

95 Fiches de Révision

# BTS CIRA

Contrôle Industriel et  
Régulation Automatique

- ✓ Fiches de révision
- ✓ Fiches méthodologiques
- ✓ Tableaux et graphiques
- ✓ Retours et conseils



Conforme au Programme Officiel



Garantie Diplômé(e) ou Remboursé

**4,6/5** selon l'Avis des Étudiants



# Préambule

## 1. Le mot du formateur :



Hello, moi c'est **Alexandre Delorme** 🙋

D'abord, je tiens à te remercier de m'avoir fait confiance et d'avoir choisi [www.btscira.fr](http://www.btscira.fr).

Si tu lis ces quelques lignes, saches que tu as déjà fait le choix de la **réussite**.

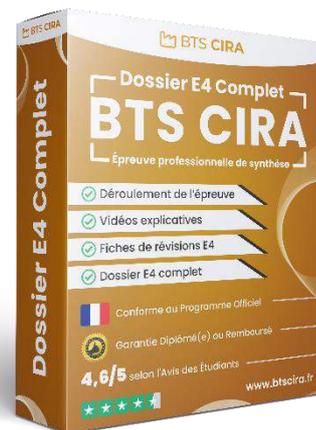
Dans cet E-Book, tu découvriras comment j'ai obtenu mon **BTS CIRA** avec une moyenne de **16.57/20** grâce à ces **fiches de révisions**.

## 2. Pour aller beaucoup plus loin :

Étant donné la spécificité de l'examen de l'épreuve E4 "Épreuve professionnelle de synthèse", Léa et moi avons décidé de créer une **formation vidéo ultra-complète** pour t'assurer au moins 16/20 à l'examen.

En effet, cette épreuve est l'une des plus importante de l'examen : Elle a un coefficient de 8 et influe pour 25 % de la note finale.

C'est d'ailleurs une matière à double tranchant car si tu maîtrises la **méthodologie** et les **notions à connaître**, tu peux être sûr(e) d'obtenir une excellente note. À l'inverse, si tu n'as pas les clés pour mener à bien cette épreuve cruciale, tu risques d'avoir une note assez limitée.



## 3. Contenu du Dossier E4 :

1. **Vidéo 1 - Maîtriser la rédaction de ton rapport de stage** : 29 minutes de vidéo abordant toutes les informations à connaître à ce sujet.
2. **Vidéo 2 - Conseils supplémentaires pour la rédaction du rapport de stage** : 25 minutes de vidéo pour évoquer toutes les notions à maîtriser et être 100% prêt pour le jour J.
3. **Vidéo 3 - Critères d'évaluation du projet technique** : 30 minutes de vidéo pour t'expliquer toutes les subtilités sur les critères d'évaluation du projet technique, un sujet crucial pour réussir.

4. **Fichier PDF - 21 Fiches de Révision** : E-Book de 21 Fiches de Révision spécialement conçu pour le Dossier E4 "Épreuve professionnelle de synthèse" 

Découvrir le Dossier E4

# Table des matières

<b>E1 : Culture Générale et Expression (CGE)</b> .....	<b>5</b>
<b>Chapitre 1 :</b> Synthèse de documents .....	6
<b>Chapitre 2 :</b> Écriture personnelle .....	10
<b>E2 : Langue vivante (Anglais)</b> .....	<b>13</b>
<b>Chapitre 1 :</b> Compréhension de l'écrit .....	15
<b>Chapitre 2 :</b> Expression écrite .....	16
<b>Chapitre 3 :</b> Comment organiser ses pensées ? .....	17
<b>Chapitre 4 :</b> Les expressions dans un débat .....	19
<b>Chapitre 5 :</b> Les pronoms relatifs .....	21
<b>Chapitre 6 :</b> Les verbes irréguliers .....	22
<b>E3 : Mathématiques</b> .....	<b>27</b>
<b>Chapitre 1 :</b> Étude d'une fonction .....	28
<b>Chapitre 2 :</b> Les statistiques .....	31
<b>Chapitre 3 :</b> Les suites .....	34
<b>E4 : Épreuve professionnelle de synthèse</b> .....	<b>36</b>
<b>Accès au dossier E4</b> .....	36
<b>E5 : Étude d'un système d'instrumentation, contrôle, régulation</b> .....	<b>38</b>
<b>Chapitre 1 :</b> Généralités sur la mesure .....	41
<b>Chapitre 2 :</b> Mesure et incertitudes .....	43
<b>Chapitre 3 :</b> Les unités de calcul .....	44
<b>Chapitre 4 :</b> La pression et les manomètres .....	45
<b>Chapitre 5 :</b> Les capteurs de niveau .....	47
<b>Chapitre 6 :</b> Comprendre les différentes unités de température .....	51
<b>Chapitre 7 :</b> Les différents types de thermomètres .....	53
<b>Chapitre 8 :</b> Les analyseurs industriels .....	55
<b>Chapitre 9 :</b> Les vannes de régulation .....	57
<b>Chapitre 10 :</b> Régulation industrielle .....	59
<b>E6 : Conception d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation</b> .....	<b>65</b>
<b>Chapitre 1 :</b> Les hacheurs .....	68
<b>Chapitre 2 :</b> L'algèbre de Boole .....	72
<b>Chapitre 3 :</b> Systèmes automatisés et automates programmables industriels .....	75
<b>Chapitre 4 :</b> Systèmes automatisés et automates programmables industriels .....	79
<b>Chapitre 5 :</b> Les capteurs et transmetteurs .....	83

<b>Chapitre 6</b> : La température et les thermomètres.....	87
<b>Chapitre 7</b> : Les vannes de régulation .....	92

## E1 : Culture Générale et Expression (CGE)

### Présentation de l'épreuve :

Évaluée à hauteur d'un coefficient de 3, l'épreuve E1 « Culture Générale et Expression » (CGE) se déroule sous forme écrite sur une durée de 4 heures.

Cette épreuve compte pour environ 9 % de la note finale, mais ne doit pas être négligée.

### Conseil :

L'épreuve de Culture Générale et expression est l'une des matières les plus difficiles à réviser car il n'y a pas vraiment de cours.

Privilégie l'apprentissage par cœur de la méthodologie de la synthèse de documents et de l'écriture personnelle et effectues-en pour t'entraîner.

## Table des matières

<b>Chapitre 1 :</b> Synthèse de documents .....	6
1. Réaliser une synthèse de documents.....	6
2. Synthèse de documents – Mise en place d'une introduction attirante .....	7
3. Synthèse de documents – Réussir son développement.....	8
4. Synthèse de documents – Réussir sa conclusion .....	9
<b>Chapitre 2 :</b> Écriture personnelle .....	10
1. Réaliser une écriture personnelle .....	10
2. Écriture personnelle – Analyser son sujet.....	10
3. Écriture personnelle – Introduction.....	11
4. Écriture personnelle – Chercher des exemples .....	11
5. Écriture personnelle – Donner son point de vue .....	12
6. Écriture personnelle – Conclusion .....	12

# Chapitre 1 : Synthèse de documents

## 1. Réaliser une synthèse de documents :

### Étape 1 – Survol du corpus :

L'idée de la première étape est d'abord de jeter un œil aux différents types de documents du corpus et d'en déterminer leur nature, à savoir :

- Extraits d'articles ;
- Extraits d'essais ;
- Textes littéraires ;
- Etc.

L'objectif est alors de recenser toutes les informations rapides telles que :

- Titres ;
- Dates ;
- Nom des auteurs.

### Étape 2 – Lecture et prise de notes :

Ensuite, vous allez entamer une lecture analytique. Le but est alors de trouver et de reformuler 6 à 10 idées principales du document.

Faites ensuite un tableau de confrontation, c'est-à-dire que dans chaque colonne, vous écrirez les idées qui vous viennent à l'esprit en les numérotant.

### Étape 3 – Regroupement des idées :

Une fois la prise de notes terminée, vous pouvez commencer à chercher les idées qui se complètent et celles qui s'opposent.

Pour cela, réalisez 3 groupements d'idées se complétant.

### Étape 4 – Recherche de plan :

Vous devez maintenant finaliser votre plan. Il est fortement conseillé de l'écrire au brouillon avant de le rédiger au propre.

Pour ce faire, vous allez rédiger votre plan de façon détaillée avec le nom de chaque partie, et de chaque sous-partie.

### Étape 5 – La rédaction :

La rédaction est le gros du travail. Pour le réussir, vous allez respecter les points suivants :

- **Structuration de votre texte :** Sautez une ligne entre chaque partie et faites des alinéas. Les différentes parties de votre développement doivent toujours commencer par l'idée principale ;
- **Respectez les normes de présentation :** N'omettez pas de souligner les titres des œuvres et de mettre entre guillemets les citations de textes ;
- **Équilibrez les parties de votre texte :** Enfin, l'objectif est d'équilibrer les différentes parties de notre développement.

### **Quelques règles importantes :**

- Ne pas oublier les guillemets lors d'une citation ;
- Ne pas faire référence à des documents ne figurant pas dans le dossier ;
- Ne pas numéroter ou nommer ses parties ;
- Ne pas laisser un document de côté, ils doivent tous être traités ;
- Ne pas donner son avis personnel sur le sujet ;
- Ne pas énumérer ses idées les unes après les autres, les énumérer en fonction d'un plan concret ;
- Ne pas présenter toutes ses idées dans les moindres détails, il faut qu'elles restent concises ;
- Ne pas revenir plusieurs fois sur une seule et même idée ;
- Ne pas utiliser le pronom personnel "je" et éviter l'utilisation du "nous".

## **2. Synthèse de documents – Mise en place d'une introduction attirante :**

### **Étape 1 – Trouver une amorce :**

L'amorce correspond à une phrase à visée générale introduisant la lecture du texte. Il peut s'agir d'un proverbe, d'une vérité générale, d'un fait divers, d'une citation, etc.

L'amorce n'est pas obligatoire mais relativement conseillée.

**Exemple :** On pourrait utiliser l'expression "Sans musique, la vie serait une erreur" en citant son auteur "Nietzsche" en tant qu'amorce.

### **Étape 2 – Présenter le sujet :**

À la suite de l'amorce, vous devez présenter le sujet en le formulant de manière simple et concise.

**Exemple :** "Le corpus de document traite de la musique en tant que loisir superficiel".

### **Étape 3 – Présenter les documents :**

Pour cette troisième étape, vous allez regrouper les documents par points communs et, s'il n'y a pas de points communs, vous allez les présenter les uns après les autres.

Pour présenter les documents, vous allez donner les informations suivantes :

- Nom de l'auteur ;
- Titre ;
- Type de document ;
- Source ;
- Idée principale ;
- Date.

**Exemple :** Dans son roman Gil paru en 2015, Célia Houdart raconte la vie d'un musicien avec son ascension, ses fragilités et ses difficultés.

#### **Étape 4 – Trouver une problématique :**

À la suite de la présentation des documents, vous allez présenter la problématique. Il doit s'agir de la grande question générale soulevée par le dossier. Cette problématique a généralement la forme d'une question et doit être en lien avec le plan choisi.

**Exemple :** "Quel regard porter sur la précarité du statut des musiciens ?"

#### **Étape 5 – Annoncer son plan :**

À ce niveau, il s'agit d'annoncer à notre lecteur le plan choisi et d'entamer le développement de manière fluide.

**Exemple :** "Dans une première partie, nous analyserons la dimension économique des concerts. Dans un second temps, nous aborderons le point de vue du public."

### **3. Synthèse de documents – Réussir son développement :**

#### **Étape 1 – Organiser ses idées :**

Une fois que vous avez choisi votre plan de 2 ou 3 parties, vous devrez constituer entre 2 et 4 paragraphes dans chaque partie. Ces paragraphes doivent suivre un ordre logique allant du plus évident au moins évident.

#### **Exemple :**

- **Première partie :** "La pratique musicale, un objectif éducatif" ;
- **Deuxième partie :** "La pratique musicale, une forme de distinction sociale" ;
- **Troisième partie :** "La pratique musicale, un coût pour les familles".

#### **Étape 2 – Construire un paragraphe :**

Un paragraphe s'appuie sur plusieurs documents. Pour rendre un paragraphe efficace, on commence par annoncer l'idée principale commune à plusieurs documents avant de donner les détails.

**Exemple :** "La pratique musicale est en constante hausse dans la société. Ainsi, C. Planchon développe l'exemple du hautbois et de la pratique du leasing encourageant l'accès aux instruments à bas prix. E. Goudier va plus loin en donnant le détail de tous les organismes permettant de renforcer la démocratisation des instruments de musique."

De plus, pour construire un paragraphe, il faut reformuler et confronter les idées principales de l'auteur.

Enfin, entre chaque paragraphe, vous devrez utiliser des connecteurs logiques tels que :

- En premier lieu, ...
- Par ailleurs, ...
- En outre, ...
- Enfin, ...

### **Étape 3 – Fluidifier la transition entre chaque partie :**

L'idée est d'insérer une courte phrase ayant pour rôle de récapituler la partie précédente et d'annoncer ce qui suit sans pour autant trop en annoncer.

**Exemple :** "Comme on vient de le voir, la nécessité de la pratique musicale a tendance à s'imposer à nous, mais les obstacles restent nombreux."

## **4. Synthèse de documents – Réussir sa conclusion :**

### **Étape 1 – Rédiger sa conclusion en fonction des idées précédentes :**

Le principe de la conclusion est de faire un bilan sur les idées précédemment développées.

**Exemple :** "En résumé, la musique est un art mais aussi un loisir subissant des préjugés. En effet, certains genres musicaux initialement considérés comme "nobles" prouvent que la hiérarchie peut céder."

### **Étape 2 – Utilisation d'un connecteur ou d'une expression :**

Un connecteur ou une expression doit figurer dans la conclusion afin de bien faire notifier au lecteur qu'il s'agit de la conclusion. En voici quelques-uns :

- En somme, ...
- En conclusion, ...
- Pour conclure, ...
- On retiendra de cette étude que...

## Chapitre 2 : Écriture personnelle

### 1. Réaliser une écriture personnelle :

#### Les règles importantes :

- Avant d'entamer sur la méthodologie de l'écriture personnelle, voici quelques règles importantes ;
- L'utilisation du pronom "je" est évidemment autorisée ;
- Utiliser des références personnelles de films, de tableaux, d'œuvres ou de livres est obligatoire ;
- Saut de ligne entre les parties obligatoire ainsi que la présence d'alinéas au premier paragraphe ;
- Éviter les fautes d'orthographe en relisant 2 fois à la fin.

### 2. Écriture personnelle – Analyser son sujet :

#### Utilisation de la méthode "QQOQCCP" pour analyser son sujet :

L'utilisation de la méthode "QQOQCCP" est très utilisée pour analyser son sujet. Pour cela, vous allez répondre aux questions suivantes concernant le sujet :

- Qui ?
- Quoi ?
- Quand ?
- Où ?
- Comment ?
- Combien ?
- Pourquoi ?

**Exemple :** Si le sujet est "D'après-vous, la société doit-elle aller toujours plus vite ?" Voici l'élaboration du QQOQCCP :

- Qui ?
  - Les citoyens vivent à un rythme de plus en plus élevé.
  - Les conducteurs parfois tentés de dépasser la vitesse maximale autorisée en conduite.
  - Les journalistes toujours à la recherche du "scoop" et de faire diffuser des informations trop vite.
- Quoi ?
  - Une accélération de la production permettant de faciliter les échanges et d'abolir les distances.
  - Un facteur de risques permettant de prendre en compte le risque d'erreur, d'accident et de stress.
- Quand ?
  - Étant donné que le sujet a l'air moderne, ce sera plutôt au XX et XXIème siècle avec l'arrivée du numérique.
- Où ?
  - Question peu porteuse sur ce sujet.

- Comment ?
  - Au travers des moyens de transport, des moyens de communication, des informations en temps réel, etc.
- Combien ?
  - Question peu porteuse sur ce sujet.
- Pourquoi ?
  - Par souci d'efficacité, de dynamisme et pour fluidifier les échanges.

### 3. Écriture personnelle – Introduction :

#### Étape 1 – Rédiger une "amorce" :

L'amorce correspond à une phrase à visée générale introduisant la lecture du texte. Il peut s'agir d'un proverbe, d'une vérité générale, d'un fait divers, d'une citation, etc.

L'amorce n'est pas obligatoire mais relativement conseillée.

#### Étape 2 – Reformuler le sujet :

Vous devez expliquer avec vos mots ce que signifie le sujet donné.

**Exemple :** Si le sujet est "Faut-il défendre la diversité musicale ?", essayez de mettre en avant les paradoxes, les contradictions, les choix à faire et l'intérêt du sujet en général.

#### Étape 3 – Rédaction de la problématique :

À la suite de la présentation des documents, vous allez présenter la problématique. Il doit s'agir de la grande question soulevée par le sujet. Cette problématique a généralement la forme d'une question.

**Exemple :** "La diversité culturelle, si chère à la France, est-elle en danger dans un contexte désormais mondialisé ?"

#### Étape 4 – Élaboration du plan :

Le plan doit être élaboré dans le but de répondre à la problématique.

**Exemple :** "Pour répondre à cette question, nous évoquerons alors 2 possibilités, une action engagée en faveur de la diversité et une position plus passive et respectueuse du mode de vie collectif."

### 4. Écriture personnelle – Chercher des exemples :

#### Trouver des exemples :

L'idée est de trouver des exemples en rapport avec le sujet pour appuyer sa future argumentation.

**Exemple :** Si le sujet est "D'après-vous, la société doit-elle aller toujours plus vite ?" Voici quelques exemples :

- **Fait d'actualité :** Le projet d'une reconstruction express de Notre Dame en 5 ans ;

- **Phénomène de société** : Les TGV, les taxis "ubers", les trottinettes électriques ;
- **Référence culturelle** : Les films d'action.

## 5. Écriture personnelle – Donner son point de vue :

### Donner son point de vue :

Contrairement à la synthèse de documents strictement objective, l'écriture personnelle demande une touche subjective de la part du rédacteur. Mais attention, vous ne devez pas donner votre point de vue tout le long de votre copie mais seulement ponctuellement.

De plus, si votre évaluateur n'est pas de votre point de vue, ce n'est pas grave car ce n'est pas ce sur quoi vous êtes évalué(e).

### Comment donner son point de vue ?

Pour donner son point de vue, vous pouvez utiliser différentes expressions appropriées du registre telles que :

- Pour ma part...
- En ce qui me concerne...
- D'après moi...
- Je pense que...
- J'approuve l'idée selon laquelle...

## 6. Écriture personnelle – Conclusion :

### Rôle de la conclusion :

La conclusion de l'écriture personnelle est sensiblement similaire à celle de la synthèse de documents et récapitule les grandes idées qui ont été développées. L'idée est qu'elle penche d'un certain côté de la balance et qu'elle ne soit pas totalement neutre.

De plus, cette conclusion peut être une question ouverte pour donner envie au lecteur.

**Exemple** : "En définitive, notre société semble partagée entre 2 tendances ; l'une qui soutient la diversité musicale et l'autre s'appuyant sur des goûts collectifs. Contrairement aux apparences, ces 2 tendances ne pourraient-elles pas cohabiter ?"

## E2 : Langue vivante (Anglais)

### Présentation de l'épreuve :

L'épreuve E2 « Langue vivante (Anglais) » est une épreuve disposant d'un coefficient de 2 et se déroule sous forme de Contrôle en Cours de Formation (CCF) au travers de 2 situations d'évaluation.

De plus, il est tout à fait possible d'obtenir le passage d'une autre langue vivante étrangère (LV2) qui disposera alors des mêmes modalités que la LV1, à savoir d'un coefficient de 2 et d'une situation d'évaluation similaire. L'épreuve LV2 est optionnelle.

### Conseil :

Ne néglige pas cette matière ayant une influence sur 6 % (LV1 uniquement) ou 12 % (LV1 et LV2) de la note finale de l'examen. De plus, je te conseille de travailler énormément ton vocabulaire et ton écoute.

Pour travailler ton vocabulaire, sollicite tes 3 types de mémoires :

- Mémoire visuelle (lecture) ;
- Mémoire auditive (écoute) ;
- Mémoire kinesthésique (écrite).

En sollicitant ces 3 types de mémoires, tu maximises ainsi ton apprentissage. Pour ce qui est de l'écoute, regarde des films ou des séries en Anglais et mets les sous-titres en Français.

## Table des matières

<b>Chapitre 1 :</b> Compréhension de l'écrit .....	15
1. Définitions de la compréhension de l'écrit .....	15
2. Règles à respecter .....	15
<b>Chapitre 2 :</b> Expression écrite .....	16
1. Rédaction du mail .....	16
<b>Chapitre 3 :</b> Comment organiser ses pensées ? .....	17
1. Introduction .....	17
2. Connecteurs logiques .....	17
<b>Chapitre 4 :</b> Les expressions dans un débat .....	19
1. Utilité des expressions .....	19
2. L'introduction à une idée .....	19
<b>Chapitre 5 :</b> Les pronoms relatifs .....	21
1. Les pronoms relatifs .....	21

2.	Quelques particularités des pronoms .....	21
<b>Chapitre 6 : Les verbes irréguliers .....</b>		<b>22</b>
1.	Liste des verbes irréguliers.....	22

# Chapitre 1 : Compréhension de l'écrit

## 1. Définitions de la compréhension de l'écrit :

### Objectif :

Montrer que l'essentiel du texte a été compris. Résumé en respectant le nombre de mots (+ / - 10 %).

### Introduction :

Type de document, source, thème général.

### Corps :

Développer les idées principales avec des mots de liaison.

## 2. Règles à respecter :

### Les règles à respecter :

- Respecter le nombre de mots et l'inscrire à la fin ;
- Ne pas mettre de Français.

### À ne surtout pas faire :

- Rédiger le compte-rendu en anglais ;
- Introduire des informations extérieures au document ;
- Paraphraser le texte ;
- Omettre des idées importantes.

## Chapitre 2 : Expression écrite

### 1. Rédaction du mail :

#### Les principes de base de la rédaction du mail :

- Toujours commencer par : "Dear Mr./Ms. ..." ;
- Exprimer le but du mail : "I am writing to enquire about..." ;
- Pour conclure : "Thank you for patience and cooperation. If you have any questions or concerns, don't hesitate to let me know." ;
- Salutation : "Best regards/Sincerely".

## Chapitre 3 : Comment organiser ses pensées ?

### 1. Introduction :

#### Comment introduire ses pensées ?

Afin de préparer et d'organiser de la meilleure façon les idées et les informations, à l'écrit comme à l'oral, les expressions suivantes peuvent être utilisées.

Expression anglaise	Expression française
To begin with	Pour commencer avec
As an introduction	En introduction

### 2. Connecteurs logiques :

#### Exprimer son opinion personnelle :

Expression anglaise	Expression française
In my opinion	À mon avis
To me	Pour moi
I think	Je pense
Personally	Personnellement
According to me	Selon moi
As for the	Comme pour le

#### Organiser en série d'éléments :

Expression anglaise	Expression française
Firstly	Premièrement
Secondly	Deuxièmement
Thirdly	Troisièmement
Then	Ensuite
After that	Après ça
At the end	À la fin

#### Ajouter une information :

Expression anglaise	Expression française
Moreover	De plus
Added to that	Ajouté à cela

#### Donner des exemples :

Expression anglaise	Expression française
For example	Par exemple

Such as	Tel que
Like	Comme

**Généraliser :**

Expression anglaise	Expression française
All told	En tout
About	À propos

**Expliquer une cause :**

Expression anglaise	Expression française
Because of	En raison de
Thanks to	Grâce à

## Chapitre 4 : Les expressions dans un débat

### 1. Utilité des expressions :

#### À quoi servent les expressions dans un débat ?

Les expressions du débat sont intéressantes à étudier puisqu'elles offrent différentes façons d'aborder et de diriger une discussion. Elles peuvent être mises en place le jour de l'oral d'Anglais.

### 2. L'introduction à une idée :

#### Exprimer un désaccord :

Expression anglaise	Expression française
My point of view is rather different from	Mon point de vue est assez différent du vôtre
I'm not agree with you	Je ne suis pas d'accord avec vous
It is wrong to say that	C'est faux de dire que

#### Ajouter une information :

Expression anglaise	Expression française
In addition to	En plus de
In addition	En outre
Not only	Pas seulement

#### Contraster :

Expression anglaise	Expression française
But	Mais
Yet	Encore
Nevertheless	Néanmoins
Actually	Réellement
On the one hand	D'un côté
On the other hand	D'autre part
In fact	En réalité
Whereas	Tandis que

#### Pour résumer :

Expression anglaise	Expression française
In a word	En un mot
To sum up	Pour résumer

**Pour justifier :**

<b>Expression anglaise</b>	<b>Expression française</b>
That's why	C'est pourquoi
For example	Par exemple

## Chapitre 5 : Les pronoms relatifs

### 1. Les pronoms relatifs :

Les différents pronoms relatifs existants :

Expression anglaise	Expression française
Where	Où
What	Qu'est-ce que
When	Quand
Whom	Que
Whose	À qui
Who	Qui (pour un humain)
Which	Qui (pour un animal/objet)

### 2. Quelques particularités des pronoms :

**Les particularités du pronom "which" :**

Le pronom "which" désigne un animal ou un objet.

**Exemple :**

Expression anglaise	Expression française
The dog which is here very aggressive.	Le chien qui est ici est très agressif.

**Les particularités du pronom "who" :**

Le pronom "who" désigne un humain.

**Exemple :**

Expression anglaise	Expression française
The girl who is looking at us is called Sarah.	La fille qui nous regarde s'appelle Sarah.

**Les particularités du pronom "whose" :**

Le pronom "whose" permet d'indiquer la possession.

**Exemple :**

Expression anglaise	Expression française
The singer whose name I don't remember has a beautiful voice.	Le chanteur dont je ne me souviens plus du nom a une belle voix.

## Chapitre 6 : Les verbes irréguliers

### 1. Liste des verbes irréguliers :

Base verbale	Prétérit	Participe passé	Expression française
abide	abode	abode	respecter / se conformer à
arise	arose	arisen	survenir
awake	awoke	awoken	se réveiller
bear	bore	borne / born	porter / supporter / naître
beat	beat	beaten	battre
become	became	become	devenir
beget	begat / begot	begotten	engendrer
begin	began	begun	commencer
bend	bent	bent	plier / se courber
bet	bet	bet	parier
bid	bid / bade	bid / bidden	offrir
bite	bit	bitten	mordre
bleed	bled	bled	saigner
blow	blew	blown	souffler / gonfler
break	broke	broken	casser
bring	brought	brought	apporter
broadcast	broadcast	broadcast	diffuser / émettre
build	built	built	construire
burn	burnt / burned	burnt / burned	brûler
burst	burst	burst	éclater
buy	bought	bought	acheter
can	could	could	pouvoir
cast	cast	cast	jeter / distribuer (rôles)
catch	caught	caught	attraper
chide	chid / chode	chid / chidden	gronder
choose	chose	chosen	choisir
cling	clung	clung	s'accrocher
clothe	clad / clothed	clad / clothed	habiller / recouvrir
come	came	come	venir
cost	cost	cost	coûter
creep	crept	crept	ramper
cut	cut	cut	couper
deal	dealt	dealt	distribuer
dig	dug	dug	creuser
dive	dived	dived / dove	plonger

do	did	done	faire
draw	drew	drawn	dessiner / tirer
dream	dreamt / dreamed	dreamt / dreamed	rêver
drink	drank	drunk	boire
drive	drove	driven	conduire
dwell	dwelt	dwelt / dwelled	habiter
eat	ate	eaten	manger
fall	fell	fallen	tomber
feed	fed	fed	nourrir
feel	felt	felt	se sentir / ressentir
fight	fought	fought	se battre
find	found	found	trouver
flee	fled	fled	s'enfuir
fling	flung	flung	lancer
fly	flew	flown	voler
forbid	forbade	forbidden	interdire
forecast	forecast	forecast	prévoir
foresee	foresaw	foreseen	prévoir / presentir
forget	forgot	forgotten / forgot	oublier
forgive	forgave	forgiven	pardonner
forsake	forsook	forsaken	abandonner
freeze	froze	frozen	geler
get	got	gotten / got	obtenir
give	gave	given	donner
go	went	gone	aller
grind	ground	ground	moudre / opprimer
grow	grew	grown	grandir / pousser
hang	hung	hung	tenir / pendre
have	had	had	avoir
hear	heard	heard	entendre
hide	hid	hidden	cache
hit	hit	hit	taper / appuyer
hold	held	held	tenir
hurt	hurt	hurt	blesser
keep	kept	kept	garder
kneel	knelt / knelled	knelt / kneeled	s'agenouiller
know	knew	known	connaître / savoir
lay	laid	laid	poser
lead	led	led	mener / guider
lean	leant / leaned	leant / leaned	s'incliner / se pencher
leap	leapt / leaped	leapt / leaped	sauter / bondir
learn	learnt	learnt	apprendre

leave	left	left	laisser / quitter / partir
lend	lent	lent	prêter
let	let	let	permettre / louer
lie	lay	lain	s'allonger
light	lit / lighted	lit / lighted	allumer
lose	lost	lost	perdre
make	made	made	fabriquer
mean	meant	meant	signifier
meet	met	met	rencontrer
mow	mowed	mowed / mown	tondre
offset	offset	offset	compenser
overcome	overcame	overcome	surmonter
partake	partook	partaken	prendre part à
pay	paid	paid	payer
plead	pled / pleaded	pled / pleaded	supplier / plaider
preset	preset	preset	programmer
prove	proved	proven / proved	prouver
put	put	put	mettre
quit	quit	quit	quitter
read	read	read	lire
relay	relaid	relaid	relayer
rend	rent	rent	déchirer
rid	rid	rid	débarrasser
ring	rang	rung	sonner / téléphoner
rise	rose	risen	lever
run	ran	run	courir
saw	saw / sawed	sawn / sawed	scier
say	said	said	dire
see	saw	seen	voir
seek	sought	sought	chercher
sell	sold	sold	vendre
send	sent	sent	envoyer
set	set	set	fixer
shake	shook	shaken	secouer
shed	shed	shed	répandre / laisser tomber
shine	shone	shone	briller
shoe	shod	shod	chausser
shoot	shot	shot	tirer / fusiller
show	showed	shown	montrer
shut	shut	shut	fermer
sing	sang	sung	chanter
sink	sank / sunk	sunk / sunken	couler

sit	sat	sat	s'asseoir
slay	slew	slain	tuer
sleep	slept	slept	dormir
slide	slid	slid	glisser
slit	slit	slit	fendre
smell	smelt	smelt	sentir
sow	sowed	sown / sowed	semmer
speak	spoke	spoken	parler
speed	sped	sped	aller vite
spell	spelt	spelt	épeler / orthographier
spend	spent	spent	dépenser / passer du temps
spill	spilt / spilled	spilt / spilled	renverser
spin	spun	spun	tourner / faire tourner
spit	spat / spit	spat / spit	cracher
split	split	split	fendre
spoil	spoilt	spoilt	gâcher / gâter
spread	spread	spread	répandre
spring	sprang	sprung	surgir / jaillir / bondir
stand	stood	stood	être debout
steal	stole	stolen	voler / dérober
stick	stuck	stuck	coller
sting	stung	stung	piquer
stink	stank	stunk	puer
strew	strewed	strewn / strewed	éparpiller
strike	struck	stricken / struck	frapper
strive	strove	striven	s'efforcer
swear	swore	sworn	jurer
sweat	sweat / sweated	sweat / sweated	suer
sweep	swept	swept	balayer
swell	swelled / sweated	swollen	gonfler / enfler
swim	swam	swum	nager
swing	swung	swung	se balancer
take	took	taken	prendre
teach	taught	taught	enseigner
tear	tore	torn	déchirer
tell	told	told	dire / raconter
think	thought	thought	penser
thrive	throve / thrived	thriven / thrived	prosperer
throw	threw	thrown	jeter
thrust	thrust	thrust	enfoncer
typeset	typeset	typeset	composer

undergo	underwent	undergone	subir
understand	understood	understood	comprendre
wake	woke	woken	réveiller
weep	wept	wept	pleurer
wet	wet / wetted	wet / wetted	mouiller
win	won	won	gagner
wind	wound	wound	enrouler / remonter
withdraw	withdrew	withdrawn	se retirer
wring	wrung	wrung	tordre
write	wrote	written	écrire

## E3 : Mathématiques

### Présentation de l'épreuve :

Les mathématiques sont une épreuve à faible coefficient (3), ce qui représente environ 9 % de la moyenne finale de l'examen. Cette épreuve est réalisée sous forme de Contrôle en Cours de Formation (CCF).

Au cours de ta deuxième année de BTS CG, il y aura alors 2 situations d'évaluation pour t'évaluer sur cette épreuve. Il s'agira d'épreuves écrites composées principalement d'exercices.

### Conseil :

Malgré le faible coefficient des mathématiques à côté d'autres épreuves (comme la E4 par exemple), les mathématiques influe tout de même pour environ 9 % de la note finale. Il ne faut donc surtout pas les négliger.

De plus, il s'agit d'une épreuve « pilier » : Une multitude de notions à maîtriser pour cette épreuve seront réutilisées pour d'autres épreuves, d'où son importance.

Je te conseille de regarder les annales des années précédentes et de t'exercer aux différentes notions à connaître.

## Table des matières

<b>Chapitre 1 :</b> Étude d'une fonction .....	28
1. Étude d'une fonction .....	28
2. Les asymptotes .....	28
3. Les variations d'une fonction .....	28
<b>Chapitre 2 :</b> Les statistiques .....	31
1. Les principes de base des statistiques .....	31
2. Les variables aléatoires discrètes .....	32
3. La loi binomiale .....	33
4. La loi normale .....	33
<b>Chapitre 3 :</b> Les suites .....	34
1. Les suites arithmétiques .....	34
2. Les suites géométriques .....	34

# Chapitre 1 : Étude d'une fonction

## 1. Étude d'une fonction :

### À quoi servent les études de fonction ?

Pour étudier le sens de variation d'une fonction, il est nécessaire d'étudier le signe de sa dérivée.

### Limite d'une fonction :

La limite d'une fonction polynôme en  $+\infty$  (ou  $-\infty$ ) est égal à la limite en  $+\infty$  (ou  $-\infty$ ) du terme de plus haut degré.

La limite d'une fonction rationnelle en  $+\infty$  (ou  $-\infty$ ) est égal à la limite en  $+\infty$  (ou  $-\infty$ ) du quotient (fraction) des termes de plus haut degré du numérateur et du dénominateur.

## 2. Les asymptotes :

### Quels sont les 3 propriétés d'asymptotes ?

- Si  $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = +/\infty \Rightarrow$  asymptote verticale d'équation  $x = a$
- Si  $\lim_{x \rightarrow +/\infty} f(x) = b \Rightarrow$  asymptote horizontale d'équation  $y = b$
- Si  $\lim_{x \rightarrow +/\infty} [f(x) - (ax + b)] = 0 \Rightarrow$  asymptote oblique d'équation  $y = ax + b$

## 3. Les variations d'une fonction :

### Qu'est-ce qu'une variation de fonction ?

Soit une fonction définie sur un intervalle  $I$ , et admettant sur cet intervalle une dérivée  $f'$ .

Si, pour tout  $x$  de  $I$ , on a :  $f'(x) \geq 0$  alors  $f$  est **croissante** sur  $I$ .

Si, pour tout  $x$  de  $I$ , on a :  $f'(x) \leq 0$  alors  $f$  est **décroissante** sur  $I$ .

→ On en déduit donc les tableaux de variations à partir de l'étude de signe de la dérivée.

### Méthode de résolution d'une équation du second degré :

$$Y = ax^2 + bx + c$$

### Calcul du discriminant :

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

**Exemple 1 :**  $\Delta < 0$  : Le polynôme n'a pas de racine.

**Exemple 2 :**  $\Delta > 0$  : Le polynôme a 2 racines :

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$$

$$x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

Dans ce cas, le polynôme peut se factoriser :  $ax^2 + bx + c \Rightarrow a(x-x_1)(x-x_2)$

**Exemple 3 :**  $\Delta = 0$  : Le polynôme a une racine double :  $\alpha = -b / 2a$

Dans ce cas le polynôme peut se factoriser :  $ax^2 + bx + c \Rightarrow a(x-\alpha)^2$

**Variation d'une fonction :**

Pour construire un tableau de variation, il est nécessaire d'indiquer toutes les valeurs pour lesquelles la fonction  $f(x) = 0$  (voir le calcul du discriminant).

**Tableau de variation :**

x	a	$x_0$	b
$f'(x)$		-	+
Variation de $f(x)$	$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$	$f(x_0)$	$\lim_{x \rightarrow b} f(x)$

->  $f(x_0)$  est appelé minimum de la fonction.

x	a	$x_0$	b
$f'(x)$		-	+
Variation de $f(x)$	$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$	$f(x_0)$	$\lim_{x \rightarrow b} f(x)$

->  $f(x_0)$  est appelé maximum de la fonction.

=> Les extremums sont les maximums et les minimums.

**Tableau de signes :**

Dans le tableau de signes, il faut indiquer toutes les valeurs pour lesquelles la fonction  $f(x) = 0$ .

C'est une fonction simple. La résolution d'équation se fait via la technique des facteurs :

$$6x = 0 \leftrightarrow x=0 \quad / \quad x-1 = 0 \leftrightarrow x = 1$$

Si c'était un polynôme de second degré " $y = ax^2 + bx + c$ ", il aurait été nécessaire de calculer le discriminant.

x	$-\infty$	0	1	$+\infty$
6x	-	0	+	+
(x-1)	-	-	0	+
f'(x)	(-x-) = +	0	(+x-) = -	(+x+) = +

**Tableau de variation :**

x	$-\infty$	0	1	$+\infty$	
f'(x)	+	0	-	0	+
Variation de f(x)	$-\infty^*$	6	5	$+\infty^{*1}$	

-> Cette fonction n'admet pas d'extremum.

$$* \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} (2x^3) = -\infty \quad \quad *1 \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} (2x^3) = +\infty$$

## Chapitre 2 : Les statistiques

### 1. Les principes de base des statistiques :

#### Notions de base :

Une enquête statistique porte sur un ensemble de personnes ou d'objets nommés "population" (constituée d'individus).

Lorsque la population est impossible à étudier dans son ensemble, on étudie un échantillon.

L'enquête vise à mettre en évidence une certaine particularité de cette population. Cette particularité est appelée "caractère" ou "variable".

#### Caractère mesurable :

Si le caractère est mesurable, il est dit "quantitatif". Cela signifie que l'on puisse associer un nombre représentant la taille, l'année de naissance, l'âge, etc.

Dans le cas contraire, il est qualitatif (couleur des yeux, région d'habitation, etc.).

#### Les 2 formes de caractères (discret et continu) :

- Discret : Il peut prendre des valeurs "isolées" (nombre d'enfants).
- Continu : Il peut prendre toutes les valeurs d'un intervalle de nombres réels (somme d'argent).

Les résultats sont mis en forme dans des tableaux et/ou des graphiques.

#### La moyenne :

$$\bar{x} = \frac{\sum n_i x_i}{N}$$

#### La médiane :

Notée "Me", la médiane est la valeur d'un caractère quantitatif qui partage l'effectif total de la population en 2 groupes d'effectifs égaux.

#### L'écart type :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N n_i (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{ou} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum n_i x_i^2}{N} - \bar{x}^2}$$

#### La fréquence :

La fréquence se calcule à partir de la formule :  $f_i = n_i/N$

### Le centre de classe :

Le centre de classe se calcule à partir de la formule :  $[a ; b[ \rightarrow x_i = (a+b)/2$

### Le quartile :

Notés  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $Q_3$ , le quartile sont les trois valeurs de la variable qui partagent la liste des valeurs ordonnées en quatre groupes de même effectif.

Le quartile se calcule à partir de la formule suivante :

$$Rq : Q_2 = Me$$

### L'interquartile :

L'interquartile est la différence entre les quartiles  $Q_3$  et  $Q_1$ .

Noté « I », l'interquartile se calcule à partir de la formule suivante :

$$I = Q_3 - Q_1$$

$[Q_1 ; Q_3]$  contient la moitié des valeurs observées.

$[Q_1 ; Me]$  et  $[Me ; Q_3]$  contiennent le quart des valeurs observées.

### L'ajustement affiné :

L'ajustement affiné peut être connu grâce à la méthode de Mayer : La droite passe par  $G_1$  et  $G_2$ , les deux points moyens des deux nuages partiels d'importance équivalente. La droite  $(G_1G_2)$  est appelée droite de Mayer, elle passe par  $G$ .

Il existe également la méthode des moindres carrés : Celle-ci consiste à déterminer la droite la plus susceptible de remplacer « au mieux » le nuage de points. Cette droite est nommée « droite d'ajustement de  $y$  par rapport à  $x$  » et est notée :  $Dy/x$ .

Cette droite passe par le point  $G(\text{moy } x ; \text{ moy } y)$  et a pour équation :

$$y = ax + b \quad \text{où } a = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} \quad \text{et } b = \bar{y} - a\bar{x}$$

## 2. Les variables aléatoires discrètes :

### Les différents types de variables aléatoires discrètes :

➤ La variance de  $x$ , notée  $V(x)$  est :

$$V(x) = \frac{1}{N} \sum_i (x_i - \bar{x})^2 n_i = \sum_i f_i (x_i - \bar{x})^2$$

En probabilité, on note  $V(X)$  la variance de la variable aléatoire  $X$  qui vaut, par analogie avec les séries statistiques :

$$V(X) = \sum_i p_i (x_i - E(X))^2 = \sum_i p_i x_i^2 - (E(X))^2$$

➤ De même, l'écart-type de  $X$ , noté  $\sigma(X)$  est donné par :  $\sigma(X) = \sqrt{V(X)}$

### 3. La loi binomiale :

#### Qu'est-ce que la loi binomiale ?

On dit qu'une variable aléatoire  $X$  suit une loi binomiale de paramètre  $n$  et  $p$  si et seulement si : on répète  $n$  fois de façons indépendantes la même expérience élémentaire à 2 issues incompatibles :

1. Le succès de probabilité ( $p$ )
2. L'échec de probabilité ( $q = 1-p$ )

### 4. La loi normale :

#### La loi Normale centrée réduite :

On appelle "loi normale centrée réduite", la loi normale de paramètre  $(0 ; 1)$  notée  $N(0 ; 1)$ .

$$\text{Donc } E(X) = 0, \sigma(X) = 1 \text{ et } f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

## Chapitre 3 : Les suites

### 1. Les suites arithmétiques :

#### Le principe des suites :

Pour les suites, la variable est notée "n" et ne prend que des valeurs entières.

-> La suite est appelée U ou ( $U_n$ ) ; V ou ( $V_n$ ).

Un s'appelle le terme général de la suite ( $U_n$ ).

Le premier terme de la suite ( $U_n$ ) est  $U_0$ .

#### Les suites arithmétiques :

Une suite ( $U_n$ ) est une suite arithmétique de raison "r" si et seulement si pour tout entier "n", on a :

$$U_{n+1} = U_n + r$$

Ou

$$U_{n+1} - U_n = r$$

#### Relation entre deux termes quelconques :

1. Si le premier terme est  $U_0$  :  $U_{n+1} = U_0 + nr$
2. Si la suite commence à  $U_1$  (car  $U_0$  est impossible. Ex. :  $U_n = 1/0$ ) :  $U_n = U_1 + (n-1)r$
3. Si  $U_p = U_0 + pr$  :  $U_p - U_q = r(p-q)$
4. Calcul de la somme des n+1 premiers termes ( $S_n = U_0 + U_1 + \dots + U_n$ ) :  $S_n = [(n+1) \times (U_0 + U_n)] / 2$

### 2. Les suites géométriques :

#### Les suites géométriques :

La suite ( $U_n$ ) est une suite géométrique de raison q si et si seulement si pour tout entier n on a :

$$U_{n+1} = q \times U_n$$

Ou

$$U_{n+1}/U_n = q$$

#### Relation entre deux termes quelconques :

1. Si le premier terme est  $U_0$  :

$$U_n = q^n \times U_0$$

2. Si la suite commence à  $U_1$  :

$$U_n = q^{(n-1)} \times U_1$$

**Quotient entre deux termes quelconques :**

$$U_n/U_p = q^{(n-p)}$$

Ou

$$U_n = q^{(n-p)} \times U_p$$

**Somme des n+1 premiers termes :**

1. Si  $q \neq 1$ :

$$S_n = U_0 \times [1 - q^{(n+1)}] / (1 - q)$$

2. Si  $q = 1$ :

$$S_n = (n+1) \times U_0$$

## E4 : Épreuve professionnelle de synthèse

### Présentation de l'épreuve :

Cette épreuve E4 « Épreuve professionnelle de synthèse » se décompose en 2 sous-épreuves, à savoir :

- **E4.1 – Rapport de stage** : Coefficient 4, épreuve ponctuelle orale, durée de 30 minutes ;
- **E4.2 – Projet technique** : Coefficient 4, épreuve ponctuelle orale, durée de 15 minutes.

L'ensemble de cette épreuve dispose alors d'un coefficient de 8, ce qui représente la deuxième épreuve la plus importante de l'examen après l'épreuve E5. En effet, cette épreuve E4 représente 25 % de la moyenne finale.

### Conseil :

L'épreuve E4 est capitale pour la réussite du BTS CIRA. En effet, elle représente 25 % de la note finale, ce qui signifie qu'il peut tout-à-fait s'agir des points qui te feront obtenir le BTS. Il ne faut donc surtout pas la négliger et avoir les bonnes clés entre les mains te permettra d'obtenir une excellente note sans trop de difficulté.

De plus, il s'agit d'une épreuve « pilier » : L'ensemble des notions vues dans cette épreuve seront réutilisées pour les autres épreuves, d'où son importance.

Enfin, il s'agira surtout d'une capacité de réflexion et d'improvisation à l'oral. L'apprentissage par cœur de manière « scolaire » n'est donc pas forcément ce qu'on te recommande. À la place, privilégie les entraînements oraux et prépare bien tous les prérequis à l'examen (rapport, projet, etc.). Ces prérequis varient d'un établissement à l'autre, nous t'invitons donc à bien en prendre connaissance avec tes professeurs.

## Accès au dossier E4

En vue de l'importance de l'épreuve E4 dans la moyenne finale du BTS et de la facilité à gagner les points lorsqu'on a les bonnes méthodes, nous avons décidé de créer une formation complète à ce sujet : [www.btscira.fr/dossier-e4](http://www.btscira.fr/dossier-e4).

### Contenu du Dossier E4 :

1. **Vidéo 1 – Maîtriser la rédaction de ton rapport de stage** : 29 minutes de vidéo abordant toutes les informations à connaître à ce sujet.
2. **Vidéo 2 – Conseils supplémentaires pour la rédaction du rapport de stage** : 25 minutes de vidéo pour évoquer toutes les notions à maîtriser et être 100% prêt pour le jour J.

3. **Vidéo 3 - Critères d'évaluation du projet technique** : 30 minutes de vidéo pour t'expliquer toutes les subtilités sur les critères d'évaluation du projet technique, un sujet crucial pour réussir.
4. **Fichier PDF - 21 Fiches de Révision** : E-Book de 21 Fiches de Révision spécialement conçu pour le Dossier E4 "Épreuve professionnelle de synthèse" 

Découvrir le Dossier E4

## E5 : Étude d'un système d'instrumentation, contrôle, régulation

### Présentation de l'épreuve :

L'épreuve E5 « Étude d'un système d'instrumentation, contrôle, régulation » est une épreuve spécifique au BTS CIRA.

En effet, tout comme l'épreuve E4, cette épreuve E5 se subdivise en 2 sous-épreuves :

- E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement :  
Coefficient 4, épreuve ponctuelle écrite, durée de 3h ;
- E5.2 - Analyse d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation :  
Coefficient 5, épreuve ponctuelle écrite, durée de 3h.

Enfin, cette épreuve dispose d'un coefficient de 9, soit 28 % de la note finale à elle seule.

### Conseil :

Tout comme l'épreuve E4, cette épreuve E5 représente une part considérable de la note finale. En effet, il s'agit de l'épreuve ayant le coefficient le plus élevé du BTS CIRA, d'où son importance.

Le fait de réussir ou d'échouer cette épreuve représente un enjeu crucial car, si tu échoue cette épreuve, il y a de grands risques que tu n'obtiennes pas le diplôme et inversement.

Personnellement, nous n'avons pas trouvé cette épreuve très compliquée car nous étions assez bien préparés, en particulier après avoir maîtrisé l'ensemble des concepts vus ci-dessous.

En effet, la majorité des examens seront des questions de cours, il faut donc que tu maîtrise toutes les fiches ci-dessous sur le bout des doigts. Il s'agit des concepts les plus couramment tombés chaque année.

Une fois l'ensemble des concepts maîtrisés, tu peux t'entraîner grâce à des annales d'épreuves.

## Table des matières

<b>Chapitre 1 :</b> Généralités sur la mesure .....	41
1. Définitions clés.....	41
2. Le système d'unités internationales et ses symboles .....	41
<b>Chapitre 2 :</b> Mesure et incertitudes .....	43
1. Les incertitudes .....	43
2. Erreur absolue et relative .....	43

<b>Chapitre 3 : Les unités de calcul.....</b>	<b>44</b>
1. Utilisation des unités dans les calculs.....	44
2. Représentation graphique des relations entre unités physiques.....	44
<b>Chapitre 4 : La pression et les manomètres .....</b>	<b>45</b>
1. Introduction à la pression.....	45
2. Manomètres hydrostatiques.....	45
<b>Chapitre 5 : Les capteurs de niveau.....</b>	<b>47</b>
1. Méthodes hydrostatiques.....	47
2. Mesure de pression.....	47
3. Méthodes électriques.....	47
4. Applications des capteurs de niveau.....	48
5. Critères de sélection des capteurs de niveau .....	49
<b>Chapitre 6 : Comprendre les différentes unités de température .....</b>	<b>51</b>
1. Les unités de température .....	51
2. Les thermomètres à dilatation.....	51
<b>Chapitre 7 : Les différents types de thermomètres.....</b>	<b>53</b>
1. Thermomètres à dilatation de gaz.....	53
2. Thermomètres à tension de vapeur.....	53
<b>Chapitre 8 : Les analyseurs industriels .....</b>	<b>55</b>
1. Thermomètres à dilatation de gaz.....	55
2. Généralités sur les analyseurs .....	55
3. Composition d'un système d'analyse en continu .....	55
4. Analyseurs d'oxygène .....	55
<b>Chapitre 9 : Les vannes de régulation .....</b>	<b>57</b>
1. Généralités sur les vannes de régulation.....	57
2. Contraintes liées au fluide et à l'environnement .....	57
3. Éléments constituant la vanne de réglage .....	57
4. Forme du corps de vanne .....	57
5. Différents types de clapet.....	58
<b>Chapitre 10 : Régulation industrielle .....</b>	<b>59</b>
1. Généralités sur la régulation .....	59
2. Influence de la régulation.....	59
3. Les outils de régulation .....	59
4. Astuces pour améliorer la régulation.....	60
5. Les avantages d'une bonne régulation .....	60

6.	Exemple d'application de la régulation dans l'industrie .....	60
7.	Les facteurs clés pour une régulation réussie .....	61
8.	Les compétences requises pour travailler dans la régulation industrielle.....	61
9.	Les avantages de la régulation industrielle pour les entreprises .....	62
10.	Les défis et les perspectives d'avenir de la régulation industrielle .....	63
11.	Les outils et logiciels utilisés en régulation industrielle .....	63

# Chapitre 1 : Généralités sur la mesure

## 1. Définitions clés :

### Grandeur physique (X) :

Paramètre à contrôler lors de la fabrication d'un produit ou de son transfert, comme la pression, la température ou le niveau.

### Mesurage :

Ensemble des opérations visant à déterminer la valeur d'une grandeur physique.

### Mesure (x) :

Évaluation d'une grandeur en la comparant à une autre grandeur de même nature, prise pour unité.

### Exemple :

Une longueur de 2 mètres, une masse de 400 grammes, un temps de 6 secondes.

### Incertitude (dx) :

Caractérisation du résultat de la mesure (x) d'une grandeur (X) par un couple (x, dx) et une unité de mesure. Les incertitudes proviennent des différentes erreurs liées à la mesure.

### Erreur absolue (e) :

Différence entre le résultat d'un mesurage et la valeur vraie de la grandeur physique. Elle s'exprime dans l'unité de la mesure.

### Erreur relative (er) :

Rapport de l'erreur de mesure à la valeur vraie de la grandeur physique, généralement exprimée en pourcentage.

## 2. Le système d'unités internationales et ses symboles :

### Unités de base :

Mètre (m), kilogramme (kg), seconde (s), ampère (A), kelvin (K), mole (mol), candela (cd).

### Unités dérivées :

Mètre carré (m<sup>2</sup>), mètre cube (m<sup>3</sup>), hertz (Hz), mètre par seconde (m/s), newton (N), et bien d'autres.

### Multiplés et sous-multiplés des unités :

Les unités sont modifiables en utilisant des préfixes comme kilo (K), méga (M), giga (G), milli (m), micro ( $\mu$ ), nano (n), etc.

### Modélisation des relations entre unités physiques :

Il est possible de représenter graphiquement les relations entre deux unités physiques pour les relations de type affine, racine ou puissance.

## Chapitre 2 : Mesure et incertitudes

### 1. Les incertitudes :

#### Calcul des incertitudes :

Pour calculer l'incertitude d'une mesure, il faut prendre en compte les erreurs liées à la mesure et les caractériser par un couple  $(x, dx)$  et une unité de mesure.

#### Exemple d'incertitude :

Une mesure de 3 cm avec une incertitude de 10% se traduit par 3 cm  $\pm 10\%$ , ou une mesure de 5m avec une incertitude de 1cm s'exprime comme 5m  $\pm 1$ cm.

### 2. Erreur absolue et relative :

#### Erreur absolue :

L'erreur absolue ( $e$ ) est la différence entre le résultat d'un mesurage et la valeur vraie de la grandeur physique.

#### Exemple :

Une erreur de 10 cm sur une mesure de distance.

#### Erreur relative :

L'erreur relative ( $e_r$ ) est le rapport de l'erreur de mesure à la valeur vraie de la grandeur physique, généralement exprimée en pourcentage.

#### Exemple :

Une erreur de 10% sur une mesure de distance (10% de la distance réelle).

## Chapitre 3 : Les unités de calcul

### 1. Utilisation des unités dans les calculs :

#### Conversion d'unités :

Il est essentiel de convertir les unités lors des calculs pour s'assurer de la cohérence et de l'exactitude des résultats. Par exemple, pour convertir des centimètres en mètres, divisez par 100.

#### Exemple de conversion d'unités :

Exemple : pour convertir 50 centimètres en mètres, divisez par 100 :  $50 \text{ cm} / 100 = 0,5 \text{ m}$ .

#### Opérations avec des unités :

Lors de la réalisation d'opérations impliquant des unités, il est important de respecter les règles de base de l'arithmétique, telles que l'addition, la soustraction, la multiplication et la division.

#### Exemple d'opération avec des unités :

Pour calculer la force (en newtons) exercée par un objet de 5 kg soumis à une accélération de  $2 \text{ m/s}^2$ , utilisez la formule  $F = m * a$ , où F est la force, m la masse et a l'accélération. Ainsi,  $F = 5 \text{ kg} * 2 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ .

### 2. Représentation graphique des relations entre unités physiques :

#### Relations de type affine :

Les relations de type affine ( $Y = a * X + b$ ) peuvent être représentées graphiquement par une droite.

#### Relations de type racine :

Les relations de type racine ( $Y = k * \sqrt{X}$ ) peuvent être représentées graphiquement par une courbe en forme de racine carrée.

#### Relations de type puissance :

Les relations de type puissance ( $Y = X^n$ ) peuvent être représentées graphiquement par une courbe en forme de parabole ou d'autres formes, en fonction de la valeur de n.

## Chapitre 4 : La pression et les manomètres

### 1. Introduction à la pression :

#### Qu'est-ce que la pression ?

La pression est une grandeur qui mesure l'intensité d'une force appliquée sur une surface. Elle est définie comme le rapport entre la force et la surface sur laquelle elle s'exerce, et elle est toujours perpendiculaire à cette surface.

#### Les différentes unités de pression :

- **Pascal (Pa)** : Unité du système international (SI) pour la pression ;
- **Bar** : Unité fréquemment utilisée en Europe ;
- **Millimètre de mercure (mm Hg ou Torr)** : Unité souvent utilisée en médecine et en météorologie ;
- **Livre par pouce carré (psi)** : Unité couramment utilisée aux États-Unis et au Royaume-Uni ;
- Types de pression

#### Les différents types de pression :

- **Pression absolue** : C'est la pression réelle d'un gaz, prise en compte dans les calculs ;
- **Pression atmosphérique** : C'est la pression moyenne au niveau de la mer, qui varie en fonction des conditions météorologiques et de l'altitude ;
- **Pression relative** : C'est la différence entre une pression mesurée et la pression atmosphérique ;
- **Pression différentielle** : C'est la différence entre deux pressions, dont l'une sert de référence.

#### Les pressions dans les fluides :

- **Pression hydrostatique** : C'est la pression exercée par une colonne de fluide sur une surface, due au poids du fluide ;
- **Pression due à des forces extérieures** : Un fluide se déplaçant à une certaine vitesse crée une pression supplémentaire ;
- **Pression totale (charge)** : C'est la somme de la pression hydrostatique, de la pression due aux forces extérieures et de la pression hydrodynamique. Cette pression a la même valeur en tous points pour un fluide en mouvement horizontal (incompressible et de viscosité négligeable).

### 2. Manomètres hydrostatiques :

#### À quoi servent les manomètres hydrostatiques ?

Ces instruments mesurent la pression en utilisant la hauteur d'un liquide dans un tube en U. La sensibilité de l'appareil est d'autant plus importante que la masse volumique du liquide est faible. Ils sont surtout utilisés en laboratoire ou comme appareils étalons.

**Tube de Bourdon :**

Ce manomètre mesure la pression en fonction de la déformation d'un tube en forme d'arc ou hélicoïdal. Il est utilisé pour mesurer des pressions positives ou négatives de fluides gazeux ou liquides, mais pas pour des phénomènes rapides et évolutifs de pression.

**Manomètre à membrane :**

Ce manomètre mesure la pression en fonction de la déformation d'une membrane tendue entre deux brides. Il est adapté pour mesurer la pression de fluides agressifs.

## Chapitre 5 : Les capteurs de niveau

### 1. Méthodes hydrostatiques :

#### Rappel de physique :

Le niveau d'un liquide dans un réservoir est directement lié à la pression qu'il exerce au fond. Cette pression dépend de la masse volumique du liquide. La relation entre ces paramètres est la suivante :  $P = \rho \times g \times L$ , où  $P$  est la pression,  $\rho$  est la masse volumique,  $g$  est l'accélération de la pesanteur et  $L$  est la hauteur du liquide.

#### Flotteur :

Le flotteur reste à la surface du liquide et est relié à un capteur de position qui envoie un signal électrique correspondant au niveau. Sa position dépend peu de la masse volumique du liquide. Exemple : une jauge de niveau pour une cuve de carburant.

#### Plongeur :

Le plongeur est un cylindre immergé, suspendu à un capteur de force. La force exercée sur le capteur (le poids apparent du plongeur) dépend de la hauteur du liquide. Exemple : un plongeur utilisé pour mesurer le niveau d'eau dans un réservoir.

### 2. Mesure de pression :

#### Principe de fonctionnement :

Un capteur de pression mesure la pression au fond du réservoir, qui est liée au niveau du liquide. La relation entre la pression et le niveau est :  $L = P / (\rho \times g)$ .

#### Mesure de niveau à bulles :

Cette méthode utilise un système à bulles pour mesurer la pression. Le système comprend une canne d'injection, un manomètre, un contrôleur de débit visuel (bulleur) et un régulateur de débit. La pression mesurée en bout de canne permet de déterminer le niveau du liquide.

#### Mesure en réservoir fermé :

Dans le cas d'un réservoir fermé, on utilise un capteur de pression différentielle avec deux montages différents selon l'atmosphère (avec ou sans condensation).

#### Mesure de masse volumique :

La mesure de la différence de pression ( $P_1 - P_2$ ) permet de connaître la masse volumique du liquide à l'intérieur du réservoir.

### 3. Méthodes électriques :

#### Capteurs conductimétriques :

La sonde est composée de deux électrodes cylindriques. Elle est alimentée par une faible tension alternative pour éviter la polarisation des électrodes. Le courant électrique qui circule dépend de la longueur d'électrode immergée et de la conductivité du liquide.

#### **Détection :**

En détection, on peut placer une sonde courte horizontalement au niveau seuil. Un courant électrique d'amplitude constante apparaît dès que le liquide atteint la sonde.

#### **Capteurs capacitifs :**

Ces capteurs utilisent un condensateur réalisé par deux électrodes cylindriques ou une électrode et la paroi du réservoir si celui-ci est métallique. La mesure ou la détection de niveau se ramène à la variation de la capacité du condensateur. La capacité du condensateur dépend de la hauteur du liquide et de sa permittivité diélectrique.

#### **Capteurs à ultrasons :**

Les capteurs à ultrasons émettent des ondes sonores à haute fréquence et mesurent le temps nécessaire pour que l'écho de ces ondes revienne au capteur. La distance entre le capteur et la surface du liquide est calculée en multipliant la vitesse du son dans l'air par la moitié du temps de vol aller-retour de l'écho.

#### **Avantages et inconvénients :**

Les capteurs à ultrasons sont non-invasifs, c'est-à-dire qu'ils n'entrent pas en contact avec le liquide. Ils peuvent être utilisés pour mesurer des niveaux de liquides corrosifs, visqueux ou contenant des particules solides.

Cependant, la précision de la mesure peut être affectée par la température, la pression et l'humidité de l'air, ainsi que par la présence d'obstacles ou de mousses à la surface du liquide.

#### **Capteurs à radar :**

Les capteurs à radar fonctionnent sur le même principe que les capteurs à ultrasons, mais utilisent des ondes électromagnétiques au lieu des ondes sonores. Le temps de vol des ondes radar est généralement plus court que celui des ondes ultrasoniques, ce qui permet une meilleure résolution et une plus grande précision de mesure.

#### **Avantages et inconvénients :**

Les capteurs à radar sont également non-invasifs et peuvent être utilisés pour mesurer des niveaux de liquides corrosifs, visqueux ou contenant des particules solides. Ils sont moins sensibles aux variations de température, de pression et d'humidité de l'air que les capteurs à ultrasons. Cependant, leur coût est généralement plus élevé.

## **4. Applications des capteurs de niveau :**

### **Surveillance du niveau de liquides dans les réservoirs :**

Les capteurs de niveau sont utilisés pour surveiller le niveau de liquides dans les réservoirs, tels que les cuves de carburant, les réservoirs d'eau potable, les bassins de rétention d'eau de pluie, les stations d'épuration ou les réservoirs chimiques.

**Contrôle de processus industriels :**

Dans l'industrie, les capteurs de niveau sont utilisés pour contrôler et réguler des processus tels que le remplissage et la vidange de réservoirs, le mélange de liquides, la séparation de phases ou la détection de fuites.

**Gestion des stocks de matières premières :**

Les capteurs de niveau permettent de suivre les stocks de matières premières et de réduire les risques de rupture de stock, de surstockage ou de gaspillage.

**Sécurité et protection de l'environnement :**

Les capteurs de niveau jouent un rôle important dans la prévention des déversements de liquides dangereux, la détection des fuites et la gestion des déchets. Ils contribuent ainsi à la sécurité des installations et à la protection de l'environnement.

**Agriculture et irrigation :**

Dans le secteur agricole, les capteurs de niveau sont utilisés pour surveiller le niveau des réservoirs d'eau, des puits et des bassins d'irrigation, permettant une gestion plus efficace de l'eau et une meilleure planification des ressources.

**Applications domestiques :**

Les capteurs de niveau peuvent être utilisés dans les maisons pour surveiller le niveau d'eau dans les citernes, les piscines ou les systèmes de récupération d'eau de pluie. Ils peuvent également être utilisés pour détecter les fuites d'eau ou les inondations dans les sous-sols et les garages.

## **5. Critères de sélection des capteurs de niveau :**

**Précision et résolution :**

La précision et la résolution sont des critères importants pour choisir un capteur de niveau. La précision est généralement exprimée en pourcentage de la plage de mesure, tandis que la résolution est la plus petite variation de niveau détectable par le capteur.

**Plage de mesure :**

La plage de mesure est la différence entre le niveau le plus bas et le niveau le plus élevé que le capteur peut mesurer. Il est important de choisir un capteur avec une plage de mesure adaptée à l'application.

**Conditions de fonctionnement :**

Les conditions de fonctionnement, telles que la température, la pression, l'humidité, la viscosité et la compatibilité chimique du liquide, doivent être prises en compte lors de la sélection d'un capteur de niveau.

**Coût et maintenance :**

Le coût et la maintenance sont des facteurs à considérer lors de la sélection d'un capteur de niveau. Il est important de trouver un équilibre entre la performance du capteur et son coût, en tenant compte des coûts d'installation et de maintenance.

**Montage et installation :**

Le type de montage et l'installation du capteur sont également importants à considérer. Certains capteurs peuvent être montés à l'extérieur du réservoir, tandis que d'autres doivent être immergés dans le liquide. Il est également important de tenir compte des contraintes d'espace et des exigences d'installation spécifiques à l'application.

## Chapitre 6 : Comprendre les différentes unités de température

### 1. Les unités de température :

#### La température et ses deux approches :

À l'échelle atomique, la température est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière.

Au niveau macroscopique, elle dépend de certaines propriétés des corps (volume massique, résistivité électrique, etc.).

#### Les échelles de température :

L'échelle centésimale (1742) consiste à attribuer les valeurs 0 et 100 degrés à la glace fondante et à l'eau bouillante (sous pression atmosphérique normale).

L'échelle Celsius est définie à partir de l'échelle Kelvin :  $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$ .

L'échelle Kelvin représente l'échelle du système international, indépendante de tout phénomène particulier et définit des températures absolues.

#### Applications des basses et hautes températures :

En cas de très basses températures, il y a supraconductivité.

En cas de très hautes températures, il y a torches à plasma (50 000 K) et lasers de grande puissance pour la fusion nucléaire contrôlée (températures dépassant 100 millions de degrés).

### 2. Les thermomètres à dilatation :

#### Principe de la dilatation :

Volume d'un corps augmente en général avec l'élévation de température (sans changement d'état physique).

La dilatation réversible est un mode pratique pour repérer les températures.

#### Thermomètres à dilatation de liquide :

Composé d'un réservoir, d'un capillaire de section faible et régulière ( $\varnothing = 0,2 \text{ mm}$ ), et d'une ampoule de sécurité.

La variation de température provoque la dilatation du liquide et modifie son niveau, repéré grâce à une échelle thermométrique gravée.

#### Loi de variation :

$V = V_0(1 + \alpha \times \theta)$ , avec  $V_0$  le volume du liquide à  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $V$  le volume de liquide à  $\theta^{\circ}\text{C}$  et  $\alpha$  le coefficient de dilatation du liquide en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Sensibilité du thermomètre proportionnelle au volume  $V_0$ , au coefficient de dilatation du liquide et inversement proportionnelle à la section  $S$  du capillaire.

**Liquides thermométriques et espace libre :**

Espace libre au-dessus du liquide peut être vide ou rempli d'un gaz neutre (azote ou argon) sous pression, fonction de la température à mesurer.

Chambre d'expansion évite les variations de pression trop importantes.

**Exemple :** Un thermomètre à dilatation de liquide est couramment utilisé pour mesurer la température d'une pièce. Le liquide se dilate lorsque la température augmente, faisant monter le niveau dans le capillaire.

## Chapitre 7 : Les différents types de thermomètres

### 1. Thermomètres à dilatation de gaz :

#### Que sont les thermomètres à dilatation de gaz ?

Les thermomètres à dilatation de gaz sont des capteurs de température qui utilisent la variation de pression d'un gaz contenu dans une enveloppe pour mesurer la température. La pression du gaz varie en fonction de la température à laquelle il est exposé.

#### Principe :

Le thermomètre à dilatation de gaz est composé d'une sonde contenant le gaz thermométrique et reliée à un tube de Bourdon par un tube capillaire.

La variation de pression du gaz est transmise au tube de Bourdon qui, à son tour, provoque le mouvement de rotation de l'index indicateur. Cet index se déplace sur un cadran gradué, indiquant ainsi la température mesurée.

#### Gaz employés :

Les gaz les plus couramment utilisés pour les thermomètres à dilatation de gaz sont l'hélium, l'hydrogène, l'azote et le gaz carbonique.

Ces gaz doivent être soigneusement séchés avant d'être utilisés et employés dans des conditions qui se rapprochent de l'état parfait pour garantir leur précision.

### 2. Thermomètres à tension de vapeur :

#### Définition des thermomètres à tension de vapeur :

Les thermomètres à tension de vapeur sont des capteurs de température qui utilisent la pression de vapeur d'un liquide pour mesurer la température. La tension de vapeur est la pression à laquelle un liquide est en équilibre thermodynamique avec sa phase vapeur à une température donnée.

#### Principe :

Le thermomètre à tension de vapeur fonctionne en mesurant la pression de vapeur d'un liquide, qui varie en fonction de sa température.

La pression de vapeur est transmise par le liquide au manomètre de mesure, qui agit sur l'élément indicateur. Les thermomètres à tension de vapeur sont très sensibles, mais leur graduation n'est pas linéaire.

#### Bulbe à double remplissage :

Pour pallier l'inconvénient des capteurs à simple remplissage qui ne sont utilisables que si le bulbe est à une température supérieure à la température ambiante, on utilise le bulbe à double remplissage.

Le liquide vaporisable est placé dans la zone médiane du bulbe, tandis que le liquide transmetteur non vaporisable est dans le fond du bulbe et dans l'ensemble capillaire-capteur de pression. Le bulbe à double remplissage permet des mesures de températures inférieures et supérieures à la température ambiante.

## Chapitre 8 : Les analyseurs industriels

### 1. Thermomètres à dilatation de gaz :

#### Que sont les thermomètres à dilatation de gaz ?

Les thermomètres

### 2. Généralités sur les analyseurs :

#### 1.1 Définition et types d'analyseurs

Un analyseur est un instrument qui mesure une propriété physique ou chimique d'un produit solide, liquide ou gazeux issu d'un processus industriel. Il existe deux catégories d'analyseurs, les analyseurs de laboratoire et les analyseurs industriels.

#### Les analyseurs de laboratoire :

Ces analyseurs sont manuels, semi-automatiques ou plus rarement automatiques et nécessitent des échantillons prélevés sur le processus et fournissent des résultats en nombre limité et en différé.

#### Les analyseurs industriels :

Ils opèrent sur le site même de production et fournissent des résultats en continu et en temps réel.

#### Utilité des analyseurs :

- La sécurité (personnes et environnement) ;
- Le contrôle et la régulation de certains procédés.

### 3. Composition d'un système d'analyse en continu :

#### Composition d'un analyseur :

- **Section d'analyse :** Elle contient une cellule de mesure et, éventuellement, des éléments permettant le traitement de l'échantillon avant mesure ;
- **Section de contrôle :** Elle complète la section d'analyse et contient le conditionneur et le transmetteur.

#### Ligne d'échantillonnage :

La ligne d'échantillonnage sert à prélever un échantillon sur le processus (prise aller) et à le retourner sur le processus (prise retour).

Il est indispensable de prévoir des équipements en amont de l'analyseur pour respecter les spécifications d'utilisation, tels que filtre, réfrigérant, détendeur, indicateur de débit, etc. Ce circuit constitue le système de préparation de l'échantillon.

### 4. Analyseurs d'oxygène :

**Principe paramagnétique :**

L'analyseur paramagnétique mesure en continu la concentration d'oxygène dans les gaz de processus grâce aux propriétés paramagnétiques de la molécule d'oxygène. Cette méthode permet d'effectuer une analyse sélective même dans de complexes mélanges de gaz utilisés en industrie ou en laboratoire.

Elle présente l'avantage d'offrir des mesures rapides, fiables et non susceptibles aux interférences des autres gaz existants avec d'autres technologies.

**Sonde au zirconium :**

Les sondes de mesure de la teneur en oxygène à base d'oxyde de zirconium, dopé à l'yttrium, sont utilisées dans les moteurs à essence et les fours de traitement thermique des métaux.

Le principe de fonctionnement repose sur la tension de Nernst, qui est proportionnelle au logarithme népérien du rapport entre les deux concentrations d'ions de chaque côté d'un électrolyte.

**Exemple :**

La cellule du détecteur est réalisée à partir de zirconium stabilisé employant des électrodes platine intégrales et est spécifique à l'oxygène. L'air (de référence) est amené à l'électrode interne et fournit une pression partielle constante d'oxygène.

## Chapitre 9 : Les vannes de régulation

### 1. Généralités sur les vannes de régulation :

#### Utilisation des vannes de régulation :

Les vannes de régulation jouent un rôle clé dans différents systèmes de régulation tels que la régulation de débit, de niveau et de pression.

#### Exemple de régulation de débit :

La vanne contrôle le débit du fluide qui la traverse. Le débit est la grandeur réglante.

#### La régulation de niveau :

Exemple : Le niveau dans un réservoir varie selon le débit d'alimentation et d'utilisation. La grandeur réglée est le niveau, qui doit suivre la consigne du régulateur.

#### La régulation de pression :

Exemple : La cuve est sous pression (air comprimé, par exemple). La pression est la grandeur à régler et le débit d'alimentation est la grandeur réglante.

### 2. Contraintes liées au fluide et à l'environnement :

#### Problèmes posés par le fluide :

Le fluide traversant la vanne de réglage peut être corrosif, chargé de particules solides, visqueux, inflammable, toxique, etc. Il est important de prendre en compte ces caractéristiques pour assurer la sécurité et le bon fonctionnement de la vanne.

#### Problèmes posés par l'environnement :

L'ambiance extérieure peut causer des problèmes tels que l'atmosphère explosive, corrosive, sèche, humide, chaude ou froide, les vibrations et les parasites électriques.

### 3. Éléments constituant la vanne de réglage :

#### Le servo moteur :

C'est l'élément qui assure la conversion du signal de commande en mouvement de la vanne.

#### Le corps de vanne :

C'est l'élément qui assure le réglage du débit.

#### Éléments auxiliaires :

Ils incluent un contacteur de début et de fin de course, une recopie de la position, un filtre détendeur et un positionneur.

### 4. Forme du corps de vanne :

**Le corps droit :**

L'entrée et la sortie sont dans le même axe.

**Le corps d'angle :**

L'entrée et la sortie sont dans deux plans perpendiculaires.

**Le corps mélangeur :**

Il possède deux entrées et une sortie pour permettre le mélange de deux fluides.

**Le corps de dérivation (répartiteur) :**

Il possède une entrée et deux sorties pour permettre la séparation du fluide suivant deux directions.

## 5. Différents types de clapet :

**Clapet simple siège :**

- **Avantages** : Bonne étanchéité à la fermeture et existence de clapets réversibles à double guidage ;
- **Inconvénients** : Poussée importante du liquide sur le clapet, nécessitant un actionneur puissant, et passage indirect, augmentant le risque de bouchage.

## Chapitre 10 : Régulation industrielle

### 1. Généralités sur la régulation :

#### Définition de la régulation :

La régulation englobe toutes les techniques permettant de contrôler une grandeur physique dans un processus industriel.

#### Les différentes grandeurs :

- **Grandeur réglée** : C'est la grandeur physique que l'on souhaite contrôler ;
- **Consigne** : Valeur cible de la grandeur réglée ;
- **Grandeur réglante** : Grandeur physique choisie pour contrôler la grandeur réglée, souvent de nature différente ;
- **Grandeurs perturbatrices** : Autres grandeurs physiques influençant la grandeur réglée, généralement de nature différente.

#### L'organe de réglage :

C'est l'élément qui modifie la grandeur réglante dans le processus industriel.

### 2. Influence de la régulation :

#### Réduction du coût de transformation :

Une bonne régulation permet d'obtenir une plus grande précision sur la grandeur réglée, ce qui peut entraîner une diminution de la consigne pour un fonctionnement optimal.

#### Diminution du coût de l'installation et gain de temps :

Une régulation efficace permet d'accélérer le système sans dépasser la consigne. Ceci peut entraîner une réduction du temps nécessaire pour atteindre l'objectif et des économies sur les dispositifs de contrôle.

#### Exemple industriel :

Dans une usine de production d'amidon, la régulation de la vitesse d'alimentation du sécheur a permis d'atteindre un taux d'humidité moyen de 11,5 % sans risque de bourrage. Le gain estimé est de 500 000 € par an.

### 3. Les outils de régulation :

#### Les régulateurs PID :

Les régulateurs PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) sont utilisés pour calculer et ajuster la grandeur réglante en fonction des erreurs entre la consigne et la grandeur réglée.

#### La modélisation :

La modélisation des processus industriels permet de mieux comprendre et optimiser la régulation. Grâce à des outils comme WinPIM+TR d'ADAPTECH, on peut modéliser un système et en déduire les paramètres PID appropriés.

**Optimisation en boucle fermée :**

L'optimisation en boucle fermée permet d'ajuster les paramètres de régulation sans perturber le processus industriel, garantissant une meilleure performance.

#### 4. Astuces pour améliorer la régulation :

**Connaître les grandeurs perturbatrices :**

Il est important d'identifier et de comprendre les grandeurs perturbatrices pour mieux les anticiper et les contrôler.

**Utiliser des capteurs de qualité :**

Des capteurs précis et fiables sont essentiels pour mesurer et contrôler les grandeurs physiques.

**Adapter la régulation aux caractéristiques du système :**

Chaque système industriel est différent. Il est important d'adapter la régulation en fonction des caractéristiques spécifiques du système pour obtenir les meilleurs résultats.

**Formation et expérience :**

Les opérateurs et techniciens doivent être correctement formés et expérimentés pour optimiser la régulation des processus industriels.

#### 5. Les avantages d'une bonne régulation :

**Amélioration de la qualité du produit :**

Une régulation efficace permet d'obtenir un produit de meilleure qualité en maintenant les grandeurs physiques à des valeurs optimales.

**Réduction des coûts :**

Une bonne régulation permet de réduire les coûts de production en optimisant la consommation d'énergie et en minimisant les pertes de matière.

**Meilleure sécurité :**

La régulation contribue à la sécurité des opérateurs et des équipements en maintenant les processus industriels sous contrôle.

**Respect de l'environnement :**

Un bon contrôle des processus industriels permet de réduire les émissions polluantes et d'assurer une production plus respectueuse de l'environnement.

#### 6. Exemple d'application de la régulation dans l'industrie :

**Exemple de séchage de l'amidon :**

Dans une usine, on utilise un sécheur pour transformer l'amidon sous forme de pâte en poudre. Le taux d'humidité optimal de la poudre d'amidon doit être de 12%.

### **Régulation de la vitesse de la vis d'alimentation :**

Le séchage est réalisé en maintenant une température constante. La régulation se fait en ajustant la vitesse de la vis d'alimentation pour maintenir la température en sortie du sécheur, ce qui correspond à maintenir le taux d'humidité.

### **Problèmes rencontrés :**

La régulation de la vitesse de la vis présentait des difficultés, notamment à cause de l'inertie du sécheur, du bourrage du sécheur et de l'irrégularité de l'alimentation de la vis.

### **Solution apportée par l'outil WinPIM+TR d'ADAPTECH :**

L'utilisation des outils WinPIM+TR d'ADAPTECH a permis de modéliser le processus et d'obtenir un modèle simple du système. Les paramètres PID calculés par l'outil WinREGPID ont été introduits dans le régulateur, permettant d'améliorer immédiatement la régulation.

### **Résultats obtenus :**

Grâce à la nouvelle régulation, l'usine a pu obtenir un taux d'humidité moyen de 11,5% sans risque de bourrage du sécheur. Cette amélioration a généré un gain estimé à 500 000 € par an.

## **7. Les facteurs clés pour une régulation réussie :**

### **Choix des capteurs appropriés :**

Les capteurs sont essentiels pour mesurer les grandeurs physiques. Il est crucial de choisir des capteurs précis et adaptés aux conditions spécifiques du procédé industriel.

### **Sélection du type de régulateur :**

Il existe plusieurs types de régulateurs, tels que les régulateurs PID, les régulateurs à logique floue ou les régulateurs prédictifs. Choisir le bon régulateur en fonction des besoins du procédé est essentiel pour une régulation réussie.

### **Réglage des paramètres du régulateur :**

Les paramètres du régulateur doivent être ajustés en fonction des caractéristiques du procédé. Un réglage inadéquat peut entraîner une mauvaise régulation et affecter la qualité du produit.

### **Surveillance et maintenance :**

La surveillance régulière du système de régulation et la maintenance des équipements sont essentielles pour assurer un fonctionnement optimal et éviter les problèmes.

### **Adaptation aux changements du procédé :**

Les processus industriels peuvent évoluer au fil du temps. Il est important d'adapter la régulation en fonction de ces changements pour maintenir une performance optimale.

## **8. Les compétences requises pour travailler dans la régulation industrielle :**

**Connaissances techniques :**

Les professionnels de la régulation doivent avoir une solide formation en électronique, automatisme et mécanique, ainsi qu'une bonne compréhension des processus industriels.

**Capacité d'analyse et de résolution de problèmes :**

Les problèmes de régulation peuvent être complexes et nécessitent une approche analytique et méthodique pour les résoudre.

**Aptitudes en communication :**

Les techniciens et ingénieurs en régulation doivent être capables de communiquer clairement et efficacement avec leurs collègues et les autres membres de l'équipe pour coordonner les efforts et résoudre les problèmes.

**Adaptabilité et flexibilité :**

Les professionnels de la régulation doivent être capables de s'adapter rapidement aux changements dans les procédés industriels et aux nouvelles technologies pour maintenir une performance optimale.

**Formation continue :**

Le domaine de la régulation évolue rapidement. Les professionnels doivent être prêts à apprendre de nouvelles compétences et à se tenir informés des dernières avancées technologiques pour rester compétitifs sur le marché du travail.

## 9. Les avantages de la régulation industrielle pour les entreprises :

**Amélioration de la qualité du produit :**

Une bonne régulation permet de maintenir les grandeurs physiques à des valeurs précises et stables, ce qui se traduit par une meilleure qualité du produit final.

**Réduction des coûts de production :**

En optimisant les procédés industriels, la régulation permet de réduire les coûts de production, notamment en diminuant la consommation d'énergie et en réduisant les pertes de matières premières.

**Accroissement de la productivité :**

Un meilleur contrôle des procédés industriels grâce à la régulation permet d'augmenter la productivité en réduisant les temps d'arrêt et en améliorant l'efficacité des équipements.

**Diminution de l'impact environnemental :**

La régulation industrielle contribue à réduire l'impact environnemental en optimisant l'utilisation des ressources et en limitant les émissions polluantes.

**Amélioration de la sécurité :**

En assurant un contrôle précis et fiable des procédés industriels, la régulation permet de renforcer la sécurité des installations et de prévenir les accidents.

## 10. Les défis et les perspectives d'avenir de la régulation industrielle :

### **L'intégration de nouvelles technologies :**

Le domaine de la régulation doit s'adapter en permanence aux nouvelles technologies, telles que l'intelligence artificielle, l'Internet des objets (IoT) et la robotique, afin d'améliorer la performance des procédés industriels.

### **La formation des futurs professionnels :**

Les établissements de formation, comme les BTS, doivent veiller à former les futurs professionnels aux compétences requises pour maîtriser les enjeux actuels et futurs de la régulation industrielle.

### **La collaboration entre les acteurs du secteur :**

Les entreprises, les chercheurs et les institutions de formation doivent travailler ensemble pour développer de nouvelles solutions de régulation et favoriser le transfert de connaissances entre les différents acteurs du secteur.

### **La prise en compte des enjeux environnementaux et sociétaux :**

Les professionnels de la régulation doivent intégrer les enjeux environnementaux et sociétaux dans leurs pratiques, notamment en favorisant l'écoconception et la transition énergétique.

### **L'innovation et la recherche :**

La recherche et l'innovation sont essentielles pour faire face aux défis futurs de la régulation industrielle. Les efforts en matière de recherche doivent être soutenus et encouragés pour développer de nouvelles solutions et améliorer la performance des systèmes de régulation.

## 11. Les outils et logiciels utilisés en régulation industrielle :

### **Les régulateurs PID :**

Les régulateurs PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) sont des outils essentiels pour le contrôle des procédés industriels. Ils permettent d'ajuster la grandeur réglante en fonction des erreurs observées entre la consigne et la grandeur réglée.

### **Les logiciels de simulation et de modélisation :**

Des logiciels de simulation et de modélisation, comme WinPIM et WinREGPID, sont utilisés pour concevoir et optimiser les systèmes de régulation. Ces outils permettent d'analyser et de prédire le comportement des systèmes de régulation avant leur mise en œuvre sur site.

### **Les automates programmables industriels (API) :**

Les API sont des ordinateurs industriels spécialisés qui permettent de contrôler et de surveiller les procédés industriels. Ils sont programmés pour exécuter des tâches de régulation et peuvent communiquer avec d'autres équipements industriels.

**Les systèmes de supervision et d'acquisition de données (SCADA) :**

Les systèmes SCADA sont utilisés pour superviser, contrôler et collecter les données des procédés industriels. Ils permettent de visualiser en temps réel les grandeurs physiques, d'analyser les données et de détecter les anomalies.

**Les réseaux de communication industriels :**

Les réseaux de communication industriels, tels que Modbus, Profibus ou Ethernet/IP, permettent d'échanger des informations entre les différents équipements d'un système de régulation. Ils sont essentiels pour assurer la coordination et la synchronisation des opérations de régulation.

## E6 : Conception d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation

### Présentation de l'épreuve :

Cette épreuve E6 « Conception d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation » est la troisième épreuve la plus importante du BTS CIRA.

En effet, elle dispose d'un coefficient de 7, ce qui représente près de 22 % de la note finale.

Au total, les 3 épreuves professionnelles (E4, E5 et E6) représentent 75 % de la note finale, d'où l'importance de bien les réussir.

Cette épreuve E6 se déroule sous forme de Contrôle en Cours de Formation (CCF) au travers d'une épreuve écrite d'une durée de 4 heures.

### Conseil :

Cette épreuve a pour objectif de t'évaluer sur ces objectifs :

- Établir un diagnostic en régulation, instrumentation et automatisation ;
- Analyser et interpréter diverses sources d'informations ;
- Identifier l'origine des dysfonctionnements ;
- Concevoir et analyser une boucle de contrôle en fonction des spécifications et de l'instrumentation ;
- Sélectionner l'architecture de réseaux industriels et les protocoles de communication ;
- Proposer des équipements adaptés pour le contrôle, la régulation et l'instrumentation ;
- Implanter un dispositif de contrôle-commande et des outils de programmation ;
- Effectuer des mesures et des tests conformes aux protocoles ou consignes ;
- Optimiser une chaîne de régulation ;
- Étalonner et paramétrer des instruments, capteurs et actionneurs ;
- Gérer une base de données ou un système documentaire ;
- Contrôler la conformité des installations et des configurations logicielles.

Nous t'invitons à bien prendre connaissance de ces critères et à travailler sur chacun d'entre eux pour être 100 % prêt le jour de l'examen.

De plus, cette épreuve nécessite tout de même beaucoup de connaissances de ta part, n'omet pas de bien apprendre toutes les notions abordées ci-dessous.

## Table des matières

<b>Chapitre 1 : Les hacheurs</b> .....	68
1. Comprendre le hacheur .....	68

2.	Fonctionnement d'un hacheur série .....	68
3.	Chronogramme des courants et tensions.....	68
4.	Valeurs moyennes des courants .....	68
5.	Ondulation du courant $i_C(t)$ .....	68
6.	Hacheur quatre quadrants.....	69
7.	Applications des hacheurs .....	69
8.	Avantages et inconvénients des hacheurs .....	69
9.	Types de hacheurs.....	70
10.	Composants des hacheurs.....	70
11.	Méthodes de commande des hacheurs .....	70
<b>Chapitre 2 : L'algèbre de Boole.....</b>		<b>72</b>
1.	Introduction à l'algèbre de Boole .....	72
2.	Représentations des fonctions logiques.....	72
3.	Représentations graphiques des fonctions logiques .....	72
4.	Les fonctions logiques de base.....	72
5.	Les lois de l'algèbre de Boole.....	73
6.	Simplification des fonctions logiques.....	74
<b>Chapitre 3 : Systèmes automatisés et automates programmables industriels .....</b>		<b>75</b>
1.	Généralités sur les systèmes automatisés .....	75
2.	Les entrées.....	75
3.	Les sorties.....	75
4.	Câblage d'un API.....	75
5.	Conseils pour le choix des composants et la sécurité.....	76
6.	Communication avec l'utilisateur .....	76
7.	Programmation de l'API.....	76
8.	Maintenance et dépannage.....	77
9.	Applications des systèmes automatisés et API.....	77
10.	Évolutions et tendances de l'automatisation industrielle .....	78
<b>Chapitre 4 : Systèmes automatisés et automates programmables industriels.....</b>		<b>79</b>
1.	Les bases de la logique séquentielle .....	79
2.	Les bascules RS (ou SR).....	79
3.	Les temporisateurs et monostables.....	79
4.	Les compteurs .....	80
5.	Les registres à décalage.....	80
6.	Les mémoires .....	81

7.	Les machines à états finis (FSM) .....	81
<b>Chapitre 5 : Les capteurs et transmetteurs .....</b>		<b>83</b>
1.	Introduction aux capteurs et transmetteurs.....	83
2.	Le transmetteur intelligent .....	83
3.	La communication .....	83
4.	Directive ATEX 1999/92/CE - Zones explosives.....	84
5.	Étalonnage et maintenance des capteurs et transmetteurs .....	84
6.	Exemples de capteurs et transmetteurs .....	84
7.	Communication et protocoles.....	85
<b>Chapitre 6 : La température et les thermomètres.....</b>		<b>87</b>
1.	Généralités sur la température .....	87
2.	Les thermomètres à dilatation.....	87
3.	Autres types de thermomètres.....	88
4.	Utilisation des thermomètres et capteurs de température .....	89
5.	Précautions lors de l'utilisation de thermomètres et de capteurs de température ..	89
6.	Types de thermomètres et capteurs de temp. non mentionnés précédemment.....	90
7.	Conseils pour choisir le bon thermomètre ou capteur de température.....	90
<b>Chapitre 7 : Les vannes de régulation .....</b>		<b>92</b>
1.	Généralités sur les vannes de régulation.....	92
2.	Forme du corps de vanne .....	92
3.	Types de clapets.....	92
4.	Conseils pour choisir une vanne de régulation .....	93
5.	Maintenance des vannes de régulation .....	93
6.	Diagnostic des problèmes courants des vannes de régulation .....	94
7.	Modernisation et amélioration des vannes de régulation.....	94

# Chapitre 1 : Les hacheurs

## 1. Comprendre le hacheur :

### Définition du hacheur :

Un hacheur est un convertisseur qui transforme une tension continue fixe en une tension continue réglable.

### Composants d'un hacheur :

Le hacheur se compose d'un interrupteur électronique unidirectionnel (transistor ou thyristor) et d'une diode de roue libre.

## 2. Fonctionnement d'un hacheur série :

### Rapport cyclique :

Le rapport cyclique  $\alpha$  est le rapport du temps de fermeture de l'interrupteur sur la période totale du hacheur, soit  $\alpha = T_{on} / T$ .

### Valeur moyenne aux bornes de la charge :

La valeur moyenne de la tension, notée  $U_c$ , est le rapport de l'aire sous la courbe de  $u_c(t)$  sur la période  $T$ . On a  $U_c = AT / T$ .

## 3. Chronogramme des courants et tensions :

### Loi des nœuds :

En appliquant la loi des nœuds, on a  $i_c(t) = i_H(t) + i_D(t)$ .

### Intervalle de temps $0 < t < \alpha T$ :

L'interrupteur H est fermé et la tension  $u_c(t) = V$ . La diode D est bloquée, donc  $i_D(t) = 0$  et  $i_H(t) = i_C(t)$ .

### Intervalle de temps $\alpha T < t < T$ :

L'interrupteur H est ouvert et la tension  $u_c = 0$ . La diode D est passante, donc  $i_H(t) = 0$  et  $i_D(t) = i_C(t)$ .

## 4. Valeurs moyennes des courants :

### Valeur moyenne du courant $i_C(t)$ :

La valeur moyenne du courant  $i_C(t)$  est égale à  $I_c = (I_{max} + I_{min}) / 2$ .

### Valeurs moyennes de $i_D(t)$ et $i_H(t)$ :

On a  $\langle i_D(t) \rangle = (1-\alpha) \times I_c$  et  $\langle i_H(t) \rangle = \alpha \times I_c$ .

## 5. Ondulation du courant $i_C(t)$ :

### **Rôle de l'inductance L :**

L'inductance L, appelée inductance de lissage, réduit l'ondulation du courant.

### **Formule de l'ondulation du courant :**

$$\Delta i = I_{\max} - I_{\min} = \alpha(1-\alpha) \times V / (L \times f).$$

## **6. Hacheur quatre quadrants :**

### **Définition :**

Un hacheur quatre quadrants est réversible en tension et en courant. Il est basé sur une structure en pont comportant des interrupteurs bidirectionnels K1, K2, K3 et K4.

### **Schéma du hacheur 4 quadrants :**

Le montage est en pont en H à quatre interrupteurs (des thyristors).

### **Chronogramme de la tension $u_c(t)$ :**

La valeur moyenne de  $u_c(t)$  est  $\langle u_c(t) \rangle = U_a \times (2\alpha - 1)$ .

### **Fonctionnement dans les 4 quadrants :**

- **Quadrant I :** Tension positive et courant positif ( $\alpha > 0,5$ ) ; le hacheur fonctionne en mode amplificateur ;
- **Quadrant II :** Tension positive et courant négatif ( $\alpha < 0,5$ ) ; le hacheur fonctionne en mode générateur ;
- **Quadrant III :** Tension négative et courant négatif ( $\alpha > 0,5$ ) ; le hacheur fonctionne en mode amplificateur inverse ;
- **Quadrant IV :** Tension négative et courant positif ( $\alpha < 0,5$ ) ; le hacheur fonctionne en mode générateur inverse.

## **7. Applications des hacheurs :**

### **Régulation de vitesse des moteurs à courant continu :**

Le hacheur est utilisé pour réguler la vitesse des moteurs à courant continu en contrôlant la tension appliquée à l'induit du moteur.

### **Alimentation à découpage :**

Les hacheurs sont également utilisés dans les alimentations à découpage, qui sont des alimentations électriques de haute efficacité et de petite taille.

### **Contrôle de l'éclairage LED :**

Les hacheurs sont utilisés pour contrôler l'intensité lumineuse des LED en ajustant le courant qui les traverse.

## **8. Avantages et inconvénients des hacheurs :**

### **Avantages :**

- Haute efficacité énergétique ;

- Petite taille et poids réduit ;
- Régulation précise de la tension et du courant.

**Inconvénients :**

- Coût élevé des composants électroniques ;
- Génération d'ondulations et de bruits électromagnétiques ;
- Complexité du circuit de commande.

## 9. Types de hacheurs :

**Hacheurs série et parallèle :**

Les hacheurs série sont ceux où l'interrupteur est en série avec la charge, tandis que les hacheurs parallèle ont l'interrupteur en parallèle avec la charge.

**Hacheurs monophasés et multiphasés :**

Les hacheurs monophasés fonctionnent avec une seule phase d'alimentation, tandis que les hacheurs multiphasés fonctionnent avec plusieurs phases d'alimentation pour une meilleure régulation et un meilleur rendement.

**Hacheurs à découpage :**

Les hacheurs à découpage fonctionnent en découpant l'alimentation électrique en impulsions pour réguler la tension ou le courant, selon les besoins de l'application.

## 10. Composants des hacheurs :

**Interrupteurs électroniques :**

Les interrupteurs électroniques, tels que les transistors et les thyristors, sont utilisés pour contrôler le passage du courant dans le circuit du hacheur.

**Diodes de roue libre :**

Les diodes de roue libre sont utilisées pour permettre la circulation du courant lorsque la charge est inductive et pour protéger les interrupteurs électroniques.

**Inductance de lissage :**

L'inductance de lissage est utilisée pour réduire l'ondulation du courant dans le circuit du hacheur et assurer un fonctionnement stable.

## 11. Méthodes de commande des hacheurs :

**Commande par largeur d'impulsion (PWM) :**

La commande par largeur d'impulsion (PWM) consiste à faire varier la largeur d'impulsion du signal de commande pour ajuster la tension ou le courant de sortie du hacheur.

**Commande par fréquence variable :**

La commande par fréquence variable consiste à faire varier la fréquence du signal de commande pour réguler la tension ou le courant de sortie du hacheur.

**Commande par rapport cyclique :**

La commande par rapport cyclique consiste à ajuster le temps pendant lequel l'interrupteur électronique est fermé par rapport à la période totale du signal de commande, afin de réguler la tension ou le courant de sortie.

## Chapitre 2 : L'algèbre de Boole

### 1. Introduction à l'algèbre de Boole :

#### Les variables logiques (booléennes) :

L'algèbre de Boole repose sur des variables logiques qui ne prennent que deux valeurs : Vrai (1) ou Faux (0). Ces variables sont la base des signaux numériques, permettant de représenter toutes les informations numériques (photos, images, sons...) sous forme de séquences de 0 et de 1.

### 2. Représentations des fonctions logiques :

#### Représentation littérale :

Une fonction logique ( $s = f(a, b, \dots)$ ) associe la valeur d'une variable à celle d'autres variables. Elle peut être représentée sous différentes formes, comme une représentation littérale.

#### Représentations graphiques :

Les fonctions logiques peuvent être représentées à l'aide de graphiques, par exemple, des schémas électriques.

#### Représentations en tableau :

Les fonctions logiques peuvent aussi être représentées sous forme de tableaux, tels que les tables de vérité ou les tableaux de Karnaugh.

### 3. Représentations graphiques des fonctions logiques :

#### Les contacts et les bobines :

Les premières fonctions logiques ont été réalisées avec des contacts et des bobines électriques. Les schémas électriques peuvent donc être utilisés pour représenter les équations logiques.

#### Le contact NO (contact à fermeture) :

Au repos ( $a=0$ ), le contact NO est ouvert et ne laisse pas passer le courant. Quand on appuie dessus, au travail ( $a=1$ ), le contact NO se ferme et laisse passer le courant.

#### Le contact NF (contact à ouverture) :

Au repos ( $b=0$ ), le contact NF est fermé et laisse passer le courant. Quand on appuie dessus, au travail ( $b=1$ ), le contact NF s'ouvre et ne laisse plus passer le courant.

#### La bobine :

La bobine est au repos ( $s=0$ ) quand elle n'est pas alimentée, et au travail ( $s=1$ ) quand elle est alimentée.

### 4. Les fonctions logiques de base :

**La fonction OUI :**

La fonction OUI est la plus simple des fonctions logiques. Elle consiste à reproduire la valeur d'une variable :  $s = a$ .

**La fonction NON :**

La fonction NON inverse la valeur d'une variable :  $s = \neg a$ .

**La fonction ET :**

La fonction ET donne la conjonction logique de deux variables :  $s = a \wedge b$ .

**Exemple :**

A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**La fonction OU :**

La fonction OU donne la disjonction logique de deux variables :  $s = a \vee b$ .

**La fonction OU EXCLUSIF (XOR) ( $s = a \oplus b$ ) :**

La fonction OU EXCLUSIF donne la disjonction exclusive de deux variables :  $s = a \oplus b$ . Elle est vraie si une seule des variables est vraie, mais fausse si les deux variables sont vraies ou fausses.

**5. Les lois de l'algèbre de Boole :****Loi de l'identité :**

$$a + 0 = a$$

$$a \cdot 1 = a$$

**Loi de l'annulation :**

$$a + 1 = 1$$

$$a \cdot 0 = 0$$

**Loi de l'inverse :**

$$a + \neg a = 1$$

$$a \cdot \neg a = 0$$

**Loi de l'idempotence :**

$$a + a = a$$

$$a \cdot a = a$$

**Loi de la commutativité :**

$$a + b = b + a$$

$$a \cdot b = b \cdot a$$

**Loi de l'associativité :**

$$a + (b + c) = (a + b) + c$$

$$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$$

**Loi de la distributivité :**

$$a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$$

$$a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$$

**Loi de la double négation :**

$$\neg(\neg a) = a$$

**Loi de De Morgan :**

$$\neg(a + b) = \neg a \cdot \neg b$$

$$\neg(a \cdot b) = \neg a + \neg b$$

## 6. Simplification des fonctions logiques :

**Comment simplifier une fonction logique ?**

Pour simplifier une fonction logique, on peut utiliser les lois de l'algèbre de Boole et les tableaux de Karnaugh.

**Objectif de la simplification de fonctions logiques :**

Il est important de simplifier les fonctions logiques pour réduire la complexité des circuits électroniques et pour optimiser la consommation d'énergie.

## Chapitre 3 : Systèmes automatisés et automates programmables industriels

### 1. Généralités sur les systèmes automatisés :

#### Organisation d'un système automatisé :

Un système automatisé est composé de deux parties principales : la partie opérative, qui agit sur le processus, et la partie commande, qui coordonne les actions et communique avec les opérateurs. Les Automates Programmables Industriels (API) se trouvent dans la partie commande.

#### Structure générale d'un API :

Un API est constitué d'une unité centrale entourée de différents éléments : entrées, sorties, mémoire et modules de communication. Les entrées permettent à l'API d'être informé du processus, tandis que les sorties lui permettent d'agir sur le processus.

### 2. Les entrées :

#### Types d'entrées :

Il existe deux grandes familles d'entrées sur un API : les entrées Tout Ou Rien (TOR) avec un signal à 0 (0V) ou à 1 (24V), et les entrées analogiques où le signal varie de 0% à 100%.

#### Signaux TOR :

Les signaux TOR proviennent de contacts électriques. Il y a trois types de contacts : NO (ouverts au repos, fermés au travail), NF (fermés au repos, ouverts au travail) et contacts mémoire (restent dans la position initiale).

#### Signaux analogiques :

Les signaux analogiques sont fournis par des capteurs. Ils peuvent être de deux types : courants compris entre 4 mA et 20 mA, et tensions comprises entre 0V et 10V.

### 3. Les sorties :

#### Sorties TOR :

Les sorties TOR sont des contacts NO. Pour commander un organe TOR, il faut utiliser une alimentation de 24V.

#### Sorties analogiques :

Les sorties analogiques se divisent en deux familles : les sorties courant (mA) et les sorties tension (V).

### 4. Câblage d'un API :

#### Alimentation :

Les API sont alimentés soit par une tension alternative de 230V, soit par une tension continue de 24V. Une fois alimenté, l'API dispose d'une source de tension continue de 24V.

#### **Entrées :**

La masse est généralement commune à toutes les entrées. Pour les entrées TOR, il faut faire attention aux types de contacts NO ou NF qui y sont connectés.

#### **Exemple :**

<b>BPO</b>	<b>BPI</b>	<b>IO</b>	<b>I1</b>
0	0	0	1
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	1	0

#### **Sorties TOR :**

Les sorties TOR disposent de deux connecteurs : l'alimentation 24V (peut être commune à plusieurs sorties) et l'autre fournissant une tension 0 ou 24V selon l'état logique de la sortie.

## **5. Conseils pour le choix des composants et la sécurité :**

#### **Sécurité et contacts NF :**

Généralement, les contacts NF sont utilisés pour tous les éléments qui concernent la sécurité. Cela permet de garantir un fonctionnement sûr du système automatisé et d'éviter les problèmes en cas de défaillance d'un composant.

#### **Choix des capteurs et actionneurs :**

Le choix des capteurs et actionneurs doit être adapté aux besoins du processus automatisé. Prenez en compte la plage de mesure, la précision, la fiabilité et la compatibilité avec l'API.

## **6. Communication avec l'utilisateur :**

#### **Modules de communication :**

Les modules de communication permettent à l'API de communiquer avec l'utilisateur. Ils peuvent être utilisés pour la surveillance du processus, le contrôle à distance ou la gestion des données.

#### **Protocoles de communication :**

Plusieurs protocoles de communication peuvent être utilisés pour échanger des informations entre l'API et les autres équipements du système automatisé. Les plus courants sont Modbus, Profibus, Ethernet/IP ou KNX.

## **7. Programmation de l'API :**

**Langages de programmation :**

Il existe plusieurs langages de programmation pour les API, tels que le langage à contacts (LADDER), le langage à grafcet (GRAFSET), le langage structuré (ST) ou le langage séquentiel (SFC). Chaque langage a ses avantages et ses inconvénients, il est donc important de choisir celui qui convient le mieux à votre application.

**Environnements de développement :**

Les environnements de développement pour les API sont des logiciels spécialisés qui permettent de créer, tester et déployer des programmes pour les automates. Les fabricants d'API proposent généralement leur propre environnement de développement, comme STEP 7 pour Siemens ou SoMachine pour Schneider Electric.

**Test et mise en service :**

Avant de mettre en service un système automatisé, il est essentiel de tester et valider le programme de l'API. Cela permet de détecter d'éventuelles erreurs de programmation et d'assurer le bon fonctionnement du système.

## 8. Maintenance et dépannage :

**Diagnostic et surveillance :**

Les API disposent de fonctions de diagnostic et de surveillance pour faciliter la maintenance et le dépannage. Il est possible de surveiller l'état des entrées, des sorties, des mémoires et des communications.

**Gestion des erreurs et des alarmes :**

La gestion des erreurs et des alarmes est cruciale pour assurer la fiabilité et la sécurité du système automatisé. L'API doit être programmé pour détecter les erreurs et les alerter à l'utilisateur, afin de faciliter le dépannage.

**Maintenance préventive :**

La maintenance préventive est essentielle pour prolonger la durée de vie des équipements et minimiser les risques de défaillance. Cela inclut la vérification régulière de l'état des composants, le nettoyage et la lubrification des parties mécaniques, et la mise à jour des logiciels.

## 9. Applications des systèmes automatisés et API :

**Chaînes de production :**

Les systèmes automatisés sont largement utilisés dans les chaînes de production pour améliorer la qualité, la précision et la rapidité de la fabrication. Les API permettent de coordonner les différentes étapes du processus, comme l'assemblage, le contrôle qualité ou l'emballage.

**Machines-outils et robots :**

Les API sont également utilisés pour contrôler les machines-outils et les robots industriels. Ils permettent de définir des trajectoires et des mouvements complexes pour réaliser des opérations de découpe, de soudage ou de manipulation d'objets.

#### **Transports et logistique :**

Dans le domaine des transports et de la logistique, les systèmes automatisés jouent un rôle clé pour optimiser les flux de marchandises et réduire les coûts. Les API permettent de gérer des équipements tels que les convoyeurs, les trieuses ou les systèmes de stockage automatisés.

## **10. Évolutions et tendances de l'automatisation industrielle :**

#### **Industrie 4.0 et l'Internet des objets (IoT) :**

L'Industrie 4.0 et l'Internet des objets (IoT) sont des concepts qui visent à intégrer les technologies numériques et de communication dans les processus industriels. Les API jouent un rôle central dans cette transformation en permettant la communication entre les machines et les systèmes d'information.

#### **Intelligence artificielle et apprentissage automatique :**

L'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique offrent de nouvelles perspectives pour l'automatisation industrielle. Les API peuvent intégrer des algorithmes d'apprentissage pour optimiser les processus, détecter des anomalies ou adapter les comportements en fonction des données collectées.

#### **Sécurité et cybersécurité :**

La sécurité des systèmes automatisés est un enjeu majeur, tant du point de vue physique que de la cybersécurité. Les API doivent être conçus et programmés pour faire face aux risques de défaillance, d'accidents et d'attaques informatiques.

## Chapitre 4 : Systèmes automatisés et automates programmables industriels

### 1. Les bases de la logique séquentielle :

#### Présentation de la logique séquentielle :

La logique séquentielle diffère de la logique combinatoire car elle intègre la dimension temporelle. La valeur d'une variable logique à un moment donné dépend des valeurs des variables logiques à un instant précédent. Exemple :  $S(t+dt) = a(t) + b(t).S(t)$ , noté  $S = a + b.S$ .

#### Le chronogramme :

Un chronogramme est une représentation graphique de l'évolution d'un signal électrique ou logique dans le temps. L'axe des abscisses représente le temps, et l'axe des ordonnées montre l'état (0 ou 1) des variables étudiées.

#### Niveaux logiques et fronts :

Une variable logique peut avoir deux niveaux, le niveau logique haut (vrai) et le niveau logique bas (faux). Lorsqu'elle passe du niveau bas au niveau haut, on parle de front montant. Dans le cas contraire, on parle de front descendant.

### 2. Les bascules RS (ou SR) :

#### Définition et utilisation des bascules :

Une bascule est un circuit logique possédant une sortie et une ou plusieurs entrées. Les changements d'état de la sortie sont déterminés par les signaux appliqués aux entrées. La bascule a une "mémoire" et constitue l'élément de base de la logique séquentielle. Les bascules permettent de réaliser des compteurs, des registres, des registres à décalage ou des mémoires.

#### La bascule RS :

La bascule RS possède deux entrées : une pour mettre sa sortie Q à 1 (S, pour "set") et une pour mettre sa sortie Q à 0 (R, pour "reset"). Les différentes configurations des entrées S et R déterminent le comportement de la bascule et la priorité des actions.

### 3. Les temporisateurs et monostables :

#### Les temporisateurs :

Un temporisateur retarde le front montant d'un signal T d'un temps "a" et le front descendant du même signal d'un temps "b".

#### Les monostables :

Un monostable ne connaît qu'un seul état stable, avec sa sortie Q à 0. Un front positif sur son entrée T provoque un état instable qui dure un temps déterminé "t". Il existe des monostables redéclenchables et des monostables non redéclenchables.

**Monostable non redéclenchable :**

Le front de T déclenche le monostable et la sortie Q passe à 1 pendant une durée "t", même si l'impulsion est plus longue. Les fronts de T n'ont aucune influence quand Q est à 1. Le monostable doit revenir dans son état stable pour être redéclenché.

**Monostable redéclenchable :**

Le front de T déclenche le monostable quelle que soit la valeur de la sortie Q, qui passe ou reste à 1 pendant une durée "t". Si un autre front de T survient pendant que Q est à 1, la durée "t" est réinitialisée et la sortie Q reste à 1 jusqu'à la fin du nouveau temps "t".

## 4. Les compteurs :

**Compteurs asynchrones :**

Les compteurs asynchrones sont composés de bascules reliées en cascade. Chaque bascule change d'état lorsqu'elle reçoit un front montant de l'horloge. La sortie d'une bascule est reliée à l'entrée d'horloge de la bascule suivante. Le comptage est incrémenté à chaque front montant de l'horloge, mais les bascules ne changent pas d'état simultanément.

**Compteurs synchrones :**

Les compteurs synchrones sont également composés de bascules, mais les entrées d'horloge de toutes les bascules sont reliées à la même source d'horloge. Le comptage est incrémenté à chaque front montant de l'horloge, et toutes les bascules changent d'état simultanément.

**Compteurs modulo-N :**

Un compteur modulo-N est un compteur qui se réinitialise après avoir atteint une certaine valeur, appelée "N". Par exemple, un compteur modulo-8 compte de 0 à 7, puis revient à 0 et recommence.

## 5. Les registres à décalage :

**Définition et utilisation :**

Un registre à décalage est un circuit logique qui permet de déplacer les bits d'information d'une position vers la droite ou la gauche. Il est constitué de bascules D reliées en cascade. Les registres à décalage sont souvent utilisés pour la conversion série-parallèle et parallèle-série de données.

**Registres à décalage à gauche :**

Un registre à décalage à gauche déplace les bits d'information vers la gauche à chaque impulsion d'horloge. Le bit le plus à gauche est perdu et un nouveau bit est chargé à droite.

**Registres à décalage à droite :**

Un registre à décalage à droite déplace les bits d'information vers la droite à chaque impulsion d'horloge. Le bit le plus à droite est perdu et un nouveau bit est chargé à gauche.

## 6. Les mémoires :

### **Mémoires statiques (SRAM) :**

Les mémoires statiques, également appelées SRAM (Static Random Access Memory), sont des dispositifs de stockage numérique qui conservent leur contenu tant que l'alimentation électrique est maintenue. Elles sont composées de cellules de mémoire basées sur des bascules bistables et offrent des temps d'accès rapides.

### **Mémoires dynamiques (DRAM) :**

Les mémoires dynamiques, ou DRAM (Dynamic Random Access Memory), sont également des dispositifs de stockage numérique, mais elles stockent les informations sous forme de charges électriques sur des condensateurs. Les charges se dissipent avec le temps, ce qui nécessite un rafraîchissement périodique pour maintenir les données. Les DRAM ont généralement une capacité de stockage plus élevée et un coût inférieur par bit que les SRAM, mais des temps d'accès plus lents.

### **Mémoires non volatiles (ROM, EEPROM, Flash) :**

Les mémoires non volatiles conservent leurs données même en l'absence d'alimentation électrique. Parmi les types de mémoires non volatiles, on trouve les ROM (Read-Only Memory), qui ne peuvent être programmées qu'une seule fois lors de la fabrication, les EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), qui peuvent être effacées et reprogrammées électriquement, et les mémoires Flash, qui sont des variantes d'EEPROM permettant l'effacement et la programmation rapides de larges blocs de données.

## 7. Les machines à états finis (FSM) :

### **Définition et concepts de base :**

Une machine à états finis (FSM) est un modèle mathématique utilisé pour représenter des systèmes séquentiels. Une FSM est définie par un ensemble fini d'états, un état initial, un ensemble d'événements d'entrée, un ensemble d'événements de sortie et des fonctions de transition et d'action associées aux changements d'état.

### **FSM de Moore :**

Dans les FSM de Moore, la sortie dépend uniquement de l'état actuel. Les fonctions de transition et d'action sont déterminées par l'état actuel et l'événement d'entrée. Les FSM de Moore sont souvent implémentées à l'aide de bascules et de circuits combinatoires pour générer les sorties.

### **FSM de Mealy :**

Dans les FSM de Mealy, la sortie dépend de l'état actuel et des entrées. Les fonctions de transition et d'action sont déterminées par l'état actuel, l'événement d'entrée et

l'événement de sortie. Les FSM de Mealy sont également implémentées à l'aide de bascules et de circuits combinatoires, mais les sorties peuvent changer plus rapidement que dans les FSM de Moore, car elles sont directement liées aux entrées.

## Chapitre 5 : Les capteurs et transmetteurs

### 1. Introduction aux capteurs et transmetteurs :

#### Rôle du couple capteur et transmetteur :

Le capteur détecte une grandeur physique (P) liée à la grandeur mesurée (X), tandis que le transmetteur convertit cette grandeur en un signal standard (x) généralement proportionnel à X. Il peut également intégrer d'autres mesures pour optimiser la linéarité de la relation  $x = f(X)$ .

#### L'étendue de mesure :

Les capteurs industriels permettent souvent de régler l'étendue de mesure, définissant ainsi le début et la fin de l'échelle. Si la grandeur mesurée dépasse l'échelle, le transmetteur se place en position de repli.

### 2. Le transmetteur intelligent :

#### Caractéristiques :

Le transmetteur intelligent est équipé d'un module de communication et d'un microcontrôleur. Il peut être réglé à distance, connecter plusieurs transmetteurs sur une même ligne, convertir une mesure en une autre grandeur (secondaire), et corriger l'influence des grandeurs d'influence sur la mesure.

#### Paramétrage :

Le paramétrage des transmetteurs intelligents peut être plus complexe en raison de leurs fonctions supplémentaires. Les paramètres courants incluent les valeurs basses et hautes de l'étendue de mesure, exprimées en unités physiques primaires et secondaires, ainsi que le type de sortie (directe ou inverse).

### 3. La communication :

#### La liaison HART :

Le protocole HART (Highway Addressable Remote Transducer) permet la communication avec des capteurs ou actionneurs numériques (intelligents) sur une liaison analogique 4-20mA.

Il superpose un courant alternatif dont la fréquence véhicule les informations numériques, assurant la compatibilité avec les systèmes existants tout en permettant une communication numérique simultanée pour la configuration, la surveillance, les diagnostics, etc.

#### Les réseaux de terrain :

Les réseaux locaux industriels (RLI) ont été créés pour faciliter la communication entre les différents éléments composant les automatismes. Les réseaux de terrain permettent l'installation locale ou distante d'instrumentation, le transfert de données vers des hôtes

répartis pour le traitement et la supervision, la gestion, le diagnostic et la réparation à distance de l'équipement, des gains de câblage et la réduction des coûts de maintenance.

#### **4. Directive ATEX 1999/92/CE - Zones explosives :**

##### **Présentation :**

La directive ATEX (ATmosphères EXplosives) vise à améliorer la santé et la sécurité des travailleurs exposés aux risques des atmosphères explosives. L'employeur doit empêcher la formation des ATEX, éviter l'inflammation des ATEX et atténuer les effets néfastes de l'explosion des ATEX.

##### **Définition des zones ATEX :**

- **Zone 0 (gaz) / 20 (poussières) :** Zone où une atmosphère explosive est présente en permanence, pendant de longues périodes ou fréquemment ;
- **Zone 1 (gaz) / 21 (poussières) :** Zone où une atmosphère explosive est susceptible de se former occasionnellement en fonctionnement normal ;
- **Zone 2 (gaz) / 22 (poussières) :** Zone où une atmosphère explosive n'est pas susceptible de se former en fonctionnement normal et, si elle se forme, elle ne persistera que pour une courte période.

##### **Matériel ATEX :**

Le matériel destiné à être utilisé en zones ATEX doit être conçu et construit de manière à ne pas provoquer une explosion. Il est classé en fonction de la zone pour laquelle il est destiné et doit respecter des exigences spécifiques de sécurité, de certification et de marquage.

#### **5. Étalonnage et maintenance des capteurs et transmetteurs :**

##### **Étalonnage :**

L'étalonnage est le processus de comparaison des sorties d'un capteur ou d'un transmetteur à des valeurs de référence précises.

Il permet d'évaluer et de corriger les erreurs de mesure et d'assurer la fiabilité et la précision des instruments. L'étalonnage doit être effectué régulièrement et à chaque fois que l'on suspecte une dérive de l'instrument.

##### **Maintenance :**

La maintenance des capteurs et transmetteurs est essentielle pour assurer leur bon fonctionnement et leur longévité. Elle comprend la vérification régulière de l'état général de l'instrument, le nettoyage, l'entretien, la réparation ou le remplacement des pièces défectueuses et l'étalonnage. Une maintenance préventive permet de réduire les risques de dysfonctionnement et d'améliorer la fiabilité des mesures.

#### **6. Exemples de capteurs et transmetteurs :**

##### **Capteur de température :**

Les capteurs de température les plus courants sont les thermocouples, les sondes à résistance (RTD) et les thermistances.

Ils transforment les variations de température en variations de tension ou de résistance, qui sont ensuite converties en un signal standard par le transmetteur.

#### **Capteur de pression :**

Les capteurs de pression détectent la pression d'un fluide (gaz ou liquide) en la convertissant en une grandeur électrique. Les technologies courantes incluent les jauges à contrainte, les capteurs capacitifs et les capteurs piézorésistifs.

#### **Capteur de niveau :**

Les capteurs de niveau mesurent la hauteur d'un liquide ou d'un solide en vrac dans un réservoir. Les technologies courantes comprennent les capteurs à ultrasons, les capteurs à radar, les capteurs capacitifs, les flotteurs et les sondes de conductivité.

#### **Capteur de débit :**

Les capteurs de débit mesurent la quantité de fluide (gaz ou liquide) qui passe à travers une conduite pendant une période donnée. Les technologies courantes comprennent les débitmètres à effet Doppler, les débitmètres massiques thermiques, les débitmètres électromagnétiques et les débitmètres à ultrasons.

#### **Capteur de qualité de l'air :**

Les capteurs de qualité de l'air détectent et mesurent la concentration de polluants et de particules dans l'air, tels que les composés organiques volatils (COV), les oxydes d'azote (NOx), les particules fines (PM) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Ces capteurs utilisent généralement des technologies optiques, électrochimiques ou à semi-conducteurs.

## **7. Communication et protocoles :**

#### **Communication filaire :**

La communication filaire est la transmission de données entre capteurs, transmetteurs et systèmes de contrôle/commande par l'intermédiaire de câbles. Les protocoles de communication courants incluent le 4-20 mA, le HART, le Modbus et le Profibus.

#### **Communication sans fil :**

La communication sans fil permet la transmission de données entre capteurs, transmetteurs et systèmes de contrôle/commande sans l'utilisation de câbles. Les technologies courantes incluent le Wi-Fi, le Bluetooth, le Zigbee et les réseaux de capteurs sans fil (WSN).

#### **Réseaux industriels :**

Les réseaux industriels sont des systèmes de communication qui permettent la connexion, l'échange de données et le contrôle de multiples capteurs, transmetteurs et équipements

au sein d'une installation industrielle. Les réseaux industriels courants incluent l'Ethernet industriel, le Fieldbus Foundation et le DeviceNet.

## Chapitre 6 : La température et les thermomètres

### 1. Généralités sur la température :

#### La température, une grandeur physique :

La température est une grandeur intensive mesurée de deux façons : à l'échelle atomique (liée à l'énergie cinétique moyenne) et au niveau macroscopique (propriétés des corps dépendant de la température).

#### Les échelles de température :

L'échelle centésimale est la plus ancienne, attribuant 0 et 100 degrés à la glace fondante et à l'eau bouillante. On utilise plutôt l'échelle Celsius, définie à partir de l'échelle Kelvin :  $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$ . L'échelle Kelvin définit des températures absolues.

### 2. Les thermomètres à dilatation :

#### Principe de fonctionnement :

Les thermomètres à dilatation se basent sur la dilatation des corps (solides, liquides ou gaz) en fonction de la température. La dilatation étant réversible, elle permet de repérer les températures de manière pratique.

#### Thermomètres à dilatation de liquide :

Ils sont constitués d'un réservoir, d'un capillaire de faible section et d'une ampoule de sécurité, réalisés en verre. Sous l'effet des variations de température, le liquide se dilate et son niveau est repéré sur une échelle thermométrique gravée.

#### Loi de variation :

La loi de variation du volume du liquide en fonction de la température est  $V = V_0(1 + \alpha \times \theta)$ , où  $V_0$  est le volume à 0 °C,  $V$  est le volume à  $\theta$  °C, et  $\alpha$  est le coefficient de dilatation en °C<sup>-1</sup>.

#### Liquides thermométriques :

Les liquides utilisés varient selon le domaine de température, comme le pentane (-200 à 20 °C), l'alcool éthylique (-110 à 100 °C), ou le mercure (-38 à +650 °C). L'espace libre au-dessus du liquide peut être rempli d'un gaz neutre (azote ou argon) pour éviter la fragmentation de la colonne de liquide et permettre de mesurer des hautes températures.

#### Nature de l'enveloppe :

Selon la température à mesurer, le matériau de l'enveloppe du thermomètre change : verre d'Ina jusqu'à 450 °C, verre Supremax jusqu'à 630 °C, ou silice pure fondue jusqu'à 1000 °C.

#### Exemple :

Pour mesurer la température d'une pièce (20 °C), on peut utiliser un thermomètre à dilatation de liquide avec de l'alcool éthylique, dont le domaine d'emploi est de -110 à 100 °C.

### **3. Autres types de thermomètres :**

#### **Thermomètres à dilatation de solide :**

Ces thermomètres exploitent la dilatation des solides en fonction de la température. L'un des exemples les plus courants est le thermomètre à bimétal, qui consiste en deux métaux soudés ensemble ayant des coefficients de dilatation différents.

#### **Principe de fonctionnement :**

Lorsque la température augmente, les deux métaux se dilatent différemment, provoquant une courbure du bimétal. Cette courbure est ensuite transformée en déplacement d'une aiguille qui indique la température sur une échelle graduée.

#### **Thermomètres à dilatation de gaz :**

Les thermomètres à dilatation de gaz utilisent la variation de volume ou de pression d'un gaz avec la température pour mesurer cette dernière. Les deux types principaux sont les thermomètres à gaz à volume constant et les thermomètres à gaz à pression constante.

#### **Principe de fonctionnement :**

Dans les thermomètres à gaz à volume constant, on maintient le volume du gaz constant et on mesure la variation de pression en fonction de la température. Dans les thermomètres à gaz à pression constante, on maintient la pression du gaz constante et on mesure la variation de volume en fonction de la température.

#### **Capteurs de température à résistance (RTD) :**

Les RTD exploitent la variation de la résistance électrique d'un matériau en fonction de la température. Les RTD les plus courants sont constitués de fils de platine enroulés autour d'un support isolant.

#### **Principe de fonctionnement :**

La résistance du fil de platine varie linéairement avec la température. En mesurant la résistance électrique, on peut déterminer la température.

#### **Thermocouples :**

Les thermocouples sont constitués de deux métaux différents soudés ensemble en un point appelé jonction chaude. L'autre extrémité des fils métalliques est appelée jonction froide.

#### **Principe de fonctionnement :**

Lorsqu'il y a une différence de température entre les deux jonctions, un courant électrique est généré. Ce courant, appelé force électromotrice (f.e.m.), est proportionnel à la différence de température entre les deux jonctions. En mesurant la f.e.m., on peut déterminer la température à la jonction chaude.

## 4. Utilisation des thermomètres et capteurs de température :

### **Applications des thermomètres à dilatation de solide :**

Les thermomètres à dilatation de solide, tels que les thermomètres bimétalliques, sont largement utilisés dans les applications domestiques et industrielles en raison de leur simplicité et de leur faible coût. Ils sont couramment utilisés pour contrôler la température des fours, des réfrigérateurs et des systèmes de chauffage.

### **Applications des thermomètres à dilatation de gaz :**

Les thermomètres à dilatation de gaz sont utilisés dans les applications nécessitant une mesure précise de la température sur une large gamme. Ils sont couramment utilisés dans les laboratoires de recherche, les stations météorologiques et l'industrie chimique.

### **Applications des capteurs de température à résistance (RTD) :**

Les RTD sont utilisés dans diverses applications industrielles, telles que la surveillance de la température dans les équipements de transformation, les moteurs électriques, les générateurs et les systèmes de contrôle de la température. Les RTD sont également utilisés dans les laboratoires pour des mesures de température très précises.

### **Applications des thermocouples :**

Les thermocouples sont largement utilisés dans les applications industrielles en raison de leur robustesse, de leur faible coût et de leur capacité à mesurer des températures élevées. Ils sont couramment utilisés pour la surveillance de la température dans les fours industriels, les turbines à gaz, les moteurs à combustion interne et les procédés de soudage.

## 5. Précautions lors de l'utilisation de thermomètres et de capteurs de température :

### **Étalonnage :**

Il est essentiel d'étalonner régulièrement les thermomètres et les capteurs de température pour garantir des mesures précises. L'étalonnage doit être effectué en utilisant des points de référence de température traçables aux normes internationales.

### **Placement correct :**

Le placement correct du thermomètre ou du capteur de température est crucial pour obtenir des mesures précises. Il doit être placé de manière à éviter les erreurs dues aux gradients de température, à la conduction de la chaleur ou aux effets d'irradiation.

### **Protection contre les perturbations électromagnétiques :**

Les capteurs de température, tels que les RTD et les thermocouples, peuvent être affectés par les perturbations électromagnétiques. Il est important de s'assurer que le câblage est correctement blindé et que les sources de perturbations électromagnétiques sont éloignées du capteur.

**Maintenance régulière :**

Une maintenance régulière des thermomètres et des capteurs de température est nécessaire pour garantir un fonctionnement optimal et une longue durée de vie. Cela inclut le nettoyage, l'inspection visuelle et la vérification des connexions électriques.

## 6. Types de thermomètres et capteurs de température non mentionnés précédemment :

**Thermistances :**

Les thermistances sont des capteurs de température à semi-conducteurs dont la résistance varie avec la température. Elles sont principalement utilisées dans les applications de faible puissance, comme la surveillance de la température des batteries et des circuits électroniques. Les thermistances sont également utilisées dans les thermostats domestiques et les systèmes de climatisation.

**Détecteurs infrarouges :**

Les détecteurs infrarouges, également appelés thermomètres infrarouges, mesurent la température en détectant le rayonnement infrarouge émis par un objet. Ils sont couramment utilisés pour mesurer la température sans contact, ce qui est particulièrement utile dans les applications où les objets sont en mouvement, dangereux ou difficiles d'accès. Les thermomètres infrarouges sont utilisés dans des domaines tels que l'industrie automobile, la métallurgie et la surveillance des feux de forêt.

**Fibres optiques :**

Les capteurs de température à fibres optiques utilisent la lumière pour mesurer la température, ce qui les rend insensibles aux perturbations électromagnétiques et permet des mesures précises dans des environnements difficiles. Ils sont utilisés dans des applications telles que la surveillance de la température des transformateurs, des réacteurs nucléaires et des systèmes de transport d'énergie.

## 7. Conseils pour choisir le bon thermomètre ou capteur de température :

**Évaluer les besoins de l'application :**

Avant de choisir un thermomètre ou un capteur de température, il est important d'évaluer les besoins de l'application, tels que la gamme de température, la précision requise, la répétabilité et la résolution.

**Considérer l'environnement de mesure :**

L'environnement de mesure peut avoir un impact significatif sur le choix du thermomètre ou du capteur de température. Les facteurs à considérer incluent la présence de vibrations, d'humidité, de pression et de perturbations électromagnétiques.

**Tenir compte des coûts :**

Le coût est un facteur important lors du choix d'un thermomètre ou d'un capteur de température. Il est essentiel de tenir compte non seulement du coût initial de l'appareil, mais également des coûts d'entretien, d'étalonnage et de remplacement.

**Examiner les options de sortie :**

Les thermomètres et capteurs de température sont disponibles avec différentes options de sortie, telles que les signaux analogiques, les signaux numériques et les interfaces de communication. Il est important de choisir un appareil compatible avec le système de contrôle ou d'enregistrement de la température utilisé.

## Chapitre 7 : Les vannes de régulation

### 1. Généralités sur les vannes de régulation :

#### **Schématisation des vannes :**

Il existe plusieurs types de vannes de régulation, comme les vannes simples, manuelles, pneumatiques, électrovannes et les vannes pneumatiques avec positionneur. Elles sont utilisées pour contrôler le débit dans une canalisation.

#### **Contraintes liées au fluide et à l'environnement :**

Les vannes de régulation doivent être conçues pour fonctionner correctement malgré les problèmes posés par le fluide et son environnement. Le fluide peut être corrosif, chargé de particules solides, visqueux, inflammable, toxique ou dangereux.

#### **Éléments constitutifs d'une vanne de régulation :**

La vanne de régulation est composée de deux éléments principaux : le corps de vanne, qui assure le réglage du débit, et le servomoteur, qui convertit le signal de commande en mouvement de la vanne. Elle peut également comporter des éléments auxiliaires tels qu'un contacteur de début et de fin de course, une recopie de position, un filtre détenteur et un positionneur.

### 2. Forme du corps de vanne :

#### **Corps droit :**

L'entrée et la sortie sont dans le même axe. Ce type de corps de vanne est assez courant.

#### **Corps d'angle :**

L'entrée et la sortie sont dans deux plans perpendiculaires. Ce type de corps de vanne est utilisé lorsque l'espace est limité.

#### **Corps mélangeur :**

Il possède deux entrées et une sortie pour permettre le mélange de deux fluides.

#### **Corps de dérivation (répartiteur) :**

Il possède une entrée et deux sorties pour permettre la séparation du fluide selon deux directions.

### 3. Types de clapets :

#### **Clapet simple siège :**

Ce type de clapet permet une bonne étanchéité à la fermeture et existence de clapets réversibles. Cependant, une force importante est exercée sur le clapet, ce qui provoque un risque de bouchage par des particules en suspension.

#### **Clapet double siège :**

Ce type de clapet présente l'avantage d'un bon équilibrage grâce à la diminution de la force résultante due à la poussée du fluide. Cependant, ce type de clapet dispose d'une mauvaise étanchéité de la fermeture due à la double portée.

#### **Clapet à cage :**

L'avantage de ce type de clapet est l'équilibrage, bonne étanchéité à la fermeture, bonne plage de réglage, et cages spécifiques pour résoudre des problèmes de cavitation ou de bruit. Cependant, les corps droits sont non-réversibles, ce qui provoque un risque de coincement de l'obturateur avec des fluides chargés de particules solides.

### **4. Conseils pour choisir une vanne de régulation :**

#### **Tenir compte du fluide et de l'environnement :**

Il est important de choisir une vanne adaptée au fluide et à son environnement pour assurer un fonctionnement optimal et une longue durée de vie.

#### **Prendre en compte la température de fonctionnement :**

La température du fluide et de l'environnement peut avoir un impact sur le choix de la vanne de régulation. Il est important de choisir des matériaux résistants aux températures élevées ou basses, selon les conditions de fonctionnement.

#### **Sélectionner le type de clapet adapté :**

Le choix du type de clapet dépend des besoins de l'application. Un clapet simple siège offre une bonne étanchéité, tandis qu'un clapet double siège offre un meilleur équilibrage. Un clapet à cage peut être utilisé pour résoudre des problèmes de cavitation ou de bruit.

#### **Choisir le type de servomoteur approprié :**

Le servomoteur doit être adapté aux besoins de l'application. Les servomoteurs pneumatiques sont couramment utilisés pour leur simplicité et leur fiabilité, tandis que les servomoteurs électriques offrent une plus grande précision et un meilleur contrôle.

#### **Prévoir des éléments auxiliaires si nécessaire :**

Selon les besoins de l'application, il peut être nécessaire d'ajouter des éléments auxiliaires tels qu'un contacteur de début et de fin de course, une recopie de position, un filtre détendeur ou un positionneur.

### **5. Maintenance des vannes de régulation :**

#### **Inspection régulière :**

Il est important d'inspecter régulièrement les vannes de régulation pour détecter toute anomalie et assurer un fonctionnement optimal.

#### **Nettoyage et entretien :**

Le nettoyage et l'entretien des vannes de régulation doivent être effectués selon les recommandations du fabricant. Il est important de vérifier l'état des joints, des clapets et des autres composants, et de les remplacer si nécessaire.

**Lubrification :**

La lubrification des vannes de régulation est essentielle pour assurer un fonctionnement sans problèmes et prolonger leur durée de vie. Utilisez les lubrifiants recommandés par le fabricant et respectez les intervalles de lubrification indiqués.

**Contrôle des fuites :**

Le contrôle des fuites est important pour prévenir les problèmes de performance et les risques pour l'environnement. Inspectez régulièrement les vannes de régulation et réparez ou remplacez les composants défectueux si nécessaire.

## 6. Diagnostic des problèmes courants des vannes de régulation :

**Débit insuffisant :**

Si une vanne de régulation ne fournit pas le débit requis, cela peut être dû à une obstruction, un mauvais réglage ou un problème mécanique. Il est important d'inspecter la vanne et de vérifier les paramètres de contrôle pour résoudre le problème.

**Fluctuation du débit :**

Les fluctuations de débit peuvent être causées par des problèmes de régulation, des variations de pression ou des problèmes mécaniques. Pour résoudre ce problème, vérifiez les réglages de contrôle, la pression en amont et en aval de la vanne, et assurez-vous que tous les composants fonctionnent correctement.

**Bruit et vibrations :**

Les bruits et vibrations excessifs peuvent être le signe de cavitation, de problèmes de réglage ou de composants défectueux. Pour résoudre ces problèmes, assurez-vous que la vanne est correctement réglée, vérifiez l'état des composants et envisagez d'utiliser un clapet à cage si nécessaire.

**Fuites :**

Les fuites peuvent être causées par des joints usés, des clapets endommagés ou un mauvais assemblage. Inspectez régulièrement les vannes pour détecter les fuites et remplacez les composants défectueux si nécessaire.

## 7. Modernisation et amélioration des vannes de régulation :

**Mise à niveau des servomoteurs :**

La mise à niveau des servomoteurs peut améliorer la précision et la réactivité des vannes de régulation. Les servomoteurs électriques offrent généralement une meilleure performance que les servomoteurs pneumatiques et peuvent être une option à envisager.

**Installation de positionneurs intelligents :**

Les positionneurs intelligents permettent un meilleur contrôle et une plus grande précision en ajustant la position de la vanne en fonction des conditions du système. Ils peuvent

également fournir des informations sur la performance et l'état de la vanne, facilitant ainsi la maintenance préventive.

**Utilisation de matériaux résistants à la corrosion :**

Les matériaux résistants à la corrosion peuvent prolonger la durée de vie des vannes de régulation et réduire les problèmes liés à la corrosion, en particulier dans les environnements agressifs ou les applications avec des fluides corrosifs.

**Formation du personnel :**

La formation du personnel est essentielle pour assurer une utilisation et une maintenance appropriées des vannes de régulation. Le personnel doit être formé sur les bonnes pratiques de maintenance, les procédures de diagnostic et les mesures de sécurité.