

TP8. Régulation du niveau d'eau dans un réservoir par un API S7-1200

But du TP :

Le but de ce TP est de réaliser une régulation de niveau d'eau dans un réservoir de stockage par un automate programmable industriel Simatic S7-1200.

1. Introduction

La gestion des systèmes de stockage de l'eau est importante dans de nombreux secteurs, tels que l'agriculture et les usines de fabrication industrielles et agroalimentaires. Un aspect important à prendre en compte est le niveau d'eau dans le réservoir de stockage utilisé dans le système d'irrigation ou de fabrication. Le plus important sera de contrôler le niveau d'eau afin de répondre aux besoins propres du consommateur. Pour se faire, de nombreuses études de contrôle automatique ont été menées, le contrôleur de niveau d'eau le plus accepté est le régulateur PI classique qui est largement utilisé dans les laboratoires et le secteur industriel. En effet, la maquette conçue puis réalisée, constituera une plateforme polyvalente qui peut être exploitée, soit dans le cadre de l'enseignement par la dispensation de plusieurs travaux pratiques en laboratoire, soit dans le cadre de la recherche scientifique par la réalisation d'essais expérimentaux pour la validation des résultats théoriques ou de simulation.

La photo réelle de la maquette conçue puis réalisée est présentée par la Figure 1.



Figure 11. Photo réelle de la maquette prototype du système

Afin de faciliter la description de la maquette du système stockage d'eau, nous présentons son schéma fonctionnel généralisé à la Figure 2.

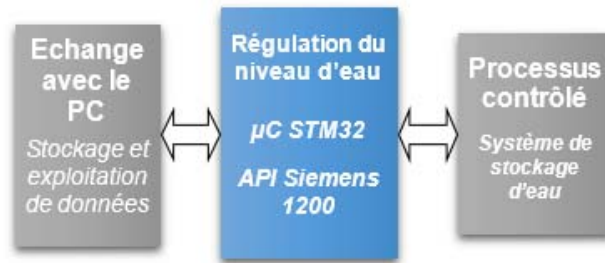


Figure 2. Schéma fonctionnel généralisé du système

2. Description de la maquette prototype

De vue, la maquette de stockage d'eau, illustré par la Figure 3, comprend un réservoir supérieur gradué pour le stockage d'eau, un réservoir puits pour l'extraction et la collecte d'eau, une motopompe de remplissage, une vanne de fuite à réglage manuel et des modules électroniques de puissance et de commande.

On peut organiser la maquette par les parties suivantes :

- La partie opératoire : elle comporte les réservoirs, le hacheur série et une motopompe de surface ;
- La partie de lecture de données : elle est constituée par le capteur de pression différentielle au quel est associé une carte de mesure ;
- La partie commande : elle est constituée par un automate programmable **Simatic S7-1200**, un ordinateur performant et l'environnement TIA-Portal pour le contrôle du système.

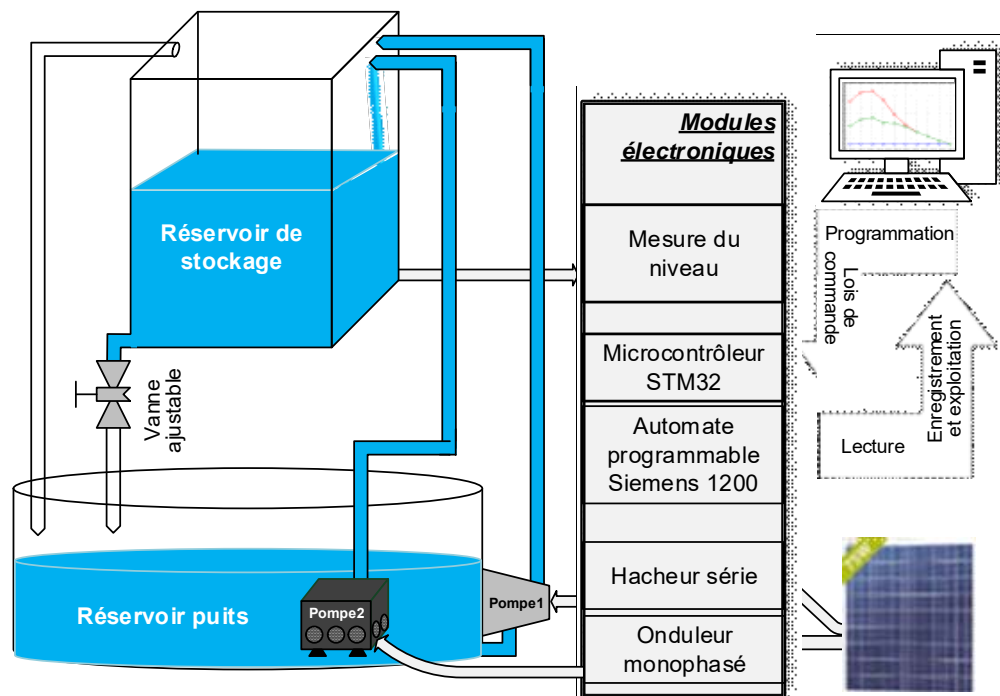


Figure 3. Schéma descriptif de la maquette de stockage d'eau

2.1. La partie opératoire

La partie opératoire de la maquette commence par la motopompe, qui reçoit le signal de commande et le transforme en débit d'eau dans le réservoir de stockage.

Les composants de cette partie sont :

- Un réservoir supérieur de stockage en plexiglas transparent permettant de montrer l'évolution du niveau de l'eau. De plus, le plexiglas est moins dangereux que le verre lorsqu'il est cassé. Le réservoir supérieur a une forme parallélépipédique, avec une hauteur de 30cm et une largeur de 19.2cm et une épaisseur de 17.8cm (voir Figure 4). Ce réservoir est doté d'une graduation permettant de lire le niveau d'eau et de deux sorties pour la vidange de l'eau, la première est une sortie de consommation et la seconde est considérée comme le niveau maximal d'eau accepté dans le réservoir.

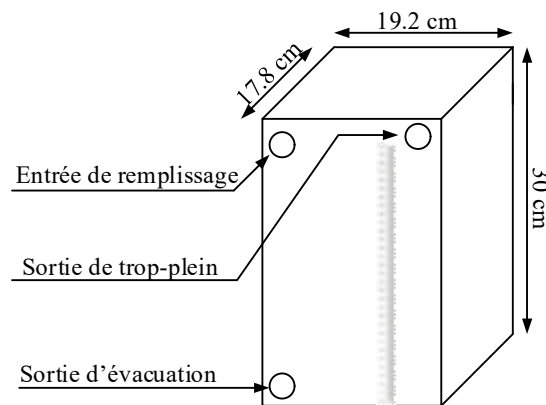


Figure 4. Réservoir supérieur de stockage

- Un réservoir puits représentant la source d'eau, il est naturellement plus grand que le réservoir du haut. Il a une forme cylindrique, avec 34cm de hauteur et 28cm de diamètre. Il peut contenir jusqu'à 21 litres. Ce réservoir est en plastique dur et transparent.
- Une motopompe pour le remplissage du réservoir supérieur (voir figure 5). Qui utilise une tension continue variable de 0 à 15V, elle consomme en fonctionnement nominal un courant de 4A, elle est composée d'une entrée d'aspiration de 20mm (diamètre), d'une sortie de décharge de 5mm (diamètre), d'une pompe hermétique et d'un câble d'alimentation.



Figure 5. Motopompes de remplissage à courant continu

- Une vanne à réglage manuel placée au milieu de la maquette permettant un débit de fuite variable pour le réservoir de stockage et introduit aussi des perturbations dans le fonctionnement statique.

- Un orifice de sortie de diamètre suffisamment large pour garantir deux fonctions : éviter un débordement dans le réservoir supérieur (trop-plein), en cas de défaillance du système ou de dépassement important, maintenir la pression atmosphérique dans le réservoir puits et empêcher ainsi la création d'un vide lorsque l'une des motopompes aspire de l'eau.

2.2. Les modules électroniques de puissance et de commande

Les Modules électroniques assurent l'alimentation, la lecture, la conversion et l'adaptation des données entre le processus et l'unité de commande. Ces modules tels qu'ils sont illustrés à la Figure 6, regroupent les cartes électroniques nécessaires à ce sujet.

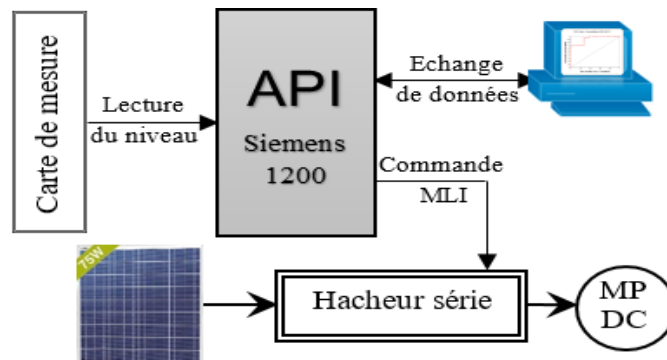


Figure 6. Schéma bloc des modules électroniques de puissance et de commande

Pour alimenter la motopompe à courant continu, nous avons recourt à un panneau photovoltaïque **70W/17.5V/4A** et nous avons conçu une carte de puissance. Il s'agit d'un hacheur série à **MOSFET** utilisant une commande basée sur la modulation de largeur d'impulsion (MLI). Le hacheur série délivre un signal périodique dont le rapport cyclique permet de fixer la valeur moyenne de la tension aux bornes de la motopompe. Une isolation galvanique entre le module de commande et la carte de puissance est essentielle. Nous assurons cette isolation par l'utilisation d'un circuit de découplage optique comme est montré à la Figure 7.

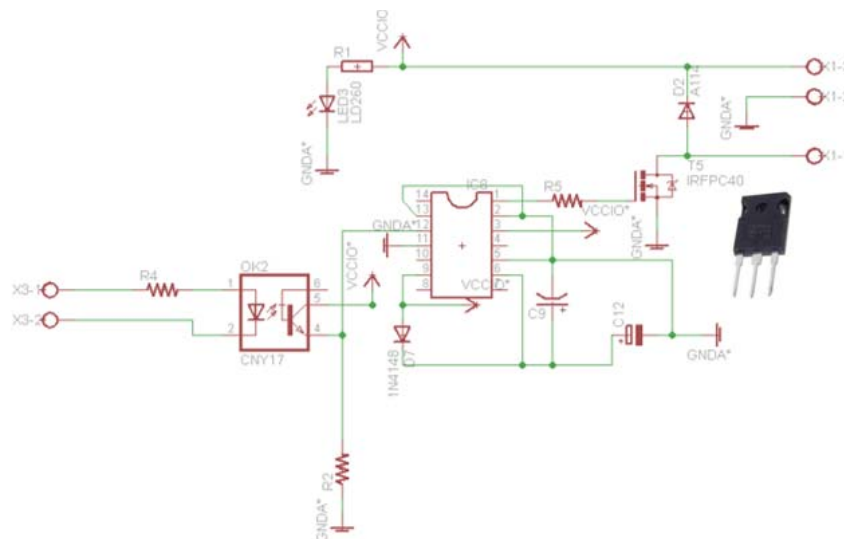


Figure 7. Hacheur série à MOSFET

Afin que l'unité de contrôle surveille correctement le processus, le contrôleur doit avoir une tension mesurée bien adaptée au niveau réel de l'eau dans le réservoir. Un capteur de pression différentielle, référencé **HONEYWELL 26PCAFA6D**, mesure la pression à la profondeur du réservoir par rapport à la pression atmosphérique. Le capteur délivre une tension variable de zéro à **17mV** par rapport à la pression. Pour adapter la tension de sortie du capteur à l'échelle des convertisseurs ADC de l'API, il est nécessaire d'ajouter un amplificateur pour permettre de lire une image correcte du niveau d'eau. La figure 8 montre le circuit électronique de la carte de mesure contenant le capteur de pression, un amplificateur différentiel et un circuit de réglage d'offset.

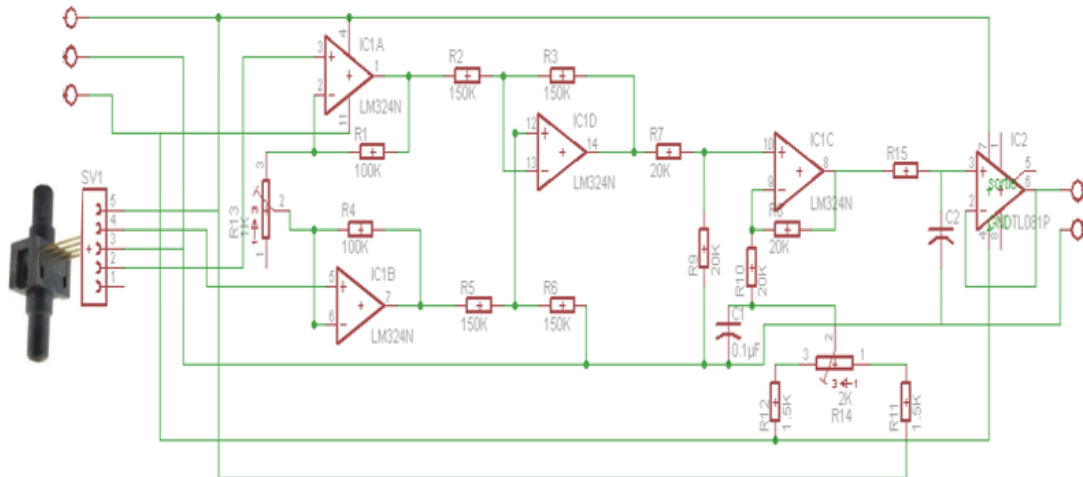


Figure 8. Carte de mesure du niveau d'eau

Pour une hauteur de colonne d'eau égale à 30cm, nous obtenons une tension à la sortie du capteur égale à **7,285mV**, nous pouvons donc calculer le gain de l'amplification nécessaire :

$$G = \frac{3}{7.2855 \times 10^{-3}} = 411.78 \quad (1)$$

Afin de vérifier la sensibilité du capteur et la linéarité de sa réponse au changement de pression, une opération d'étalonnage est nécessaire. Ceci est réalisé en faisant varier le niveau d'eau dans le réservoir et en enregistrant les valeurs de la tension à la sortie de la carte de mesure dans le Tableau 1.

Tableau 1. Variation de la tension mesurée en fonction du niveau d'eau

H (cm)	0	3	6	9	12	15
V _{out} (V)	0	0.31	0.6	0.89	1.2	1.5
H (cm)	18	21	24	27	30	-
V _{out} (V)	1.8	2.12	2.4	2.68	3	-

La courbe d'étalonnage, présentée à la Figure 9, est linéaire et montre que la tension mesurée varie proportionnellement avec le niveau d'eau sans avoir besoin à compenser la tension de décalage du capteur à chaque fois.

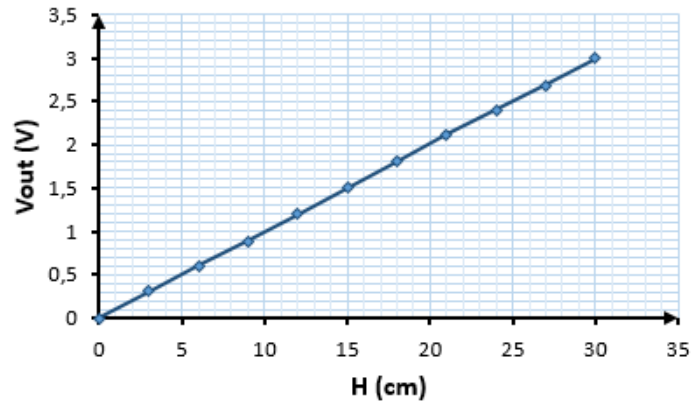


Figure 9. Courbe d'étalonnage du capteur

2.3. Description logicielle

Comme prévu, le contrôle du processus est assuré par un automate programmable Siemens. L'automate programmable de la famille Simatic S7-1200, de type modulaire, comporte une unité centrale de traitement (CPU) et des modules d'alimentation et d'entrée/sortie selon les besoins. Etant branché au processus en vue de le contrôler et de le piloter, l'API peut être connecté aussi à un ordinateur via le port Profinet pour réaliser une éventuelle supervision en temps réel. Le seul moyen logiciel nécessaire est l'environnement TIA-Portal, qui regroupe plusieurs composantes telles que le Step7, le WinCC Flexible ...

3. Modélisation du processus

La modélisation du processus consiste à représenter son comportement dynamique à l'aide d'un modèle mathématique paramétré ou à concevoir un modèle purement empirique, fondé exclusivement sur les résultats de mesures et essais effectués sur le processus réel. Ce modèle sera utilisé pour la formation d'un relecteur ou comme un simulateur du processus.

L'élaboration du modèle mathématique du réservoir de stockage d'eau repose sur les principes de la variation du niveau de fluide, illustrés à la Figure 10.

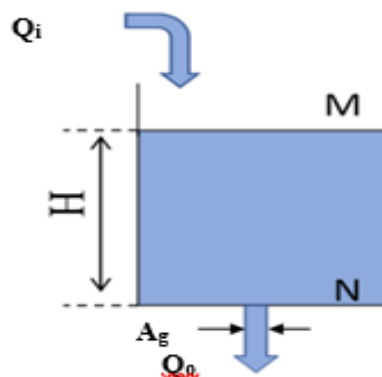


Figure 10. Schéma du réservoir avec évacuation

Avec :

- Q_i : Débit entrant ;

- Q_o : Débit sortant ;
- H : Niveau d'eau dans le réservoir ;
- AT : Aire de la surface de base réservoir ;
- A_g : Section totale de la vanne de fuite ;
- G : Accélération de pesanteur.

Par l'application du principe de conservation d'énergie mécanique et la loi de Bernoulli on obtient en fin une équation qui relie le niveau d'eau dans le réservoir au débit sortant.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A_T} Q_i - \frac{A_g}{A_T} \sqrt{2gH} \quad (2)$$

Avec, dans notre application :

- $A_T = 342cm^2 = 0.0342m^2$;
- $A_g = 78.54mm^2 = 78.54 \times 10^{-6}m^2$;
- $g = 9.81ms^{-2}$.

Le modèle non linéaire décrit par l'équation (2) est ainsi présenté par le schéma bloc de la Figure 11.

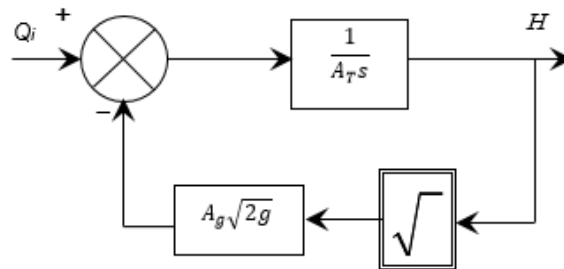


Figure 11. Schéma bloc du modèle non linéaire

La fonction de transfert du système linéarisé autour du point d'un fonctionnement considéré est :

$$G(s) = \frac{h(s)}{q_i(s)} = \frac{b}{a+s} = \frac{K}{1+\tau s} \quad (4)$$

Où :

$k \in [0,1]$: Le coefficient d'ouverture de la vanne ;

$$a = k \frac{A_g}{A_T} \sqrt{\frac{g}{2H_M}} = 9.28 \times 10^{-3} ; \quad b = \frac{1}{A_T} = 29.24 ; \quad K = \frac{b}{a} = 3150 \quad \text{et} \quad \tau = \frac{1}{a} = 107.76s.$$

L'expression retenue de la fonction de transfert linéarisée puis calculée est donnée par :

$$G(s) = \frac{3150}{1+107.76s} \quad (5)$$

4. Etude expérimentale

4.1. 1^{ère} partie : Etude de l'interface carte de mesure/entrée analogique de l'API

1. Faire la configuration matérielle de l'automate programmable et configurer correctement les entrées et les sorties voulues.
2. Pour assurer l'acquisition de la tension analogique issue de la carte de mesure du niveau d'eau, brancher correctement l'entrée analogique de l'automate programmable et la carte de mesure. Puis utiliser les blocs NORM_X et SCALE_X de façon à ce que la valeur numérique mesurée du niveau d'eau correspond bien à la valeur réelle lue sur le réservoir de stockage.
3. Pour confirmer la linéarité du capteur différentiel et la carte de mesure, présenter la caractéristique d'étalonnage $V_{out}=f(H)$, avec H est le niveau d'eau en [0÷30] cm et V_{out} est l'équivalent numérique [0÷27648] de la tension mesurée acquise par l'automate programmable.

4.2. 2^{ème} partie : Régulation du niveau d'eau

Cette partie expérimentale est consacrée à l'étude d'une commande en boucle fermée, par un automate programmable Simatic S7-1200, le hacheur série, la motopompe et la carte de mesure.

4. Elaborer un programme STEP7 qui permet de réaliser la commande en boucle fermée voulue. Ce programme doit comporter un OB1, un OB d'interruption cyclique (Cyclic interrupt) avec un temps de cycle de 100ms et le bloc de régulation PID_Compact.
5. Accéder aux paramètres de base du bloc de régulation, tels que le type de régulation et les paramètres de structure interne du régulateur pour définir la plage de mesure, la limite supérieure, la limite inférieure et d'autres paramètres.
6. Charger le programme dans l'API, faire l'essai expérimental en boucle fermée. Ajuster les paramètres du régulateur puis enregistrer les valeurs finales.
7. Sachant qu'une fonction d'auto-réglage peut être exécutée à la première mise en route du régulateur. Afficher sur un écran de commande, la valeur réelle et la variable de réglage lorsque cette opération s'est déroulée sans erreurs et les paramètres du PID sont optimisés. Puis présenter la réponse du régulateur lorsque