

# Étude d'une solution logicielle pour simulation thermique de PCB

Présenté par :

**Léonard GAUTHIER**

Université de Strasbourg & THALES DMS

Encadré par :

**Christophe PRUD'HOMME**

Université de Strasbourg

**Alexis SANJAIME**

THALES DMS France

[www.thalesgroup.com](http://www.thalesgroup.com)



# SOMMAIRE

## 01 Contexte

- De THALES au Bureau d'Études (BE)
- Définitions des phénomènes thermiques
- Préparation d'un PCB à la simulation thermique

## 02 Étude de faisabilité

- Processus actuel et ses irritants
- Processus envisagé avec les logiciels ANSA et META
- Travaux pour la réalisation de l'étude

## 03 Travaux effectués pendant le stage

- Standardisation des réseaux thermiques de composants
- Ajouts de fonctionnalités dans ANSA
- Simulation à l'échelle d'une carte électronique
- Perspectives et poursuite du projet

# 01 - Contexte



# 01 - De THALES au Bureau d'Études (BE)

## Chiffres clés



**77 000\***

**Collaborateurs**

\* Hors transport terrestre



**17,6 Mds€**

**Chiffre d'affaires en  
2022**



**68 Pays**

**Une présence  
mondiale**



**1Mds\*\* €**

**R&D\*\* autofinancée**

\*\* Hors R&D à financement  
externe

# 01 - De THALES au Bureau d'Études (BE)

## Les entités de THALES



Transport terrestre



Aéronautique



Identité et Sécurité  
numérique



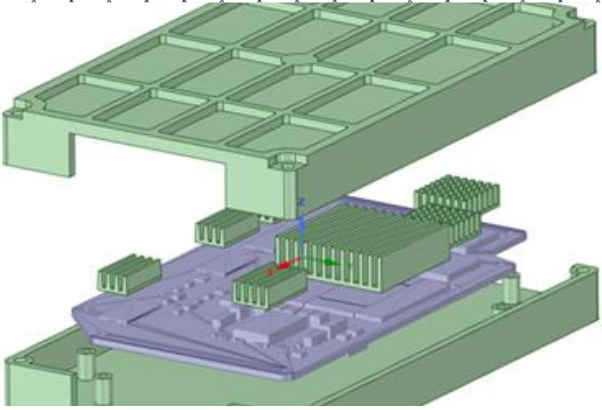
Espace



Systemes de  
Mission de  
Défense

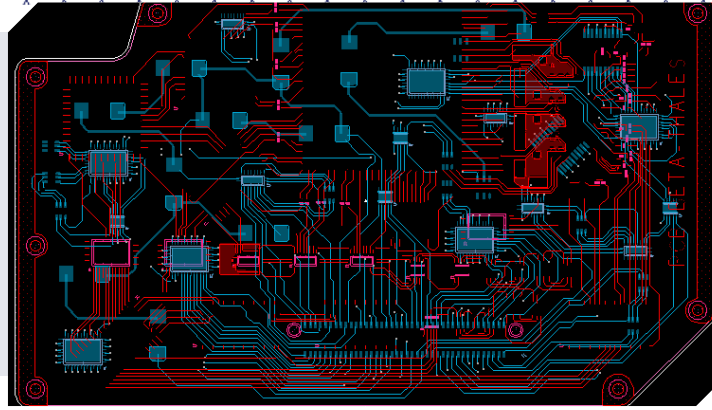
# 01 - De THALES au Bureau d'Études (BE)

## Différentes équipes présentes au BE d'Élancourt



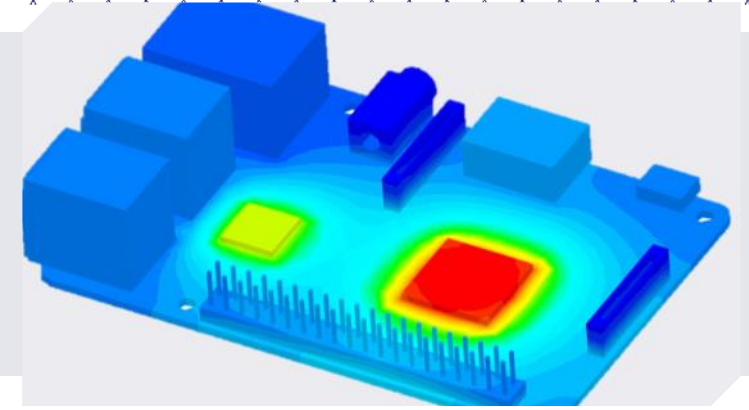
### > Bureau d'Études Mécanique

- Défini l'environnement du matériel
  - Volume
  - Poids
  - Maintien sur le porteur



### > Bureau d'Études Circuits Imprimés (CI)

- Crée un dossier de définition
  - Schéma électrique
  - Placement des composants
  - Routage des composants



### > Bureau d'Études Simulation Mécaniques & Thermiques

- Contrôle la tenue du matériel dans son environnement
  - Simulation contraintes mécaniques
  - Simulation thermique

# 01 - Définitions des phénomènes thermiques

## Notions physiques du flux thermique

### > Conduction

$$\phi = \lambda \frac{S}{L} \Delta T$$

- $\phi$  : flux thermique (W)
- $\lambda$  : conductivité thermique (W/m/K)
- $S$  : surface de contact (m<sup>2</sup>)
- $L$  : distance entre 2 sources (m)
- $\Delta T$  : différence de température (K)

### > Convection

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

- $h$  : coeff. de convection (W/K/m<sup>2</sup>)
- $T_p$  : Température paroi (K)
- $T_f$  : Température du fluide (K)

### > Rayonnement

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

- $\varepsilon$  : facteur d'émission de la surface
- $\sigma$  : constante Boltzmann (W/K<sup>4</sup>/m<sup>2</sup>)
- $T_s$  : Température surface (K)
- $T_a$  : Température ambiante (K)

# 01 - Définitions des phénomènes thermiques

## Notions physiques du flux thermique

### > Conduction

$$\phi = \lambda \frac{S}{L} \Delta T$$

- $\phi$  : flux thermique (W)
- $\lambda$  : conductivité thermique (W/m/K)
- $S$  : surface de contact (m<sup>2</sup>)
- $L$  : distance entre 2 sources (m)
- $\Delta T$  : différence de température (K)

Principal phénomène observé

### > Convection

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

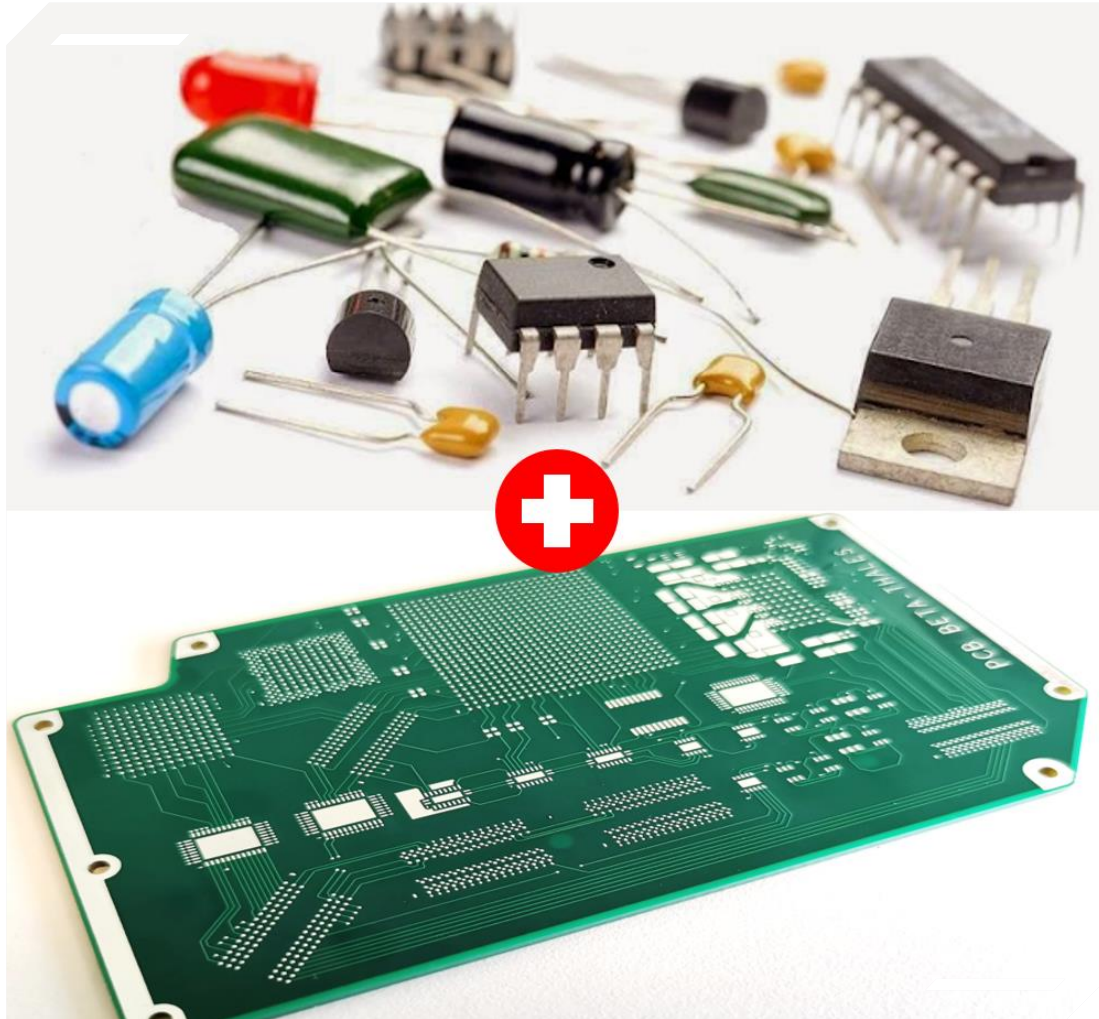
- $h$  : coeff. de convection (W/K/m<sup>2</sup>)
- $T_p$  : Température paroi (K)
- $T_f$  : Température du fluide (K)

### > Rayonnement

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

- $\varepsilon$  : facteur d'émission de la surface
- $\sigma$  : constante Boltzmann (W/K<sup>4</sup>/m<sup>2</sup>)
- $T_s$  : Température surface (K)
- $T_a$  : Température ambiante (K)

# 01 - Préparation d'un PCB à la simulation thermique



## Définition d'une carte électronique

### > Des composants électroniques

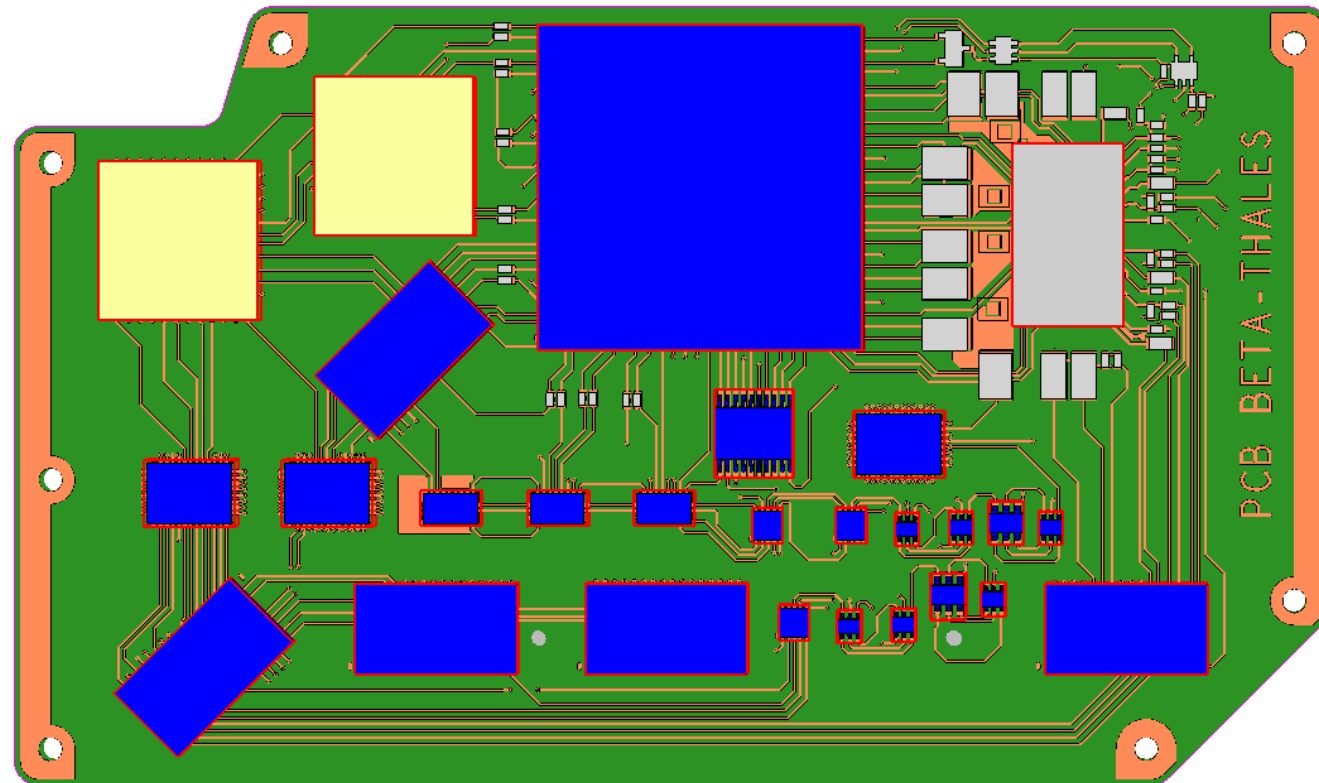
- ▶ Conçus pour effectuer une ou plusieurs tâches
  - Simple : manipuler la puissance électrique, ...
  - Complexe : exécuter des instructions machines, ...
- ▶ De différentes formes : à patte, à matrice de billes, ...
- ▶ Encapsulés dans un boîtier plastique ou composite

### > Un PCB

- ▶ Assemblage d'une ou plusieurs couches de cuivre
- ▶ Les couches sont isolées par un matériau diélectrique
- ▶ Formation de pistes de cuivre et de vias reliant les composants électroniques

# 01 - Préparation d'un PCB à la simulation thermique

## Mise en calcul et création d'un PCBA



### > Environnement et plage de fonctionnement

- ▶ Environnement de fonctionnement contraignant
  - Variation extrêmes de température (entre -55°C et 125°C),
  - Contraintes mécaniques
- ▶ Objectif de simulation → Prédire les extrema de températures enregistrées dans les composants ( $T_j$ )

### > PCB créé spécialement pour cette étude

- ▶ Composant électronique générique, trouvable dans le commerce
- ▶ 6 couches et routage entre composants non-fonctionnel mais représentatif

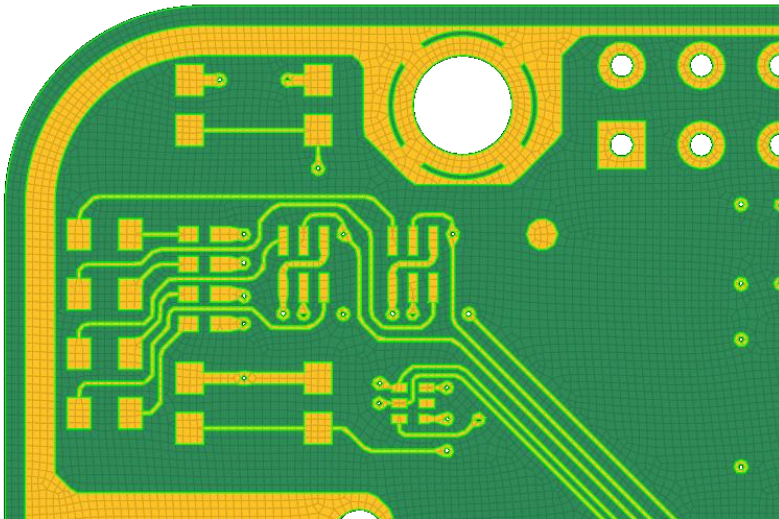
# 01 - Préparation d'un PCB à la simulation thermique

## Metal Fraction

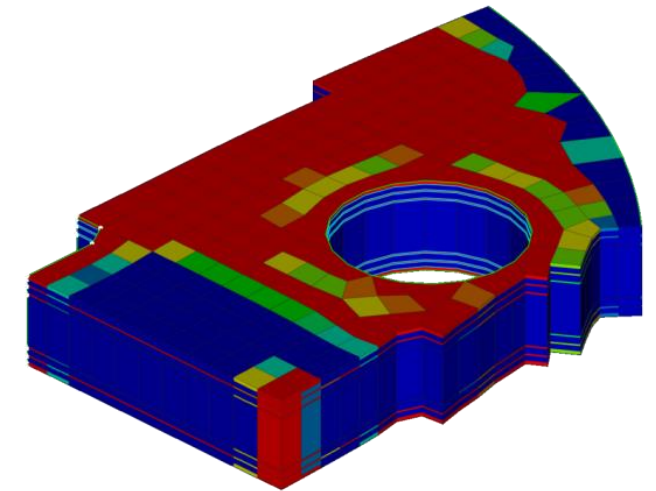
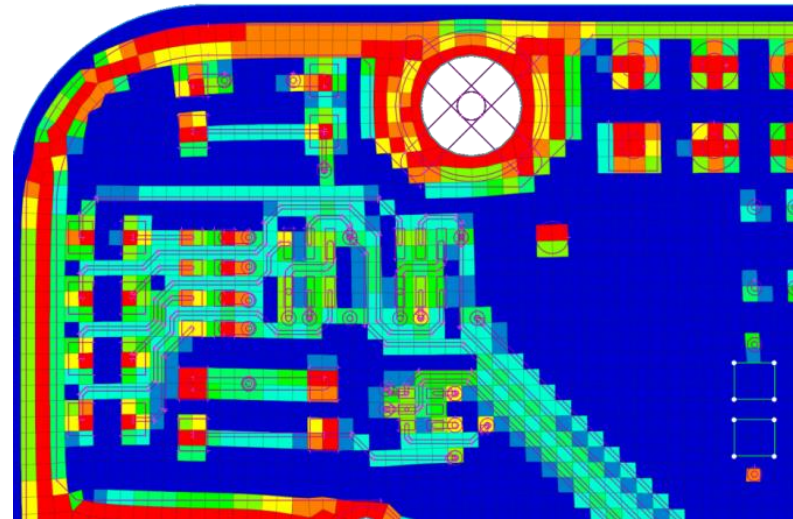
Objectif: Reproduire fidèlement la conductivité dans le PCB en un temps raisonnable

- Simulation par Volumes Finis, importance de contrôler le nombre d'éléments
- Compromis sur le maillage du PCB pour la réduction du temps de calcul
- Metal fraction: le pourcentage de métal dans chaque élément du maillage est calculé

**Maillage exact des pistes:**



**Maillage du Metal Fraction:**



Cuivre [%]

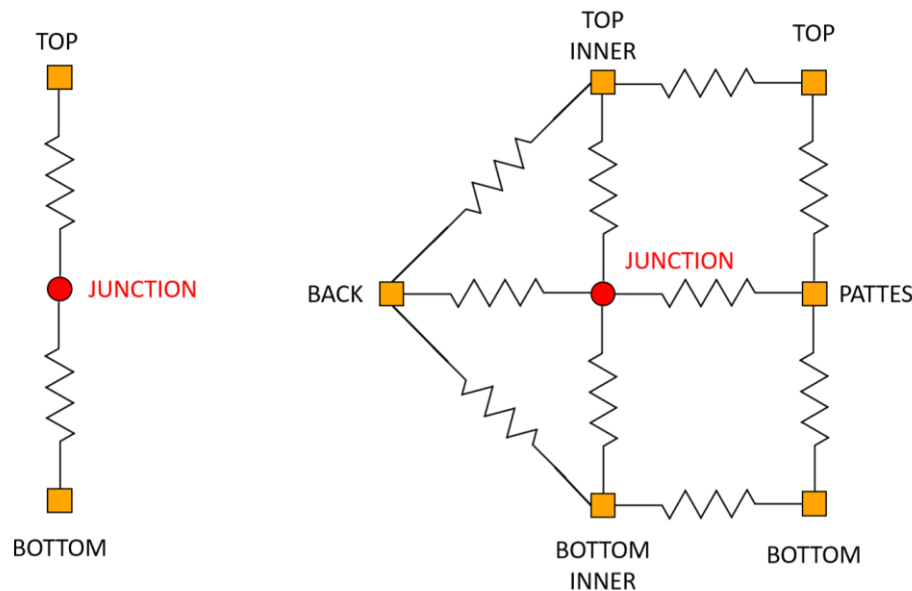
100.0 88.9 77.8 66.7 55.6 44.4 33.3 22.2 11.1 0.0



# 01 - Préparation d'un PCB à la simulation thermique

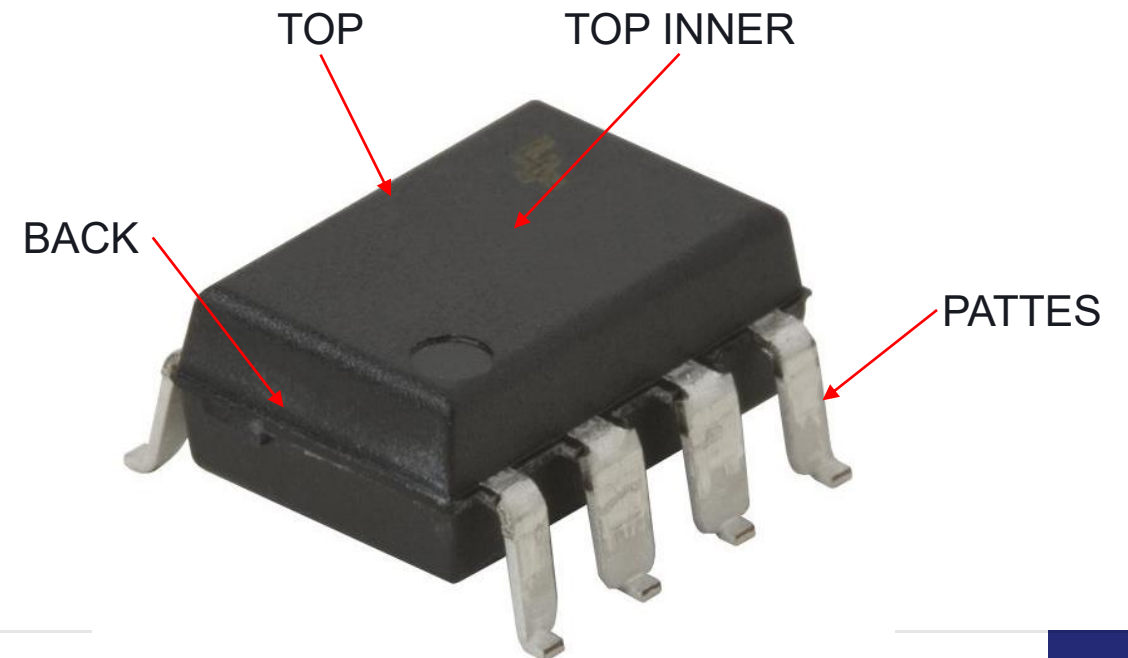
## Compact Thermal Model (CTM)

- Reproduction fidèle de la physique des composants à moindre coût
- Réduction des modèles volumes finis à des modèles mathématiques (réseaux nodaux résistifs)
- Echelles de réductions : 2R ou Compact
- Puissance dissipée au noeud interne **JUNCTION**
- Modèles réduits créés et stockés dans une base de données interne



2R

CTM



## 02 - Étude de faisabilité



## 02 - Processus actuel et ses irritants

Niveau de satisfaction



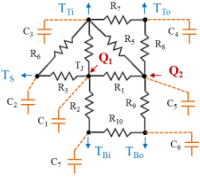
Cadence Allegro  
via IDF3XTD

CAO CATIA via  
**ANSYS Spaceclaim**  
(mechanical parts)

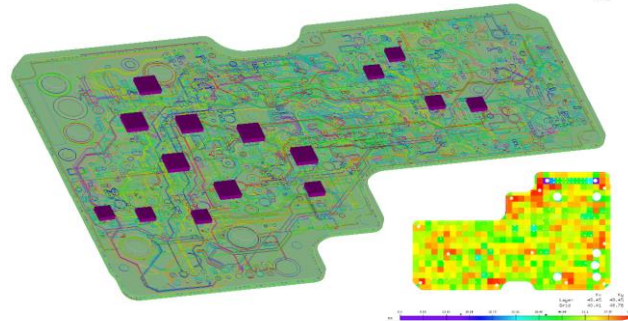


**Logiciel interne THALES**  
PCB + modèle de composants

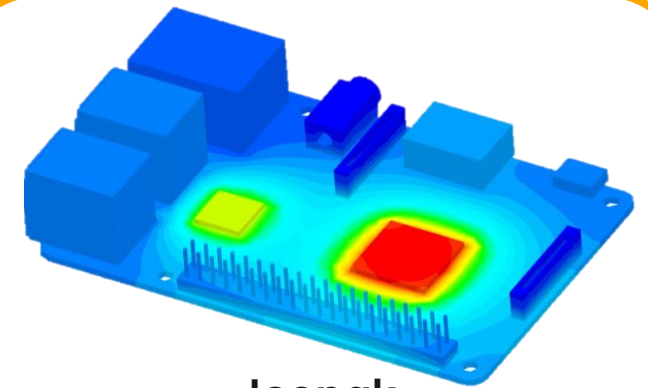
Base de données  
des CTM



**ANSYS Icepak model**  
Pré-processing et maillage

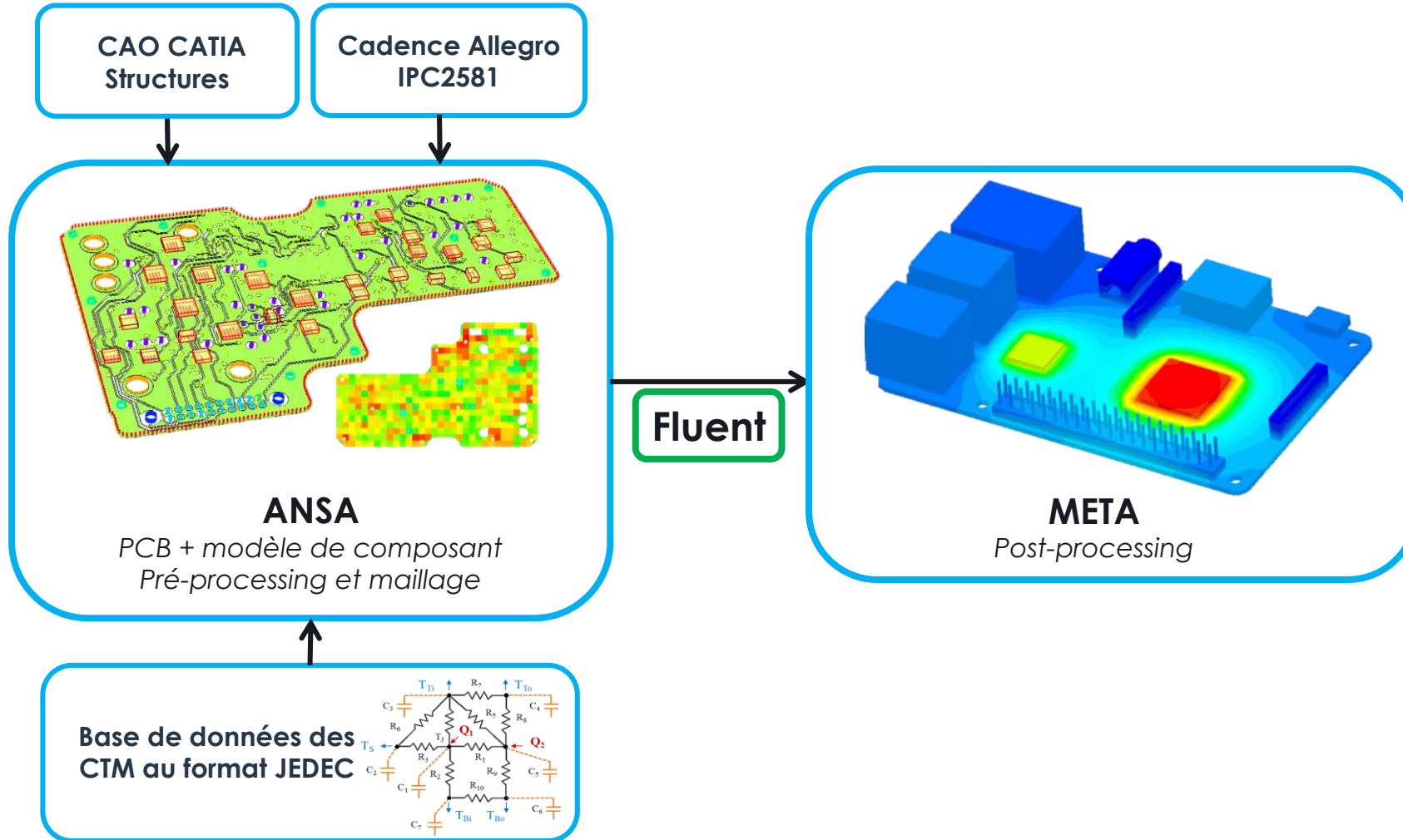


**Fluent**



**Icepak**  
Post-processing

## 02 - Processus envisagé avec les logiciels ANSA et META

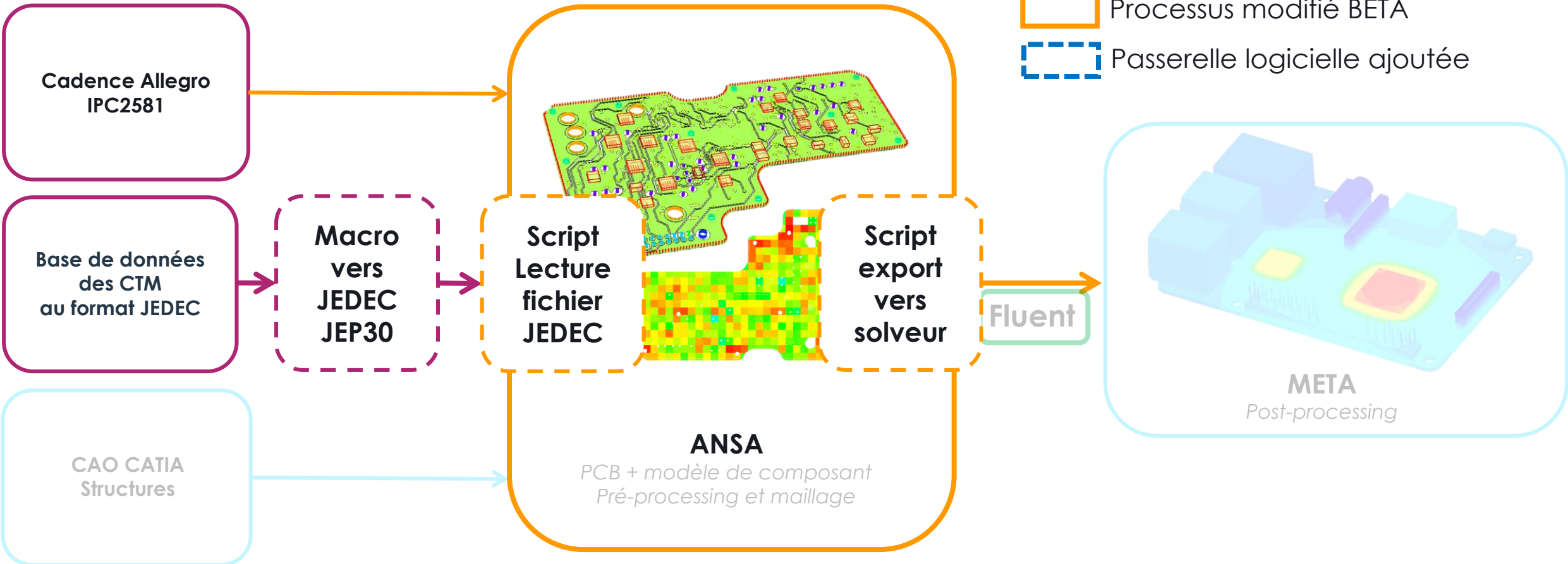


- **ANSA** : Outil unique pour manipulation CAO, maillage et mise en données du calcul
  - Maillage performant
  - Utilisation de fichiers au format standard
- **Collaboration BETA/Thales**
  - ANSA/META utilisé dans le service de simulation antenne et Hyper

## 02 - Travaux pour la réalisation de l'étude

### Périmètre du stage

-  Processus modifié THALES
-  Processus modifié BETA
-  Passerelle logicielle ajoutée



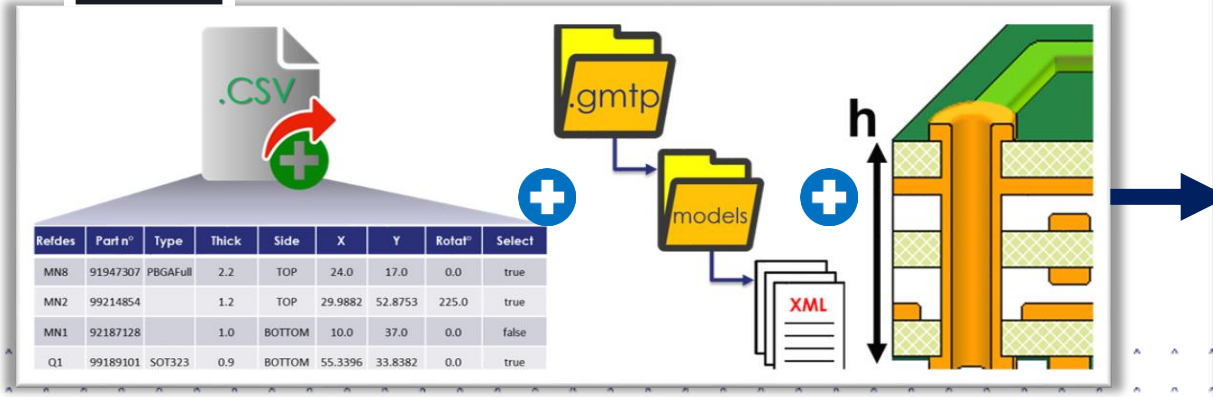
# 03 - Travaux effectués pendant le stage



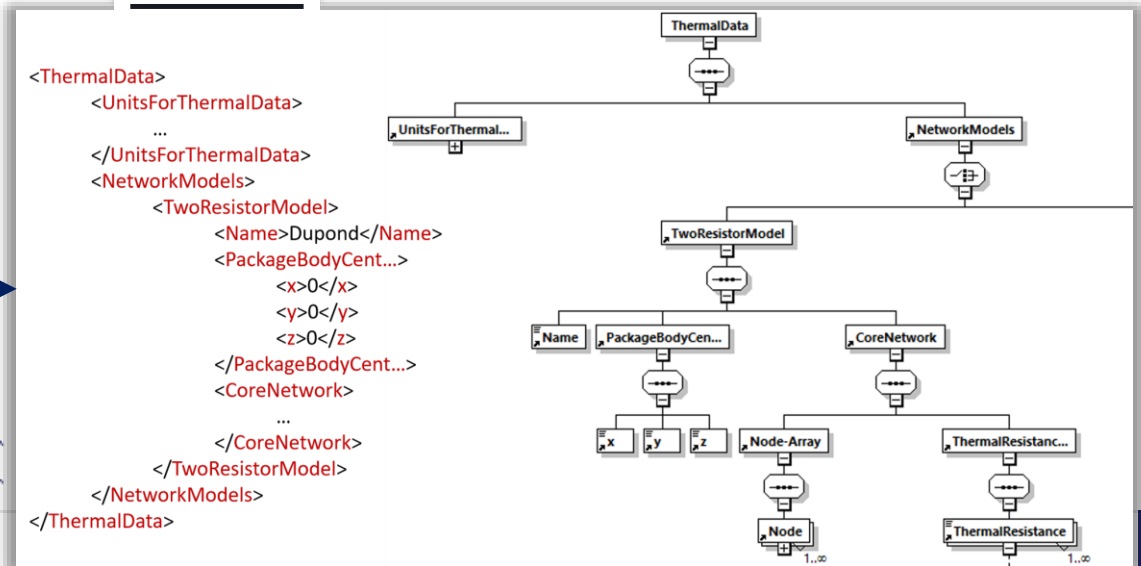
### 03 - Standardisation des réseaux thermiques de composants

- Traduction du format propriétaire Thales au format JEDEC JEP30
- Regroupement des informations du réseau thermique dans un fichier .xml
- Données d'entrées nécessaires à l'outil:
  - la liste des composants au format .csv
  - Les modèles xml au format Thales
  - L'épaisseur du PCB
- Anciens formats présents dans la base de données interne des composants

#### Input :



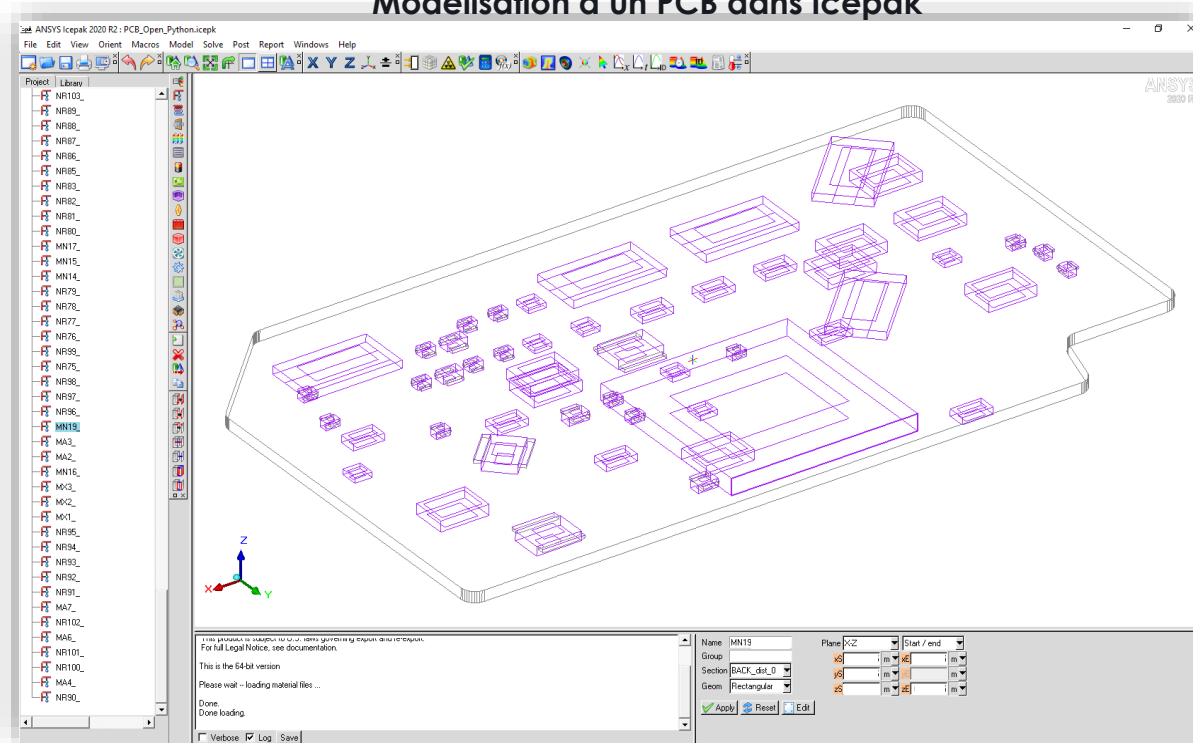
#### JEP30 :



# 03 - Standardisation des réseaux thermiques de composants

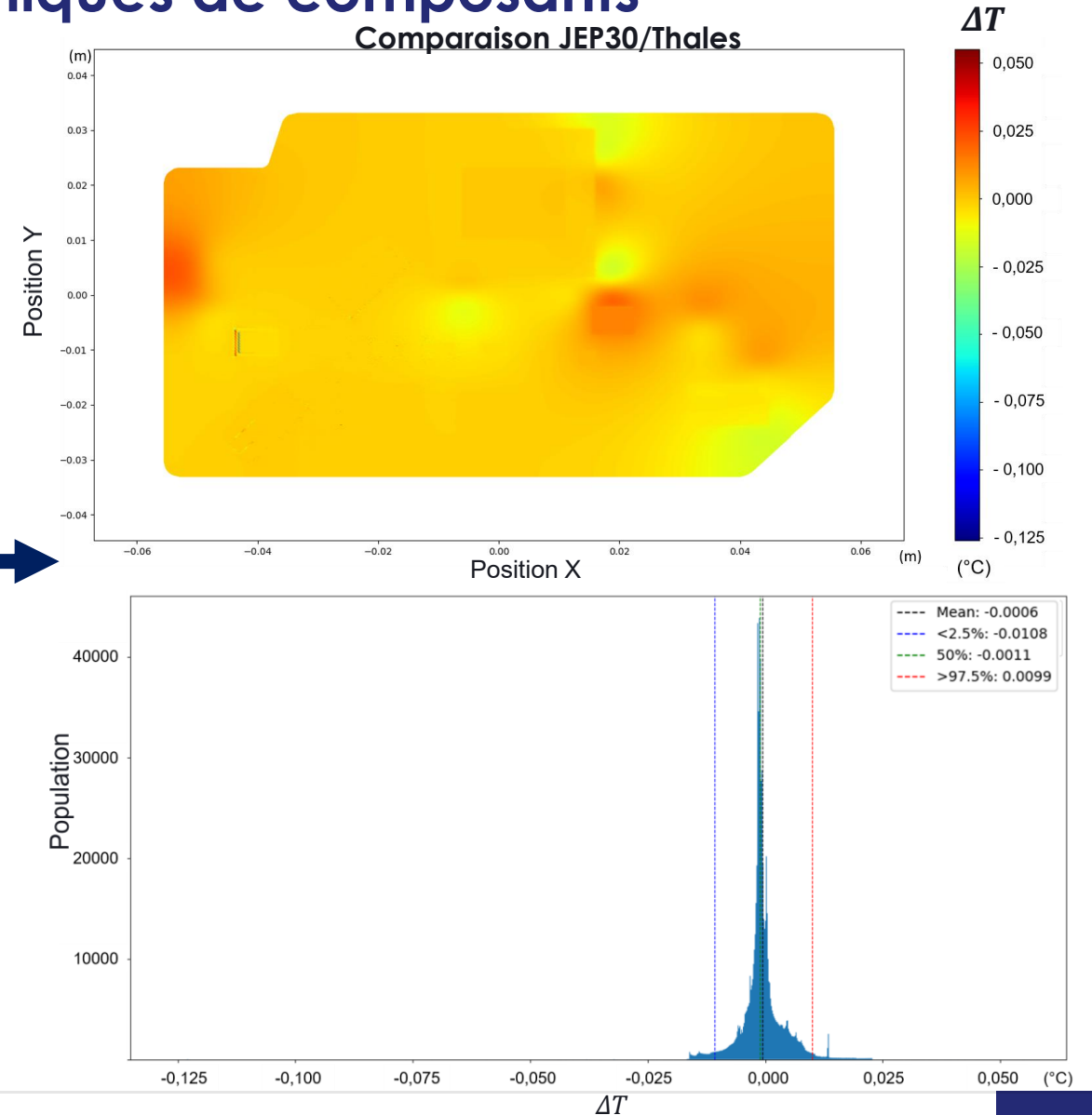
## Vérification du fichier au format JEP30

Modélisation d'un PCB dans Icepak



- Confirmation visuelle et par simulation thermique en observant 95% des valeurs de différence avec une erreur inférieur au dixième de degré

Comparaison JEP30/Thales



# 03 - Ajouts de fonctionnalités dans ANSA

## > Import des CTM dans ANSA

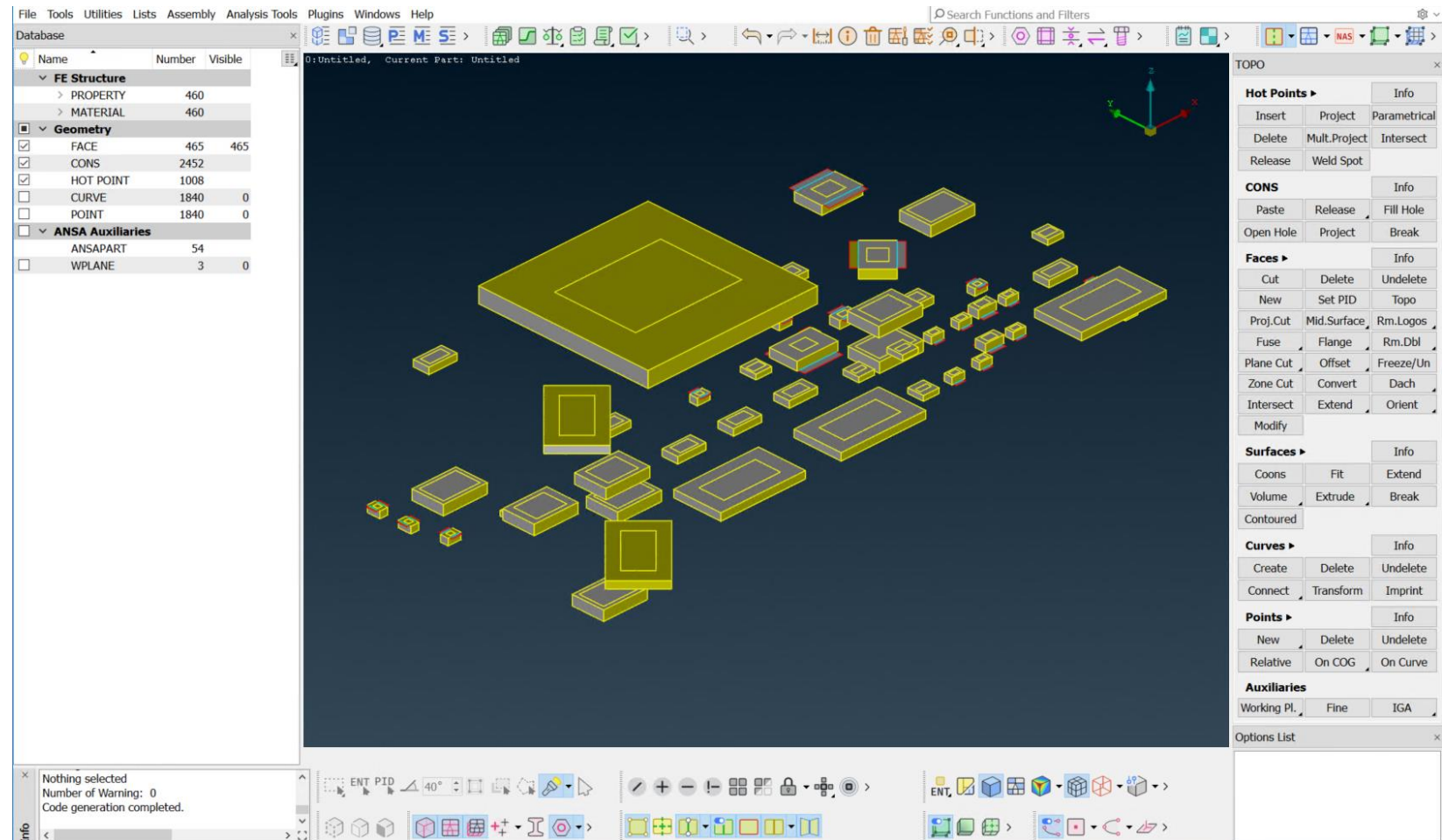
- ▶ Placement des composants
- ▶ Stockage des informations du CTM dans ANSA
- ▶ Résistances entre nœuds, puissances dissipées, ...

## > Validation de la macro

- ▶ Comparaison avec modèles ICEPAK
- ▶ Placement, températures de jonction, températures de report

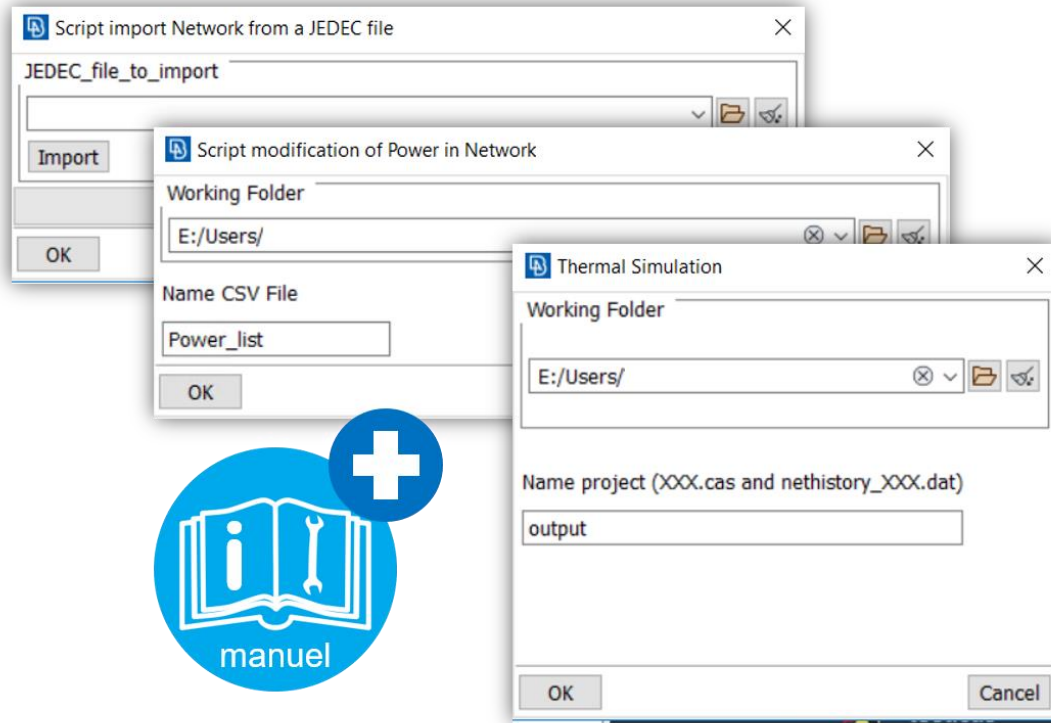
## > Intégration des structures à la charge de l'utilisateur

- ▶ Ajout des modèles, précision du maillage, ...

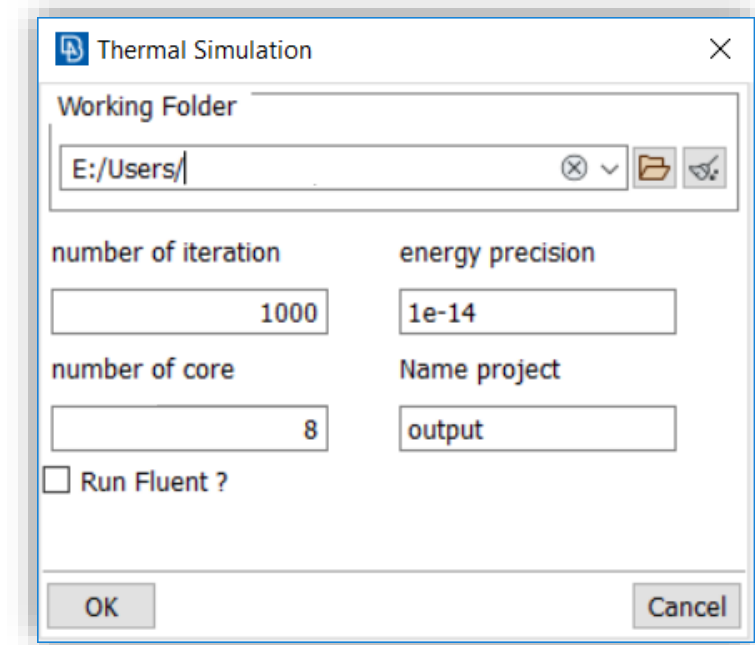


## 03 - Ajouts de fonctionnalités dans ANSA

### Import et modification



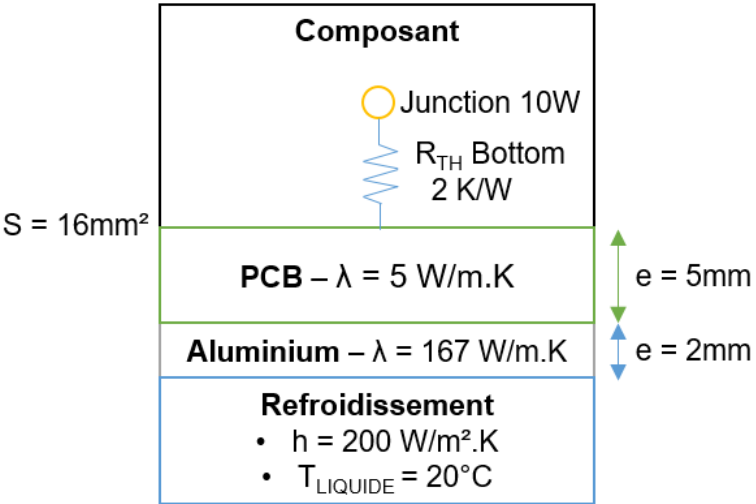
### Export et simulation



- ▶ Ajouts de fonctionnalités pour faciliter la manipulation des données ou des scripts avec des IHM
- ▶ Modifications de l'export basées sur le fichier de simulation Fluent par rétro-ingénierie (fichier non-crypté)

# 03 - Ajouts de fonctionnalités dans ANSA

## Calcul analytique et simulations liées



$$T_{Cooling} = T_{LIQUIDE} + \frac{\Phi}{h_{cooling} \times S} = 51,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

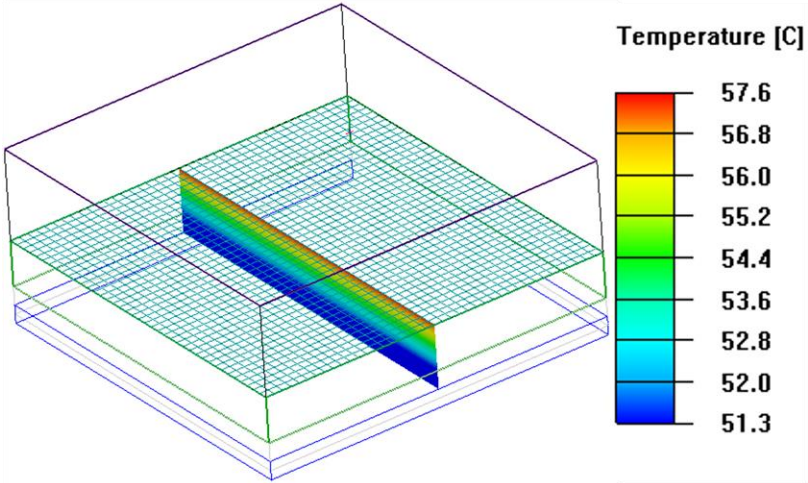
$$\Delta T_{Alu} = \frac{\Phi \times e_{alu}}{\lambda_{alu} \times S} = 0,08$$

$$\Delta T_{PCB} = \frac{\Phi \times e_{PCB}}{\lambda_{PCB} \times S} = 6,25$$

$$\Delta T_{Composant} = \Phi \times R_{TH} = 20$$

$$T_J = T_{Cooling} + \sum \Delta T = 77,58 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

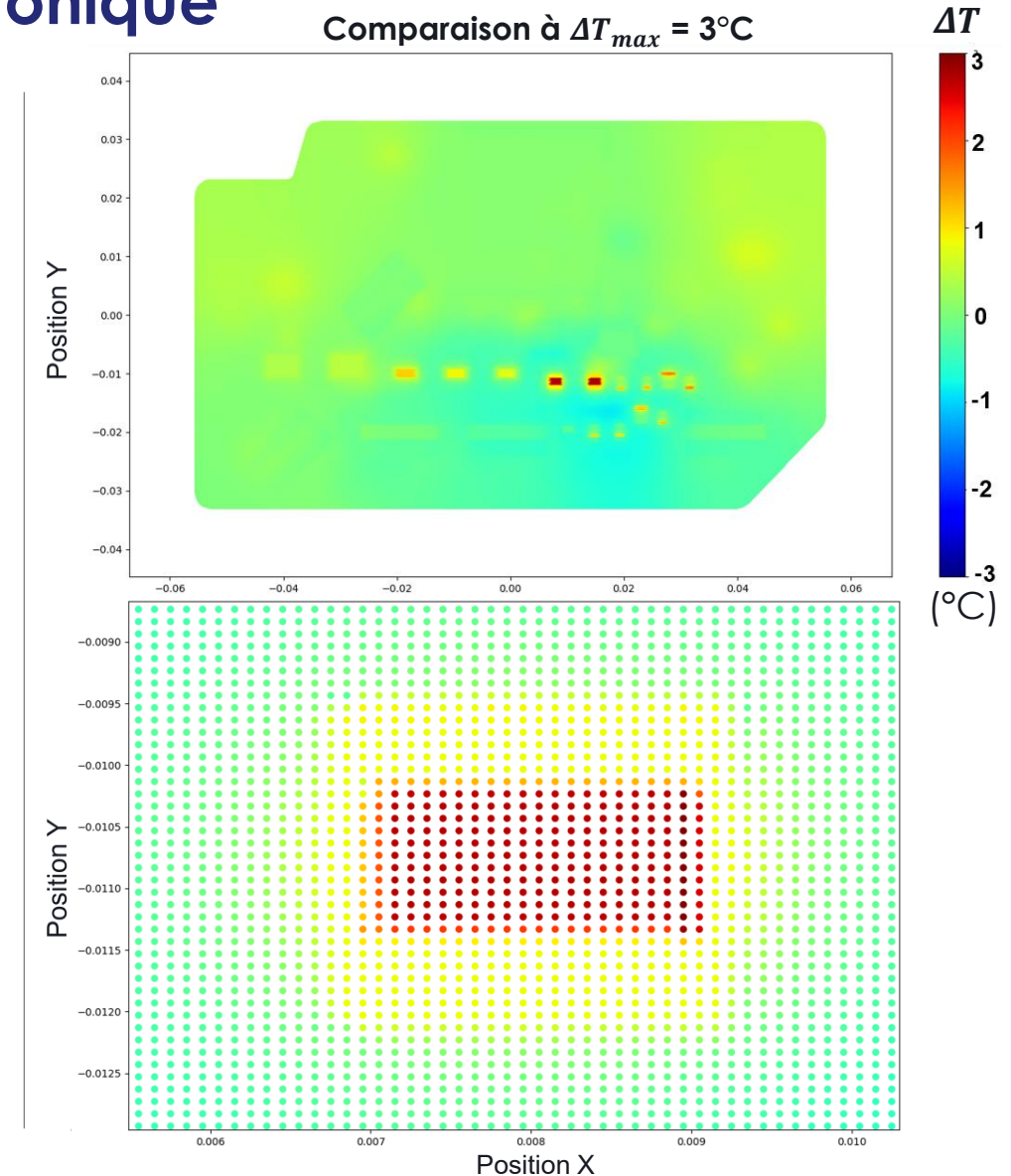
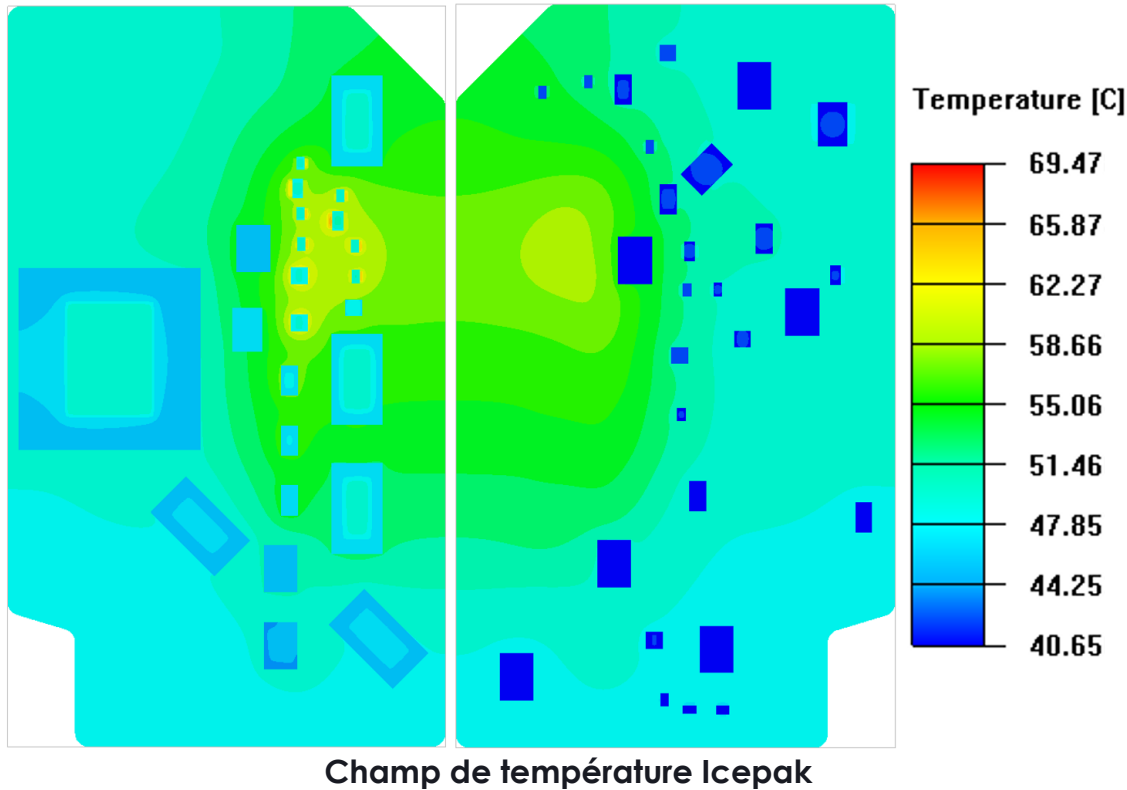
|           |        | Analytique | Icepak | ΔT    | ANSA  | ΔT    |
|-----------|--------|------------|--------|-------|-------|-------|
| Composant | Tj     | 77,58      | 77,58  | 0,00  | 77,58 | 0,00  |
|           | BOTTOM | 57,58      | 57,58  | 0,00  | 57,58 | 0,00  |
| PCB       | HAUT   | 57,58      | 57,57  | -0,01 | 57,44 | -0,14 |
|           | BAS    | 51,33      | 51,33  | 0,00  | 51,46 | 0,13  |
| Aluminium | HAUT   | 51,33      | 51,33  | 0,00  | 51,32 | -0,01 |
|           | BAS    | 51,25      | 51,25  | 0,00  | 51,25 | 0,00  |
| Cooling   |        | 51,25      | 51,25  | 0,00  | 51,25 | 0,00  |



- Résultats identiques entre:
- La solution analytique
  - Le processus actuel
  - Le nouveau modèle généré par la passerelle d'export

## 03 - Simulation à l'échelle d'une carte électronique

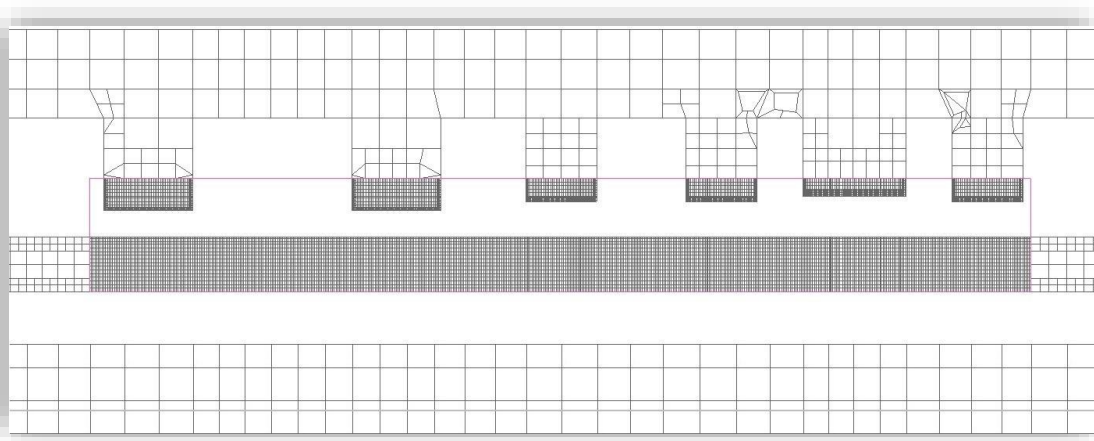
- ▶ Simulation thermique d'un même modèle sans Metal Fraction par les 2 processus pour valider l'import et l'export des réseaux dans ANSA
- ▶ Comparaison des résultats sur un iso-maillage de 20 microns
- ▶ Réussite de lecture et simulation de l'export dans le solveur Fluent



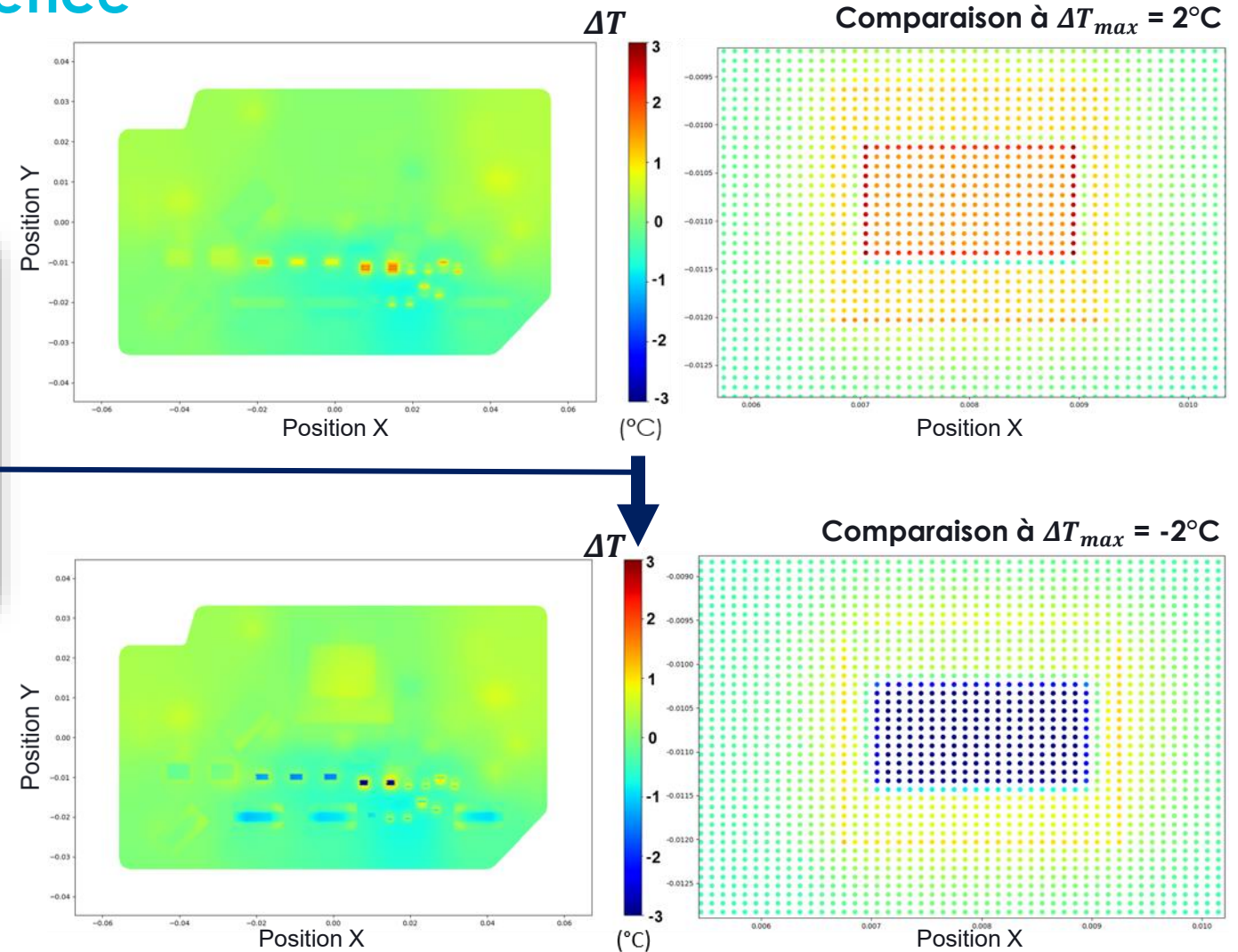
# 03 - Simulation à l'échelle d'une carte électronique

## Affinement du maillage de référence

- Raffinement local du maillage jusqu'à inversement de la différence de température



- Impact du raffinement du maillage dans les simulations
- Cohérence des résultats du nouveau processus car situés sur la même plage de température



## 03 – Perspectives et poursuite du projet

### À faire dans le cadre du stage:

- > Faire une simulation couplée Metal Fraction/réseau CTM
- > Distribution d'un manuel utilisateur & mise en production via un dossier Git
- > Présentation des résultats aux équipes Thermique de Thales DMS et à BETA

---

### À approfondir dans le processus:

- > Créer des modèles réduits 2R pour les composants directement dans ANSA
- > Utiliser l'IPC-2581 pour réduire le nombre d'entrée de l'import des réseaux
  - Remplacement du fichier .csv ainsi que l'entrée utilisateur de l'épaisseur du PCB
  - Possibilité de placer des composants dans une cavité du PCB
- > Ajouter un accès direct à la base de données interne Thales



**Merci**  
**Avez-vous des questions ?**

[www.thalesgroup.com](http://www.thalesgroup.com)