

# Index

## **Généralités**

[Refroidissement](#)

[Technologie](#)

[Le simulateur EVATHERM](#)

[Exemples](#)

## **Utiliser EVATHERM**

[Utilisation](#)

[Technologie](#)

[Dimensions](#)

[Description](#)

[Matériaux](#)

[Traitement](#)

[Résultats](#)

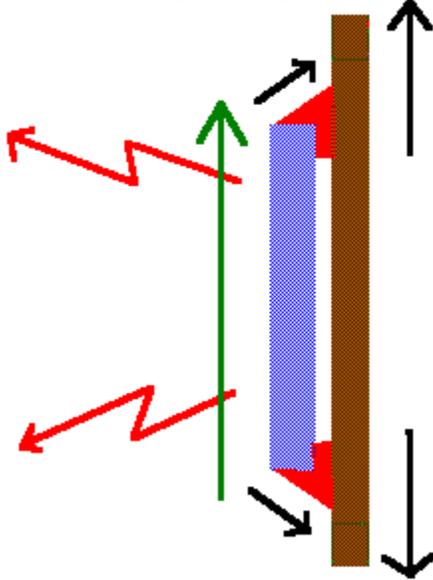
[Synthèse](#)

# Refroidissement des composants

Les composants dissipent, c'est à dire dégagent de la chaleur. Cette chaleur, si elle n'est pas convenablement évacuée, élève la température de ces composants. Or il est bien connu qu'une température élevée dégrade la fiabilité en augmentant le taux de pannes, qui par exemple est doublé pour une élévation de 10 degrés au niveau du silicium.

La densité de cette dissipation thermique s'accroît avec les progrès de l'intégration tant au niveau du silicium qu'à celui de la carte d'où la nécessité d'un contrôle thermique de plus en plus évolué.

Le refroidissement des composants met en jeu les 3 processus de transmission de la chaleur (ou d'échange thermique) que sont la conduction thermique, la convection et le rayonnement infrarouge.



## La conduction

La chaleur s'évacue par conduction par le corps du composant, les brasures et la structure du circuit imprimé (flèches noires). La conductibilité thermique apparente de ce dernier revêt donc une certaine importance, et dépend de la technologie de la carte.

## Le rayonnement infra-rouge

La chaleur s'évacue par principe aussi par rayonnement vers les surfaces environnantes (flèches rouges).

Cependant celles-ci sont constituées, dans un coffret, par des cartes de nature identique et de température voisine. L'écart de température est alors faible et le transfert par rayonnement négligeable.

## La convection

Ce dernier processus de transfert de chaleur vers l'air environnant est provoqué par le frottement de cet air sur les surfaces. Il est régi par un certain nombre de paramètres :

- la vitesse de l'air
- les propriétés physiques de l'air (dépendent de sa température)
- le pas des cartes
- l'aire de la surface d'échange
- une dimension caractéristique de cette surface d'échange

Ces paramètres sont combinés pour former le coefficient d'échange par convection.

La convection est dite naturelle lorsque le mouvement ascendant de l'air est provoqué par la diminution de sa densité due à l'échauffement par les composants. Elle est dite forcée lorsque l'air est mis en mouvement par un organe externe, tel un ventilateur.

# Technologie des cartes

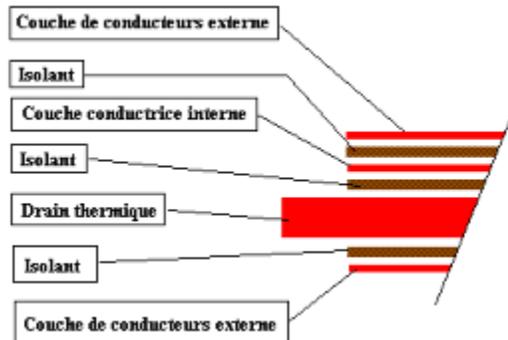
La technologie de la carte est caractérisée par :

- 1- le procédé de refroidissement
- 2- la structure du substrat sur lequel sont disposés les composants

Les différents procédés de refroidissement sont décrits dans le chapitre **Généralités**.

La structure du substrat est constituée de l'empilage de différentes couches : couches isolantes (ex : verre-époxy) et couches conductrices (ex : cuivre).

Par exemple la composition d'un multicouche à drain thermique est décrite ci-dessous.



Les autres structures utilisables s'en déduisent par suppressions successives de couches , pour aboutir au simple face élémentaire ne comportant qu'une couche isolant métallisée sur une face.

La structure d'une carte, et le choix des matériaux , déterminent la conductibilité thermique du substrat.

# Le simulateur EVATHERM

EVATHERM ( EVALuation THERMique de cartes circuit imprimé) a pour objectif principal ,par le calcul des températures, le choix d'une technologie permettant d'établir un compromis entre fiabilité (températures minimales ) et coût.

Appliqué à une carte réalisée en technologie SMC ( composants montés en surface) et moyennant un découpage fin , les températures calculées par ce logiciel peuvent être très représentatives des températures réelles.

Les paramètres variables sont :

- le procédé de refroidissement : convection naturelle , forcée ou conduction .
- les dimensions et la structure de la carte : simple face , multicouches, avec ou sans drain thermique.
- la nature des matériaux constitutifs
- la répartition des puissances dissipées , c'est à dire l'implantation des composants

## Principe

La carte étant découpée en un certain nombre de mailles , le logiciel utilise l'analogie thermo-électrique . Le centre de la maille est le noeud auquel est attaché un générateur de courant représentant la dissipation thermique affectée à cette maille . Les différents noeuds sont reliés par un réseau de conductances : conductances de conduction et conductances de convection . L'ensemble des potentiels des noeuds qui ,dans cette analogie sont les températures , constitue l'inconnue , et est résolu à l'aide d'un calcul matriciel .

Le calcul des conductances de conduction repose sur des principes simples de mise en oeuvre facile.

Celui des conductances de convection nécessite par contre la détermination du

coefficient d'échange par convection . Ce logiciel utilise pour ce faire des résultats d'études effectuées aux USA par des laboratoires de recherches et orientées spécifiquement sur le refroidissement des cartes électroniques.

## Limites

Nombre maximum de mailles : en X (sens découlement de l'air) -----	10
en Y (sens perpendiculaire)-----	8
Vitesse d'air maximale -----	8 m/s
Températures d'air (entrée air ou glissières) : minimale-----	- 40 °C
maximale -----	+100 °C

## Divers

La simulation d'une carte donnée constitue une session et comporte les phases de description, traitement et sauvegarde éventuelle des résultats.

Ce logiciel nécessite un PC à base de 386 et plus, 2 Mo de RAM et 1,1 Mo sur le disque dur.

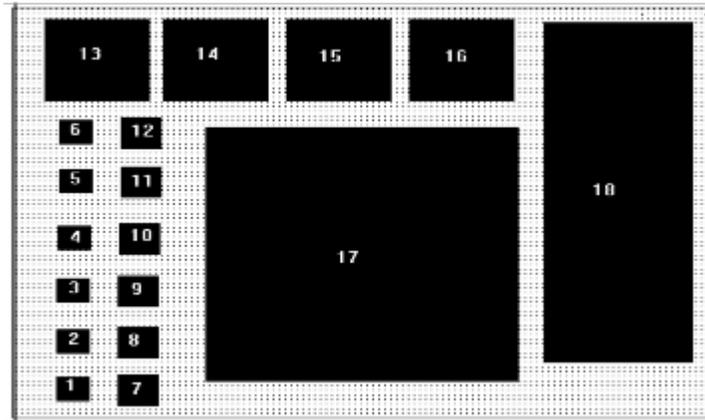
La présence d'un processeur arithmétique est recommandée.



## Exemples

Cinq fichiers résultats sont donnés à titre d'exemples : EX1.EVA à EX5.EVA . Ils correspondent à une carte expérimentale décrite ci-dessous.

### Carte expérimentale



Cette carte est réalisée en technologie SMC . Sa structure et ses dimensions peuvent être trouvés dans les exemples ( menu Synthèse par exemple).

Le drain incorporé dans cette structure n'a qu'accessoirement un rôle thermique.

Constitué d'un assemblage colaminé de cuivre et d'invar , sa fonction principale est d'abaisser le coefficient apparent de dilatation thermique du substrat de façon à le rapprocher de celui de la céramique.

Pour une dissipation totale de 55,4 Watts elle comporte :

- |  |        |
|--|--------|
| - 12 chips-carriers (repères 1 à 12 ) dissipant chacun | 0,95 W |
| - 4 PinGridArray (repères 13 à 16) dissipant chacun    | 1,85 W |
| - 1 module hybride ( repère 17)dissipant               | 18 W   |
| - 1 module alimentation ( repère 18)dissipant          | 18,6 W |

Elle a fait l'objet de relevés expérimentaux en convection forcée dans un des laboratoires d'une grande firme électronique française.

Le maillage utilisé dans EVATHERM pour ces 5 fichiers exemples est donné ci-après, voir écran suivant.

## Exemples suite

42	41	40	39	38	37
36	35	34	33	32	31
30	29	28	27	26	25
24	23	22	21	20	19
18	17	16	15	14	13
12	11	10	9	8	7
6	5	4	3	2	1

Le tableau suivant compare la température expérimentale moyenne de chaque composant avec la moyenne des températures calculées par EVATHERM.

		Vitesse air			
		1,3 m/s		4 m/s	
Dim.comp.	Comp.	Exper.	Evath.	Exper.	Evath.
25 mm	11	63	68	38	48
	13	54	56	34	39
	14	53	57	34	38
	15	50	58	33	39
	16	49	62	33	39
	17	59	59	41	42
	18	70	76	50	49
12,7 mm	11	63	61	38	43
	13	54	51	34	36
	14	53	52	34	35
	15	50	53	33	36
	16	49	56	33	36
	17	59	53	41	37
	18	70	69	50	44

Les niveaux de températures calculées par EVATHERM sont très comparables à ceux relevés expérimentalement.

# Utilisation

La pratique de Windows 3.x est supposée familière à l'utilisateur.

## 1- Utilisateur non enregistré

Toutes les fonctions du logiciel sont disponibles, mais il est limité en nombre de mailles.  
L'enregistrement, tel qu'il est proposé en page d'accueil, supprime cette limitation.

## 2- Utilisateur enregistré

Lancement d'EVATHERM : entrer 'evatherm' au clavier, puis [ENTREE] (ou [RETURN]).

L'écran principal expose schématiquement un coffret équipé de 3 cartes.

La barre de menu propose 3 options: Fichier, Paramètres et Aide. Cliquer sur une de ces options déroule le menu correspondant.

**Fichier** : permet la réinitialisation du simulateur, ainsi que les opérations de sauvegarde, et restaurations, portant aussi bien sur les résultats finaux que sur les descriptions en cours d'une session.

**Paramètres** : permet l'entrée des données nécessaires au simulateur : technologie , dimensions , description , charge thermique , et éventuellement matériaux . L'ordre d'entrée de ces données n'est pas quelconque , il est contrôlé par la validation des différentes lignes du menu.  
Ces lignes de menu ne sont accessibles qu'à partir de l'écran principal .

**Aide** : pour utiliser l'aide choisir 'Aide sur l'AIDE' , ou Index pour l'ensemble de l'aide sur EVATHERM.

## Menu-Technologie

Dérouler le menu Paramètres en cliquant dessus ou par frappe de Alt-P . ENTREE , et cliquer sur Technologie. Une boîte de dialogue apparaît comportant à gauche le choix du procédé de refroidissement et à droite celui de la structure de carte.

Cocher le type de refroidissement voulu . Dans le cas de la convection forcée une boîte de dialogue s'ouvre permettant de définir la vitesse de l'air par l'une des 3 méthodes suivantes , en utilisant si nécessaire la touche de tabulation :

a - entrer directement dans la case correspondante la vitesse d'air, si elle est connue.

b - entrer dans la case correspondante le débit d'air pour une carte . Celui-ci s'obtient en divisant le débit global fourni à l'ensemble du coffret , comportant n cartes , par le ventilateur ( ou toute autre source d'air de ventilation ) par le nombre de cartes n . Le débit d'air doit être exprimé en dm<sup>3</sup>/s.

c - entrer dans la case correspondante l'échauffement de l'air à la traversée du coffret . Cet échauffement , additionné à la température d'entrée, donne la température de sortie du coffret, laquelle est toujours inférieure à la température des composants. Le débit d'air varie en sens inverse de échauffement . L'échauffement de l'air est couramment compris entre 5 et 20 °C.

Terminer en ajustant la température de l'air à l'entrée du coffret soit par entrée de la valeur dans la case appropriée soit par action sur les flèches.

Cocher à droite la structure . Une boîte de dialogue se superpose décrivant la composition de la structure.

Valider par ENTREE ou modifier les données en se déplaçant d'une case à l'autre à l'aide de la touche TAB.

Revenir à l'écran principal en cliquant sur OK. Cette étape intermédiaire peut être sauvegardée ( menu FICHIER ).

### **Sauvegarde**

Cette définition technologique peut être sauvegardée sur fichier :

- revenir à l'écran principal
- dérouler le menu fichier
- cliquer sur "Enregistrer sous..."
- donner un nom au fichier, sans suffixe ( le suffixe "eva" est ajouté par le logiciel)
- modifier éventuellement le répertoire de destination et cliquer sur OK

## Menu-Dimensions

Dérouler le menu Paramètres en cliquant dessus ou par frappe de Alt-P . ENTREE , et cliquer sur Dimensions. Une boîte de dialogue apparaît permettant la saisie des dimensions de la carte ainsi que le maillage souhaité. Choix des cases de saisie à l'aide de la touche TAB.

Rappelons que la longueur et le nombre de mailles en X (nm<sub>x</sub>) correspondent à l'axe parallèle au sens d'écoulement de l'air (convection) ou au sens d'écoulement de la chaleur vers les glissières thermiques (conduction).  
Dimension des composants: préciser celle des composants sur lesquels on souhaite cibler le calcul des températures (voir Refroidissement des composants).

Les valeurs données par défaut peuvent être conservées pour un test du logiciel.

Revenir au menu principal en cliquant sur OK.

## Menu-Description

Dérouler le menu Paramètres en cliquant dessus ou par frappe de Alt-P . ENTREE , et cliquer sur Description.

La tâche description comporte 2 étapes :

- 1- définition du maillage de la carte
- 2- entrée des charges thermiques.

Le dessin de la carte apparait dans système d'axe X-Y. A chaque extrémité d'axe une case indique la dimension correspondante en millimètres saisie dans le menu Dimension. La valeur donnée par le logiciel peut différer légèrement de celle introduite , car elle doit être un multiple entier du nombre de mailles correspondant . L'influence sur les performances du logiciel est négligeable.

### Maillage

Le maillage standard proposé est uniforme, toutes les mailles étant identiques. Il est possible de déplacer les frontières de mailles afin d'adapter le maillage à la disposition des composants sur la carte. Pour ce faire il faut positionner le curseur de la souris sur une frontière , et tout en appuyant sur le bouton gauche de la souris déplacer la frontière jusqu'à atteindre la cote voulue , la case située à l'extrémité de l'axe indiquant alors la cote ( en mm) de la frontière par rapport à l'origine des axes.

### Charges thermiques

Après avoir structuré le maillage de la carte, cliquer sur le bouton OK.

Une boîte de dialogue apparait permettant d'introduire une charge thermique globale(en Watts ) qui sera également répartie par le logiciel . Ne présente d'intérêt qu'en cas de maillage régulier.

Pour définir une répartition hétérogène il faut à ce stade entrer une charge nulle : entrer 0 , ou simplement ENTREE si la case est vide. La boîte de dialogue est remplacée par une autre permettant d'entrer les puissances dissipées maille par maille. Le numéro de maille à charger apparait à gauche.

Entrer la puissance dissipée ( en W ) dans la case PUIS. puis valider par ENTREE. Le tableau de répartition des puissances se remplit dans la boîte liste située à droite. Après la dernière maille l'ensemble de cette saisie peut être validée ou invalidée . Dans ce dernier cas reprendre la saisie totale.

Revenir au menu principal en cliquant sur OK.

### Modifications ponctuelles des charges.

Revenir au menu Description comme précédemment . La répartition actuelle des charges est affichée à droite . Cliquer avec la souris sur la ligne correspondant au numéro de maille à modifier , la puissance de cette maille est reportée dans la case CHANGE . Modifier au clavier cette valeur et cliquer sur le bouton CHANGE . La valeur est modifiée dans la liste.

Revenir au menu principal en cliquant sur OK.

### Sauvegarde

Cette définition de carte peut être sauvegardée sur fichier :

- revenir à l'écran principal
- dérouler le menu fichier
- cliquer sur "Enregistrer sous..."
- donner un nom au fichier,avec EVA comme suffixe
- modifier éventuellement le répertoire de destination et cliquer sur OK

## Menu-Matériaux

Bien que la panoplie de matériaux utilisables pour constituer un circuit imprimé soit actuellement très restreinte, le logiciel permet de constituer et d'exploiter deux listes de matériaux, l'une pour le stratifié isolant, l'autre pour les couches métalliques (plans conducteurs, drains thermiques).

Cette option n'est utilisable que lorsque la technologie de la carte et donc sa structure ont été définies.

Dérouler le menu Paramètres en cliquant dessus ou par frappe de Alt-P . ENTREE, et cliquer sur Matériaux. Si une Erreur indique que les listes sont vides, c'est, soit qu'elles sont effectivement vides, ou que les fichiers contenant ces informations (isolants.dat et conducts.dat) ne sont pas dans le répertoire courant.

Une boîte de dialogue apparaît dont la partie gauche concerne l'isolant et la droite les plans métalliques. Pour reconstituer une liste vide voir ci-dessous "ajouter un matériau".

Pour avoir la liste actuelle des matériaux cliquer sur le bouton fléché de la boîte Liste. Modifier le matériau actuel en cliquant dans la liste sur le matériau choisit.

Pour ajouter un matériau positionner le curseur dans la case du bas et entrer au clavier le nouveau matériau sous la forme "m..m-v.vvv" où m..m est le nom donné au matériau (uniquement caractères alphabétiques) et v.vvv sa conductibilité thermique (uniquement caractères numériques et ponctuation) en W/m/K, les 2 termes étant séparés par un tiret. L'ensemble de ces 2 informations ne devant pas dépasser 18 caractères. Cliquer sur le bouton AJOUTER.

Pour supprimer un matériau, dérouler la liste de matériaux comme ci-dessus, cliquer le matériau à supprimer et ensuite sur le bouton SUPPRIMER.

Revenir au menu principal en cliquant sur OK.

## Menu-Traitement

La saisie des différents paramètres étant terminée le calcul des températures peut être activé. Dérouler le menu Paramètres en cliquant dessus ou par frappe de Alt-P . ENTREE , et cliquer sur Traitement. Le traitement est jalonné par quelques bips sonores. Sa progression est simulée au bas de l'écran.

La durée du traitement dépend :

- du type de refroidissement. Le calcul en convection est deux fois plus long qu'en conduction.
- du nombre de mailles, croissant avec celui-ci.
- des performances du système.
- de la présence d'un coprocesseur arithmétique.

Ci-dessous quelques durées comparatives de traitement.

Nombre de mailles	Refroidissement	Machine	
		386 DX 33 avec copro	386 SX 25 sans copro
18	convection	30 sec.	3 mn 14 sec.
18	conduction	6 sec.	36 sec.
40	conduction	1 mn 07 sec.	7 mn 44 sec.
42	convection	6 mn 37 sec.	

Le traitement peut être effectué en tâche de fond . Cliquer sur la case de réduction pour réduire la fenêtre en icône . Une autre tâche peut être activée. La durée du traitement dans ce cas est augmentée du temps processeur consommé par la tâche d'avant plan.

La fin du traitement est annoncée par une série continue de bips . Cliquer sur l'icône Evatherm , ou activer la liste des tâches pour revenir à EVATHERM.

## Menu-Résultats

Dérouler le menu Paramètres en cliquant dessus ou par frappe de Alt-P . ENTREE , et cliquer sur Résultats

La carte thermique est présentée , la couleur des mailles virant de noir au rouge avec l'accroissement de la température .

La fenêtre de droite affiche les résultats en 3 colonnes :

1ère colonne : numéro de maille ,en référence à la carte thermique

2ème colonne : charge thermique (en W) de la maille

3ème colonne : température de la maille.

Lorsque le nombre de mailles est supérieur à 18 ,une barre de défilement permet d'explorer l'ensemble complet des résultats.

Les résultats peuvent être sauvegardés sur fichier :

-revenir à l'écran principal

-dérouler le menu fichier

- cliquer sur "Enregistrer sous..."

-donner un nom au fichier,sans suffixe ( le suffixe "eva" est ajouté par le logiciel)

-modifier éventuellement le répertoire de destination et cliquer sur OK

## Menu-Synthèse

Dérouler le menu Paramètres en cliquant dessus ou par frappe de Alt-P . ENTREE , et cliquer sur Synthèse.

Cet écran permet de retrouver toutes les caractéristiques de la carte : technologie, refroidissement, dimensions, matériaux, ainsi qu'une synthèse des charges thermiques et des résultats. Pour imprimer cet écran il faut utiliser les outils Windows avec la procédure suivante :

- faire une copie dans le presse-papier en actionnant la touche IMP-ECRAN du clavier.
- revenir à l'écran principal en cliquant sur OK.
- cliquer sur le bouton REDUCTION pour réduire EVATHERM en icône
- appeler l'application PAINTBRUSH . Supprimer les affichages Palette et Barre d'outil pour avoir l'écran maximum . -Dans le menu EDITION cliquer sur COLLER pour copier le presse-papier. Sauvegarder l'image au format PCX .
- imprimer l'image après paramétrage de l'imprimante selon ses caractéristiques
- sortir de PAINTBRUSH
- cliquer sur l'icône EVATHERM ou activer la liste des tâches pour retrouver l'écran principal.



