



# Report for Systems Engineering

Typst Template Example



**HES-SO Valais//Wallis**  
Systems Engineering - Infotronics  
Digital Design - Silvan Zahno  
Fall Semester 2025 - S1fα

---

**Silvan Zahno, Axel Amand, Rémi Heredero**

17.03.2025 - v0.1.0 - draft

# Contents

- 1 Introduction ..... 3
  - 1.1 Overview of Electrical Control Systems ..... 3
    - 1.1.1 Open loop control system ..... 3
    - 1.1.2 Closed loop control system ..... 3
    - 1.1.3 Systèmes de contrôle électrique dans l'industrie ..... 4
  - 1.2 Evolution of Control Systems: From Relays to PLCs ..... 5
    - 1.2.1 L'évolution de la technologie des API ..... 6
  - 1.3 Objectives of the Report ..... 6
- 2 Systèmes classiques basés sur des relais ..... 9
  - 2.1 Les bases des relais de contrôle ..... 11
    - 2.1.1 Symboles schématiques pour les relais ..... 11
    - 2.1.2 Circuits de relais et Ladder Diagrams ..... 15
  - 2.2 Contacteurs et relais - Différences et applications ..... 17
    - 2.2.1 Principes de fonctionnement des relais et des contacteurs ..... 17
    - 2.2.2 Différences entre relais et contacteurs ..... 18
    - 2.2.3 Applications clés ..... 19
- 3 Design ..... 21
- 4 Implementation ..... 22
- 5 Validation ..... 23
- 6 Conclusion ..... 24
- Glossary ..... 25

# 1 | Introduction

## 1.1 Overview of Electrical Control Systems

Un système de contrôle électrique est une interconnexion physique de dispositifs qui influencent le comportement d'autres dispositifs ou systèmes. Un système électronique simple se compose d'une entrée, d'un processus et d'une sortie. Les variables d'entrée et de sortie du système sont des signaux. Les pompes de circulation, les compresseurs, les systèmes de fabrication, les installations frigorifiques et les panneaux de contrôle des moteurs sont des exemples de systèmes de ce type.

Les dispositifs d'entrée tels que les capteurs recueillent des informations et y répondent, et contrôlent un processus physique en utilisant de l'énergie électrique sous la forme d'une action de sortie. Les systèmes électroniques peuvent être classés comme étant de nature « causale ». Le signal d'entrée est la « cause » du changement dans le processus ou le fonctionnement du système, tandis que le signal de sortie est l'« effet », la conséquence de la cause. Par exemple, un microphone (dispositif d'entrée) convertit les ondes sonores en signaux électriques qui sont amplifiés par un haut-parleur (dispositif de sortie) produisant des ondes sonores.

Les systèmes électroniques sont généralement représentés comme une série de blocs et de signaux interconnectés. Chaque bloc est représenté avec son propre ensemble d'entrées et de sorties. C'est ce qu'on appelle la représentation par bloc-diagramme.

Les systèmes électriques fonctionnent soit avec des signaux à temps continu (CT), soit avec des signaux à temps discret (DT).

Dans un système à temps continu, les signaux d'entrée sont continus dans le temps. Il s'agit généralement de systèmes analogiques produisant un fonctionnement linéaire avec des signaux d'entrée et de sortie référencés sur une période de temps donnée, par exemple entre 13h00 et 14h00.

Un système DT est un système dans lequel les signaux d'entrée sont continus dans le temps.

### 1.1.1 Open loop control system

Un système de contrôle en boucle ouverte est un système dans lequel la sortie ne renvoie pas à l'entrée pour corriger les variations. Au lieu de cela, la sortie varie en faisant varier l'entrée. Cela signifie que les conditions externes n'ont pas d'impact sur la sortie du système. Un exemple est celui d'une chaudière de chauffage central commandée par minuterie, qui s'allume entre certaines heures prédéfinies, quel que soit le niveau de confort thermique du bâtiment.

Les systèmes en boucle ouverte présentent l'avantage d'être simples, faciles à construire et généralement stables. Cependant, ils peuvent être imprécis et peu fiables car la sortie n'est pas corrigée automatiquement.

### 1.1.2 Closed loop control system

Un système de contrôle en boucle fermée est un système dans lequel la sortie a un effet sur l'entrée afin de maintenir une valeur de sortie souhaitée. Il y parvient en fournissant une boucle de rétroaction. Par exemple, une chaudière peut être équipée d'un thermostat qui surveille le niveau de confort thermique d'un bâtiment et envoie un signal de retour pour s'assurer que le régulateur maintient la température réglée.

Les systèmes en boucle fermée ont l'avantage d'être précis et peuvent être rendus plus ou moins sensibles en fonction de la stabilité requise du système. Cependant, ils sont plus complexes en termes de conception d'un système stable.

### **1.1.3 Systèmes de contrôle électrique dans l'industrie**

Electrical control systems are indeed pivotal in modern industrial operations, offering a wide range of benefits that enhance efficiency, safety, and sustainability. Here's a more detailed look at how these systems contribute to various aspects of industrial work:

- **Automation and Production: Enhancing Efficiency**

Electrical control systems streamline repetitive tasks, reducing the need for manual intervention. This not only speeds up production but also minimizes human error, ensuring consistent quality. These systems can precisely control machinery, ensuring operations are carried out at optimal speeds and with high accuracy. This is crucial in industries where precision is key, such as automotive manufacturing or electronics assembly. By automating routine tasks, employees can focus on more complex and strategic activities, improving overall productivity and innovation within the organization.

- **Monitoring and Safety Systems: Protecting Your Operations**

Advanced monitoring capabilities allow electrical control systems to predict potential equipment failures before they occur. This proactive approach helps prevent unexpected downtime and costly repairs. Continuous safety checks and real-time alerts ensure that any anomalies are detected early, reducing the risk of accidents and keeping workers safe. This is particularly important in high-risk environments like chemical plants or heavy machinery operations.

- **Gestion de l'énergie : Optimiser l'alimentation électrique**

Les systèmes de contrôle électrique jouent un rôle important dans la gestion de la consommation d'énergie. En optimisant la distribution de l'énergie et en contrôlant les entrées et les sorties, ces systèmes aident les entreprises à réduire le gaspillage d'énergie et les coûts d'électricité. Cela permet non seulement d'améliorer l'efficacité opérationnelle, mais aussi de soutenir les objectifs de développement durable en minimisant l'impact sur l'environnement. Par exemple, dans les grandes installations de fabrication, les systèmes de gestion de l'énergie peuvent équilibrer les charges électriques afin d'éviter les pics de consommation et de réduire l'empreinte carbone globale.

- **Évolutivité et personnalisation**

L'un des principaux avantages des systèmes de contrôle électrique est leur capacité à s'adapter à des besoins opérationnels spécifiques. Qu'il s'agisse d'une ligne de production à petite échelle ou d'un réseau de distribution d'énergie complexe, ces systèmes peuvent être personnalisés pour répondre aux exigences uniques d'une entreprise. Cette flexibilité garantit qu'au fur et à mesure que les opérations se développent ou changent, les systèmes de contrôle peuvent s'adapter en conséquence, offrant ainsi une valeur et une fiabilité à long terme.

- **Intégration avec les technologies modernes**

Les systèmes de contrôle électrique s'intègrent souvent de manière transparente à d'autres technologies de pointe, telles que l'Internet des objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA). Cette intégration permet une prise de décision plus intelligente, des analyses prédictives et des capacités de surveillance à distance. Par exemple, les capteurs compatibles avec l'IoT peuvent fournir des

données en temps réel sur les performances des équipements, tandis que les algorithmes d'IA peuvent analyser ces données pour optimiser les processus et prévoir les besoins de maintenance.

## 1.2 Evolution of Control Systems: From Relays to PLCs

L'évolution de l'automatisation industrielle, des systèmes à relais aux automates programmables modernes (API), est un voyage fascinant qui met en évidence les progrès de la technologie et les exigences croissantes des industries. Voici un aperçu détaillé des phases clés de cette transformation :

- **Les débuts : Les systèmes à relais**

Avant l'avènement des automates programmables, les industries s'appuyaient fortement sur les systèmes à relais pour l'automatisation et le contrôle. Les relais, qui sont des interrupteurs électromécaniques, étaient utilisés pour ouvrir et fermer des circuits en réponse à des signaux électriques. Ces systèmes ont été largement utilisés dans les usines, les centrales électriques et d'autres environnements industriels au début du 20e siècle. Cependant, les systèmes à relais présentaient des limites importantes :

- **La complexité** : Les systèmes à relais nécessitaient un câblage important et des circuits complexes. À mesure que le nombre de relais augmentait, les systèmes devenaient de plus en plus difficiles à gérer et à entretenir.
- **Manque de flexibilité** : La modification d'un système à relais pour s'adapter à des changements dans les processus de production était une tâche fastidieuse. Elle nécessitait souvent un recâblage et des modifications physiques, ce qui était à la fois long et coûteux.
- **Problèmes de maintenance** : Les relais étant des dispositifs mécaniques, ils étaient sujets à l'usure. Une maintenance fréquente était nécessaire pour maintenir les systèmes opérationnels, ce qui entraînait des temps d'arrêt et une augmentation des coûts.

Malgré ces inconvénients, les systèmes à relais ont constitué l'épine dorsale de l'automatisation industrielle jusqu'à la fin des années 1960. Avec l'expansion des industries et l'augmentation des exigences de production, le besoin de systèmes de contrôle plus efficaces, plus fiables et plus flexibles est devenu évident.

- **La naissance des automates programmables**

Le développement des automates programmables industriels (API) a été motivé par la nécessité de disposer d'une solution d'automatisation plus adaptable et plus efficace. À la fin des années 1960, l'industrie automobile, en particulier, a dû relever des défis pour s'adapter aux changements rapides des processus de fabrication. Les systèmes de relais traditionnels ne suffisaient plus.

En 1968, Dick Morley, souvent considéré comme le « père de l'API », a présenté le premier API, le Modicon 084. Cette innovation a marqué un tournant dans l'automatisation industrielle. Les API ont été conçus pour remplacer les systèmes de relais encombrants et peu flexibles par une solution plus rationnelle et programmable. Les premiers automates programmables offraient plusieurs avantages :

- **Programmabilité** : Contrairement aux systèmes à relais, qui nécessitaient un recâblage physique, les automates programmables pouvaient être programmés à l'aide d'un logiciel. Cela permettait de modifier et de mettre à jour facilement la logique de contrôle sans devoir procéder à un recâblage important.

- **Conception compacte** : Les automates programmables sont nettement plus petits que les panneaux à relais, ce qui permet de gagner de la place et de simplifier l'installation.
- **Fiabilité** : Avec moins de pièces mobiles que les relais, les automates programmables sont plus fiables et nécessitent moins d'entretien.
- **Polyvalence** : Les automates programmables peuvent être utilisés dans un large éventail d'applications, depuis des tâches simples comme la commande de l'éclairage jusqu'à des processus complexes comme l'automatisation des chaînes de montage.

### 1.2.1 L'évolution de la technologie des API

L'introduction des premiers automates programmables n'était qu'un début. Au cours des décennies suivantes, la technologie des automates a connu plusieurs évolutions majeures qui ont élargi leurs capacités et leurs applications :

- **Introduction des microprocesseurs (années 1970-1980)**: L'intégration de microprocesseurs dans les automates dans les années 1970 et 1980 a considérablement amélioré leur puissance de traitement et leur vitesse. Cela a permis aux automates de gérer des tâches plus complexes et de contrôler des systèmes plus importants avec une précision et une fiabilité accrues.
- **Programmation par logique Ladder** : La programmation par logique Ladder est devenue la méthode standard de programmation des automates. Conçue pour ressembler aux schémas des circuits logiques à relais, elle a permis aux ingénieurs et techniciens familiarisés avec les systèmes à relais de passer plus facilement à l'utilisation d'automates. La logique Ladder reste largement utilisée aujourd'hui, bien que les automates modernes prennent également en charge d'autres langages de programmation.
- **Communication Capabilities (1980s-1990s)**: As industries became more interconnected, the need for communication between different systems grew. In the 1980s and 1990s, PLCs began to be equipped with communication modules, enabling them to connect to other PLCs, computers, and devices. This led to the development of distributed control systems (DCS) and supervisory control and data acquisition (SCADA) systems, which allowed for centralized monitoring and control of multiple processes.
- **Networking and Integration (1990s-2000s)**: During the 1990s and 2000s, PLCs became more networked and integrated with other systems. The introduction of industrial Ethernet and other networking protocols enabled PLCs to communicate over long distances and integrate with enterprise-level systems like Manufacturing Execution Systems (MES) and Enterprise Resource Planning (ERP) systems. This integration facilitated real-time data collection, analysis, and decision-making, significantly improving operational efficiency.

## 1.3 Objectives of the Report

Les objectifs du rapport portant sur l'exploration et la mise en œuvre de trois méthodes de contrôle d'une pompe à eau - contrôle classique par relais, contrôle par API et contrôle par VFD - sont les suivants :

- **Explorer et mettre en œuvre trois méthodes de contrôle**
  - **Commande à relais classique** :

Concevoir, mettre en œuvre et analyser un système de commande à relais traditionnel pour une pompe à eau, en mettant en évidence ses principes de fonctionnement, son câblage et ses caractéristiques opérationnelles.

- **Commande par automate programmable :**

Développer et mettre en œuvre un système de contrôle basé sur un contrôleur logique programmable (PLC) pour la pompe à eau, en mettant en évidence sa programmabilité, sa flexibilité et sa facilité de modification.

Contrôle basé sur un VFD : Concevoir et mettre en œuvre un système de contrôle de la pompe à eau basé sur un entraînement à fréquence variable (EFV), en démontrant sa capacité à contrôler la vitesse du moteur et à optimiser la consommation d'énergie.

- **Comparer les performances, les coûts et l'efficacité**

- **Comparaison des performances :**

Évaluer les performances de chaque méthode de contrôle en terme

- d'exactitude et de précision dans le contrôle de la pompe à eau :
- Exactitude et précision dans le contrôle de la pompe à eau.
- Temps de réponse aux changements dans les exigences opérationnelles.

Fiabilité et robustesse dans différentes conditions de fonctionnement.

- **Analyse des coûts :**

Comparer les coûts d'installation initiaux, les dépenses de maintenance et les coûts opérationnels à long terme de chaque méthode de contrôle.

- **Évaluation de l'efficacité :**

Analyser l'efficacité énergétique de chaque méthode, en se concentrant particulièrement sur la consommation d'énergie, les économies d'énergie et l'impact sur l'environnement.

- **Mise en évidence des avantages et des limites**

Identifier les forces et les faiblesses de chaque méthode de contrôle dans le contexte des applications de pompes à eau.

Examiner les scénarios dans lesquels chaque méthode est la plus appropriée en fonction des exigences opérationnelles spécifiques.

- **Fournir des informations pratiques**

Offrir un aperçu pratique du processus de mise en œuvre de chaque méthode de contrôle, y compris les schémas de câblage, la logique de programmation (pour l'automate programmable) et les paramètres de configuration (pour l'entraînement à fréquence variable).

Partager les défis du monde réel et les solutions rencontrées lors de la mise en œuvre de chaque système.

- **Recommander la méthode de contrôle optimale**

Sur la base de la comparaison des performances, du coût et de l'efficacité, recommander la méthode de contrôle la plus appropriée pour des applications spécifiques, telles que les systèmes de pompage d'eau résidentiels, commerciaux ou industriels.

Fournir des lignes directrices pour la sélection de la méthode de contrôle appropriée en fonction de facteurs tels que la complexité du système, l'évolutivité et les contraintes budgétaires.

- **Éduquer et informer**

Sensibiliser les lecteurs aux principes fondamentaux des systèmes de contrôle à base de relais, d'automates programmables et d'EFV.

Fournir une ressource complète aux ingénieurs, techniciens et professionnels de l'industrie pour comprendre les aspects pratiques de la mise en œuvre et de la comparaison de ces méthodes de contrôle.



## 2 | Systèmes classiques basés sur des relais

Le mot « discret » signifie individuel ou distinct. En ingénierie, une variable ou une mesure « discrète » se réfère à un état vrai ou faux. Ainsi, un système de contrôle discret est conçu pour fonctionner sur des signaux booléens (« on » ou « off ») fournis par des capteurs discrets tels que des interrupteurs de processus. Une forme de commande discrète enseignée dans tous les cours d'introduction à l'électronique numérique implique l'utilisation de circuits appelés portes logiques. Ces circuits introduisent un ou plusieurs signaux booléens et émettent un signal booléen selon une règle simple telle que « ET » ou « OU » :

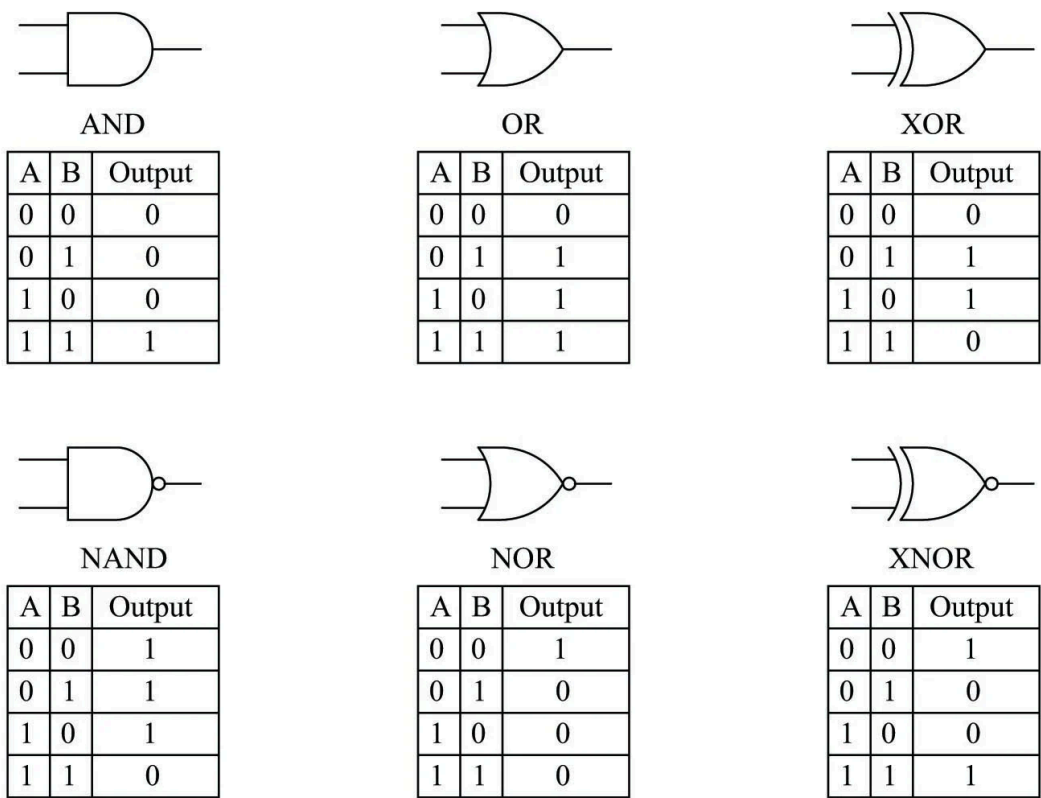


Figure 1 -

Les systèmes de contrôle industriels utilisent rarement des portes logiques de manière directe pour les systèmes de contrôle discrets, bien que les concepts fondamentaux de « ET », « OU » et d'autres types de portes soient universellement appliqués. Les fonctions de commande sont plutôt mises en œuvre à l'aide de relais électromécaniques et/ou de dispositifs numériques programmables tels que les automates programmables industriels (API). Ce chapitre se concentre sur l'utilisation pratique de ces deux technologies pour la commande discrète industrielle.

Une fonction « ET » est équivalente à des contacts normalement ouverts connectés en série dans un circuit de commande à relais, car la lampe ne sera alimentée que si l'interrupteur A et l'interrupteur B sont actionnés :

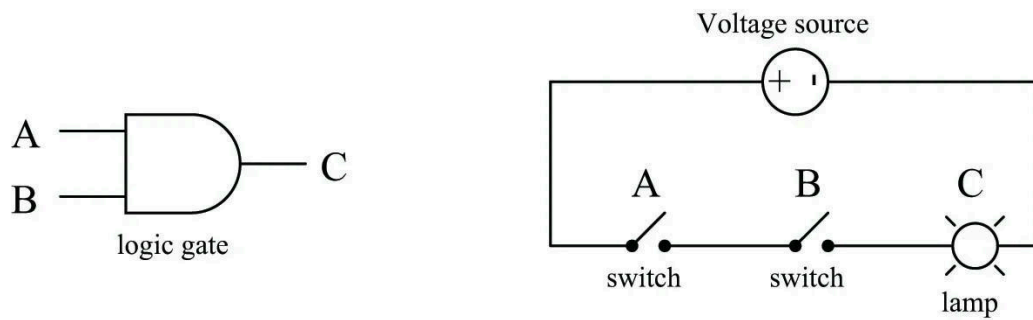


Figure 2 -

Une fonction « OU » est équivalente à des contacts normalement ouverts connectés en parallèle dans un circuit de commande de relais, car la lampe sera alimentée si l'interrupteur A ou l'interrupteur B est actionné :

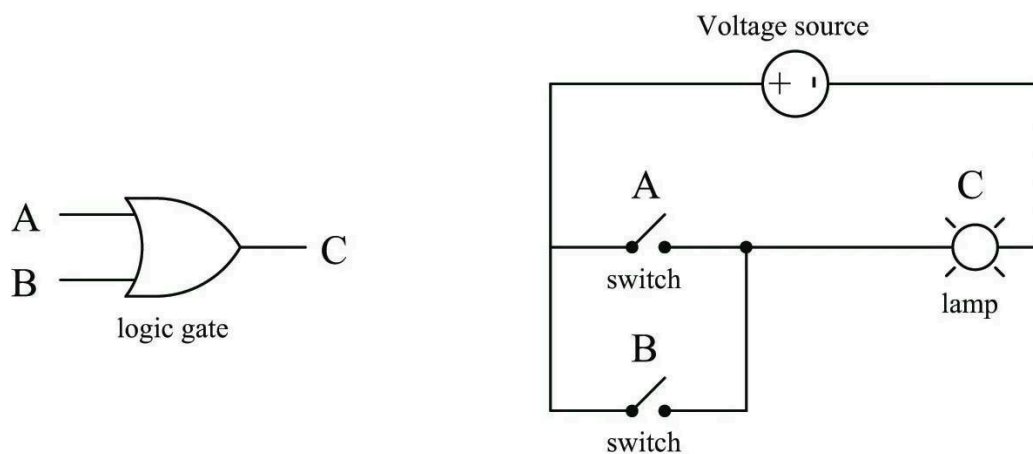


Figure 3 -

La fonction « NOT » est équivalente à un simple contact normalement fermé dans un circuit de commande de relais, car la lampe n'est alimentée que si l'interrupteur n'est pas actionné :

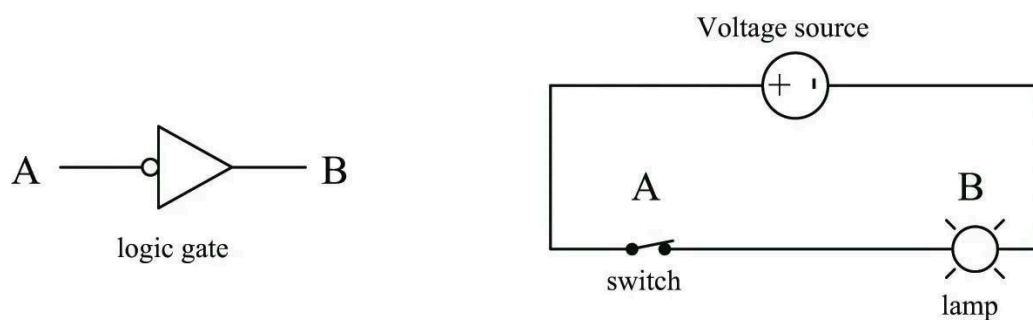


Figure 4 -

## 2.1 Les bases des relais de contrôle



Les relais sont des dispositifs électromécaniques magnétiques qui ont deux fonctions principales : isoler différentes tensions de circuit et former des réseaux logiques complexes plus importants pour faire fonctionner des machines sans contrôleurs numériques.

Un relais électromécanique est un interrupteur électrique actionné par une bobine d'électroaimant. En tant que dispositifs de commutation, ils présentent un comportement simple de « marche » et « arrêt », sans états intermédiaires. Les relais sont des dispositifs très utiles, car ils permettent à un seul signal électrique discret (marche/arrêt) de contrôler des niveaux de puissance électrique beaucoup plus importants, et/ou plusieurs signaux de puissance ou de commande qui sont autrement isolés les uns des autres. Par exemple, un relais peut être commandé par un signal basse tension et basse intensité qui passe par une sorte de commutateur délicat (par exemple, un interrupteur de fin de course, un détecteur de proximité, un capteur optique), puis les contacts de commutation de ce relais peuvent être utilisés pour commander un circuit de tension et d'intensité beaucoup plus élevées, et même plusieurs circuits, compte tenu des multiples jeux de contacts de commutation.

### 2.1.1 Symboles schématiques pour les relais

- **Relais unipolaire unidirectionnel (relais SPST)**

Le symbole du schéma électronique d'un relais unipolaire simple (SPST) est illustré ici :

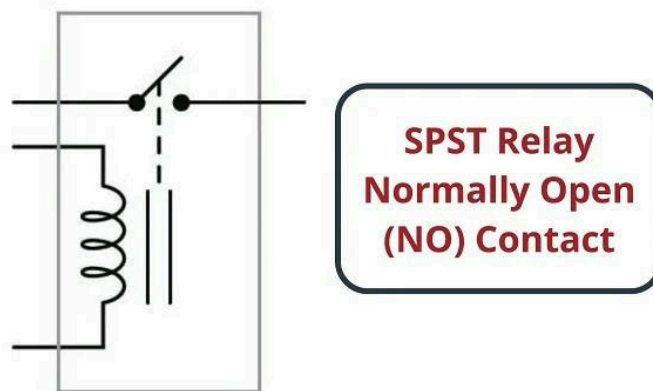


Figure 5 -

Une bobine de fil enroulée autour d'un noyau ferreux laminé fournit le champ magnétique nécessaire pour actionner le mécanisme de commutation, alimenté par une tension alternative ou continue, selon le modèle. L'influence de cette bobine d'électroaimant sur le(s) contact(s) du relais est représentée par la ligne en pointillés. Ce relais particulier est équipé de contacts de commutation normalement ouverts (NO), ce qui signifie que le commutateur sera à l'état ouvert (off) lorsque la bobine du relais est désexcitée. Rappelons que l'état « normal » d'un interrupteur est l'état de repos sans stimulation. Le contact d'un interrupteur à relais est dans son état « normal » lorsque sa bobine n'est pas alimentée. Un relais unipolaire, unidirectionnel avec un contact de commutation normalement fermé (NC) serait représenté dans un schéma électronique comme suit :

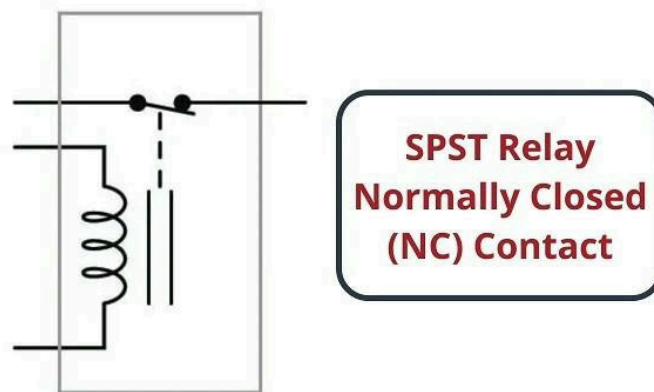


Figure 6 -

Dans le monde du contrôle électrique, les étiquettes « Form-A » et « Form-B » sont synonymes de contacts « normalement ouverts » et « normalement fermés », respectivement. Ainsi, nous aurions pu étiqueter les contacts des relais SPST comme « Forme-A » et « Forme-B », respectivement :

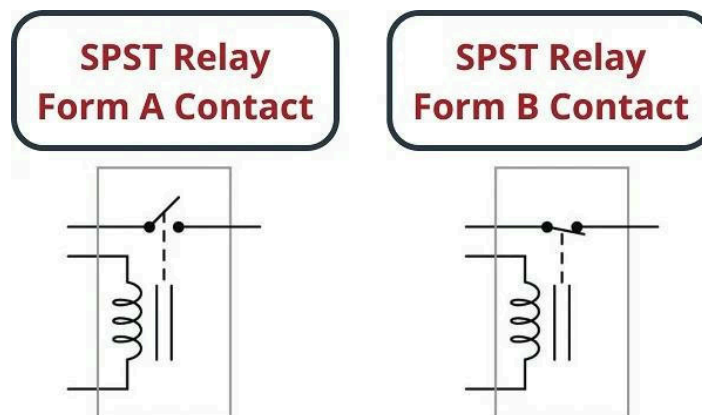


Figure 7 -

- **Relais unipolaire et bipolaire (relais SPDT)**

Une extension de ce thème est le contact de relais unipolaire et bipolaire (SPDT), également connu sous le nom de contact « Form-C ». Ce type d'interrupteur fournit un ensemble de contacts normalement ouverts et normalement fermés en une seule unité, actionnée par la bobine de l'électro-aimant :

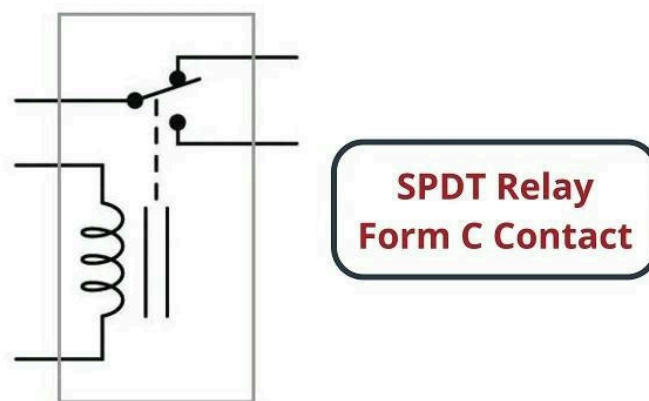


Figure 8 -

- **Relais bipolaire à double contact (relais DPDT)**

Une autre extension de ce thème est le contact de relais double pôle, double lance (DPDT). Ce type d'interrupteur fournit deux jeux de contacts de forme C en une seule unité, actionnés simultanément par la bobine de l'électro-aimant :

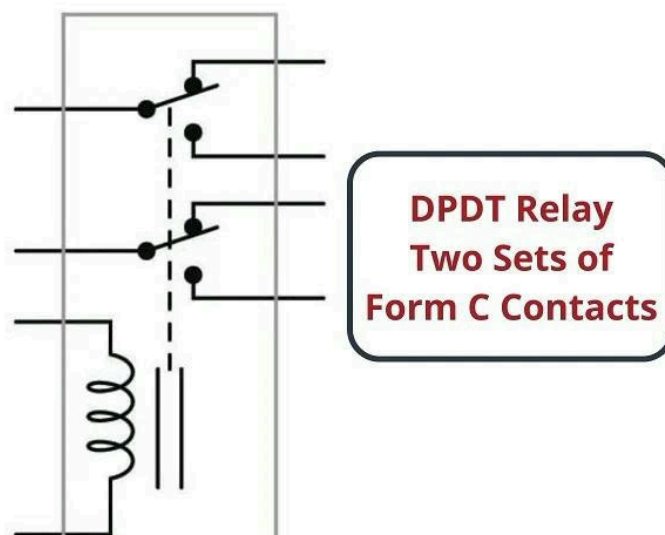


Figure 9 -

Les relais DPDT sont parmi les types de relais les plus courants dans l'industrie en raison de leur polyvalence. Chaque jeu de contacts de « forme C » offre un choix de contacts normalement ouverts ou normalement fermés, et les deux jeux (deux « pôles ») sont électriquement isolés l'un de l'autre de sorte qu'ils peuvent être utilisés dans des circuits différents.

Deux boîtiers courants pour les relais industriels sont le relais octal et le relais glaçon. Ces relais se branchent sur des socles multibroches pour faciliter le retrait et le remplacement en cas de défaillance, et contiennent généralement des boîtiers en plastique transparent permettant d'inspecter les éléments fonctionnels. Les photos suivantes montrent un relais octal DPDT prêt à être branché sur son socle, puis dont le couvercle en plastique a été retiré pour exposer les deux jeux de contacts de forme C :



Figure 10 -

Ces relais se connectent à l'embase avec huit broches : trois pour chacun des deux jeux de contacts de forme C, plus deux autres broches pour les connexions de la bobine. En raison du nombre de broches (8), ce type d'embase de relais est généralement réservé aux connexions de type DPDT.

Une vue rapprochée d'un contact de forme C montre comment la « feuille » métallique mobile entre en contact avec l'un des deux points fixes, le point de contact réel étant constitué par un « bouton » recouvert d'argent à l'extrémité de la feuille. Les photographies suivantes montrent un contact de forme C dans les deux positions :

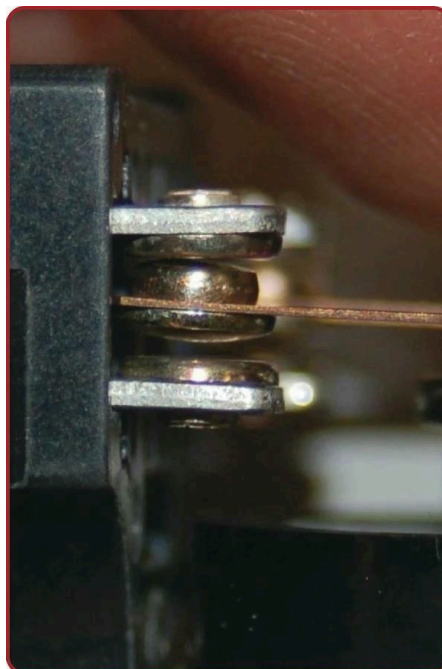


Figure 11 -

The “**ice cube**” relay is functionally identical, but the pins are arranged in a rectangular pattern, rather than circular around the base. These relays can be found in single and double-pole varieties, and even up to 4 contact sets (4PDT) is fairly common. The below images show a standard From-C DPDT ice cube relay followed by a 4PDT with the matching socket.





Figure 12 -

**Schéma de connexion** Les relais de commande industriels ont généralement des schémas de connexion dessinés quelque part sur l'enveloppe extérieure pour indiquer quelles broches se connectent à quels éléments à l'intérieur du relais. Le style de ces diagrammes peut varier quelque peu, même entre des relais de fonction identique. Prenons par exemple le diagramme illustré ici:

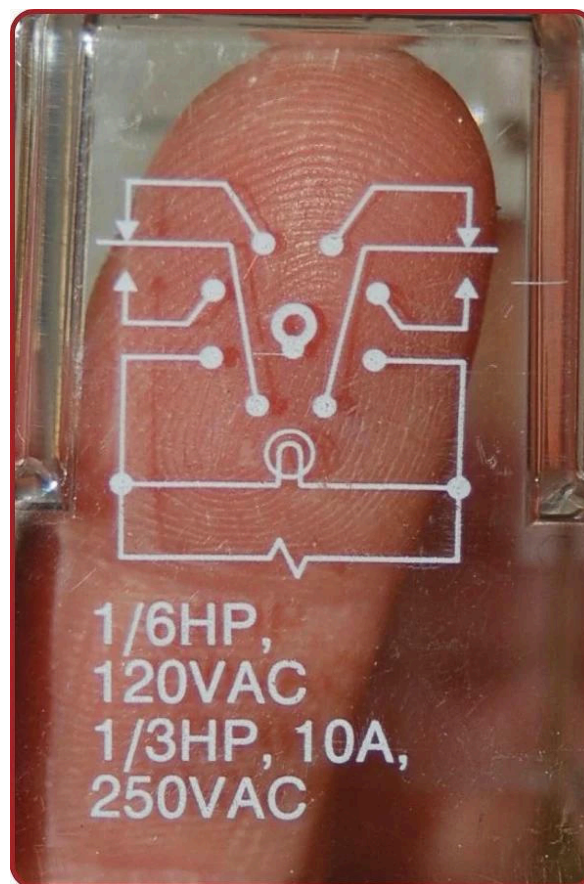


Figure 13 -

### 2.1.2 Circuits de relais et Ladder Diagrams

Les circuits logiques à relais, souvent représentés par des ladder diagrams, sont un élément essentiel des systèmes de contrôle industriel. Ces circuits utilisent des relais et des interrupteurs pour contrô-

ler divers dispositifs électriques en fonction de conditions d'entrée spécifiques. Le format du ladder diagram est populaire car il reflète visuellement la disposition des panneaux de commande à relais physiques, ce qui permet aux ingénieurs et électriciens de comprendre et de résoudre facilement les problèmes. Le diagramme se compose de lignes verticales (L1 et L2) représentant l'alimentation électrique, avec des échelons horizontaux qui les relient, chaque échelon représentant un chemin logique de contrôle. Chaque échelon dans le ladder diagram sert de circuit de commande pour un dispositif de sortie spécifique, tel qu'une lumière, un moteur ou une alarme.

Les dispositifs montrés dans les ladder diagrams comprennent généralement des dispositifs de commande comme des interrupteurs, des capteurs et des relais, qui sont placés entre les rails d'alimentation (L1 et L2). Les dispositifs d'entrée, tels que les boutons-poussoirs ou les interrupteurs de limite, sont utilisés pour déterminer l'état du dispositif de sortie. Ces dispositifs d'entrée sont connectés en série ou en parallèle, selon la logique requise. Un agencement en série signifie que toutes les conditions doivent être vraies (ou « fermées ») pour que le dispositif de sortie s'active, tandis qu'un agencement en parallèle permet à la sortie de s'activer si l'une des conditions est remplie. Cette flexibilité fait de la logique à relais un choix idéal pour contrôler une grande variété de machines et de systèmes.

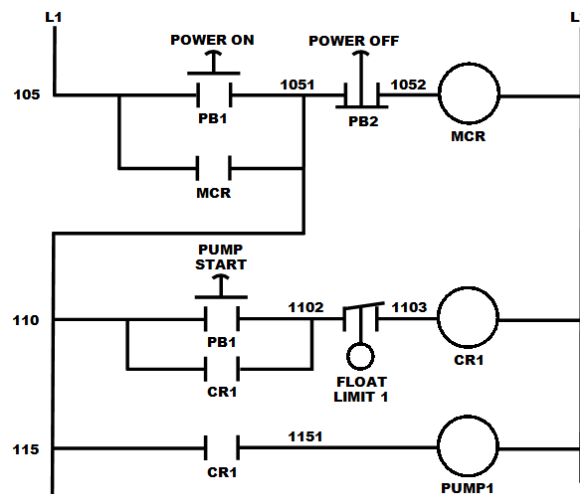


Figure 14 - Exemple de diagramme logique Ladder

Une caractéristique clé des ladder diagrams est l'utilisation de contacts normalement ouverts (NO) et normalement fermés (NF) pour représenter l'état des interrupteurs ou des relais. Les contacts NO restent ouverts lorsque le dispositif associé est déenergisé et se ferment lorsque le dispositif est énergisé. Les contacts NF, quant à eux, sont fermés lorsque le dispositif est éteint et s'ouvrent lorsqu'il est énergisé. Ce comportement permet de construire des conditions logiques dans le système de commande. Par exemple, un bouton STOP pourrait être câblé en série avec un relais pour empêcher le fonctionnement du système lorsqu'il est pressé, tandis qu'un bouton START pourrait être placé en parallèle avec d'autres éléments de commande pour démarrer le système sous certaines conditions.

Dans un système logique à relais typique, les dispositifs d'entrée et de sortie sont câblés pour contrôler l'état du système. Le bouton START pourrait activer un relais, ce qui, à son tour, fermerait des contacts pour allumer une lumière pilote ou un moteur. À l'inverse, le bouton STOP désactiverait le relais, faisant ouvrir les contacts et éteignant les dispositifs connectés. La beauté de ce système réside dans sa simplicité et sa flexibilité. Plusieurs échelons peuvent être ajoutés pour gérer



des besoins de commande plus complexes, tels que des verrouillages, des temporisateurs ou des opérations séquentielles. Chaque échelon est identifié par un numéro de référence unique, et les fils individuels de cet échelon reçoivent des numéros correspondants pour un suivi facile et une maintenance efficace.

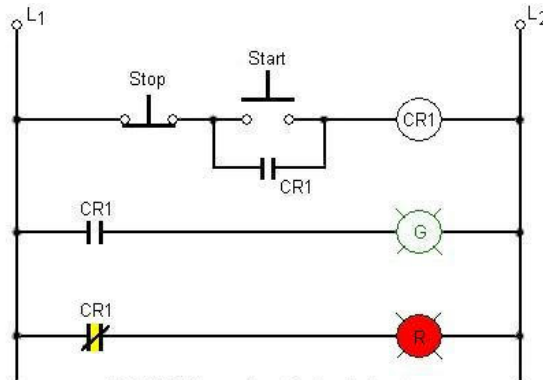


FIGURE 1 Example of relay logic diagram.

Figure 15 - Exemple de diagramme logique Ladder

## 2.2 Contacteurs et relais - Différences et applications

Les relais et les contacteurs sont des composants fondamentaux dans l'automatisation industrielle, largement utilisés pour contrôler des circuits haute tension avec des signaux basse tension. Bien qu'ils fonctionnent sur des principes similaires d'induction électromagnétique, ils ne sont pas interchangeables en raison de leurs différences en termes de conception, d'application et de fonction. Examinons de plus près leurs principes de fonctionnement, leurs différences et les rôles spécifiques des relais et des contacteurs dans les circuits industriels.



Figure 16 -

### 2.2.1 Principes de fonctionnement des relais et des contacteurs

Les relais et les contacteurs fonctionnent tous deux en utilisant une bobine électromagnétique. Lorsqu'un courant passe dans la bobine, un champ magnétique est généré, ce qui déplace un fer-blanc (armature) qui ouvre ou ferme un jeu de contacts, permettant ou interrompant ainsi le passage du courant dans un circuit. En termes simples, ils agissent comme des interrupteurs qui permettent à un circuit de commande basse puissance de contrôler des appareils haute puissance tels que des moteurs, des lumières ou d'autres machines.

Le fonctionnement est similaire : lorsqu'un petit courant passe à travers la bobine, il génère un champ magnétique qui attire ou repousse l'armature, provoquant l'ouverture ou la fermeture des contacts. Cette modification de l'état des contacts permet de contrôler le fonctionnement d'un courant beaucoup plus important dans le circuit principal.

### 2.2.2 Différences entre relais et contacteurs

Bien qu'ils partagent un principe de fonctionnement similaire, les **relais** et les **contacteurs** sont conçus pour des objectifs et des environnements différents.



Figure 17 -

#### 1. Taille et capacité de courant :

- **Les relais** sont généralement plus petits et conçus pour commuter des courants faibles, souvent dans des circuits de commande où le courant est relativement faible (par exemple, inférieur à 10-20 ampères). Ils sont couramment utilisés pour des fonctions de commande et de signalisation.
- **Les contacteurs**, quant à eux, sont conçus pour supporter des courants plus élevés (généralement au-dessus de 10-20 ampères), ce qui les rend idéaux pour la commutation de circuits haute puissance tels que des moteurs, des machines lourdes et des équipements industriels. Les contacteurs sont généralement plus grands, plus robustes et conçus pour supporter l'usure liée à la commutation de circuits de haute puissance.

#### 2. Configuration des contacts :

- **Les relais** ont généralement quelques contacts, généralement un ou deux jeux de contacts normalement ouverts (NO) ou normalement fermés (NF). Leurs contacts sont utilisés principalement dans des circuits de commande où moins de commutations sont nécessaires.
- **Les contacteurs** ont généralement davantage de contacts (souvent trois ou plus) et sont conçus pour les systèmes électriques triphasés. Leurs contacts sont conçus pour supporter l'arc électrique et l'usure qui se produisent lorsqu'ils commutent des circuits haute puissance.

### 3. Durabilité et longévité :

- **Les relais** ne sont généralement pas conçus pour supporter des commutations fréquentes dans des applications de haute puissance. Bien qu'ils puissent fonctionner à des fréquences modérées, ils ne sont pas conçus pour les cycles de commutation fréquents rencontrés dans des applications de machines lourdes.
- **Les contacteurs** sont conçus pour une grande durabilité, capables de supporter des milliers à des millions de cycles de commutation. Les contacts sont conçus pour résister aux arcs électriques générés lors de la commutation de circuits haute puissance, ce qui est fréquent lorsqu'on contrôle des moteurs et des charges lourdes.

### 4. Fonctions auxiliaires :

- **Les relais** sont souvent utilisés dans des circuits pour des fonctions telles que les temporisations, le contrôle logique et la commutation simple d'appareils de faible puissance. Ils sont souvent équipés de contacts auxiliaires qui permettent des fonctionnalités de commande supplémentaires.
- **Les contacteurs** sont équipés de contacts auxiliaires plus robustes pour des fonctions spécifiques comme la protection contre les surcharges, le contrôle à distance et la surveillance de l'état, ce qui les rend adaptés aux systèmes industriels plus grands et plus complexes.

### 5. Protection et sécurité :

- **Les relais** sont généralement plus simples et peuvent manquer de certaines fonctions de protection. Ils sont conçus pour des tâches de commande relativement légères, donc des protections supplémentaires comme des relais de surcharge ou des fusibles sont souvent utilisés en complément des relais.
- **Les contacteurs** sont souvent équipés de protection contre les surcharges intégrée ou sont conçus pour être associés à des relais de surcharge, assurant ainsi la protection des circuits qu'ils contrôlent. Cela est essentiel dans les environnements industriels où la sécurité des équipements est primordiale.

#### 2.2.3 Applications clés

- **Les relais** sont couramment utilisés dans :
  - Les circuits de commande pour commuter des dispositifs plus petits comme des alarmes, des lumières ou des petits moteurs.
  - Les systèmes de commande logique où une fonction simple de marche/arrêt est requise.
  - Les opérations avec retard, où des dispositifs doivent être activés ou désactivés après une durée déterminée.
- **Les contacteurs** sont généralement utilisés dans :
  - La commutation de grandes machines, de moteurs et d'équipements industriels nécessitant des opérations fréquentes de marche/arrêt.
  - Le contrôle de circuits haute puissance dans les systèmes d'automatisation industrielle comme les systèmes de CVC, les convoyeurs ou les pompes industrielles.
  - Les applications nécessitant une opération fréquente et des composants robustes et durables pour gérer des charges importantes.

**Les symboles** pour les appareils respectifs sont présentés ci-dessous. Les symboles sont utilisés pour représenter les composants dans les schémas électriques et les diagrammes de commande, comme les relais et contacteurs, permettant de les identifier facilement dans les circuits.

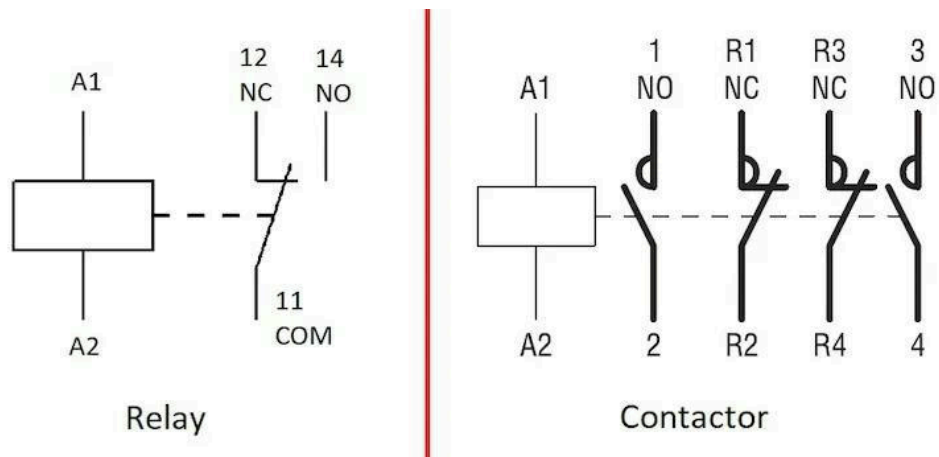


Figure 18 -

Bien que les relais et les contacteurs soient des dispositifs électromécaniques utilisés pour contrôler le flux d'électricité dans les circuits, ils remplissent des fonctions différentes dans l'automatisation industrielle. Les relais conviennent aux applications de faible puissance et de commande, tandis que les contacteurs sont conçus pour gérer des opérations de commutation haute puissance et des charges lourdes. Comprendre les différences entre eux est essentiel pour les ingénieurs en automatisation afin de sélectionner le bon composant pour chaque application spécifique. Bien que relais et contacteurs fonctionnent sur des principes électromagnétiques similaires, leurs différences de taille, de configuration de contacts et de durabilité font qu'ils ne peuvent pas être utilisés de manière interchangeable dans tous les scénarios.

## 3 | Design

*This chapter defines the overall system architecture, core components, and interactions between different parts. The goal is to translate the specifications into a concrete, actionable blueprint for development.*

*Key elements:*

- **Define the architecture** – What are the main components of the system, and how do they interact?
- **Select technologies** – What programming languages, tools, or frameworks will be used? Why?
- **Design data structures** – How will data be organized and processed?
- **Create process flow** – What are the key steps or workflows in the system?
- **Plan modularity & scalability** – How can the design adapt to future needs or extensions?
- **Address constraints** – What design choices were made due to performance, security, or usability considerations?

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aeque doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae.

## 4 | Implementation

*This chapter details the development and execution of the project. It describes actual implementation from a top-down or bottom-up approach depending on the project.*

*Key elements:*

- **Describe the implementation** – How was the project developed?
- **Explain technical decisions** – What tools, frameworks, or methods were used and why?
- **Highlight key components** – What are the most important parts of the implementation?
- **Address challenges** – What difficulties arose, and how were they solved?

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequale doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae.

## 5 | Validation

*This chapter assesses the correctness and performance of the implementation. It includes testing methods, simulations, and any validation techniques used to ensure the system meets its requirements.*

*Key elements:*

- **Explain verification methods** – How do you ensure the system functions correctly?
- **Describe validation techniques** – How do you prove that the solution meets its objectives?
- **Present test results** – What experiments, simulations, or benchmarks were conducted?
- **Discuss findings** – What do the results show? Were there unexpected outcomes?

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequale doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae.

## 6 | Conclusion

*This final chapter summarizes the project outcomes, comparing them with the initial objectives. It also reflects on encountered difficulties and discusses possible improvements or future developments.*

*Key elements:*

- **Summarize the results** – What are the key takeaways from the project?
- **Compare with objectives** – Did the project meet its original goals? Why or why not?
- **Reflect on challenges** – What were the biggest difficulties, and what was learned?
- **Discuss future work** – What are possible improvements or next steps?

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequale doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae.



# Glossary

# Bibliography