



# FIRST MFP

## Simulation thermique pour consolider l'approche fiabiliste des composants

Normandy Reliability Technology Workshop – 15 juin 2017 Rouen

Dr. E. ROULAND – Dr. S. YON



- Un peu de PUB : AREELIS Technologies
- Objectifs des travaux FIRST MFP – Application Safran Electrical & Power
- Les modèles numériques
- Quelques résultats et l’outil *EleXTherm*
- Projet CRIOS

# AREELIS Technologies

## Centre d'étude et d'ingénierie Mécanique des fluides et thermique



## Appui technologique pour l'innovation dans le Transport Aéronautique - Spatial - Défense



**AREELIS**  
TecSpace

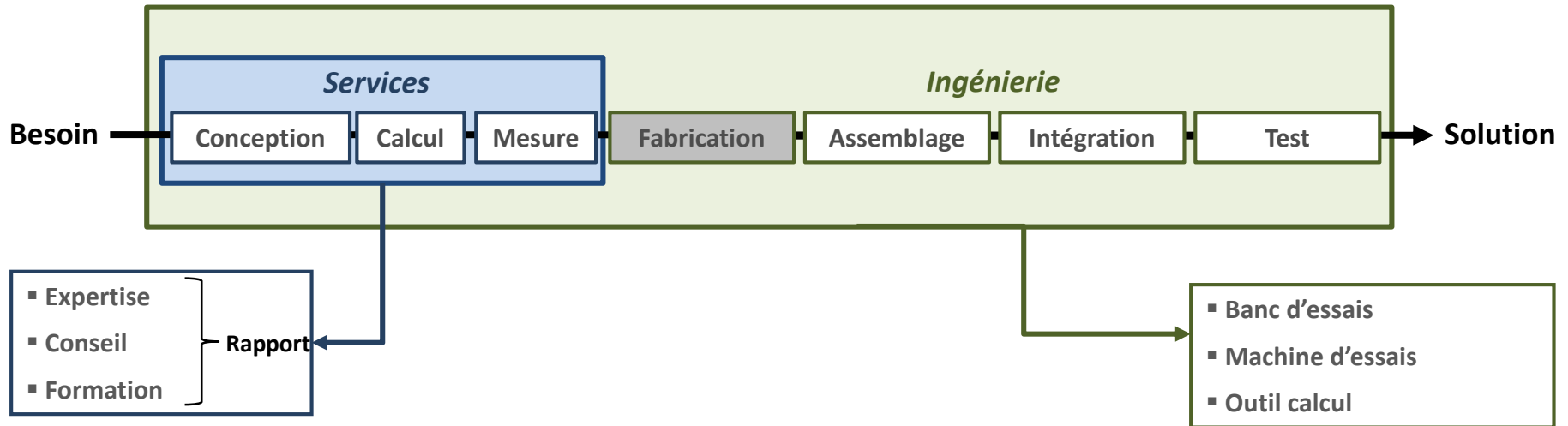
Intégration de moteur spatial  
d'essais

**AREELIS**  
TecCooling

Système de refroidissement  
pour la mécatronique  
embarquée

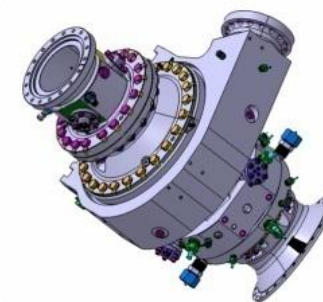
**AREELIS**  
TecFluid

Optimisation énergétique de  
Transport de fluide dans les  
conduits et gaines  
techniques, circuit



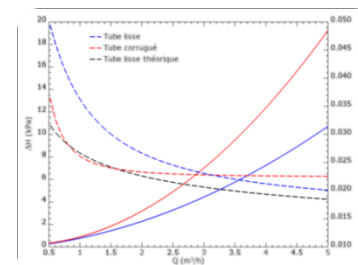
## AREELIS TecSpace *Intégration de moteur spatial d'essais*

- Conception machine et outillages spécifiques de montage
- Assemblage et tests cryogéniques en salle blanche ISO8
  - ☛ **Moyen :** ➤ Salle blanche ISO8 avec supports de montage
    - 2 lignes de servitude fluide
    - Pont roulant 2 axes + palan (1 tonne)
  - ☛ **Partenariat :** ➤ Airbus Safran Launchers



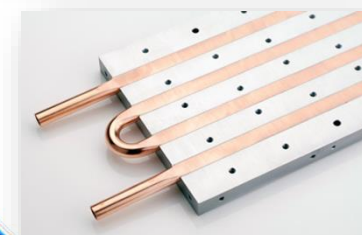
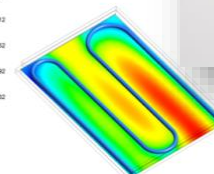
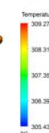
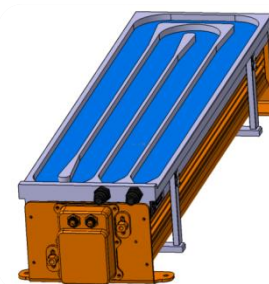
## AREELIS TecFluid *Optimisation énergétique de Transport de fluide*

- Mise en œuvre et conception de banc d'essais fluide
- Fourniture de logiciel calcul de perte de charge Aspech
- Expertise fluide
- ☛ **Moyen :** ➤ Bancs d'essai aérauliques de mesure de perte de charge, Outil CFD, Métrologie laser
- ☛ **Partenariat :** ➤ Spiragaine



## AREELIS TecCooling *Système de refroidissement pour la mécatronique embarquée*

- Diagnostic thermique (essais et modélisation numérique)
- Conception, assemblage et intégration de refroidisseurs
- Thermomanagement
- ☛ **Moyen :** ➤ Bancs d'essai aérothermique, choc thermique
  - Outil CFD, CAO
- ☛ **Partenariat :** ➤ CRIOS



# La simulation numérique

## Outil d'appui à nos projets

### Projet FIRST MFP



➤ Développer et exploiter des codes numériques visant à consolider l'approche fiabilité et robustesse d'un composant électronique de type Onduleur-Convertisseur TO247 sur le volet thermique => Besoin Safran Electrical & Power

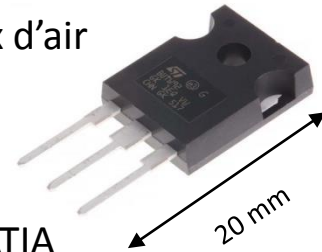
### → Objectifs :

- Connaître les paramètres influents la dissipation thermique des composants électroniques embarqués.
- Comprendre l'impact de l'évolution de ces paramètres (vieillessement et défaillance) sur la qualité de la dissipation thermique.

→ Budget 150 k€ - 1 an

### → Le support de cette étude :

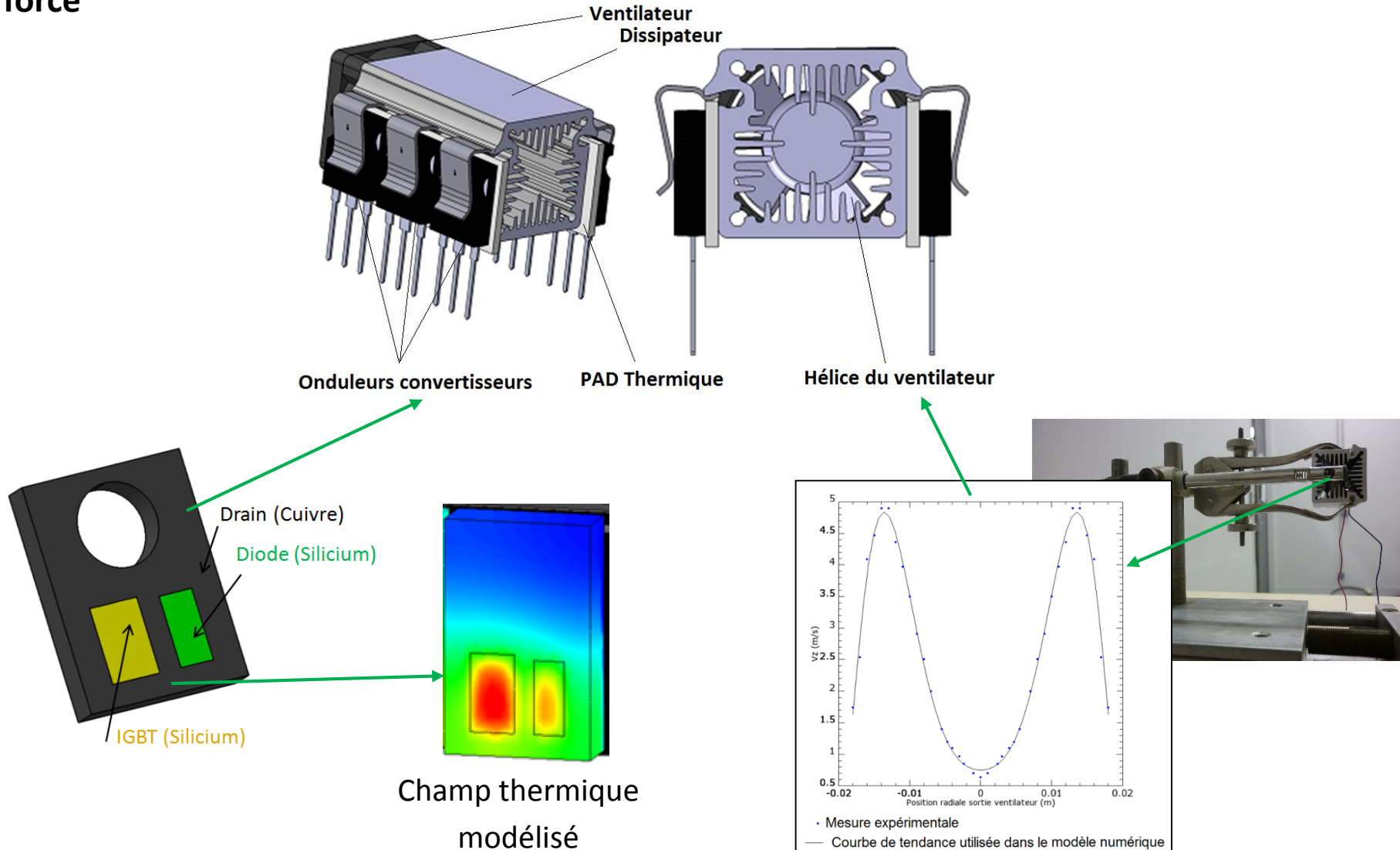
- Composant onduleur convertisseur TO247 (SAFRAN) et refroidissement par flux d'air forcé



### → Les moyens utilisés et développés par AREELIS Technologies :

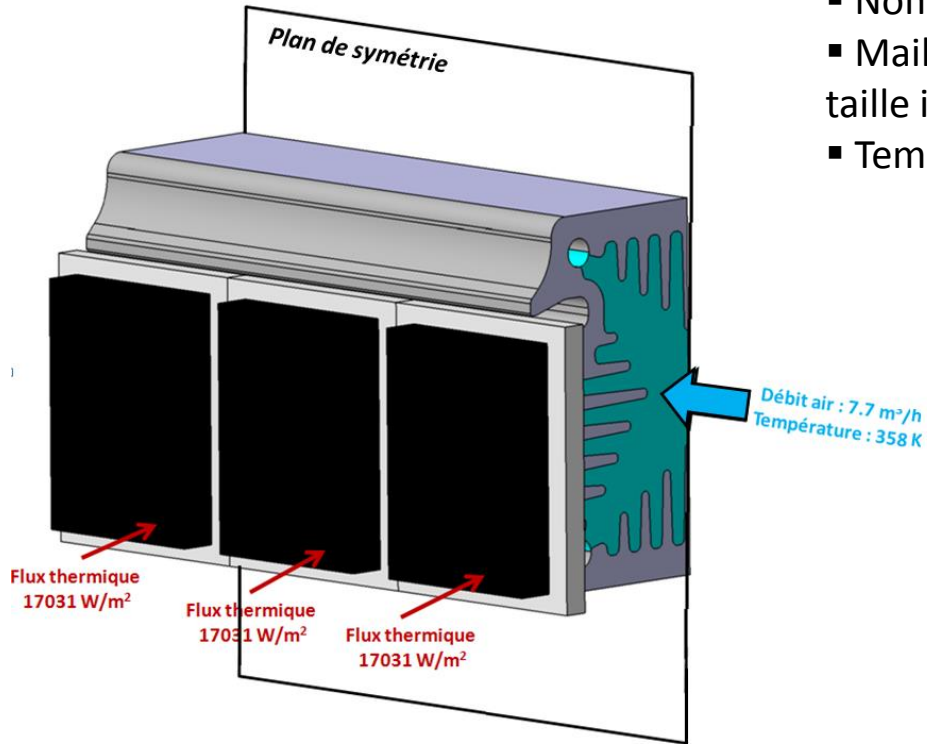
- Simulations numériques: CDF-3D (RANS k- $\epsilon$ ) ANSYS Fluent/thermal et CAO : CATIA V5R19
- Un banc d'essai fluide expérimental pour mesure de profil de vitesse du ventilateur
- Tableur Excel

➤ **Composant onduleur convertisseur TO247 (SAFRAN) et refroidissement par flux d'air forcé**

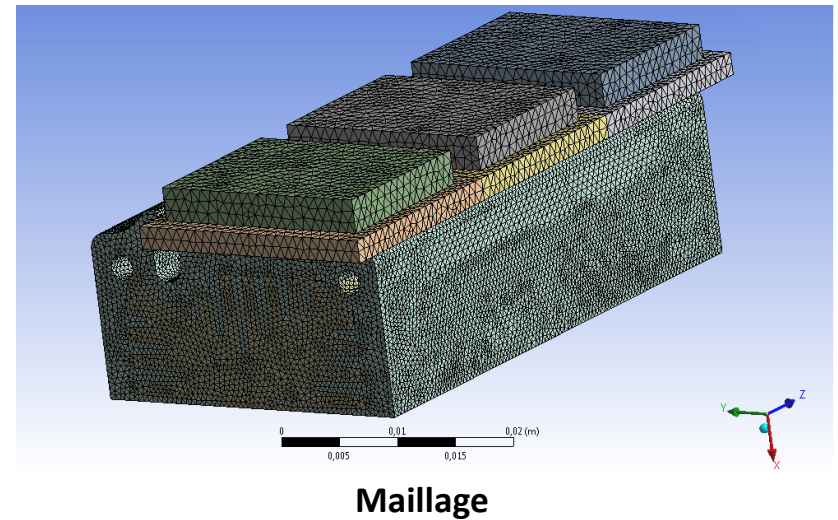




➤ Modélisation globale du système



- Utilisation d'un plan de symétrie (YZ)
- Nombre de mailles : 1 573 760
- Maillage affinée au niveau des ailettes pour être d'une taille inférieure à la couche limite thermique ( $2.52 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ )
- Temps de calcul : moyenne 3-7 heures CPU



## ➤ Modélisation CFD Rans- k-ε pour la part écoulement fluide

Equation de transport de quantité de mouvement (Navier-Stokes) →

$$\rho \left( \frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) = \rho E_i - \frac{\partial p_i}{\partial \bar{x}_i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial \bar{x}_j}$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

### Hypothèses :

- ρ = cte, gravité négligée
- Conservation de la quantité de mouvement



$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_i}{\partial x_i} - \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j^2} = 0$$

Hypothèse de Boussinesq

### Hypothèses :

- Stationnaire
- modèle de Rans:  $F_i = f_i + f'_i$
- $\overline{u'_i} = 0$



$$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_i}{\partial x_i} - \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} = 0$$

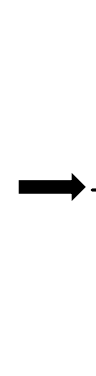
$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

### Modèle k-ε



$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

$\rightarrow k = \frac{\overline{u'_i u'_i}}{2}$   
 $\rightarrow \epsilon = \nu \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_i}{\partial x_j}$



$$\left[ \begin{aligned} u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \epsilon \\ u_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \\ G_k &= \nu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \end{aligned} \right.$$

### Application



$$\sigma_k = 1.0 \quad C_\mu = 0.09$$

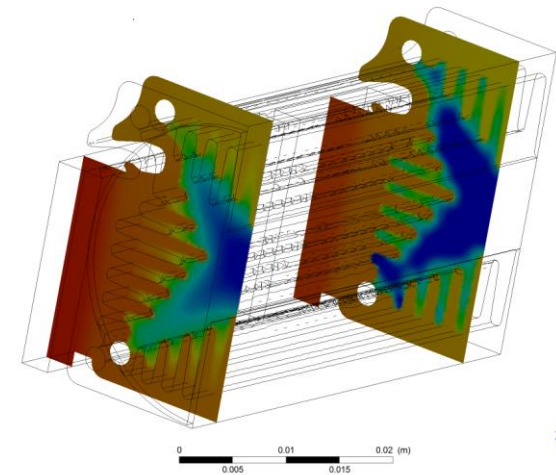
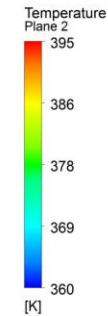
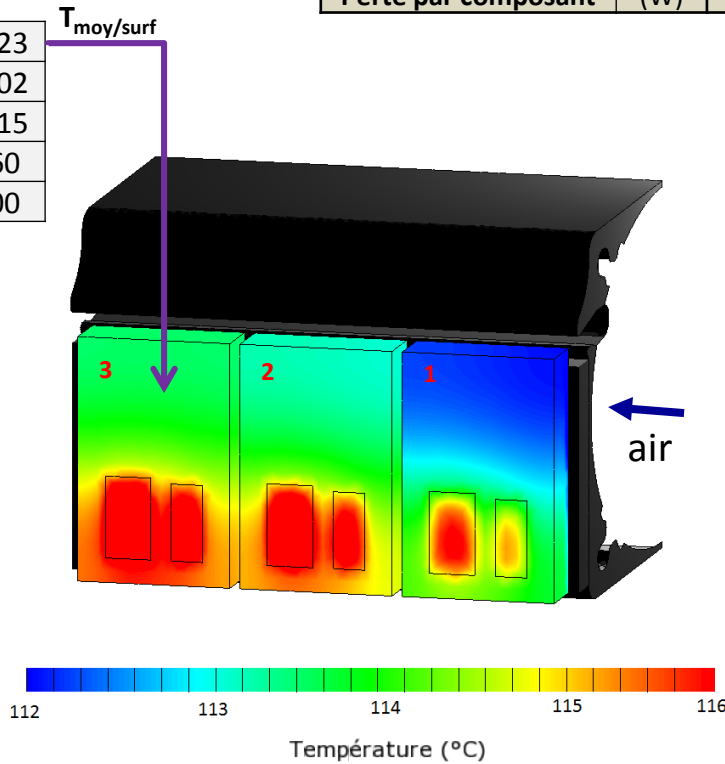
$$\sigma_\epsilon = 1.3 \quad C_{1\epsilon} = 1.44$$

$$\quad \quad \quad C_{2\epsilon} = 1.92$$

## ➤ Résultats de calcul: cas nominal et équipement neuf

T ambiante	°C	85
Un	(V)	300
I	(I)	7
durée du cycle		Infinie
P <sub>IGBT</sub>	(W)	3,45
P <sub>diode</sub>	(W)	2
Perte par composant	(W)	5,45

T° TO247 - 3 (°C)	113,23
T° TO247 - 2 (°C)	113,02
T° TO247 - 1 (°C)	112,15
T° air out (°C)	92,60
T° air in (°C)	85,00



## ➤ Données d'entrées et conditions limites influentes sur la thermique du système

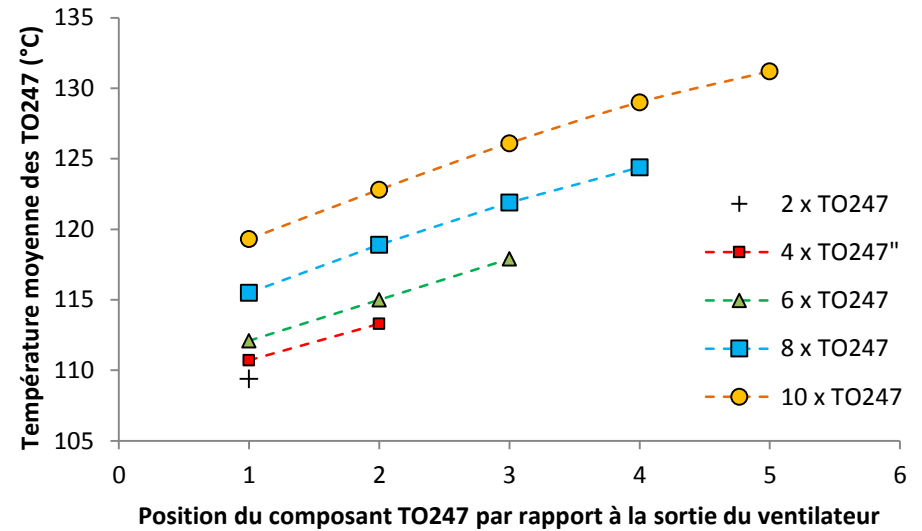
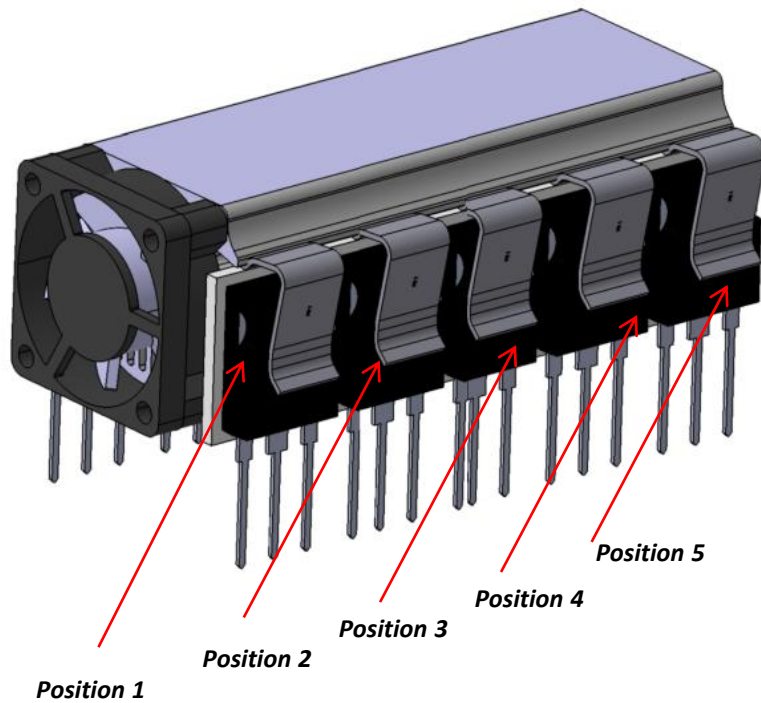
→ 19 paramètres

<i>Données d'entrées et conditions limites</i>				
<b>FLUIDE</b>	<b>TO247</b>	<b>PAD</b>	<b>Radiateur</b>	<b>Ventilateur</b>
Viscosité	Composition	Conductivité thermique	Conductivité thermique	Puissance
Température entrée	Puissance	Porosité	Surface	Profil de vitesse
Humidité relative	Conductivité thermique	Epaisseur	Diamètre équivalent	
Masse volumique	Nombre		Longueur	
Conductivité thermique	Durée du cycle			

**Facteurs de vieillissement**

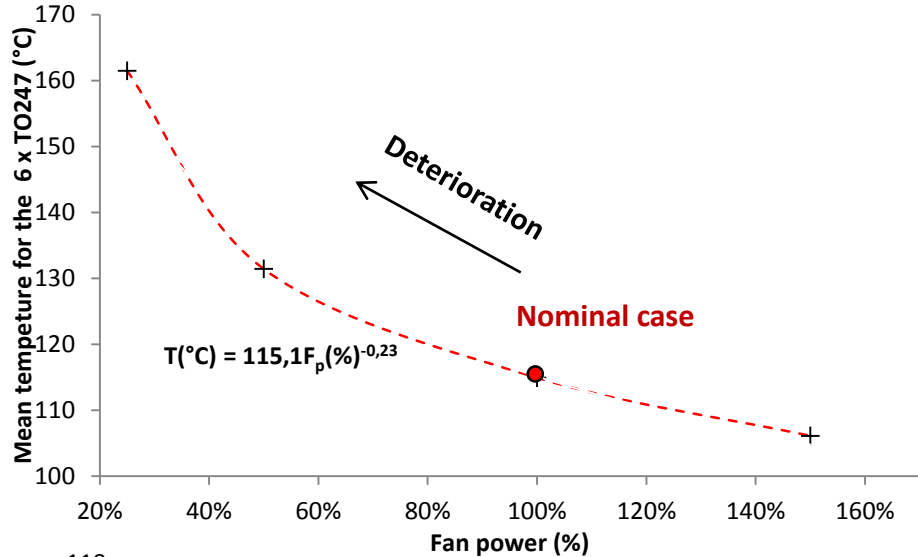
⇒ **152** configurations calculées

➤ **Augmentation de la longueur du radiateur et du nombre de TO247**

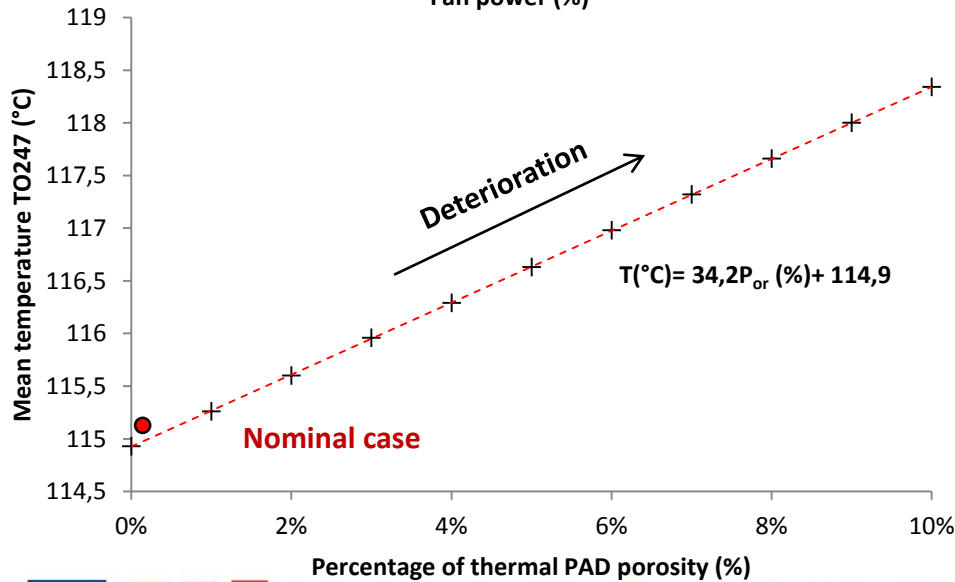


*Evolution de la température moyenne des composants TO247 en fonction de la position du composant*

➤ **Influence de la dégradation d'un paramètre fonctionnel**



Evolution de la température moyenne des 6 composants TO247 en fonction du pourcentage de **puissance du ventilateur**



Evolution de la température moyenne des 6 composants TO247 en fonction de la **porosité du PAD thermique à l'air**

## ➤ Développement l'outil numérique : EleXTherm

### DONNEES D'ENTREE

#### PARAMETRES FLUIDIQUES

Vitesse (moyenne)	$U$ (m/s)	2,35
Diamètre hydraulique	$D$ (m)	0,0235
Longueur radiateur	$L$ (m)	0,05
Viscosité fluide	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	0,0000208
Capacité calorifique	$C_p$ (J/Kg.K)	1004
Masse volumique	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	1,225
Viscosité dynamique	$\mu$ (Kg/m.s)	2,55E-05
Température entrée fluide	$T_e$ (°C)	85

#### PARAMETRES ELECTRIQUES

Puissance th du composant	$P$ (W)	5,45
---------------------------	---------	------

#### PARAMETRES DU DISSIPATEUR THERMIQUE

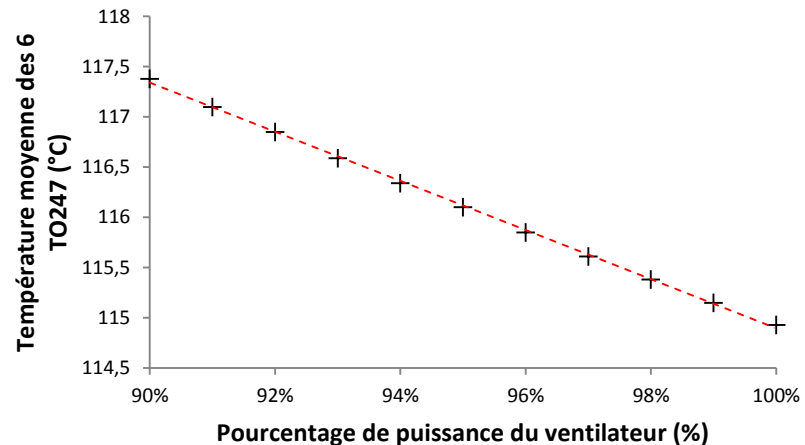
Épaisseur moyenne radiateur	$e1$ (m)	0,0025
Épaisseur moyenne pad	$e2$ (m)	0,002
Épaisseur moyenne composant	$e3$ (m)	0,003
Conductivité radiateur	$\lambda1$ (W/m.K)	237
Conductivité pad	$\lambda2$ (W/m.K)	18,01
Conductivité composant	$\lambda3$ (W/m.K)	401
Conductivité fluide	$\lambda_f$ (W/m.K)	0,023
Pourcentage porosité Pad	(%)	0
Puissance ventilateur	(%)	100
Périmètre radiateur contacte	$C$ (m)	0,35

### DONNEES DE SORTIE

Température de sortie fluide (°C)	93,7
Température du composant 1 (°C)	112,9
Température du composant 2 (°C)	112,1
Température du composant 3 (°C)	111,2

### LOI DE FIABILITE

Puissance ventilateur	100% à 90%
Profil vitesse	100% à 90%
Porosité du PAD	0% à 10%



L'outil numérique EleXTherm est réalisé à partir :

- Des équations des échanges thermiques convectif et conductif
- Des corrélations des écoulements en conduites (Reynolds, Prandlt, Nusselt,...)
- Des résultats des simulations numériques

# Solution de refroidisseur pour Composants électRONiques embarqués en envirOnnement Sévère

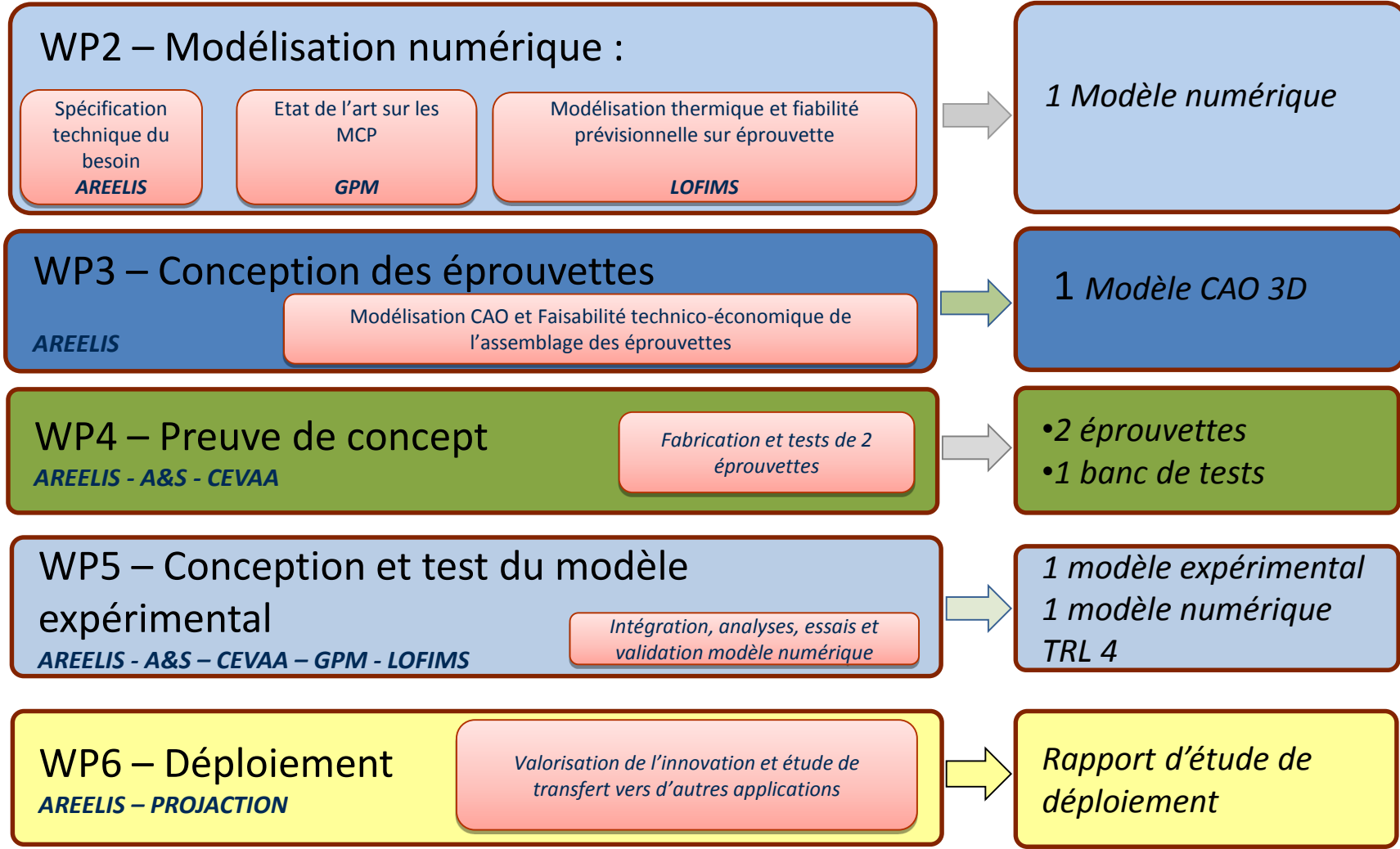
## Projet CRIOS





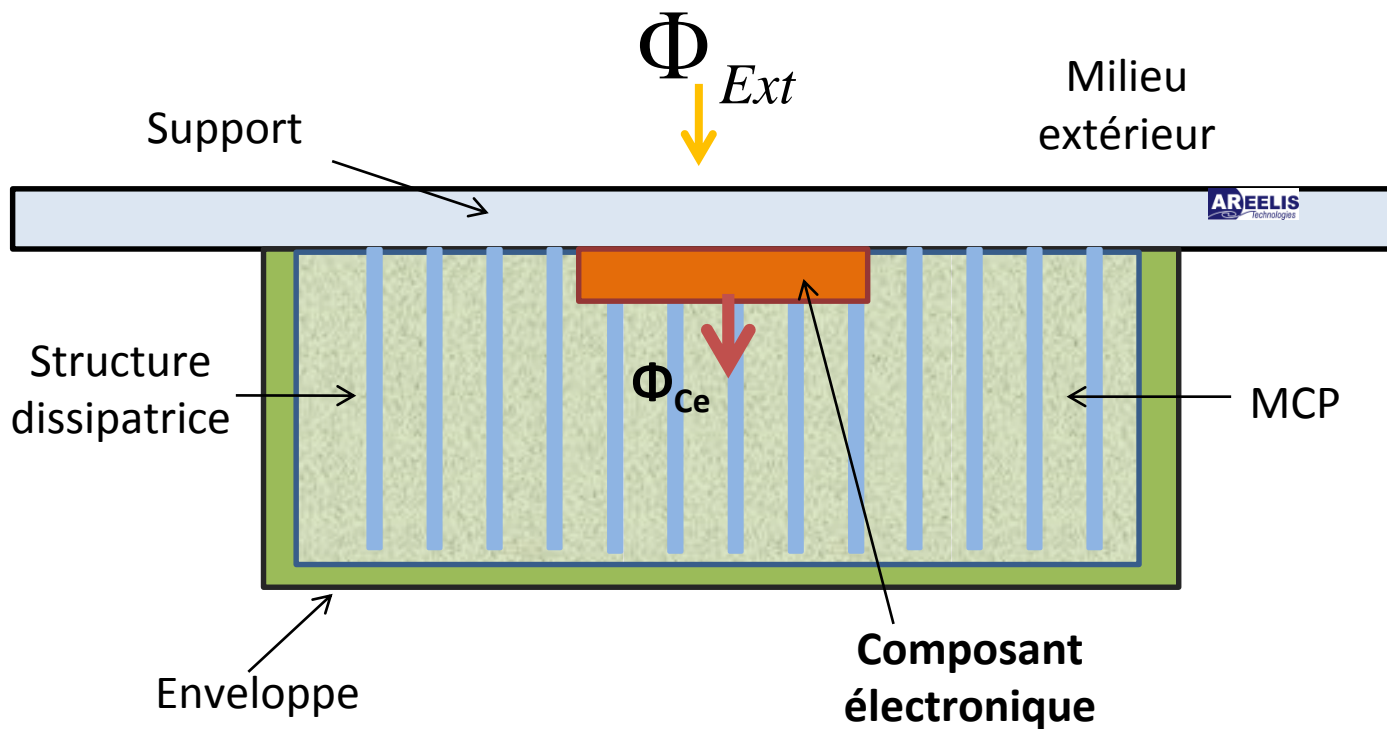
- ❑ CRIOS est un projet de recherche soutenu par Normandie AeroEspace, co-financé par la région Normandie et par les fonds FEDER
  
- ❑ Il a pour objectif de développer une nouvelle solution de refroidissement de systèmes électriques et électroniques embarqués soumis à des environnements sévères
  
- ❑ Il se base sur l'utilisation des matériaux à changement de phase
  
- ❑ Il se différencie des autres solutions classiques:
  - Sans consommation d'énergie
  - Pas de risque de « panne » fonctionnelle
  - S'intègre à la structure existante (occupation du vide)

**WP1 – Management du projet**  
 AREELIS – Projection – INSA Rouen (Leader)



Durée du projet: 2 ans – budget: 1.2 M€

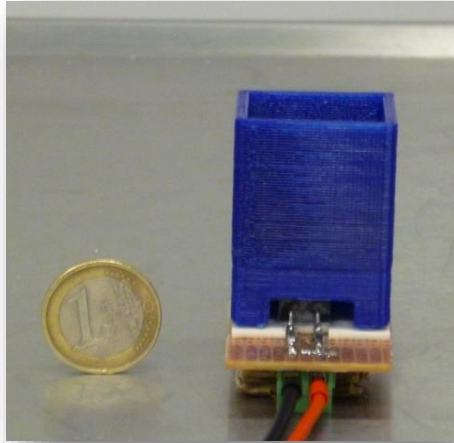
- ❑ Dissipation : 1-100 W par cm<sup>2</sup>
- ❑ Températures maintenues dans une plage 60 °C – 120 °C suivant la demande
- ❑ Configuration à la forme du volume disponible (ordre d'échelle: 1 cm<sup>3</sup>)
- ❑ Utilisation de l'espace non-fonctionnel



*Schéma de principe de CRIOS*

$\Phi_{ce}$  : flux de chaleur dissipé par le composant électronique.

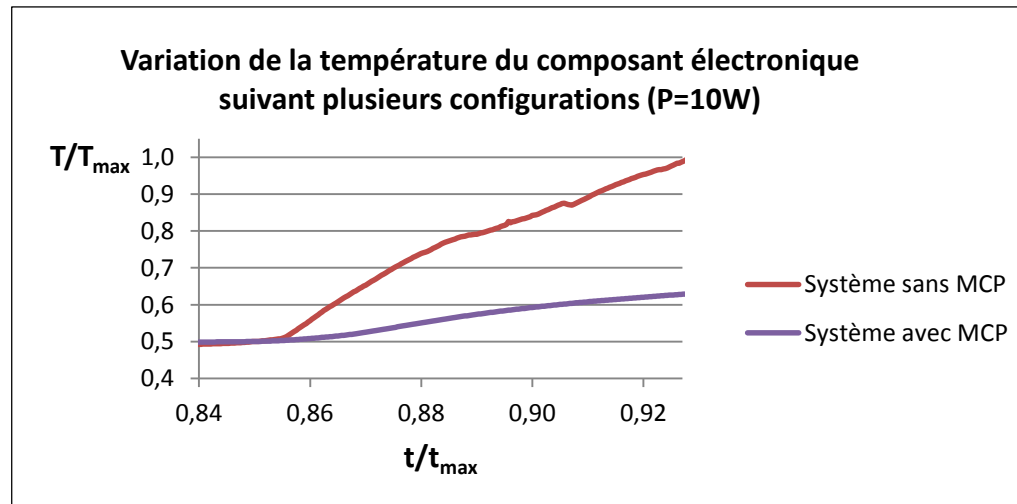
$\Phi_{ext}$  : flux de chaleur émis par le milieu extérieur à forte température.



*Vue du système avec un modèle d'enveloppe réalisé en fabrication additive (système non optimisé)*

**Réchauffement du composant pour une puissance de chauffage de 10 W.**

	$T_{\max} - T_0$ (°C)	Temps de protection* (en s)
<b>Système sans refroidissement</b>	<b>88.6</b>	<b>5.3</b>
<b>Système avec MCP</b>	<b>25.4</b>	<b>18.8</b>



*\*Temps de protection mesuré pour un système avec MCP non optimisé thermiquement : durée pendant laquelle la température du composant électronique < T<sub>limite</sub>*



## Avec nos remerciements

**AREELIS Technologies**

02 32 95 14 14

areelis@areelis.com

[www.areelis.fr](http://www.areelis.fr)

Technopole du Madrillet

675 Avenue Isaac Newton 76800 St Etienne du Rouvray