

Romain QUIOC  
EI2

Holger SEIFERT  
LTB

# Rapport de stage

Du 02/05/2011 au 02/08/2011



**« Recherche et optimisation d'un système d'éléments chauffants pour le fonctionnement optimal d'un clapet (by-pass) »**

**Année universitaire 2010-11**

**Luft- und Thermotechnik Bayreuth GmbH**

**Markgrafenstraße 4  
95497 Goldkronach**



# Sommaire

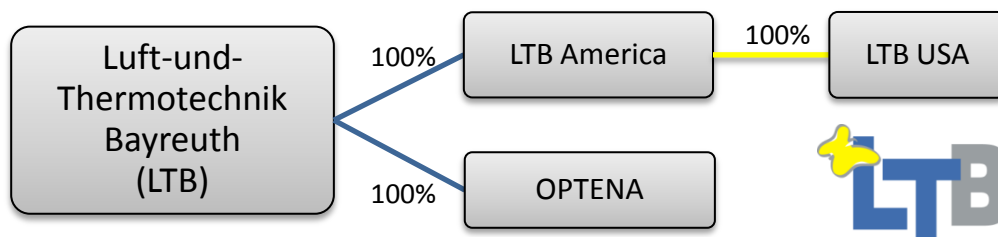
|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Avant-propos/Remerciements.....</b>                                              | <b>3</b>  |
| <b>Introduction.....</b>                                                            | <b>4</b>  |
| <b>I. Synthèse des recherches.....</b>                                              | <b>5</b>  |
| A. Problématique.....                                                               | 5         |
| B. Technologies .....                                                               | 6         |
| <b>II. Matériel et méthodes .....</b>                                               | <b>7</b>  |
| A. Matériel.....                                                                    | 7         |
| 1. Installation de recherche .....                                                  | 8         |
| 2. Appareillage .....                                                               | 9         |
| B. Méthode de mesure des températures.....                                          | 10        |
| <b>III. Résultats et discussions .....</b>                                          | <b>12</b> |
| A. 2 éléments chauffants .....                                                      | 12        |
| 1. Evolution de la température au cours du temps.....                               | 12        |
| 2. Evolution de la température en fonction de la puissance<br>de chauffage .....    | 14        |
| 3. Comparatif des mesures de température<br>point de mesure/point de mesure a ..... | 15        |
| B. 3 éléments chauffants .....                                                      | 15        |
| C. Comparatif.....                                                                  | 17        |
| D. Bilan de l'étude et perspectives .....                                           | 17        |
| 1. Bilan.....                                                                       | 17        |
| 2. Perspectives d'évolution .....                                                   | 18        |
| <b>Conclusion.....</b>                                                              | <b>19</b> |
| <b>Annexes.....</b>                                                                 | <b>20</b> |

# Avant-propos

Luft-und Thermotechnik Bayreuth GmbH (LTB), est une entreprise allemande spécialisée dans la réalisation d'installations de traitement de l'air pour des industriels de différents secteurs d'activité tels que : la pharmaceutique, le textile, l'automobile, la chimie, etc. La finalité des solutions proposées par LTB est d'obtenir une qualité d'air en sortie du système qui puisse répondre aux exigences environnementales dans le pays d'exploitation.

L'entreprise est implantée dans la commune de Goldkronach aux environs de Bayreuth, au nord de la Bavière. Elle a été créée en 1958 par Manfred OTT et Bernd RÜSKAMP pour proposer initialement des ventilateurs et des solutions de traitement de l'air pour les espaces de travail. Très vite l'entreprise a subi des modifications de par son accroissement d'activité et s'est ensuite spécialisée dans la conception et la confection d'installations de traitement de l'air issu des rejets industriels. A ce jour, LTB compte désormais 110 personnes dont 30 ingénieurs de formations diverses.

L'objectif de la société dans les années futures est de s'installer durablement sur le marché américain. Pour se faire, en 2011, une filiale américaine (LTB America) a été créée (cf. Figure 1).



**Figure 1:** Organisation de la société LTB.

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage, Holger SEIFERT, de m'avoir accueilli pour ce stage au sein du département R&D, où il occupe le poste de manager de projets. Malgré ses responsabilités et ses activités, il a été en mesure de me consacrer du temps afin de résoudre des problèmes survenus au cours du stage ainsi que me donner des conseils divers sur la façon dont je devais construire mon plan de travail.

Je suis également très reconnaissant envers Daniel SCHRÖDER, ingénieur procédé chez LTB. Il a su répondre à toutes mes interrogations et agrémente mes connaissances en matière de procédés de traitement de l'air.

Enfin, je remercie le directeur de LTB, Manfred OTT, de m'avoir donné l'opportunité de réaliser mon stage de deuxième année dans son entreprise. De plus, il a été agréable de passer du temps au sein de LTB car l'ensemble du personnel ont été très accueillants et sympathiques.

# Introduction

D'années en années, les normes européennes et mondiales se durcissent en matière de rejets atmosphériques, la prochaine en date étant prévue pour 2015. Le sujet se retrouve au cœur de l'actualité avec le sommet de Durban visant à prendre de nouveaux engagements car les accords de Kyoto vont arriver bientôt à terme. C'est pourquoi, avec le renforcement probable des normes environnementales, les entreprises émettrices de polluants doivent veiller à leurs taux d'émissions afin de se soumettre à la réglementation en vigueur. Des sociétés spécialisées dans le domaine du traitement de l'air proposent ainsi des solutions permettant d'abaisser les concentrations en polluants en sortie de procédés industriels.

J'ai eu l'opportunité de réaliser mon stage au sein du département « Recherche & Développement » de l'entreprise **Luft-und Thermotechnik Bayreuth GmbH (LTB)** spécialisée dans les solutions de traitement de l'air pour les industriels. LTB envisage dans les années à venir de diversifier son champ d'action. L'objectif est de proposer des solutions de plus en plus pointues dans le domaine du traitement de l'air afin de répondre au mieux aux besoins des industriels. Une partie du personnel et des moyens financiers sont par conséquent investis dans le développement de nouvelles technologies.

En particulier, ils souhaitent se spécialiser dans le traitement d'effluents gazeux riches en matières goudronnées. Ces dernières posent de nombreux problèmes lorsque le goudron se refroidit et se solidifie. L'objet de ce stage était donc la **recherche et l'optimisation d'un système d'éléments chauffants pour le fonctionnement optimal d'un clapet « by-pass »**. En effet, cet élément du système de traitement peut être amené à se bloquer lorsque la température est trop faible. Je suis la deuxième personne à avoir travaillé à l'élaboration de ce système. Précédemment, monsieur Neuner a fait un état des lieux des technologies possibles à mettre en œuvre et a débuté une phase d'expérimentations. Il en est venu à la conclusion que la solution la plus économique et facile à intégrer était l'utilisation d'éléments chauffants placés à des points stratégiques de l'installation.

Suite à une première entrevue avec mon maître de stage, nous avons dégagé plusieurs axes de travail : choix du type d'éléments chauffants, réalisation du dessin technique du clapet, phase d'expérimentations et enfin la réalisation d'un rapport de recherche. Afin d'expliquer le travail que j'ai pu accomplir lors de mon stage, mon rapport va s'organiser de la manière suivante.

La première partie sera consacrée à une synthèse des précédentes recherches faites sur ce projet de développement technologique.

La seconde partie traitera du matériel utilisé et des méthodes mises en application pour la phase expérimentale.

Enfin, la troisième et dernière partie sera un bilan de tous les résultats obtenus de cette étude d'ingénierie ainsi que les conclusions qui peuvent en être tirées.

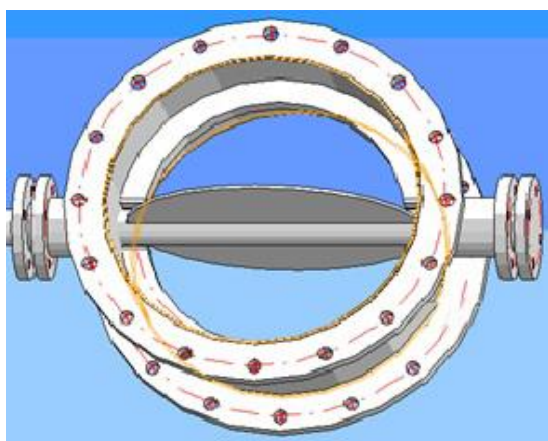
# I. Synthèse des recherches

Je n'ai pas eu à faire de recherche bibliographique à proprement parlé. En effet, le but de mon stage était de poursuivre le travail effectué par Frank NEUNER, étudiant en génie des procédés à l'Université de Augsburg. Cette partie sera donc consacrée à la synthèse des recherches qu'il a effectué.

## A. Problématique

Comme décrit précédemment dans la partie « Introduction », le traitement des effluents gazeux riches en matières goudronnées apporte certains problèmes de conception. En effet, dès lors que la température de l'installation devient inférieure à la température de fusion du goudron, les particules de goudron se solidifient et s'agglomèrent sur les parois du clapet (cf. Figures 2 et 3). Le goudron se retrouve en l'occurrence entre la surface du clapet et celle de sa butée, formant un complexe entre les deux éléments (cf. Figure 4). Ainsi, la matière accumulée autour du clapet devient un frein à son ouverture jusqu'à le bloquer complètement, ce qui peut s'avérer critique surtout pour un clapet by-pass.

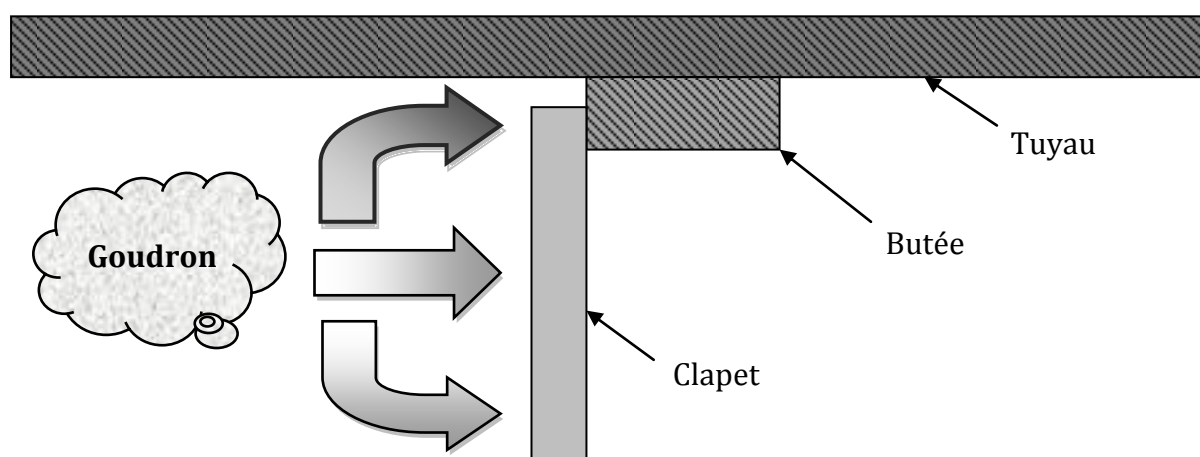
**Figure 2**



**Figure 3**



**Figures 2 et 3:** Présentation du clapet : dessin technique (Figure 2) et photographie (Figure 3).



**Figure 4:** Schéma explicatif de la problématique.

L'alternative possible à ce problème est de chauffer la zone critique afin de fournir une température suffisante pour liquéfier le goudron, c'est-à-dire atteindre une température supérieure à la température de fusion de celui-ci.

## B. Technologies

Plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre pour réchauffer la surface métallique de la butée. Voici une liste récapitulative des différentes technologies pouvant être utilisées :

- **Les aérothermes**

- **Avantages** : bonne accessibilité si il y a un défaut du système du fait que l'ensemble est à l'extérieur.
- **Inconvénients** : système trop coûteux à l'achat.



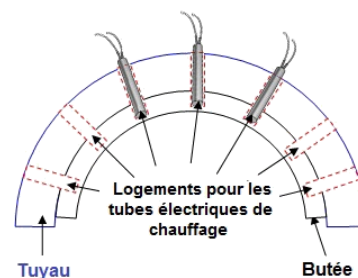
- **Les aérothermes pneumatiques**

- **Avantages** : aucun ventilateur n'est nécessaire.
- **Inconvénients** : consommation d'air comprimé.



- **Les tubes électriques de chauffage**

- **Avantages** : contact direct avec le milieu de la butée, prix assez faible (10-20 € pour 50 pièces).
- **Inconvénients** : complexité de fabrication et fragilisation de la structure avec les orifices.



- **Les éléments chauffants tubulaires**

- **Avantages** : technologie peu coûteuse (100€ l'unité).
- **Inconvénients** : leur forme diminue la surface de contact avec la butée de forme carrée.



- **Les éléments chauffants plats**

- **Avantages** : meilleure transmission de chaleur avec une plus grande surface de contact avec la butée, coût d'achat (100€ l'unité).
- **Inconvénients** : seulement de grands rayons de flexion possibles.



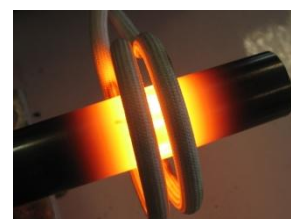
- **Les manchettes chauffantes**

- **Avantages** : simplicité d'installation, thermomètre intégré.
- **Inconvénients** : cher (environ 2000 € l'unité), pas très résistant à l'humidité et mécaniquement.



- **Chauffage à induction**

- **Avantages** : haut degré d'efficacité, l'objet à chauffer est chauffé directement.
- **Inconvénients** : coût d'acquisition élevé, difficulté à placer la partie à réchauffer dans le champ magnétique.



⇒ Meilleure solution = **éléments chauffants plats**

## II. Matériel et méthodes

Pour réaliser les expérimentations sur le chauffage d'un clapet « by-pass », différents appareils ont été utilisés et des méthodes de mesure les plus adaptées à la situation ont été mises en œuvre.

### A. Matériel

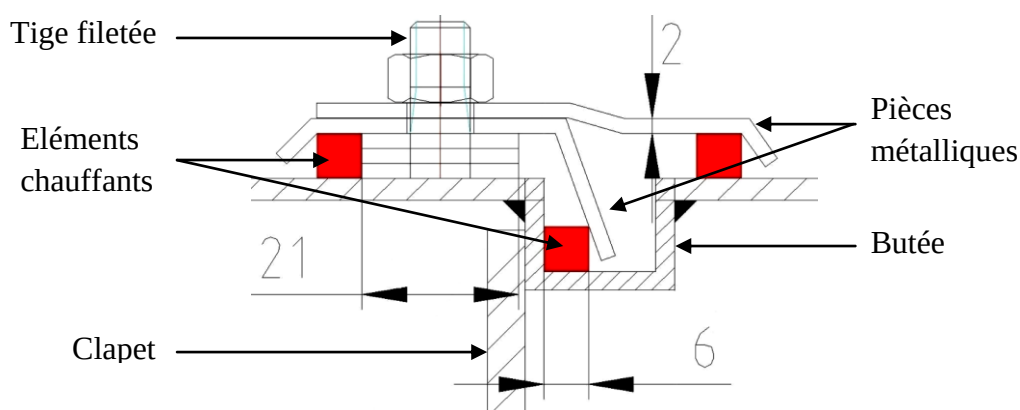
#### 1. Installation de recherche

Une installation a été fabriquée spécialement pour effectuer les différentes recherches. Afin de réduire les coûts liés à cette phase de développement, le clapet est de petite taille par rapport à ce qu'il sera en réalité. De plus c'est un demi-tuyau, toujours pour un aspect d'optimisation des coûts mais aussi pour faciliter la mesure des températures (cf. II.B). Les résultats obtenus seront théoriquement applicables à un équipement de taille plus grande, proportionnelle à cette installation. Elle a été construite avec le même métal qui sera utilisé plus tard pour les systèmes de traitement de l'air. Voici les caractéristiques ci-dessous de l'installation de recherche:

- Matériau: acier 16Mo3 allié (résistant au fluage),
- Diamètre: DN 500 (mm),
- Températures:  $T_{\max}$ : 320°C,  
 $T_{\text{norm}}$ : 300°C,
- Butée: largeur = 18 mm; hauteur = 12 mm.



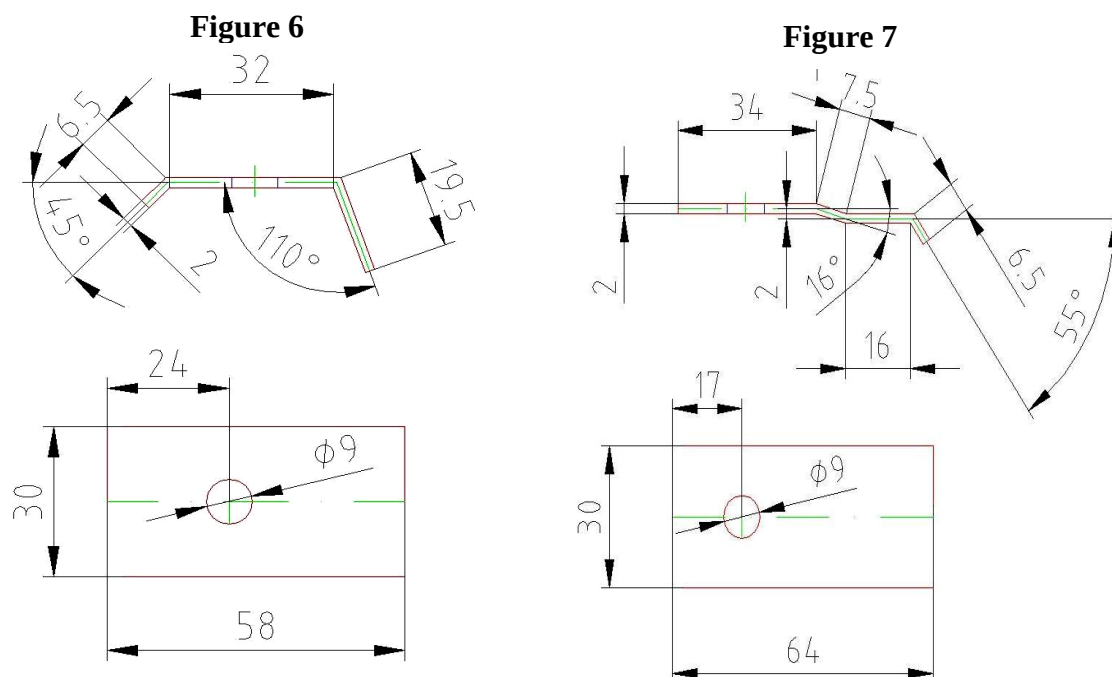
La butée a été spécialement conçue pour pouvoir loger un élément chauffant, elle est donc creuse (cf. Figure 5). Le design du système de fixation a aussi été étudié pour pouvoir bloquer 1,2 voire 3 éléments chauffants en même temps tout en ayant un démontage pour modifier facilement la configuration (cf. Annexe 3). Pour se faire, à 3 endroits de la demi-courbe, une tige filetée est soudée.



**Figure 5:** Dessin technique du système de fixation.

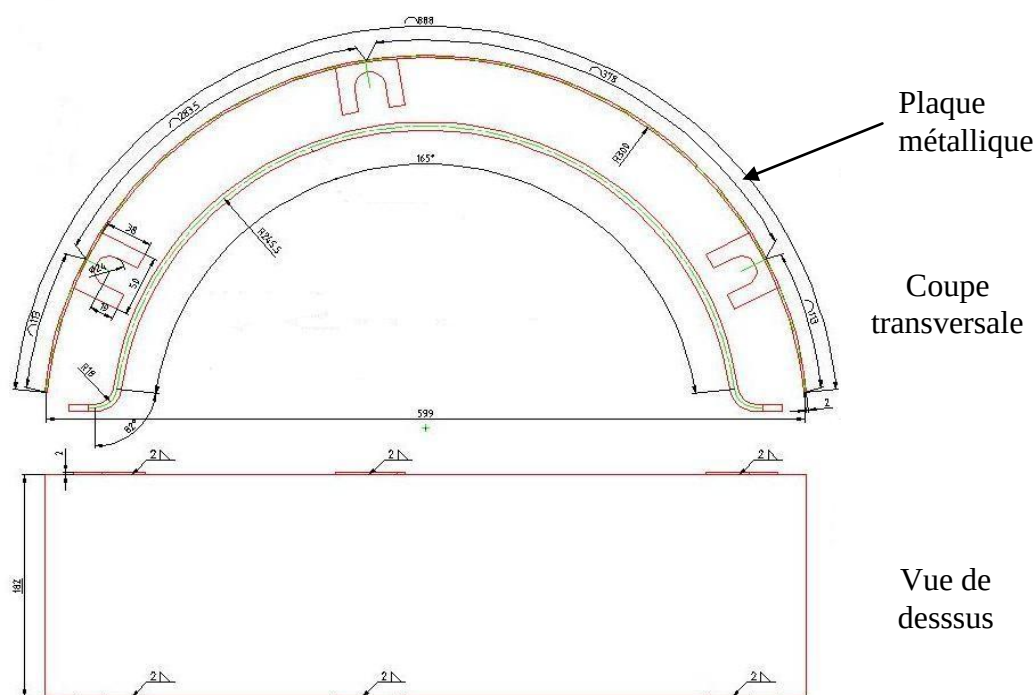


Deux types de pièces métalliques (cf. Figures 6 et 7) ont aussi été dessinés permettant le maintien des éléments chauffants. La première (Figure 6) permet de fixer un ou deux éléments et l'autre (Figure 7) sert pour la fixation du troisième.



**Figures 6 et 7:** Dessin technique des pièces métalliques : pièce métallique n°1 (Figure 6) et pièce métallique n°2 (Figure 7).

Une plaque métallique (cf. Figure 8) est aussi nécessaire pour refermer l'ensemble de la structure et maintenir la chaleur au cœur du système en comblant le vide par deux épaisseurs d'une couche isolante (céramique- 20mm). La plaque se rattache au clapet à l'aide des visses le composant.



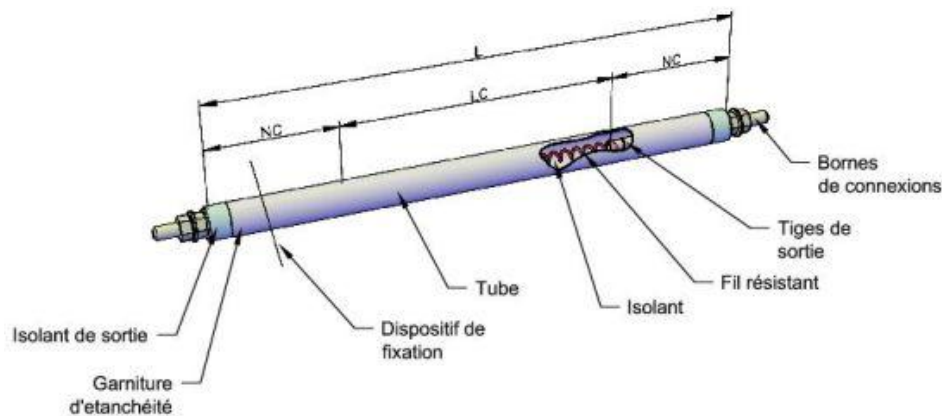
**Figures 8:** Dessin technique de la plaque métallique, coupe transversale du système et vue de dessus.



## 2. Appareillage

### a. Eléments chauffants

Un élément chauffant (cf. Figure 9) est un système fonctionnant sur le même principe qu'une résistance chauffante. Il est constitué d'un matériau conducteur à base de métal présentant une résistance électrique au passage d'un courant qui la porte à une température donnée par effet joule, le tout protégé par un fourreau. Généralement la résistance électrique est constituée d'un fil résistif en nickel chrome 80/20 centré dans un tube de protection, rempli de magnésie électrofondue de très haute qualité. Compactée par laminage à froid, elle assure un excellent transfert thermique. Chaque extrémité de l'élément blindé est constituée d'une partie non chauffante sur laquelle est assuré le raccordement électrique.



**Figure 9:** Schéma d'un élément chauffant.

Les éléments chauffants utilisés sont de type plat, commercialisés par la société Türk + Hillinger GmbH Elektrowärme présentant les caractéristiques suivantes :

- Différentes Mesures: 13mm x 5,5mm, 17mm x 6mm, 22mm x 6mm.
- La longueur peut aller jusqu'à 7000mm.
- La température maximale de fonctionnement est de 700°C.
- La puissance appliquée peut aller jusqu'à 10kW et elle est dépendante de la longueur.

La géométrie des éléments chauffants a été pensée afin de maximiser la surface de contact avec la butée pour avoir une meilleure diffusion de chaleur entre la surface métallique et l'élément chauffant.

### b. Appareils électriques

Afin d'appliquer la puissance nécessaire aux éléments chauffants, des appareils électriques ont été utilisés :

- Trafo (RFT-Sparstelltrafo SST 250/20): Il permet de fournir à l'appareil souhaité une tension comprise entre 0 et 250V.
- Ampèremètre (Hioki 3100): Il permet de mesurer le courant résultant de la tension appliquée avec le trafo.



## c. Appareils de mesure

Différents appareils de mesure ont été utilisés afin de faire une étude complète du système en suivant efficacement l'évolution de la température :



- Un thermomètre de surface avec un thermocouple à lamelles souples (Testo 905-T2) :
  - Plage de mesure de -50 à +350°C, pouvant monter, temporairement (de 1 à 2 minutes), jusqu'à +500°C.
  - Ecran large pivotant facilitant la lecture dans toutes les positions.
  - Précision :  $\pm 1^{\circ}\text{C}$



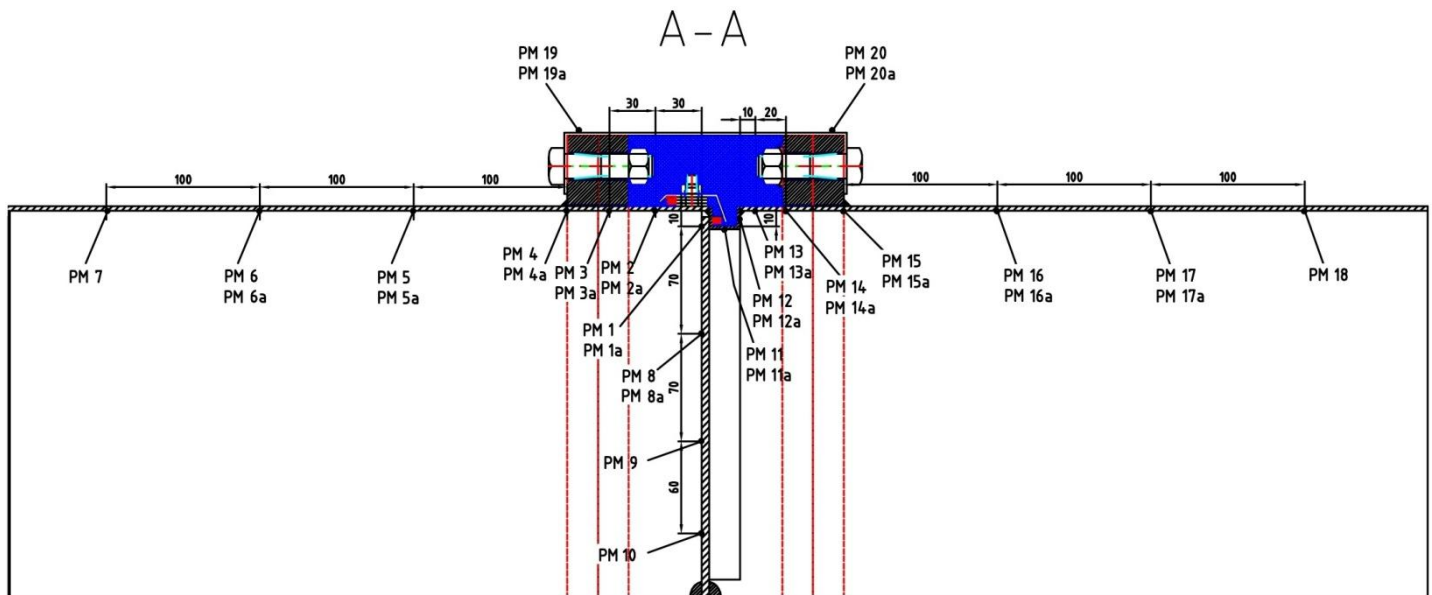
- Un thermomètre infrarouge portable (ThermoMETER LS – Micro Epsilon):
  - Visée laser crossX donnant un spot de 1 mm pour mesurer la température sur très petite cible.
  - Pied pour mesurer une température fixe, ainsi qu'un port usb pour relier l'appareil à un ordinateur pour une mesure en continu.
  - Plage de mesure : de -35 à +900°C
  - Plage spectrale : de 8 à 14  $\mu\text{m}$
  - Précision :  $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$



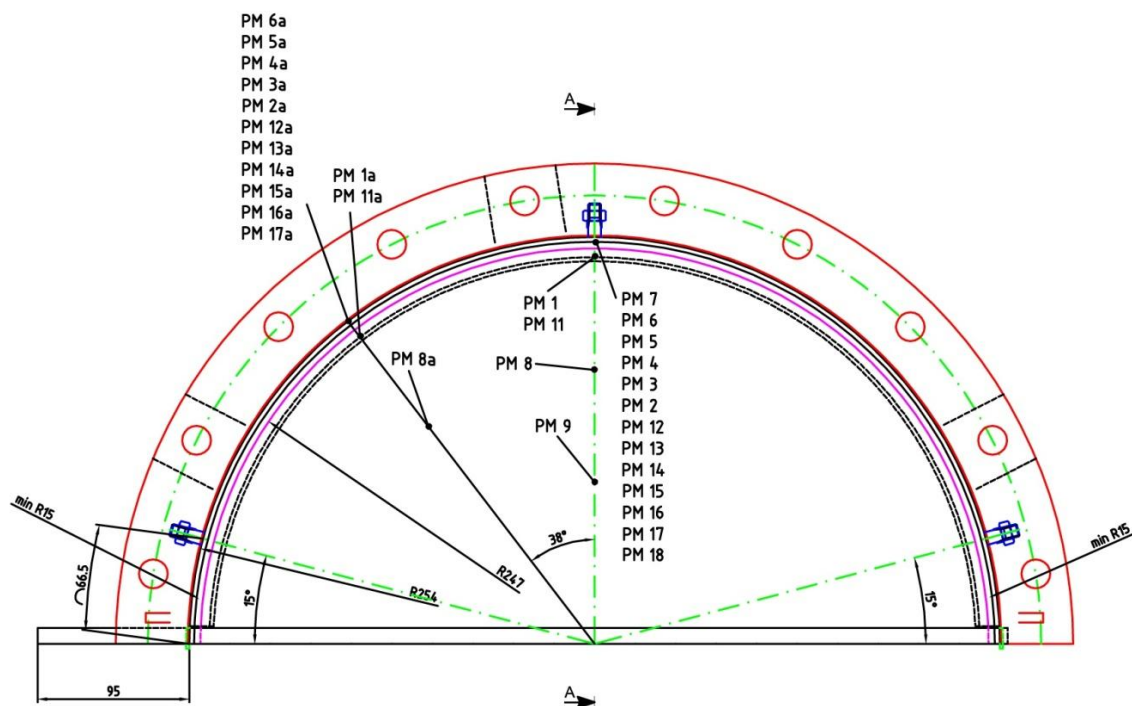
- Un thermomètre numérique enregistreur (Votcraft 306):
  - 2 canaux pour brancher des sondes de température filaires de type K.
  - Plage de mesure: de -200 à +1370°C
  - Précision :  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

## B. Méthode de mesure des températures

Les différents points de mesure ont du être définis avec précision pour avoir un suivi des températures le long du clapet mais aussi le long du tuyau (cf. Figures 10 et 11). Pour se faire, deux types de points de mesure ont été spécifiés. Les points de mesure PM sont ceux se trouvant sur l'axe d'un système de fixation. Les autres points de mesure, PM a, se situent aux mêmes distances que précédemment à la différence qu'ils sont positionnés sur un axe situé au milieu de l'arc formé entre 2 systèmes de fixation.



**Figure 10:** Position des différents points de mesure (coupe longitudinale).



**Figure 11:** Position des différents points de mesure (coupe transversale).

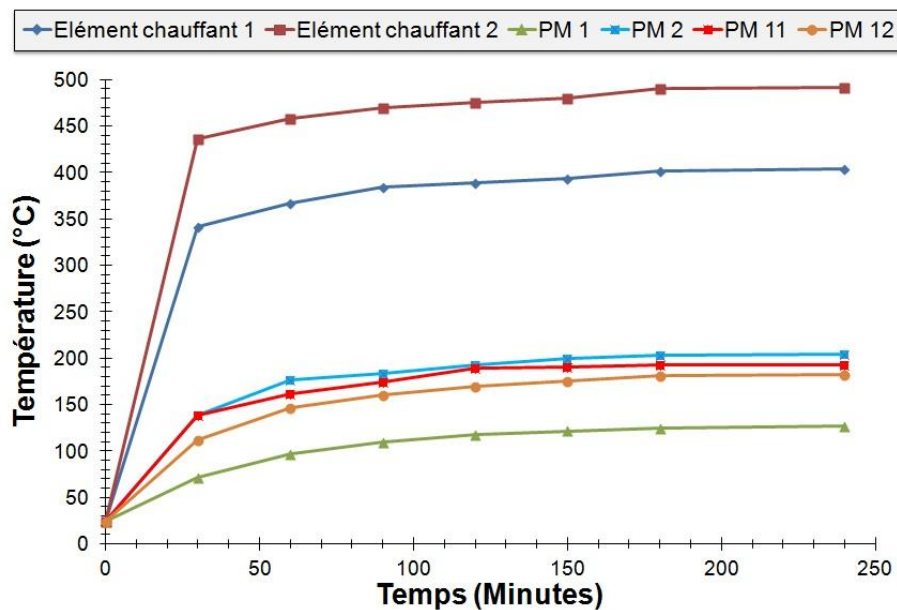
Le thermomètre de surface Testo 905-T2 a donc permis de mesurer les différents points de mesure. Il fonctionne avec la technologie du thermocouple. Ce dernier se compose de deux fils métalliques de natures différentes, soudés à une de leurs extrémités. Lorsque l'on chauffe le point de contact des métaux différents et les autres extrémités à des températures différentes, il se crée entre ces points une différence de potentiel  $V$  fonction de la différence de température. Il n'existe pas de méthodes normalisées pour la détermination des températures d'une surface métallique. Toute la difficulté est d'assurer un contact intime entre la surface à mesurer et la sonde. Pour effectuer la mesure, il s'agit de positionner les lamelles souples sur le point de mesure choisi, et ensuite d'appuyer intensément pour les plaquer contre la surface métallique. Une fois cette température stabilisée, la même opération est effectuée de nouveau pour vérifier le résultat obtenu précédemment. Lorsque les deux mesures sont cohérentes, cette valeur est retenue.

# III. Résultats et discussions

## A. 2 éléments chauffants

### 1. Evolution de la température au cours du temps

Cette recherche a été faite avec une tension de 230V correspondant à un courant de 3A, le tout correspondant à une puissance de 690W. On retrouve en effet une tension identique chez Carbone Savoie, site basé en France à l'origine du projet et qui fera l'objet de la première installation.



**Figure 12:** Evolution de la température des éléments chauffants (Voltcraft 306) et de points de mesure (Testo 905-T2) au cours du temps.

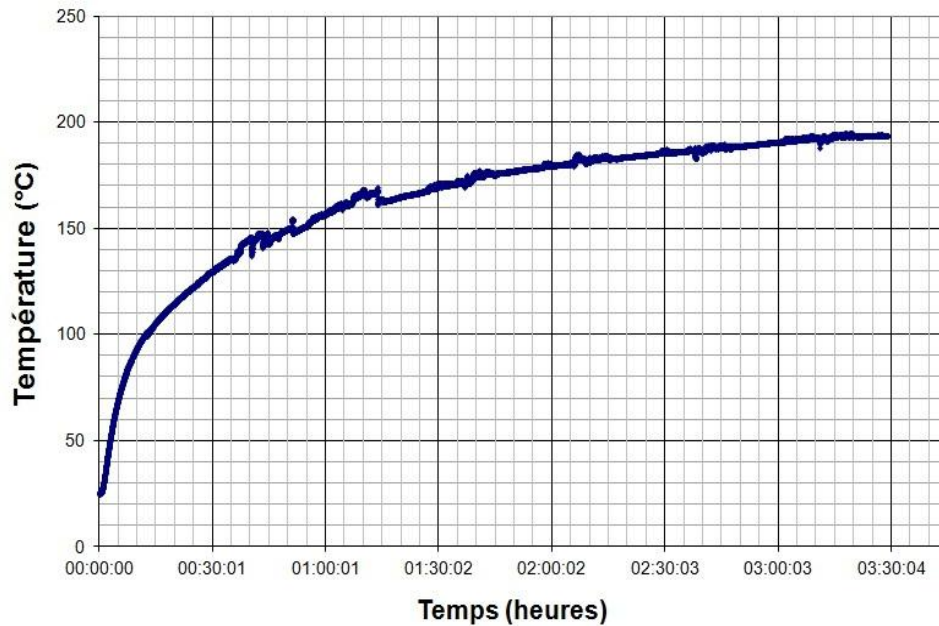
Ce graphique montre l'évolution de la température en fonction du temps des deux éléments chauffants et des points de mesure jugés importants en raison de leur proximité avec la butée. Après lecture de ce graphique, il est à noter que la température se stabilise après 3 heures de fonctionnement. Toutefois, des températures satisfaisantes de l'ordre de 110-120°C qui permettraient d'obtenir la fusion du goudron, sont atteintes 90 minutes après le début de l'expérience.

Une observation de la température à l'extrémité de butée a aussi été menée avec le thermomètre infrarouge (ThermoMETERLS – Micro Epsilon) posé sur un pied afin de mesurer la température d'une position fixe. C'est une zone primordiale de notre installation car c'est le point critique du système.





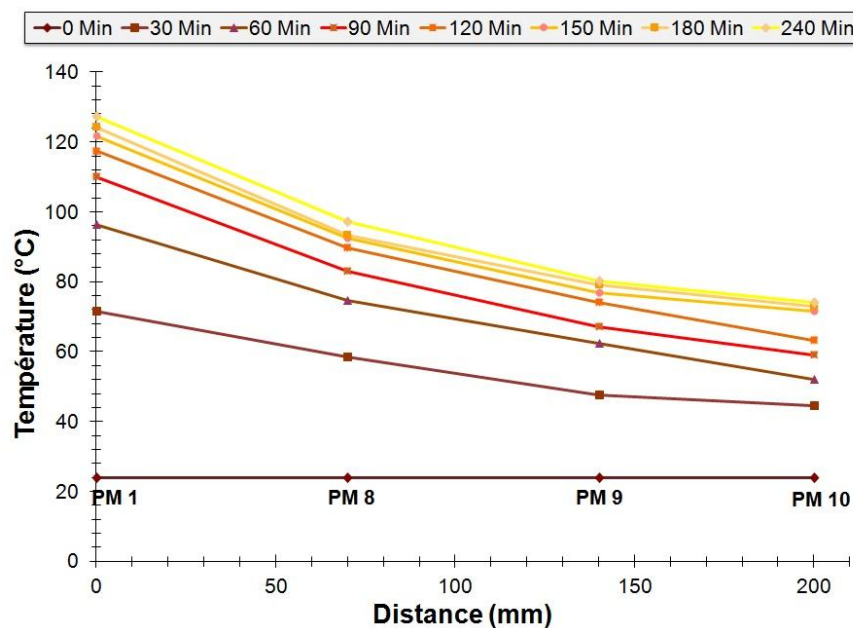
Les résultats obtenus, par acquisition informatique toutes les secondes, sont reportés sur le graphique ci-dessous :



**Figure 13:** Evolution de la température de la butée au cours du temps avec le thermomètre infrarouge portable.

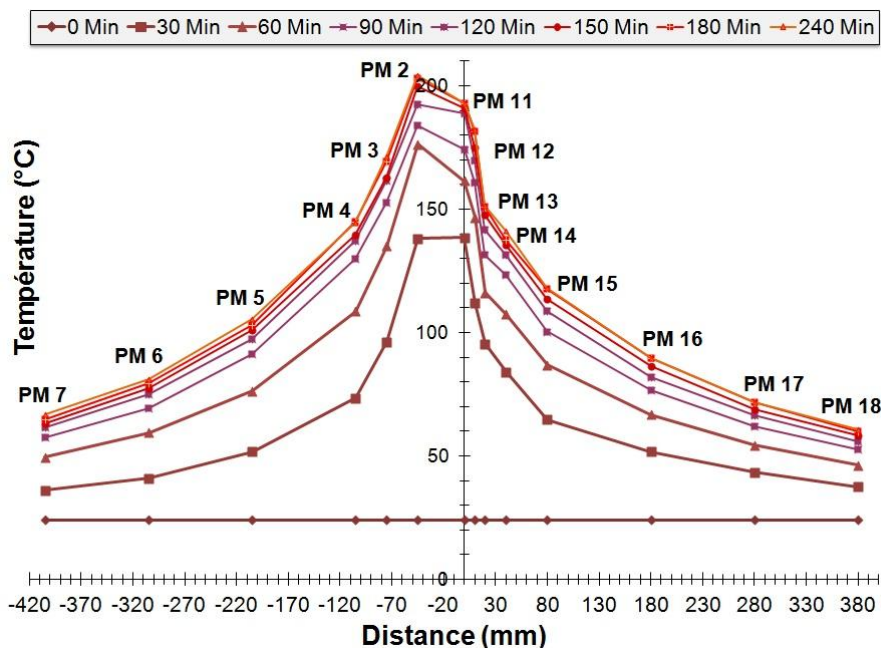
A l'état stationnaire, la température de la butée métallique atteint 200°C avec cette puissance électrique (690W).

L'évolution de la température de différents points de mesure (direction radiale par rapport à la butée) a aussi été mesurée du temps :



**Figure 14:** Evolution de la température de différents points de mesure en fonction du temps dans la direction du clapet (radiale).

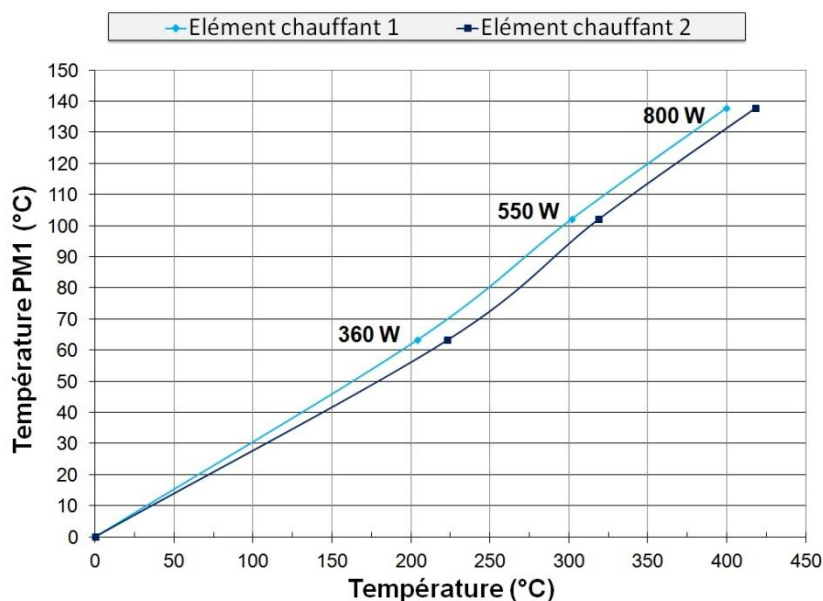
Le même travail a été effectué pour un suivi de la température en fonction du temps dans la direction tangentielle de l'installation.



**Figure 15:** Evolution de la température en fonction du temps de différents points de mesure dans la direction tangentielle.

## 2. Evolution de la température en fonction de la puissance de chauffage

Une fois le travail précédent effectué, il était intéressant de s'intéresser à la température qu'un point de l'installation pouvait atteindre en fonction de la puissance électrique appliquée aux éléments chauffants. Les graphiques de ce type ont été obtenus, ici l'exemple du point de mesure 1:

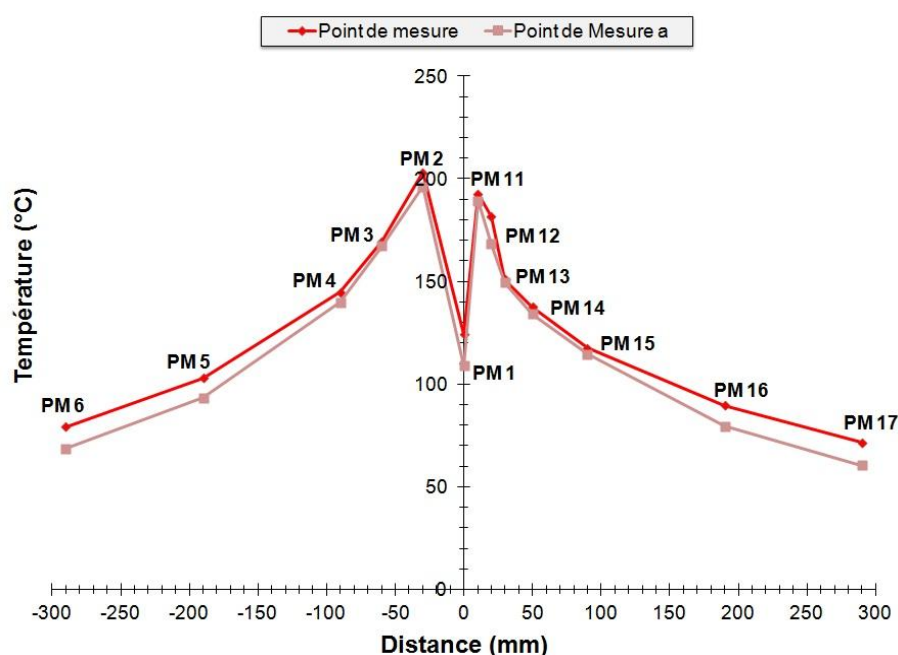


**Figure 16:** Evolution de la température du point de mesure 1 en fonction de la température des éléments chauffants et de la puissance électrique.

Ainsi, par simple lecture graphique, il est possible de déterminer la température qu'il faut pour chacun des éléments chauffants pour obtenir la température souhaitée au niveau du point de l'installation. Par exemple, pour atteindre 100°C au point de mesure 1, il faut que l'élément chauffant 1 atteigne 295°C et le deuxième 340°C.

### 3. Comparatif des mesures de température point de mesure/point de mesure a

Deux types de points de mesure ont été choisis afin d'assurer le suivi de la température en fonction du temps (cf. II.B). Les points de mesure classiques sont disposés sur le même axe que le centre de l'élément chauffant tandis que les points de mesure a ont été positionnés à équidistance entre 2 éléments chauffants. L'évolution de la température des différents points de mesure donne des allures de ce type :

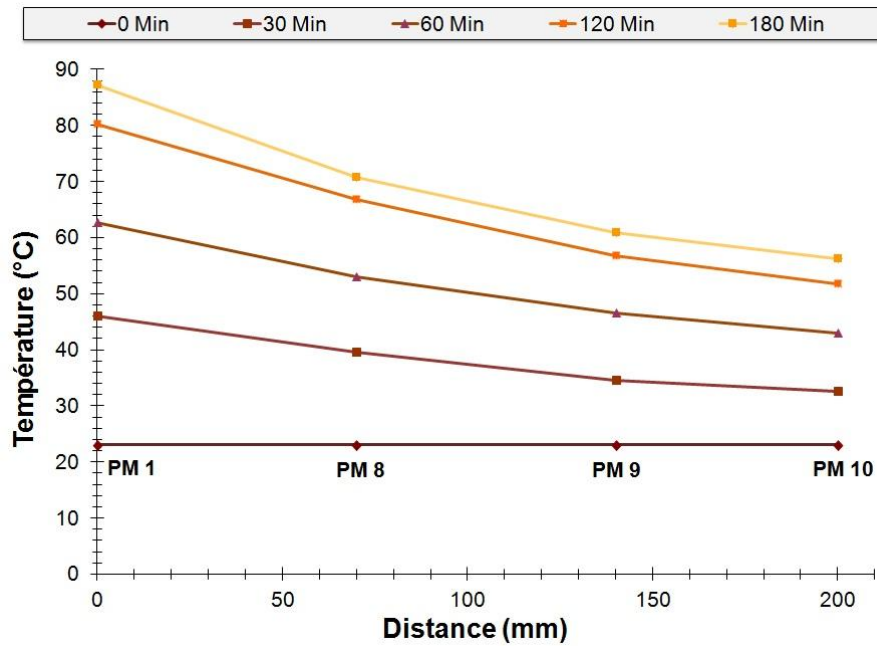


**Figure 17:** Comparatif des valeurs des points de mesure PM et PMa.

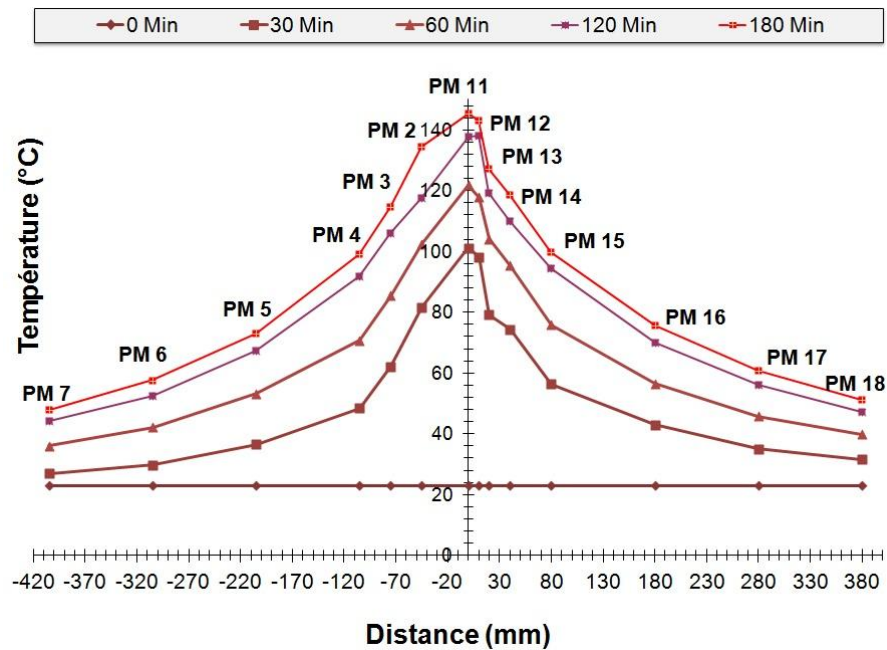
Ainsi, plus on s'écarte de la butée et plus la différence de température entre les points de mesure PM et PMa est marquée. La chaleur a tendance en effet à rester en hauteur de par son principe de diffusion. C'est exactement là où sont placés les points de mesure PM expliquant ainsi leurs valeurs plus fortes que celles des points de mesure PMa.

## B. 3 éléments chauffants

Une étude identique à celle effectuée précédemment a de nouveau été réalisée mais cette fois-ci avec trois éléments chauffants montés en série et placés comme sur la Figure 5. Les résultats importants sont exposés par la suite sans trop détailler par rapport au cas précédent.



**Figure 18:** Evolution de la température de différents points de mesure en fonction du temps dans la direction du clapet (radiale).



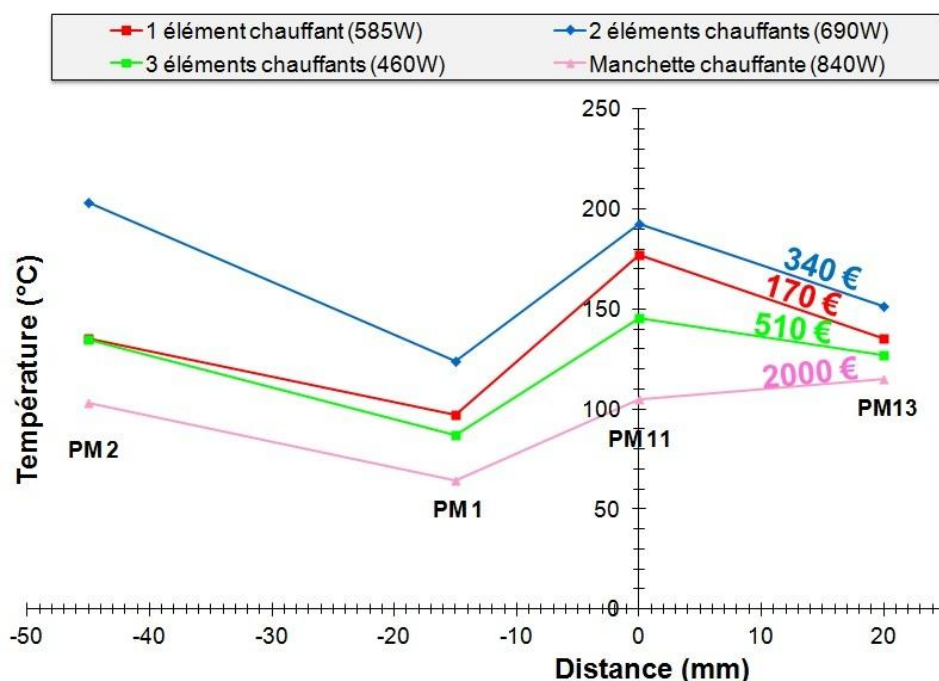
**Figure 18:** Evolution de la température en fonction du temps de différents points de mesure dans la direction tangentielle.

Après analyse des résultats obtenus avec trois éléments chauffants, la majeure observation est que les températures évoluent de la même façon que dans le cas avec deux éléments chauffants. En effet, la température décroît le long du clapet et les températures les plus chaudes sont obtenues aux environs de la butée, ce qui est tout à fait logique d'après l'emplacement des éléments chauffants. De plus, il est à noter que les températures atteintes aux différents points de mesure sont plus faibles qu'avec deux éléments chauffants. C'est pourquoi, l'expérience précédente a été plus détaillée.



## C. Comparatif

Une fois les mesures effectuées, il est intéressant de mettre en confrontation les résultats obtenus pour en déduire la situation optimale pour le moment. Les valeurs avec un élément chauffant placé uniquement dans la butée et avec la manchette chauffante sont issues du travail réalisé par Frank NEUNER. Les autres proviennent des expérimentations détaillées dans les parties III.A et III.B. Les différentes valeurs des points de mesure primordiaux pour les expériences avec un, deux et trois éléments chauffants ainsi que ceux réalisés avec la manchette chauffante sont mises en relation avec le coût de ces systèmes, calculé pour une installation complète. Tous les résultats sont reportés sur le graphique ci-dessous :



**Figure 19:** Comparatif économique des températures des points de mesures primordiaux pour différentes configurations du système.

Au vue de la Figure 19, il paraît clair que le **meilleur rapport qualité/prix** est le système composé de **deux éléments chauffants**. Il permet d'atteindre des températures supérieures à la température de fusion du goudron tout en ayant un coût d'acquisition raisonnable.

## D. Bilan de l'étude et perspectives

### 1. Bilan

Le problème majeur de cette étude aura été la difficulté de mesurer les différentes températures aux différents points de mesure. C'est en effet une opération complexe que de mesurer avec précision ce type de températures comme il n'y a pas de méthodes normalisées. Mesurer une température de surface est une opération difficile, sujette à de nombreuses erreurs

et qui nécessite beaucoup de précautions. Les principales difficultés rencontrées lors de la mesure d'une température de surface sont liées à la complexité géométrique ou physico-chimique de la surface, à la notion même de température, au principe de sa mesure, et enfin aux interactions de la surface avec l'environnement.

Pour contourner ce problème, une solution possible serait d'utiliser une caméra thermique pour connaître avec précision la température à n'importe quel endroit de l'installation. Elle permet d'enregistrer les différents rayonnements infrarouges (ondes de chaleur) émis par les corps et qui varient en fonction de leur température. Toutefois, il faudra veiller à l'émissivité du métal qui peut entraîner une erreur de mesure mais certains appareils permettent de la compenser.

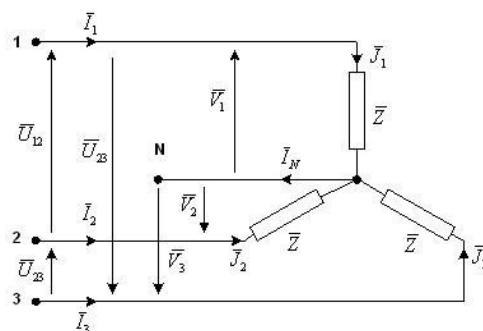
## 2. Perspectives d'évolution

Plusieurs points peuvent amener à une amélioration du système.

Tout d'abord, il serait pertinent de faire une analyse physico-chimique des prélèvements de goudrons effectués dans les fours présents chez Carbone Savoie. En l'occurrence, nous devons connaître la température de fusion du goudron dans le cas présent. Ce serait très utile de connaître avec plus de précision cette donnée car elle nous permettrait de fixer les températures aux points stratégiques s'approchant au plus de cette valeur. Ce type d'analyse est sûrement possible d'être effectué à l'université de Bayreuth comme il y a un département chimie. LTB, accueillant chaque année de nombreux étudiants de l'Université de Bayreuth, pourrait mettre à profit les liens étroits liés avec cet établissement de formation.

Une amélioration du système de fixation des éléments chauffants paraît inéluctable. Avec le recul de cette étude, il serait plus judicieux d'augmenter le nombre de points de fixation. Les éléments chauffants ont tendance à se courber laissant ainsi une zone de non contact entre la zone à chauffer et l'élément chauffant. Vraisemblablement, avec 5 points de fixation, ce phénomène serait largement amélioré.

Les températures atteintes avec 3 éléments chauffants n'étaient pas assez suffisantes (cf. III.B). Il serait toutefois possible de brancher ces éléments en utilisant le montage électrique en étoile au lieu d'un branchement en dérivation. Dans ce cas, plus de puissance serait fournie à chaque élément et donc cela permettrait d'attendre des températures plus élevées.



Enfin, lorsque tous ces points seront réglés, il serait intéressant de construire une installation de taille réelle en utilisant un clapet comme celui qui serait utilisé chez les futurs clients. Ce serait l'occasion de voir si tout est en ordre. Des mesures de température pourraient être de nouveau effectuées afin de vérifier l'adéquation entre les valeurs obtenues et celles souhaitées pour liquéfier le goudron.

# Conclusion

D'un point de vue personnel, ce stage m'a permis de parfaire mes connaissances en traitement de l'air acquises lors de l'enseignement de deuxième année de cycle ingénieur. Cela a été très enrichissant car je souhaitais avoir une autre approche du traitement que celle de l'eau, domaine dans lequel je souhaite travailler pour la suite de ma carrière.

Ce stage était aussi l'opportunité de découvrir le monde de la R&D. C'est un univers à part car les technologies développées doivent rester confidentielles et il faut parfois faire preuve d'invention pour répondre à certaines problématiques.

De plus, j'ai aussi eu l'opportunité de découvrir la culture allemande sous toutes ses facettes que ce soit pour la vie au sein de l'entreprise ou bien celle de tous les jours. C'est une tout autre façon de penser que nous. J'ai remarqué qu'ils étaient très méthodiques et carrés, ce qui correspond pleinement à ma vision du travail. Ce ne pourra donc qu'être formateur pour mes prochaines expériences professionnelles.

Enfin, j'ai pu me familiariser avec un logiciel de conception assistée par ordinateur, AutoCAD. Ce logiciel m'a surtout aidé pour la phase de création des pièces métalliques. Le fait d'avoir manipulé AutoCAD au cours de ce stage n'est qu'un plus car c'est le logiciel de référence en matière de dessin industriel et je serais sûrement amené à l'utiliser pour la conception d'usines de traitement de l'eau.

Si l'on reprend les objectifs initiaux qui m'ont été fixés avant la réalisation de mon stage, la quasi-totalité a été réalisée. Toutefois, je regrette le fait qu'au début du stage, l'entreprise m'ait laissé sans occupation précise pour que je puisse prendre mes marques. La fin du stage a ainsi été très chargée pour pouvoir conclure la mission qui m'a été proposée. J'aurais préféré pouvoir gérer plus facilement mon travail en l'étalant sur la période du stage et ne pas être pressé par le temps.

Enfin, la partie conception m'a paru la plus intéressante car il y avait un objectif concret au final et j'en avais la responsabilité. Ce fût très formateur car il a fallu se soucier de tout et trouver parfois des solutions en accord avec mes responsables. Nous sommes arrivés à trouver une réponse fonctionnelle. Toutefois, cette étude mériterait d'être poursuivie comme il est mentionné dans la partie « perspectives d'évolutions » (III.D.2).

# Annexes

## ❖ Annexe 1 : Politique HSE

### ➤ Certification SCC (Juillet 2011) :

- La certification SCC (Safety Checklist for Contractors) permet de mettre en place et de formaliser un système de gestion pour la sécurité. Elle se base sur des listes de contrôle qui comprennent des exigences de sécurité, de santé et de protection de l'environnement. Elle est reconnue dans tous les secteurs industriels à l'international.
- Son objectif : aider à prévenir et à réduire le nombre d'accidents et donner des outils pour apporter la preuve à vos partenaires ou à vos clients que vos processus internes ont été évalués selon les meilleures pratiques existantes dans le domaine de la sûreté et de la sécurité au travail.

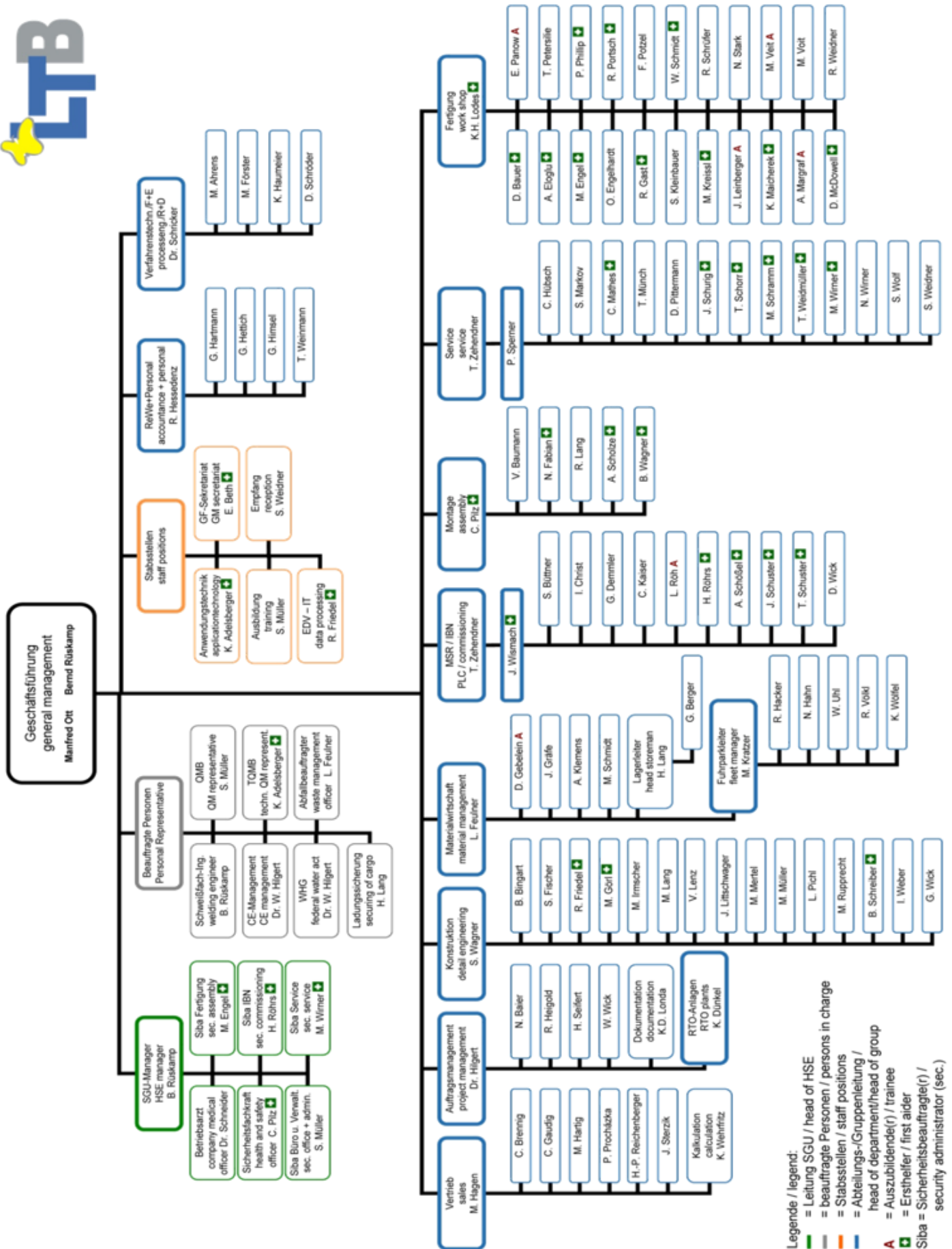


### ➤ Sécurité :

- Port des EPI pour les agents de l'atelier de production : casques, protections auditives, chaussures de sécurité, lunettes de protection, cote de travail.
- Signalisation des dangers avec des pictogrammes dans l'atelier.
- Différentes formations sont proposées : incendie et premiers secours.



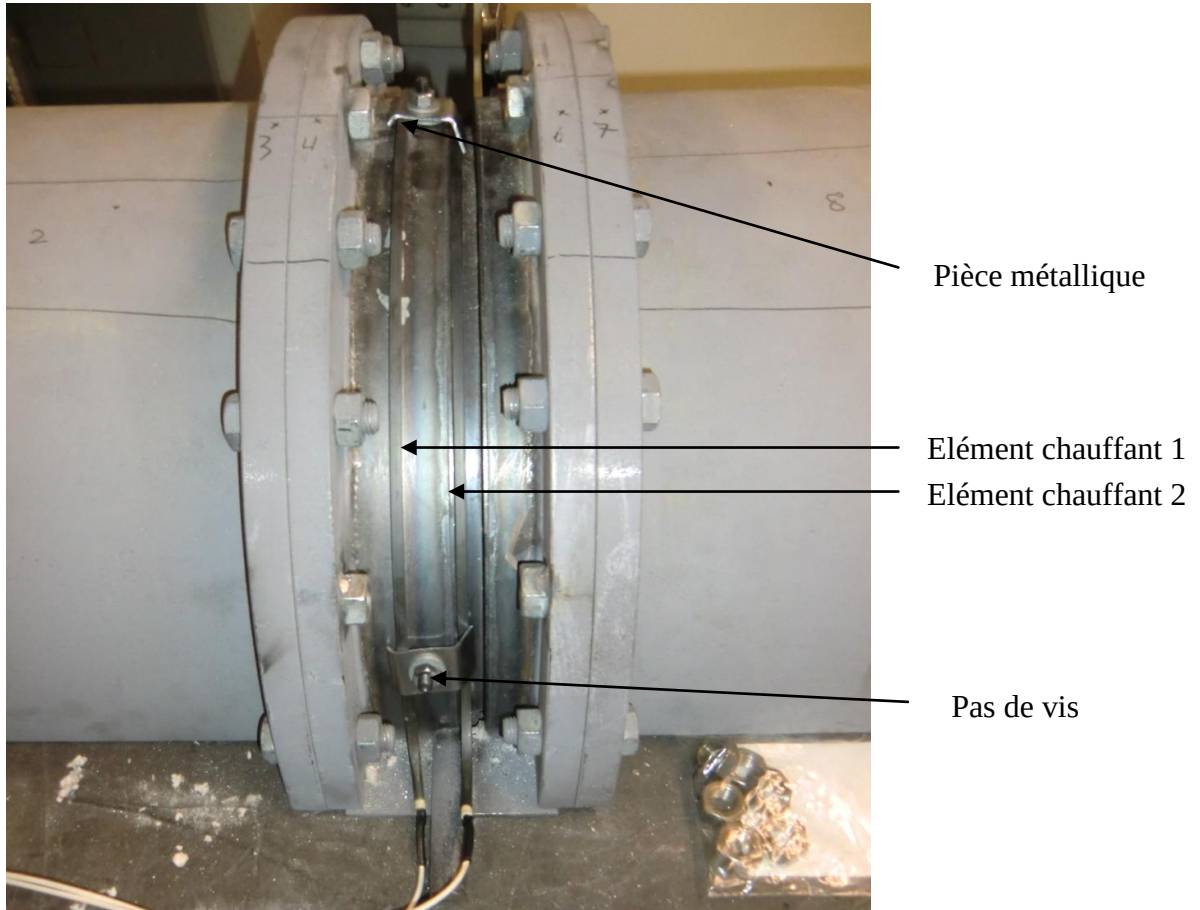
# ❖ Annexe 2 : Organigramme



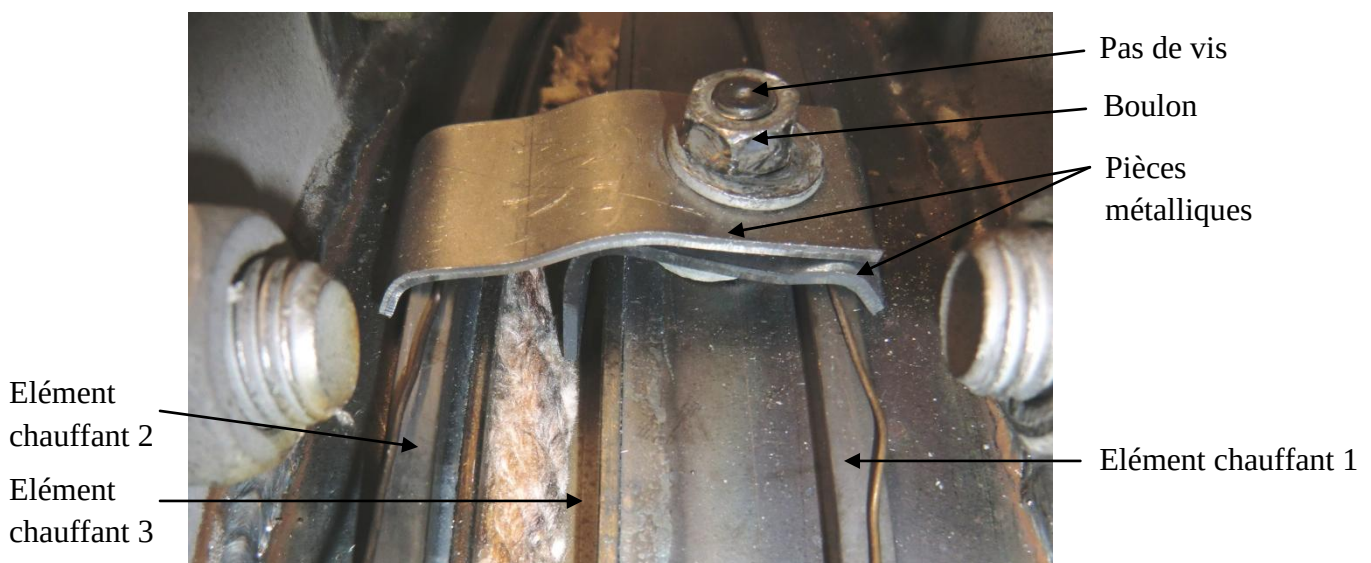
## ❖ Annexe 3 : Montage de l'installation

### ➤ Etape n°1 :

Placer les éléments chauffants et fixer les à l'aide des pièces métalliques et le boulon.



Montage à deux éléments chauffants



Montage à trois éléments chauffants

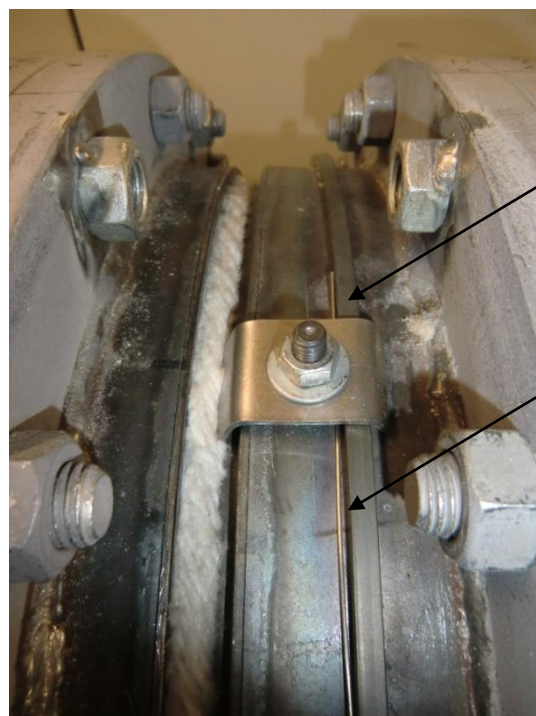
➤ **Etape n°2 :**

Comblir l'espace vide de la butée avec une corde en céramique afin de bloquer tout mouvement de l'élément chauffant.



➤ **Etape n°3 :**

Placer les sondes de température sur les éléments chauffants.



Elément chauffant

Sonde de  
température



➤ **Etape n°4 :**

Déposer la couche isolante (2 couches de 20mm de phases céramiques).



➤ **Etape n°5 :**

Placer le coffrage métallique et bloquer le avec les vis du clapet. Déposer ensuite de part et d'autre du clapet une couche isolante (80 mm – laine minérale).



En raison du renforcement croissant des normes de rejets industriels dans l'atmosphère, le domaine du traitement de l'air va devenir inévitablement un des enjeux principaux de notre société. Les entreprises veillent de plus en plus à leurs émissions de CO<sub>2</sub> notamment en calculant leurs bilans carbone. Des quotas sont accordés chaque année et tout dépassement entraîne une pénalité financière, d'où l'enjeu de les réduire au seuil exigé.

Ainsi, la société Luft-und Thermotechnik Bayreuth GmbH (LTB) conçoit et réalise des installations de traitement de l'air répondant aux exigences d'industriels de différents secteurs d'activité. Les technologies sont variées et dépendent de la nature des gaz à traiter.

Au sein du département Recherche & Développement, le but principal de ce stage était de développer une technologie permettant le traitement des effluents gazeux chargés en matières goudronnées. Ces derniers posent en effet des problèmes pour l'ouverture et la fermeture des clapets car le goudron se solidifie lorsque la température de l'installation est inférieure à sa température de fusion.

La solution la plus simple et la moins coûteuse à mettre en œuvre est de placer des éléments aux points critiques de l'installation (clapets). Ces derniers sont placés à proximité de la butée du clapet pour la porter à la température souhaitée. Les différentes expérimentations menées ont permis de montrer que le système optimal pour le moment est d'utiliser 4 éléments chauffants par clapet. Ce travail doit encore faire l'objet d'une étude plus fine. La mise en place de cette technologie s'effectuera à compter de la fin de l'année prochaine et peut être permettra t-elle de décrocher de nouveaux contrats ?



### Mots clés :

- R&D
- Traitement de l'air
- Eléments chauffants