

A photograph of a factory floor with several workers. The image is overlaid with a semi-transparent green filter. In the foreground, a worker in a white lab coat and safety glasses is working on a large, clear, curved component. In the background, other workers are visible at their stations. The text "Et la suite ?" is centered in white.

Et la suite ?

Historiques des thèse Valeo avec Lauric

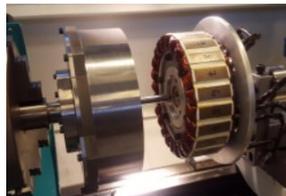
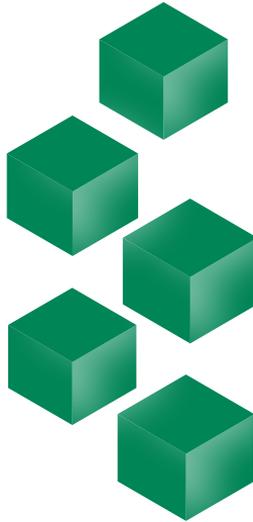
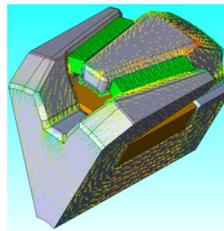


- ▶ Contribution à l'Etude et à l'Optimisation d'une Machine Synchrone à Double Excitation pour Véhicules Hybrides par **Abdeljalil Daanoune**

- ▶ Etude et dimensionnement de machine à flux axial pour le véhicule hybride électrique par **Thomas Boussey**

- ▶ Etudes thermiques pour l'amélioration du refroidissement des machines électriques pour voitures hybrides par **Yoann Querel**

- ▶ Analyse des critères dimensionnants d'un onduleur et d'une machine synchrone polyphasée pour véhicules hybrides et électriques par **Quentin Loeillet**



Demeter

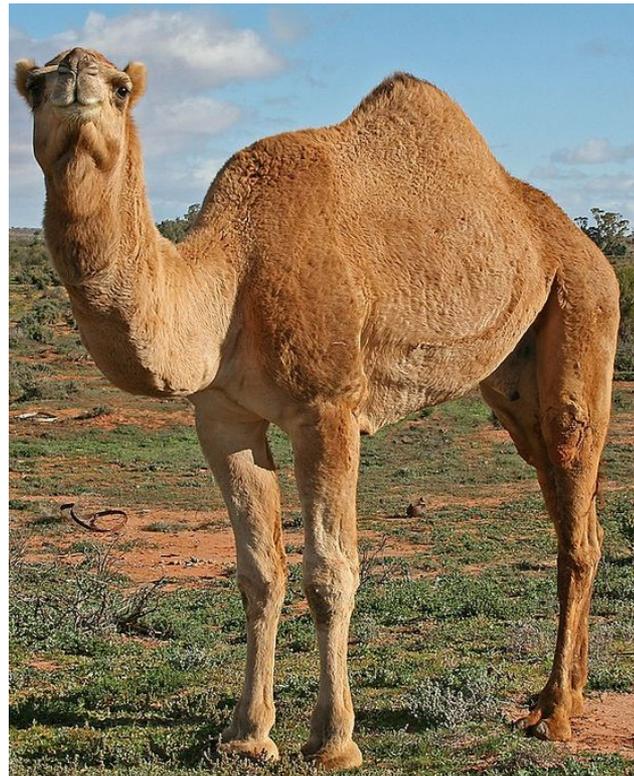
- ▶ Conception d'une machine à rotor externe de type Halbach pour l'électromobilité considérant la réutilisation et le recyclage des aimants permanents par **Amit-Kumar Jha**
- ▶ Design de machine à flux radial avec aimants recyclés par **Ziwei Li**
- ▶ Conceptions de machines électriques à trajectoires de flux 3D pour application automobiles considérant la réutilisation et le recyclage des aimants par **Pranshu Upadhayay**



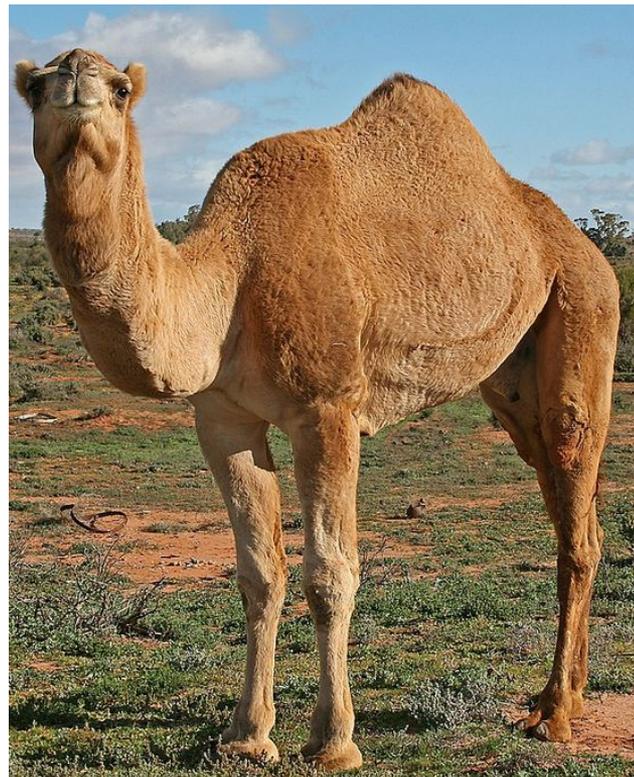
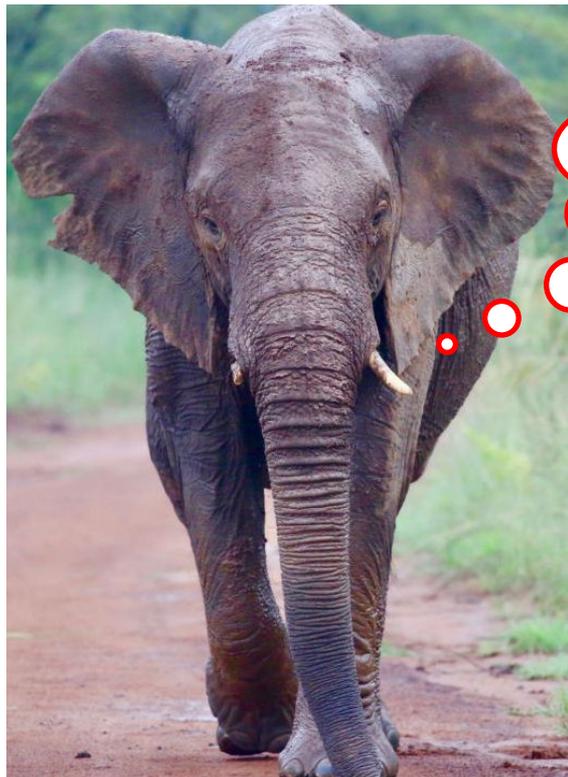
YOANN

Valeo

Quelle est la différence entre ...



La stratégie de régulation thermique !



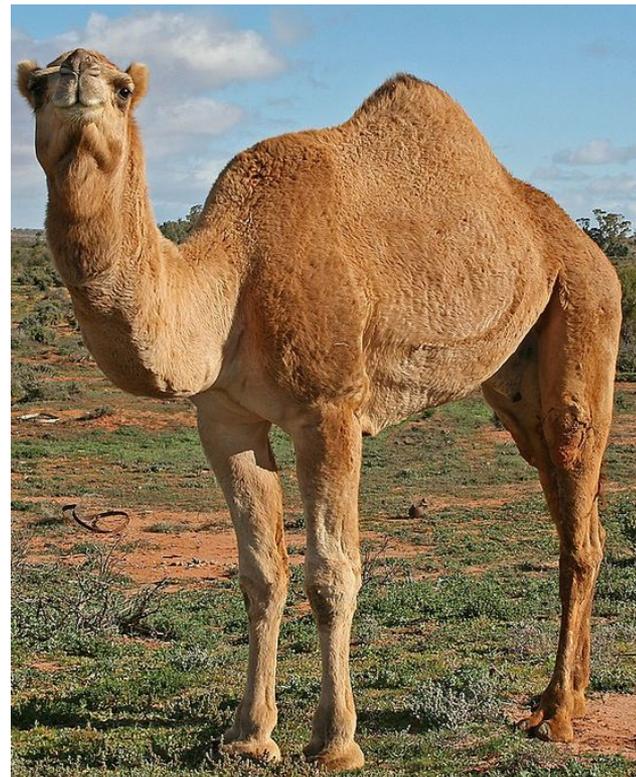
La stratégie de régulation thermique !



La stratégie de régulation thermique !



J'ai choisi de changer le fluide de refroidissement



La stratégie de régulation thermique !



La stratégie de régulation thermique !

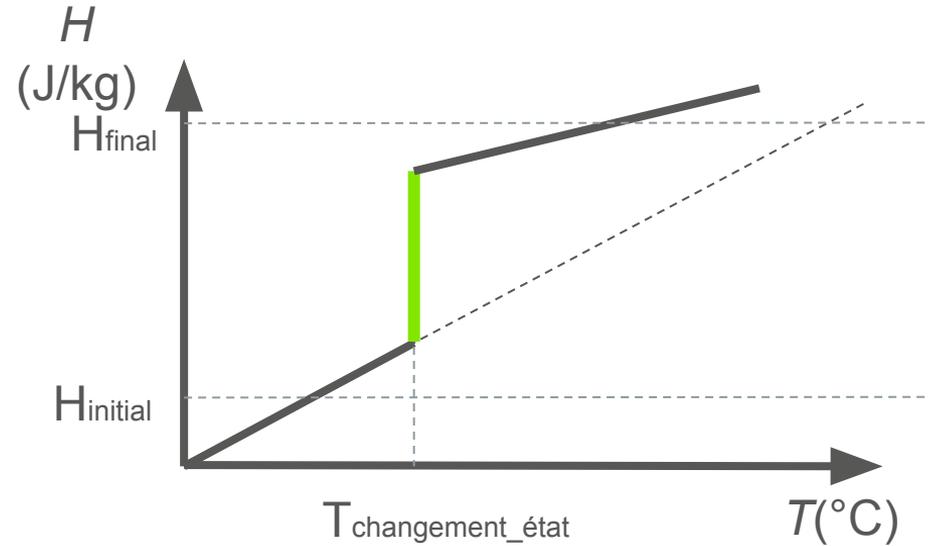
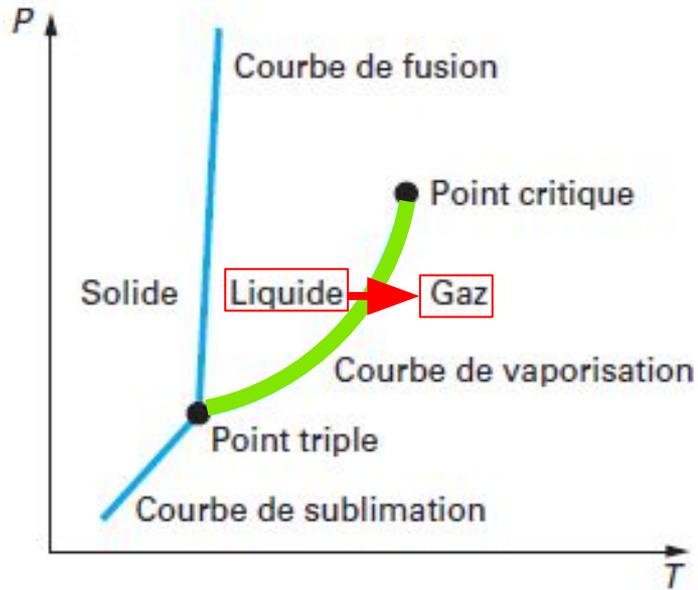


J'ai choisi le refroidissement par évaporation !

Plan

- Introduction
- Intérêt du changement d'état liquide - gaz
- Dans l'industrie
- Expérience de Nukiyama
- Concrètement, gains en densité de courant
- Impacts sur le dimensionnement de machine

Intérêt du changement d'état liquide - gaz



Dans l'industrie



Heat pipes

250 W/cm²



Spray

1 800W/cm²

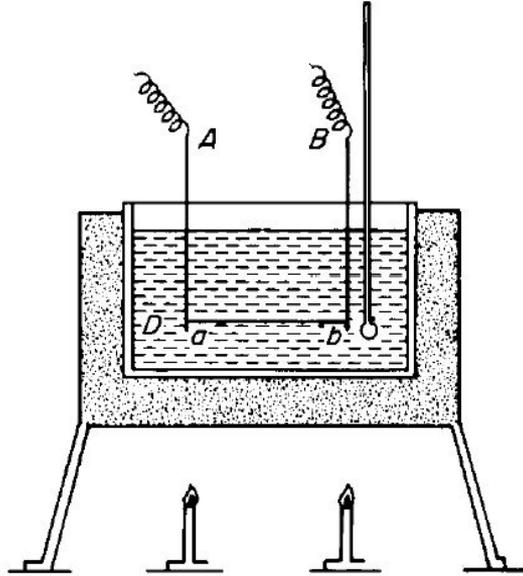


Immersion

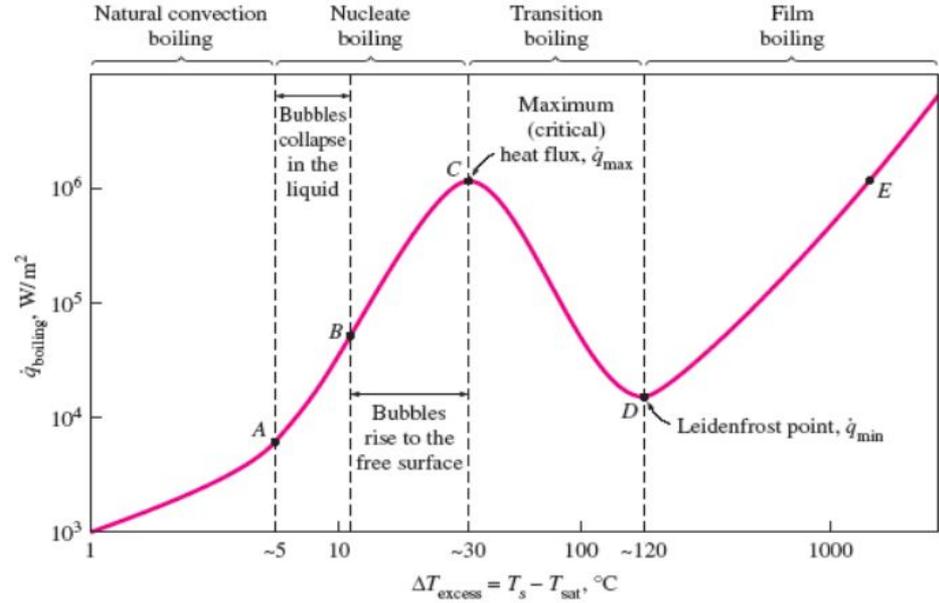
500 W/cm²

Sources: Almeida, Etude du spray comme technologie de refroidissement diphasique & 3M youtube video

Expérience de Shiro Nukiyama (1934)

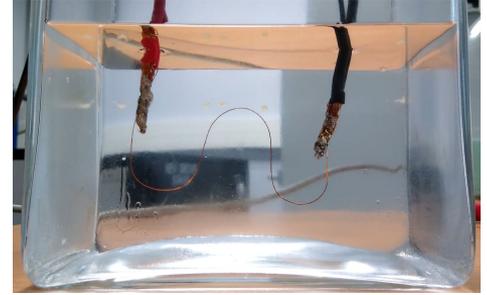
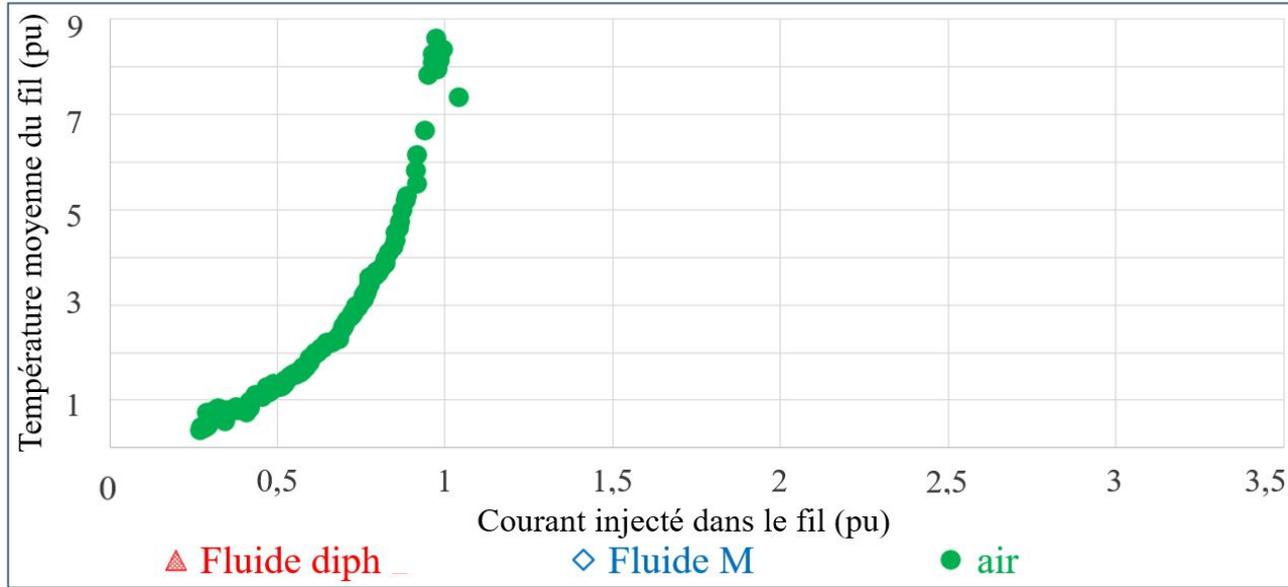


Fil de platine immergé dans un bain d'eau distillée maintenu 100 °C



Courbe d'ébullition

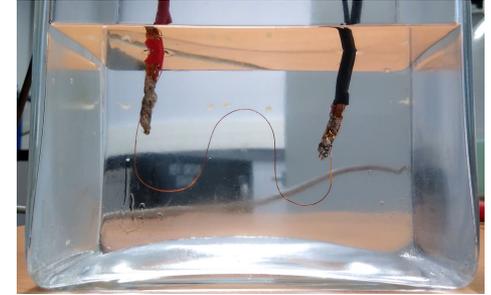
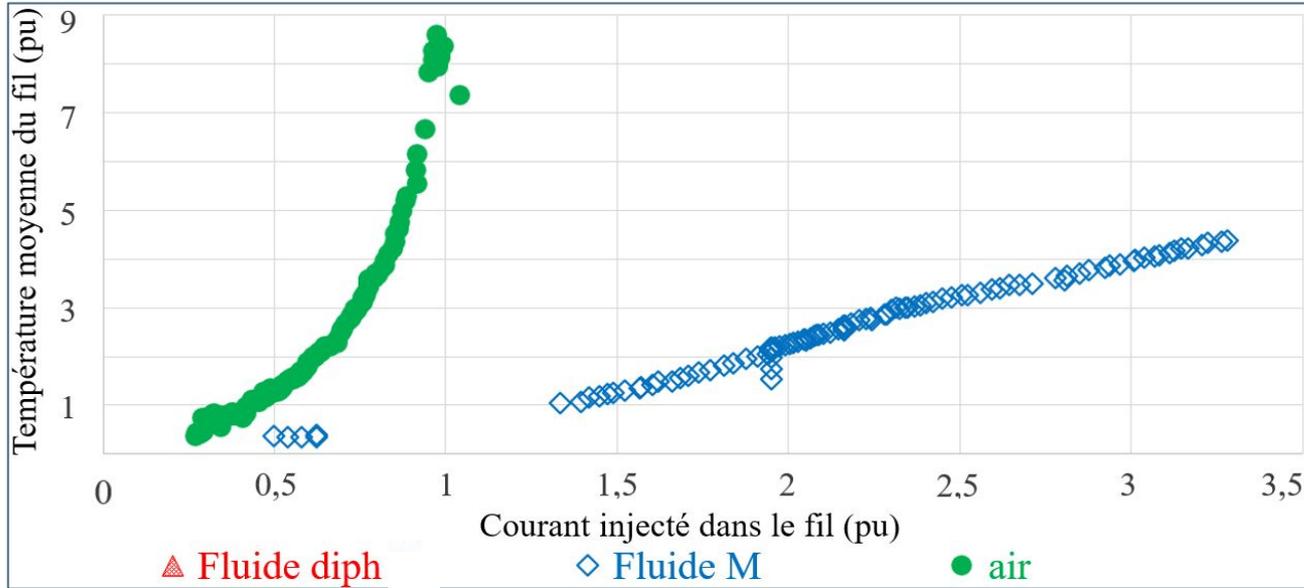
Concrètement, gains en densité de courant



Refroidissement à air

- augmentation rapide de la température

Concrètement, gains en densité de courant



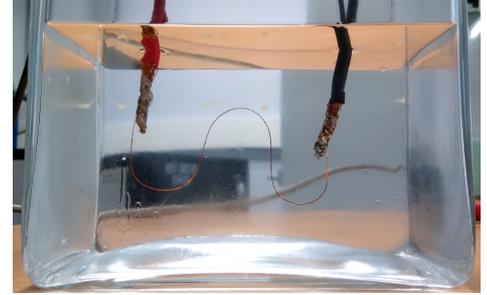
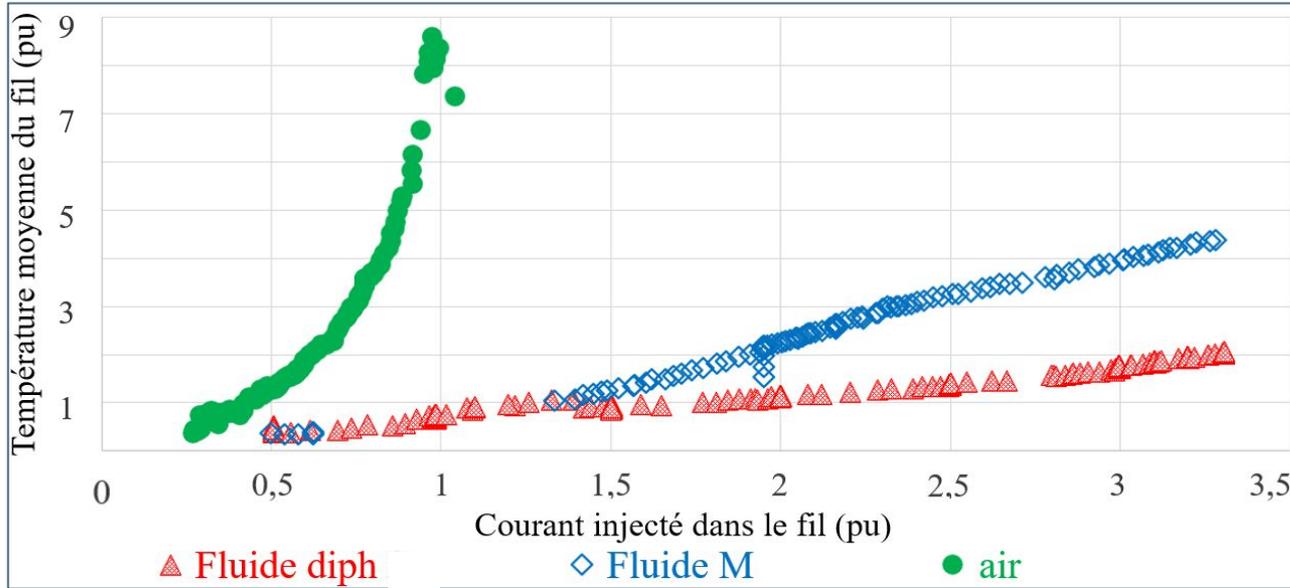
Refroidissement à air

- augmentation rapide de la température

Refroidissement à fluide monophasique

- Amélioration du refroidissement

Concrètement, gains en densité de courant



Refroidissement à air

- augmentation rapide de la température

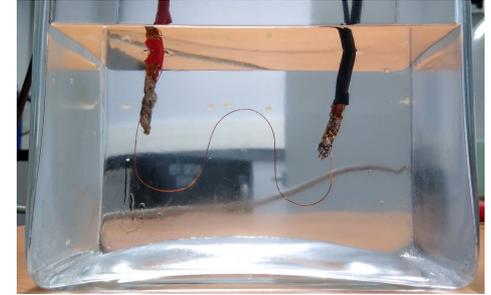
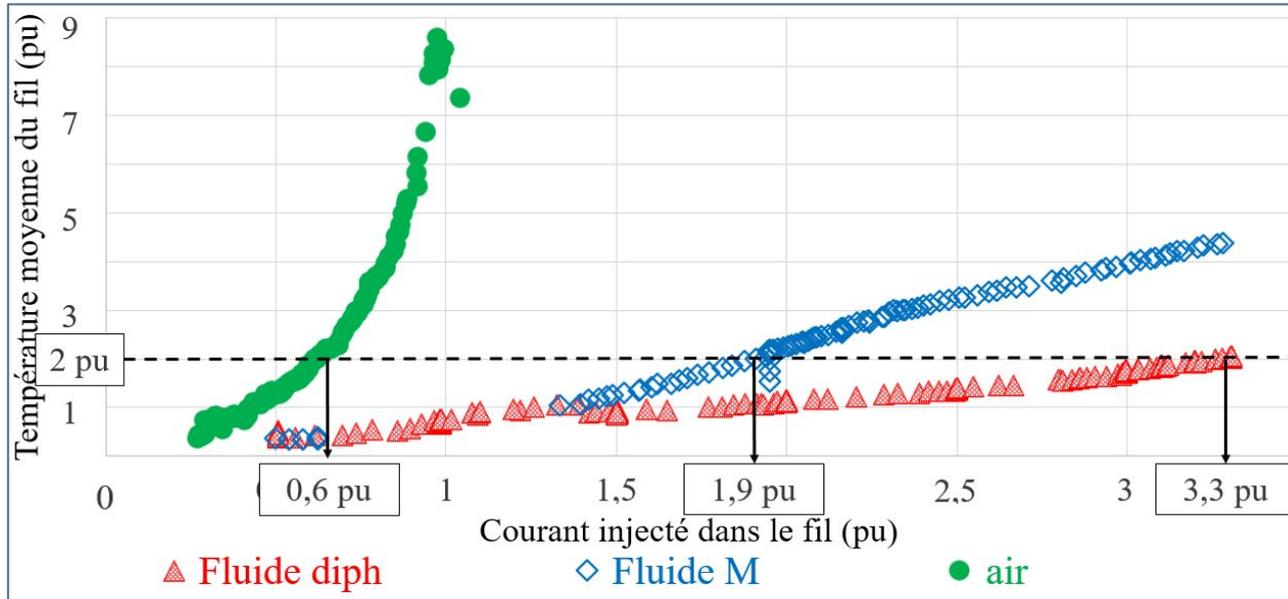
Refroidissement à fluide monophasique

- Amélioration du refroidissement

Refroidissement à fluide diphasique

- Nette amélioration du refroidissement

Concrètement, gains en densité de courant



Refroidissement à air

- augmentation rapide de la température

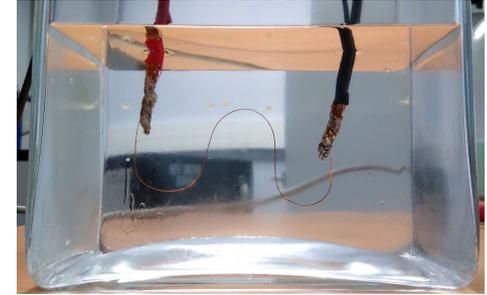
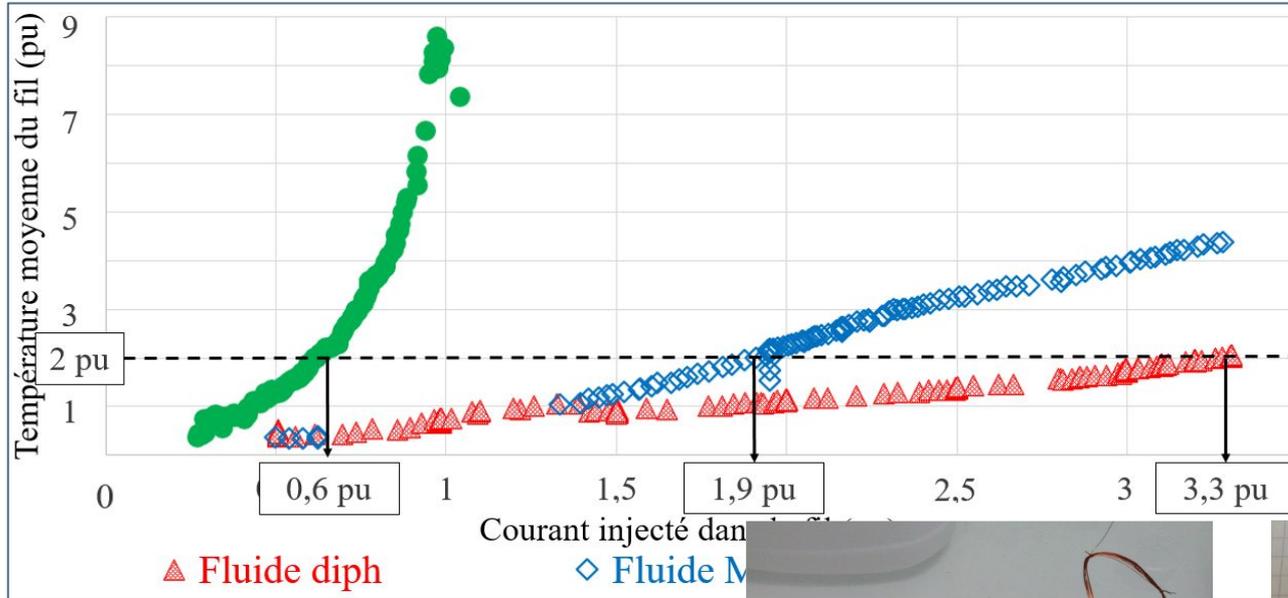
Refroidissement à fluide monophasique

- Amélioration du refroidissement (3 fois plus)

Refroidissement à fluide diphasique

- Nette amélioration du refroidissement (5,5 fois plus)

Concrètement, gains en densité de courant



Refroidissement à air

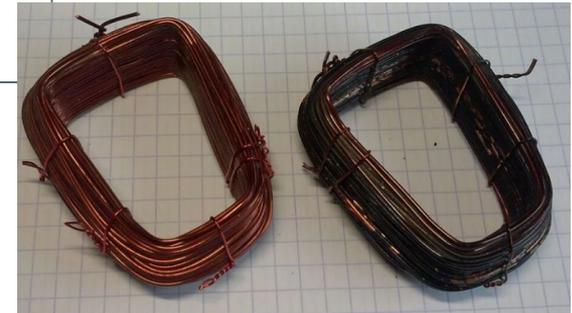
- augmentation rapide de la température

Refroidissement à fluide monophasique

- Amélioration du refroidissement (3 fois plus)

Refroidissement à fluide diphasique

- Nette amélioration du refroidissement (5,5 fois plus)



Impacts sur le dimensionnement de machine

Maintien des ampère tours

- diminution du nombre de spire et augmentation du courant
- maintien du nombre de spire, réduction de la section de cuivre

Augmentation des ampère tours

- diminution de la quantité d'aimant au rotor

Exemple sur le re-dimensionnement d'une machine à flux axial

- diminution de 27 % de la dimension axiale
- réduction (21 %) de la quantité d'aimants permanent
- diminution de la température du cuivre
- Augmentation des pertes Fer et cuivres



QUENTIN

Valeo



Présentation sujet thèse

**Analyse des critères de conception d'un système composé d'un onduleur
et d'une machine synchrone polyphasée à excitation mixte pour
application véhicules électriques et hybrides**

11/10/2023

Quentin Loeuillet

Contexte de la thèse

La large gamme d'applications des systèmes de traction de Valeo

LOW VOLTAGE (12-volts & 48-volts) **Valeo**

Valeo SIEMENS HIGH VOLTAGE (60-volts +)
eAutomotive

Small Electric

Zero emission zone
Small mobility
≤ 100km
≤ 50km/h



Light Electric

Zero emission zone
Light mobility
100km - 150km
Up to 100km/h



Mild Hybrid

4 to 6%* CO₂ benefits
on Worldwilde
harmonised Light
vehicle Test Procedure

First level of
hybridization



Hybrid

Up to 15%* CO₂ benefits
on Worldwild
harmonised Light vehicle
Test Procedure (up to 20%
in High Voltage)

Diesel alternative

Affordable cost



Plug-In Hybrid

Up to 70%* CO₂ benefits
on Worldwild
harmonised Light vehicle
Test Procedure (up to 40%
in 48-volts)

Plug-in Hybrid Electric
Vehicle over 50km (City
25km in 48-volts)



Full Electric

Zero CO₂ emission
Performance

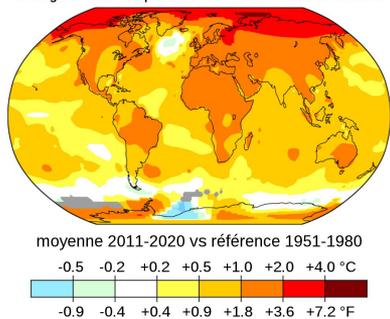


* Non binding data, depending on baseline application

Contexte de la thèse

Un défi environnemental, technique et économique

Changement de température lors des 50 dernières années



- ICE Ban 2035

> Une opportunité pour Valeo dans le domaine de l'électrification sur un marché compétitif

Source : NASA's Scientific Visualization Studio

Challenge technique

- Maximiser le couple, la puissance massique et le rendement tout en minimisant le poids et le coût
- Réduire la quantité de terres rares qui ont un impact sur l'empreinte carbone des produits



Contexte de la thèse

Du point de vue de la machine

PMSM



Tesla model 3 rotor

PMSM :

- + Densité de couple élevée
- Rendement haute vitesse
- Gestion du court-circuit
- Terres rares

Hybrid Excitation SM



<https://doi.org/10.3390/en13061501>

WRSM



Renault R240 rotor

WRSM :

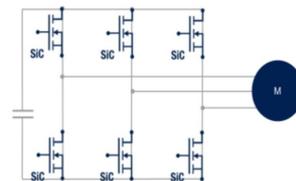
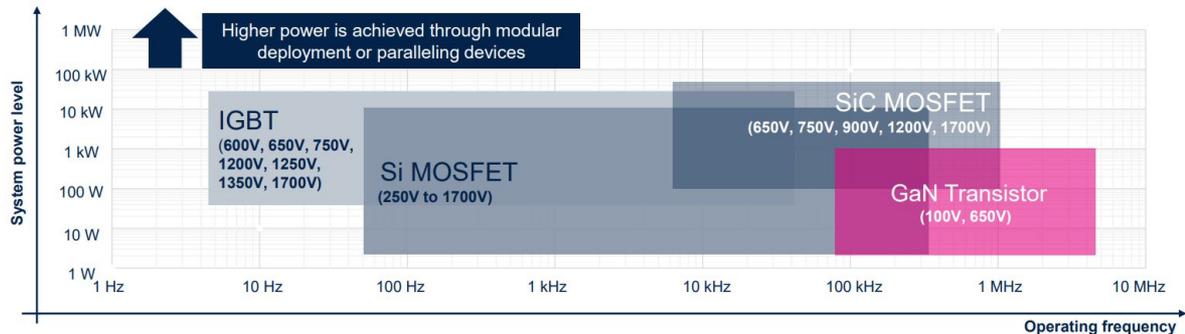
- + Facilité de contrôle du flux
- Convertisseur et système d'excitation additionnel

Contexte de la thèse

Du point de vue de l'onduleur

Variables d'optimisation

- Topologie
- Nombre de phase
- Calibre en courant (surface Si)
- Technologie semiconducteur
- Assemblage mécanique
- Technologie de refroidissement



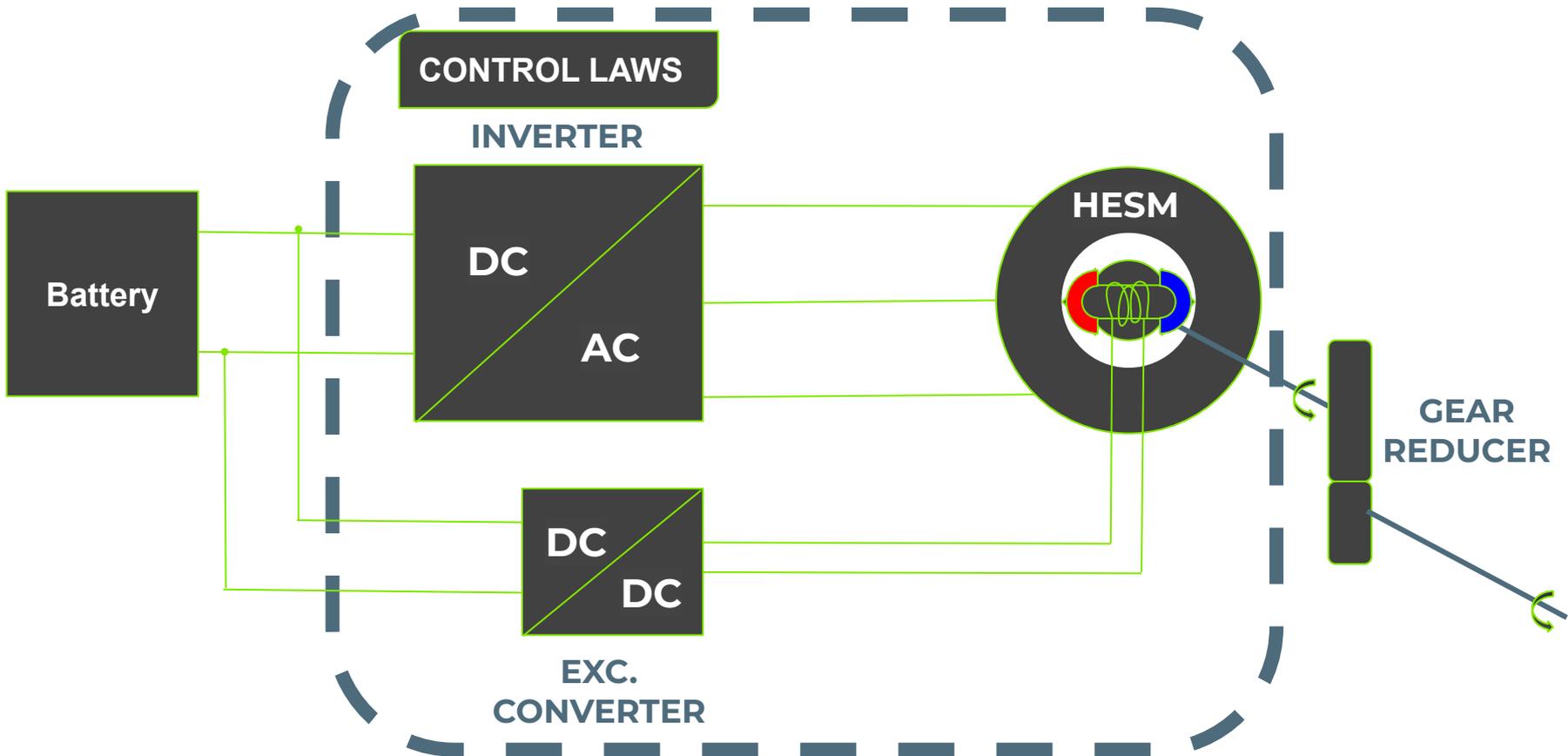
Source : st.com CES2022 Traction Inverter

Fort impact de l'application sur la technologie de refroidissement

→ Besoin de trouver des critères de conception générique

Problématique de la thèse

Zoom sur le système étudié



Objectifs, portée et verrous de la thèse



Analyser et identifier les critères de design du système {onduleur + machine + convertisseur d'excitation} pour une large gamme d'application

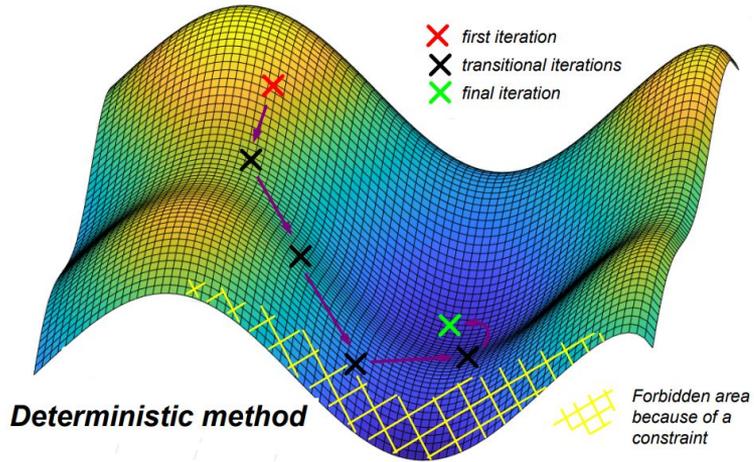
Objectifs :

- Mettre en place des **outils de pré-conception**, des critères de conception et de contrôle pour l'ensemble du système et les utiliser dans des cas d'application concrets et divers
- Conduire un **travail exploratoire** sur une large gamme de cahier des charges
- Identifier des tendances et des règles de conception pour les systèmes à base de machine à excitation hybride

Difficultés et verrous

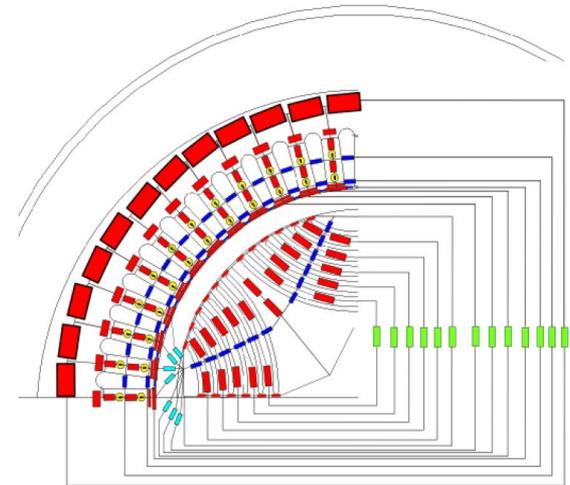
- Considération d'une large gamme d'application
- Optimisation sur plusieurs points du cycle de fonctionnement

La philosophie de G2ELAB pour résoudre des problèmes d'optimisation multi variables à fortes contraintes dans un large espace de conception



Voldoire PhD Thesis

Des modèles analytiques et semi-analytiques rapides couplés à des algorithmes déterministes



Bueno Mariani PhD Thesis

Etat de l'art des machines à excitation hybride (HESM)

Focus sur l'hybridation au rotor

- Dans cette thèse : pas de machine à griffes ni à réluctances commutées

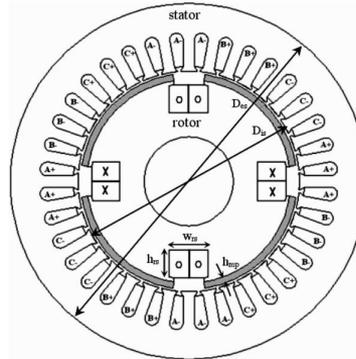
Nombre de pôle variable



PhD Takorabet

Hybridation Série

Aimants sur le chemin du flux rotor



PhD Fodorean

Hybridation Parallèle

Aimant avec flux pouvant se reboucler au rotor

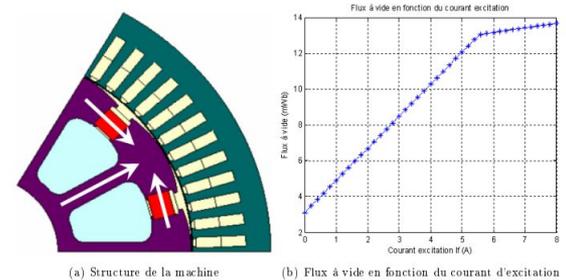
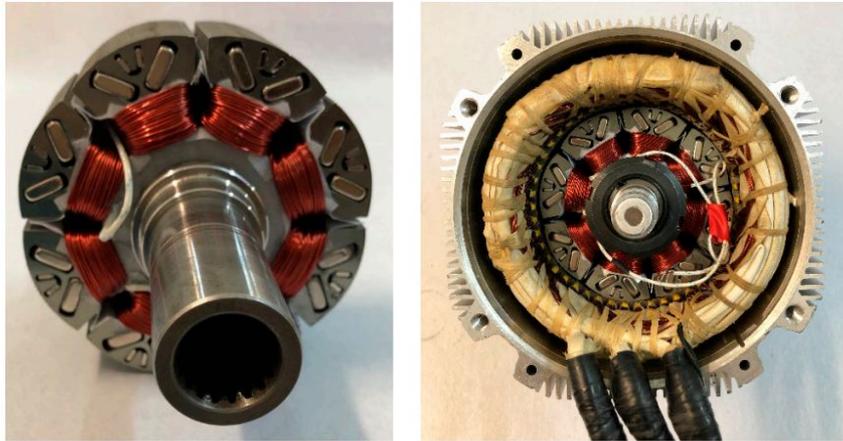


FIGURE II.1 – Machine à double excitation

PhD Li

Etat de l'art des machines à excitation hybride (HESM)

Prototypes et applications



(a)

(b)

Figure 11. The proposed HESM: (a) the rotor; (b) the prototype.

[MDPI energies](http://MDPIenergies)

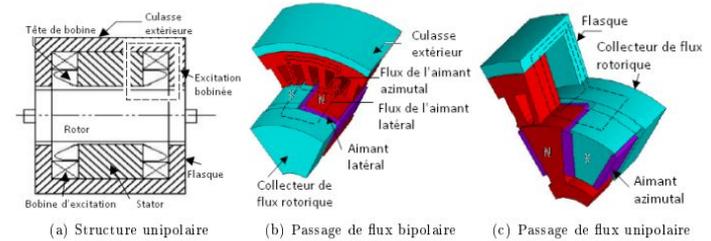
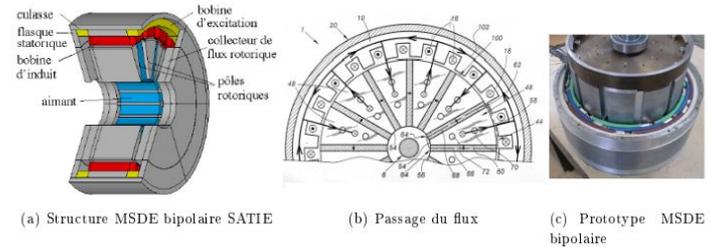


FIGURE I.11 – Machine à double excitation unipolaire-SATIE

au rotor. Cependant, ceci nécessite des pièces supplémentaires (ex : collecteur rotorique de flux) pour guider le passage de flux, ce qui augmente l'encombrement de la machine. De plus, étant donné que ces parties sont en matériau massif, le développement des courants de Foucault va créer des pertes magnétiques supplémentaires.



(a) Structure MSDE bipolaire SATIE

(b) Passage du flux

(c) Prototype MSDE bipolaire

[SATIE LAB](http://SATIE.LAB)

Principale difficulté : Comparer des machines non conçus pour le même applicatif

Etat de l'art des machines à excitation hybride (HESM)

Prototype Valeo

Li LI PhD Thesis Prototype

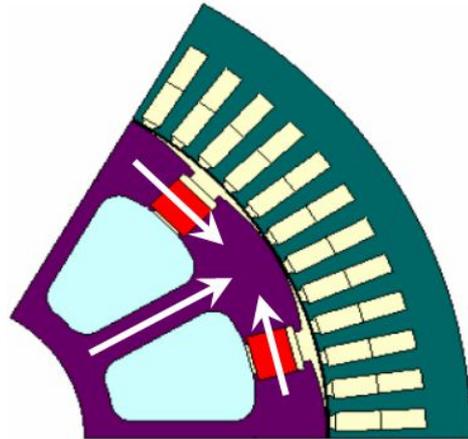


FIGURE IV.6 – Stator et rotor complet

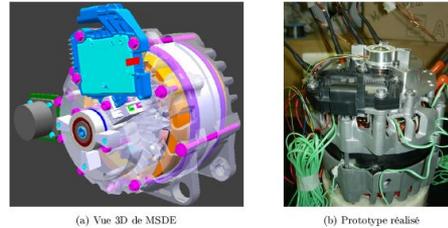


FIGURE IV.7 – Machine assemblée

Application à un alternateur-démarrreur

| | |
|---------------|-------|
| Couple max | 40 Nm |
| Puissance max | 8kW |
| Tension bus | 300V |

Sur la difficulté de trouver des modèles continus et dérivables

WRSM



HESM



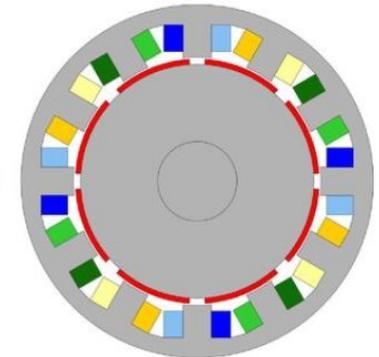
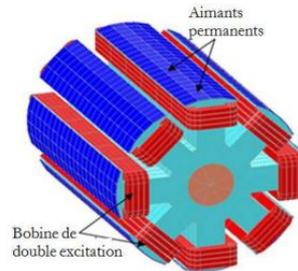
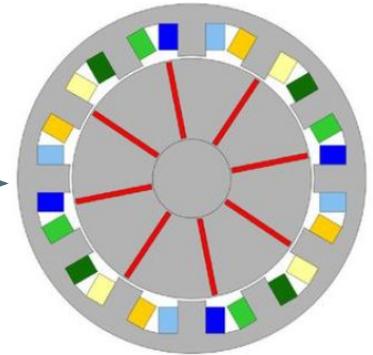
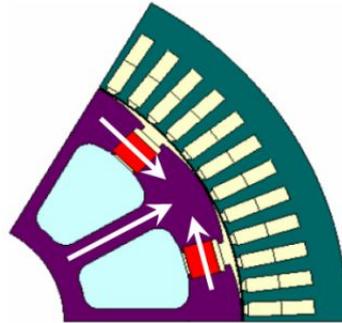
PMSM

Decrease magnet permeability

Increase magnet thickness

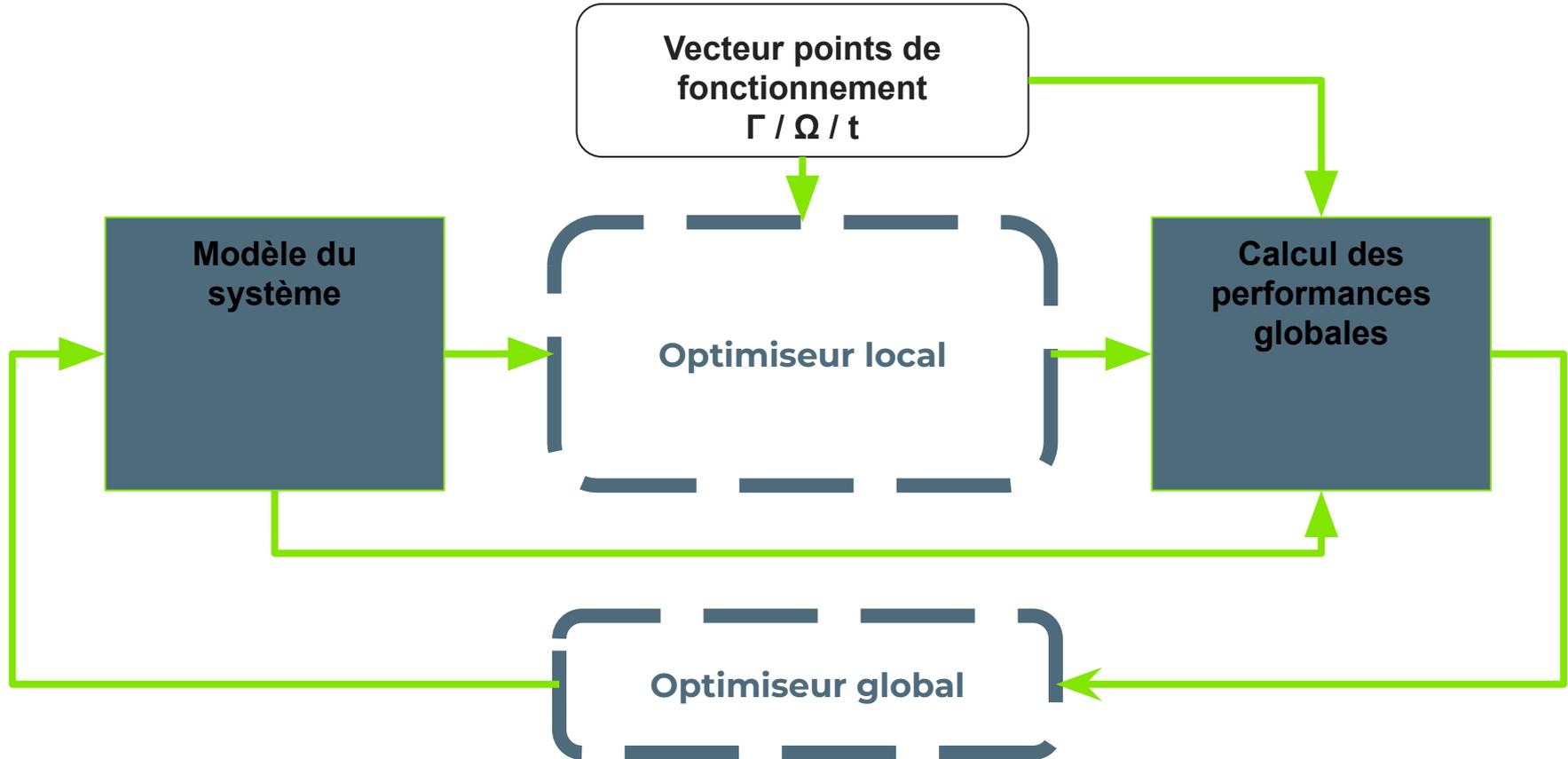
Decrease in magnet thickness

Decrease Ampere-turns



Une première architecture d'optimisation

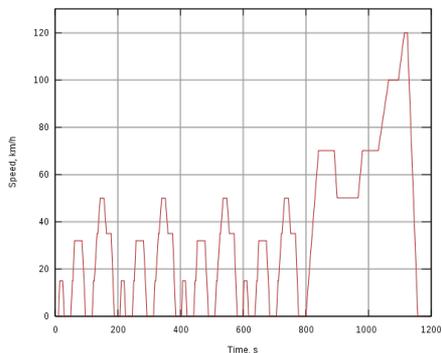
Optimiseurs local et globale



Une première architecture d'optimisation

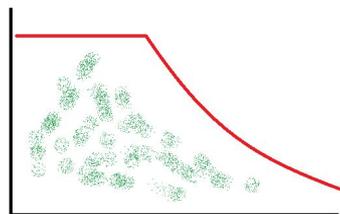
Extraction d'un vecteur de points de fonctionnement

Cycle normalisé $v(t)$



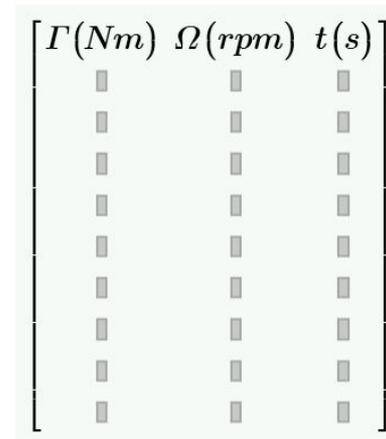
Dynamique
véhicule

Cycle complet
 $\Gamma = f(\Omega)$



Méthode de
réduction du cycle

Vecteur de point de
fonctionnement



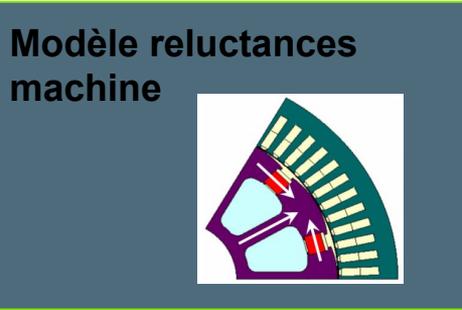
Clustering methods:

[link](#)

Une première architecture d'optimisation

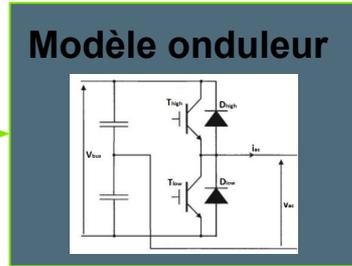
Modèle du système

Paramètres géométriques



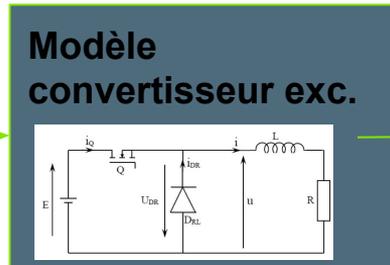
$$\Phi_d = f(i_d, i_q, i_f)$$
$$\Phi_q = f(i_d, i_q, i_f)$$

> N switch //
> PWM freq
> N phases



$$R_{dson}$$
$$E_{on}/E_{off}/E_{rec}$$

> N switch //
> PWM freq

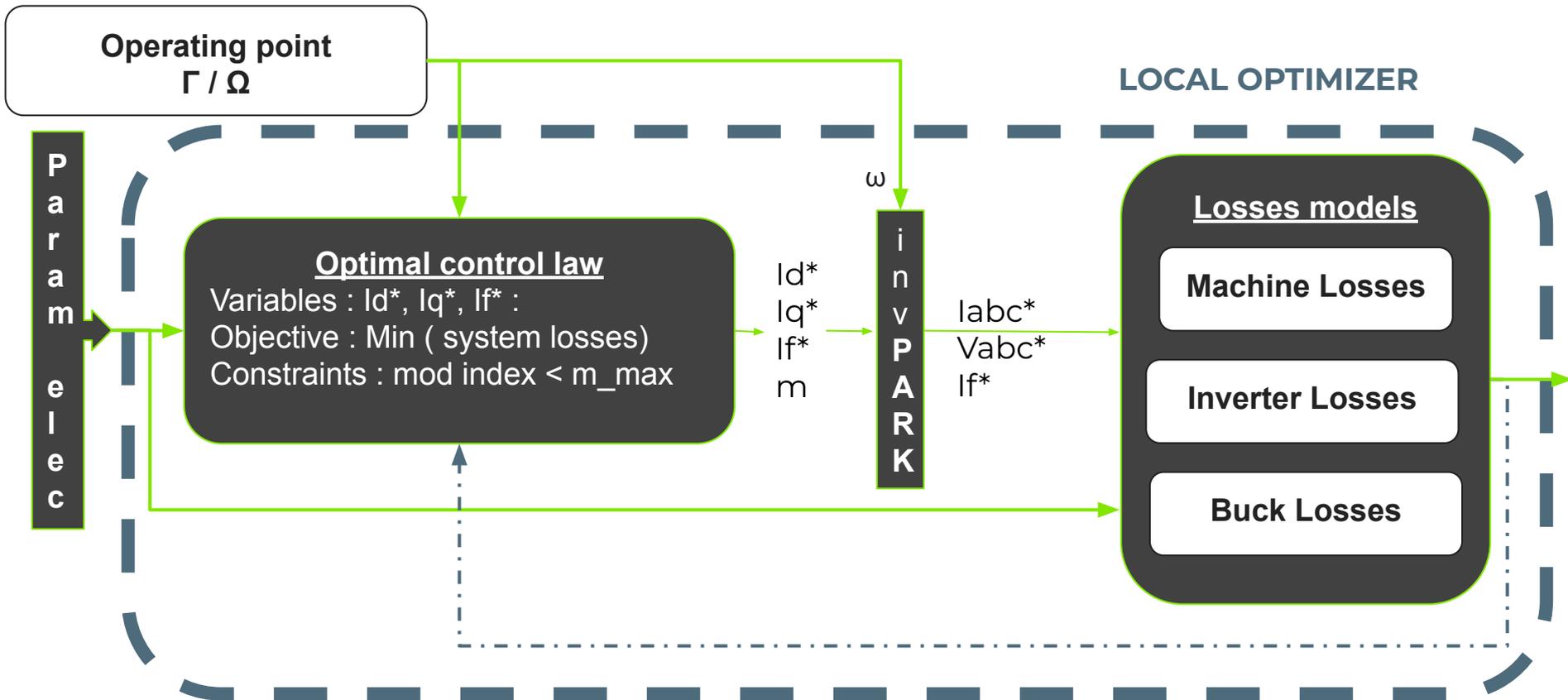


$$R_{dson}$$
$$E_{on}/E_{off}/E_{rec}$$

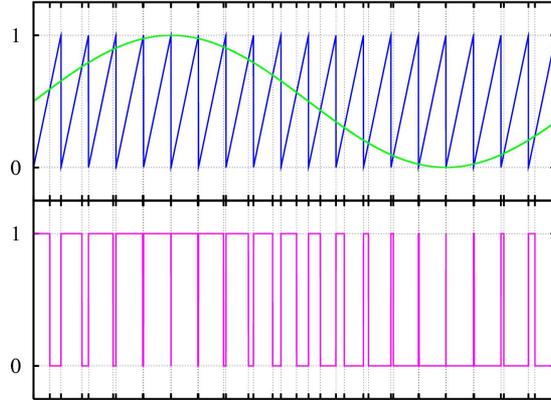
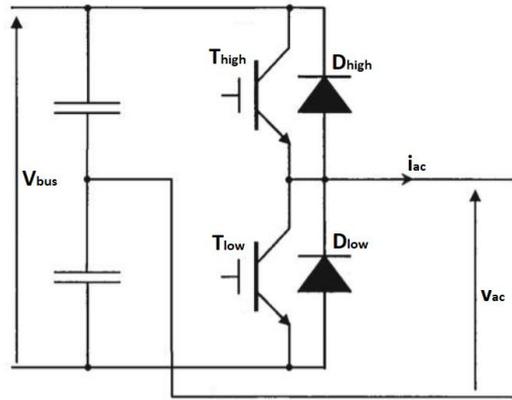
Paramélec

Une première architecture d'optimisation

Optimisation de la loi de contrôle



Modèle analytique rapide des pertes dans l'onduleur



Objectifs :

- Modèle analytique rapide adapté à plusieurs technologies (IGBT, MOSFET)
- Adapté aux onduleurs multi phasés (3, 6 ...)
- Possibilité de lier un modèle thermique

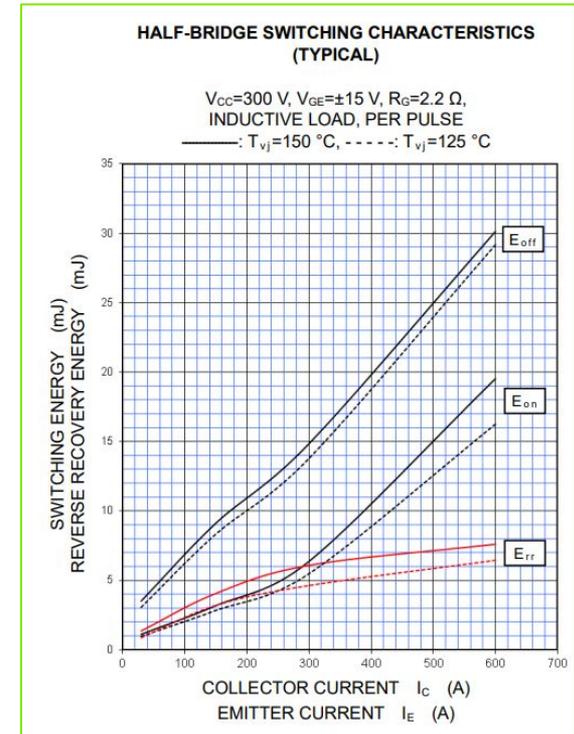
Modèle analytique rapide des pertes dans l'onduleur

Hypothèses :

- Modélisation d'un bras d'onduleur avec PWM à fréquence fixe
- Courant et tension sinusoïdaux (paramétrés par l'indice de modulation et le déphasage)
- Type de caractéristique statique $V_D = V_O + R_D \cdot I_D$
- Pertes de commutation : linéaires en tension et quadratiques en courant

Possibilités d'évolution :

- Autres types de modulation (avec injection de 3ème harmonique par exemple)
- Autres formes de courants (sous forme de série de Fourier)



Example of IGBT Switching Characteristics

Modèle analytique rapide des pertes dans l'onduleur

Pertes en conduction

Synthèse des pertes en conduction dans chaque élément:

$$P_{cond_{T_{high}}} = \frac{I_{ac} (8 I_{ac} \cos(\varphi) R_T m + 3 \pi \cos(\varphi) V_{T0} m + 3 R_T I_{ac} \pi + 12 V_{T0})}{24 \pi}$$

$$P_{cond_{T_{low}}} = \frac{I_{ac} (8 I_{ac} \cos(\varphi) R_T m + 3 \pi \cos(\varphi) V_{T0} m + 3 R_T I_{ac} \pi + 12 V_{T0})}{24}$$

$$P_{cond_{D_{high}}} = \frac{I_{ac} (-8 I_{ac} \cos(\varphi) R_D m - 3 \pi \cos(\varphi) V_{D0} m + 3 R_D I_{ac} \pi + 12 V_{D0})}{24 \pi}$$

$$P_{cond_{D_{low}}} = \frac{I_{ac} (-8 I_{ac} \cos(\varphi) R_D m - 3 \pi \cos(\varphi) V_{D0} m + 3 R_D I_{ac} \pi + 12 V_{D0})}{24 \pi}$$

Pertes en commutation

Synthèse des pertes en commutation dans chaque élément :

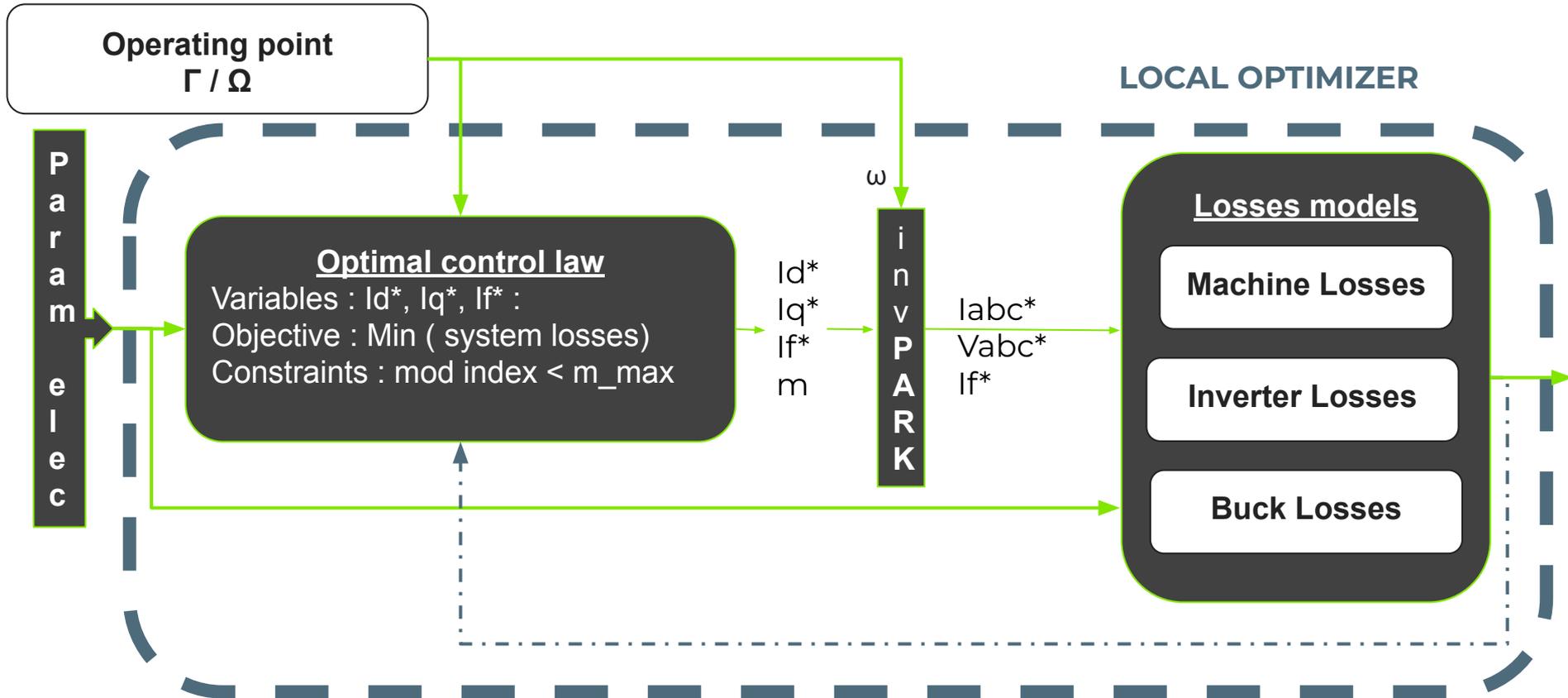
$$P_{switch_{T_{high}}} = \frac{f_{SW} * V_{bus} (I_{ac}^2 \pi c_{OFF} + I_{ac}^2 \pi c_{ON} + 4 I_{ac} b_{OFF} + 4 I_{ac} b_{ON} + 2 a_{OFF} \pi + 2 a_{ON} \pi)}{4 \pi V_{bus_{ref}}}$$

$$P_{switch_{T_{low}}} = \frac{f_{SW} * V_{bus} (I_{ac}^2 \pi c_{OFF} + I_{ac}^2 \pi c_{ON} + 4 I_{ac} b_{OFF} + 4 I_{ac} b_{ON} + 2 a_{OFF} \pi + 2 a_{ON} \pi)}{4 \pi V_{bus_{ref}}}$$

$$P_{switch_{D_{high}}} = \frac{f_{SW} * V_{bus} (c_{REC} I_{ac}^2 \pi + 4 b_{REC} I_{ac} + 2 a_{REC} \pi)}{4 \pi V_{bus_{ref}}}$$

$$P_{switch_{D_{low}}} = \frac{f_{SW} * V_{bus} (c_{REC} I_{ac}^2 \pi + 4 b_{REC} I_{ac} + 2 a_{REC} \pi)}{4 \pi V_{bus_{ref}}}$$

Optimiseur de loi de commande



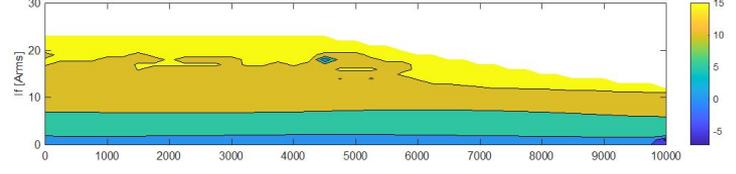
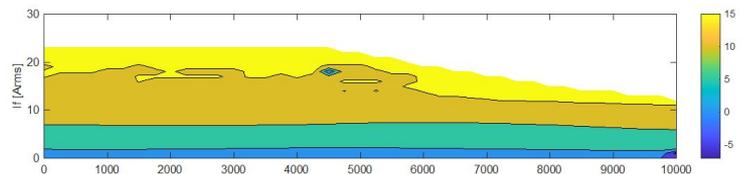
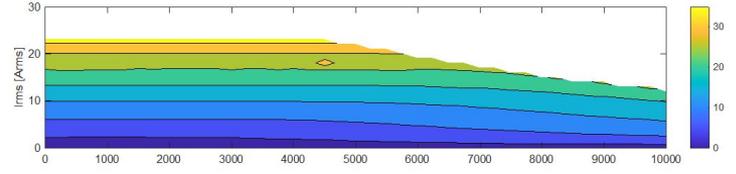
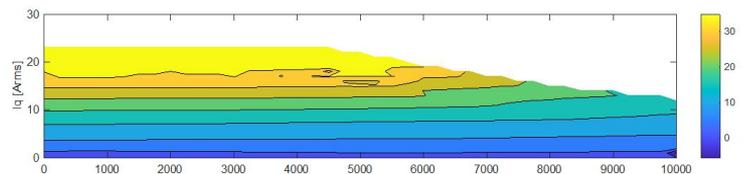
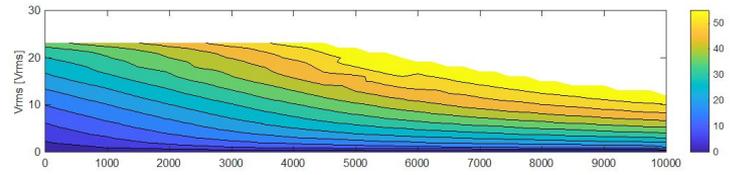
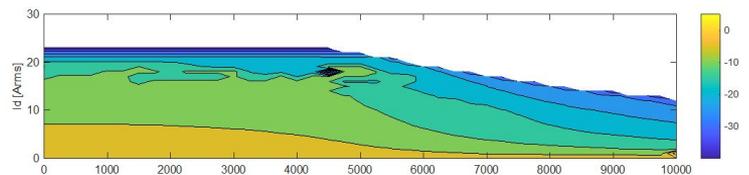
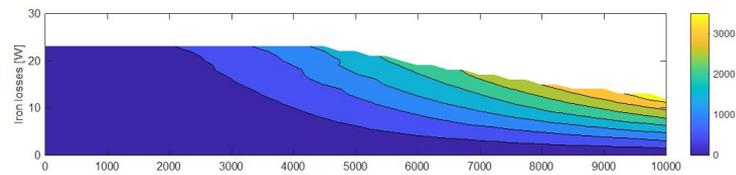
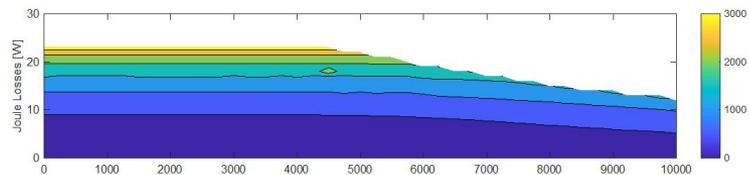
Optimiseur de loi de commande

Minimisation des pertes machine

| Objective Function | Constrains | Optimization variables |
|---------------------------|---|-------------------------------|
| Pertes moteur | Courant max hacheur Courant max onduleur Tension max onduleur Torque = Mapping Torque @Speed | Id / Iq / If |

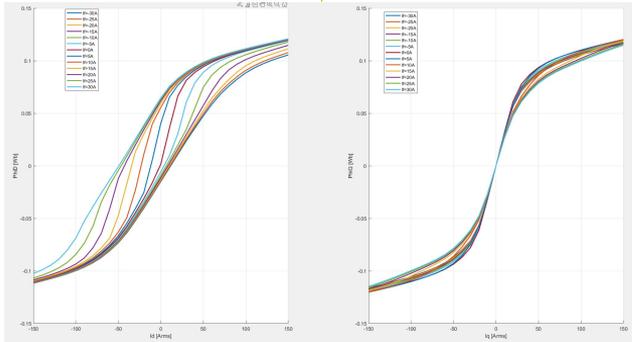
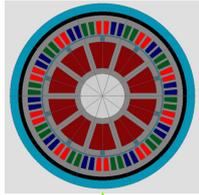
Optimiseur de loi de commande

Minimisation des pertes machines avec calcul des enveloppes en amont (pas de 250tr/min & 1Nm >> tcalc<5min)



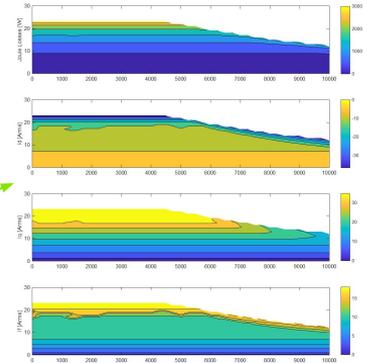
Préparation de l'optimisation géométrique

Simulation éléments finis

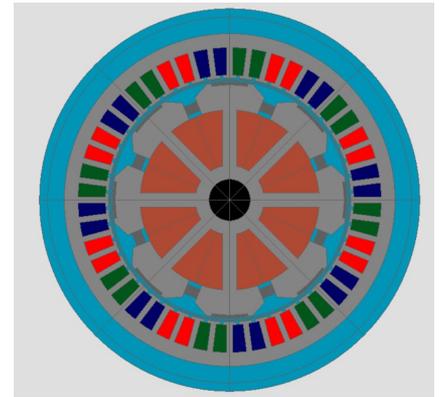
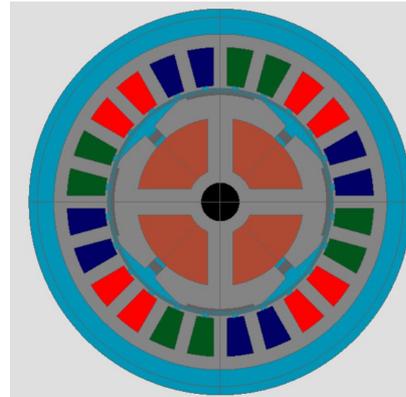
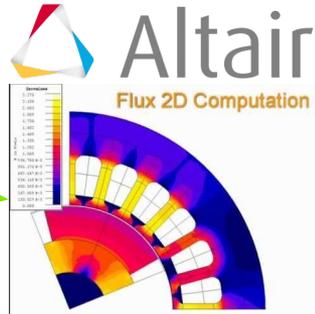
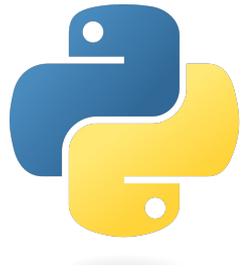


Extraction carto flux

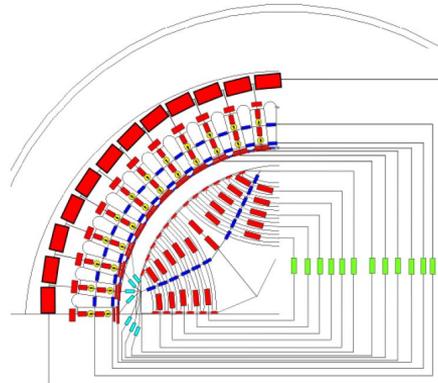
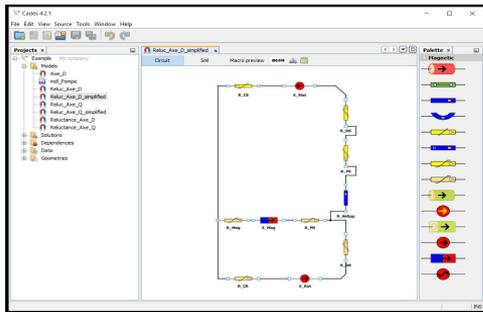
Optimisation loi de contrôle
Trouver I_d^* , I_q^* , I_f^* pour :
Minimiser pertes
Contraintes
Courant et tension max onduleur
Courant max hacheur



Développement d'un modèle relucant



Pilotage Python des simulation éléments finis pour la validation



Développement d'un modèle relucant à l'aide d'outils spécifiques aux G2ELAB



Bilan

On reste très **synchrone**

On a du mal à faire des **maquettes** ou des **essais**

On essaie de mixer les **disciplines**

=> thermique, électronique, électrotechnique ...

AUTRES ECHANGES

JURY de SIMON MOREL



Contribution à l'étude d'un système de conversion d'énergie non linéaire et de leur impact sur le (re)dimensionnement des machines électriques

JURY de THOMAS ROBIN



Association d'un entraînement asynchrone à un dispositif de suralimentation : application à une chaîne de traction automobile

E FUN CUP



Envoi de machines d'alternateurs

BESOINS de la FILIÈRE AUTOMOBILE





ELECTRIFICATION

Machines

Electronique de
puissance

Electrochimie

Hydrogène ...

MULTIPHYSIQUE

THERMIQUE

BRUIT

VIBRATION

RESEAU DE BORD

CEM ...

COMPETENCES

Nouvelles du point de vue de l'automobile mais pas nouvelles pour tout le monde ...

Le POWERTRAIN devient ELECTRIQUE

Il faut que cela se reflète dans les congrès



CALL for PAPER

<https://www.sia.fr/evenements/340-sia-powertrain-2024>

**L' automobile
n'est plus que
mécanique, elle
est (enfin)
ELECTRICITE**





PERIMETRE pas seulement VÉHICULE

BORNES de RECHARGES

RESEAU

GESTION de la RECHARGE

Du SYSTEME

vers

L'ECOSYSTEME



CRITERES de CONCEPTION

Enveloppes couple / puissance en fonction de la vitesse

Pertes

Bruit et vibrations

Faibles coûts

Qualité

Fiabilité

NOUVEAUX CRITERES

Faible empreinte environnementale

Cycle de vie complet

Gestion des ressources minières

Souveraineté

CIRCULARITE

Design pour démonter

Re-fabriquer

Recycler



De la
CONCEPTION

vers

**L'ECO
CONCEPTION**

TRANSVERSALITE - APPROCHE SYSTEMIQUE

Métiers : électrotech, thermique, mécanique

Filières : métaux, automobiles, réseaux

Conception : pour tout le cycle de vie



TOUJOURS beaucoup de silos

ET la SUITE

Les sujets doivent continuer : on a besoin d'un successeur

TRANSVERSALITE : on a besoin d'un enseignement qui la prépare



ELECTRICITE for EVER

Il faut des projets étudiants à présenter au SIA PWT ...



SMART TECHNOLOGY
FOR SMARTER MOBILITY