



Normandie  
**AeroSpace**  
La passion de l'Excellence

# Séminaire Recherche Technologie et Innovation

## 30 juin 2015



## 14h00 – Comité RTI – Dissipation thermique

- **Problématique et approche de la dissipation thermique**

- **Etude bibliographique sur la dissipation thermique**



- **Présentation du projet SIEMSTACK**



## 16h00 – Verre de l'amitié

## Présent :

- **E.ROULAND – AREELIS Technologies**
- **P.PINSON – JACQUES DUBOIS**
- **F.DUPAS – DEDIENNE Multiplasturgy Group**
- **F.FOUQUER – CEVAA**
- **A.HANOY – Ingeliance**
- **C.BELLOCQ – BA105**
- **C.PICARD – Airbus Defense & Space**
- **P.RETHO – HYPERTAC**

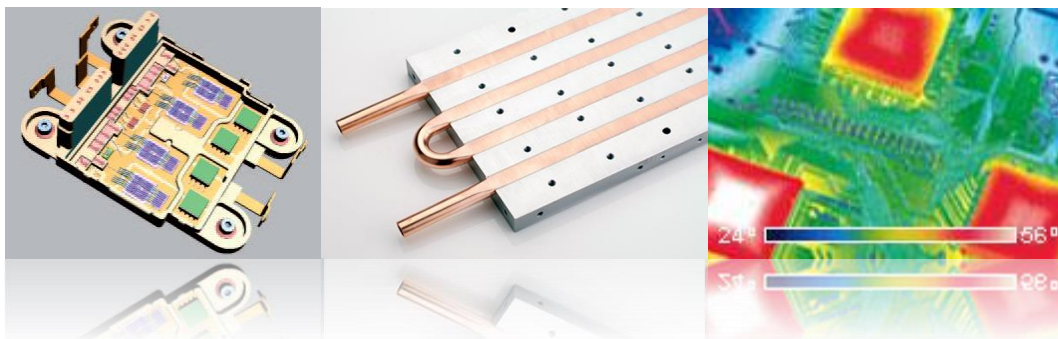
# Etude bibliographique sur la dissipation thermique



# Dissipation Thermique

Un enjeu pour la fiabilité des composants mécatroniques  
Quelles solutions technologiques?

- ➊ Présentation de la société AREELIS Technologies
- ➋ WP1 - Objet étudié et en quoi la thermique est un enjeu
- ➌ WP2 - 3 modes de transfert de la chaleur
- ➍ WP3 - Quelques solutions technologiques de refroidissement



## *Les solutions technologiques de dissipation thermique*

Souscripteur : NAE



Etude réalisée par:

- Le laboratoire de Recherche LUSAC (Université de Caen Basse Normandie)
- La société AREELIS Technologies



## Fournisseur de solutions pour l'innovation

Développement ↔ Service/Produit ↔ Intégration



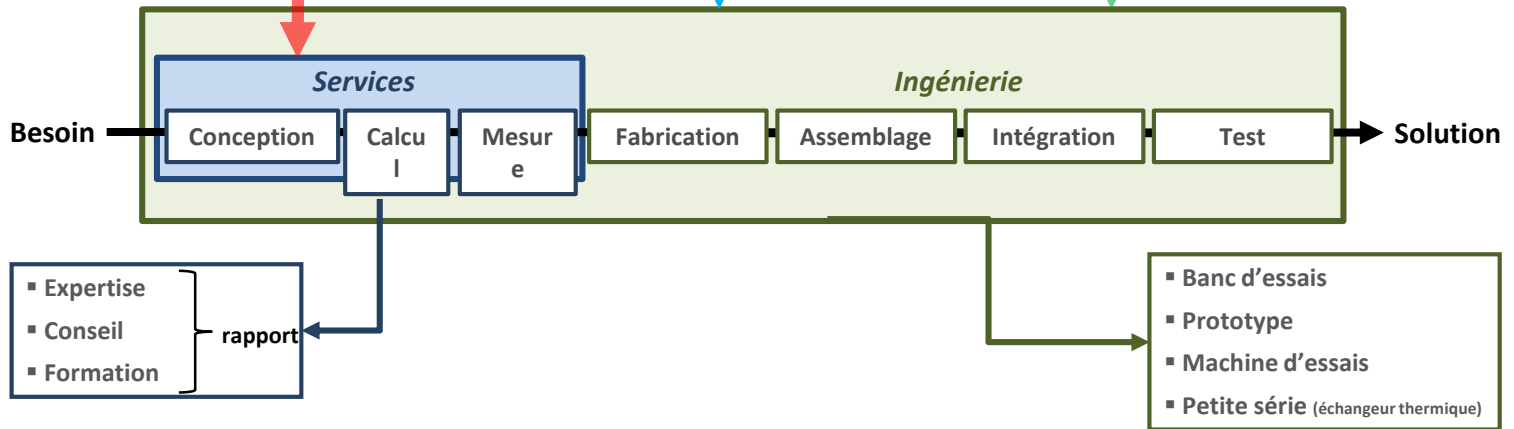
*Efficacité énergétique  
et du confort dans les bâtiments  
et habitacles*



*Fiabilité Thermique  
pour la mécatronique*



*Transport de fluide de  
process*





## Expertise Technique

- Diagnostic thermique de cartes et sous systèmes électroniques en fonctionnement (essais/calculs thermo-mécaniques)
- Caractérisation et modélisation multi-physique des éléments de stockage de l'énergie électrique
- Analyse de la fiabilité thermique des composants électroniques



## Aide à la conception

- Accompagnement en phase amont de développement systèmes ou sous-systèmes
- Thermomanagement



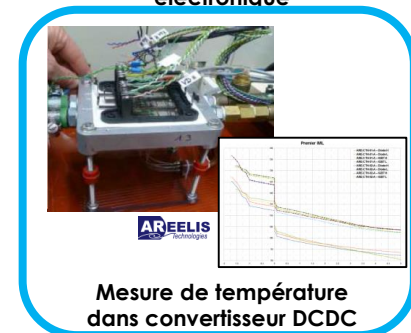
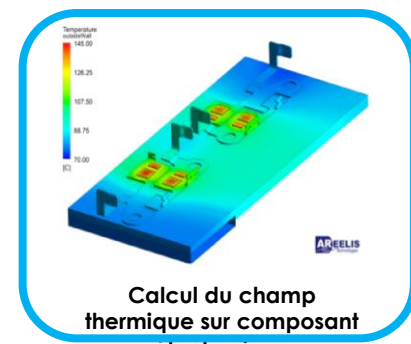
## Conception - Fabrication - Intégration

- Conception et fabrication de banc d'essais thermo-fluidique pour système électronique
- Conception, assemblage et intégration de pack batterie sur mesure
- Développement, conception et test de refroidisseurs actifs et passifs
- Prototypage pour solution de refroidissement innovante  
(*spray cooling, microcanal, matériaux à changement de phase,...*)



## Partenariat

- FISYCOM (Insa Rouen, Cevaa, GPM, Irseem, A&S)
- WattStorage (Mov'eo)

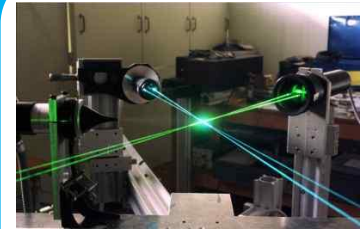






## Analyse thermique

- Caméra IR/HD,
- Microcapteur thermique,
- Vélométrie laser,
- Thermométrie par spectroscopie Raman
- Outils de calcul numérique (Ansys (mechanical et fluent), Amesim, Catia, Code Aster, Lofims-fiabilité)
- Salle blanche ISO 7 pour essais en environnement contrôlé



LDV



## Stress thermique et climatique

- Chambres climatiques 1m<sup>3</sup> -80°C/+250°C
- Etuve jusqu'à 300°C
- Four haute température > 1000°C



Chambre climatique

## Choc Thermique


- Bancs de choc thermique prototype pour composant électronique (-120°C/+300°C)



Choc Thermique

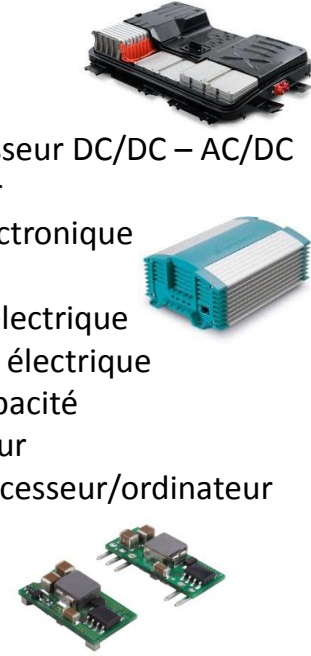
## Du composant au système

- Diode
- Amplificateur
- Composants CPU, GPU, VRM, mémoire, ram
- Symmetrical gate
- Thyristor
- Redresseur
- Condensateur
- Connecteur
- IGBT
- Bobine
- Transistor MOS
- Transistor bipolaire
- Transistor MOSFET
- ...

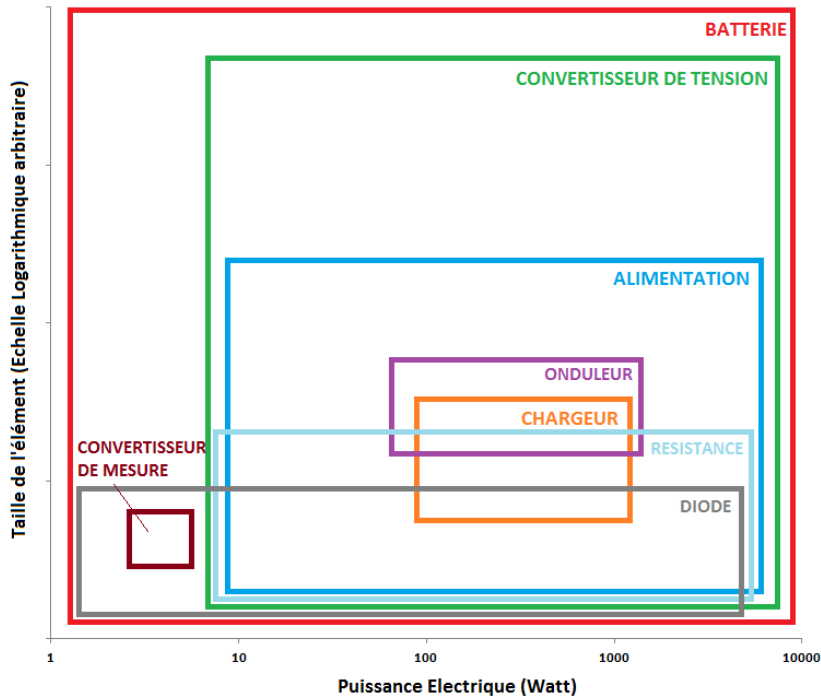


- Lanceur
- Data center
- Avion
- Drone
- 
- Radar
- Missile
- H licopt re
- Satellite

- Batterie
- Convertisseur DC/DC – AC/DC
- Onduleur
- Carte  lectronique
- Capteur
- Moteur  lectrique
- Chargeur  lectrique
- Super capacité
- Actionneur
- Microprocesseur/ordinateur
- ...



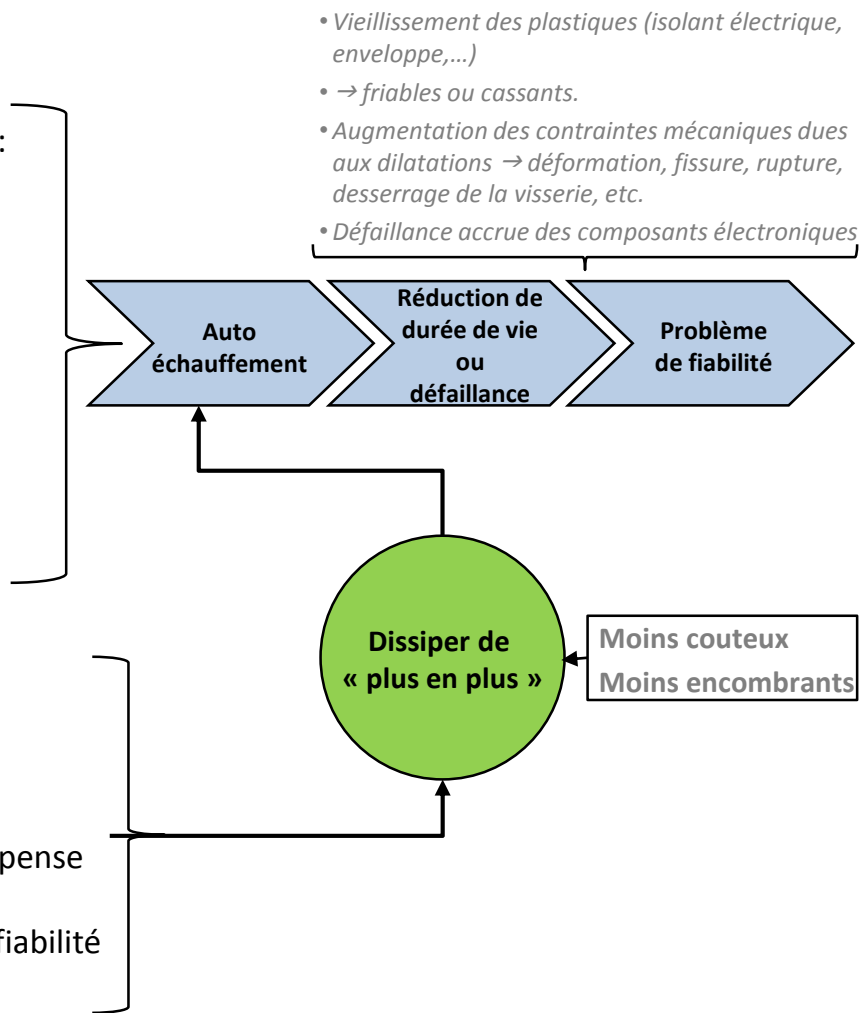
## Du composant au système



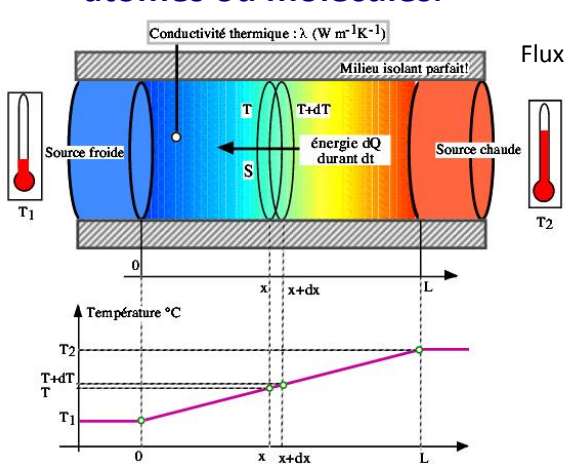
- ⇒ Les composants et les systèmes ont tous une température absolue maximale d'utilisation (fourniture constructeur)
- ⇒ La température (basse ou haute) influe sur leur performance (dérive d'une résistance, variation de l'offset d'un amplificateur opérationnel, chute de tension d'une diode de puissance, rendement d'un module à découpage, etc)
- ⇒ Le phénomène est plus ou moins divergent

## Constats du « plus en plus »

- **Les composants/systèmes électroniques:**
  - De plus en plus miniaturisés
  - De plus en plus puissants
- **Les circuits imprimés:**
  - De plus en plus miniaturisés
  - Des pistes de plus en plus fines
- **Les environnements:**
  - De plus en plus sévères
- **Les réglementations :**
  - De plus en plus strictes
- **Les exigences industrielles :**
  - De plus en plus fortes sur le volet dépense énergétique
  - De plus en plus élevées sur le volet fiabilité et robustesse



**La conduction : Transmission provoquée par la différence de température entre deux régions d'un milieu en contact physique. Il n'y a pas de déplacement appréciable des atomes ou molécules.**



surface perpendiculaire au flux thermique (m<sup>2</sup>)

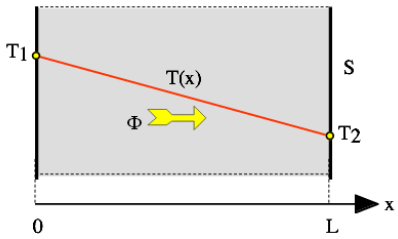
$$\phi \cong \frac{dQ}{dt} = \lambda S \frac{dT}{dx}$$

conductivité thermique (W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

Matériaux	$\lambda$ (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
Gaz à la pression atmosphérique	0.006 - 0.18
Matériaux isolants	0.025 - 0.25
Liquides non métalliques	0.1 - 1.0
Solides non métalliques	0.025 - 3.0
Liquides métalliques	8.5 - 85
Alliages métalliques	10 - 150
Métaux purs	20 - 400

L'air à température ambiante :  $\lambda \approx 0.026$  W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>  
 L'eau à température ambiante :  $\lambda \approx 0.60$  W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>

**Conduction dans un matériaux de conductivité lambda en régime permanent**

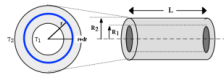


$$\phi = \frac{\Delta T}{R_\lambda} = \frac{T_1 - T_2}{R_\lambda}$$

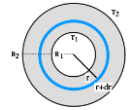
R sistance thermique du matériaux pour une plaque plane (K.W<sup>-1</sup>)

Plaque plane:  $R_\lambda = \frac{L}{S\lambda}$

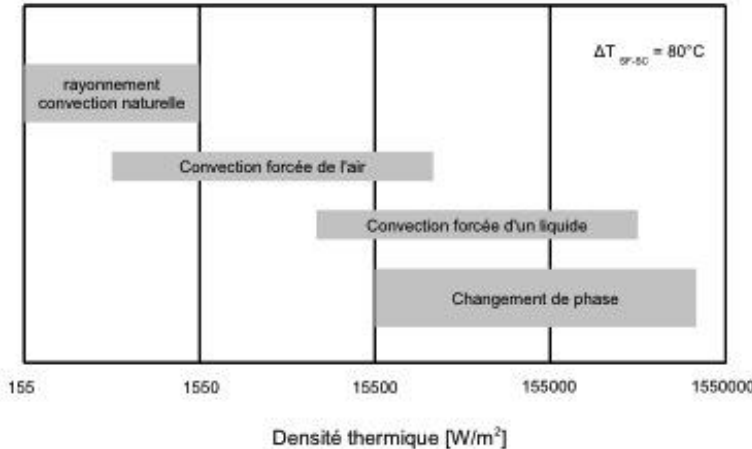
Cylindre creux:  $R_\lambda = \frac{1}{2\pi L\lambda} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$



Sphère creuse:  $R_\lambda = \frac{1}{4\pi\lambda} \ln\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$



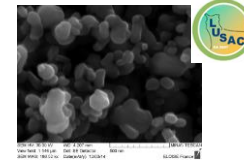
**La convection: Mode de transmission qui implique le déplacement d'un fluide, liquide ou gazeux**



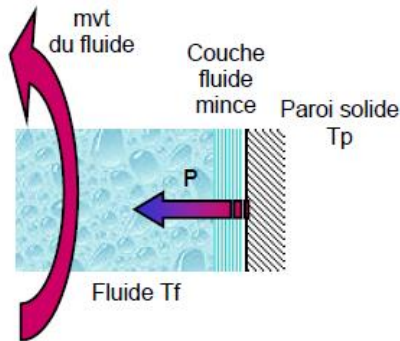
➤ Les échanges convectifs peuvent être améliorés par:

- amélioration de la surface d'échange : microstructuration,
- la nature du fluide utilisé quant à ses propriétés thermophysiques: nanofluides.

Nanoparticules d'argent de diamètre 30nm



**Coefficient de transfert convectif**



$$\phi = hS(T_p - T_f)$$

Coefficient de convection ( $W K^{-1} m^{-2}$ )

$$Nu = \frac{h D_h}{\lambda} = f(Re, Pr, \dots)$$

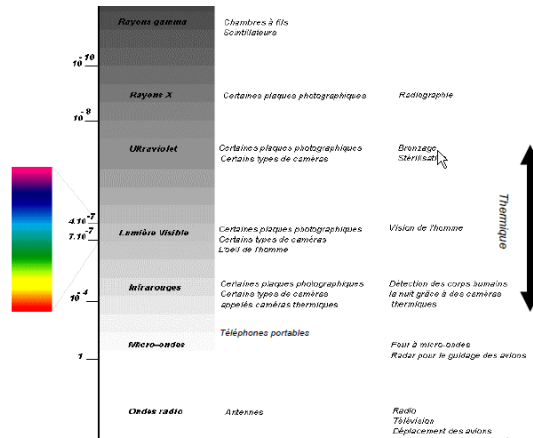
$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu}$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda}$$

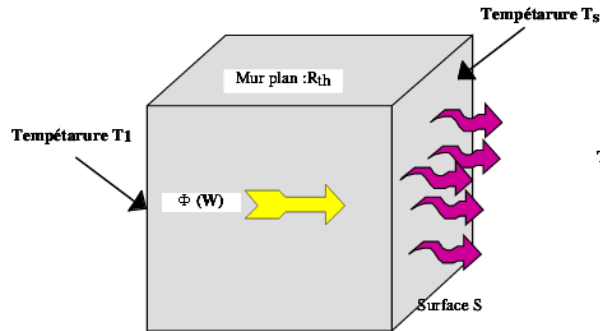
Ex: Régime d'entrée des tubes: dans le cas où:  $x/D < 60$ , la corrélation de Colburn

$$Nu = 0,023 Pr^{1/3} Re^{0,8} \left[ 1 + \left( \frac{D}{x} \right)^{0,7} \right]$$

## Le rayonnement:  mission d'énergie susceptible de se transmettre dans le vide, il s'agit du rayonnement électromagnétique



## Facteur d'émission normale de surface



constante de Stéphan Boltzmann  
 $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ (W K}^{-4} \text{ m}^{-2}\text{)}$

Température  
 ambiante  $T_a$

$$\phi = \epsilon \sigma S (T_s^4 - T_a^4)$$

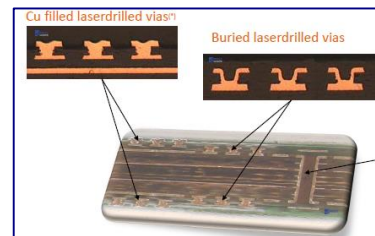
coefficient d'émission de la surface ( $\epsilon = 1$  pour un corps noir,  $\epsilon \ll 1$  corps brillant)

Acier inox	0.25
Ciment	0.96
Brique	0.75
B�ton	0.93
Pierre	0.93
Email	0.85 � 0.95
Laque	0.95
Peinture à l'huile	0.94
Peinture aluminium	0.35
Li�ge	0.93

Facteur d'émission normale de surface  $\epsilon$  de quelques matériaux à 300 K

## Dissipation par effet conductif

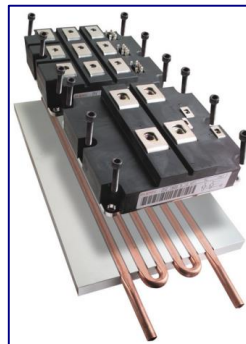
- Drain thermique AREELIS Technologies
- Via thermique
- Insert métallique
- Substrat SMI



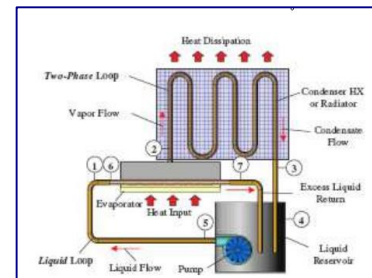
Vias thermiques (Meredith)

## Dissipation par effet convectif

- "Plaque Froide" avec circulation de liquide AREELIS Technologies
- Radiateur ventilé ou non
- Jet
- ...



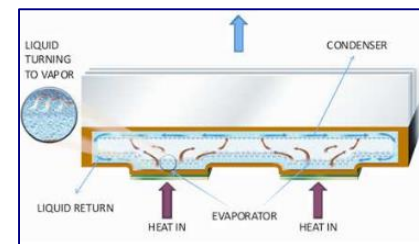
Plaque froide (Aavid Thermalloy)



loop heat pipe (Cnes)

## Dissipation avec changement de phase

- Spray Cooling AREELIS Technologies
- Boucle diphasique passive
- Matériau à changement de phase
- immersion processus d'ébullition...



thermal spreader (BCFMKM)

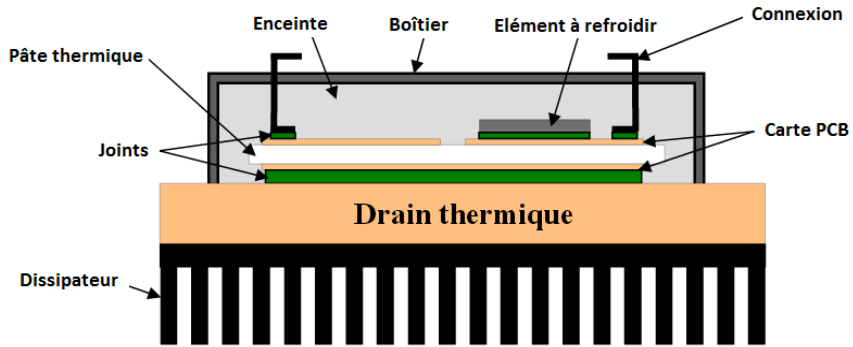
## Dissipation par effet Peltier





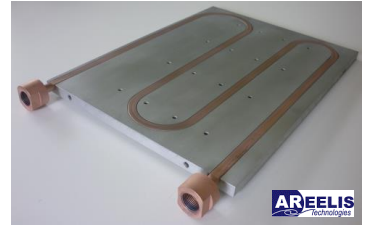
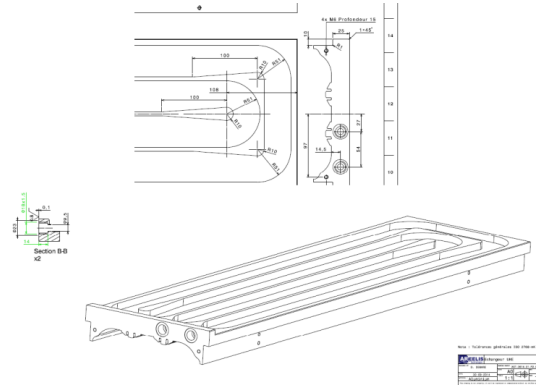
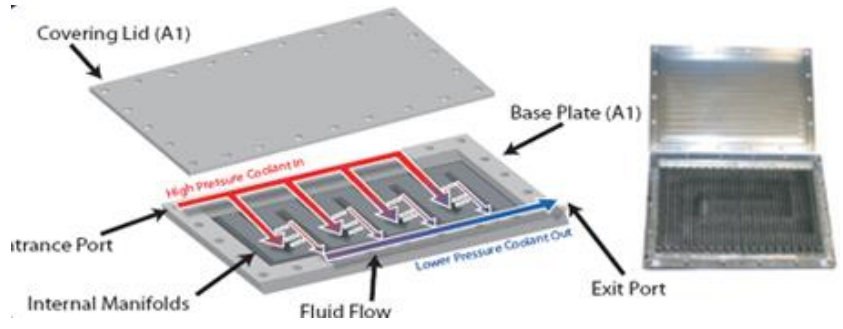
➤ **Un drain thermique est composé :**

- D'une structure métallique (cuivre, étain, acier...) permettant de conduire et de dissiper la thermique
- De pâte thermique (Sil-Pad, Gap-Pad...) permettant de réaliser le contact entre l'élément à refroidir et la structure métallique
- D'ailettes de ventilation



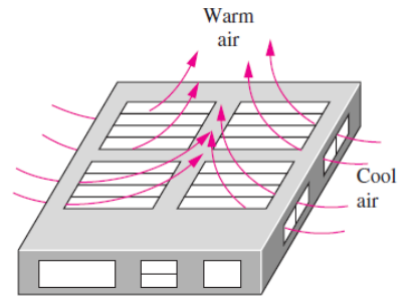
## ➤ Plaque froide

- Le refroidissement liquide monophasique indirect est implémenté dans les composants électroniques sous la forme d'une plaque à eau, dans laquelle circule un liquide caloporteur, ou de canalisations fluidiques accolées aux parois à refroidir.

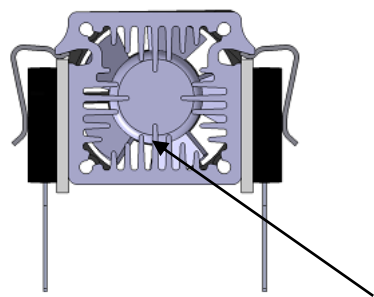


- Pour des diamètres de canaux compris entre 10 et 800  $\mu\text{m}$ , la plaque froide est dite à micro-canaux
- Pour des diamètres de 1 à 10 mm, elle est dite à mini-canaux
- Au-delà de 10 mm, ces systèmes sont usuellement appelés plaque froide.

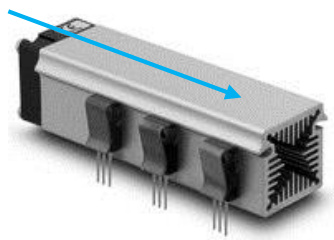
➤ **Convection naturelle dans l'air** : L'élément électronique est placé dans l'air ambiant au repos, la différence de température entre le milieu ambiant et l'élément électronique permet un échange dont le coefficient d'échange  $h$  est compris entre **5 et 25  $W.m^{-2}.K^{-1}$** .



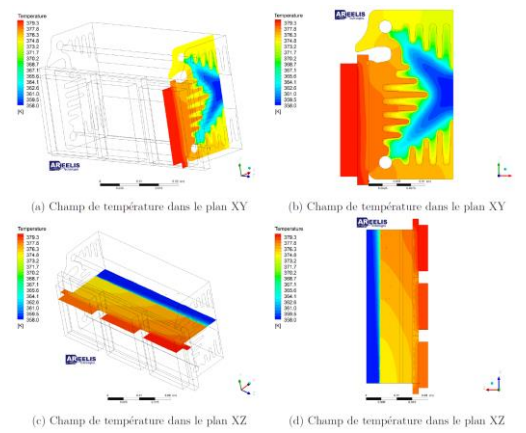
➤ **Convection forcée dans l'air** : L'air est mis en mouvement par le biais de générateur d'écoulement (ventilateur). Le coefficient d'échange  $h$  est de l'ordre de **10 à 3000  $W.m^{-2}.K^{-1}$** .



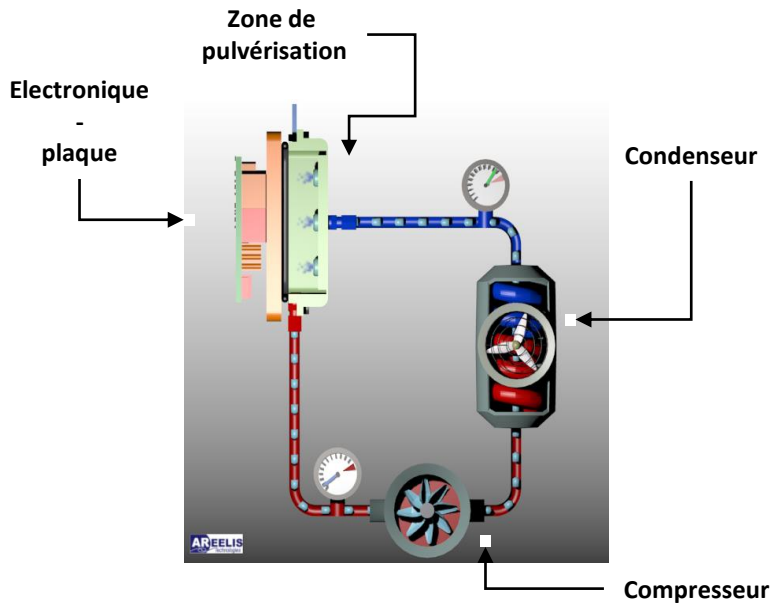
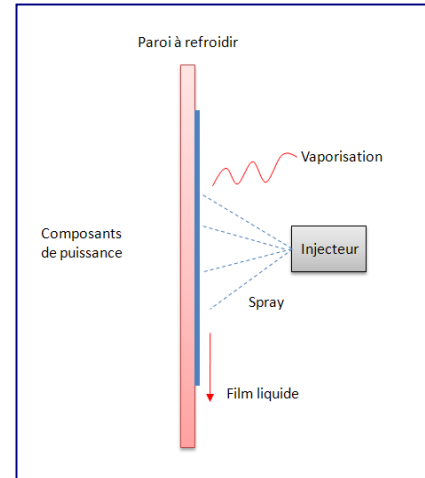
Flux d'air forcé par ventilation



Radiateur à ailettes profilées



- Evacuation d'un flux de chaleur important: au moins 50% plus efficace qu'un système classique
- Bon recouvrement spatial de la zone à refroidir.
- Permet un refroidissement à la demande et localisé.
- Fonctionnement en circuit fermé

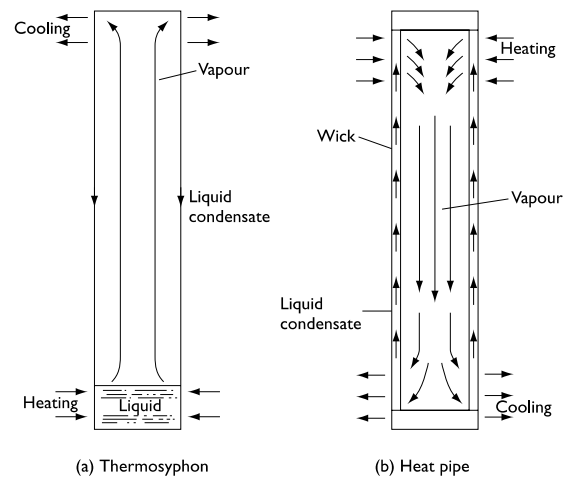
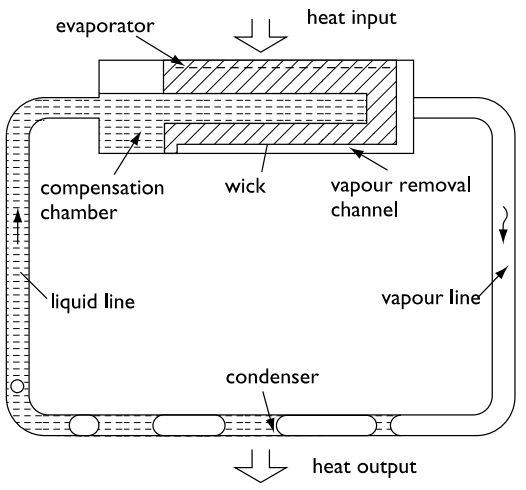
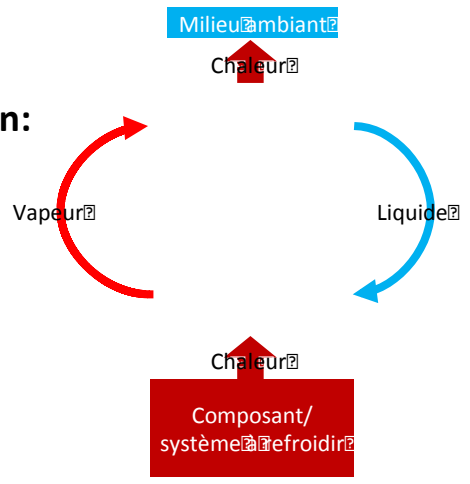


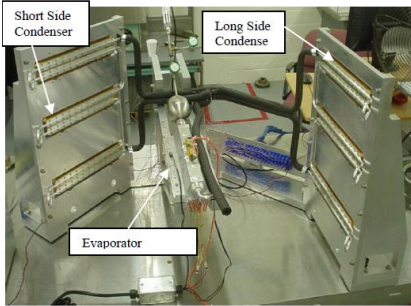
**SprayModules**  
Spot cooling



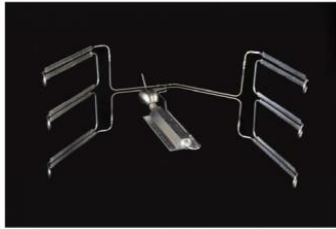
**CPL (capillary pumped loop) , LHP (loop heat pipe) , Thermosyphon:**

- **Changement de phase liquide/vapeur**
- **adaptables à de nombreuses architectures**
- **fonctionnent sans pièces mécaniques**
- **assurent un contrôle thermique automatique**





-Refroidissement du Satellite TACSAT-4 (P. Dussinger et al. 2009), puissance de 700W



Refroidissement d'électronique : ordinateur Mac (P=50W)



LHP en pour refroidir un réacteur nucléaire spatial, puissance de 640W

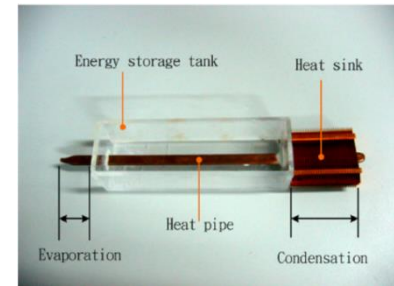
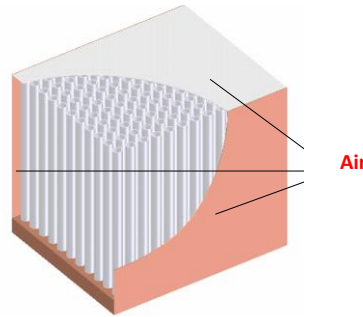
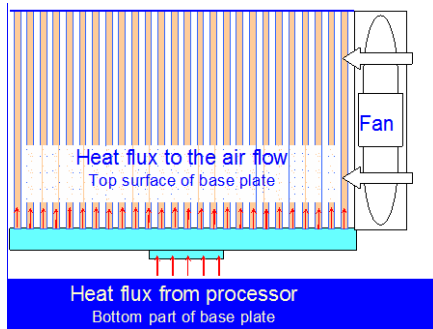


Refroidissement de l'électronique d'un portable

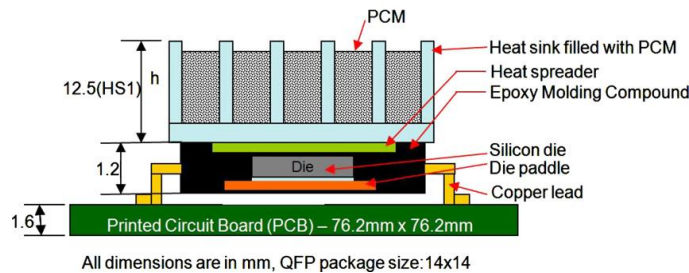


Boucle thermosyphon pour le télécom, LUSAC

- Les matériaux à changement de phase (PCM) solide-liquide se liquéfient en stockant de la chaleur dans une gamme de température de 40 à 70 C



Caloduc + PCM



Dissipateur thermique avec PCM: l'électronique

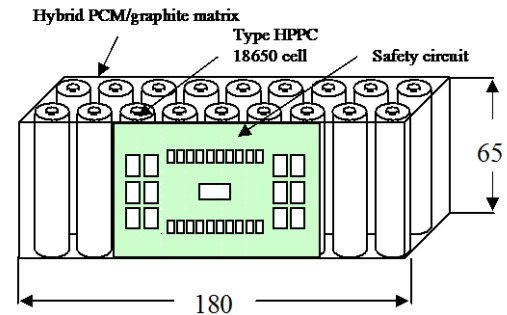
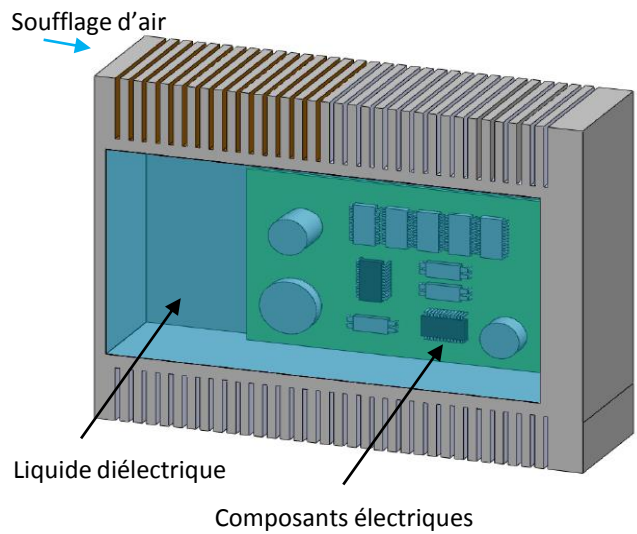


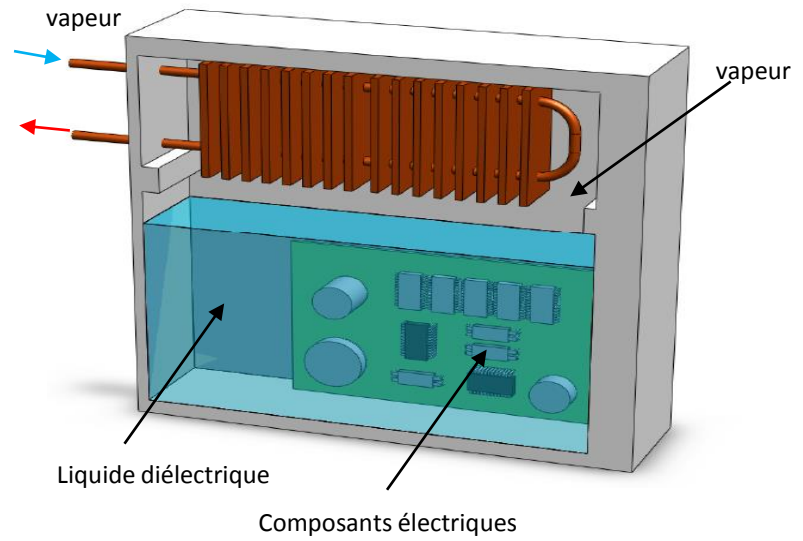
Figure 5. Schematics of the PCM/Li-Ion Battery Module (dimensions are in mm)

- Refroidissement par immersion dans un fluide en ébullition
- utilisé depuis 1948 pour le refroidissement de composants de puissance dans les radars (Cochran, 1968).
- Le fluide caloporteur est un fluide diélectrique

Condensation par convection d'air

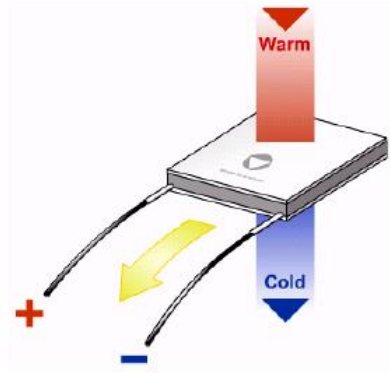


ou par liquide dans un échangeur

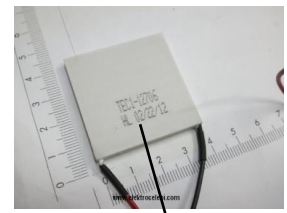




- Refroidissement par effet thermoélectrique
- Utilisation simple, robustes, silencieux et fiable
- Efficacité limité → QQ dizaines de Watt ( effet joule facteur limitant)

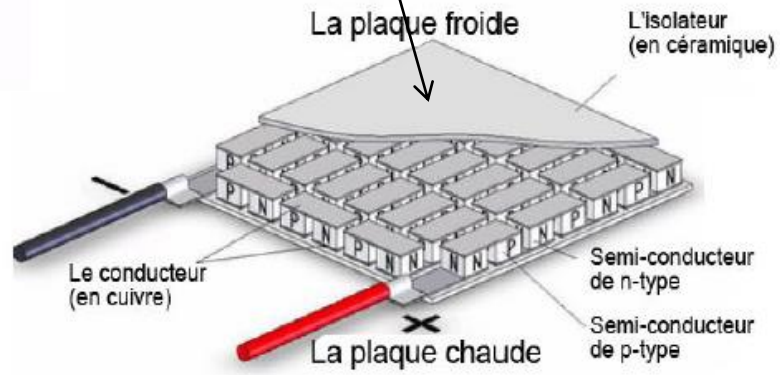


Effet Peltier



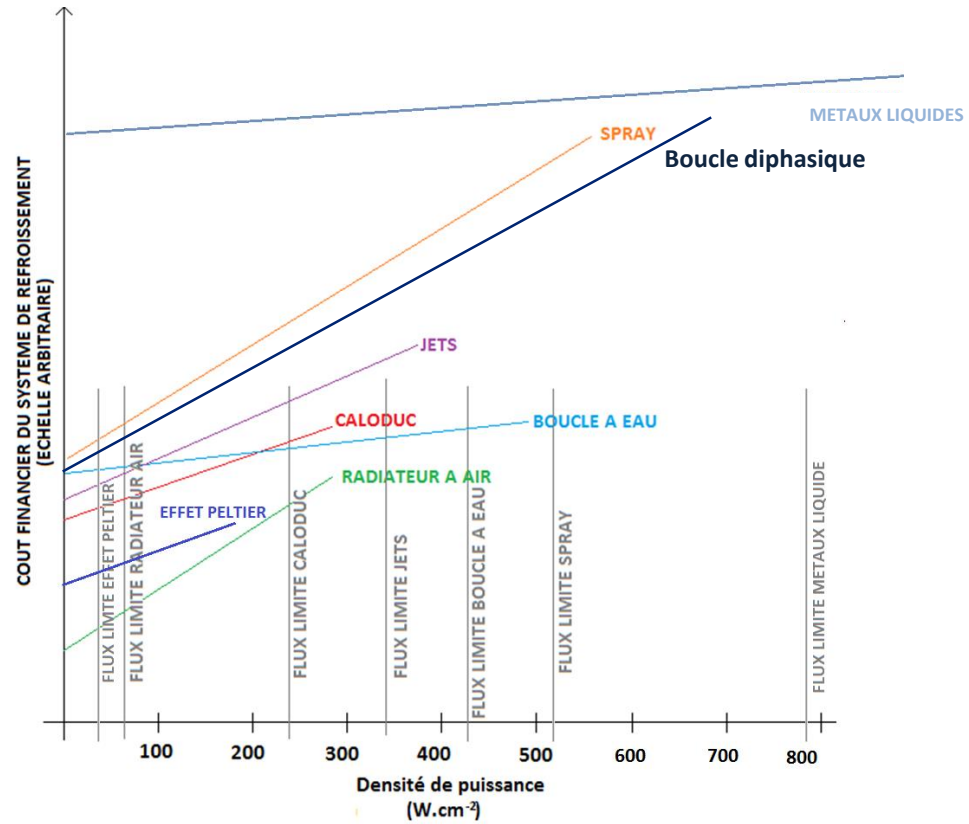
Tension nominale	15 V
I max.	6.4 A
Puissance de refroidissement (max.)	65 W
Différence de température (max.)	60 �C
Larg.	40 mm
Hauteur	3.8 mm
Longueur	40 mm

Ex: Module Peltier TEC1-12706



Thermo l ments en semi-conducteur à un seul étage

## Comparaison des systèmes de refroidissement



*Coût financier de chaque système de refroidissement en fonction de la densité de puissance à évacuer*

- Baviere, R.**, Etude de l'Hydrodynamique et des Transferts de Chaleur dans des Microcanaux (phdthesis). Université Joseph-Fourier - Grenoble I. 2005.
- Boubakeur.** *Refroidissement d'une armoire de Telecommunication avec Bouche Diphasique Thermosyphon. s.l. : Université de Technologie de Belfort-Montbeliard, 2011.*
- Chunjing Lin, Sichuan Xu, Guofeng Chang, Jinling Liu.** *Experiment and simulation of a LiFePO4 battery pack with a passive thermal management system using composite phase change material and graphite sheets.*
- Deng, Daxiang.** *Evaluation of capillary performance of sintered porous wicks for loop. Experimental Thermal and Fluid Science . 2012.*
- King, Amanda J. Low** Emissivity of Building Materials. *Advanced Studies in Construction Technology. 2013.*
- Mativet, A., Meunier, F.**, Etude expérimentale d'un procédé de chauffage et de refroidissement par changement de phase du fluide caloporteur = Experimental study of a heating and cooling process using the phase change of the heat transfer fluid,1997.
- al, Pramod et.** *Novel heat transfer fluids for direct immersion phase change cooling. immersion.*
- Rodriguez, Dr. Jose.** *Loop Heat Pipe Comparison with Capillary Pumped Loops. nasa.gov. 14 06 2012.*
- Philippe Roux,** Transfert thermique, 2006.
- Toshikazu Kadota a, Hajime Tanaka a, Daisuke Segawa a, Shinji Nakaya a, Hiroshi Yamasaki b.** Microexplosion of an emulsion droplet during Leidenfrost burning, Proceedings of the Combustion Institute, 2007.
- Yunus, Cengel.** *Heat Transfer : A practical approach. New york : McGraw Hill, 1998.*

LUSAC 

02 33 01 42 04

Contact : Hasna Louahlia-Gualous

hasna.louahlia@unicaen.fr

<http://www.chbg.unicaen.fr>*Site de Cherbourg*

Rue Louis Aragon

50 130 CHERBOURG OCTEVILLE

*Site de Saint-Lô*

120 rue de l'Exode 50 000 SAINT LO

AREELIS Technologies 

02 32 95 14 14

Contact : Eric Rouland

eric.rouland@areelis.com

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

Technopole du Madrillet

675 Avenue Isaac Newton 76800 St Etienne du Rouvray

# Projet R&D SIEMSTACK





Normandie  
**AeroSpace**  
La passion de l'Excellence

## **NORMANDIE AEROESPACE**

Technopôle du Madrillet  
745 avenue de l'Université - Bâtiment CRIHAN  
76800 Saint-Etienne du Rouvray  
T +33 (0)2 32 80 88 00

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

