



15 novembre 2022

## Restitution finale du projet

### *Refroidissement des machines électriques*

Prof. Souad Harmand

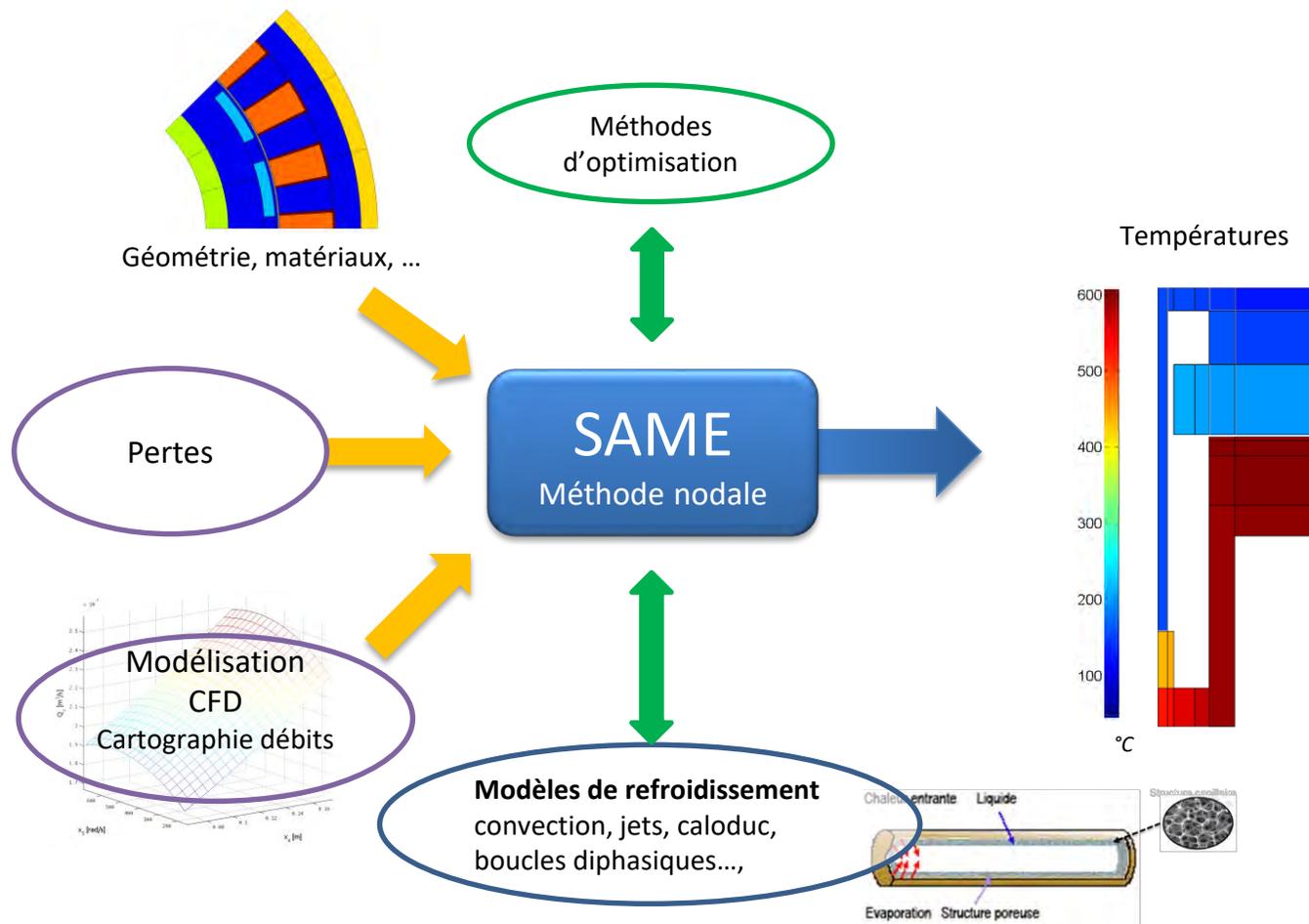
LAMIH – UMR CNRS 8201



- Développer des systèmes de refroidissement haute performance, compacts et peu énergivores, voir passifs
- Réaliser des prototypes numériques et physiques
- Tester leurs performances

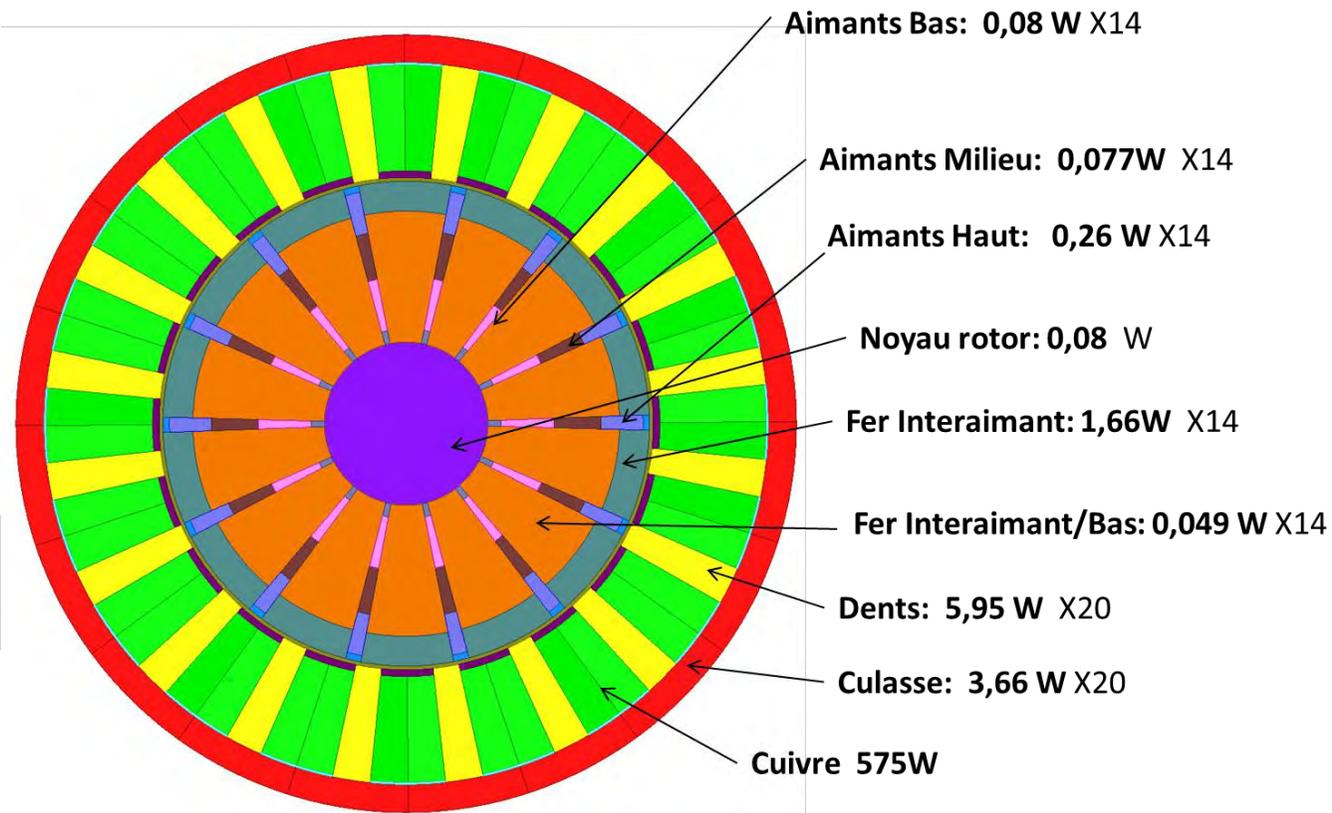
## Modélisation aérothermique : Plateforme SAME

Simulation  
Aérothermique  
des  
Machines  
Electriques



**Machine M10,**  
**Couple : 36 N,m ;**  
**Vitesse de rotation 3200 tr/mn**

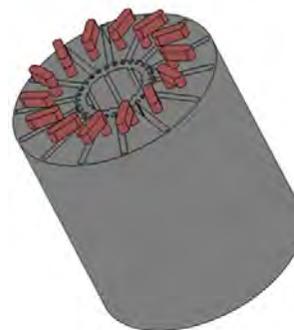
**Pertes totales au rotor = 27 W**  
**Pertes totales au stator = 711 W**



**Cas de référence : Température maximale : 149,2 °C**

## Comparaison de plusieurs solutions de refroidissement de la machine électrique

Canaux de ventilation et pales rotoriques



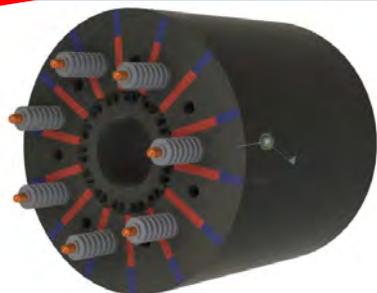
$\Delta T$  Ouvertures et pales Rotoriques : 12,5 °C

Jets impactants les têtes de bobines : air, fluides diélectriques ...



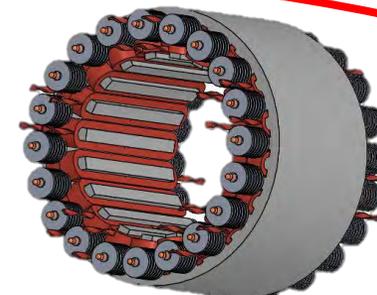
$\Delta T$  Jet d'air : 14,5 °C  
 $\Delta T$  Fluide 3M : 28,6 °C  
 $\Delta T$  Huile : 37,7 °C

Caloducs au rotor



$\Delta T$  Caloducs au rotor : 8,2 °C

Caloducs au stator



$\Delta T$  Caloducs au rotor : 14,5 °C

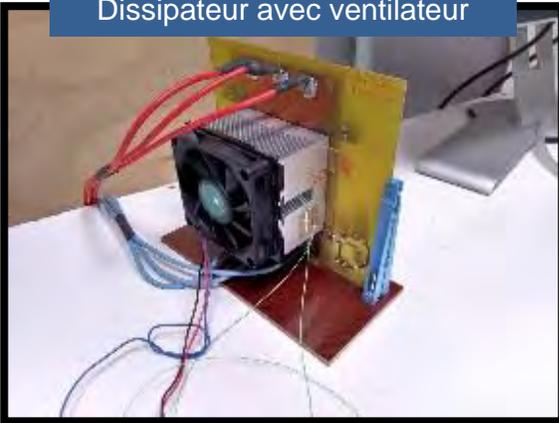
**Solutions retenues**

# 3. Avancées scientifiques majeures

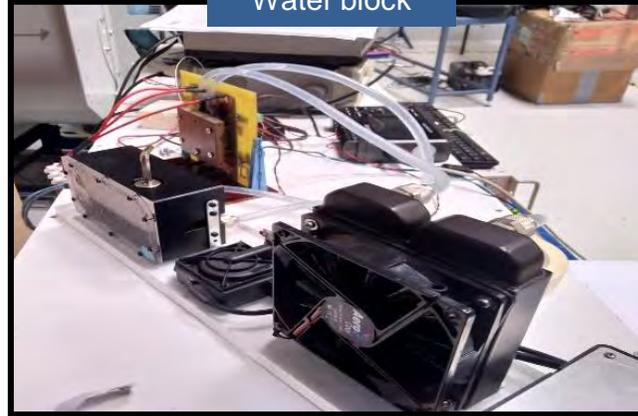
## Solutions de refroidissement des GaNs

Contraintes Thermiques : 50 A par bras d'onduleur et T de jonction max : 125 ° C

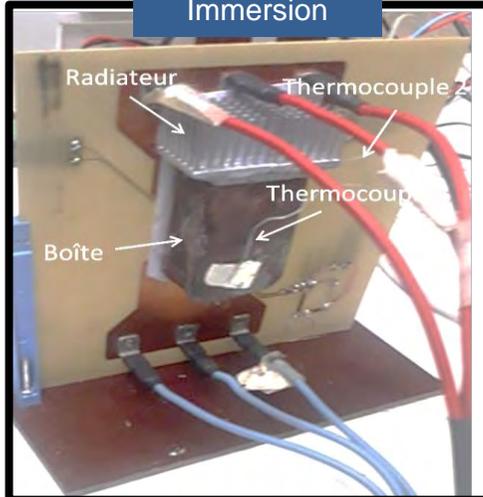
Dissipateur avec ventilateur



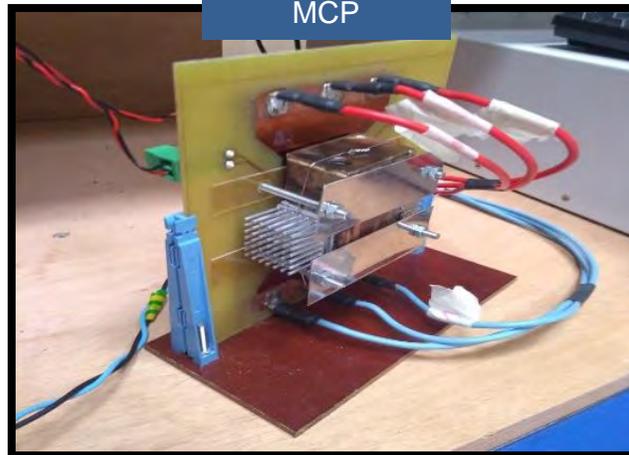
Water block



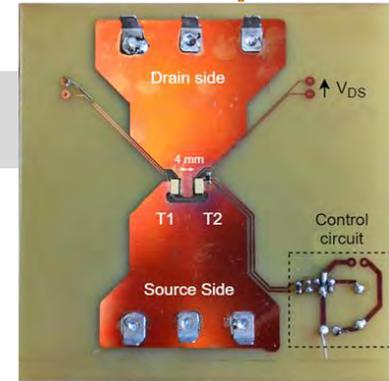
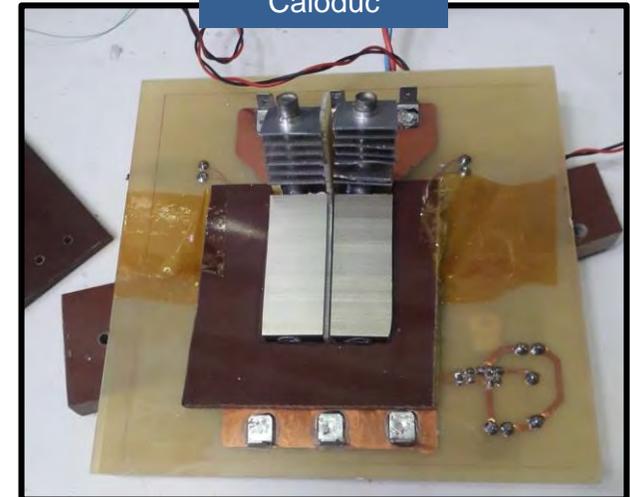
Immersion



MCP



Caloduc



Bras d'onduleur GaN

Solutions retenues pour le MIO et le Démonstrateur

Solution retenue pour le MI1

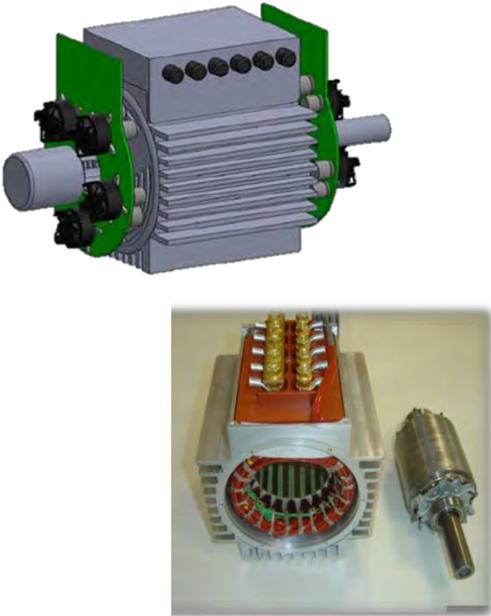
Solutions actives

Solutions passives

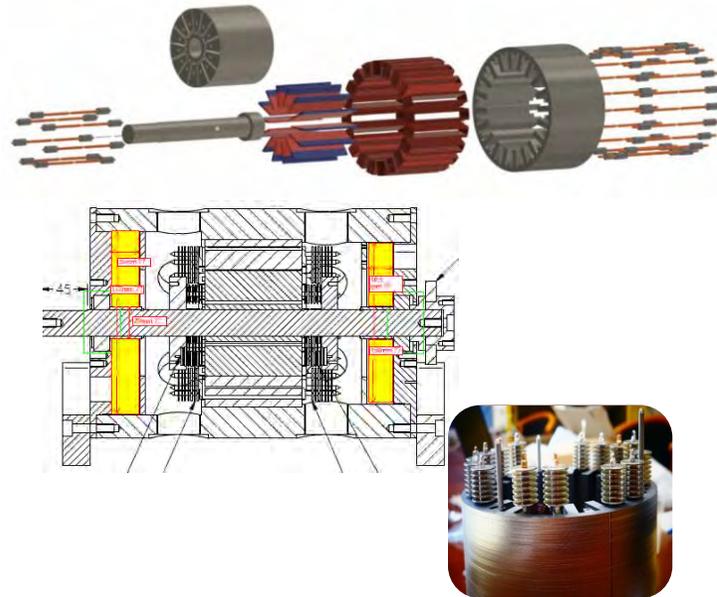
Courant (A)	Cas de référence (T en °C)	Solutions actives		Solutions passives		
		$\Delta T$ Dissipateur à ailettes	$\Delta T$ Water cooling	$\Delta T$ Immersion	$\Delta T$ MCP	$\Delta T$ Caloducs
30	148	68	40	40	40	28
50	---	---	55	82	55	40

## Refroidissement des machines Ce2i

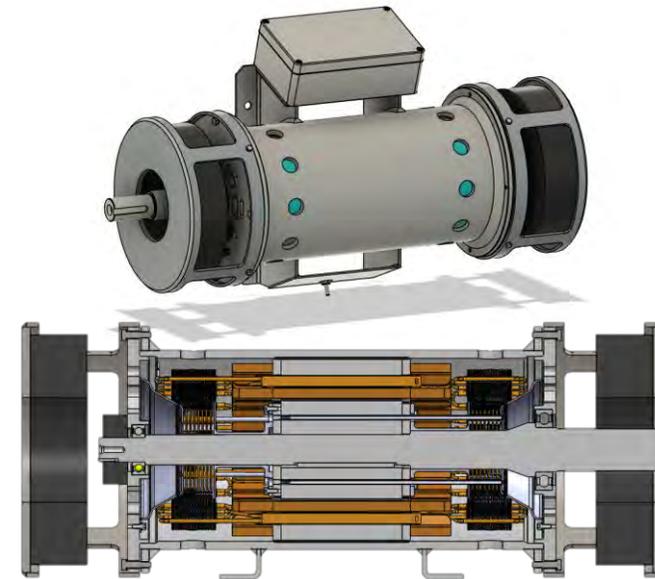
MI0



MI1



Démonstrateur



**Solution de refroidissement retenue**

Machine : air cooled  
Convertisseur : Spreaders + dissipateur à ailettes

**Solution de refroidissement retenue**

Stator : Caloducs statiques  
Rotor: Caloducs tournants  
Convertisseur: Vapor chamber circulaire

**Solution de refroidissement retenue**

Stator : Caloducs oscillants  
Rotor : Caloducs tournants  
Convertisseur: Dissipateur à ailettes

### Combinaison de technologies de refroidissement de la machine tournante :

- **Caloducs – PHP et jets de fluides diélectriques, tel que les huiles sur leurs condenseurs**

### Refroidissement de l'électronique de puissance par contact direct avec des fluides diélectriques :

- **Conception et réalisation d'un démonstrateur**



15 novembre 2022

# *Refroidissement des machines électriques*

Prof. Souad Harmand

**Remerciements** : Mostafa BRIK, Riadh BOUBAKER, Pin CHEN, Salma GHARBI,  
Safouène OUENZERFI et Maryam PARSA

Questions ?

