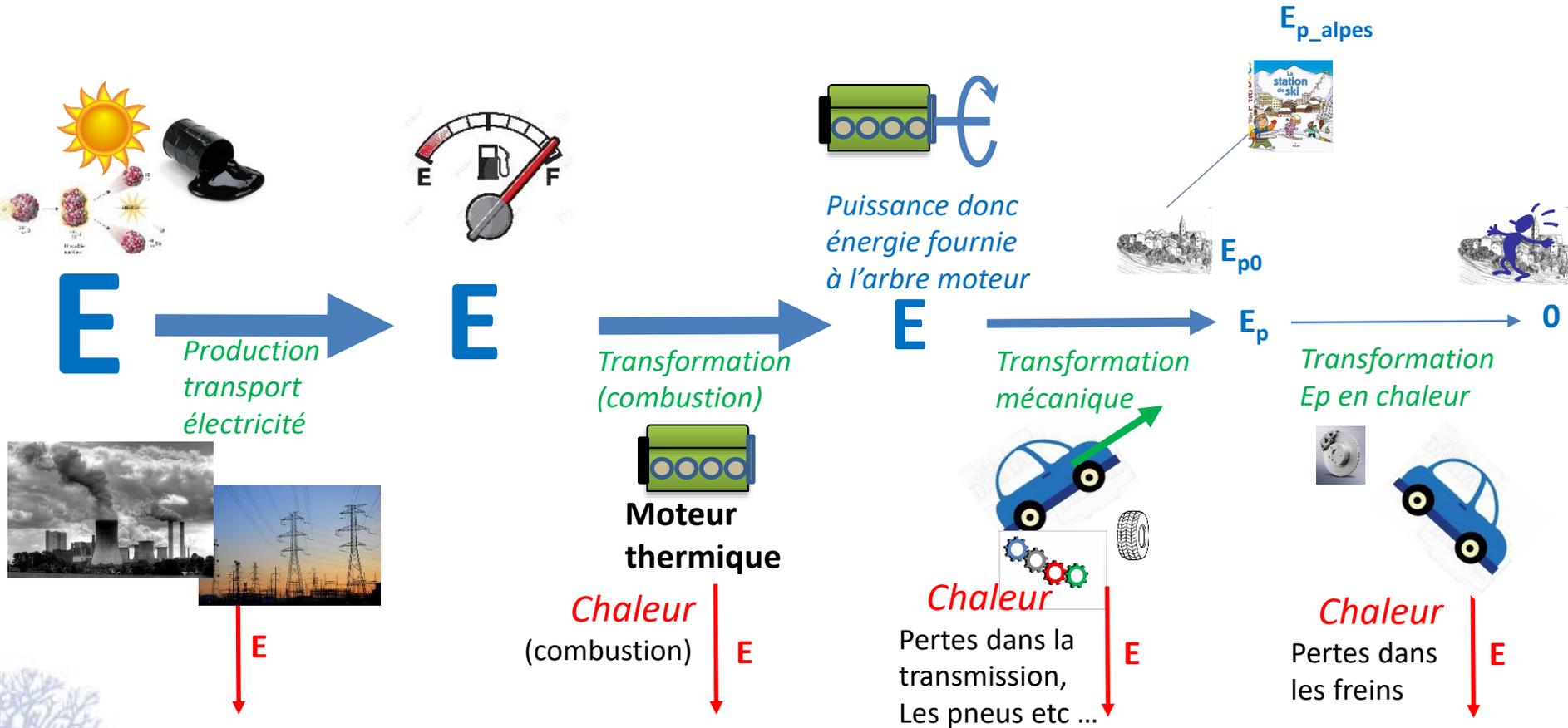
★ Si j'étais en voiture thermique conventionnelle



$$E = E + E = \sum E$$

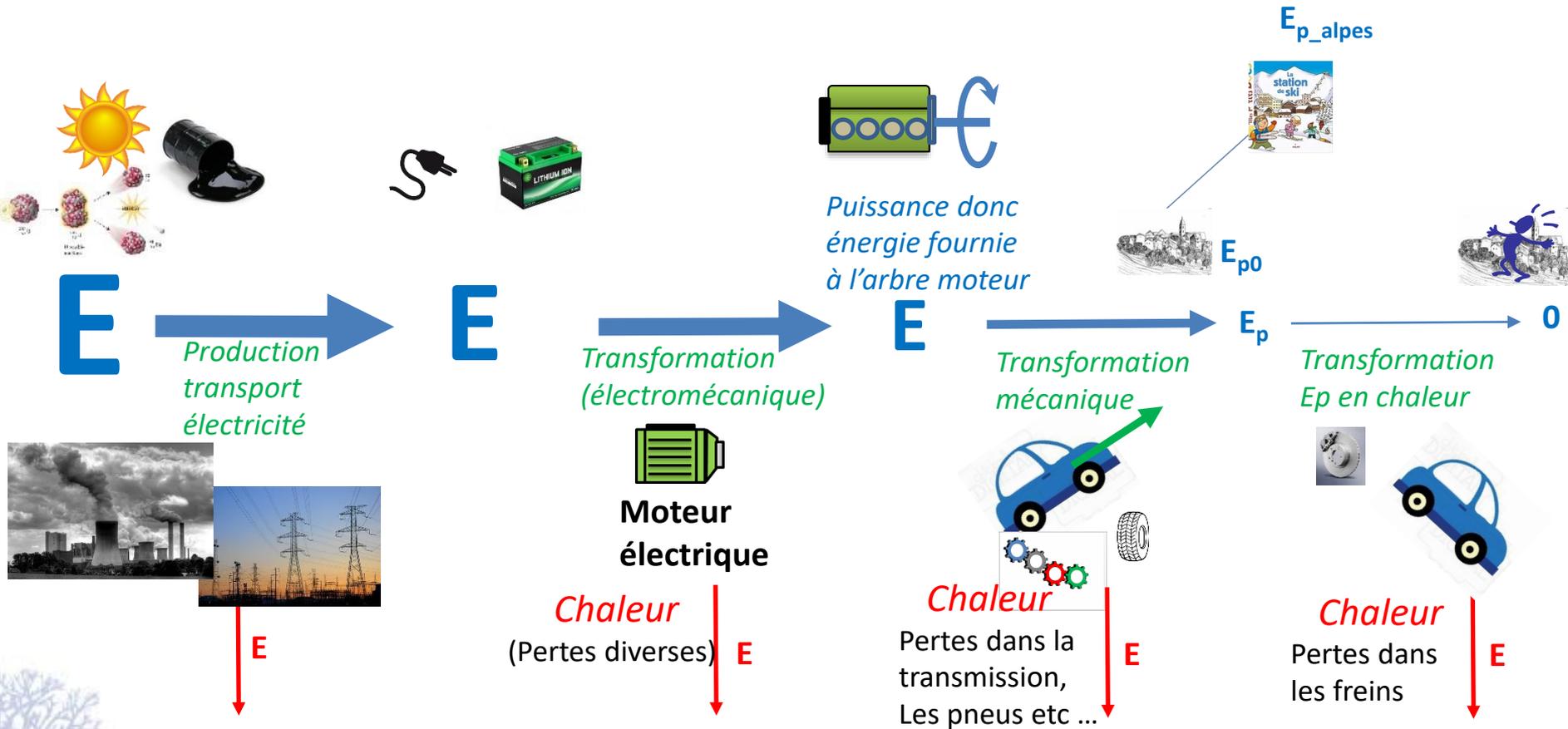
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture électrique



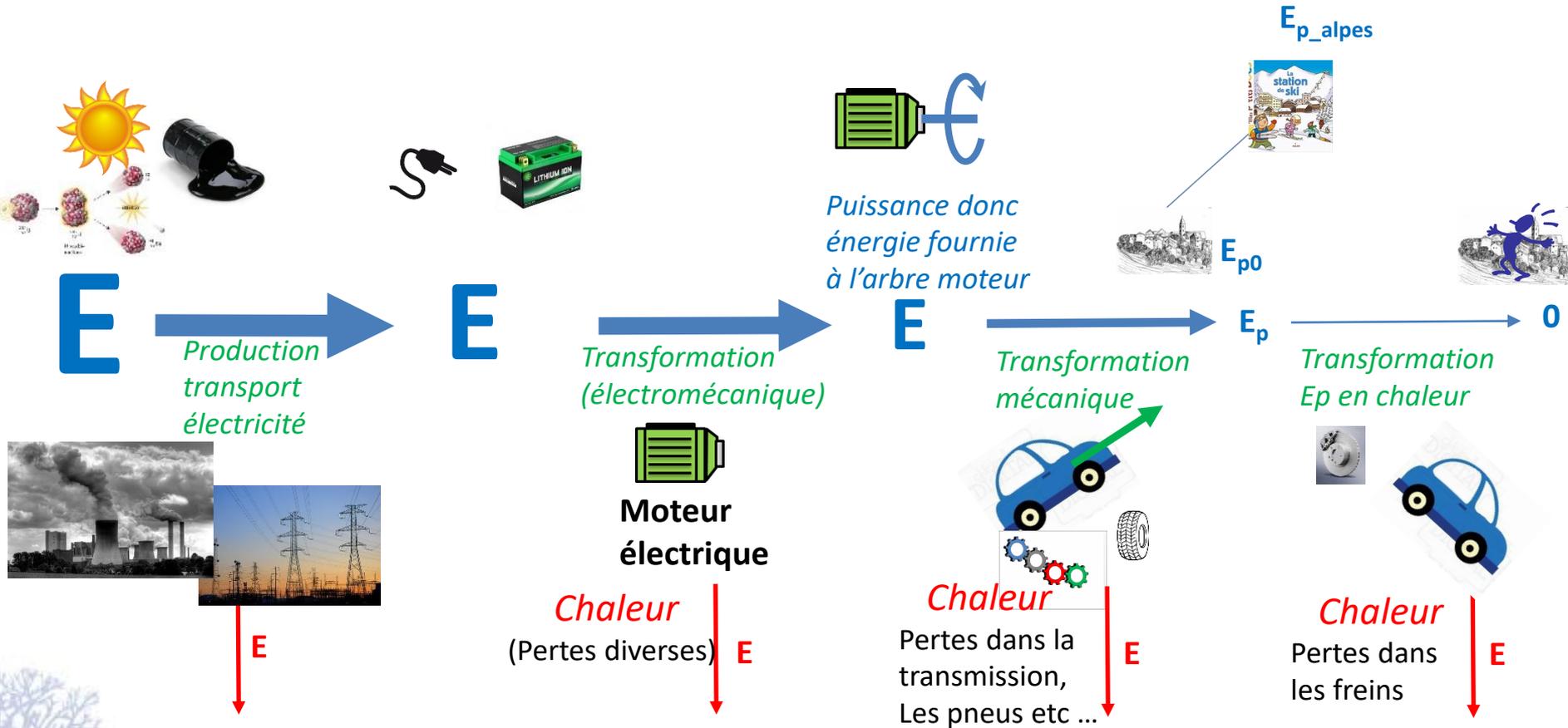
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture électrique



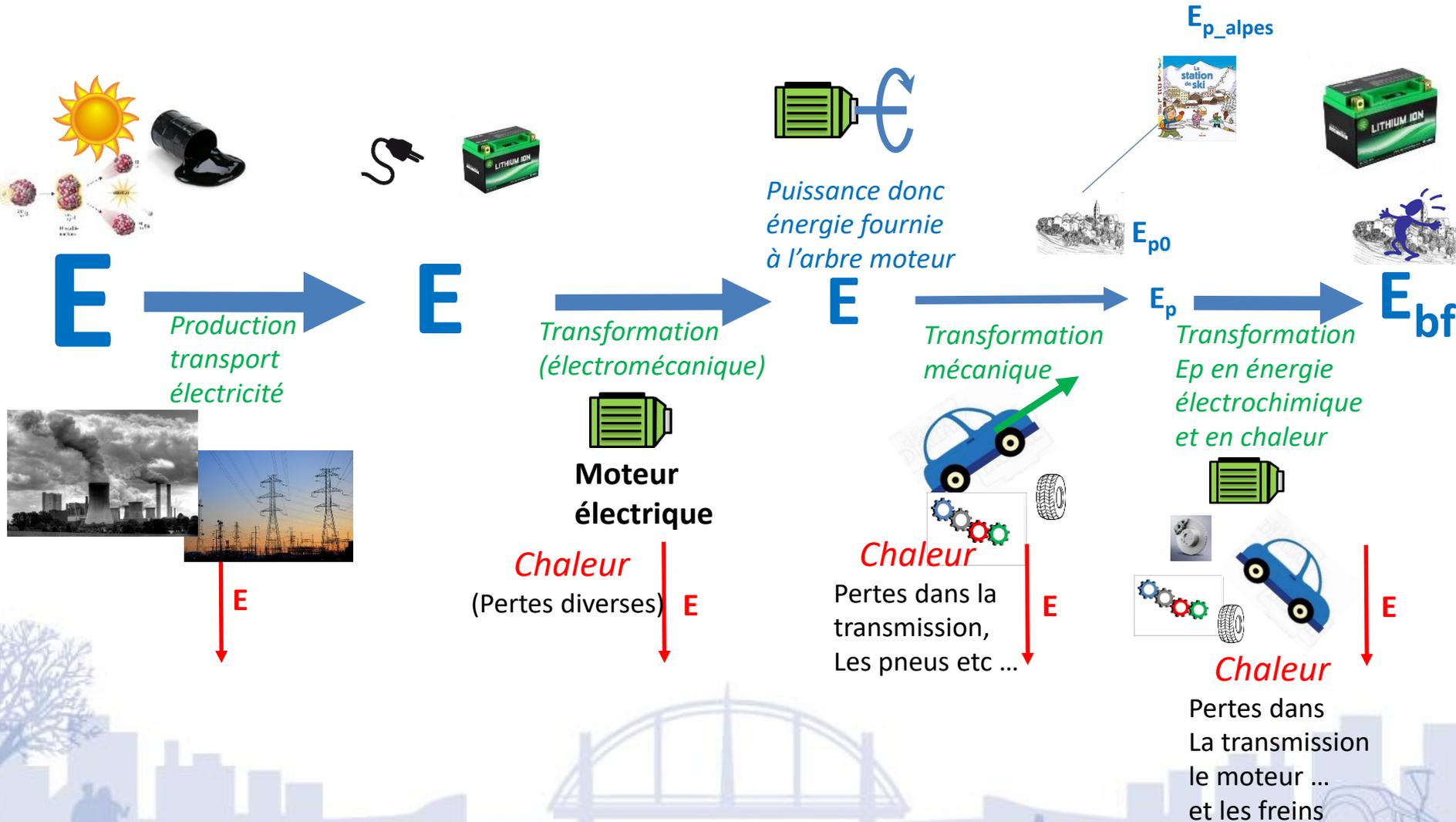
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture électrique



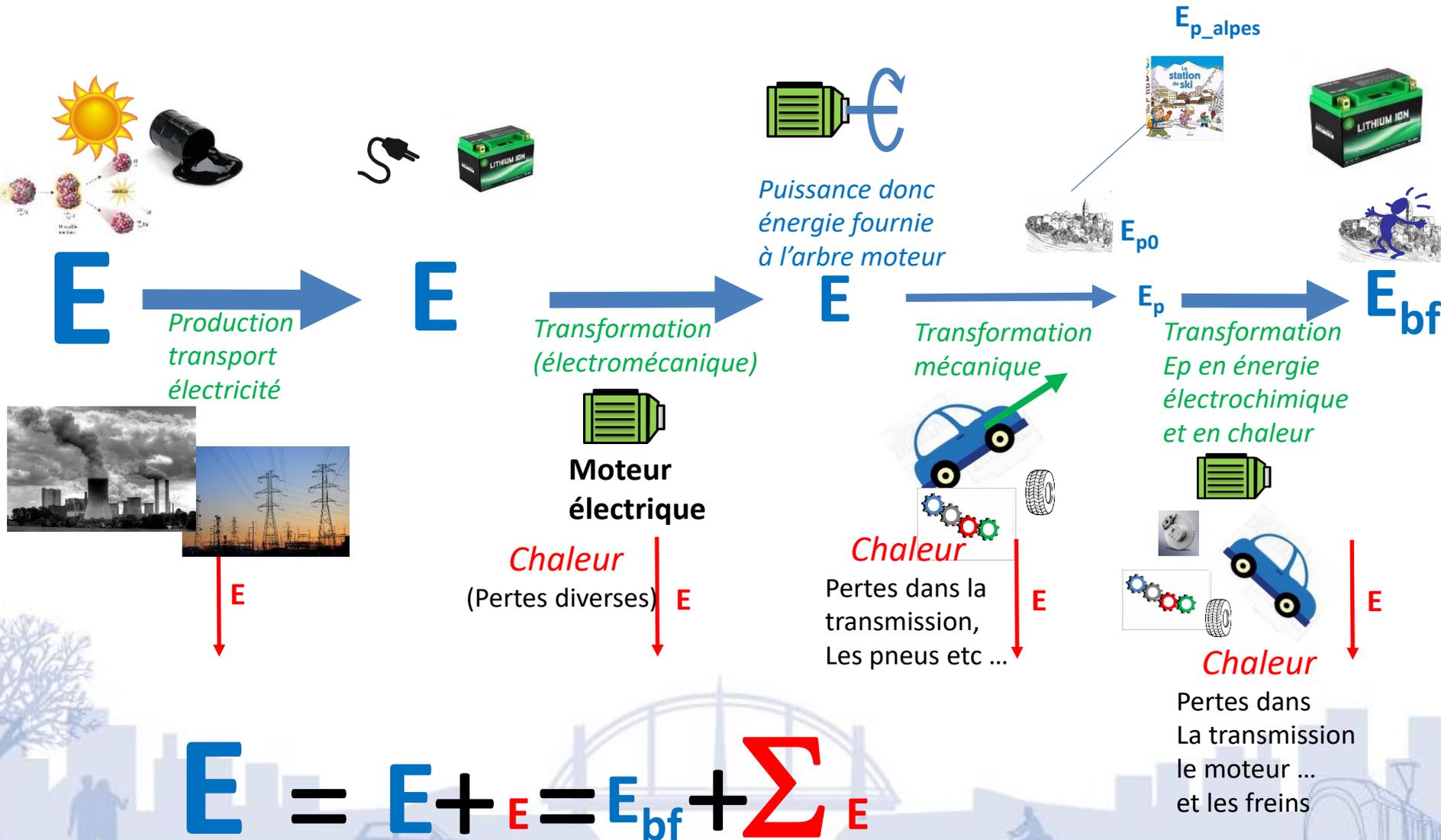
Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture électrique



Force, puissance, énergie

★ Si j'étais en voiture électrique



$$E = E + E = E_{bf} + \sum E$$

Force, puissance, énergie :

- ★ Différentes formes d'énergie,
- ★ Des transformations d'énergie qui ne sont pas gratuites,
- ★ Des transformateurs (et transformations) réversibles ou non



Energie : stockage et transfert

★ Formes de stockage

- Chimique (liaison entre atomes: combustion produit CO₂ et chaleur)
- Electrochimique (stockage batteries) et électrostatique (super condensateurs)
- Nucléaire (liaisons des noyaux atomiques production électricité)
- Masse $E=mc^2$ (désintégration matière antimatière)
- Cinétique : masse en mouvement, volant d'inertie (A fournir au véhicule pour qu'il avance, à récupérer quand on freine)
- Potentielle : différence altitude d'un corps (Energie à fournir pour monter, à récupérer si on peut en descente)
- Température : agitation moléculaire (dissipation sous forme de pertes, moteur thermique, frottements, aérodynamique, freins ...)
- Pneumatique (réservoir d'air sous pression ...)

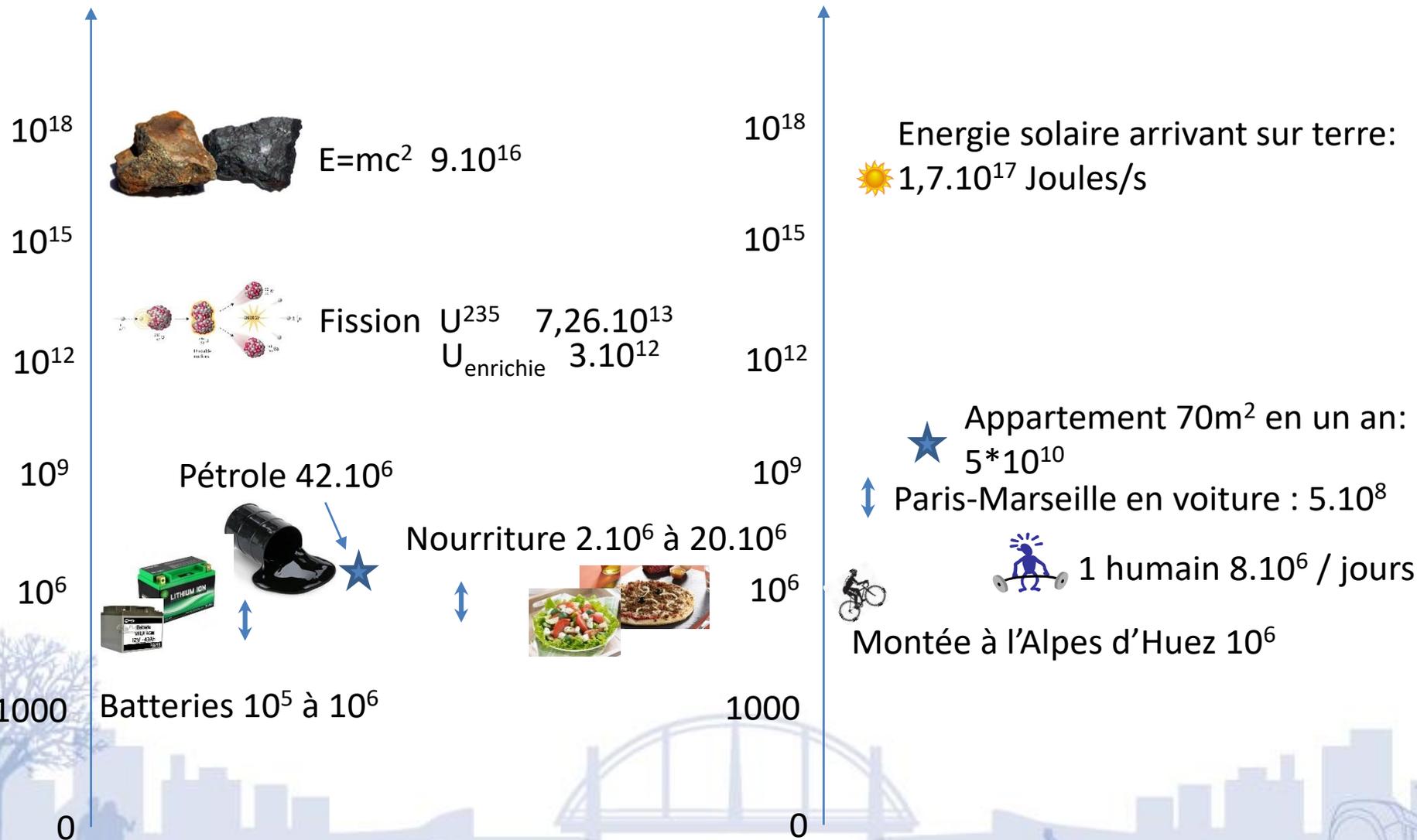
★ « Vecteurs d'énergie » (« méthodes » pour transporter l'énergie)

- Mécanique (force et vitesse, couple et vitesse de rotation)
- Électrique (courant, tension) & Electromagnétique (photons ...)
- Hydraulique (débit d'eau et pression ...)
- Chaleur=transfert thermique (température et flux d'entropie)

Densité d'énergie

Densité d'énergie en Joules/kg

Energie consommée en Joules



Densité d'énergie

Essence

1 Gallon = 3,78 l

135 MJ
of energy



Batteries

21 Li-ion batteries
(Car battery size)



2.7 kg



340
kg

54 gal

MIT Electric Vehicle Team
EVT

EVs 101

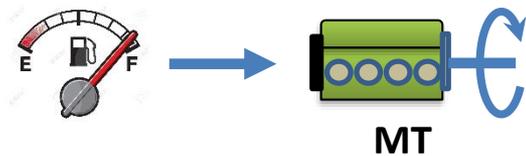
MIT Massachusetts
Institute of
Technology

By Dan Lauber, 2009

www.ifsttar.fr

Force, puissance, énergie : Bilan

- ★ Différentes formes d'énergie,
- ★ Des transformations d'énergie qui ne sont pas gratuites,
 - dépendent de comment on utilise les composants
 - dépendent de comment on conçoit les composants
- ★ Des transformateurs (et transformations) réversibles ou non



Force, puissance, énergie : Bilan

- ★ Différentes formes d'énergie,
- ★ Des transformations d'énergie qui ne sont pas gratuites,
 - dépendent de comment on utilise les composants
 - dépendent de comment on conçoit les composants
- ★ Des transformateurs (et transformations) réversibles ou non



Force, puissance, énergie : Bilan

- ★ Différentes formes d'énergie,
- ★ Des transformations d'énergie qui ne sont pas gratuites,
 - dépendent de comment on utilise les composants
 - dépendent de comment on conçoit les composants
- ★ Des transformateurs (et transformations) réversibles ou non



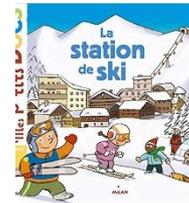
NB la réversibilité n'est pas parfaite.
Le mouvement perpétuel est à inventer

Pertes et rendements

- ★ Cyclistes entraînés ou non



E_p

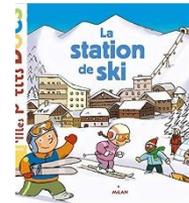


Pertes et rendements

- ★ Cyclistes entraînés ou non



E_p

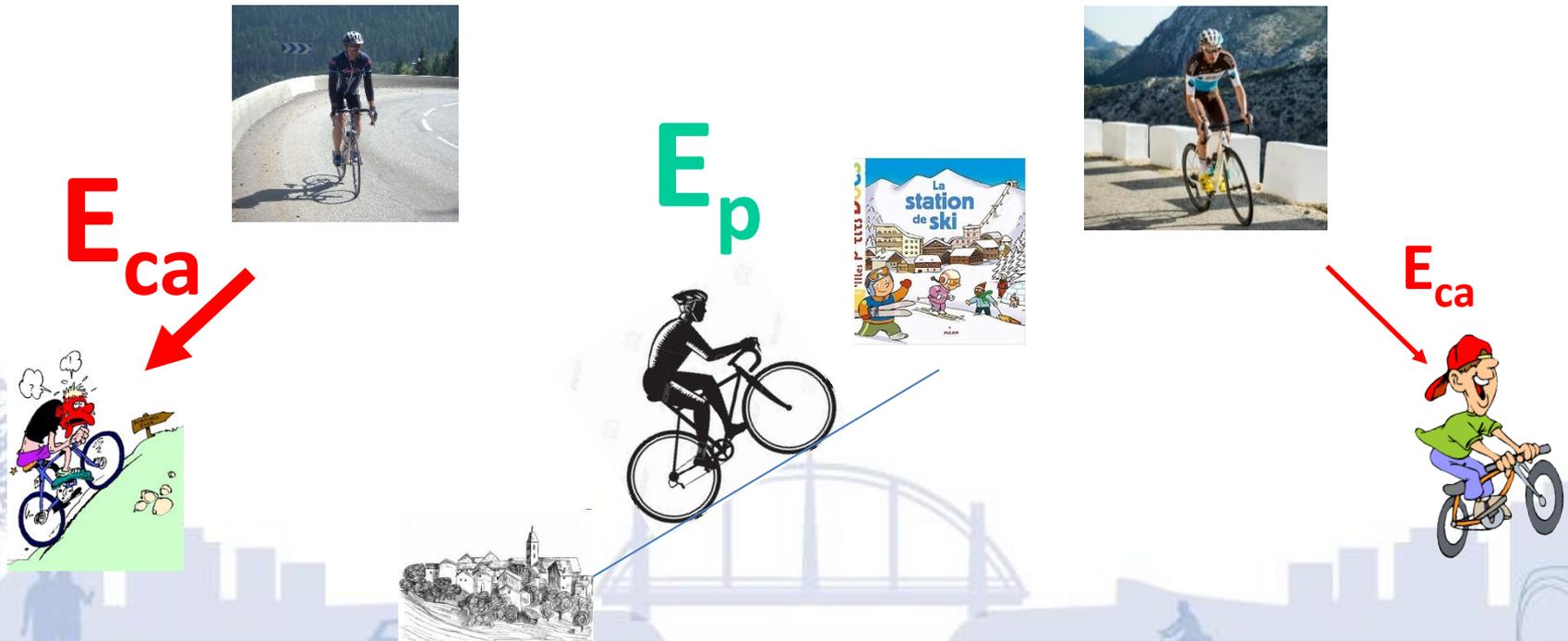


E_{ca}



Pertes et rendements

★ Cyclistes entraînés ou non



Pertes et rendements

★ Cyclistes entraînés ou non



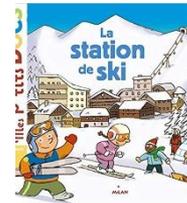
$$E = E_p + E_{ca} > E = E_p + E_{ca}$$



E_{ca}



E_p



E_{ca}



Pertes et rendements

★ Cyclistes entraînés ou non, meilleur rendement

$$E = E_p + E_{ca}$$

$$E = E_p + E_{ca}$$



$$\eta_{\text{Emmanuel}} < \eta_{\text{Romain}}$$



$$\eta = \frac{E_p}{E} = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{dépensée}}}$$



Pertes et rendements

★ Cyclistes entraînés ou non, meilleur rendement

$$E = E_p + E_{ca}$$

$$E = E_p + E_{ca}$$



$$\eta_{\text{Emmanuel}} < \eta_{\text{Romain}}$$



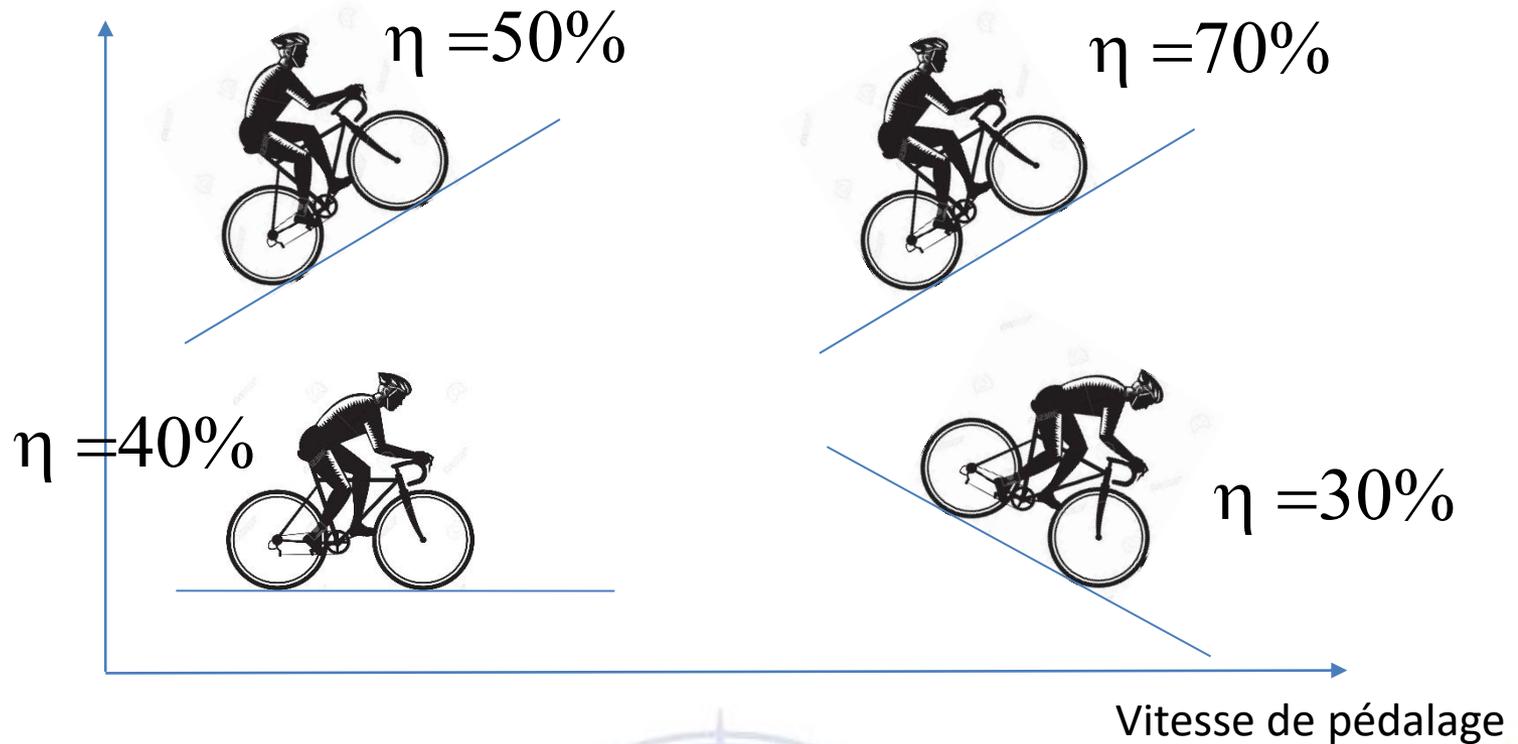
$$\eta = \frac{E_p}{E} = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{dépensée}}}$$

Véhicules : conception moteur(s), véhicule (Cx) etc ...

Pertes et rendements

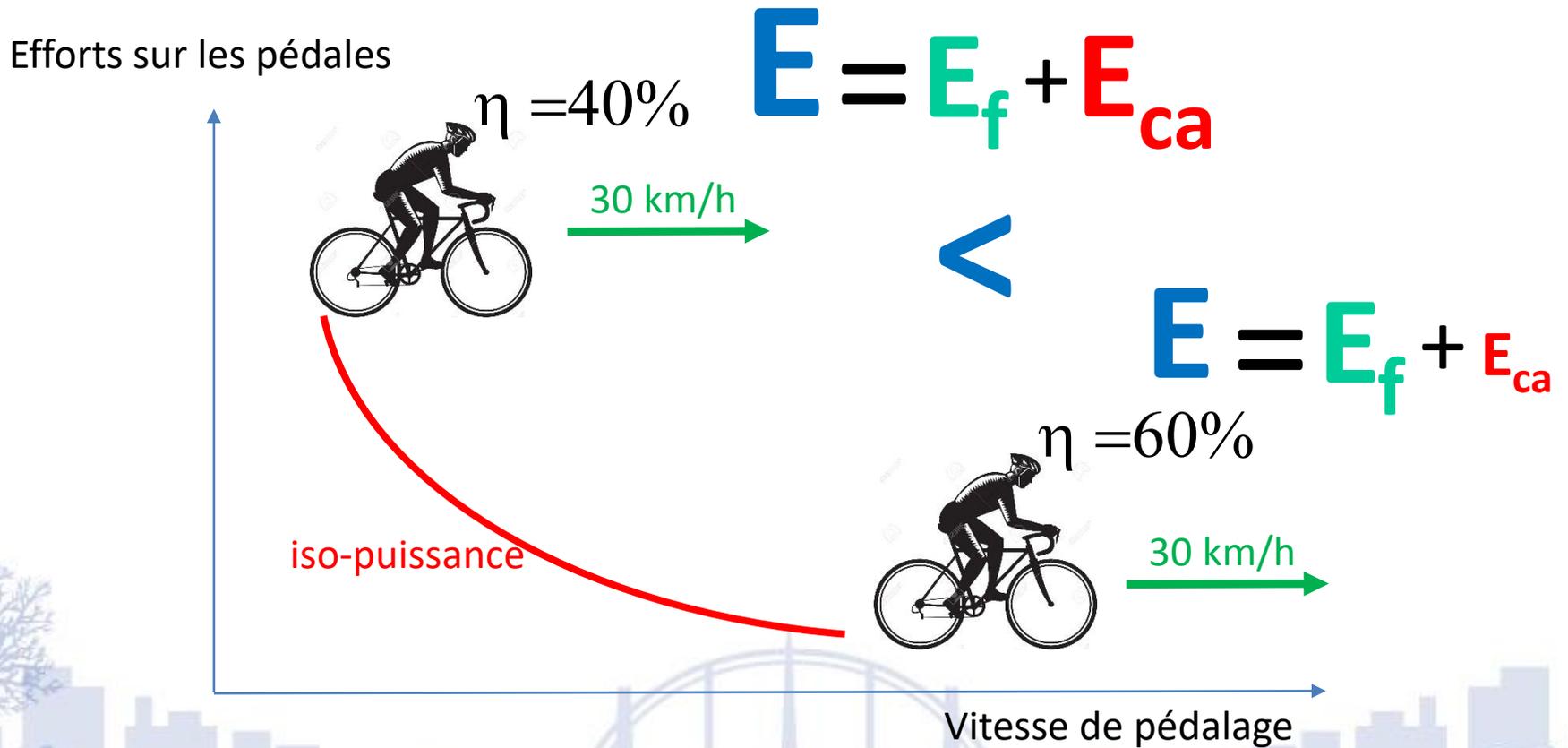
★ Points de fonctionnement

Efforts sur les pédales



Pertes et rendements

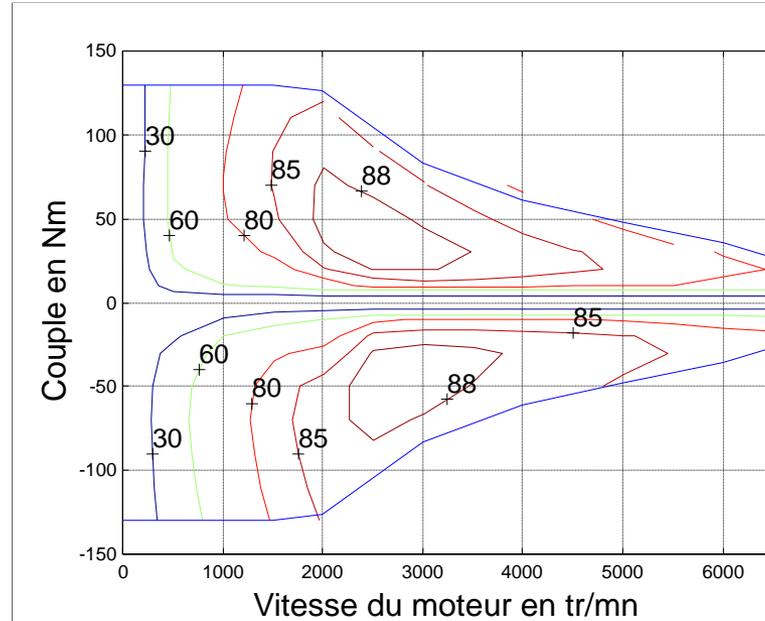
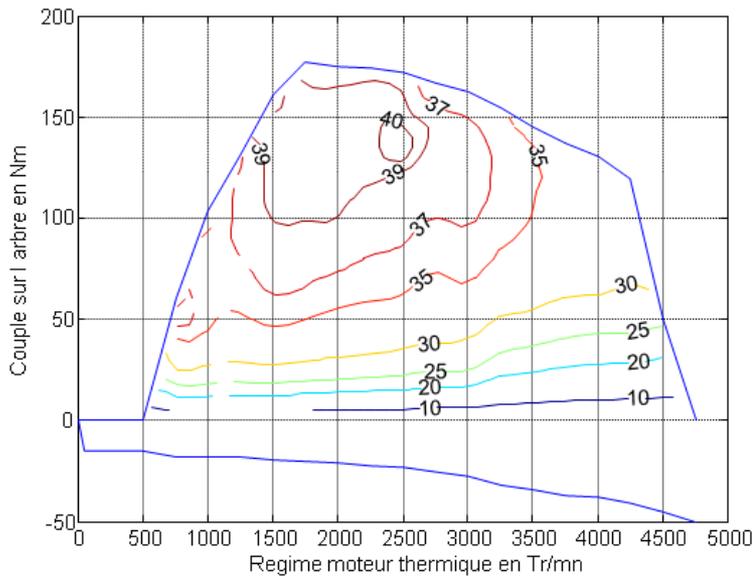
★ Points de fonctionnement



Pertes et rendements

- ★ Idem moteur électrique ou moteur thermique
 - Ou autres composants, voir systèmes dans leur globalité

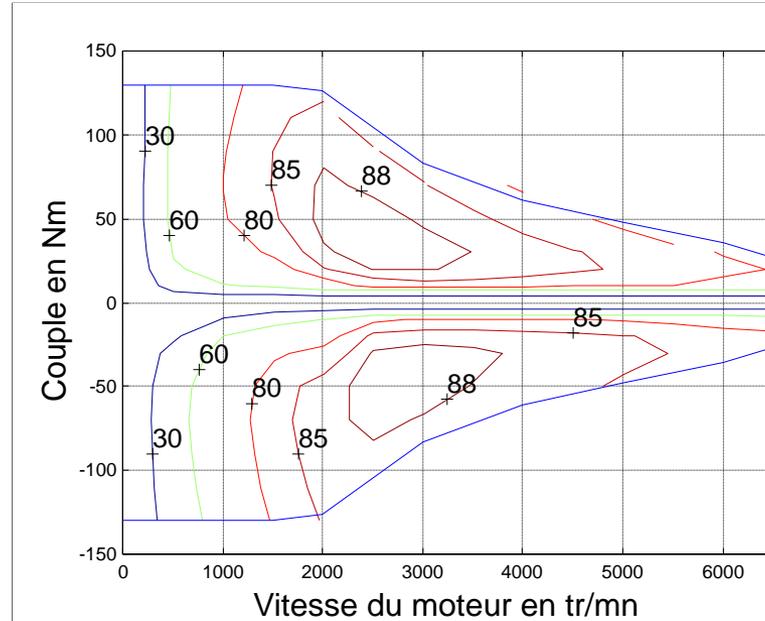
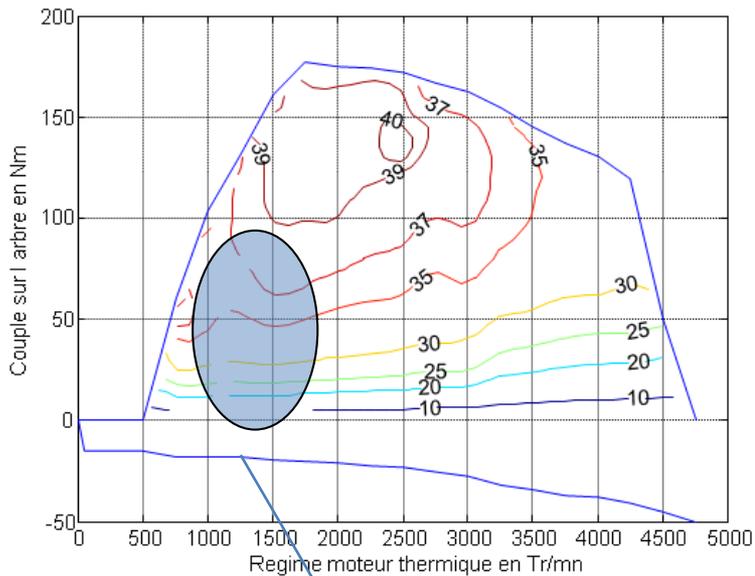
carte d'iso-rendement en %



Pertes et rendements

- ★ Idem moteur électrique ou moteur thermique
 - Ou autres composants, voir systèmes dans leur globalité

carte d'iso-rendement en %



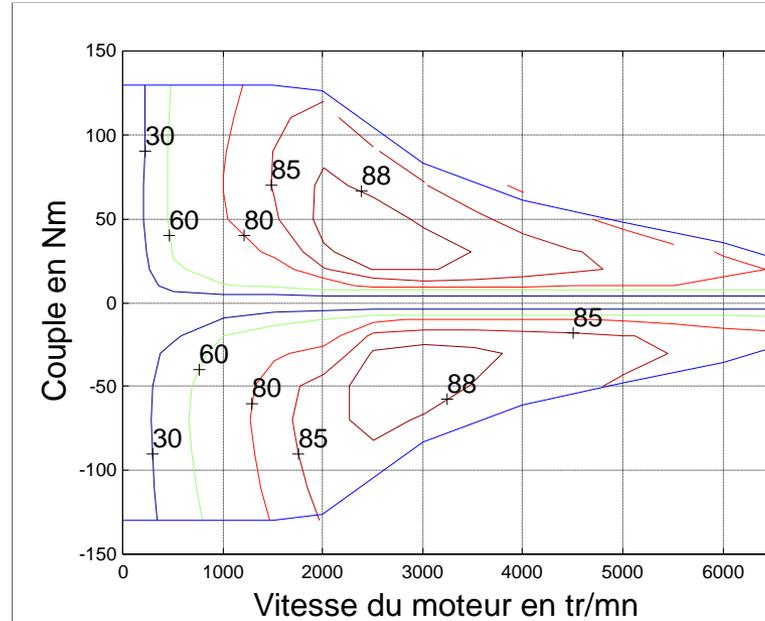
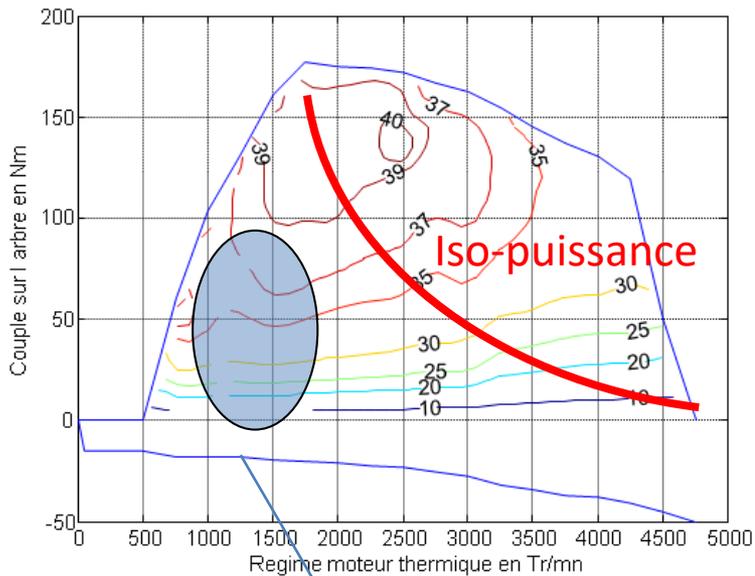
En circuit Urbain :
Rendement moyen : 10 à 20 %
=> Plus de 80 % de l'énergie part
en chaleur :



Pertes et rendements

- ★ Idem moteur électrique ou moteur thermique
 - Ou autres composants, voir systèmes dans leur globalité

carte d'iso-rendement en %



En circuit Urbain :
Rendement moyen : 10 à 20 %
=> Plus de 80 % de l'énergie part
en chaleur :



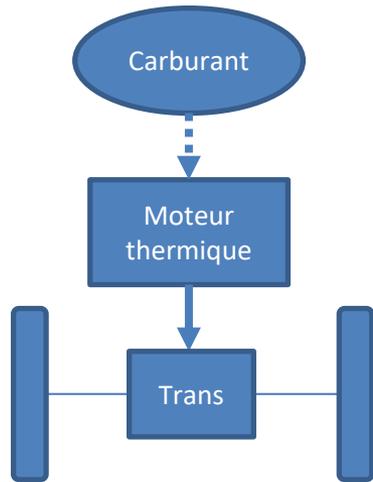
Les Véhicules dans tout ça ?

- ★ Ils vont convertir une certaine énergie en une autre
 - dans le but de déplacer des choses ...
 - en utilisant des convertisseurs d'énergie
- ★ Ces convertisseurs seront réversibles ou non et auront des rendements différents selon leurs plages de fonctionnement.
- ★ Travaux de l'équipe VEH : **Limitier les pertes et donc la consommation d'énergie, voir plus (approche globale ...)**
 - Utiliser au mieux les convertisseurs d'énergie: **Gestion Energie**
 - Utiliser au mieux les véhicules : **Eco-conduite**
 - Concevoir au mieux les convertisseurs, les véhicules et les systèmes de transport:
 - **dimensionnement des composants, (taille des batteries, géométrie des machines électriques ...)**
 - **conception des routes, recharge de flotte de bus ...**



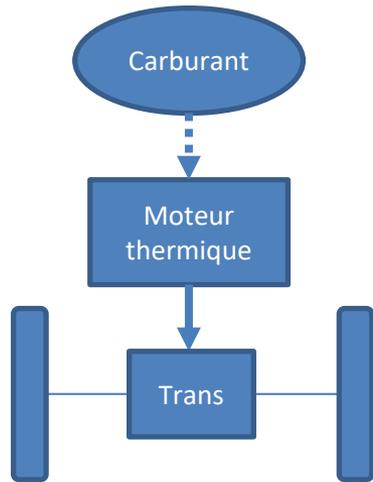
Hybridation des énergies

Thermique

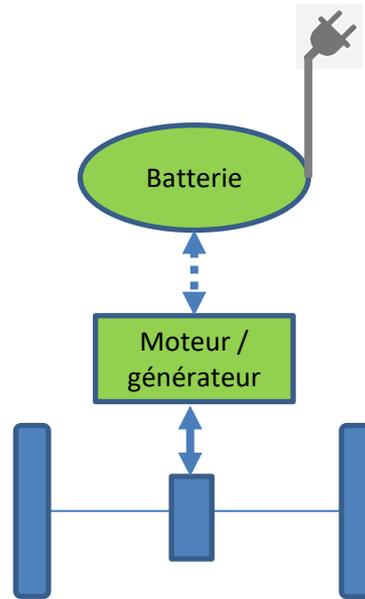


Hybridation des énergies

Thermique

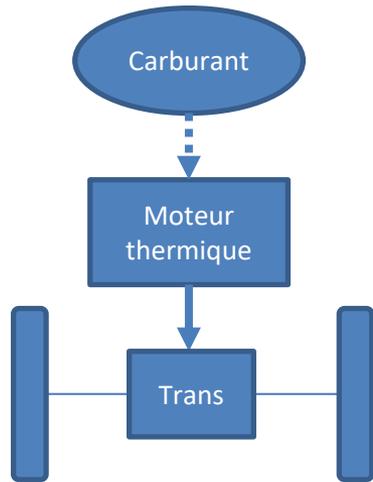


Electrique
(BEV)

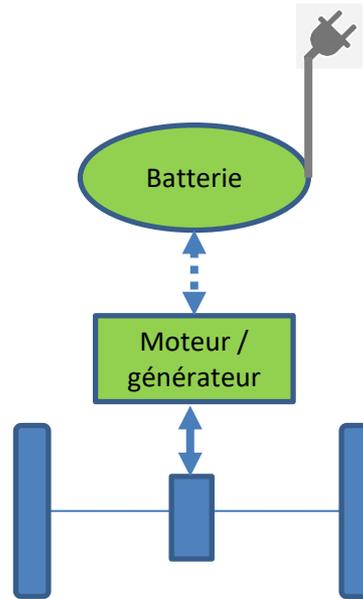


Hybridation des énergies

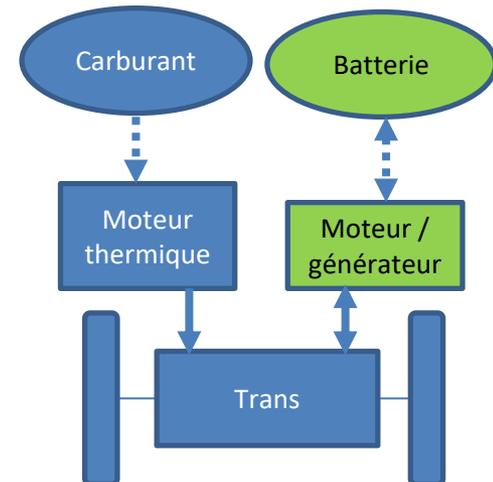
Thermique



Electrique (BEV)

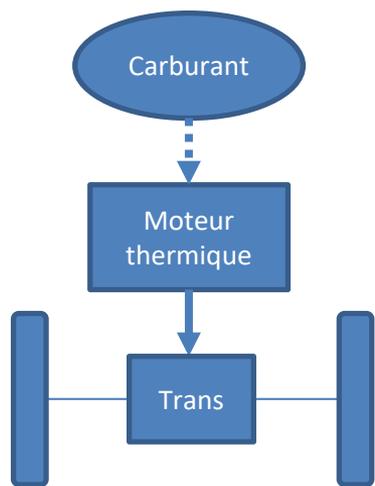


Hybride (HEV)

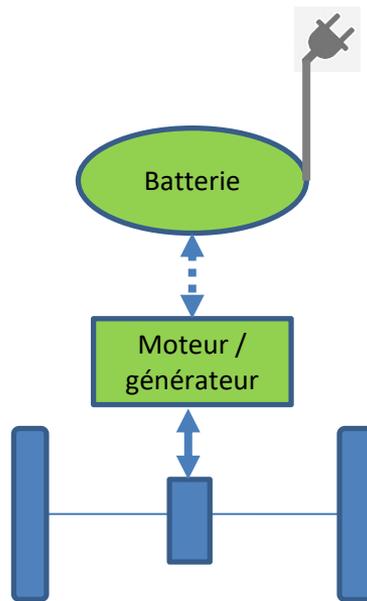


Hybridation des énergies

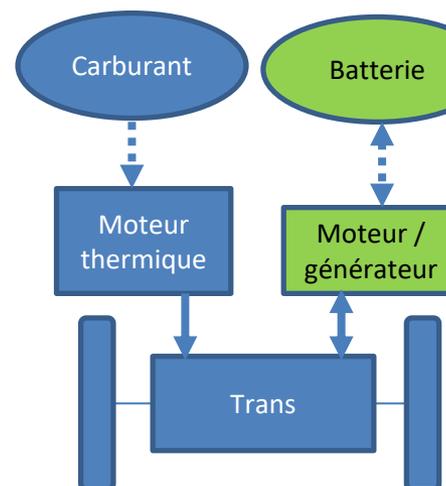
Thermique



Electrique (BEV)



Hybride (HEV)

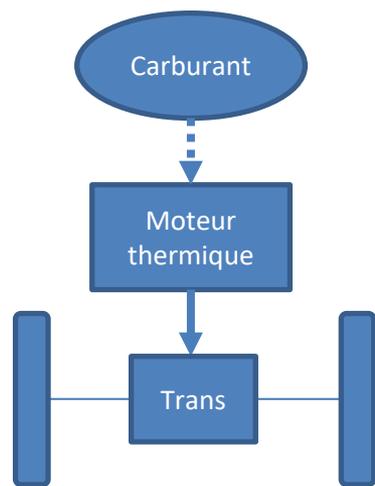


rechargeable (PHEV)



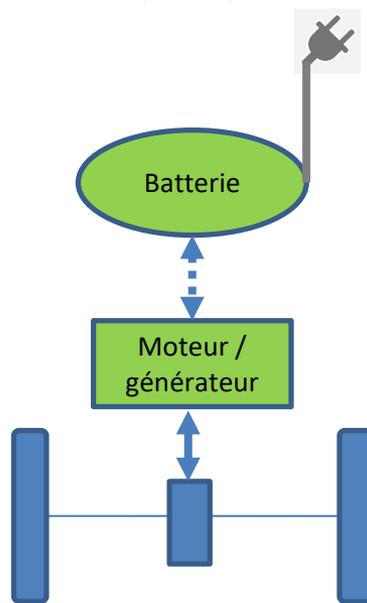
Hybridation des énergies

Thermique



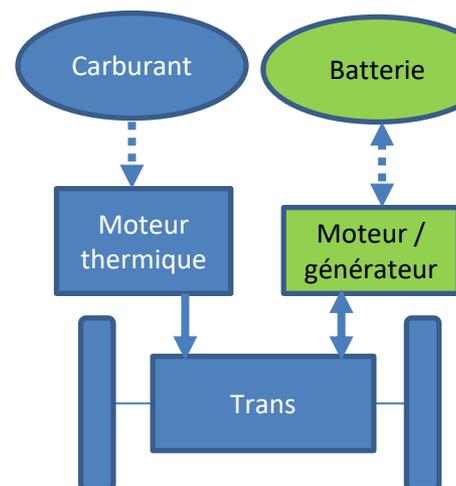
Consomme de l'essence

Electrique (BEV)



Consomme de l'électricité issue du réseau

Hybride (HEV)



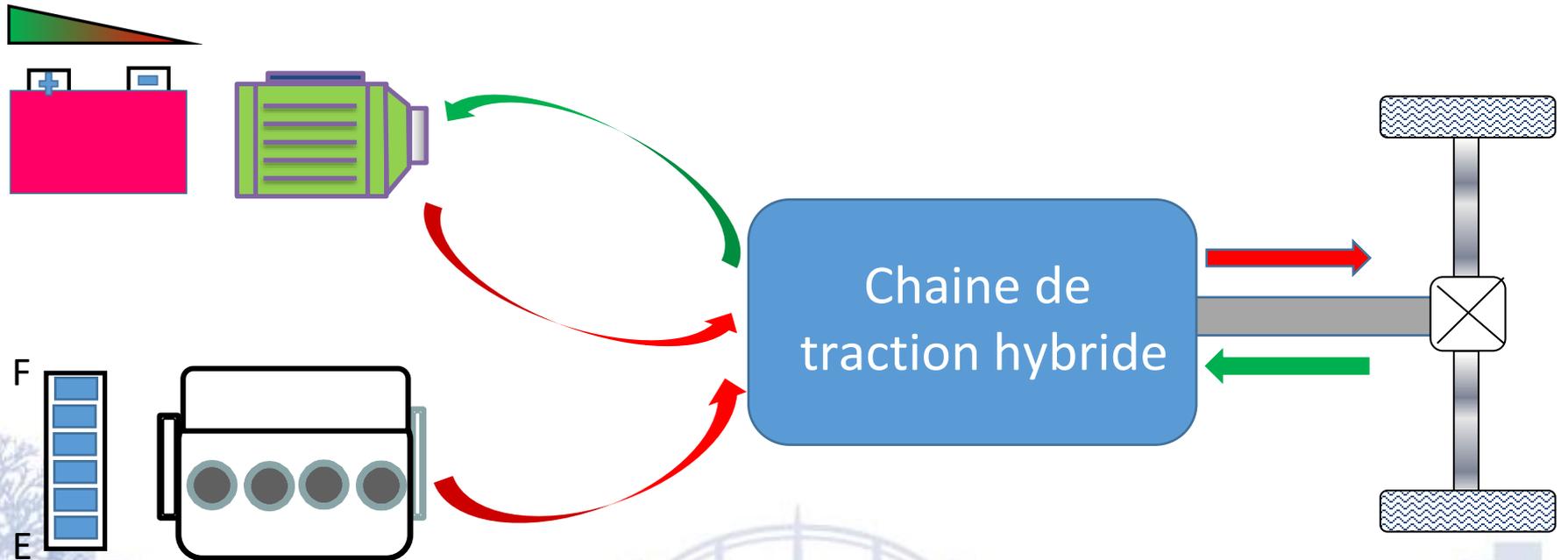
Consomme de l'essence (HEV)
Et de l'électricité du réseau (PHEV)

rechargeable (PHEV)



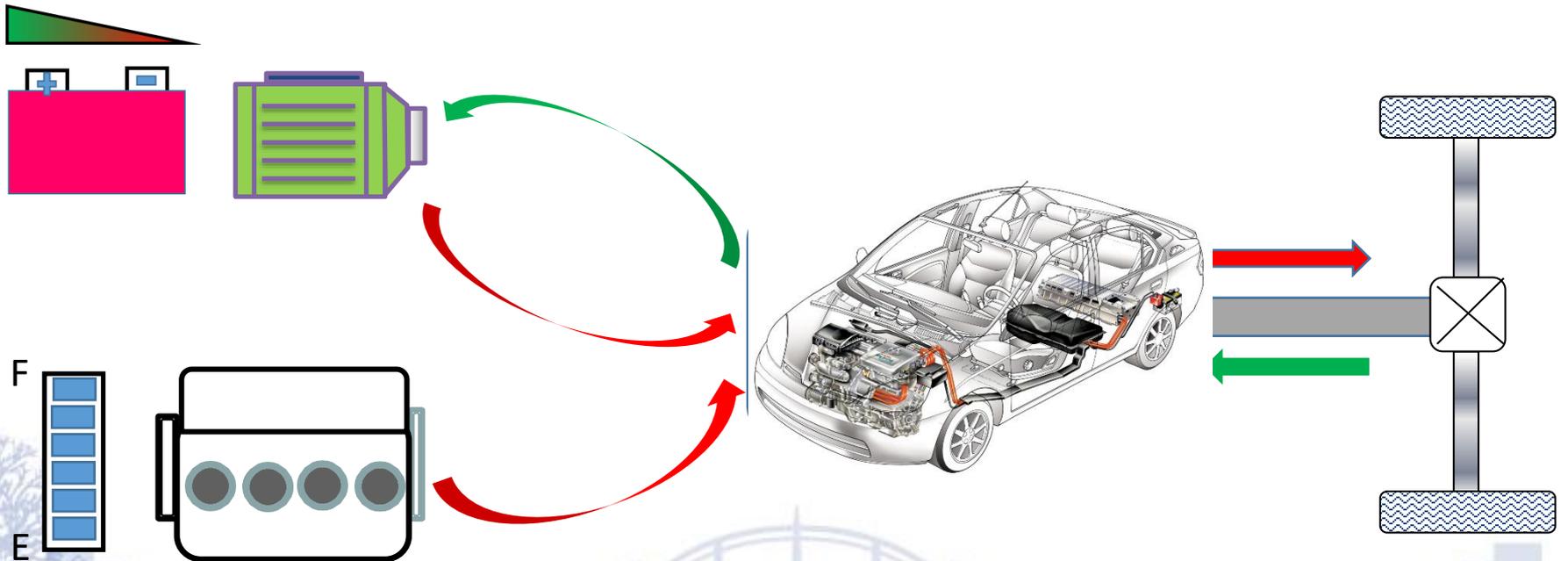
L'hybridation des véhicules

- ★ Association de deux sources d'énergie, le plus souvent avec au moins une des deux sources réversible.
- ★ Ex : moteur thermique plus batterie



L'hybridation des véhicules

- ★ Association de deux sources d'énergie, le plus souvent avec au moins une des deux sources réversible.
- ★ Ex : réservoir essence plus batterie



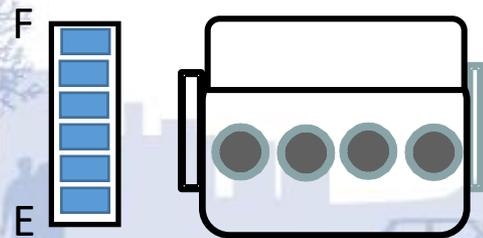
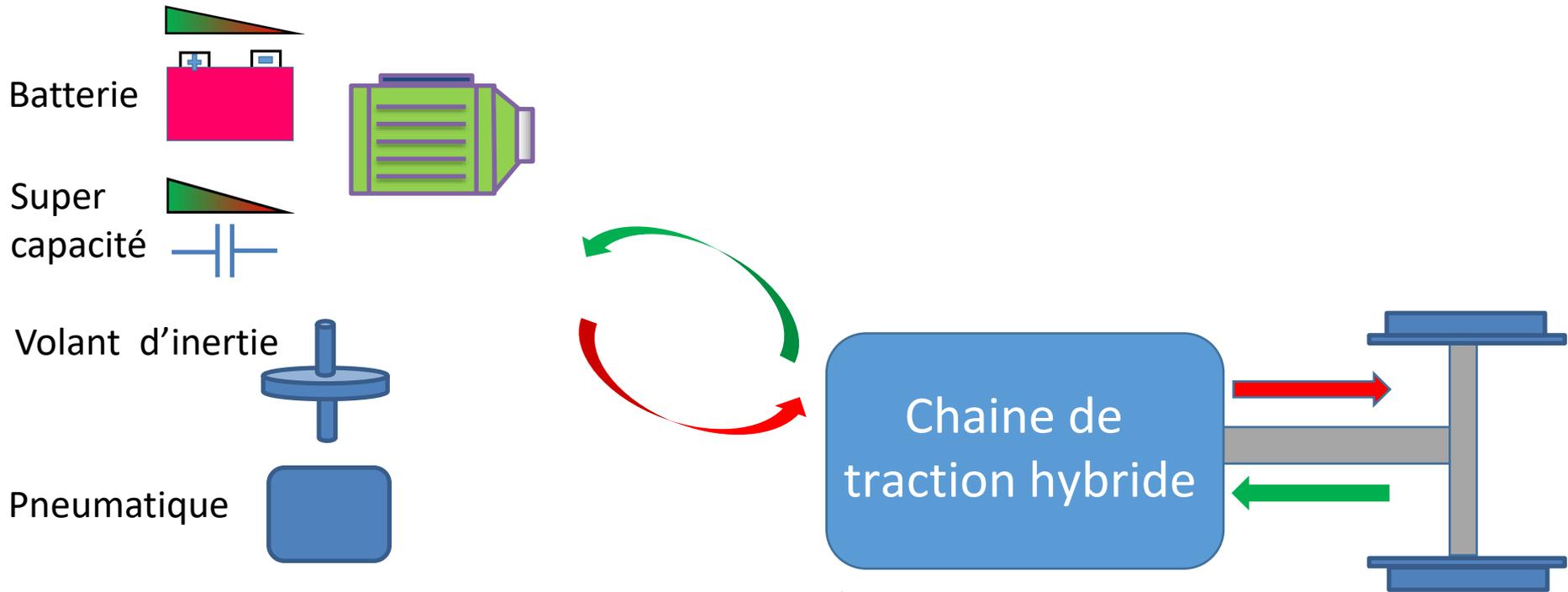
L'hybridation des véhicules

- ★ Association de deux sources d'énergie, le plus souvent avec au moins une des deux sources réversible.
- ★ Ex : moteur thermique plus batterie



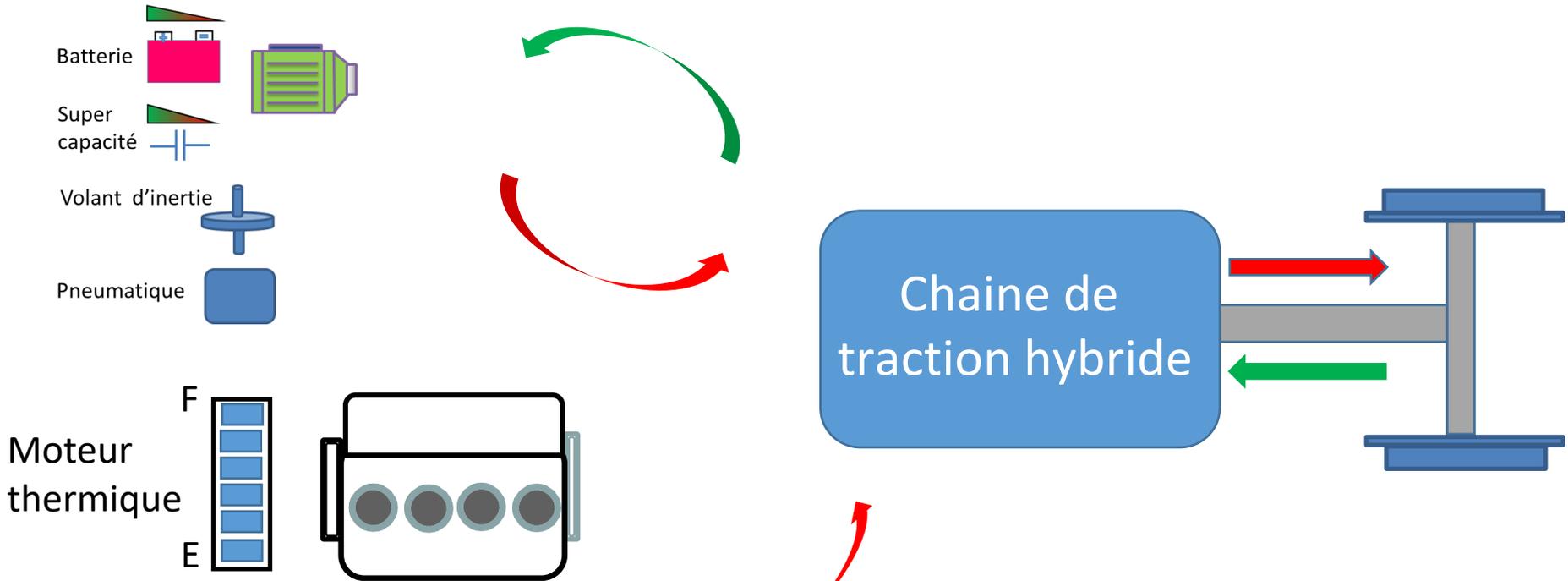
Types d'hybridation

- ★ Diesel plus stockage réversible (une ou plusieurs sources)



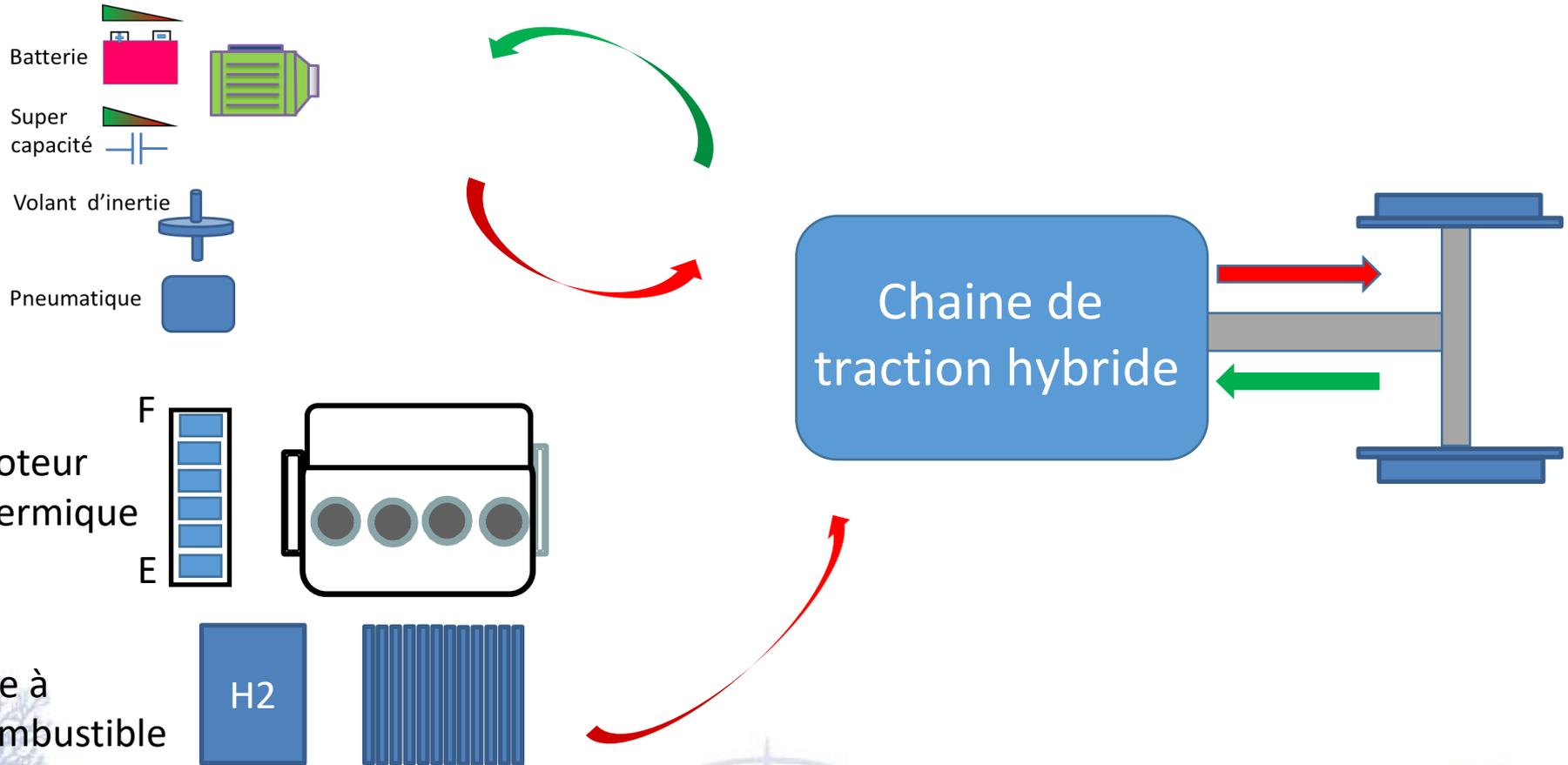
Types d'hybridation

★ Essence (+plus moteur), hydrogène (+Pile à combustible)



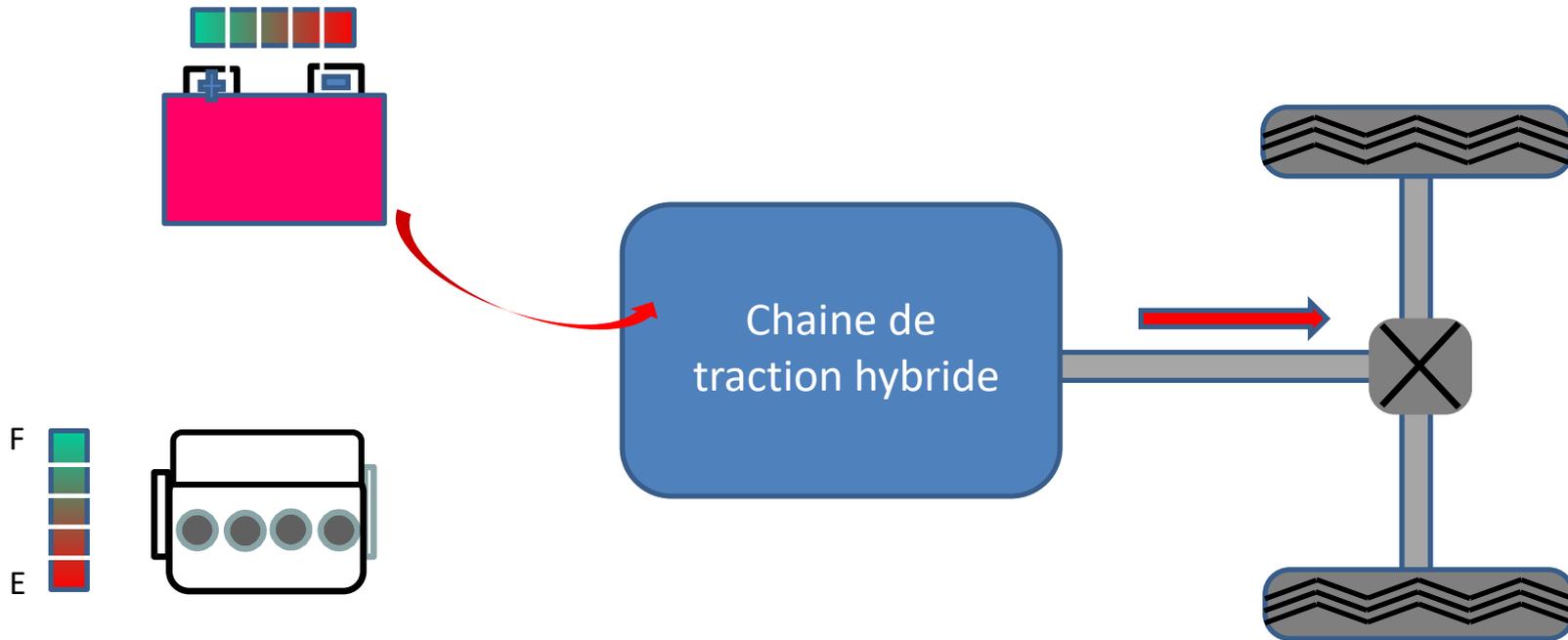
Types d'hybridation

★ Diesel, Pile à combustible (PAC)



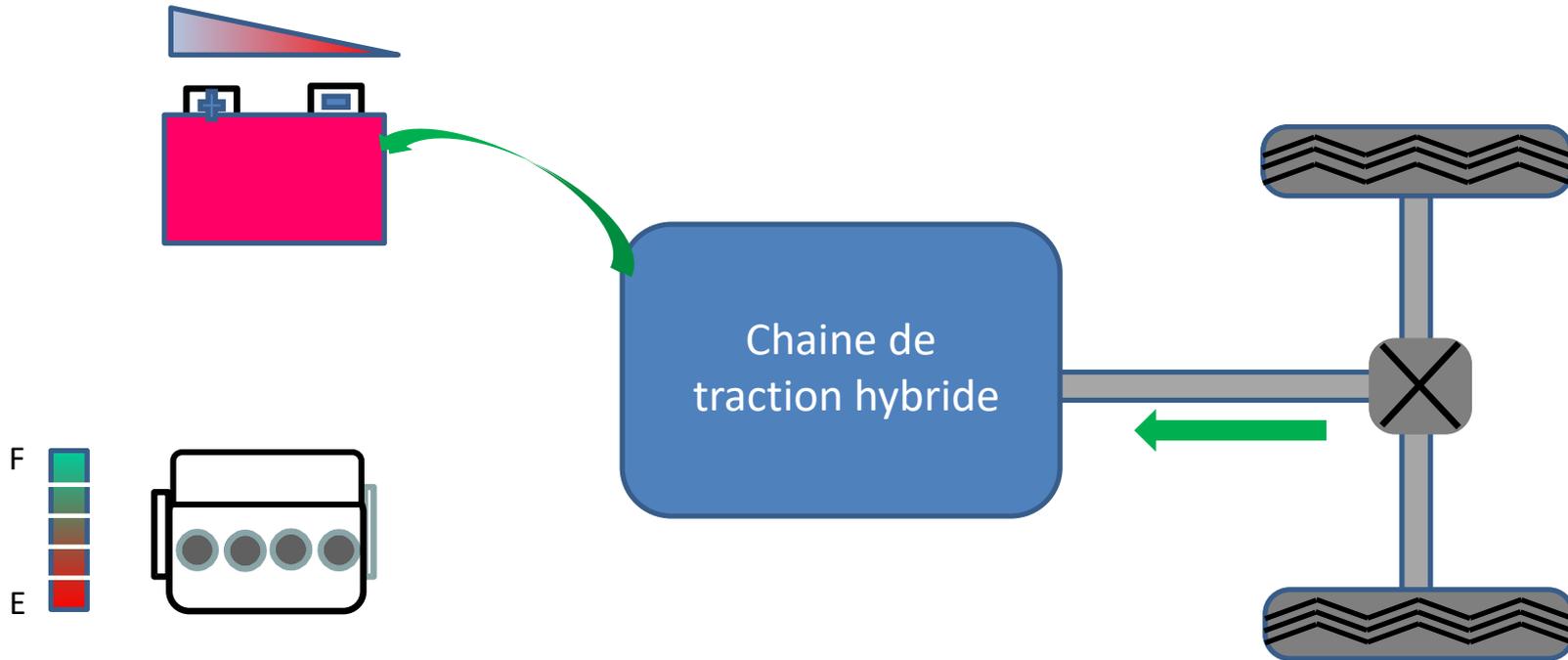
La gestion d'énergie des VEH

➤ Propulsion tout électrique



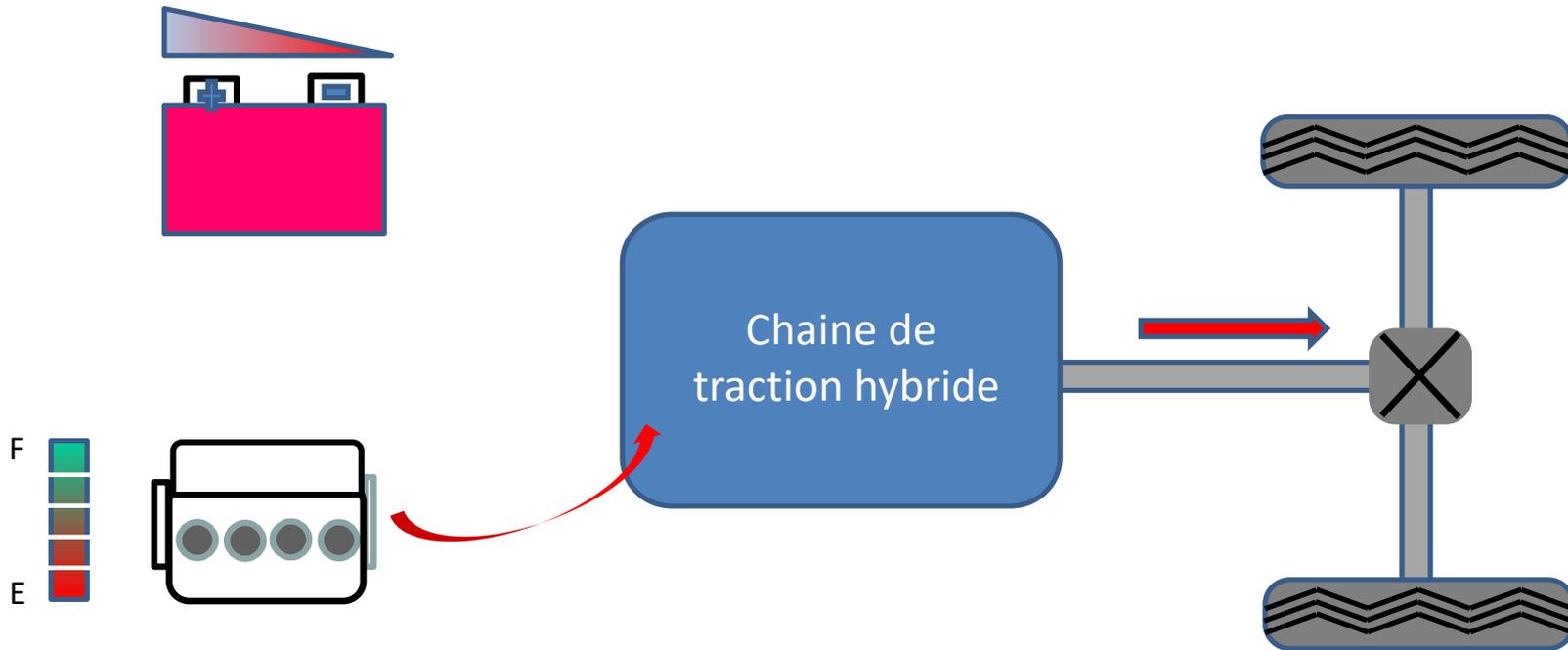
La gestion d'énergie des VEH

➤ Récupération tout électrique



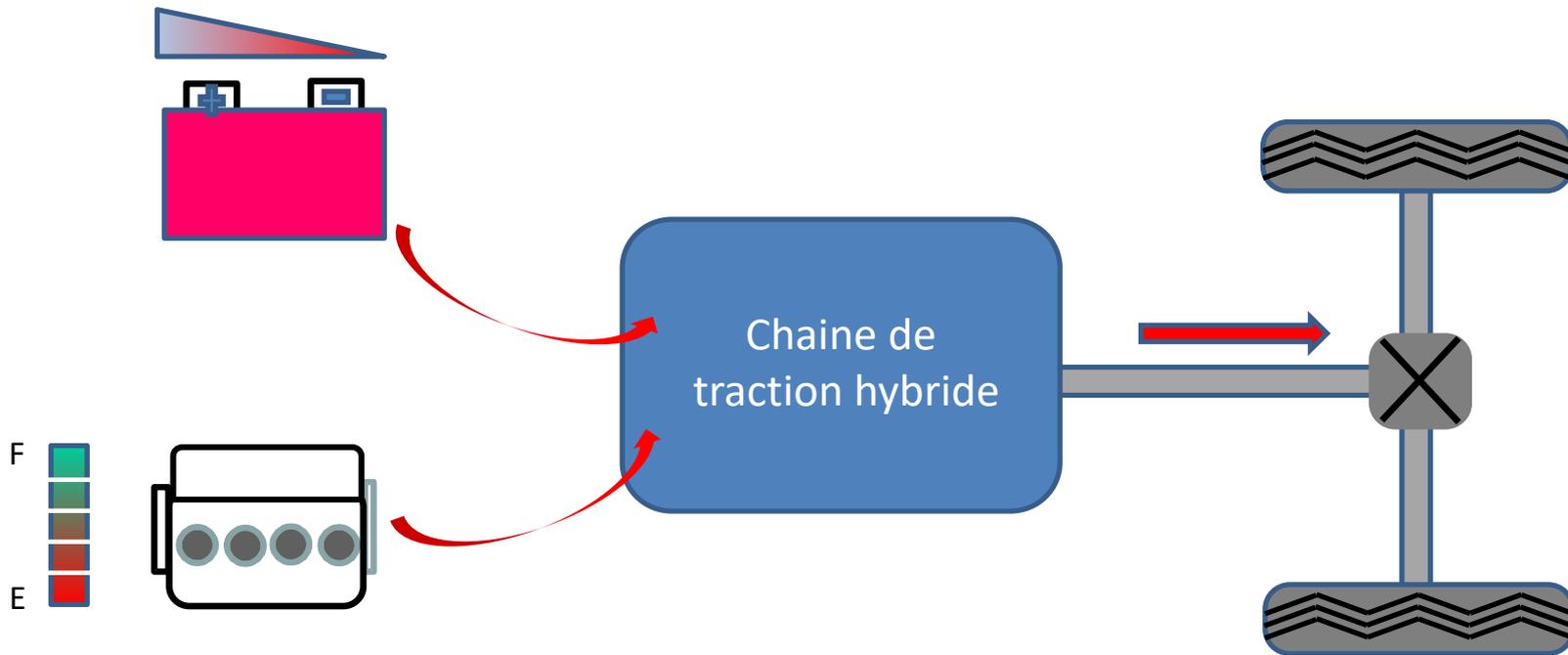
La gestion d'énergie des VEH

➤ Propulsion tout thermique



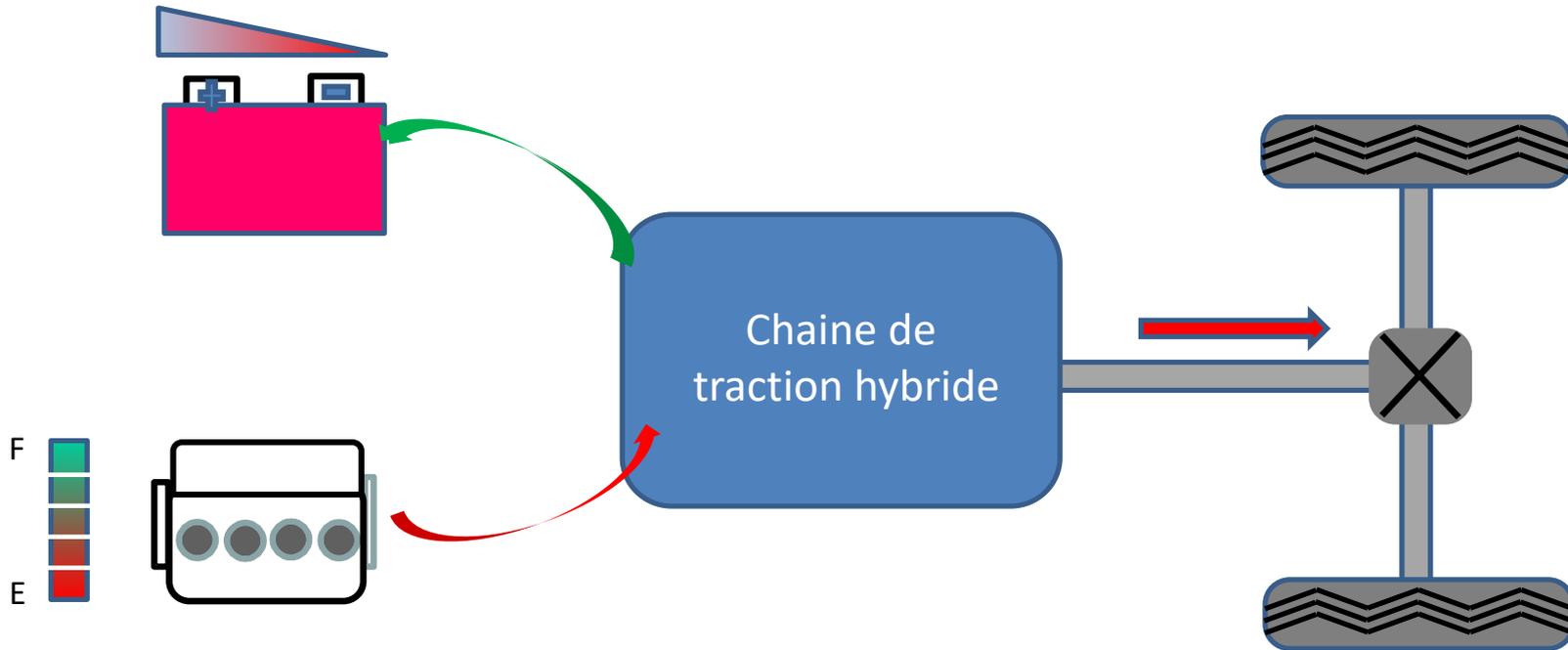
La gestion d'énergie des VEH

➤ Propulsion thermique électrique

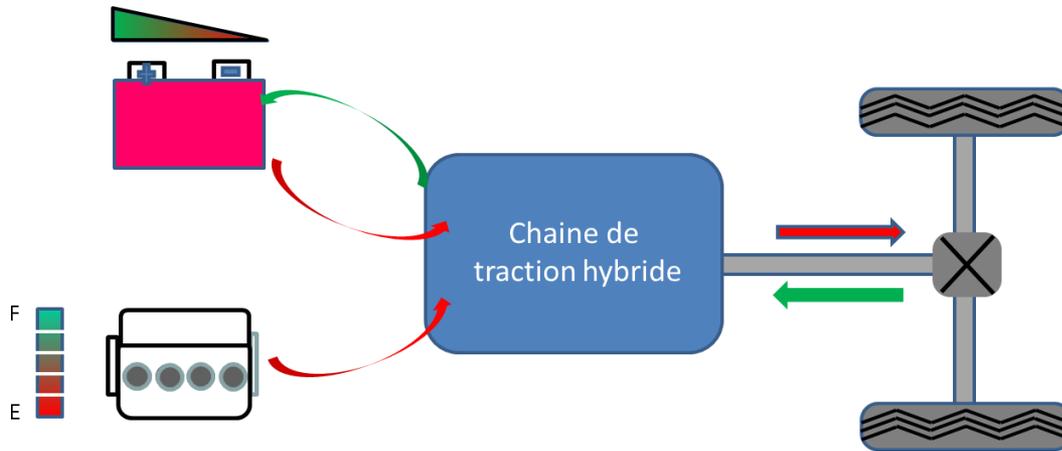


La gestion d'énergie des VEH

➤ Propulsion thermique et recharge batterie



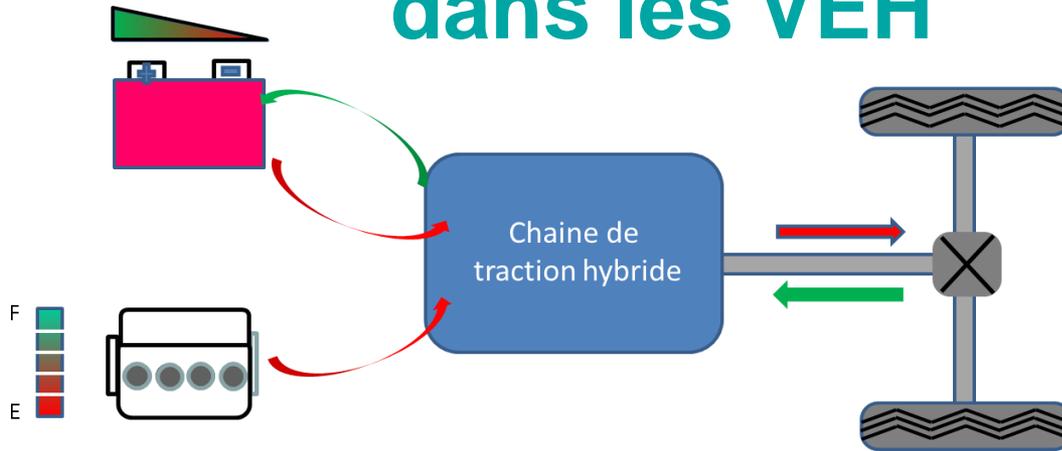
La gestion de l'énergie dans les VEH



- ★ Quid : choix de la quantité d'énergie que va fournir (recevoir) chaque source :
- Exemple on n'utilisera pas le moteur thermique en ville .
- On rechargera la batterie pendant les freinages mais aussi si le moteur fournit peu de puissance ...

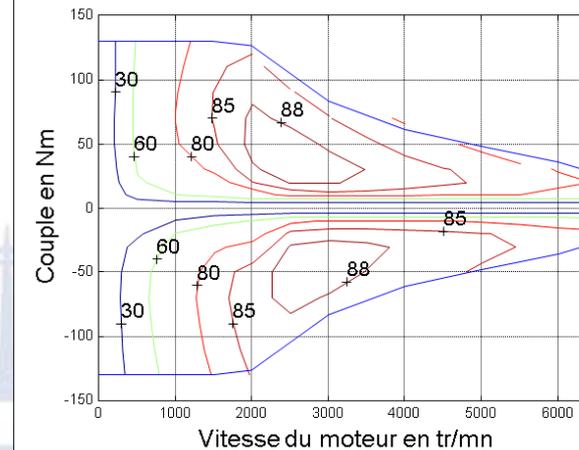
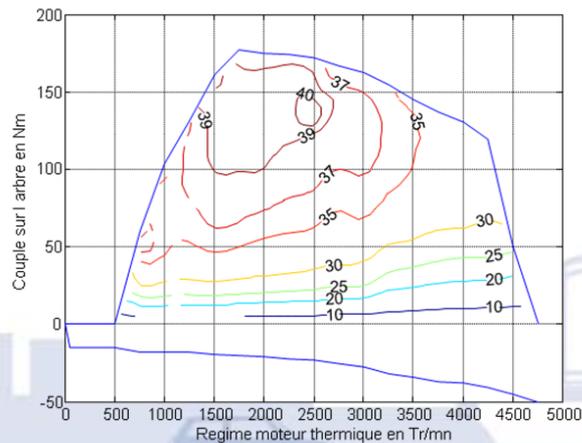


La gestion de l'énergie dans les VEH

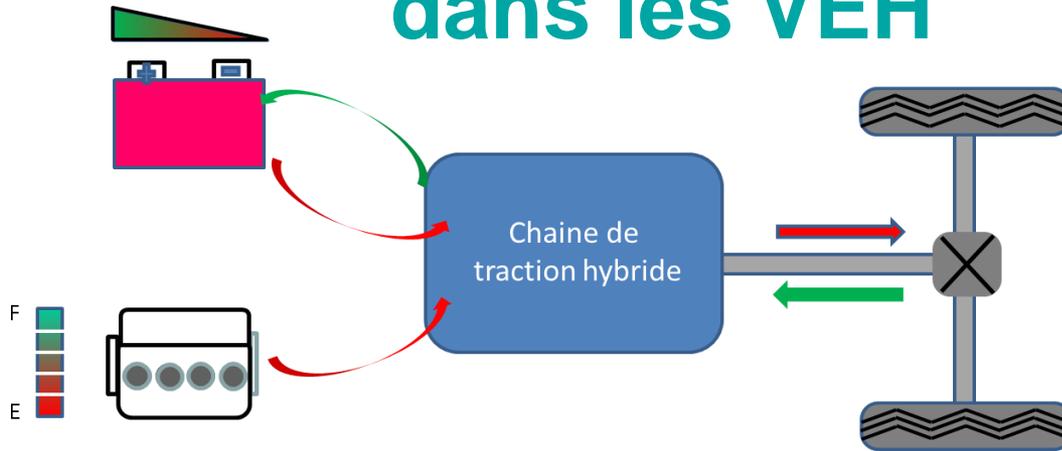


- ★ Pourquoi c'est important : parce que les rendements de conversion de l'énergie ne sont pas les mêmes selon les conditions d'utilisation.

carte d'isorendement en %



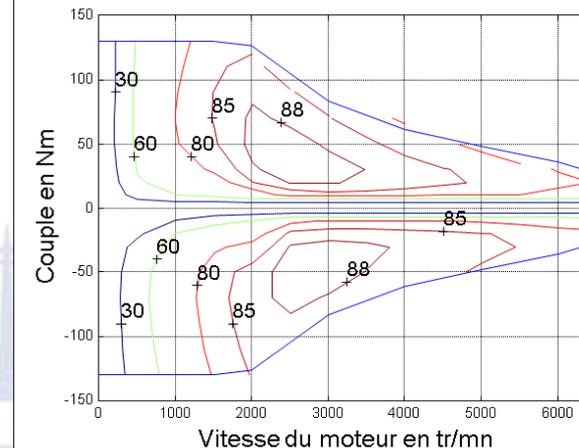
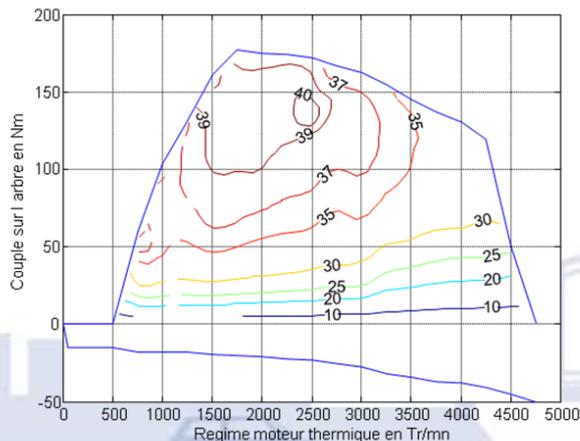
La gestion de l'énergie dans les VEH



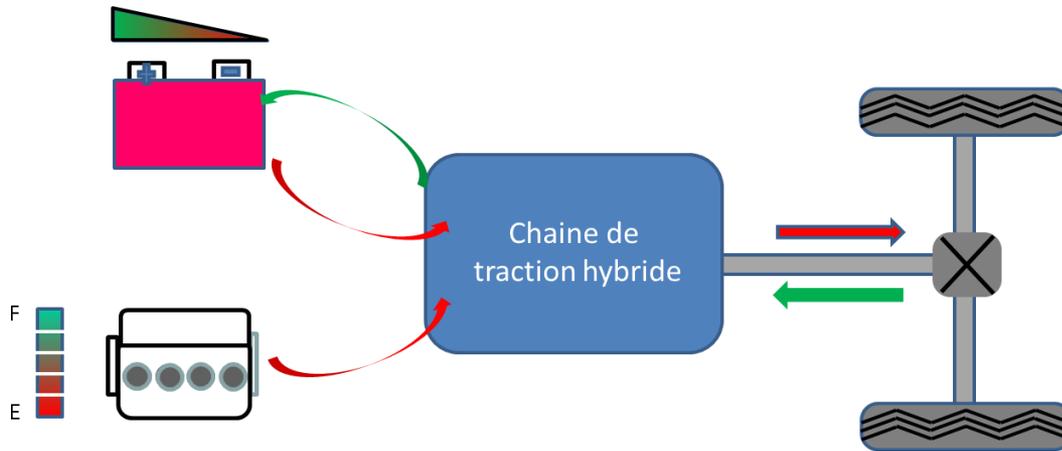
★ Pourquoi c'est important : parce que les rendements de conversion de l'énergie ne sont pas les mêmes selon les conditions d'utilisation.

- Gain en énergie consommée même si les plus gros gains des hybrides = récupération aux freinages

carte d'isorendement en %



La gestion de l'énergie dans les VEH

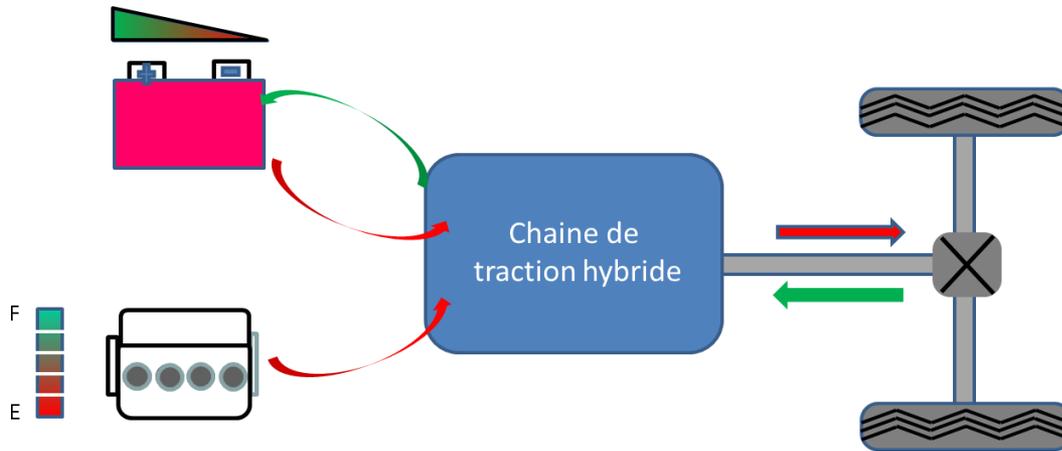


★ Comment ? :

- Méthodes heuristiques; rule based
- Méthodes mathématiques optimales



La gestion de l'énergie dans les VEH

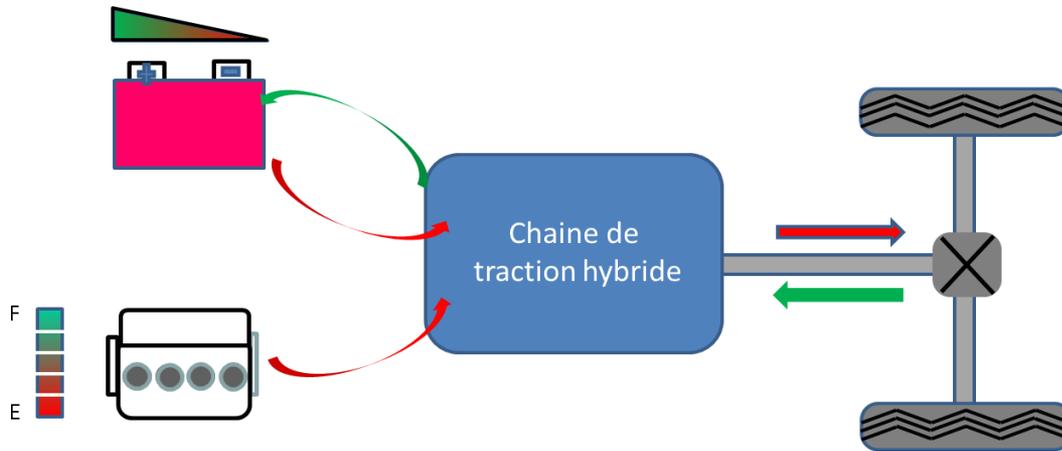


★ Comment ? :

- Méthodes heuristiques; rule based
- Méthodes mathématiques optimales



La gestion de l'énergie dans les VEH



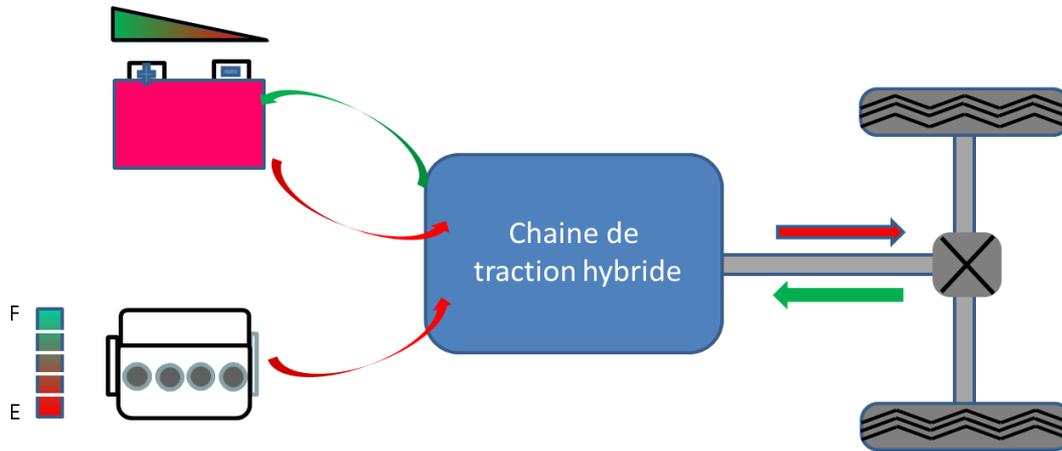
★ Comment ? :

- Méthodes heuristiques; rule based
- Méthodes mathématiques optimales

- (pour connaître les minimums atteignables, faire du dimensionnement, etc)



La gestion de l'énergie dans les VEH



★ Comment ? :

- Méthodes heuristiques; rule based
- Méthodes mathématiques optimales

• (pour connaître les minimums atteignables, faire du dimensionnement, etc)



★ Autres applications :

- Eco-conduite,
- Gestion de stockage stationnaire
- Objectifs multi-critères (consommation, pollution, vieillissement batteries ...)
- Recharge de flotte de bus

Conclusion

★ Faites du vélo :



Conclusion

★ Faites du vélo :



★ Si vous êtes fainéant faites du vélo hybride (plus gestion énergie)



Conclusion

- ★ Faites du vélo :



- ★ Si vous êtes fainéant faites du vélo hybride (plus gestion énergie)



- ★ Si vous êtes très fainéant faites du vélo électrique

