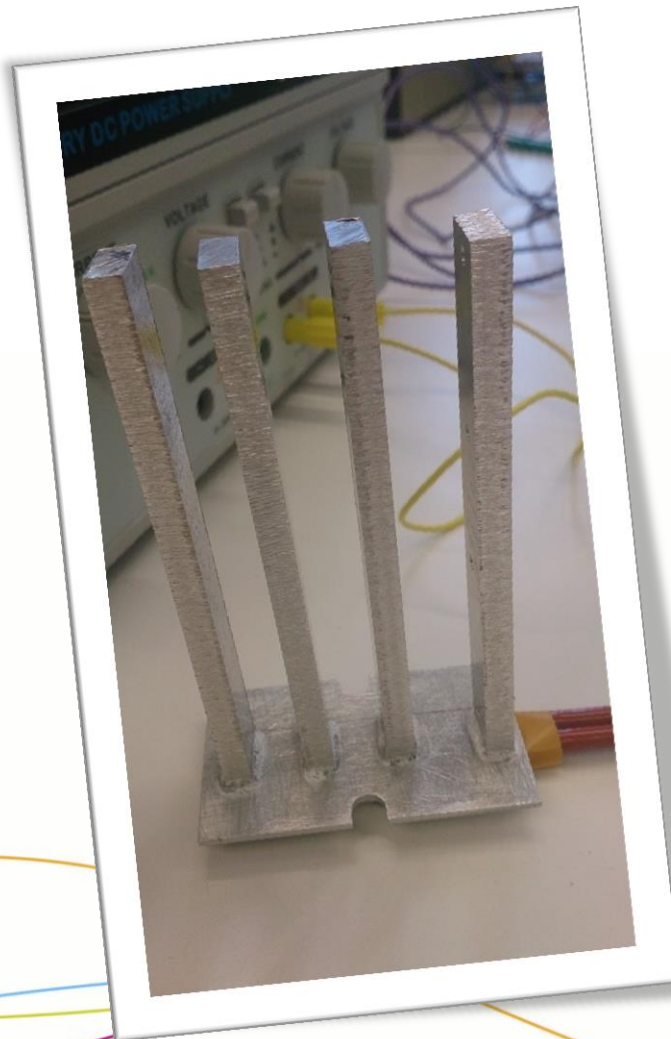


*Projet de Physique P6*  
*STPI/P6/2014 – n°24*

**AILETTES THERMIQUES**



**Etudiants :**

**Sandra FRANKO**

**Elise NICOLAS**

**Yann CHAMBRELAN**

**Thibaud VANNIER**

**Aubin TOUZO**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Diane DUVAL**



Date de remise du rapport : **16/06/2014**

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – n°24**

Intitulé du projet : ***Ailettes thermiques***

Type de projet : ***Expérimental/Simulation***

Objectifs du projet :

L'objectif de ce projet est de découvrir les ailettes thermiques, leur fonctionnement et leur utilisation. Il faudra pour cela appréhender les phénomènes thermiques associés, tel que la conduction et la convection afin de pouvoir ensuite déterminer les équations nécessaires aux analyses des ailettes thermiques (courbes de températures etc.). Une fois la familiarisation faite avec les différents types d'ailettes, une approche plus concrète devra être réalisée, en essayant d'améliorer les rendements d'ailettes afin d'optimiser l'utilisation de celles-ci.

Mots-clefs du projet : ***conduction, convection, dimensionnement***

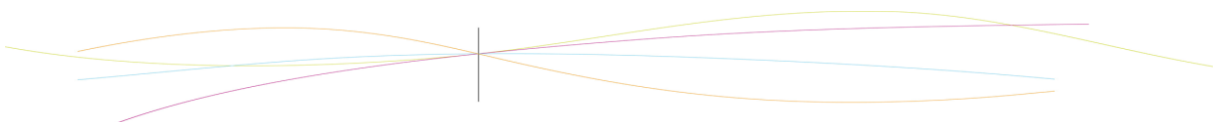
Si existant, n° cahier de laboratoire associé : ***néant***

# TABLE DES MATIERES

1. Introduction .....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Travail réalisé et résultats .....	7
3.1. Découverte de l'ailette thermique .....	7
3.1.1. Définitions principales et utilisations courantes.....	7
3.1.2. Déterminations des différentes équations.....	9
3.1.3. Le modèle le plus simple de l'ailette : l'ailette infinie .....	9
3.2. De l'ailette infinie à l'ailette réelle .....	12
3.2.1. Les raisons pour lesquelles l'ailette infinie est étudiée mais pas utilisée .....	12
3.2.2. Étude de l'ailette réelle .....	12
3.3. Étude de l'ailette idéale et dimensionnement.....	15
3.3.1. Changement de modèle .....	15
3.3.2. Étude d'une ailette thermique .....	15
3.3.3. L'ailette dimensionnée dans l'industrie.....	17
4. Conclusions et perspectives .....	19
5. Bibliographie.....	20

## NOTATIONS, ACRONYMES

$T_s$	température de surface du solide
$T_f$	température du fluide
$h$	coefficient d'échange convectif
$S$	surface de contact solide-fluide
$\Phi$	flux de chaleur (conductif ou convectif)
$\lambda$	conductivité thermique du matériau utilisé
$S$	section de passage du flux conductif
$x$	axe selon lequel le flux se déplace
$P(x)$	puissance générée
$p$	périmètre de l'ailette
$m$	paramètre de l'ailette



## 1. INTRODUCTION

Étant en deuxième année d'étude à l'INSA, nous avons dû choisir un projet afin d'acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine de notre choix. Nous nous sommes ainsi orientés vers un thème concernant les transferts thermiques, domaine nous intéressant particulièrement par rapport à nos thématiques actuelles telles qu'Énergétique et Propulsion, Mécanique ou encore Génie Civil.

L'objectif premier est de faire connaissance avec les différents types d'ailettes, ainsi qu'avec les différents phénomènes physiques associés, comme la conduction, qui correspond à un échange de chaleur matière/matière, ou encore la convection, qui correspond à un échange matière/fluide.

Une fois ces phénomènes appréhendés, nous avons pu déterminer des équations afin de mieux étudier les ailettes thermiques. Nous avons essayé de faire un parallèle entre théorie et pratique à chaque étape de ce projet, afin de pouvoir aussi manipuler et observer concrètement des ailettes.

Nous nous sommes d'abord intéressés à l'ailette dite infinie, possédant les hypothèses les plus simplificatrices, afin d'avoir une première approche de l'ailette.

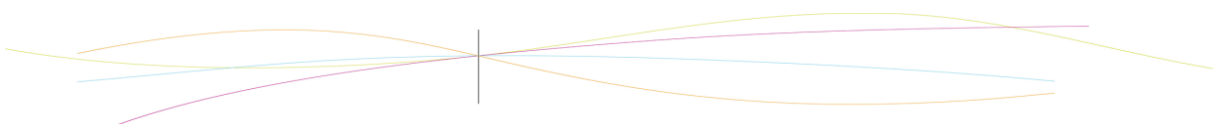
Cependant cette ailette est peu utilisée, de par sa grande taille et sa faible efficacité. Ceci nous a poussés à étudier ensuite l'ailette réelle, qui possède moins d'hypothèses simplificatrices, et qui est une approche plus réaliste des ailettes utilisées couramment.

Mais encore une fois, cette ailette n'a pas un rendement très important, ce qui nous a amené à une ailette ayant une efficacité optimale : l'ailette idéale. Celle-ci est en effet utilisée dans l'industrie. Nous nous sommes alors demandés comment étaient dimensionnées ces ailettes et les avons observés sur des plans industriels.

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons débuté notre projet par une expérience dont le matériel était fourni par notre professeur, afin d'avoir une idée du fonctionnement d'une ailette et de juger nos propres résultats plus tard dans le projet. Tandis que Thibaud, Sandra et Elise réalisaient les différentes acquisitions expérimentales, Aubin et Yann se préoccupaient de modéliser ces mêmes expériences de façon théorique, sur Excel. Chacun des membres du groupe se tenait au courant de l'avancement des travaux des autres. Nous avons partagé le travail de cette façon afin de pouvoir confronter les différents modèles théoriques à la réalité. Ce travail a nécessité plusieurs séances de travail.

Puis nous avons cherché une façon d'exploiter ce que nous avons appris. Nous avons choisi la voie du dimensionnement.



Nous avons donc besoin d'une source de chaleur en fonction de laquelle adapter nos ailettes. Nous avons alors commandé une résistance chauffante sur internet puis testé plusieurs sortes d'ailettes. En effet, nous avons avancé « à tâtons » afin de déterminer quel dimensionnement serait le plus efficace.



Figure 1 : Résistance chauffante

Dans le même temps, nous avons fait un suivi sur ordinateur pour estimer le rendement et l'efficacité de ces différentes ailettes. Avancer de cette façon dans notre travail nous a permis d'optimiser, à notre échelle, le système d'évacuation de chaleur que représentent nos ailettes thermiques sur la résistance chauffante.

Nous tenons, à ce propos, à remercier Monsieur Breteau ainsi que les techniciens du hall mécanique pour leur aide dans le redimensionnement de nos ailettes.

Dans cette seconde partie, le travail a été réparti de la même façon que dans la première, c'est-à-dire Sandra, Thibaud et Elise sur l'expérimentation et les prises de mesures et Aubin et Yann à la modélisation mathématique.

Enfin, concernant le rapport, chacun à rédiger la partie sur la laquelle il avait travaillé et sur laquelle il se sentait le plus à l'aise.

### 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

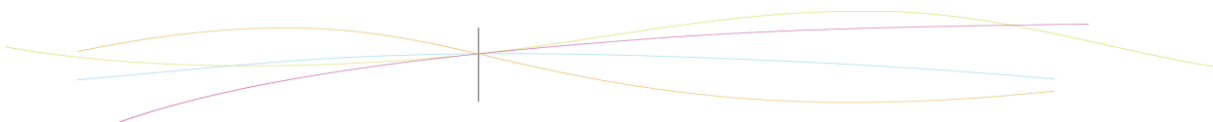
#### 3.1. Découverte de l'ailette thermique

/!\ Toutes les ailettes considérées auront une dimension supérieure aux autres. Ainsi la température le long de l'ailette et les expressions des flux de chaleur ne dépendront que de la variable « x ».

##### 3.1.1. Définitions principales et utilisations courantes

L'ailette est un dispositif thermique (l'une de ses dimensions est grande par rapport aux 2 autres) utilisé pour évacuer la chaleur d'un objet chauffant. En fait elle permet d'augmenter la surface d'échange de chaleur de ce système, ainsi les échanges convectifs entre le fluide extérieur et le système augmentent.

L'ailette est un système conducto-convectif, l'objet chauffant transfère sa chaleur par conduction à l'ailette qu'elle évacue par convection ensuite. La chaleur s'écoule sur une surface selon un gradient de température des hautes vers les basses températures, ici nous travaillons en unidimensionnel, donc selon l'axe x. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité de surface est la densité de flux de chaleur  $\phi$  en  $J.s^{-1}.m^{-2}$  c'est à dire en Watt par unité de surface ( $W.m^{-2}$ ). En considérant que cette surface d'échange est constante selon l'axe x, on peut multiplier la densité de flux de chaleur par celle-ci, ainsi nous obtenons le flux de chaleur  $\Phi$  en Watt (W) :  $\phi = \frac{\Phi}{S}$



Formule de transfert par convection :  $\Phi = h * S(T_s - T_f)$

Avec :

- T<sub>s</sub> température de surface du solide
- T<sub>f</sub> température du fluide
- h coefficient d'échange convectif
- S surface de contact solide-fluide
- Φ flux de chaleur transmis par convection

La loi de Fourier s'écrit normalement :  $\vec{\Phi} = -\lambda * S \overrightarrow{\text{grad}}(T)$

Loi de Fourier en unidimensionnel :  $\Phi = -\lambda * S \frac{dT}{dx}$  (sous forme algébrique)

Avec :

- λ conductivité thermique du matériau utilisé (W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)
- S section de passage du flux conductif (m<sup>2</sup>)
- x axe selon lequel le flux se déplace (m)
- Φ flux de chaleur transmis par conduction (W)

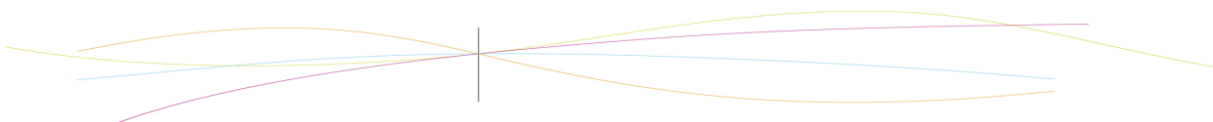
Il existe différents types d'ailettes thermiques, qui vont plus ou moins évacuer le flux de chaleur. Nous allons parler des ailettes que nous avons étudiées dans ce projet. Dans la partie théorique nous avons analysé les ailettes idéale, infinie et réelle.

**Ailette infinie :** la température en x=L (au bout de l'ailette) correspond parfaitement à celle du fluide extérieur (souvent sa longueur est très grande devant les 2 autres dimensions).

**Ailette réelle :** la longueur est trop courte pour que la température en x=L (au bout de l'ailette) soit égale à celle du fluide extérieur.

**Ailette idéale :** la température en x=0 (à la base de l'ailette) et celle en x=L (au bout de l'ailette) sont égales.

Dans la vie de tous les jours, nous rencontrons souvent les ailettes sans vraiment nous en rendre compte. Sur tous les systèmes thermiques elles sont utilisées. Par exemple un radiateur va évacuer la chaleur grâce aux nombreuses ailettes thermiques qui le composent.





### 3.1.2. Déterminations des différentes équations

L'équation de l'ailette se détermine avec une ailette de section constante ( $S(x)=S$ ). Le flux est orienté selon un unique axe : x (flux de chaleur selon y et z négligeable devant celui selon x), c'est un flux unidimensionnel.

Le coefficient d'échange convectif h est supposé constant, de même pour  $\lambda$  (conductivité thermique du matériau). Ces 2 facteurs dépendent de la température mais dans nos conditions ils sont constants.

On réalise un bilan énergétique d'une section S en x et x+dx :

$$[\Phi(x) - \Phi(x + dx)] + P(x).S. dx = h. p. dx. [T(x) - T_f]$$

↑	↑	↑
Bilan conductif	Puissance générée	Perte convective

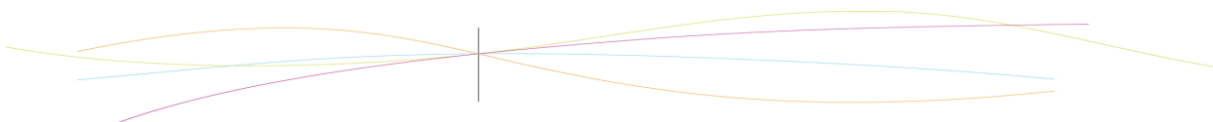
$\Phi(x)$	flux conductif en x	(W)
$\Phi(x+dx)$	flux conductif en x+dx	(W)
h	coefficient convectif	(W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> )
p	périmètre de la section droite	(m)
S	section droite	(m <sup>2</sup> )
P(x)	puissance générée	(W.m <sup>-3</sup> )
Tf	température du fluide	(K)

La puissance générée est égale à 0 car l'ailette n'émet pas d'énergie.

Pour le bilan conductif on applique la loi de Fourier.

$$\left[-\lambda. \frac{dT(x)}{dx} - \left(-\lambda. \frac{dT(x)}{dx}\right)\right] * S = h. p. dx [T(x) - T_f] \quad \text{Avec } \lambda \text{ conductivité thermique du matériau.}$$

↑	↑
dérivée en x	dérivée en x+dx



dx tend vers 0 :

$$\begin{array}{ccc} \text{dérivée en } x+dx & & \text{dérivée en } x \\ \downarrow & & \downarrow \\ \frac{[\frac{dT(x)}{dx} - \frac{dT(x)}{dx}] * \lambda.S}{dx} - h.p. [T(x) - Tf] = 0 \end{array}$$

Ce qui donne finalement :

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} - \frac{h.p}{\lambda.S} * [T(x) - Tf]$$

On qualifie m le paramètre de l'ailette thermique :  $m^2 = \frac{h.p}{\lambda.S}$

Pour résoudre cette équation différentielle il nous faudra des conditions sur l'ailette qu'on appelle conditions aux limites.

### 3.1.3. Le modèle le plus simple de l'ailette : l'ailette infinie

L'ailette infinie est l'ailette à étudier la plus simple de par ses hypothèses simplificatrices. D'après la définition de l'ailette, l'ailette infinie est un objet dont l'une des dimensions est grande devant les deux autres. L'ailette infinie peut admettre une première hypothèse :

La température de bout d'ailette est égale à la température du fluide extérieur.

Le choix de la deuxième hypothèse dépend du cas d'étude. En effet, l'équation de l'ailette est une équation différentielle, qui nécessite des conditions aux limites afin de pouvoir déterminer une solution unique. Il existe deux possibilités pour cette deuxième hypothèse :

➤ La première est de considéré le flux de température, entrant par la base de l'ailette, constant, c'est à dire que  $dT/dx = k$  en  $x=0$ , avec k constante.

La détermination de cette constante se fait grâce à l'équation de Fourier. On multiplie par la surface pour obtenir un flux de chaleur.

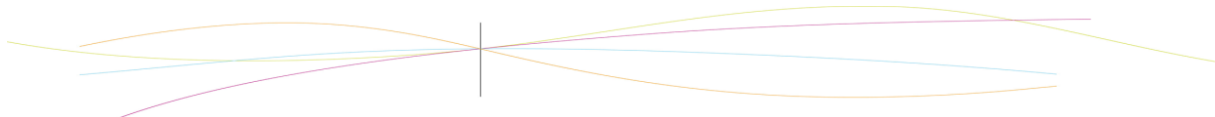
Eq1 :  $\Phi = -\lambda S grad(T)$

Or  $grad(T) = \frac{dT}{dx}$  de par le caractère unidimensionnel de l'ailette

Eq2 :  $\Phi = -\lambda S \frac{dT}{dx}$  donc

Eq3 :  $\frac{dT(x)}{dx} = \frac{-\Phi}{\lambda S}$  en  $x=0$

D'après l'équation de l'ailette, la forme de la solution pour déterminer l'équation de T est :



$$\theta(x) = A\exp(-mx) + B\exp(-mx) \text{ avec } \theta(x) = T(x) - T_f$$

T<sub>f</sub> étant la température du fluide environnant.

Dérivons le delta de température afin de pouvoir appliquer notre première hypothèse :

$$\text{Eq4 : } \frac{d\theta(x)}{dx} = -mA\exp(-mx) + mB\exp(-mx) = \frac{-\Phi}{\lambda S}$$

$$\text{Soit } mA - mB = \frac{\Phi}{\lambda S}$$

Reprenons l'équation mais en x=L, L étant la longueur de l'ailette.

$$\text{Eq5 : } \theta(x) = A\exp(-mL) + B\exp(mL) = 0 \text{ car le delta de température est nul en } x=L$$

Or  $\lim_{x \rightarrow L} \theta(x) = 0$  quand x tend vers L donc

$$\lim_{x \rightarrow L} A\exp(-mx) + B\exp(mx) = 0 \text{ quand } x \text{ tend vers } L.$$

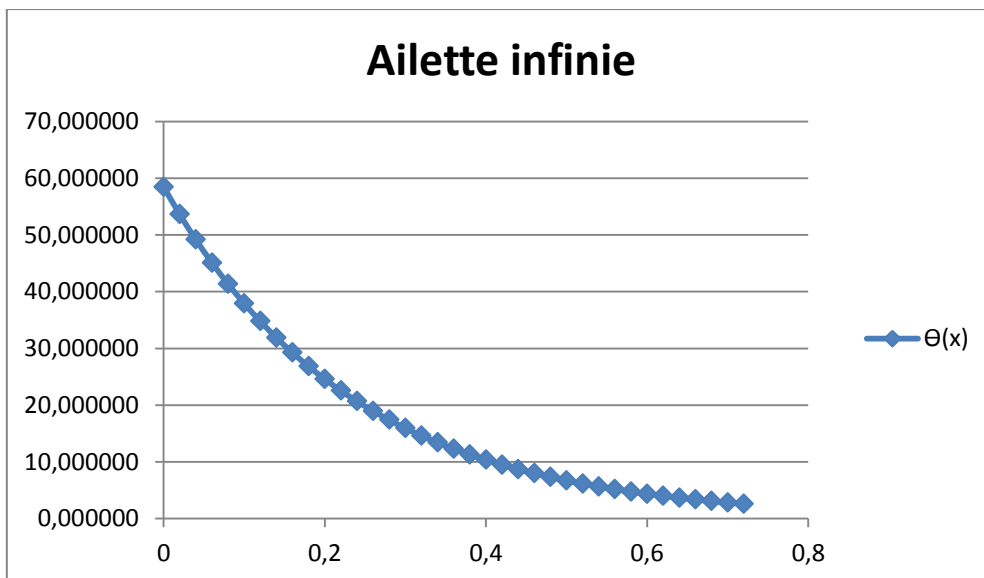
On a alors nécessairement B=0, car A exp(-mx) tend vers 0, donc B exp(mx) doit tendre vers 0. La seule solution est B = 0.

$$\text{L'équation 5 devient alors } mA = \frac{\Phi}{\lambda S} \text{ donc } A = \frac{\Phi}{m\lambda S} \text{ et } B = 0$$

La solution finale pour un flux imposé est donc

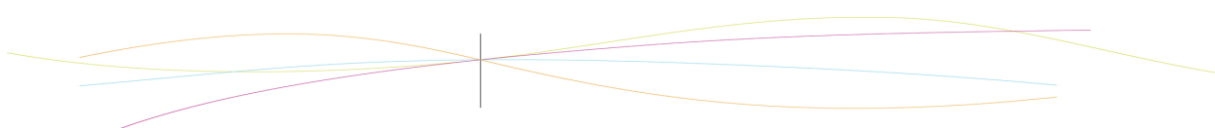
$$\theta(x) = \frac{\Phi}{m\lambda S} * \exp(-mx)$$

Voici la courbe de  $\theta(x)$  :



Graphe 1 : Courbe du delta de température calculé pour une ailette infinie

(Les valeurs prises pour les différentes constantes ont été calculées dans le cadre de notre première expérience, et seront explicitées par la suite)



➤ La deuxième hypothèse peut être une condition imposée de température à la base. On a alors  $T(x=0)$  fixée.

La solution générale est identique à celle en a) :

$$\theta(x) = A\exp(-mx) + B\exp(-mx)$$

De la même manière qu'en a), on prouve que  $B = 0$

On utilise alors l'hypothèse que l'on vient de formuler :

$\theta(0) = A\exp(0) = Tb - Tf$  car  $\theta(x) = T(x) - Tf$   $Tb$  étant la température imposée à la base.

La solution finale pour une condition de température imposée à la base est donc :

$$\theta(x) = (Tb - Tf)\exp(-mx)$$

Nous venons donc de déterminer les équations de température pour chaque hypothèse faite à la base de l'ailette : flux imposé d'un côté et température imposée de l'autre.

## 3.2. De l'ailette infinie à l'ailette réelle

### 3.2.1. Les raisons pour lesquelles l'ailette infinie est étudiée mais pas utilisée

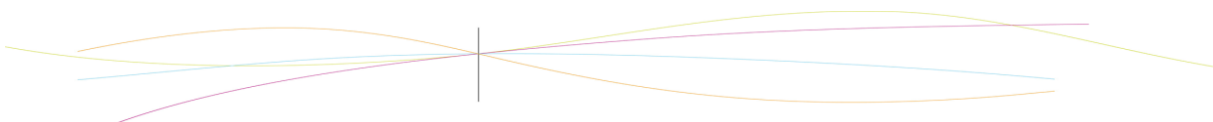
L'ailette infinie est utile lorsqu'il s'agit d'étudier un modèle simple, et que l'on se soucie peu de la place prise par l'ailette. On voit sur la courbe que plus de 80 cm sont nécessaires pour que le bout de l'ailette soit à la température du fluide extérieur, qui était ici l'air. Or les ailettes ne sont jamais aussi grande proportionnellement à la chaleur étudiée dans la réalité. Si l'on raccourcit la longueur de l'ailette, on observe alors que la température de bout d'ailette n'est plus égale à celle du milieu extérieur, excepté si elle est refroidie, par de l'eau par exemple.

Ce sont donc afin d'approcher mieux la réalité que nous avons décidé d'étudier cette ailette dite « réelle ».

### 3.2.2. Etude de l'ailette réelle

Dans le but de mieux comprendre le fonctionnement d'une ailette thermique et l'importance des dimensions et du matériau de l'ailette, une expérience était mise à notre disposition.

Nous l'avons reproduit plusieurs fois dans de différentes conditions afin d'observer les variations des résultats. Cela en fonction du courant imposé à la source chaude, du matériau de l'ailette et de la présence d'un refroidissement par eau.



L'expérience était constituée de deux ailettes, une d'aluminium et une de cuivre, d'une résistance chauffante, d'un système de refroidissement (pompe et bac d'eau), d'un boîtier de mesure et d'un logiciel d'exploitation.

Le boîtier est équipé de 8 capteurs de température afin de suivre l'évolution de celle-ci le long de l'ailette.

Le logiciel enregistre les températures acquises par le boîtier pendant une durée que nous avons préalablement déterminé. Dans le même temps, il trace les courbes de température de chaque point de mesure. Ainsi, nous obtenions des courbes de température en fonction du temps et de l'éloignement du point de mesure à la source chaude.



Figure 2: Boîtier chauffant et mesurant la température à différents points de l'ailette

Dans certains cas, nous avons utilisé le système de refroidissement. Pour cela, les ailettes sont percées à leurs extrémités. Une pompe y est reliée et fait circuler de l'eau à l'intérieur de l'ailette. Cela permet de ne pas atteindre la surchauffe avant le régime permanent.

Dans les autres cas à la fin de l'acquisition nous avons utilisé un gant protecteur pour retirer les ailettes brûlantes du boîtier de mesure en toute sécurité.

Nous avons vu que cette expérience ne donnait de résultats exploitables que lorsque l'ailette était refroidie. Les résultats de nos essais non refroidis ne sont donc pas intéressants puisque la surchauffe était atteinte en quelques minutes, bien avant le régime permanent. Mais grâce aux autres essais, nous avons pu remarquer que les différences de température et la vitesse de chauffe entre les deux ailettes étaient importantes. En effet, l'aluminium atteint des températures supérieures à celle du cuivre plus rapidement que celui-ci. Cela souligne l'importance du matériau.

Nous avons donc considéré une ailette réelle longue de 18 cm, refroidie par de l'eau sur son extrémité. Voici les hypothèses que nous allons considérer pour pouvoir déterminer puis tracer les équations de température :

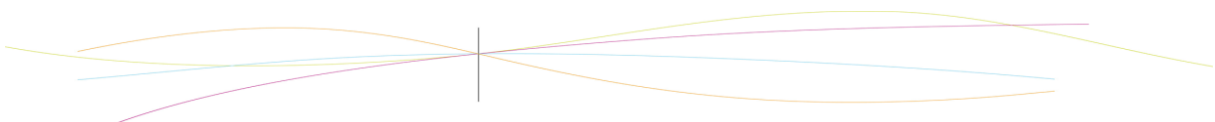
-La température de bout d'ailette est connue pour toutes les expériences et vaut 23°C.

-Le flux est imposé à la base et vaut  $\frac{dT}{dx} = \frac{\phi}{\lambda S}$  en  $x=0$ .

La solution de l'équation de l'ailette a toujours la même forme que pour l'ailette idéale. On l'évalue en  $x=18$  cm.

$\theta(x = 0,18) = A \exp(-0,18m) + B \exp(-0,18m)$  Ce qui donne :

$T(x = 0,18) = A \exp(-0,18m) + B \exp(-0,18m) + T_f = 23$  car  $\theta$  est le delta de température entre la température d'ailette et celle du fluide environnant. Ici, on considère que  $T_f=20^\circ\text{C}$ .



En  $x=0$ , notre hypothèse de flux nous donne :

$$\frac{dT}{dx} = mA \exp(0) - mB \exp(0) = \frac{\Phi}{\lambda S}$$

On a alors un système de deux équations à deux inconnues :

$$A \exp(-0,18m) + B \exp(0,18m) = 3 \text{ et}$$

$$mA - mB = \frac{\Phi}{\lambda S}$$

Il faut alors le résoudre :

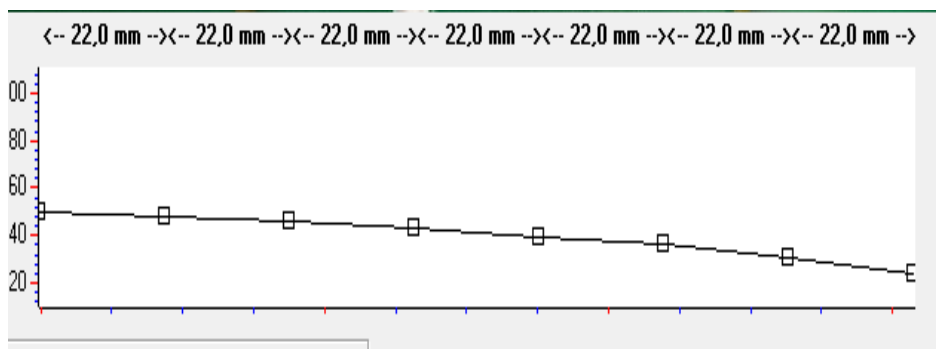
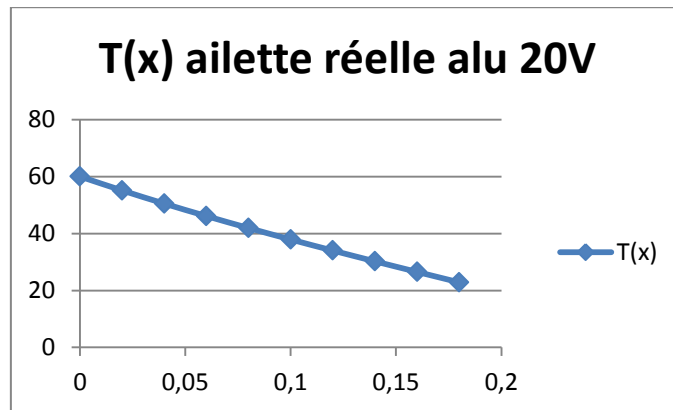
$$A = \frac{3}{\exp(-0,18m)} - \frac{B \exp(0,18m)}{\exp(-0,18m)} = 3 \exp(0,18m) - B \exp(0,36m) \text{ et}$$

$$m(3 \exp(0,18m) - B \exp(0,36m)) - mB = \frac{\Phi}{\lambda S}$$

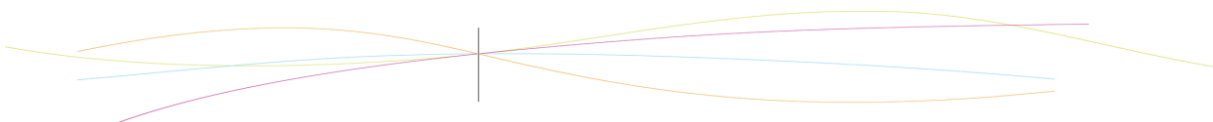
Ce qui équivaut à :

$$B = \frac{3 \exp(0,18m)}{\exp(0,36m)+1} - \frac{\Phi}{\exp(0,36m)\lambda S} \text{ et}$$

$$A = \left( \frac{\Phi}{\lambda S + mB} \right) \frac{1}{m} = 3 \exp(0,18m) - B \exp(0,36m)$$



*T(x) mesurée expérimentalement à l'aide du boitier chauffant*



On peut remarquer que ces deux courbes ont une allure très proche en ce qui concerne les températures à la base et celles de bout d'ailette. La courbure n'est pas identique mais on peut supposer que cela est dû aux incertitudes sur les mesures expérimentales, qui peuvent provenir des relevés de mesure par les thermomètres.

### 3.3. Étude de l'ailette idéale et dimensionnement

Après avoir analysé le fonctionnement d'ailettes thermiques pré-dimensionnées lors de l'expérience précédente nous avons décidé d'aborder d'une autre manière l'étude des ailettes thermique en tentant de les dimensionner.

#### 3.3.1. Changement de modèle

Pour le dimensionnement de nos ailettes nous avons décidé d'abandonner le modèle de l'ailette réelle pour tenter de se rapprocher de celui de l'ailette idéale. La principale caractéristique du modèle idéal est l'homogénéité de la température au sein de la totalité de l'ailette. Le choix d'étudier ce système réside dans le fait que c'est le modèle le plus utilisé dans l'industrie notamment puisqu'il s'agit d'évacuer un maximum de chaleur avec un minimum de matière.

#### 3.3.2. Étude d'une ailette thermique

Il a d'abord fallu trouver une source de chaleur qui nous permettrait d'étudier de façon optimale le comportement de notre ailette. Nous nous sommes donc procuré une résistance chauffante qui a ensuite été préparée pour que l'on puisse l'adapter sur un générateur nous permettant de maîtriser au mieux l'énergie qu'on lui fournirait.

Après avoir commencé par dimensionner des ailettes de la même largeur que la résistance nous nous sommes rendus compte que cela nous donnait une surface d'ailette trop importante et que nous perdions le caractère unidimensionnel de la conduction thermique. Nous avons donc opté pour une ailette de section plus petite que nous avons centrée sur la résistance et de petits trous ont été réalisés le long de l'ailette de manière à pouvoir mesurer la température à l'aide d'un thermocouple.

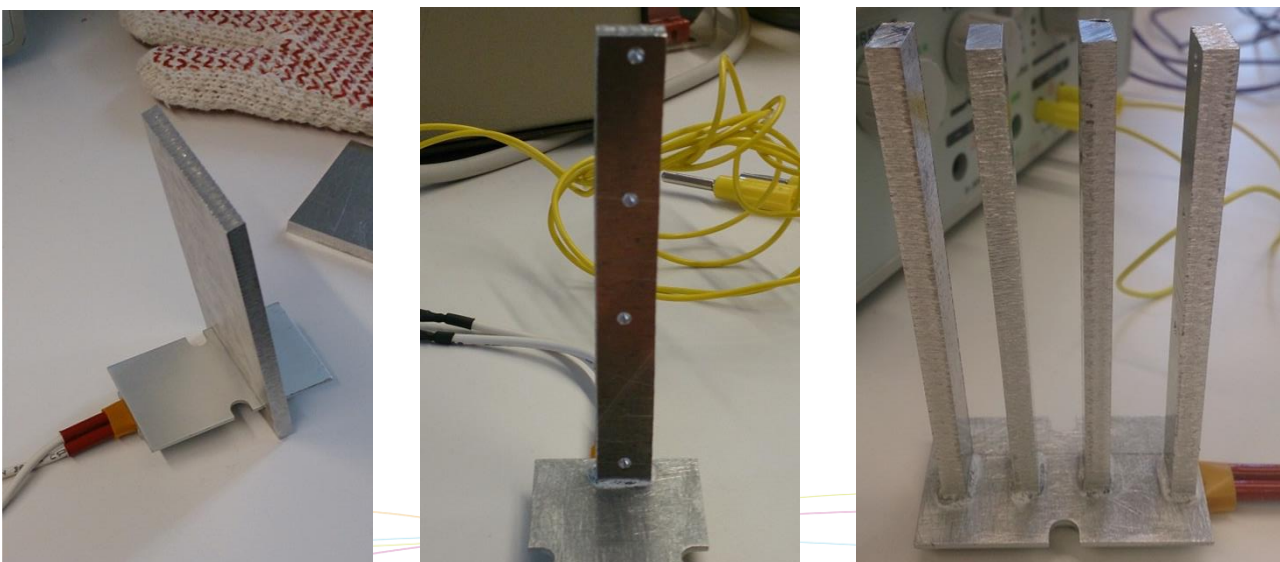


Figure 3 : 1er format d'ailette choisi (trop grand)/ Ailette avec trous pour thermocouples/ Modèle d'expérience avec 4 ailettes

### Dimensions :

Résistance

largeur : 36mm

longueur : 60mm

épaisseur : 1 → 5 mm

Ailette

section : 11 x 4 mm<sup>2</sup>

longueur : 60mm

Ensuite s'est posée la question du système de montage à utiliser pour fixer notre ailette sur la résistance. En posant simplement l'ailette en contact avec la résistance, il s'est avéré que les pertes de chaleur, dues à l'air qui pouvait séparer les deux éléments, étaient trop importantes. Nous avons donc décidé de coller l'ailette sur la résistance car il nous était impossible de la souder. La différence de température entre la résistance et la base de l'ailette n'était pas réduite à 0 mais l'écart était tout de même tolérable, il est de l'ordre de 20 °C. Nous allons donc calculer l'évolution de la valeur du flux convectif en sommant les pertes convectives de la résistance (atteignant environ 85°C) et celles des ailettes (atteignant une température moyenne de 58°C). L'une des réussites de cette expérience est la quasi homogénéité de la température de nos ailettes sur toute leur longueur, puisque l'écart entre la base et l'extrémité n'est que de 9%. Ceci va nous permettre de calculer facilement le flux convectif dissipé par les ailettes. Voici les exploitations de l'expérience :

Nous avons calculé la surface de la résistance ainsi que celle de l'ailette de façon à pouvoir évaluer la différence d'évacuation du flux thermique.

$$S_{\text{résistance}} = 4980 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{ailette}} = 3150 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{totale (R avec ailette)}} = 8075 \text{ mm}^2$$

Le flux convectif peut être calculé grâce à la formule suivante :  $\Phi_{\text{conv}} = h \cdot S (T_{\text{matériau}} - T_{\text{ext}})$

( avec  $5 < h < 30 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  )

- Sans ailettes on obtient les résultats suivant :

$$T_{\text{résistance}} = 86^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = 20^\circ\text{C} \rightarrow \text{on prendra donc } h = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$\Phi_{\text{conv},r} = 3,2\text{W}$$

- En fixant une ailette :(augmentation de surface de 62,1%)

$$T_{\text{ailette}} \approx 58^\circ\text{C} \rightarrow \Phi_{\text{conv},\text{ailette}} = 1,2\text{W}$$

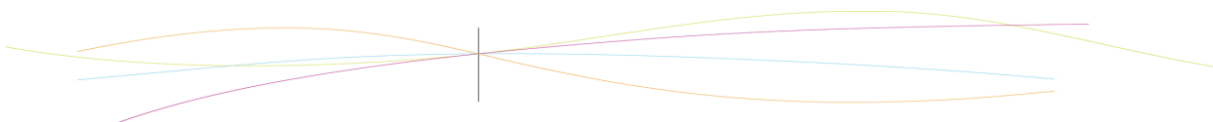
$$\Phi_{\text{conv},\text{tot}} = 4,397\text{W}$$

- En fixant deux ailettes :

$$T_{\text{2ailettes}} \approx 55^\circ\text{C} \rightarrow \Phi_{\text{conv},\text{2ailettes}} = 2,2\text{W}$$

$$\Phi_{\text{conv},\text{tot}} = 5,4\text{W}$$

Le rendement d'une ailette thermique se calcule par  $\eta = \frac{\Phi(\text{conv},\text{ailette})}{\Phi(\text{conv},\text{ailette idéale})}$





La différence de température entre la base et l'extrémité de nos ailettes étant faible, nous pouvons les considérer idéales et donc avec un rendement très proche de 1.

En revanche, l'efficacité d'une ailette se calcule différemment :  $\eta = \frac{\Phi(\text{conv, ailette})}{\Phi(\text{conv, résistance})}$

Pour notre montage, on obtient :  $\eta = \frac{1,2}{3,2} = 37,5\%$

L'ailette permet donc d'évacuer 37,5% de flux convectif supplémentaire.

Avec 2 ailettes on obtient une efficacité de 68,8%

CCL : Limites du modèle étudié (de notre expérience : manque de précision, pas de soudure...)

### 3.3.3. L'ailette dimensionnée dans l'industrie

Nous avons précédemment choisi d'étudier le modèle de l'ailette idéale qui est, rappelons-le, le modèle le plus utilisé dans l'industrie, notamment puisqu'il s'agit d'évacuer un maximum de chaleur avec un minimum de matière.

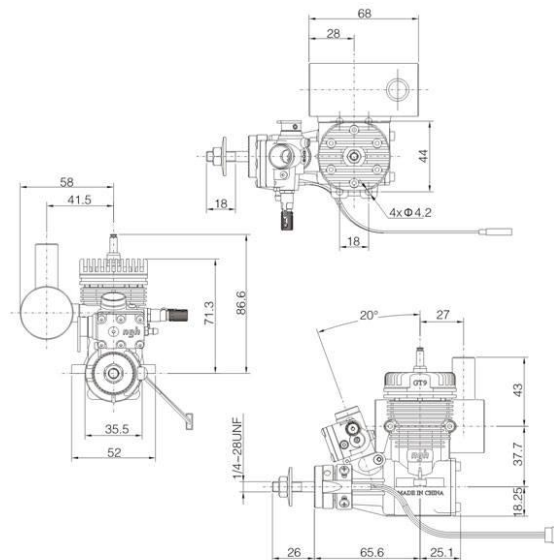
C'est également pour cette raison que nous allons maintenant étudier des cas concrets d'utilisation d'ailettes thermiques dans l'industrie. Le premier système étudié est un moteur thermique de modélisme puis nous nous intéresserons à un dissipateur thermique.

#### Moteur thermique de modélisme :

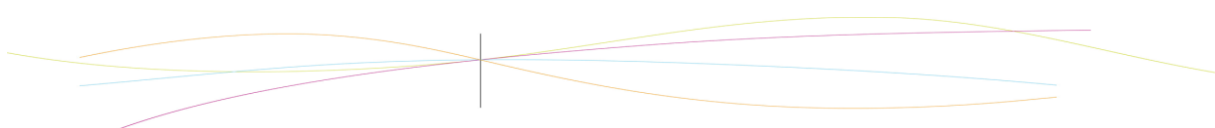
Le but de cette étude est d'évaluer la différence de flux de chaleur évacué par le moteur, avec et sans ailettes. Grâce à des plans et à des formules de calcul de surface classiques, nous avons pu calculer la surface extérieure du moteur avec les ailettes et la valeur qu'elle aurait eu sans ces dernières. Il s'est ainsi avéré que la surface d'échange avec le milieu extérieur du moteur augmentait de plus de 180% grâce aux ailettes.

La température du moteur tel qu'il était conçu (avec ailettes) lui permettait de ne pas dépasser 110°C, nous avons ainsi pu évaluer le flux qui était évacué par convection thermique :

$$\Phi_{\text{conv}} = h.S (T_{\text{moteur}} - T_{\text{ext}}) = 23,4W$$



Plans utilisés pour les différentes mesures des ailettes sur le moteur de modélisme



Pour obtenir un tel résultat avec une surface d'échange beaucoup moins importante (sans ailette) il faudrait que le matériau utilisé puisse résister à de très hautes températures ou alors que le coefficient d'échange convectif soit plus élevé.

Dissipateur thermique :

Nous allons maintenant nous intéresser à un dissipateur thermique. On peut voir, par sa forme caractéristique et son matériau, qui est de l'aluminium noir anodisé, que ce radiateur est utilisé dans pour de gros composants électroniques. L'oxydation anodique permet une meilleure résistance à l'usure, à la chaleur et à la corrosion. Une dissipation de la chaleur est dans le cas de l'électronique nécessaire car de trop fortes températures risquent d'endommager le matériel.



Figure 4 : Dissipateur thermique étudié

Dimensions :

Base

largeur : 115mm

longueur : 203mm

épaisseur : 6 mm

Ailette

section : 115 x 2,3 mm<sup>2</sup>

longueur : 40 mm

On peut alors calculer les augmentations de surface, qui vont donc impacter sur l'importance des échanges thermiques possibles.

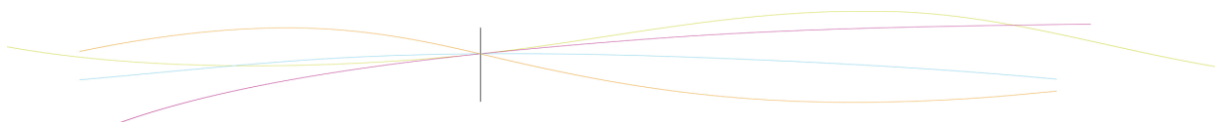
$$S_{\text{base}} = 29781 \text{ mm}^2 \quad S_{\text{aillette}} = 9590 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{totale (R avec ailette)}} = S_{\text{base}} + 18 S_{\text{aillette}} = 194261 \text{ mm}^2$$

La surface d'échange a donc été multipliée par 7.5.

D'après la formule d'échange convectif  $\Phi_{\text{conv}} = h.S (T - T_{\text{ext}})$ , on peut en déduire que les échanges convectifs ont aussi été multiplié par 7.5, ce qui permet un refroidissement du composant électronique bien plus aisé.

L'objectif du dissipateur thermique est ici totalement différent de celui utilisé pour les moteurs. Dans le cas précédent, l'optimisation d'espace était nécessaire alors qu'il n'est pas nécessaire d'en tenir compte pour les gros composants électroniques qui peuvent être associés à ce dissipateur. Un autre point diffère : l'importance du flux évacué. Dans le cas du dissipateur thermique, on recherche la plus température la plus faible possible afin d'éviter une surchauffe du composant alors que pour les moteurs, la température idéale à atteindre est celle favorisant la meilleure combustion.



L'analyse de ces deux exemples industriels nous prouve qu'il n'existe pas un modèle parfait d'ailette à utiliser en toutes circonstances. Il faut d'abord étudier les contraintes essentielles qu'imposent le produit, comme un espace restreint ou une température idéale à atteindre, afin d'ensuite pouvoir choisir le meilleur format possible.

#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

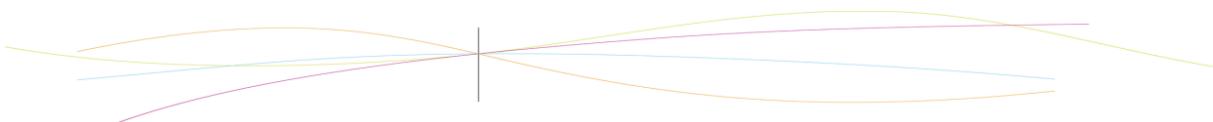
Ce projet nous a permis de mettre en application les connaissances acquises durant ces deux premières années préparatoires. Nous avons ainsi pu exploiter nos connaissances de physiques, à travers les calculs de flux par exemple, mais aussi les mathématiques avec les résolutions d'équations.

Ce travail nous aura aussi permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la thermique, en particulier sur les flux de chaleur qui s'échangent par conduction ou convection.

De plus, ce fut l'occasion d'élaborer nos propres expériences, aussi bien pour découvrir un phénomène que pour l'exploiter par la suite. Nous avons par ailleurs pu constater les nombreux échecs auxquels ces expériences nous ont mené. Les résultats ont souvent été peu concluants, mais cela nous a poussé à plus de réflexion afin de solutionner ces problèmes, comme un ingénieur aurait pu le faire.

Ce projet aura renforcé notre autonomie : d'abord de par la gestion de la masse de travail au sein de l'équipe, mais aussi pour la recherche de nouvelles connaissances et d'informations pour explorer un sujet dont nous ignorions tout.

Nous avons dû nous organiser afin d'avancer au mieux dans ce travail, notamment grâce à une importante communication entre les membres de groupe, mais aussi une répartition claire des tâches, mais aussi par de rapides comptes rendus en fin de séance, pour faire un rapide bilan de notre progression.



## 5. BIBLIOGRAPHIE

Livres :

Jean Taine, « Transferts thermiques », *Dunod*, 2008

Jean Marie Brébec, « Thermodynamique Hprépa MP/MPSI », *Hachette*, 2004

Liens internet :

[http://fr.wikiversity.org/wiki/Conduction\\_thermique/Annexe/Ailette](http://fr.wikiversity.org/wiki/Conduction_thermique/Annexe/Ailette)

