

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



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)

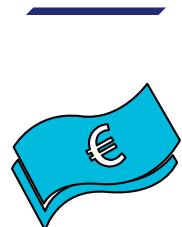
Chiffres clés



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



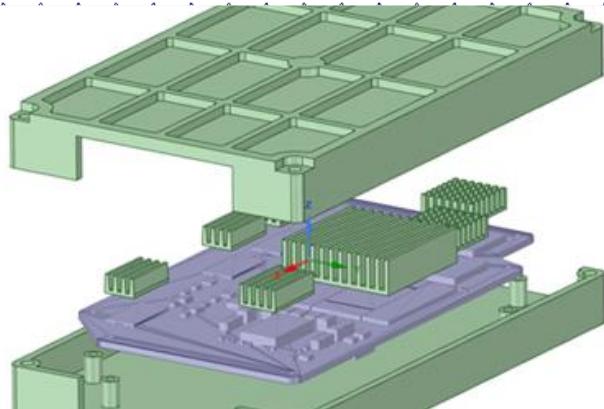
Espace



Systèmes de
Mission de
Défense

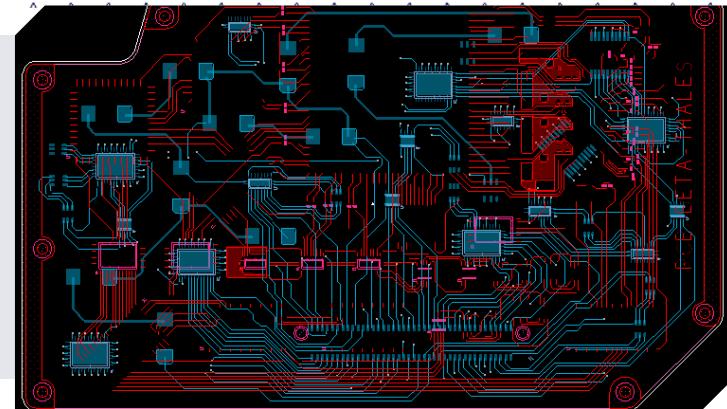
01 - De THALES au Bureau d'Études (BE)

Différentes équipes présentes au BE d'Elancourt



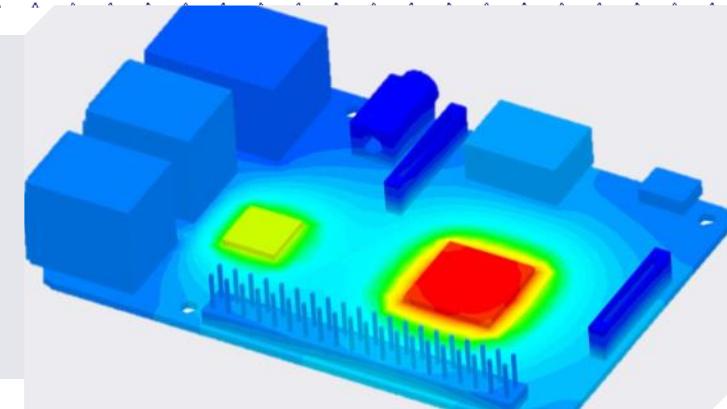
> Bureau d'Études Mécanique

- 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

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

- ϕ : flux thermique (W)
- λ : conductivité thermique (W/m/K)
- S : surface de contact (m^2)
- L: distance entre 2 sources (m)
- ΔT : différence de température (K)

> Convection

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

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

> Rayonnement

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

- ε : facteur d'émission de la surface
- σ : constante Boltzmann ($W/K^4/m^2$)
- T_s : Température surface (K)
- T_a : Température ambiante (K)

01 - Définitions des phénomènes thermiques

Notions physiques du flux thermique

> Conduction

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

- ϕ : flux thermique (W)
- λ : conductivité thermique (W/m/K)
- S : surface de contact (m^2)
- L: distance entre 2 sources (m)
- ΔT : différence de température (K)

Principal phénomène observé

> Convection

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

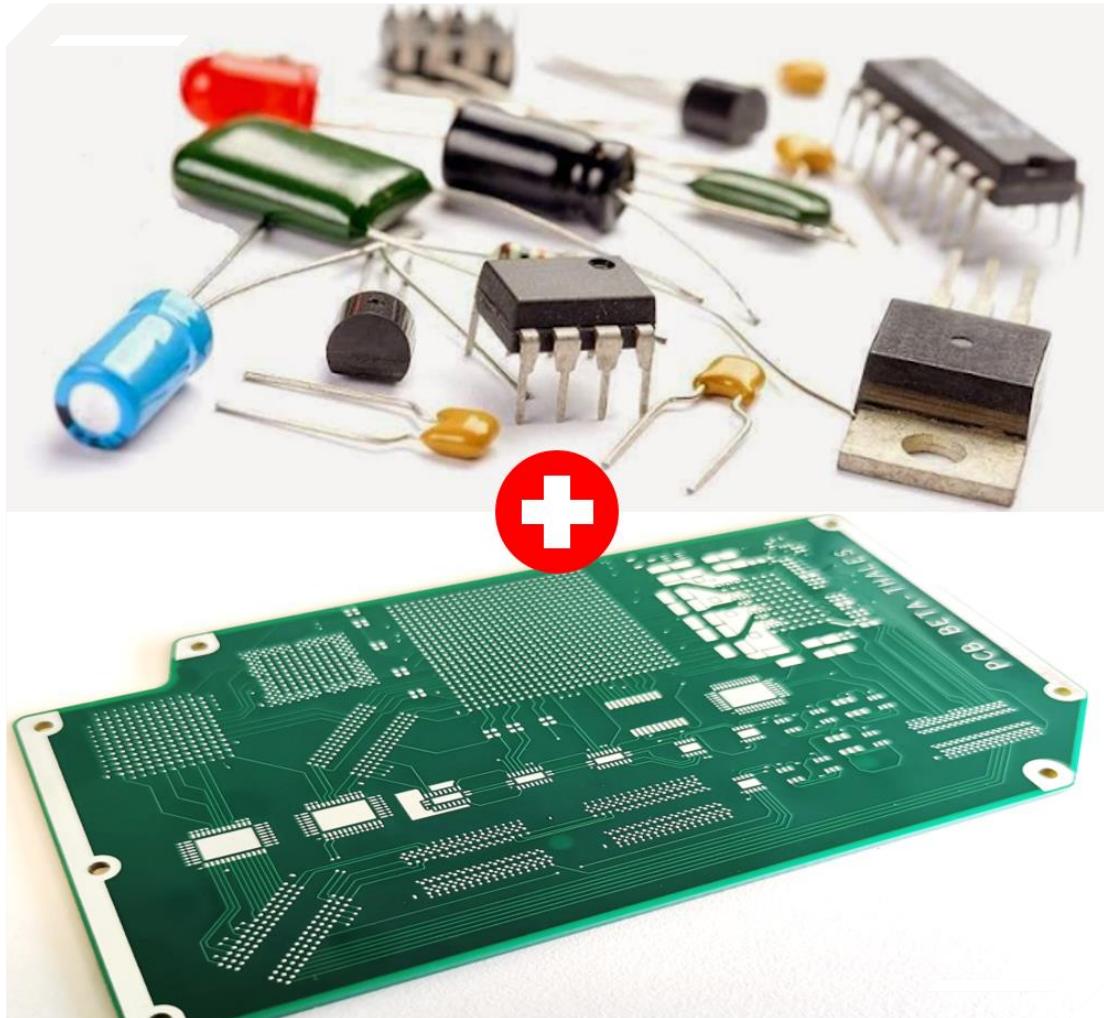
- h : coeff. de convection (W/K/m²)
- T_p : Température paroi (K)
- T_f : Température du fluide (K)

> Rayonnement

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

- ε : facteur d'émission de la surface
- σ : constante Boltzmann (W/K⁴/m²)
- 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

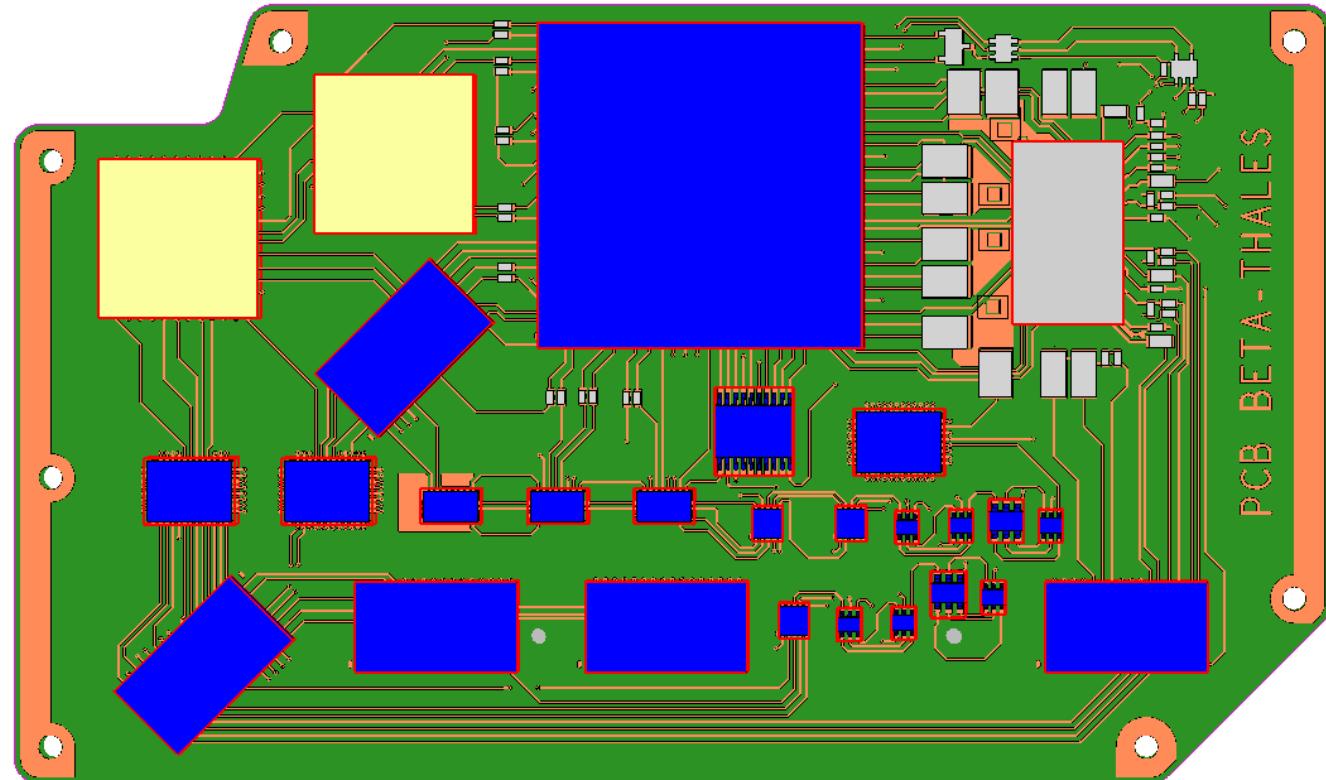
- Conçus pour effectuer une ou plusieurs tâches
 - Simple : manipuler la puissance électrique, ...
 - Complexe : exécuter des instructions machines, ...
- De différentes formes : à patte, à matrice de billes, ...
- Encapsulés dans un boîtier plastique ou composite

> 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

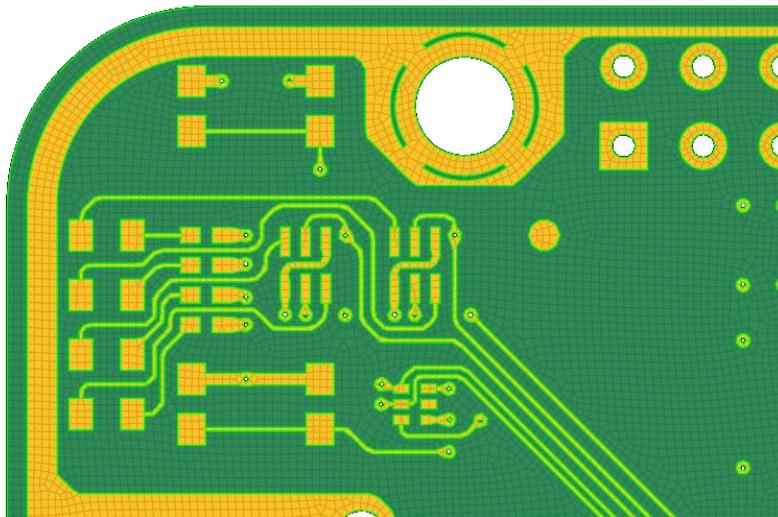
01 - Préparation d'un PCB à la simulation thermique

Metal Fraction

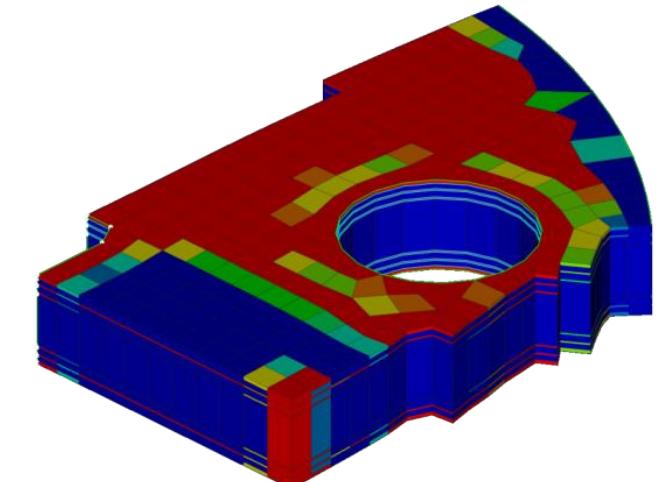
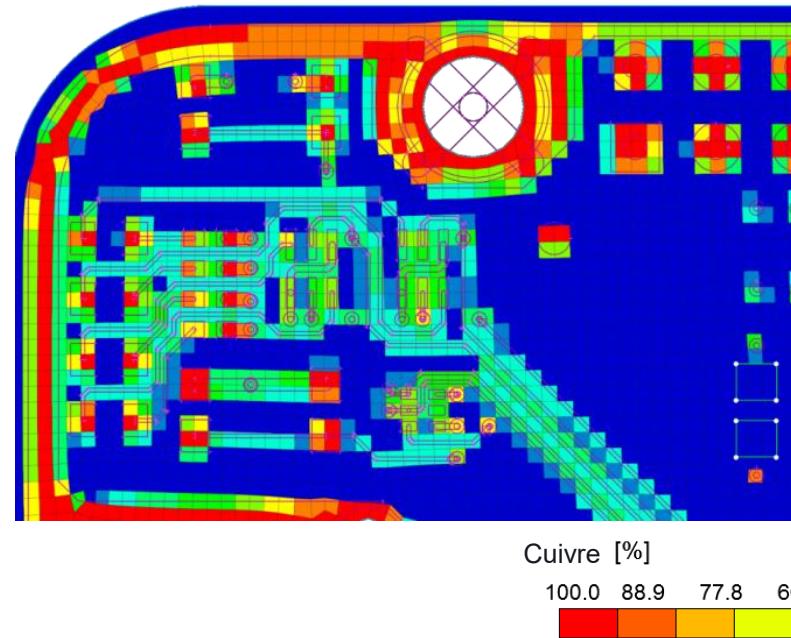
Objectif: Reproduire fidèlement la conductivité dans le PCB en un temps raisonnable

- ▶ 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:



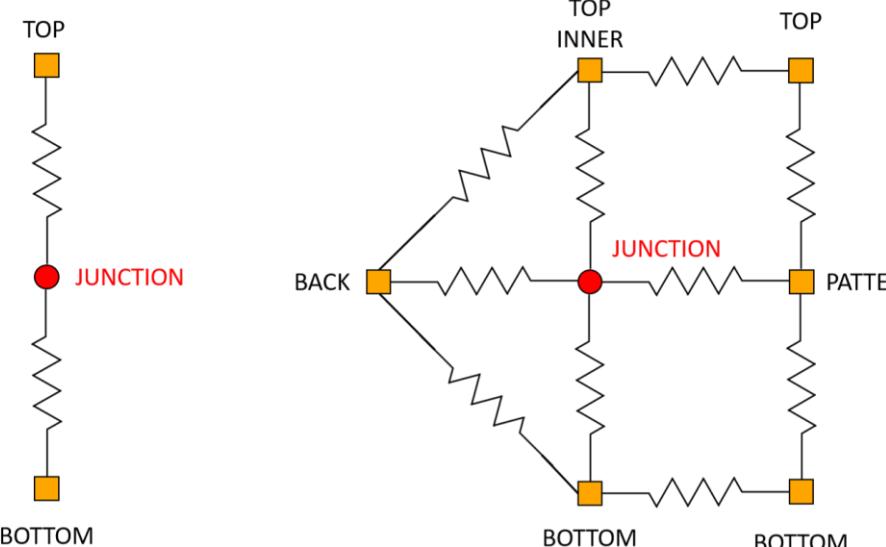
Maillage du Metal Fraction:



01 - Préparation d'un PCB à la simulation thermique

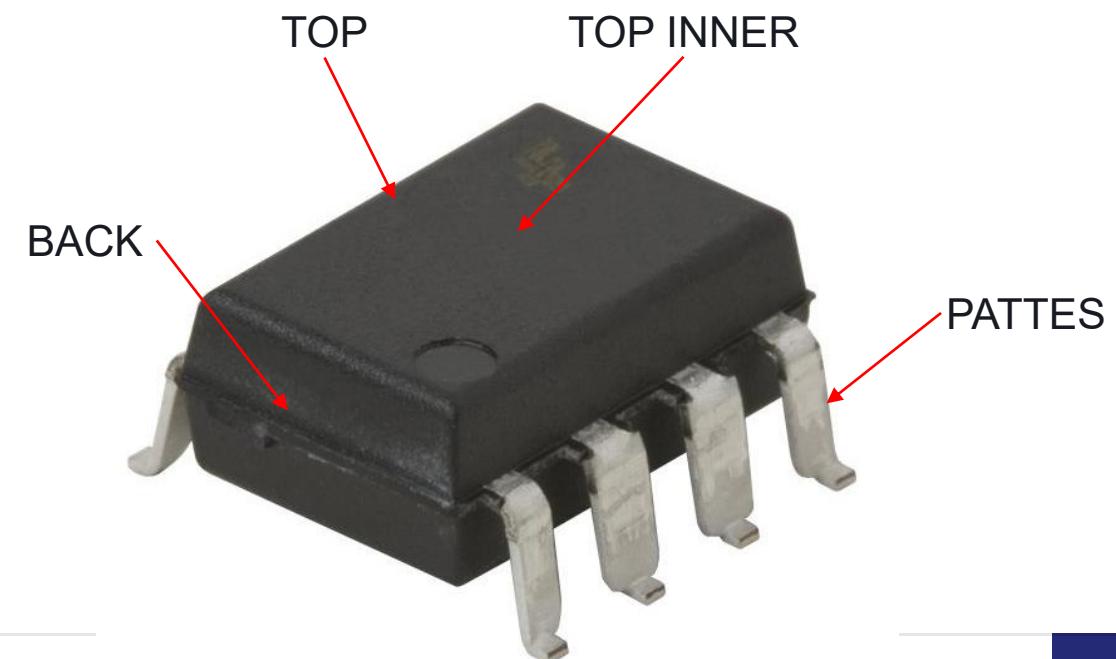
Compact Thermal Model (CTM)

- 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

Red	NOK
Yellow	Moyen
Green	OK

Cadence Allegro
via IDF3XTD

CAO CATIA via
ANSYS Spaceclaim
(mechanical parts)

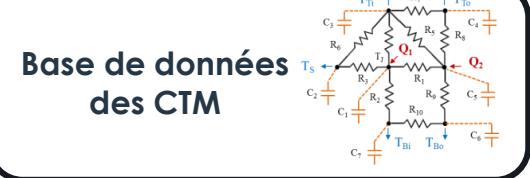
ANSYS Icepak model
Pré-processing et maillage

Fluent

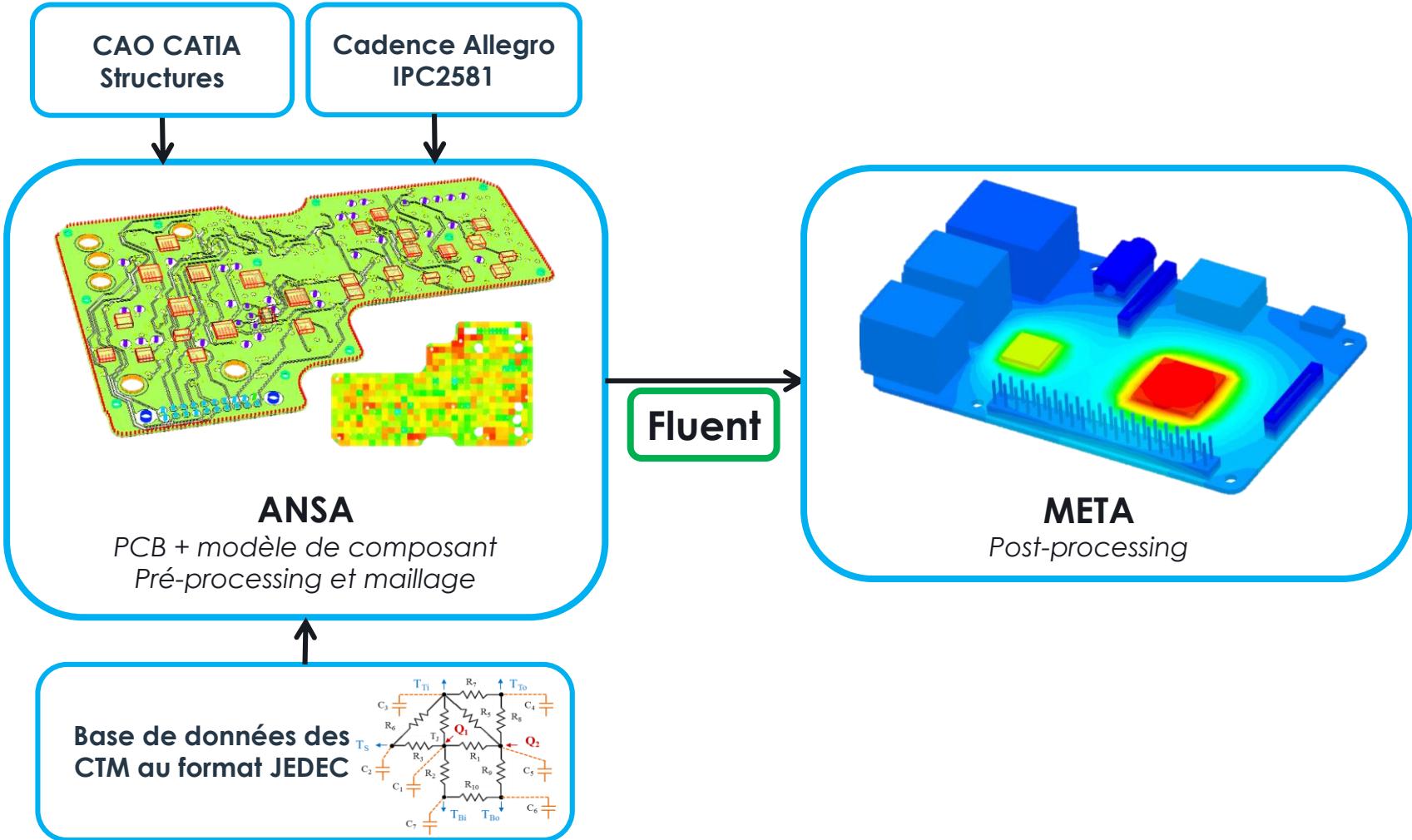
Icepak
Post-processing

Logiciel interne THALES
PCB + modèle de composants

Base de données
des CTM

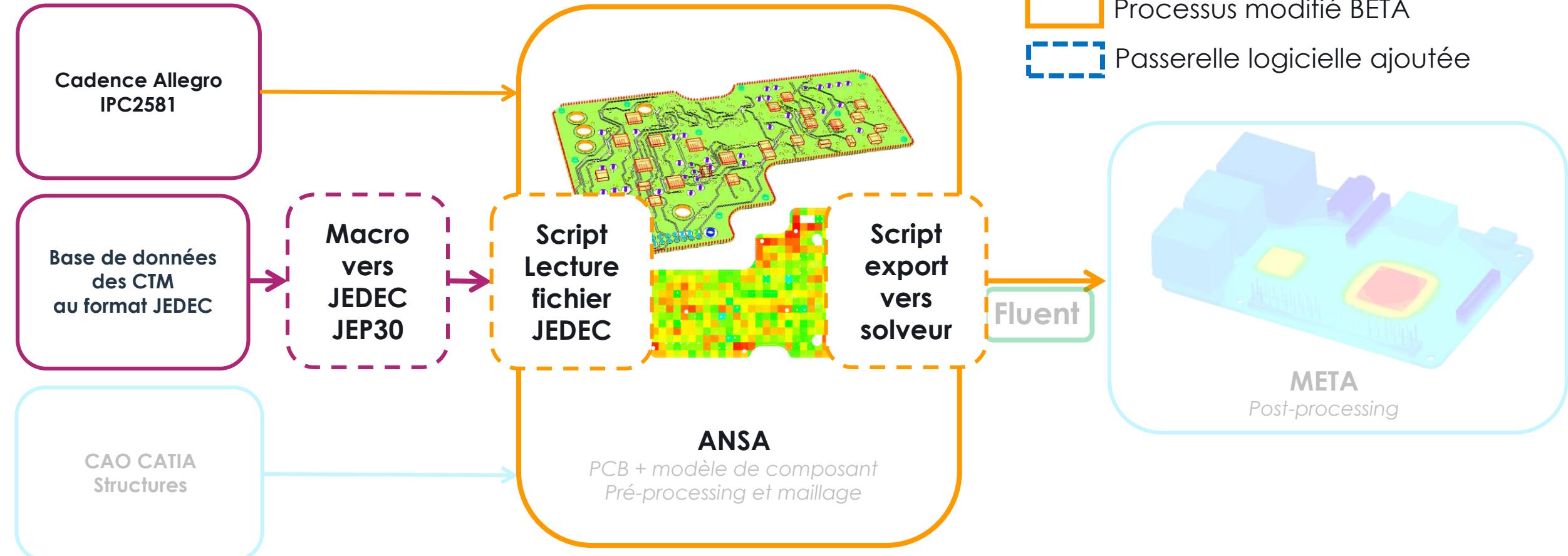


02 - Processus envisagé avec les logiciels ANSA et META



- **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

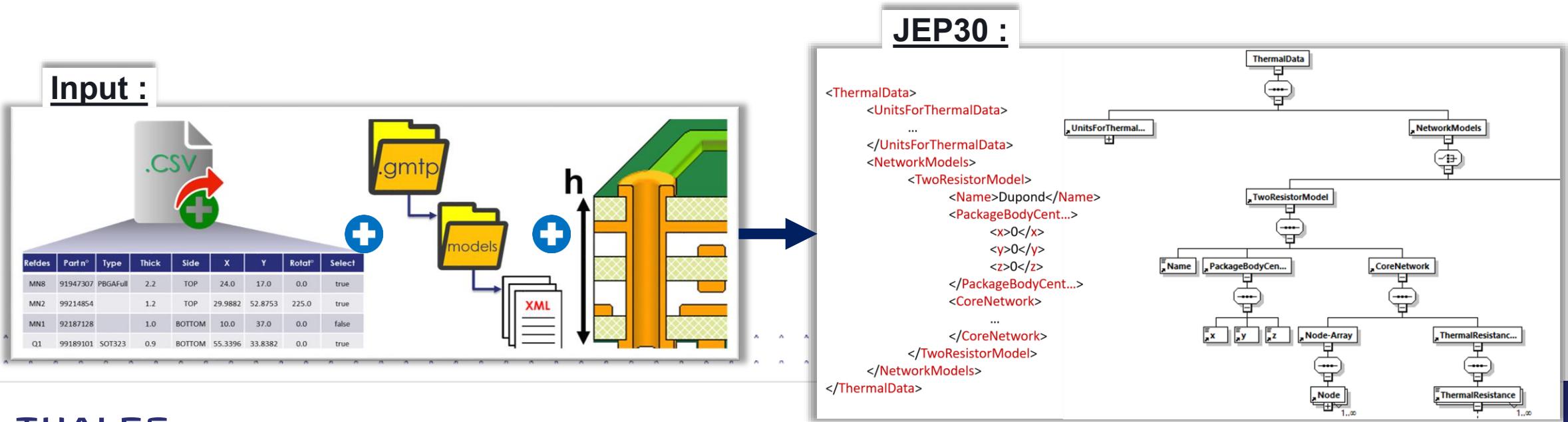


03 - Travaux effectués pendant le stage



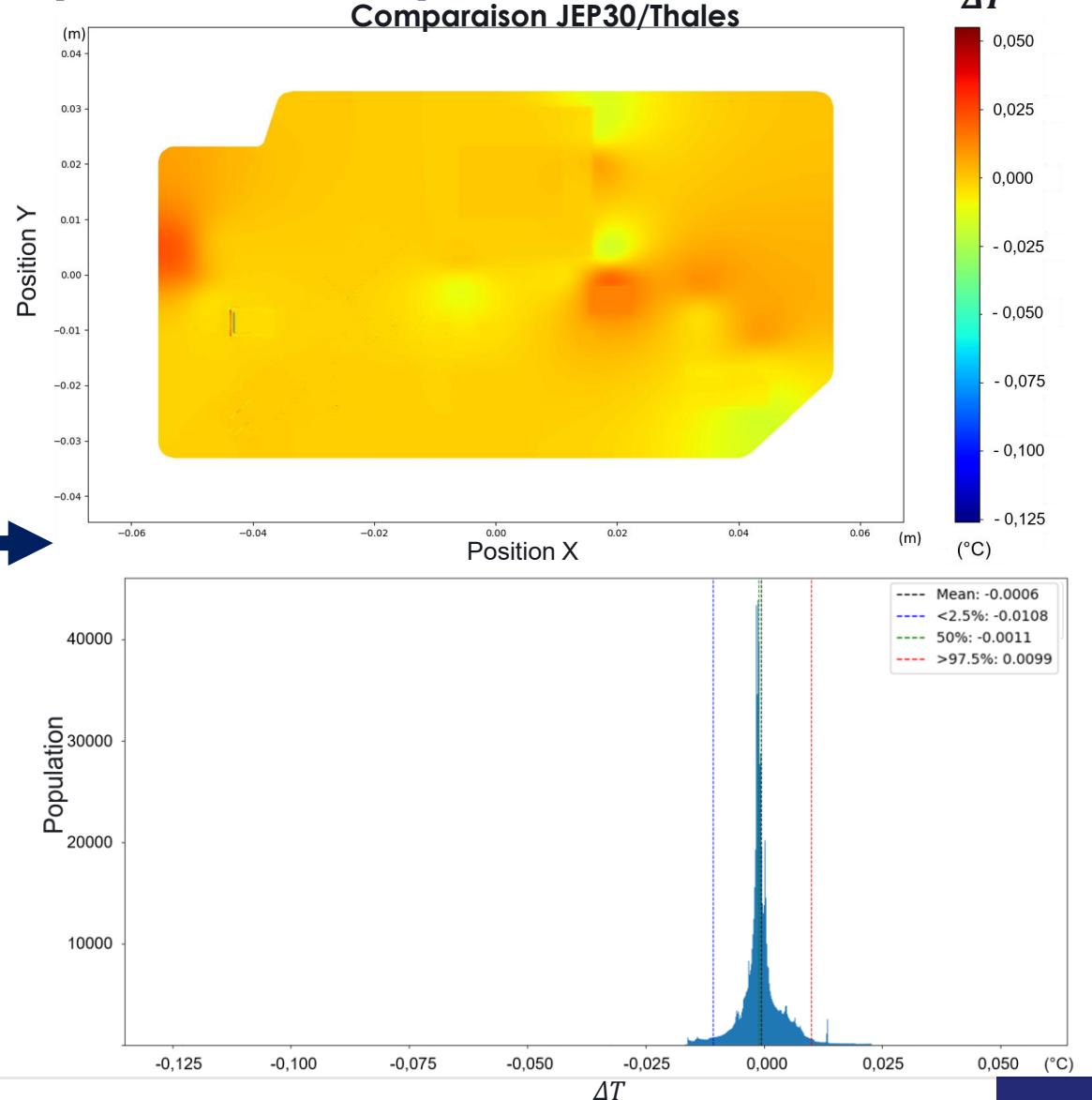
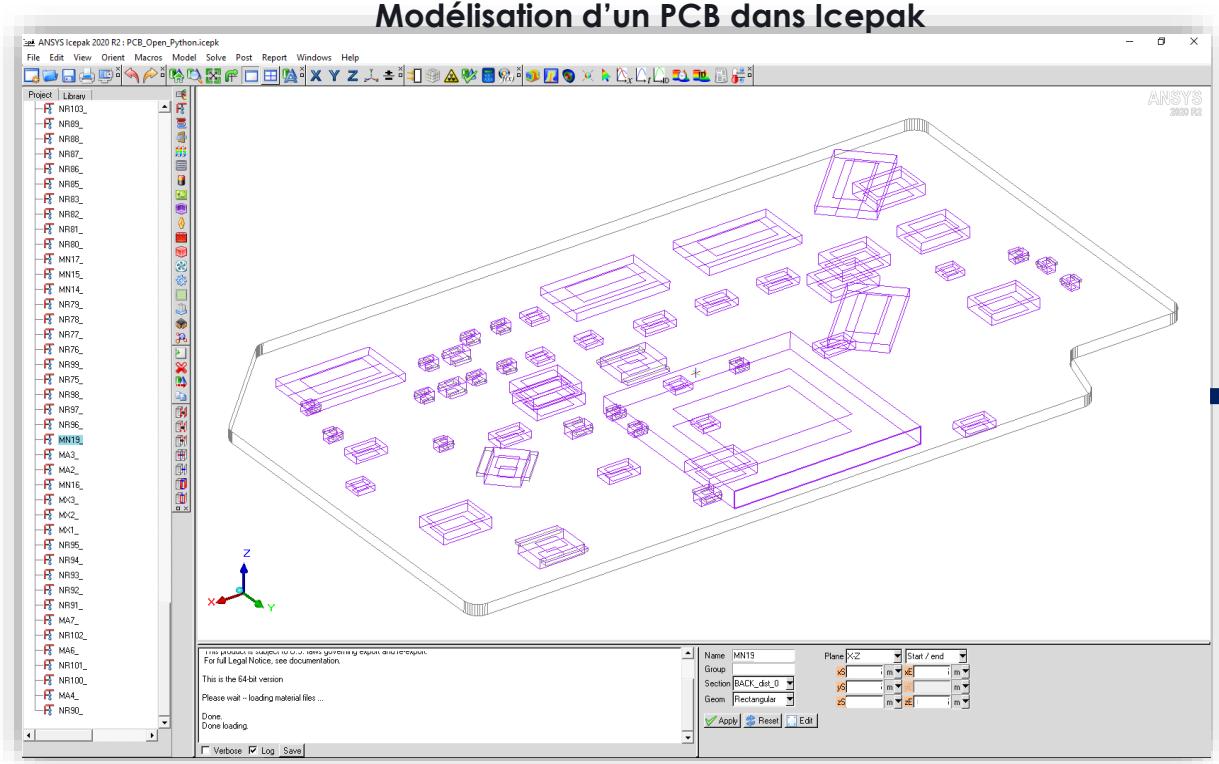
03 - Standardisation des réseaux thermiques de composants

- ▶ 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



03 - Standardisation des réseaux thermiques de composants

Vérification du fichier au format JEP30



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

03 - Ajouts de fonctionnalités dans ANSA

> Import des CTM dans ANSA

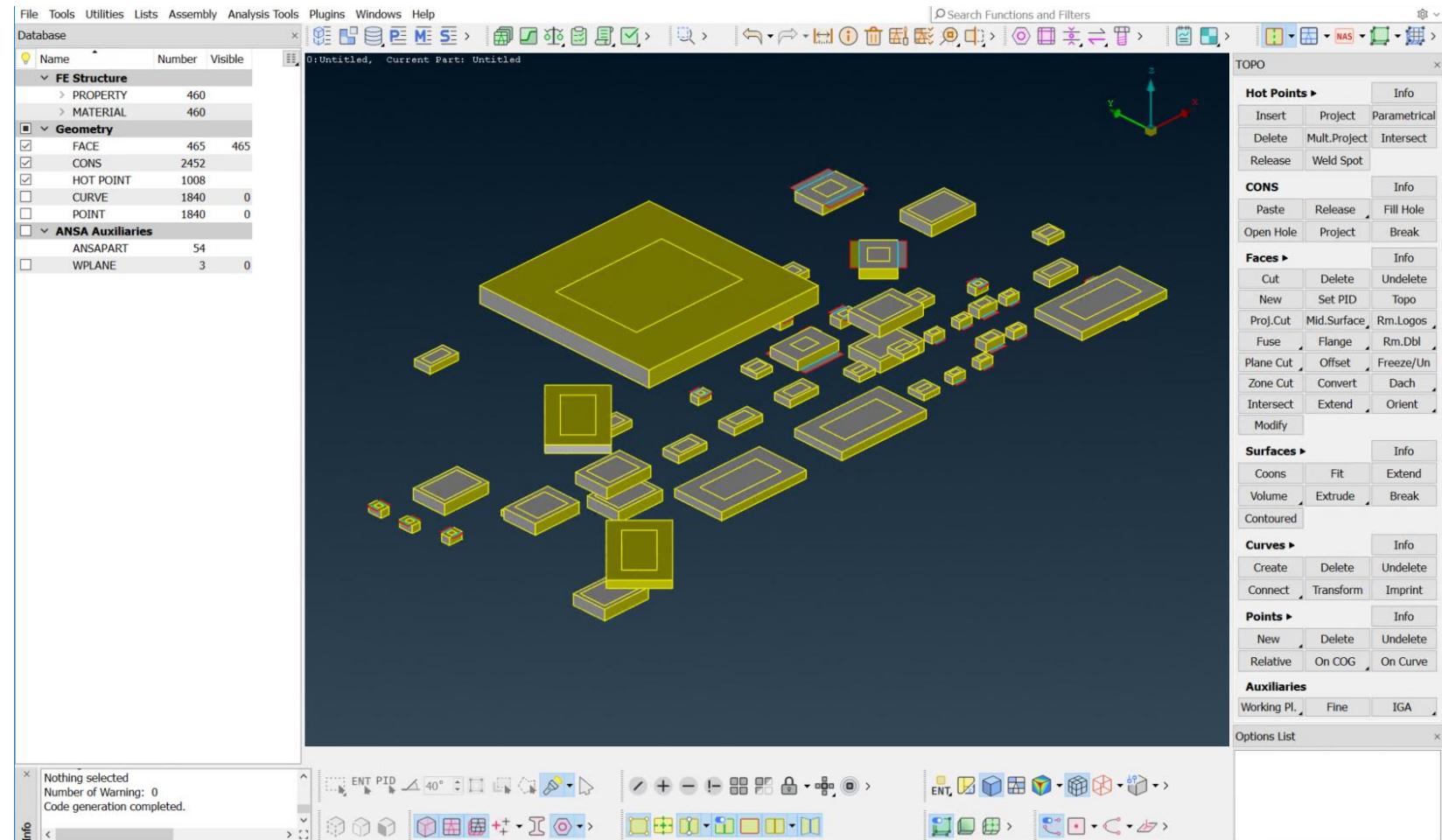
- › Placement des composants
- › Stockage des informations du CTM dans ANSA
- › Résistances entre nœuds, puissances dissipées, ...

> Validation de la macro

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

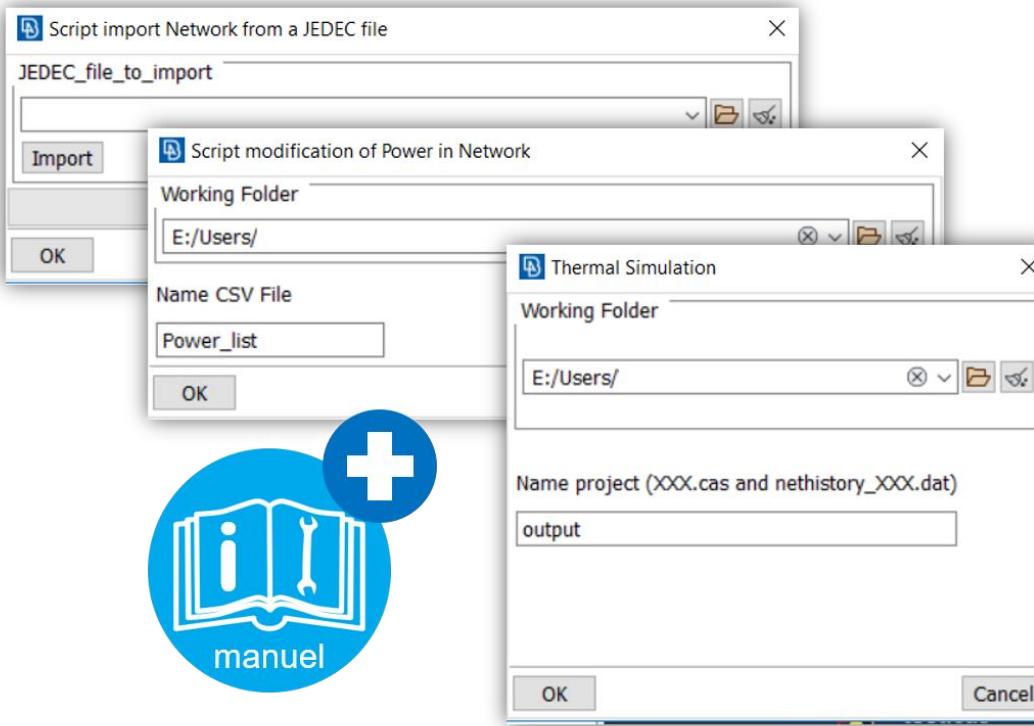
> Intégration des structures à la charge de l'utilisateur

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

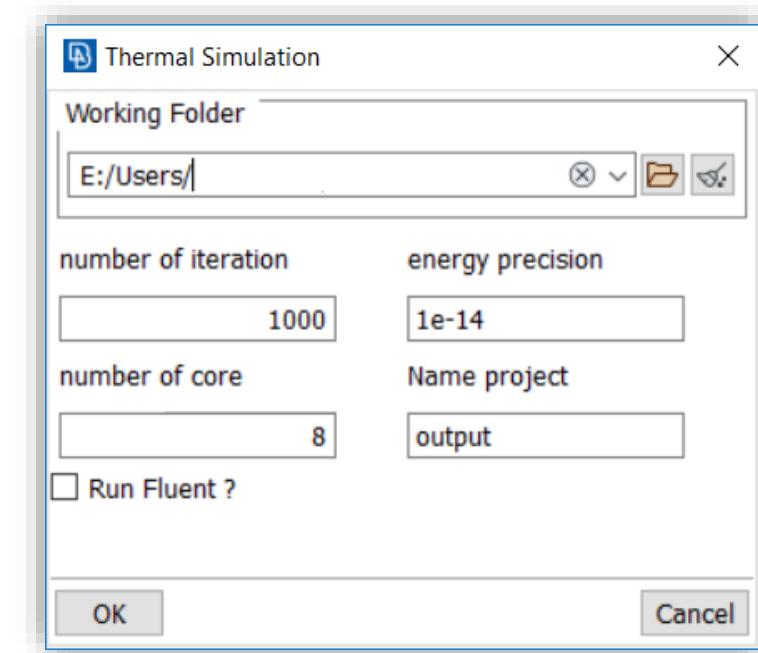


03 - Ajouts de fonctionnalités dans ANSA

Import et modification



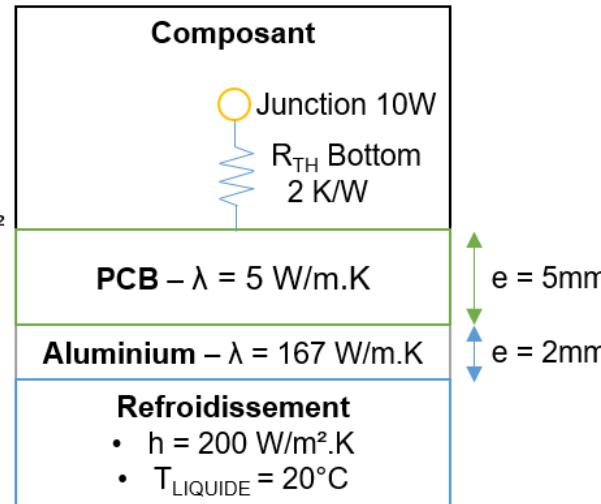
Export et simulation



- 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-cripté)

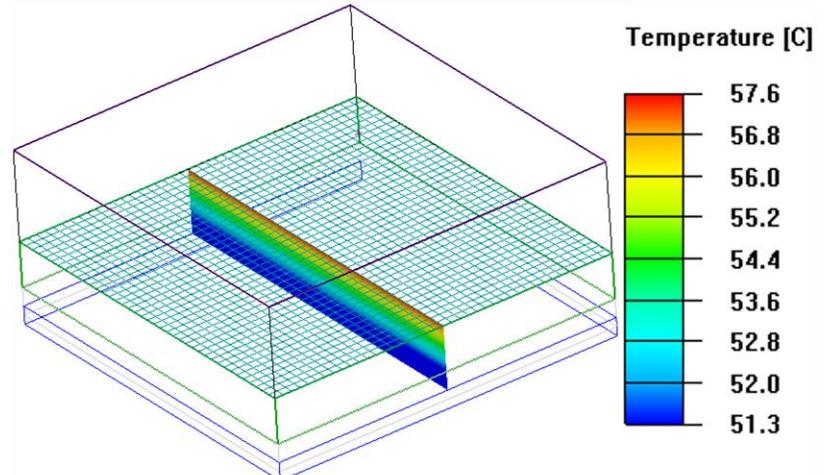
03 - Ajouts de fonctionnalités dans ANSA

Calcul analytique et simulations liées



$$T_{Cooling} = T_{LIQUIDE} + \frac{\Phi}{h_{cooling} \times S} = 51,25^\circ\text{C}$$
$$\Delta T_{Alu} = \frac{\Phi \times e_{alu}}{\lambda_{alu} \times S} = 0,08$$
$$\Delta T_{PCB} = \frac{\Phi \times e_{PCB}}{\lambda_{PCB} \times S} = 6,25$$
$$\Delta T_{Composant} = \Phi \times R_{TH} = 20$$
$$T_J = T_{Cooling} + \sum \Delta T = 77,58^\circ\text{C}$$

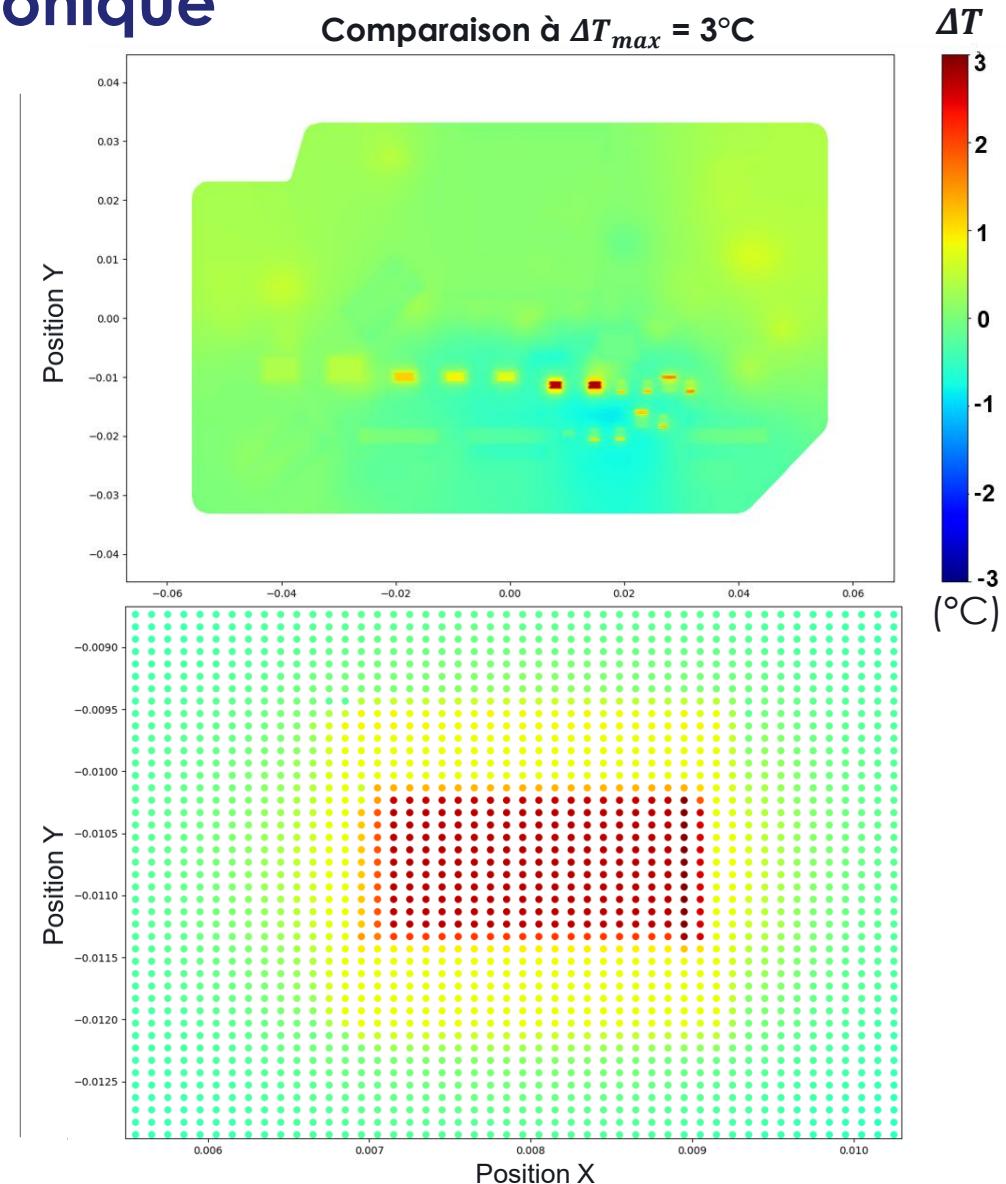
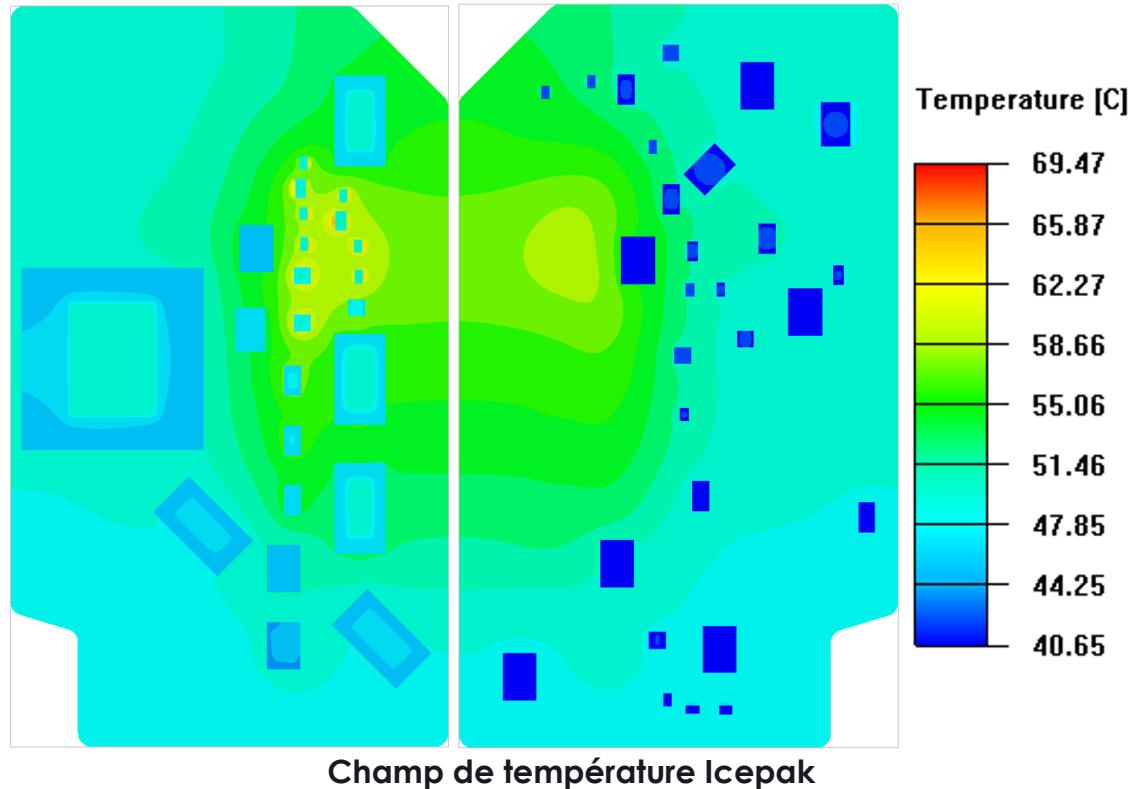
	Analytique	Icepak	ΔT	ANSA	ΔT
Composant	T_j	77,58	0,00	77,58	0,00
	BOTTOM	57,58	0,00	57,58	0,00
PCB	HAUT	57,58	-0,01	57,44	-0,14
	BAS	51,33	0,00	51,46	0,13
Aluminium	HAUT	51,33	0,00	51,32	-0,01
	BAS	51,25	0,00	51,25	0,00
Cooling		51,25	0,00	51,25	0,00



- ▶ 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

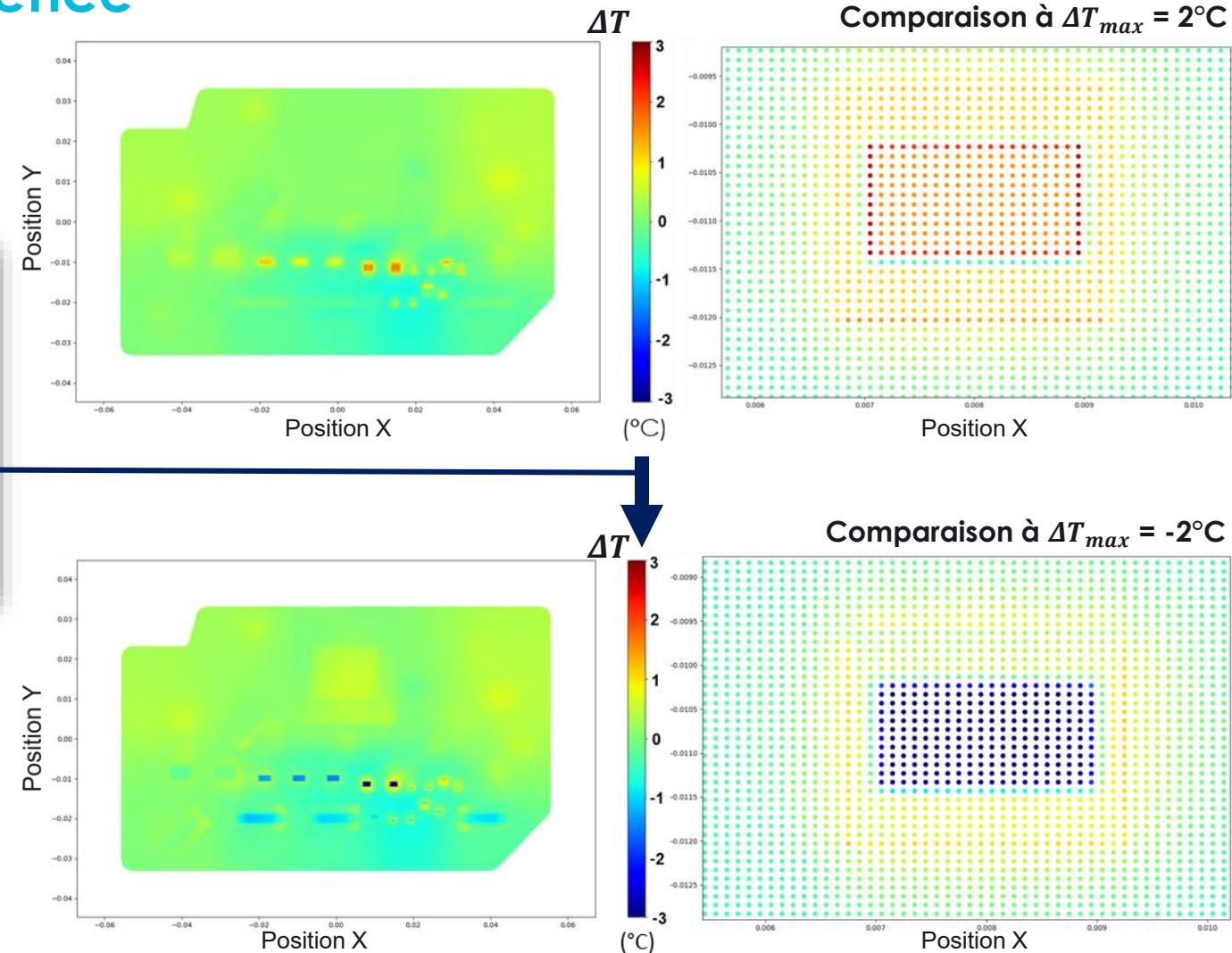
- ▶ Simulation thermique d'un même modèle sans Metal Fraction par les 2 processus pour valider l'import et l'export des réseaux dans ANSA
- ▶ Comparaison des résultats sur un iso-maillage de 20 microns
- ▶ Réussite de lecture et simulation de l'export dans le solveur Fluent



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