



convertisseur
d'énergie
**Intégré
Intelligent**

29 janvier 2020 – comité de suivi

FSA Béthune

Tâche 6 – Machines intelligentes interconnectées

Sous-tâche 6.3 – Motorisation hybride

Poids lourd hybride avec EVT : premiers résultats

Walter LHOMME, Alain BOUSCAYROL, Zetao MA



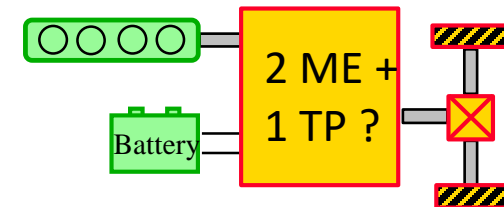
Sous-tâche 6.3 : *motorisation hybride*

- **Objectif :**

Proposer des motorisations hybrides « séries-parallèles » pour poids lourds (1 Mth + 2 ME) à fort rendement, haute fiabilité, forte intégration (CE2I)

- **Verrous technologiques :**

Hybridation séries-parallèles « SPG », la meilleure pour automobiles, mains non adaptée pour poids lourds (compacité, rendement, fiabilité)



- **État de l'art, 3 tendances (non commercialisées de fait)**

- ✓ USA, « dual mode » rendement fort, inconvénients : coût, compacité, fiabilité
- ✓ Europe / Asie, « EVT » compacité forte, inconvénients : coût, rendement
- ✓ Europe « DPG » fiabilité forte, compacité moyenne, inconvénients : rendement

Objectif : étude des gains avec convertisseurs CE2I pour poids lourd hybride

Contrainte : le convertisseur CE2I non disponible au début -> études anticipées

Méthodologie :

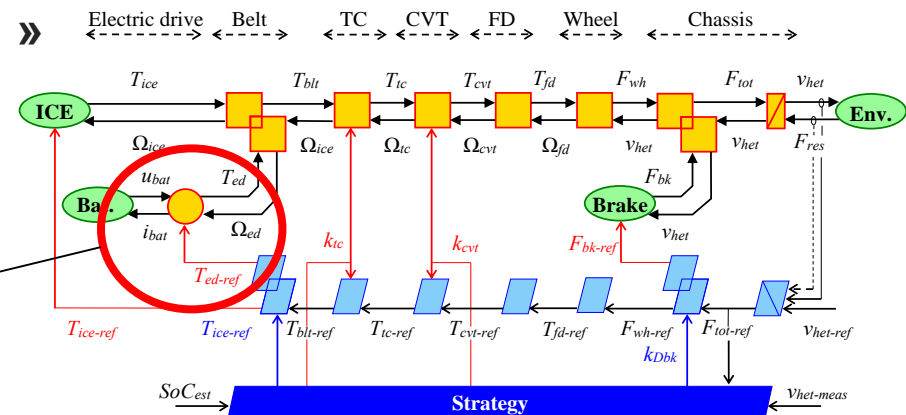
1. Simulation poids lourds diesel (référence)
2. Simulation poids lourds hybrides S/P sans **CE2I** et gains associés

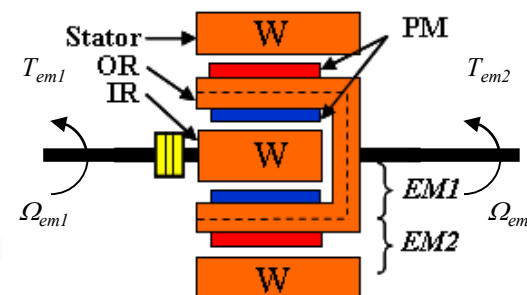
Convertisseur haut rendement (T1)
Machine haute fiabilité (T3)
Prototype CE2I (T7)

3. Simulation poids lourds hybrides avec « **CE2I** » et analyse des gains supplémentaires

Identification
modèle

adaptation

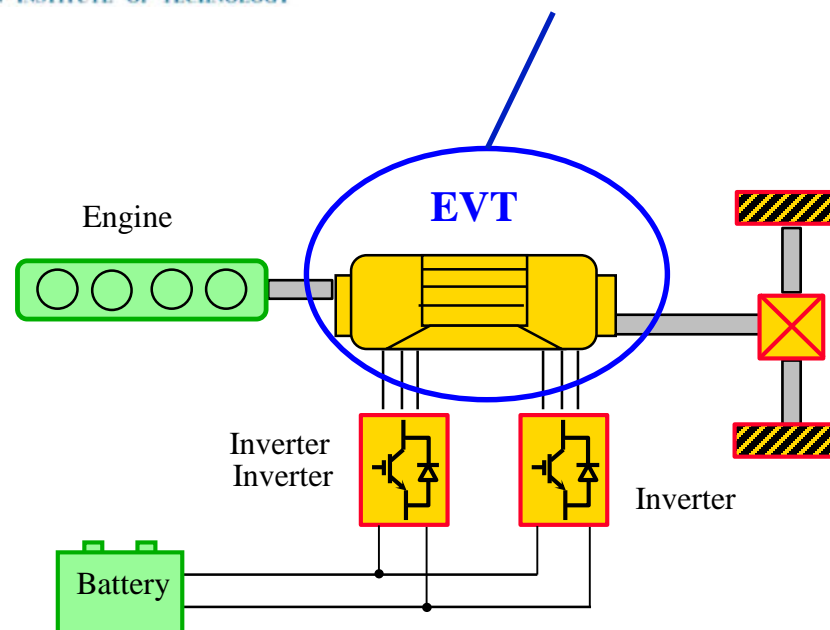


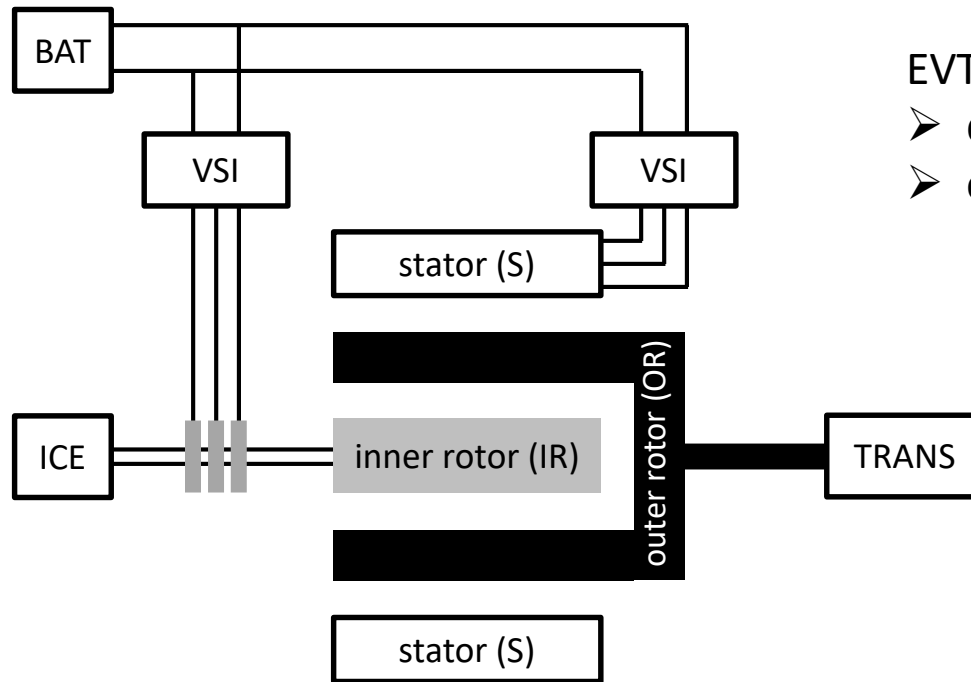


Poids lourd hybride Série-Parallèle avec EVT (Electric Variable Transmission)

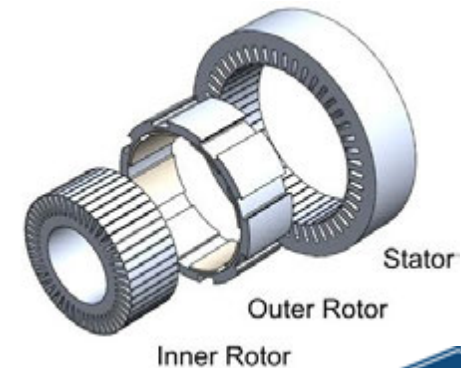
- 1 machine électriques double stator / double rotor
- 1 batterie (couplage électrique)
- pas de transmission mécanique

plus intégré, faible consommation...
... commande plus complexe



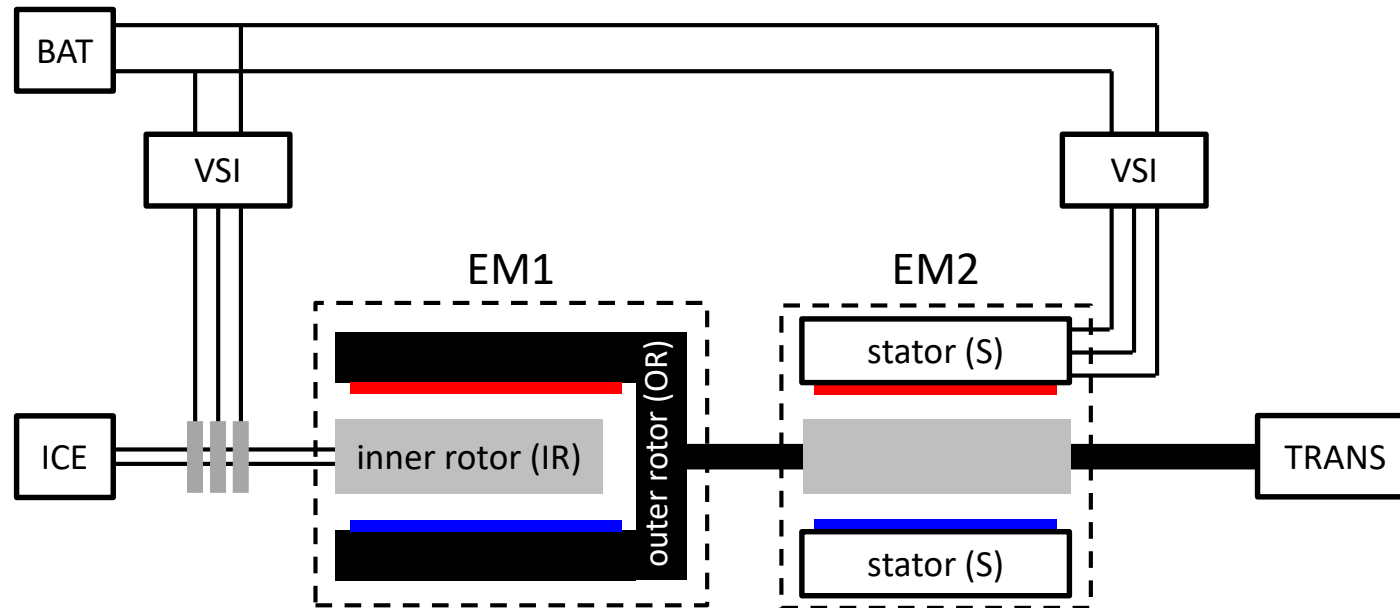


- EVT stands for Electric Variable Transmission
- dual-rotor concentric EM
 - electromagnetic power split transmission



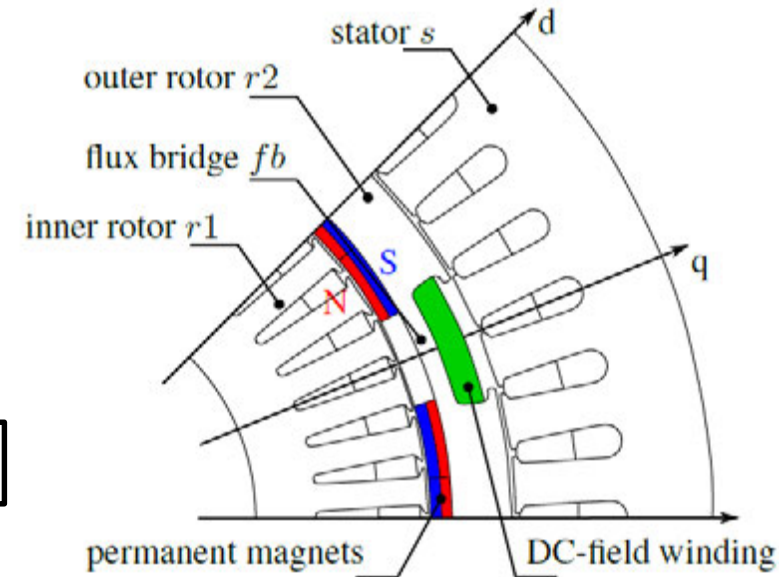
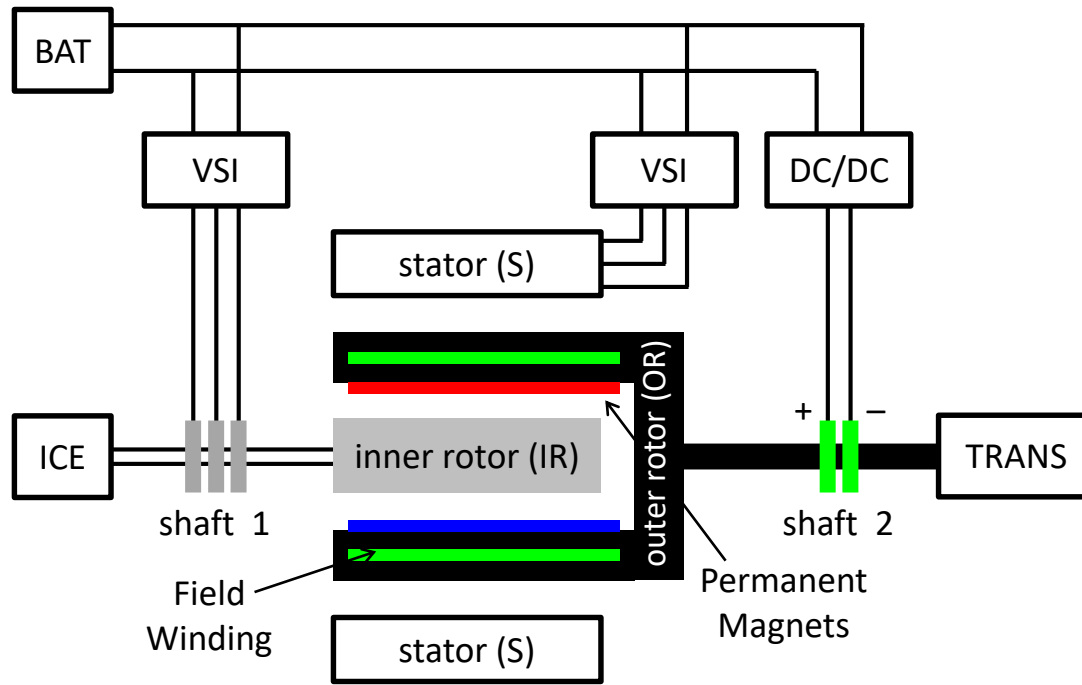
Depending of the yoke of the outer rotor, the stator and inner rotor can or cannot be seen as 2 separate EM





Thick outer rotor yoke = can be seen as 2 separate EM (no magnetic coupling)

- IR/OR combination (EM1) = dual rotor EM
- OR/S combination (EM2) = conventional EM



Hybrid excitation [Druant 17]

Thin OR yoke = 1 magnetically coupled entity (cannot be seen as 2 separate EM)

- IR/OR combination (EM1) = PMSM machine with a rotating winding
- OR/S combination (EM2) = separately excited SM
- Single layer PM: less expensive
- The design allows to reduce the iron losses in stator (better efficiency)





TO DO

heavy-duty HEV for EVT with thin yoke

EVOLUTION project (2020)



Post-doc CE2I: Zetao MA (2018-2019)
W. Lhomme, A. Bouscayrol

Collaboration HIT (China)
with Pr. S. Cui

heavy-duty HEV for EVT with thick yoke

DONE

light-duty HEV for EVT with thin yoke

DONE

CRCT: Walter LHOMME (2019)

Collaboration UGhent (Belgium)
with F. Verbelen, P. Sergeant, K. Stockman



Dynamic Programming (DP) to manage the energy to get the optimal fuel consumption

[Ma 19a]

Sizing problem

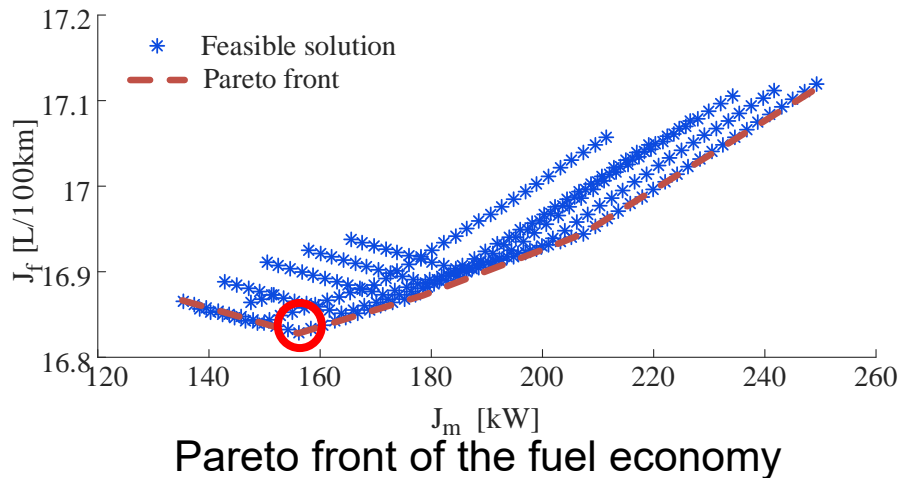
$$\min J_f, J_m$$

subject to:

$$t_{acc} \leq 26 \text{ s}$$

$$v_{max} \geq 100 \text{ km/h}$$

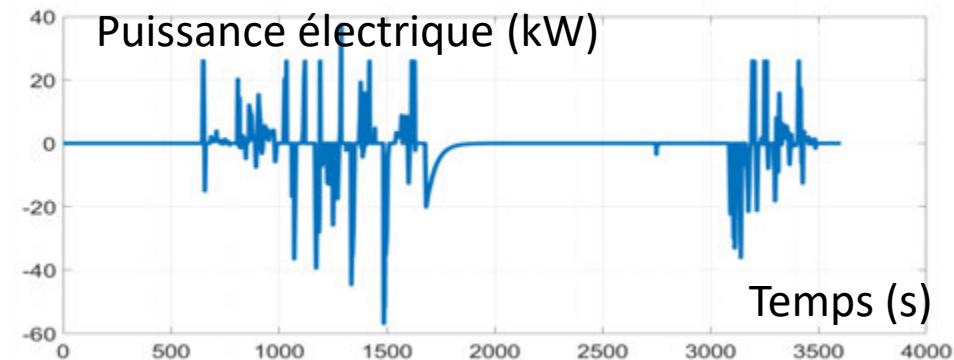
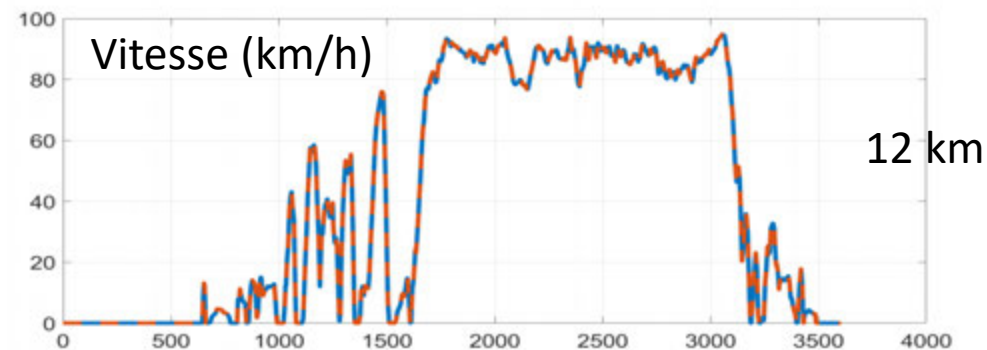
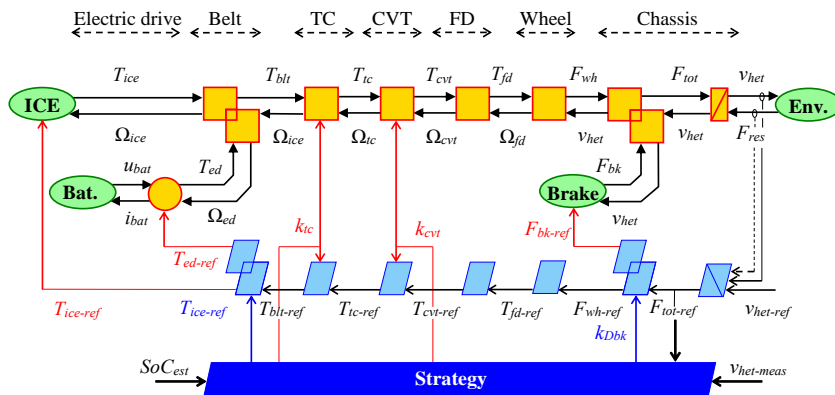
$$\theta_{max} \geq 9 \%$$



- Minimum fuel consumption located at 158 kW, where EM1 is 60 kW and EM2 is 98kW
- A larger EVT size may increase the fuel consumption
- 21.3% improvement compared to conventional delivery truck

Comparaison par simulation

- Cycle normalisé UDDS
- Commande « maximale » via REM
- Consommation « optimale » via DP
- SoC fin = SoC initial



Poids lourd diesel (classique)

référence
18,3 L/100

Poids lourd hybride avec CVT

Gain conso de 10 %

Poids lourd hybride avec DPG

Gain conso 23 %

Poids lourd hybride avec EVT

Gain conso 21 %

Poids lourd hybride avec conv. CE2I

Gain conso ??

2 summer schools (EMR'19)

[Nguyen 19a] B.H. Nguyen, R. German, J. P. Trovao, A. Bouscayrol, “EMR for optimization-based energy management of a battery/SC parallel hybrid truck”, EMR'19, June 2019, Lille, France, [academic collaboration](#) (University of Sherbrooke, Canada)

[Verbelen 19] F. Verbelen, W. Lhomme, P. Sergeant, “EMR and electrical variable transmission for hybrid truck”, EMR'19, June 2019, Lille, France, [academic collaboration](#) (Ghent University, Belgium)

3 international peer-reviewed conference papers

[Ma 19b] Z. Ma, W. Lhomme, A. Bouscayrol, “Comparison of gearless hybrid transmissions for a medium-duty truck”, IEEE-VPPC'19, Oct. 2019, Hanoi, Vietnam

[Nguyen 19b] B.H. Nguyen, R. German, J. P. Trovao, A. Bouscayrol, “Impact of supercapacitors on fuel consumption and battery current of a parallel hybrid truck”, IEEE-VPPC'19, Oct. 2019, Hanoi, Vietnam, [academic collaboration](#) (University of Sherbrooke, Canada)

[Ma 19a] Z. Ma, A. Bouscayrol, W. Lhomme, S. Cui, “Optimal sizing of the EVT for a hybrid urban delivery truck”, IFAC-AAC'19, June 2019, Orléans, France, [academic collaboration](#) (Harbin Institute of Technology, China)

1+1 international peer-reviewed journal papers

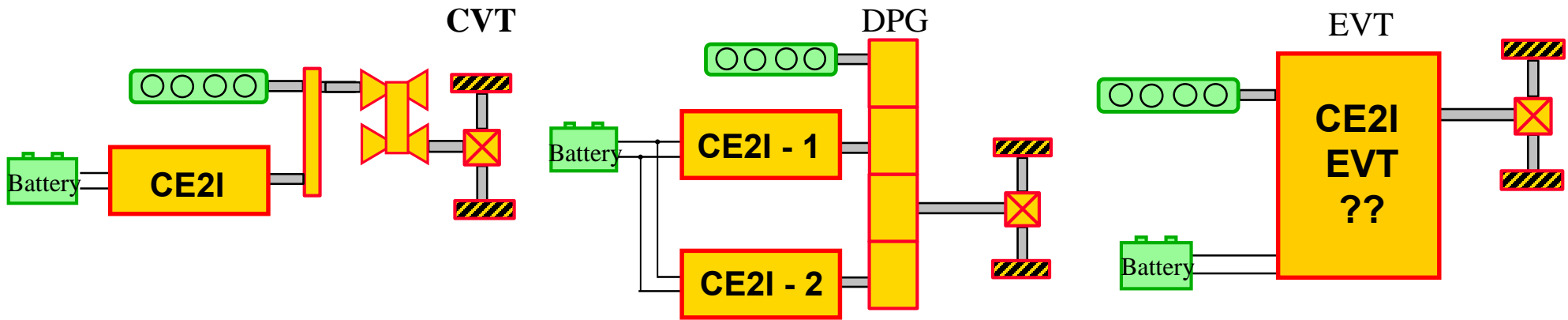
[Verbelen 20] F. Verbelen, W. Lhomme, E. Vinot, J. Stuyts, M. Vafaeipour, O. Hegazy, K. Stockman, P. Sergeant, “Comparison of the electrical variable transmission with the Toyota hybrid system”, Applied Energy, under review, [academic collaboration](#) (Ghent University and Free University of Brussels, Belgium)

[Nguyen 19a] B. H. Nguyen, R. German, J. Trovao, A. Bouscayrol, “Real-time energy management of battery/supercapacitor electric vehicles based on an adaptation of Pontryagin's minimum principle”, IEEE-TVT, 2019, vol. 68, no. 1, pp. 203-212, [academic collaboration](#) (University of Sherbrooke, Canada)

Zetao MA (post-doc 2018-2019) recruited by the Chinese Academy of Sciences in 2020

• Motorisations hybrides

- ✓ gain avec convertisseur CE2I pour poids lourds hybride avec CVT
- ✓ gain avec convertisseur CE2I pour poids lourds hybride avec DPG
- ✓ convertisseur CE2I « EVT » ? et gain pour poids lourds hybride avec EVT





convertisseur
d'énergie
**Intégré
Intelligent**

24 mai 2019 – comité d'évaluation externe

Fin de la présentation

