

# SAE semestre2 : Chaine de trempe

**Processus industriel du traitement thermique de pièces en aluminium**

# SITUATION RÉELLE: MISE EN OEUVRE INDUSTRIELLE

## Traitement de durcissement structural (Trempe + Revenu ou Maturation)

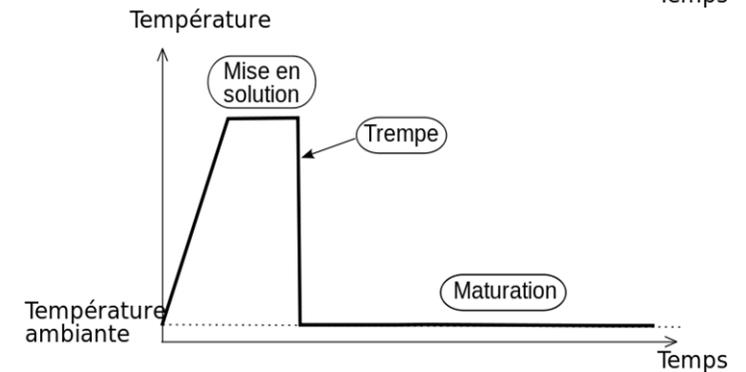
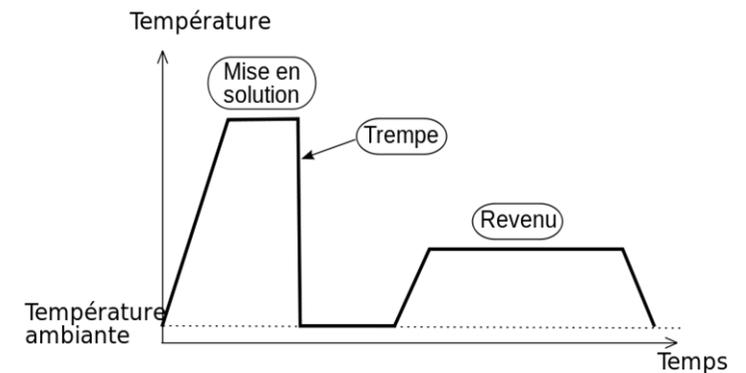
Le traitement est réalisé dans un four sous air possédant une très bonne homogénéité de température. Le refroidissement doit être très rapide. Pour ces raisons, l'eau est souvent utilisée comme milieu de trempe, la pièce à traiter tombe par gravité dans le bac d'eau.

**Etape de mise en solution :** Cette étape consiste à porter les pièces à une température déterminée (500°C env) selon la nuance d'alliage d'aluminium. Comme son nom l'indique, cette étape permet de mettre en solution les différents constituants solubles dans la solution solide.

**Etape de refroidissement (ou trempe) :** les pièces sont plongées rapidement dans un bac d'eau thermo régulé, ou soumises à un gaz. Le temps de transfert et la température de l'eau/gaz sont des éléments importants pour une bonne maîtrise du process : le refroidissement doit être suffisamment rapide pour maintenir la solution solide en sursaturation.

**Etape de maturation et/ou de revenu :** la maturation permet une évolution de la structure métallurgique à température relativement basse (souvent température ambiante). Le revenu s'opère à une température supérieure à celle de la maturation.

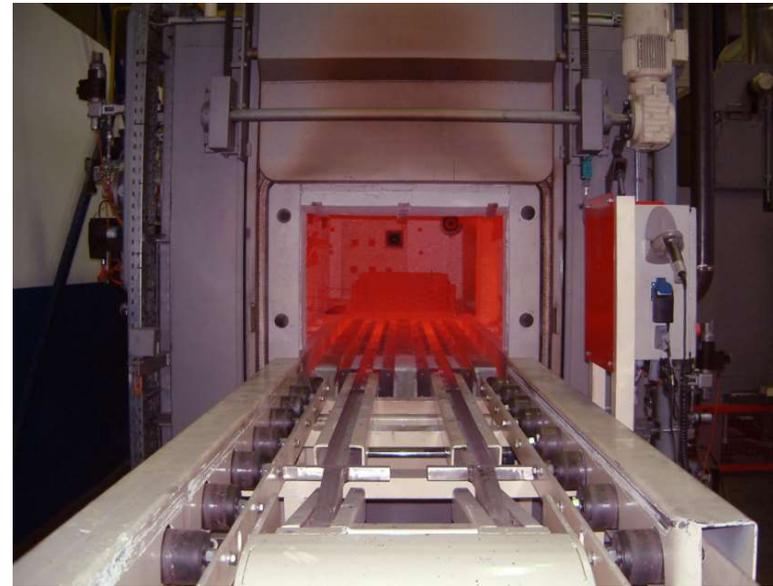
## PROFILS DE TEMPERATURE



FOUR DE TREMPE REEL  
POUR ALUMINIUM  
SANS CONVOYEUR



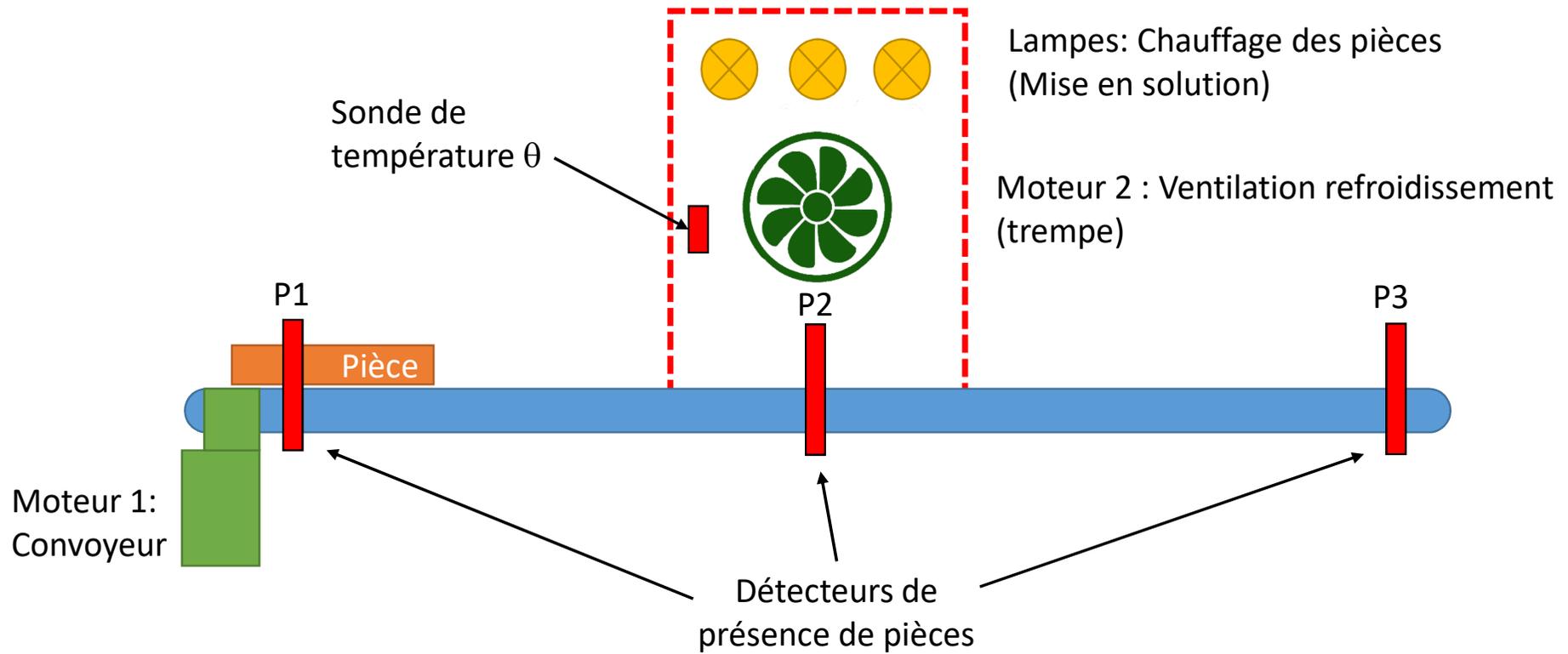
FOUR DE TREMPE REEL  
POUR ALUMINIUM  
AVEC CONVOYEUR



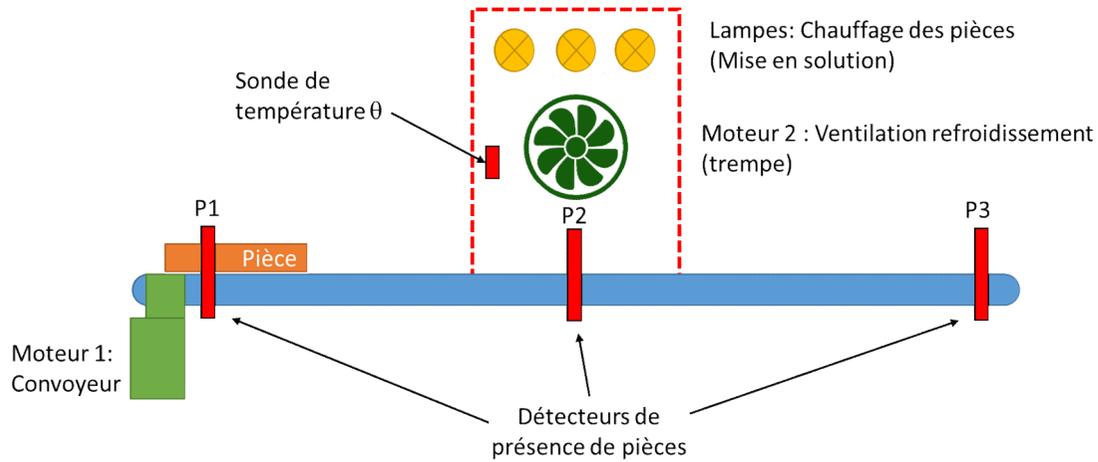
# SITUATION RÉELLE: APPLICATIONS ET SECTEURS D'ACTIVITÉS

- **Construction aéronautique et spatiale** : traitement thermique sur certaines pièces des propulseurs Ariane, qualification QUALIFAS.
- **Construction automobile** : pièces de fonderie, supports de pompe à eau, supports d'alternateur, culasses, supports moteurs, caches culbuteurs, tubulures, raccords pour systèmes de climatisation, charnières de porte pour camion semi frigorifique, ébauches de tiges / 6061, boucles, crampons...
- **Construction poids-lourds** : poussoirs de culbuteurs, armatures ou charnières ...
- **Construction ferroviaire**: crampons de rails, ...
- **Construction mécanique** : fond de citerne, stores déroulants
- **Visserie** (aluminium 7075) : vis, écrous, rivets...
- **Architecture** : mobilier urbain (embases pour poteau de lampadaire)...
- **Équipements sportifs** : moto (couronnes de transmission / 7075, jantes), vélo (cadre, supports de vélo), skis (fixations / 7075)...

# ADAPTATION PEDAGOGIQUE



# ADAPTATION PEDAGOGIQUE



Ampoule : Chauffage

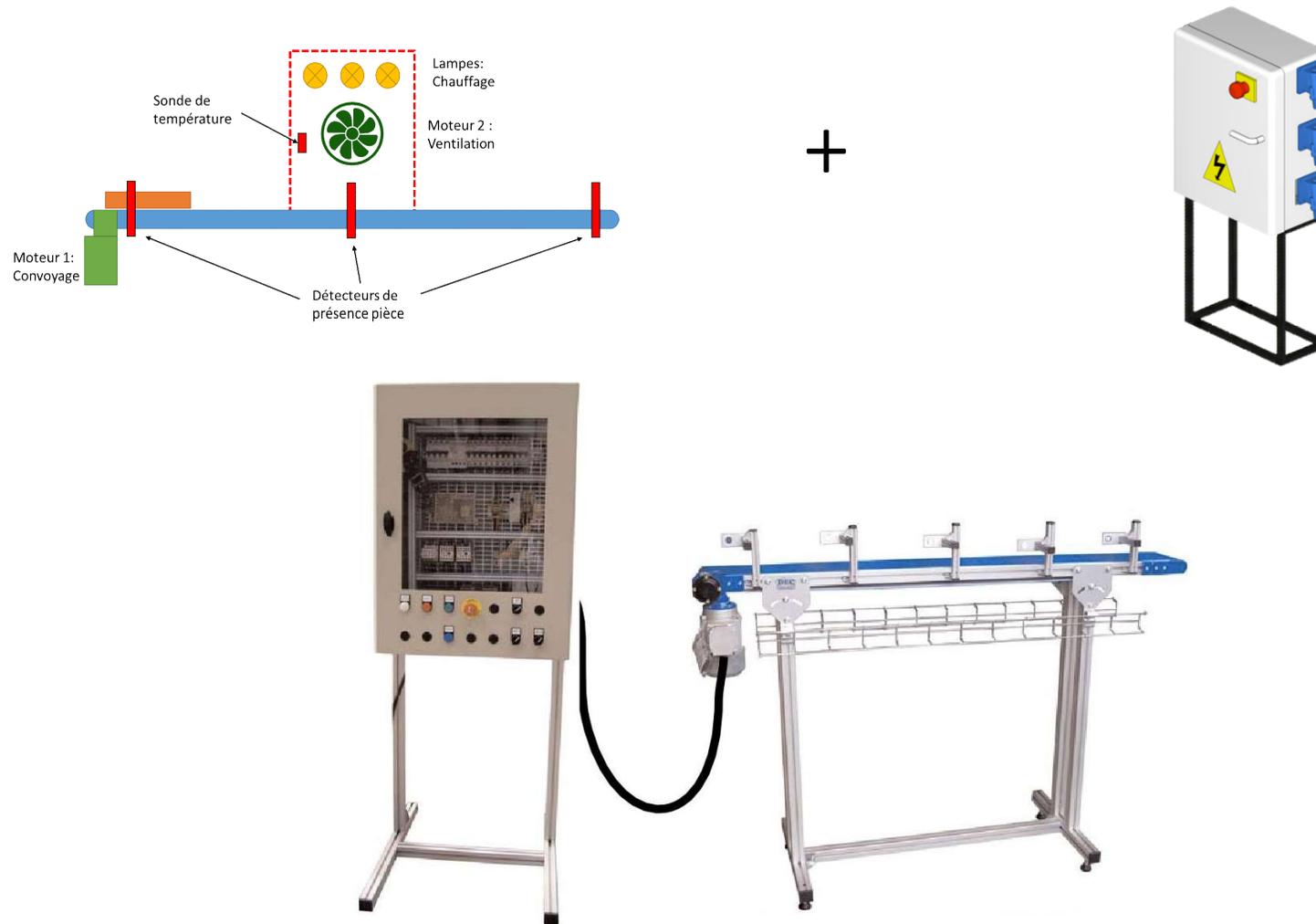


Moteur Ventilation  
Monophasé

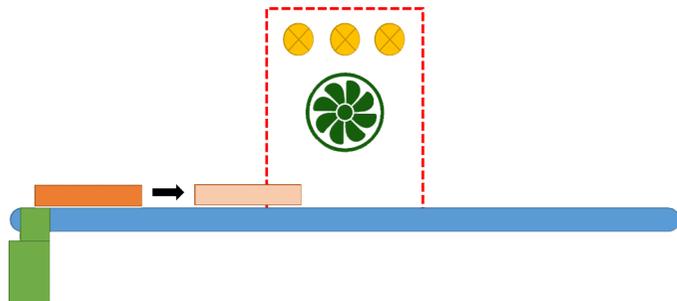
Convoyeur : Déplacement  
(Moteur triphasé)



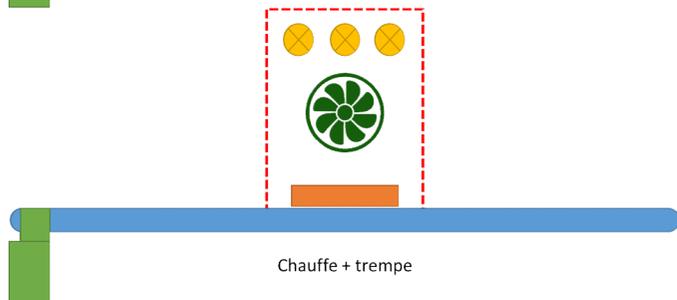
# Présentation Système:



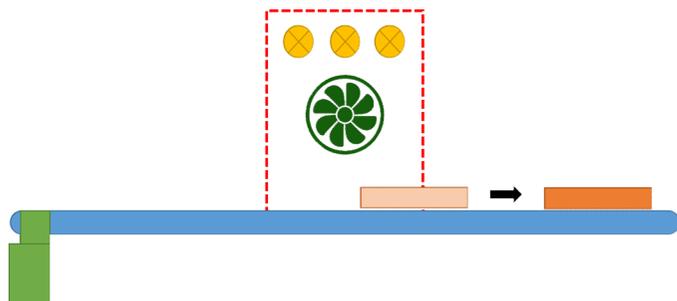
# Présentation Système: fonctionnement



Présence de la pièce en entrée du convoyeur + Appui sur BP AV  
→ **Démarrage du tapis en marche avant.**

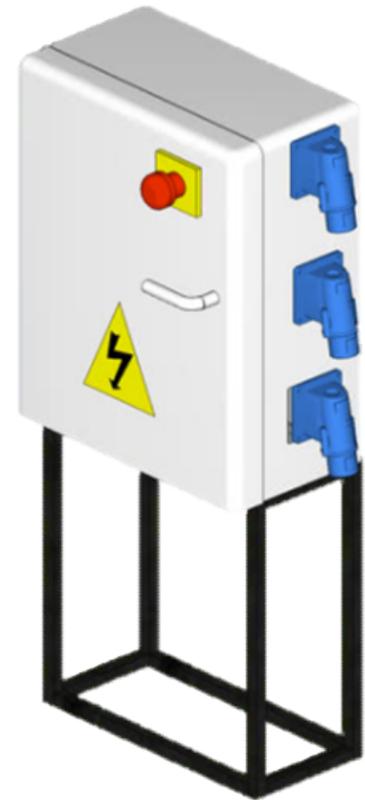
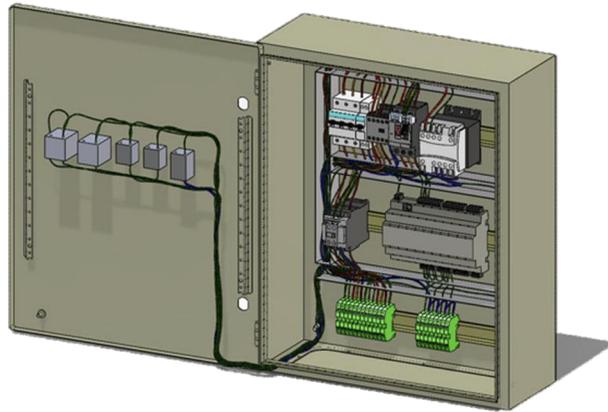


Mise en solution et trempé  
→ **Arrêt du tapis**  
→ **chauffage de la pièce**  
→ **ventilation = trempé**



Appui sur BP AV évacuation en sortie du convoyeur  
→ **Avancer jusqu'à la fin du tapis**

# Travail demandé:

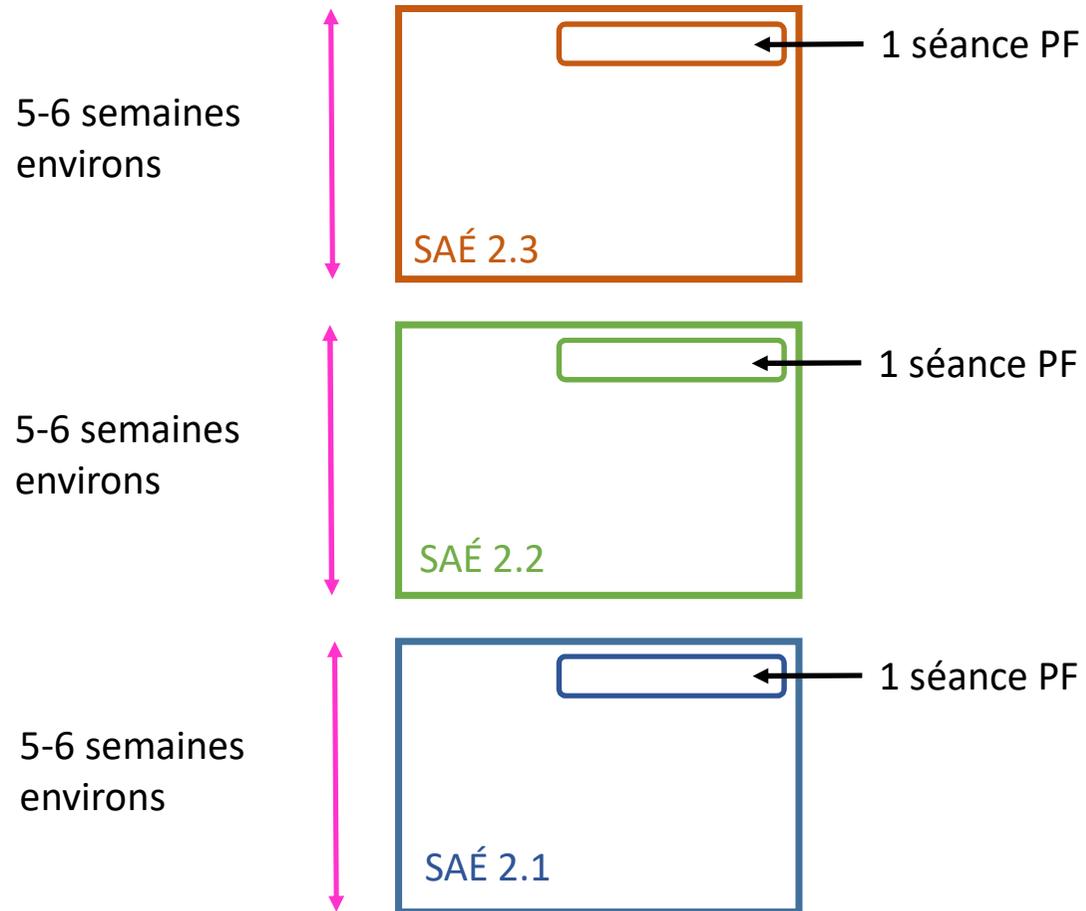


**SAE ÉMÉ:** Platine en logique câblée

**SAE AII:** API + Variateur : Gestion du déplacement du convoyeur

**SAE ÉSE:** Réalisation des capteurs (présence + température)

**PPP, portfolio:** Valorisation, récupération de traces...



1 SAÉ = 18 séances de 3-4 h sur 1 mois 1/2

# Ce que nous attendons :

- De l'organisation
  - Gestion du temps, analyse fonctionnelle, découpage des tâches...
- De l'autonomie dans le travail
  - Liberté de choix sur certaines solutions techniques envisagées
  - Aspect pratique du travail
- De la réflexion sur les difficultés et les solutions envisagées
  - Ça ne fonctionne pas : Pourquoi ? Comment y remédier ?
  - Ça fonctionne : Pourquoi ? Comment puis je améliorer ?
- De la gestion documentaire:
  - Prise de notes, carnets de brouillon, carnets de bord, schémas...
- De la rigueur:
  - Livrables



# Traces pour le PF:

C1 : Concevoir un système en fiabilisant les solutions proposées						
L'apprenant démontre sa capacité à	Critère non abordé	Critère naissant	Critère esquissé	Critère illustré	Critère établi	Critère établi avec maîtrise
	0	4	8	12	16	20
Proposer une solution viable techniquement et économiquement						
Établir les documents nécessaires à l'exploitation de la solution (fabrication, modification ultérieure...)						
Communiquer de façon adaptée avec les différents acteurs						
Mettre en évidence les risques liés à la solution proposée et proposer des pistes d'aménagement	Traces inexistantes ou non adaptées	Traces non adaptées et/ou non exploitées	Traces partiellement adaptées et/ou insuffisamment exploitées	Traces pertinentes mais insuffisamment exploitées	Traces pertinentes et correctement exploitées	Traces pertinentes, parfaitement exploitées et démontrent l'adaptabilité de l'apprenant à d'autres situations

Pour chaque ligne :

- Dès que je réalise (SAE, TP, ...) quelque chose, je le note avec quelques explications
- Je rate quelque chose, je le note et j'explique pourquoi, qu'en ai-je tiré ?
- A la fin je trierai les traces pour en extraire le meilleur



# SAÉ2 : Etude d'un système industriel de convoyage pour le traitement thermique de pièces en aluminium

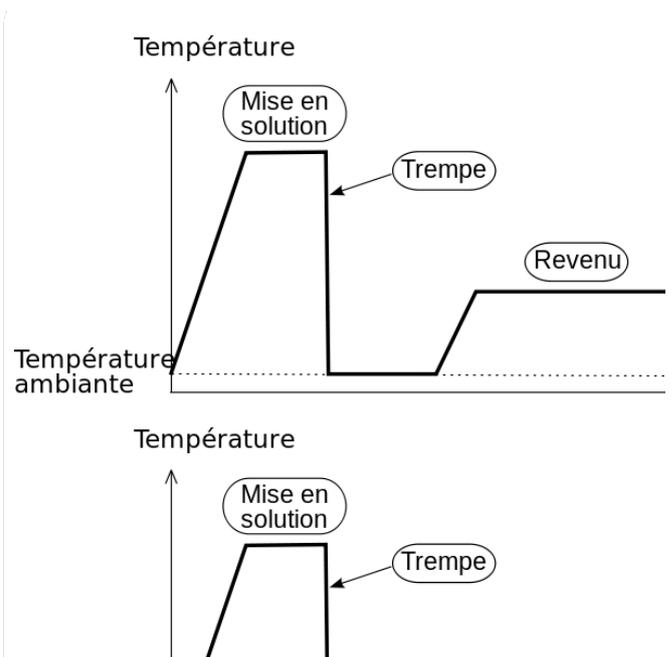
## Contexte : Traitement de durcissement structural (trempe + revenu ou maturation) d'alliage à base d'aluminium

Certains alliages à base d'aluminium issus de fonderie ou de forgeage, peuvent être durcis. Après mise en solution puis trempe à l'eau (froide ou chaude), l'alliage se trouve dans son état le plus doux (trempe fraîche) permettant redressages, conformations, cintrages et/ou emboutissages. Cet état peut être maintenu (congélation) par conservation à une température inférieure à la température ambiante. Le durcissement est obtenu après revenu ou maturation. La qualité du traitement réside dans la qualité de préparation de la charge, la précision des températures ( $\pm 3$  °C), le respect d'un temps de transfert entre four de mise en solution et bac de trempe et enfin une vitesse de refroidissement supérieure à la vitesse critique de trempe. Le choix du milieu de refroidissement (eau 20 °C à 100 °C, émulsion polymère) est déterminé par les exigences géométriques des pièces.

Le traitement est réalisé dans un four sous air possédant une très bonne homogénéité de température. Le refroidissement doit être très rapide. Pour ces raisons, l'eau est souvent utilisée comme milieu de trempe, la charge tombe par gravité dans le bac d'eau.

**Etape de mise en solution** : les pièces sont portées à une température déterminée en fonction de la nuance d'alliage d'aluminium. Comme son nom l'indique, cette étape permet de mettre en solution les différents constituants solubles dans la solution solide.

**Etape de refroidissement (ou trempe)** : les pièces sont plongées rapidement dans un bac d'eau thermo régulé, ou soumises à un gaz. Le temps de transfert et la température de l'eau/gaz sont des éléments importants pour une bonne maîtrise du process : le refroidissement doit être suffisamment rapide pour maintenir la solution solide en sursaturation.



Il est possible d'incorporer un polymère dans l'eau afin de réduire la vitesse de refroidissement et ainsi, diminuer le risque de fissuration ou de déformation.

**Etape de maturation et/ou de revenu** : la maturation permet une évolution de la structure métallurgique à température relativement basse (souvent température ambiante). Le revenu s'opère à une température supérieure à celle de la maturation.

Le durcissement est effectif pendant cette étape:

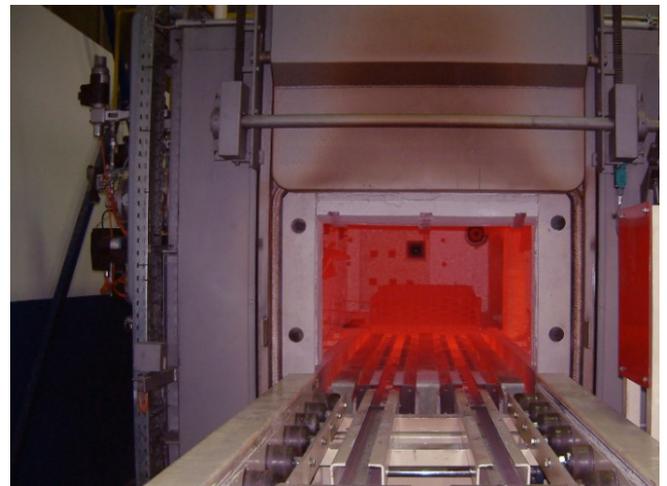
- soit à température ambiante pendant une longue période (c'est à dire plusieurs jours), nous réalisons ainsi un vieillissement naturel ;

- soit dans un four à température et temps contrôlés, nous procédons alors à un vieillissement artificiel, celui-ci ne dure que quelques heures.

### Exemples d'applications et secteurs d'activités

- **Construction aéronautique et spatiale** : traitement thermique sur pièces Ariane, ...
- **Construction automobile** : supports d'alternateur, de moteurs, culasses, tubulures, ...
- **Construction poids-lourds** : poussoirs de culbuteurs, armatures, charnières, ...
- **Construction ferroviaire** : crampons de rails, ...
- **Construction mécanique** : fond de citerne, stores déroulants, ...
- **Visserie** : vis, écrous, ...
- **Architecture** : embases pour poteau de lampadaire, ...
- **Équipements sportifs** : couronnes de transmission pour moto, cadres, supports pour vélos, ...

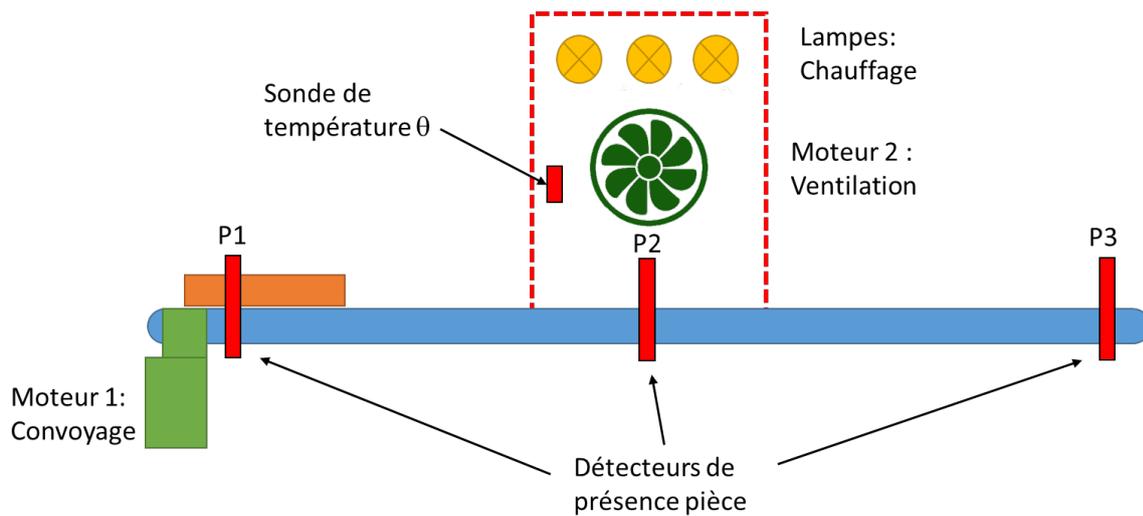
### Four de trempé réel pour aluminium sans convoyeur (photo gauche), avec convoyeur (photo droite)



## Présentation du système didactisé :



Le système industriel précédent sera remplacé par un tapis de convoyage équipé d'une ou plusieurs lampes pour simuler le système de chauffage, et d'un moteur (mono ou triphasé) simulant le ventilateur de trempe (voir figure suivante). Une sonde de température permettra de mesurer la température du four.



## Description du fonctionnement :

- La présence d'une pièce en position P1 et l'appui simultané par un opérateur sur le bouton poussoir BP AV déclenchent le démarrage du tapis en marche avant.
- Lorsque la pièce arrive en position P2, le tapis s'arrête.
- L'appui sur le bouton BP CH et la présence d'une pièce en position P2 déclenche le système de chauffage jusqu'à une température voulue (par lampe infrarouge).
- Lorsque la température est atteinte, le chauffage s'arrête et la ventilation se met en marche (refroidissement pour la trempe).

- En-dessous d'une certaine température (seuil bas), la ventilation s'arrête et le système mémorise l'accomplissement du cycle chauffage/trempe (ventilation).
- L'appui sur le bouton BP AV par l'opérateur fait avancer la pièce jusqu'en position P3.

Sur tout le processus, une marche arrière par « à-coups » est possible pour prévenir d'un problème.

Le système comportera, en plus du bouton poussoir marche avant BP AV, du bouton poussoir marche arrière BP AR, un bouton poussoir BP STOP, un arrêt d'urgence ATU et un arrêt automatique en cas de surcharge du moteur convoyeur.

Des voyants pourront s'allumer :

- Voyant Relais thermique déclenché
- Voyant signalisation chauffage en cours
- Voyant signalisation ventilation en cours
- Voyant H1 : système sous tension

Ce projet de mise en situation d'apprentissage et d'évaluation (SAÉ) sera découpé en 3 parties :

- Actionnement du système de convoyeur (ÉMÉ)
- Régulation de la vitesse du convoyeur (AII)
- Mise en œuvre d'un système électronique de contrôle (ÉSE)

## SAE2.3 Partie EME - Support : Convoyeur + trempe

### Présentation du système didactisé :

Le système sera constitué d'un tapis de convoyage, Figure 1. Les éléments chauffants sont remplacés par des lampes, un moteur simulera le ventilateur de trempe. Une sonde de température permet de mesurer la température dans l'enceinte du four.

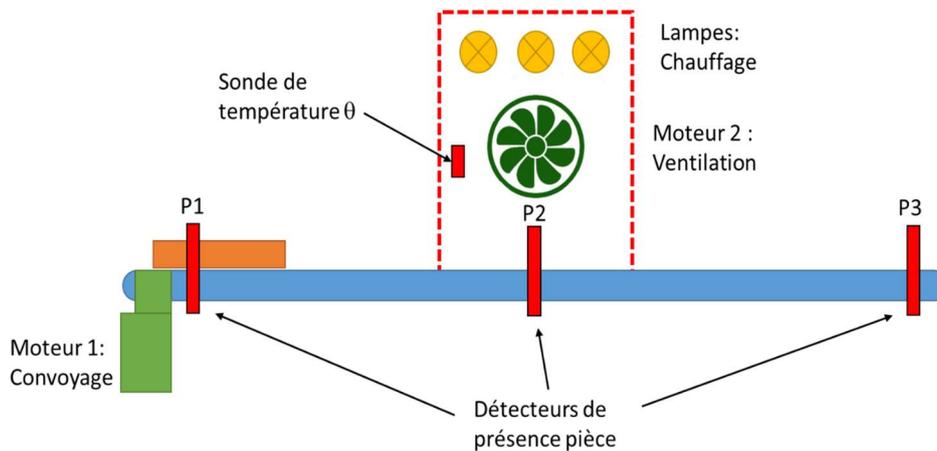


Figure 1: Système de convoyage didactique

### Cahier des charges et fonctionnement version 1

Présence de la pièce en P1 + Appuie sur BP AV → Démarrage du tapis en marche avant.

Arrivée en P2 → Arrêt du tapis + possibilité d'utiliser le système de chauffage et ventilation (refroidissement pour la trempe)

Appuie sur BP CH + présence P2 →

Chauffage (lampe) jusqu'à une T° voulue

T° atteinte → Arrêt chauffage **et** mise en marche de la Ventilation

T° seuil bas → Arrêt Ventilation **et** « effet mémoire » qui indique que le cycle chauffage + la trempe sont complètement réalisés.

Appuie sur BP AV → Avancer jusqu'en P3

Sur tout le processus une marche arrière par « à-coups » est possible pour prévenir d'un problème.

**Interface de commande (IHM) : La signalisation donnée ci-dessous sera considérée comme un BONUS pour l'évaluation.**

- La norme des couleurs devra être respectée
- Voyant Relais thermique déclenché
- Voyant signalisation chauffage en cours
- Voyant signalisation ventilation en cours
- Voyant H1 : présence tension.

Sur la Figure 2, un exemple de réalisation du convoyeur est donné. Le système comportera, en plus du bouton poussoir marche avant BP AV et arrière BP AR, un bouton poussoir BP STOP, un arrêt d'urgence ATU et d'un arrêt automatique en cas de surcharge du moteur convoyeur.



Figure 2: Exemple de réalisation d'un convoyeur

## SAE2.3 Partie EME - Support : Convoyeur + trempe

### Travail demandé :

- **Schémas : (4h+8 TUT)**

- Réaliser les schémas puissances et de commande de l'installation sur deux folios avec Qelectrotech (logiciel gratuit et multiplateforme de conception de schémas électriques)
- Réaliser un devis quantitatif du matériel nécessaire.
- Expliquer son choix de version

*Evaluation : Schémas de puissance et de commande (version choisie) + Devis quantitatif du matériel + 5-10 lignes pour expliquer le choix de version choisi*

*Livrable : Schémas + devis*

- **Câblage : (8h+8h TUT)**

- Réaliser le câblage complet de la platine en respectant les consignes (borniers, alimentation, ...) données par l'enseignant.
- Assurer la sécurité des personnes

*Evaluation : Réalisation du câblage, méthodes, règles de l'art, aisance, compréhension et respect du cahier des charges*

*Livrable : Aucun, évaluation sur le savoir-faire*

- **Vérifications : (2h+4h TUT)**

- Faire une vérification par continuité du câblage
- Vérifier l'absence de court-circuit
- Vérifier l'isolement de la platine

- **Mise en service : (4h+6h TUT)**

- Mise en coffret de la platine et raccordement au système
- Vérifier l'isolement du système
- Vérifier la continuité de la liaison équipotentielle

*Evaluation : Vérifications d'usage (Absence de CC, Continuité, Isolement, LEP), MES : vérifier les tensions d'alimentation, démonstration et explication du système.*

*Livrable : Documents vérifications + MES : %fonctionnement (Marche Av et Ar, Chauffage, Ventilation, Respect des sécurité (arrêt prioritaire..))*

- **Soutenance/Bilan :**

- Faire un bilan de sa réalisation

*Evaluation : Soutenance*

*Livrable : Diapo (+livrables précédents)*

## Choix à décider dès le début :

### Fonctionnement version 2 :

Présence de la pièce en P1 + Appuie sur BP AV → Démarrage du tapis en marche avant.

Arrivée en P2 → Arrêt du tapis + possibilité d'utiliser le système de chauffage et ventilation (refroidissement pour la trempe)

Appuie sur BP CH + présence P2 →

Chauffage (lampe) jusqu'à une T° voulue

T° atteinte → Arrêt chauffage **et** mise en marche de la Ventilation

T° seuil bas → Arrêt Ventilation **et** effet mémoire qui indique que le cycle chauffage + trempe est fait complètement.

Appuie sur BP AV → Avancer jusqu'en P3

### Fonctionnement version 3 :

Présence de la pièce en P1 + Appuie sur BP AV → Démarrage du tapis en marche avant.

Stopper la pièce en dessous du système de chauffe à l'aide du BP STOP

Appuie sur BP CH →

Chauffage (lampe) jusqu'à une T° voulue

T° atteinte → Arrêt chauffage **et** mise en marche de la Ventilation

T° seuil bas → Arrêt Ventilation

Appuie sur BP AV → Avancer jusqu'en P3 (le système stoppe en P3)

## Aides & options :



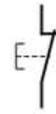
Arrêt Urgence



Marche AVANT



CHAUFFAGE



STOP



Présence tension



Défaut Relais thermique



CHAUFFAGE  
En cours



Ventilation  
En cours

## Bornier partie ESE (sortie relais) :

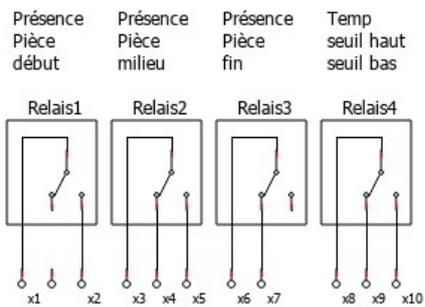


Schéma bornier venant des relais de l'arduino.

L'arduino détecte les positions et gère la température (seuil haut et seuil bas)

Schématisé à l'état de repos (sans pièces).

# ESE : Mise en œuvre d'un système électronique de contrôle

## 1. INTRODUCTION

Avant de concevoir du matériel électronique, le technicien doit être capable de:

- Analyser le fonctionnement d'un système, repérer les fonctions de base qui le composent, et les schématiser sous forme fonctionnelle;
- Analyser chacune de ces fonctions présentées sous forme structurelle;
- Déterminer les éléments qui constituent la structure et les calculer;
- Vérifier sur le système les caractéristiques de chaque fonction;
- Vérifier les caractéristiques globales du système et les valider par rapport au cahier des charges.

L'acquisition de toutes ces compétences se fera en réalisant un système d'électronique de contrôle pour le système de convoyage de pièces étudié en SAE2. Après avoir pris connaissance et analysé le cahier des charges imposé, vous devrez organiser votre travail afin de mettre en œuvre et valider une solution technique (un prototype) permettant d'y répondre.

## 2. CAHIER DES CHARGES CLIENT

Le système électronique de contrôle devra respecter les critères suivants :

- S'implanter sur le système de convoyage étudié en SAE2
- Détecter la présence d'une pièce en position P1 (entrée du convoyeur), en position P2 (position de chauffe) et en position P3 (sortie du convoyeur)
- Mesurer la température lorsque la pièce est en position P2, afficher sa valeur sur un système d'affichage digital et informer le système de régulation que la température est dans la gamme de fonctionnement visée (pour notre étude nous prendrons la gamme 20°C-30°C).

## 3. ANALYSE FONCTIONNELLE (séance 1)

A partir du cahier des charges précédent, dresser un schéma présentant l'organisation des fonctions principales du système.



## 4. VEILLE TECHNOLOGIQUE (séance 2)

Pour chacune des fonctions identifiées précédemment, dimensionner les besoins en terme d'étendue de mesure et de précision des différents capteurs nécessaires et identifier les contraintes liées à leur implantation sur le système de convoyage. Recherchez ensuite une ou plusieurs solutions technologiques permettant de répondre à ces besoins (travail autonome).

A la fin de la séance, déposer votre travail sur moodle SAE2 ESE à l'emplacement prévu à cet effet.

# **SAÉ2 - ÉSE :**

## **Mise en œuvre d'un système électronique de contrôle**

### **Module de détection de pièces**

Ce premier module a pour but de proposer un système électronique permettant la détection des pièces aux différentes positions du convoyeur.

#### **1. CAHIER DES CHARGES DU MODULE**

Votre dispositif devra respecter les critères suivants :

- Détecter un objet à une distance de 20 cm ou plus ;
- Avoir un temps de réponse d'au plus 50 ms ;
- Délivrer un signal numérique au format TTL pour avertir le microcontrôleur de la présence d'une pièce.

#### **2. CHOIX D'UNE SOLUTION TECHNOLOGIQUE**

Plusieurs types de capteurs permettent de détecter le passage d'un objet. Il est possible par exemple d'utiliser :

- un système émetteur/récepteur mesurant le temps de trajet d'impulsions ultrasonores jusque l'objet ;
- un système émetteur/récepteur de lumière infrarouge permettant de détecter une interruption de la lumière transmise au passage de l'objet ;
- un capteur de proximité inductif permettant de détecter le passage d'un objet métallique par la perturbation des lignes de champ électromagnétique qu'il induit ;
- ...

A partir des documentations des différents composants à votre disposition (voir annexe et documentations sur moodle), déterminer comment détecter les pièces à l'aide de ces composants et choisissez la solution que vous souhaitez mettre en œuvre (détection par ultrasons ou infrarouge).

Dans le cas où vous choisissez la détection par ultrasons, allez à la partie 3.

Dans le cas où vous choisissez la détection par infrarouge, allez à la partie 4.

#### **3. DETECTION D'OBJETS PAR ULTRASONS**

Dans cette partie, vous concevrez une carte électronique permettant d'utiliser le module à ultrasons SRF05 pour détecter la présence de pièces sur les différentes positions du convoyeur. Vous pourrez vous appuyer sur les questionnements suivants pour vous guider dans cette tâche.

3.1. Quel est le principe de fonctionnement du SRF05 ? Quel type de signal électrique (forme temporelle, amplitude...) est requis pour utiliser correctement ce module ?

3.2. Pour obtenir ce signal électrique, vous pourrez utiliser un circuit intégré du type NE555. En vous appuyant sur la documentation constructeur de ce composant, comment expliquez-vous son

fonctionnement ? Quel schéma de câblage de ce composant pouvez-vous proposer pour obtenir la fonction désirée ?

3.3. Effectuer ce câblage sur une plaque d'essai. Les caractéristiques électriques du signal de sortie du module à ultrasons vous permettent-elles de valider cette solution ?

3.4. Afin d'analyser les informations fournies par le capteur à ultrasons et déterminer si un objet est présent à 20 cm du capteur, vous pourrez utiliser un circuit comparateur de tension à base d'un circuit intégré LM311. En vous appuyant sur la documentation constructeur de ce composant, comment expliquez-vous son fonctionnement ?

3.5. D'après vos connaissances sur les circuits à base de résistance et condensateur, quel montage peut permettre d'obtenir une tension quasi-continue proportionnelle à la durée d'impulsions électriques périodiques ?

3.6. Les mesures effectuées, après avoir ajouté ce montage au câblage sur plaque d'essai précédent, permettent-elles de valider la solution retenue ?

3.7. Certains composants permettent-ils de régler la distance de détection des obstacles et d'observer la présence de l'objet ?

3.8. Avez-vous consigné vos résultats de mesure ? Votre solution finale permet-elle de respecter le cahier des charges ? Si oui, rendez-vous à la partie 5 de ce document.

#### **4. DETECTION D'OBJETS PAR INFRAROUGE**

Dans cette partie, vous concevrez une barrière infrarouge permettant de détecter le passage d'une pièce sur le chariot. Vous concevrez un circuit émetteur de lumière infrarouge et un circuit récepteur pour détecter cette lumière. Vous pourrez vous appuyer sur les questionnements suivants pour vous guider dans cette tâche.

4.1. L'utilisation d'un système émetteur/récepteur infrarouge nécessite de mettre en œuvre une solution permettant de s'affranchir des sources de lumières parasites qui pourraient « aveugler » le récepteur. C'est d'autant plus vrai lorsqu'il est destiné à être utilisé à proximité d'une source de forte chaleur. Pour cela, le signal infrarouge de l'émetteur doit être mis en forme de manière à être reconnu exclusivement par le récepteur.

En vous appuyant sur la documentation constructeur des récepteurs infrarouge TSOP31238, quel moyen proposez-vous pour détecter uniquement la lumière transmise par l'émetteur ? Quelles doivent être les caractéristiques de cette lumière ?

4.2. Pour obtenir ces caractéristiques, vous pourrez utiliser une diode électroluminescente infrarouge du type TSAL6100 associée à un circuit intégré NE555. En vous appuyant sur la documentation constructeur de ce composant, comment expliquez-vous son fonctionnement ?

4.3. Quels sont la tension et le courant nécessaires pour alimenter correctement la LED émettrice ? Est-ce compatible avec les caractéristiques de sortie d'un NE555 ? Parmi les composants fournis (résistances, condensateurs, transistors), lequel permet de résoudre le problème ?

4.4. Câbler la LED et son circuit d'alimentation sur une plaque d'essai. Voit-on la lumière émise à l'œil ? Avec la caméra de votre smartphone ?

4.5. Câbler le composant permettant de contrôler électriquement le courant alimentant la LED. Vous pourrez allumer/éteindre la LED par un interrupteur « électronique ».

4.6. Quel schéma de câblage du NE555 pouvez-vous proposer permettant de piloter très rapidement la LED infrarouge ?

4.7. Sur une autre plaque d'essai, quel schéma de câblage pouvez-vous proposer permettant de mettre en œuvre le TSOP31238 et de visualiser la réception du signal émis par la LED infrarouge à l'aide d'une LED visible ?

4.8. Votre solution finale permet-elle de valider votre module de détection de pièces par infrarouge ? Avez-vous consigné vos résultats de mesure ?

## 5. DEVIS

A partir de la liste des composants utilisés dans vos différents montages, il est demandé :

- d'établir un devis détaillé de la solution retenue ;
- d'établir un bon de commande fictif intégrant les références (fournisseur et fabricant) des composants et le prix de chaque composant en fonction des quantités achetées.

## ANNEXE - LISTE DES COMPOSANTS DISPONIBLES

Composants	Caractéristiques
Module VMA306 (SRF05)	Module à ultrasons
TSOP31238	Boitier DIP8
TSAL6100	Montage traversant
Potentiomètres	Montage traversant, série E3 (de 1k $\Omega$ à 470k $\Omega$ )
Résistances	Couche carbone traversant, série E12 (de 10 $\Omega$ à 1M $\Omega$ )
Condensateurs	Céramique traversant, série E6 (de 1nF à 680nF)
NE555	Boitier DIP8
LM311P	Boitier DIP8
Transistors NPN 2N3904TFR	Boitier TO-92
Transistors PNP BC557BTF	Boitier TO-92
LED rouge	Montage traversant

# SAÉ2 - ÉSE :

## Mise en œuvre de la programmation du microcontrôleur

Pour prendre en compte les informations fournies par les différents capteurs (position de la pièce, température...) et décider des actions à effectuer, il nous faut un système programmable adapté à nos besoins, c'est-à-dire capable de gérer les informations nécessaires et piloter les actionnements requis (affichage de la température, actionnement des systèmes de régulation...). Ce choix doit également prendre en compte les contraintes liées à l'encombrement, l'autonomie énergétique...

### 1. QU'EST-CE QU'UN MICROCONTROLEUR ?

Comme vous avez commencé à le voir dans le module Info2, un microcontrôleur est une puce électronique comportant une partie microprocesseur (unité centrale) associée à des boîtiers mémoire (de données et de programmes) et des boîtiers interfaces permettant de faire communiquer le circuit avec des modules périphériques extérieurs (des capteurs et des actionneurs par exemple).

Un certain nombre d'éléments sont indispensables au fonctionnement du microcontrôleur :

- une alimentation électrique : les circuits sont généralement alimentés sous une tension stabilisée de 5V compatible avec le format TTL partagé par de nouveaux circuits logiques, mais selon les types de cartes, elle peut varier de 1,8 à 6V environ.
- une horloge qui permet de rythmer les opérations du microcontrôleur. C'est un signal électrique en créneau dont la fréquence peut varier de quelques kHz à plusieurs centaines de MHz selon les cartes. Plus la fréquence d'horloge est élevée, plus le microcontrôleur est rapide et plus il consomme d'énergie. Ce signal est généralement obtenu à l'aide d'un résonateur quartz qui permet d'avoir une fréquence très stable et très bien contrôlée.
- un circuit de reset qui permet de redémarrer l'exécution d'un programme au début en appuyant sur un bouton poussoir (très utile en cas de boucle infinie...).

### 2. CHOIX D'UN MICROCONTROLEUR

La première étape du choix d'un microcontrôleur est donc de lister vos besoins en terme d'entrées/sorties et de rapidité d'exécution. Attention, un choix sous-dimensionné conduira à une incapacité à assurer les fonctions désirées et un choix surdimensionné aura un impact sur le prix du dispositif.

Combien d'entrées (et de quelle nature : numérique ou analogique) doivent être gérées dans le cadre de votre projet ? Pour vous aider dans la préparation du futur programme qui sera implanté dans le microcontrôleur essayez de référencer chacune de ces entrées par un label.

Combien de sorties (indiquer leur nature) doivent être gérées par le microcontrôleur ?

A-t'on besoin d'un microcontrôleur avec une grande rapidité de calcul ?

### **3. La programmation ARDUINO**

Pour la réalisation de votre projet, on vous propose d'utiliser une carte microcontrôleur de type Arduino UNO. Pour ceux qui ne seraient pas familier de ce type de carte et son environnement de programmation associé, un lien vers un ouvrage détaillé à ce propos est disponible sur le moodle SAE2. On vous propose également de réaliser dans un premier temps le programme d'initiation proposé sur le site <https://www.arduino-france.com/tutoriels/comment-debuter-arduino/>

### **4. Organigramme de programmation**

Avant de vous lancer dans la réalisation complète du programme permettant de répondre au cahier des charges du projet, proposez un organigramme permettant de décrire précisément la structure et les fonctionnalités de votre programme.

Vous devrez pour cela vous demander quelles sont les entrées et les sorties et à quelles broches de la carte Arduino seront-elles reliées.

### **5. Câblage et programmation de l'affichage digital**

Quel type de liaison électrique est utilisé pour la gestion de l'afficheur LCD ? Expliciter son mode de fonctionnement et les caractéristiques de cette liaison. Comment peut-on facilement la configurer et l'utiliser avec l'environnement Arduino.

Réaliser le câblage de l'afficheur LCD avec l'Arduino et programmer la carte afin d'afficher le Message « Prêt pour la programmation » sur l'écran LCD.

### **6. Câblage et programmation de la mesure de température**

Comme vous avez pu le constater lors de la prise en main du capteur de température LM35, le signal délivré par ce capteur est une tension analogique qui doit être numérisée pour être lue par le microcontrôleur. La carte Arduino Uno permet de réaliser simplement cette fonction en utilisant les entrées analogiques de la carte.

On vous propose de mettre en œuvre cette solution afin d'afficher la température sur l'écran de l'afficheur LCD.

### **7. Câblage et programmation de la détection de pièce**

Relier la sortie de votre carte détection de pièce (prototypage sur plaque d'essai ou circuit imprimé selon l'état d'avancement de cette dernière) à la carte Arduino et réaliser un programme permettant d'afficher la position de la pièce sur l'écran LCD.

## **8. Actionnement des systèmes de régulation**

Afin d'activer ou non les systèmes de régulation (actionnement du convoyeur et du ventilateur) fonctionnant avec des tensions et courants bien plus élevés que ceux délivrables avec la carte microcontrôleur, on propose d'utiliser un module relais 5V à 4 canaux.

Expliquer brièvement le principe de fonctionnement d'un relai. Quels sont ses avantages et inconvénients ? En quoi est-ce adapté à notre besoin ?

Câbler la carte relai fournie avec la carte Arduino et réaliser un programme test permettant d'actionner le circuit de convoyage lorsque la pièce est détectée en position P1. Pour cela, vous simulerez le circuit de convoyage par l'alimentation d'une simple LED.

## **8. Validation du programme complet**

Câbler et programmer le dispositif complet (N'oubliez pas de commenter précisément votre programme).

Le cahier des charges initial est-il validé ? Si non, quels sont les problèmes restant à résoudre ?

# **SAÉ2 - ÉSE :**

## **Mise en œuvre d'un système électronique de contrôle**

### **Affichage digital**

Ce module a pour objectif de mettre en œuvre un afficheur digital indiquant la position de la pièce et la température en position P2.

#### **1. CAHIER DES CHARGES DU MODULE**

Votre dispositif devra respecter les critères suivants :

- Afficher sur 2 lignes
- Afficher la position de la pièce : P1, P2 ou P3 et éventuellement les positions intermédiaires en ligne 1
- Afficher la température en position P2 en °C en ligne 2
- Affichage en français

#### **2. CHOIX D'UNE SOLUTION TECHNOLOGIQUE**

Quelles sont les différentes technologies utilisées dans les systèmes d'affichage digitaux ?

# **SAÉ2 - ÉSE :**

## **Mise en œuvre d'un système électronique de contrôle**

### **Mesure de la température**

Ce module a pour but de mettre en œuvre un capteur pour mesurer la température lorsque la pièce est en position P2 du convoyeur.

#### **1. CAHIER DES CHARGES DU MODULE**

Votre dispositif devra respecter les critères suivants :

- Mesurer une température comprise entre 20 et 30°C avec une précision de 0.5°C ;

#### **2. CHOIX D'UNE SOLUTION TECHNOLOGIQUE**

Plusieurs types de capteurs permettent de mesurer une température. Donner quelques exemples en expliquant brièvement leur principe de fonctionnement.

#### **3. MESURE DE TEMPERATURE A L'AIDE D'UN CIRCUIT INTEGRE LM35**

Rechercher la documentation constructeur du LM35 et répondez aux questions suivantes :

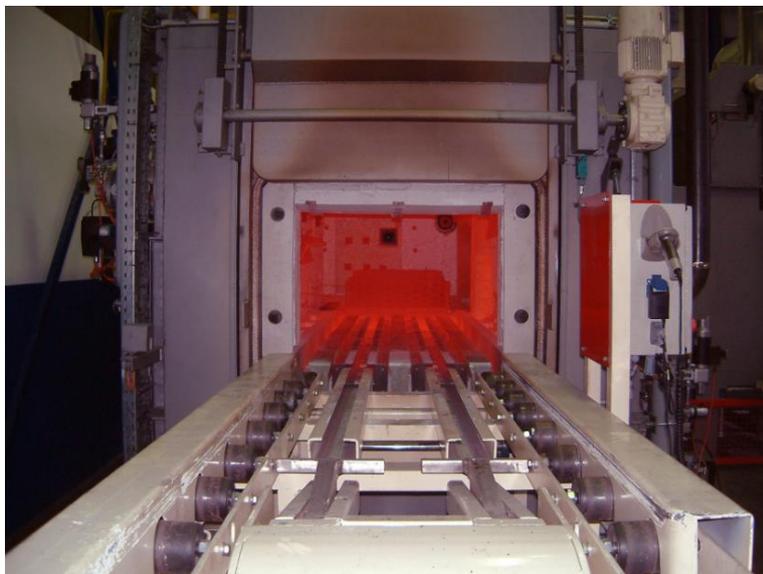
- Quelle est son étendue de mesure ?
- Quelle est sa précision ?
- Est-il adapté à notre besoin ?
- Pourrait-on l'utiliser pour la mesure de température dans le cas d'un système industriel de traitement thermique de pièces en aluminium ? Si non, proposez une solution alternative.

D'après sa documentation constructeur, identifier les conditions de mise en œuvre du capteur LM35.

Proposer et réaliser un montage sur plaque d'essai de ce composant. Relever la tension de sortie. Le résultat vous paraît-il cohérent avec la température ambiante?

Dans le cahier des charges du projet, un affichage de la température avec un système digital est demandé. Quels sont les éléments nécessaires pour sa mise en œuvre ?

## Automatisation d'un four de trempe avec convoyeur



## SAÉ 2.3 PARTIE AUTOMATISME ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

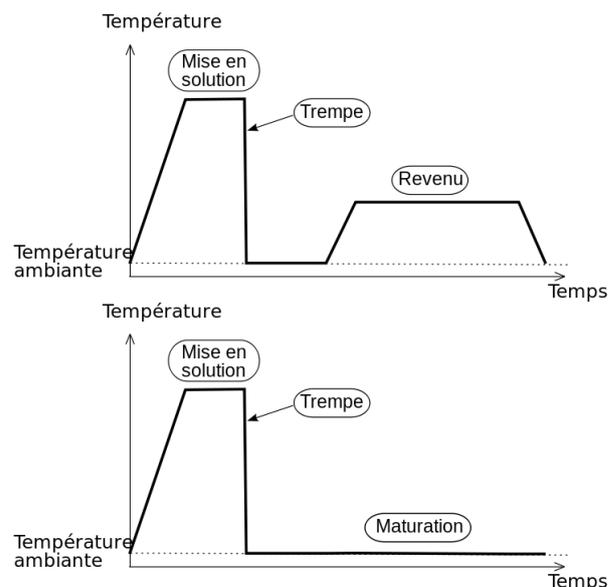
PRÉSENTATION DU PROCESSUS INDUSTRIEL DE  
TRAITEMENT THERMIQUE D'ALUMINIUMExplications du traitement de durcissement structural (Trempe + Revenu ou Maturation) :

Certains alliages à base d'aluminium issus de fonderie ou de forgeage, peuvent être durcis. Après mise en solution puis trempe à l'eau (froide ou chaude), l'alliage se trouve dans son état le plus doux (trempe fraîche). Dans cet état, les opérations de redressages, conformations, cintrages et/ou emboutissages sont possibles. Cet état peut être maintenu (congélation) par conservation à une température inférieure à la température ambiante. Le durcissement est obtenu après le « revenu » ou la « maturation ». La qualité du traitement réside dans la préparation de la charge, la précision des températures (+/- 3 °C), le respect d'un temps de transfert entre four de mise en solution et bac de trempe et. Enfin, une vitesse de refroidissement supérieure à la vitesse critique de trempe. Le choix du milieu de refroidissement (eau 20 °C à 100 °C, émulsion polymère) est déterminé par les exigences géométriques des pièces.

Le traitement est réalisé dans un four sous air possédant une très bonne homogénéité de température. Le refroidissement doit être très rapide. Pour ces raisons, l'eau est souvent utilisée comme milieu de trempe, la charge (pièce à traiter) tombe par gravité dans le bac d'eau.

**Etape de mise en solution :** les pièces sont portées à une température déterminée en fonction de la nuance d'alliage d'aluminium. Comme son nom l'indique, cette étape permet de mettre en solution les différents constituants solubles dans la solution solide.

**Etape de refroidissement (ou trempe) :** les pièces sont plongées rapidement dans un bac d'eau thermo régulé, ou soumises à un gaz. Le temps de transfert et la température de l'eau/gaz sont des éléments importants pour une bonne maîtrise du process : le refroidissement doit être suffisamment rapide pour maintenir la solution solide en sursaturation.



Il est possible d'incorporer un polymère dans l'eau afin de réduire la vitesse de refroidissement et ainsi, diminuer le risque de fissuration ou de déformation.

**Etape de maturation et/ou de revenu :** la maturation permet une évolution de la structure métallurgique à température relativement basse (souvent température ambiante). Le revenu s'opère à une température supérieure à celle de la maturation.

Le durcissement est effectif pendant cette étape :

- soit à température ambiante pendant une longue période (c'est à dire plusieurs jours), nous réalisons ainsi un vieillissement naturel,
- soit dans un four à température et temps contrôlés, nous procédons alors à un vieillissement artificiel, celui-ci ne dure donc que quelques heures.

## SAÉ 2.3 PARTIE AUTOMATISME ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

### Applications et secteurs d'activités :

- **Construction aéronautique et spatiale** : traitement thermique sur certaines pièces des propulseurs Ariane, qualification QUALIFAS.
- **Construction automobile** : pièces de fonderie, supports de pompe à eau, supports d'alternateur, culasses, supports moteurs, caches culbuteurs, tubulures, raccords pour systèmes de climatisation, charnières de porte pour camion semi frigorifique, ébauches de tiges / 6061, boucles, crampons...
- **Construction poids-lourds** : poussoirs de culbuteurs, armatures ou charnières pour strapontin de véhicules de transports en commun...
- **Construction ferroviaire** : crampons de rails, ...
- **Construction mécanique** : fond de citerne, stores déroulants
- **Visserie** (aluminium 7075) : vis, écrous, rivets...
- **Architecture** : mobilier urbain (embases pour poteau de lampadaire)...
- **Équipements sportifs** : moto (couronnes de transmission / 7075, jantes), vélo (cadre, supports de vélo), skis (fixations / 7075)...

Les Figures 1 et 2 illustrent ce que peut être un four de trempe réel avec et sans convoyeur pour la trempe de pièces en aluminium

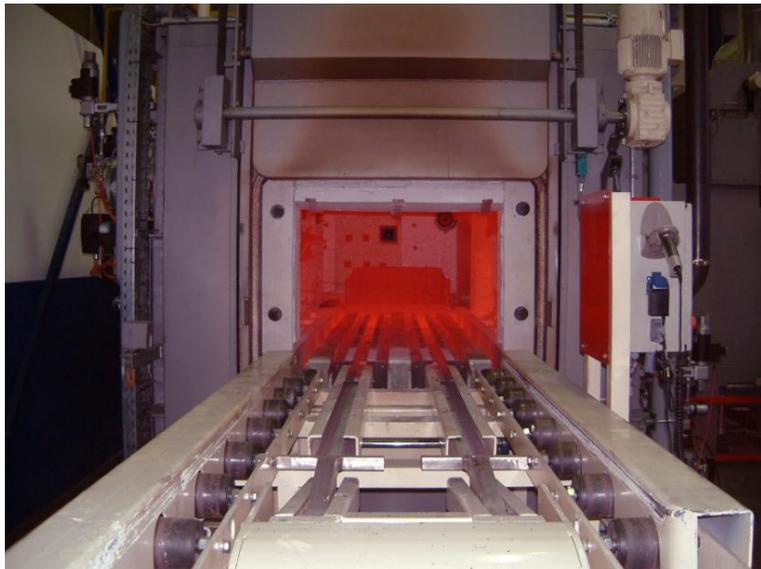


Figure 1: Four de trempe industriel



Figure 2 : Four de trempe grande dimension

# SAÉ 2.3 PARTIE AUTOMATISME ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

## PRÉSENTATION DU SYSTÈME DIDACTISÉ

Le système sera simulé par un tapis de convoyage (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les éléments chauffants sont simulés par des lampes, un moteur (mono ou triphasé) entraîne un ventilateur pour simuler la trempe. Une sonde de température permet de mesurer la température dans l'enceinte du four.

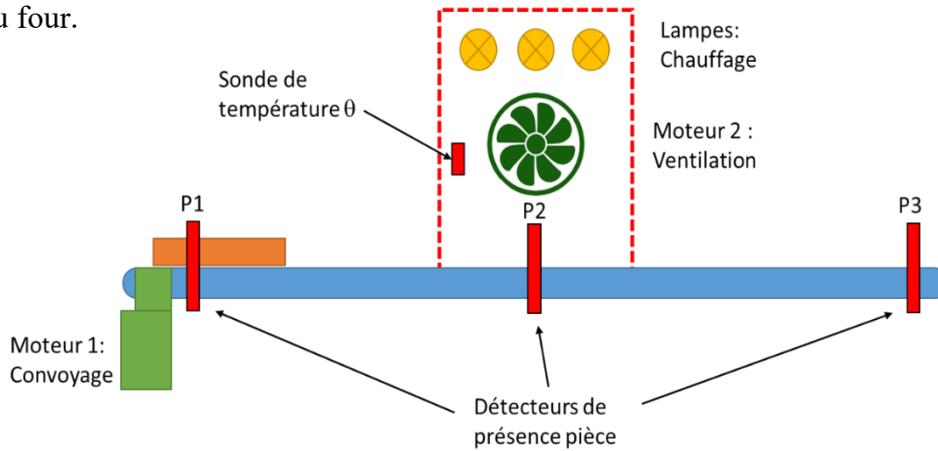


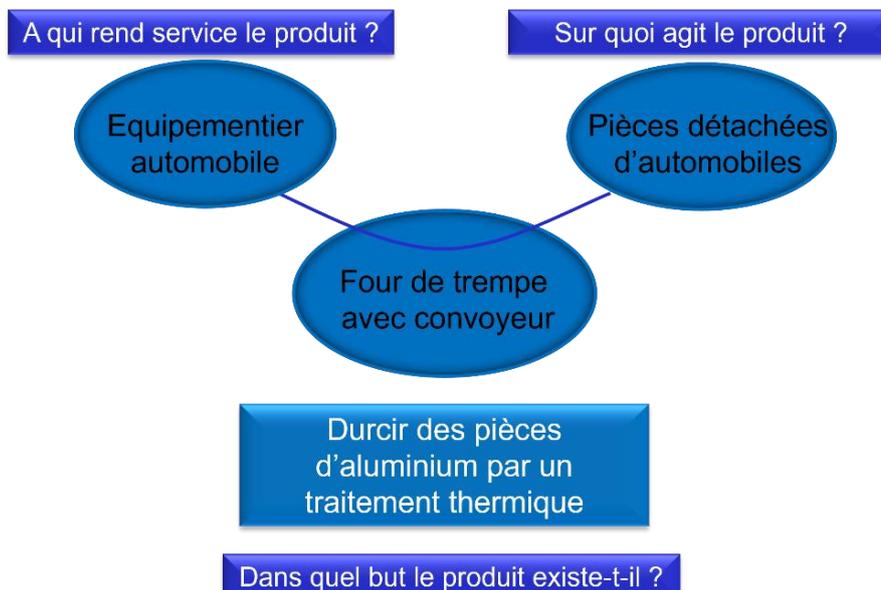
Figure 3 : Système de convoyage didactique

Le système doit permettre le traitement thermique automatique des pièces. Pour cela, la solution retenue comprendra :

- un tapis de convoyage équipé d'un moteur asynchrone triphasé associé à un variateur de vitesse,
- un sous-système de chauffage pour mettre en température le four,
- un moteur asynchrone qui assurera, à vitesse constante, une ventilation afin de faire chuter la température de l'enceinte pour simuler la phase de trempe,
- un automate programmable industriel pour piloter les différents actionneurs du système (via des pré-actionneurs) suivant le process indiqué dans le Cahier des Charges Fonctionnel.

### ➤ Cahier des Charges Fonctionnel :

#### 1- Identification du besoin :



# SAÉ 2.3 PARTIE AUTOMATISME ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

## 2- Analyse fonctionnelle des besoins :

Fonctions	Critères d'appréciation	Niveaux d'appréciation
Convoyer les pièces	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avance automatique du tapis du convoyeur sur détection d'une pièce à l'entrée du convoyeur ou quand la température du four requise est atteinte (évacuation)</li> <li>Arrêt automatique du tapis du convoyeur pour mettre une pièce dans le four ou lorsque la pièce est évacuée (en fin de trempe)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vitesse linéaire maximale du tapis : 0,2 m/s</li> <li>Rampe d'accélération de 2s</li> <li>Rampe de décélération de 2s</li> </ul>
Modes de marches et d'Arrêts	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mode Automatique</li> <li>Mode « Arrêt d'urgence »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mode automatique : Process complet (convoyage + mise en solution + trempe) lancé par appui sur un bouton poussoir départ cycle « Dcy »</li> <li>Mode « Arrêt d'urgence » : partie opérative mise hors énergie suite à l'action sur le bouton « Arrêt d'urgence »</li> </ul>
Communiquer avec le système via une IHM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rendre compte de l'état du système</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bouton poussoir « Dcy » pour lancer le process en mode automatique</li> <li>Voyant de signalisation « défaut variateur »</li> <li>Voyant de signalisation mode « Arrêt d'urgence »</li> </ul>
Alimentation électrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Raccordement à un réseau monophasé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>240 V ~ 50Hz ; 16 A</li> </ul>

## 3- Spécifications techniques relatives aux capteurs :

Les informations issues de la partie opérative seront disponibles sur un bornier, via des sorties relais :

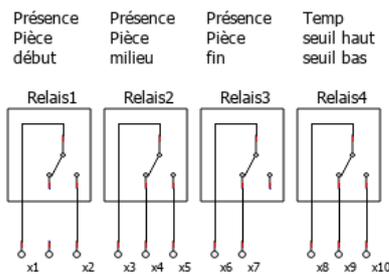


Schéma bornier venant des relais de l'arduino.

L'arduino détecte les positions et gère la température (seuil haut et seuil bas)

Schématisé à l'état de repos (sans pièces).

Cette partie sera réalisée par les étudiants lors de la SAE ESE (Electronique et Systèmes Embarqués).

## SAÉ 2.3 PARTIE AUTOMATISME ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

## TRAVAIL DEMANDÉ

## 1- Tâches collectives :

<b>CONTRAT COLLECTIF DES TÂCHES</b>	Nombre d'Etudiants : 6
<b>TÂCHES PROPOSÉES</b>	
<b>PHASE 1 - ORGANISATION DU PROJET</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre l'objectif du projet et les besoins du client</li> <li>- Elaborer et/ou finaliser le Cahier des Charges en liaison avec le client</li> <li>- Rechercher des solutions techniques compatibles avec le Cahier des Charges</li> <li>- Définir le matériel nécessaire à la réalisation de chaque solution</li> <li>- Effectuer un devis afin de chiffrer les différentes solutions</li> <li>- Choisir la solution la plus adaptée</li> <li>- Décomposer le projet en tâches</li> <li>- Elaborer le planning prévisionnel du projet et affecter les ressources (humaines et matérielles) aux différentes tâches</li> </ul>	
<b>PHASE 2 - CONCEPTION DU PROJET</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rechercher les documentations techniques nécessaires</li> <li>- Concevoir les plans et schémas électriques du projet avec un logiciel de CAO</li> <li>- Réceptionner le matériel</li> <li>- Réaliser l'équipement (implantation des matériels, câblage, développement du programme, etc...)</li> <li>- Définir les paramètres de réglage et leurs valeurs</li> <li>- Assurer le suivi de la réalisation en actualisant le planning et les plans</li> </ul>	
<b>PHASE 3 - MISE EN ŒUVRE DU PROJET</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir les procédures d'essais</li> <li>- Réaliser les essais en toute sécurité afin de valider la réalisation</li> <li>- Vérifier le fonctionnement de l'équipement et procéder aux réglages afin de garantir les spécifications fonctionnelles et techniques du Cahier des Charges</li> <li>- Analyser les éventuels dysfonctionnements</li> <li>- Procéder aux éventuelles actions correctives</li> </ul>	

## 2- Liste des livrables :

- Dossier de fabrication comprenant :
  - la liste du matériel,
  - le coût du projet (matériel uniquement),
  - le plan d'implantation du matériel sur la platine,
  - les schémas électriques sur trois folios (distribution, variateur, automate),
  - le programme de l'automate en version papier,
  - les procédures d'essais,
  - une notice de mise en service.
  
- Le fichier du programme de l'automate
- Le diaporama de votre présentation orale (soutenance)

## EVALUATION :

L'évaluation prendra en compte :

- l'argumentaire pour justifier la solution retenue,
- la qualité des schémas électriques,
- la réalisation de la platine de commande (implantation du matériel et câblage),
- la qualité de la mise en coffret de la platine,
- la mise en service (procédures, vérifications d'usage, ...)
- l'analyse des éventuels dysfonctionnements et la pertinence des actions correctives,
- la présentation / démonstration du bon fonctionnement de votre projet vis-à-vis du Cahier des Charges,
- la soutenance orale (qualité du diaporama et de la présentation)