



HEVs

haute école valaisanne
hochschule wallis
sciences de l'ingénieur

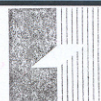
Filière Systèmes industriels

Orientation Power & Control

Diplôme 2006

Samuel Matthey-Doret

*Régulation de niveau
du lac de retenue
du barrage de la Souste*



HEVs

Route du Rawyl 47
1950 Sion 2

haute école valaisanne
hochschule wallis

Professeur

Jean-Daniel Marcuard

Expert

Eric Vuignier

HES-HEVS-T (Sion)



EM000005224518

Sion, le 24 novembre 2006

Hes-so

Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale
Fachhochschule Westschweiz
University of Applied Sciences
Western Switzerland

51/2006/114

tél. +41 (0)27 606 85 11 – fax +41 (0)27 606 85 15
e-mail: info.sion@hevs.ch – internet: www.hevs.ch



Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

1	INTRODUCTION	3
2	RÉSUMÉ DU TRAVAIL DE SEMESTRE ET AMÉLIORATION DU MODÈLE DU BARRAGE ..	4
2.1	LES INSTALLATIONS.....	4
2.1.1	<i>Le Barrage</i>	7
2.1.2	<i>La prise d'eau</i>	8
2.1.3	<i>La régulation de niveau d'eau actuel</i>	8
2.1.4	<i>L'Illgraben</i>	9
2.2	MODÈLE MATHÉMATIQUE DU BARRAGE	10
2.2.1	<i>Modélisation des vannes</i>	11
2.2.2	<i>Modélisation du régulateur</i>	12
2.2.3	<i>Modélisation de la commande des vannes</i>	13
2.3	ANALYSE FONCTIONNELLE ET ANALYSE DE RISQUE AMDEC	15
3	ETUDE DE LA RÉGULATION DE NIVEAU.....	16
3.1	DÉTERMINATION DE LA FONCTION DE TRANSFERT DU SYSTÈME	16
3.1.1	<i>Niveau inférieur à 2.3m</i>	16
3.1.2	<i>Niveau supérieur à 2.3m</i>	17
3.2	DIMENSIONNEMENT DU RÉGULATEUR DE NIVEAU	18
3.2.1	<i>Compensation des pôles pour un régulateur PI</i>	20
3.2.2	<i>Méthode de la réponse indicielle de Chien – Hrones – Reswick pour un régulateur PI</i>	22
3.2.3	<i>Compensation des pôles pour un régulateur PID</i>	23
3.2.4	<i>Méthode de la réponse indicielle de Chien – Hrones – Reswick pour un régulateur PID</i>	24
3.2.5	<i>Régulateur actuel de l'installation</i>	25
3.3	CHOIX DU RÉGULATEUR	25
3.3.1	<i>Critère de qualité du régulateur</i>	25
3.3.2	<i>Critère de coûts du régulateur</i>	26
3.3.3	<i>Coefficients du régulateur PID choisis</i>	26
3.4	MODIFICATION DU CAPTEUR DE NIVEAU.....	27
3.4.1	<i>Contrôle du barrage à distance facilité</i>	27
3.4.2	<i>Remise en service de l'installation facilitée après un évènement de type Illgraben</i>	27
3.4.3	<i>Possibilité de mesurer l'état des grilles de protection de la prise d'eau</i>	30
4	IMPLÉMENTATION DE L'AUTOMATE SIEMENS ET DU SUPERVISEUR CITECT	31
4.1	IMPLÉMENTATION DU SUPERVISEUR (CITECT)	31
4.1.1	<i>Affichage de la consigne</i>	31
4.1.2	<i>Modifier la consigne</i>	32
4.1.3	<i>Droits d'accès</i>	33
4.1.4	<i>Régulateur de niveau</i>	33
4.1.5	<i>Sélection de la vanne réglante</i>	36
4.1.6	<i>Mémorisation des signaux</i>	36
4.2	IMPLÉMENTATION DE L'AUTOMATE SIEMENS	37
4.2.1	<i>Structure actuel du programme de l'automate</i>	37
4.2.2	<i>Acquisition des signaux de mesures</i>	38
4.2.3	<i>Mise à l'échelle des signaux</i>	39
4.2.4	<i>Régulation du niveau</i>	39
4.2.5	<i>Commande des vannes</i>	41
5	TESTS DES FONCTIONS IMPLÉMENTÉES DANS L'AUTOMATE ET LE SUPERVISEUR	42
5.1	TESTS DE L'AUTOMATE.....	42
5.1.1	<i>Simulation de l'automate</i>	42
5.1.2	<i>Tests de l'automate avec le process simulé dans Matlab Simulink</i>	45
5.2	TESTS DU SUPERVISEUR	50
5.2.1	<i>Tests Off-line</i>	51
5.2.2	<i>Tests On-line</i>	52
6	CONTRÔLE DE L'ANALYSE DE RISQUE.....	54

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

7	MISE EN SERVICE :	54
7.1	MISE À JOUR DU SUPERVISEUR CITECT	55
7.2	MISE À JOUR DE L'AUTOMATE SIEMENS.....	56
7.3	MISE EN SERVICE DES NOUVELLES FONCTIONS IMPLÉMENTÉES DANS L'AUTOMATE :	57
8	CONCLUSION	58
9	TABLE DES FIGURES	59
10	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60
11	ANNEXES	60

1 Introduction

Ce travail de diplôme a pour but l'intégration de la régulation du niveau du lac de retenue du barrage de La Souste dans un automate programmable Siemens et de commander cette régulation à distance via un superviseur informatique (Citect). Le travail réalisé durant le semestre d'été 2006 avait comme tâche de modéliser cette installation. Ce modèle est repris et perfectionné dans ce travail pour développer le régulateur. Ce projet peut être divisé en plusieurs parties :

La première partie consiste en un bref résumé de mon travail de semestre ainsi qu'au perfectionnement du modèle du barrage.

La deuxième partie vise à déterminer quel type de régulateur est le plus approprié, à déterminer ses paramètres et à les valider en effectuant des simulations basées sur des valeurs réelles extrêmes ainsi qu'à déterminer les commandes qui amélioreraient et simplifieraient le fonctionnement des installations

La troisième partie est composée de l'implémentation du régulateur et des différentes commandes supplémentaires dans l'automate programmable ainsi que celle du superviseur informatique, qui sert d'interface homme-machine.

La quatrième partie sera une batterie de tests qui vise à faire communiquer l'automate et le superviseur pour valider le bon fonctionnement du système complet.

Je profite de cette page pour remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail, en particulier MM. Marcuard et Truffer de l'Hevs et MM. Vuignier, Zumstein et Bosco d'Hydro-Exploitation.

2 Résumé du travail de semestre et amélioration du modèle du barrage

Les principales tâches de mon travail de semestre étaient de comprendre le fonctionnement complet de l'aménagement hydroélectrique de La Souste, du captage de l'eau à la production d'électricité, d'effectuer une analyse de risques de ces installations et, finalement, de modéliser le barrage et le lac de retenue avec Matlab Simulink. Ces 3 points ont été étudiés dans le but de préparer le travail de diplôme actuel. Les notions du travail de semestre nécessaires à la compréhension de ce qui suit sont présentées dans ce premier chapitre. Pour des informations plus complètes, se référer à : Travail du semestre d'été 2006 : Régulation du niveau du lac de retenue du barrage de La Souste.

2.1 Les installations

L'eau est captée dans le Rhône et dessablée au niveau du village de La Souste. Un canal à ciel ouvert l'amène au travers du bois de Finges à la galerie du Gorwetsch. Au bout de cette galerie, deux conduites forcées conduisent l'eau à la centrale du Rhône. La hauteur de chute totale est de 86m pour une distance de 8km.

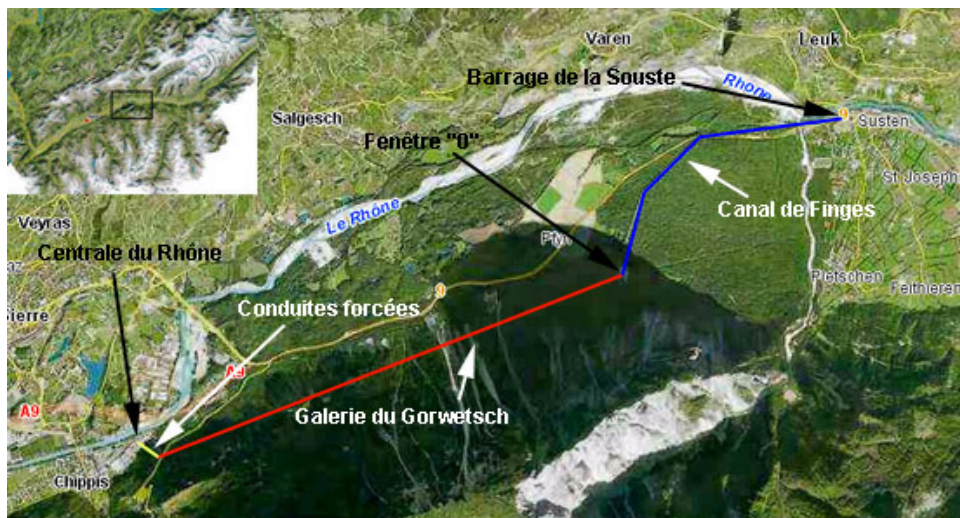


Figure 1: Vue d'ensemble des installations

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

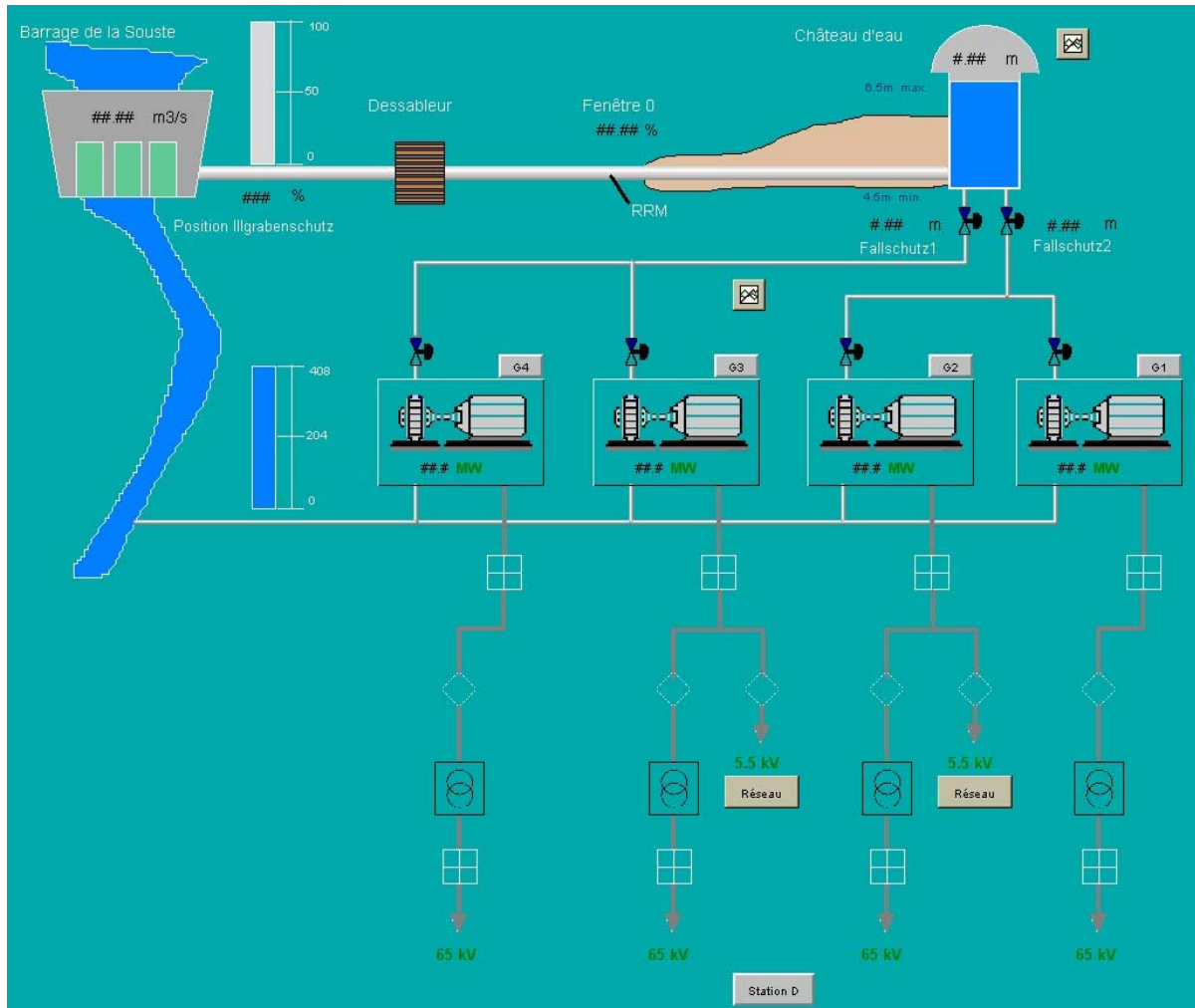


Figure 2: Schéma des installations (tiré du superviseur)

Les opérateurs ont accès aux informations des différentes installations via un superviseur informatique, ils peuvent également effectuer certaines opérations à partir de ce superviseur. Le contrôle des installations est également accessible depuis le NLC (centre de supervision du réseau FMV).

La communication entre les différentes installations est assurée par une fibre optique. Un projet en cours a pour but de rajouter une fibre optique pour sécuriser le réseau.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

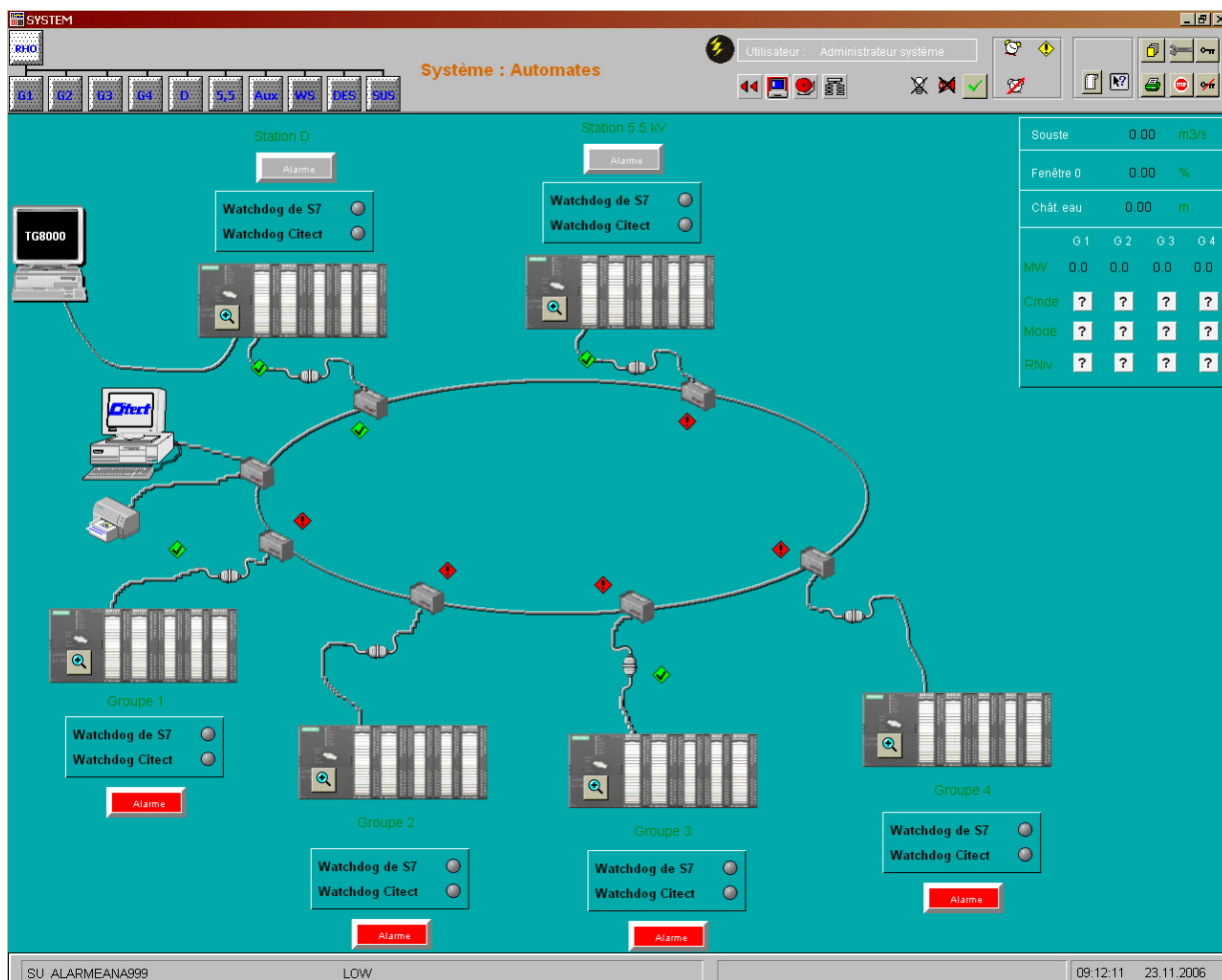


Figure 3 : Boucle de communication entre les installations

2.1.1 Le Barrage

Le barrage est composé de 3 vannes de types écluses et a une prise d'eau d'une capacité de $65\text{m}^3/\text{s}$ sur sa rive gauche. Les vannes du barrage sont numérotées de 1 à 3, la vanne n°1 comporte un déversoir qui sert à évacuer les déchets flottants dans le lac. Elle doit donc rester en position fermée pour remplir cette fonction (sauf évènement particulier). Les vannes n°2 et n°3 sont utilisées pour régler le niveau du lac. La hauteur d'eau nominale dans le lac est de 6m.



Figure 4: Schéma du barrage vu de dessus (tiré du superviseur)

Ce barrage a deux principaux modes de fonctionnement, le mode été et le mode hiver. En mode hiver, le débit est inférieur à $65\text{ m}^3/\text{s}$, le lac n'atteint donc pas son niveau nominal. Les vannes restent fermées et toute l'eau est envoyée vers la centrale. En mode été, le débit est supérieur à $65\text{ m}^3/\text{s}$, on a donc le débit nominal ($65\text{ m}^3/\text{s}$) qui part vers la centrale et le surplus d'eau qui est évacué par les vannes dans le lit aval du Rhône. L'ouverture des vannes est donnée par le régulateur de niveau et tous les organes du barrage sont commandés par un automate programmable Siemens.

2.1.2 La prise d'eau

Située sur la rive gauche du barrage, elle peut être fermée par 4 vannes écluses et est protégée des déchets flottants par une grille. Le débit dans cette prise d'eau est fixé par le niveau d'eau dans le lac (niveau nominal de 6m = débit nominal de 65 m³/s). Les grilles de protection sont équipées d'une dégrilleuse automatique, mais celle-ci n'est pas efficace contre les déchets coincés entre les barreaux. Le débit du canal va donc baisser au fur et à mesure que les grilles se bouchent (pour contrer cette baisse de débit, on augmente le niveau d'eau dans le lac). Régulièrement, les grilles sont nettoyées manuellement.

2.1.3 La régulation de niveau d'eau actuel

Principe de fonctionnement :

Actuellement, la régulation se fait séparément de l'automate. Ce dernier lui transmet les signaux nécessaires au réglage et le régulateur lui renvoie l'ordre d'ouvrir ou de fermer la vanne. Ce régulateur travaille sur une seule vanne (vanne 2 ou vanne 3), mais lorsque celle-ci ne suffit plus car le débit du Rhône est trop élevé, la deuxième vanne est ouverte automatiquement jusqu'à ce que la 1^{ère} ne soit plus saturée.

Exemple :

La régulation se fait sur la vanne 2 et elle saturée (ouverture maximum). On va alors ouvrir la vanne 3 jusqu'à ce que la vanne 2 ne soit plus saturée.

Le désavantage de ce système est que lorsque la 2^{ème} vanne s'est ouverte et que le débit du Rhône baisse, il faut fermer cette 2^{ème} vanne manuellement.

Le régulateur actuel :

Il s'agit d'un régulateur de niveau cascadié avec un régulateur de position. La consigne de niveau est programmée sur le régulateur par l'opérateur et le régulateur de niveau donne la consigne de position au régulateur de position de la vanne. Ce dernier transmet la commande d'ouverture et de fermeture de la vanne à l'automate.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

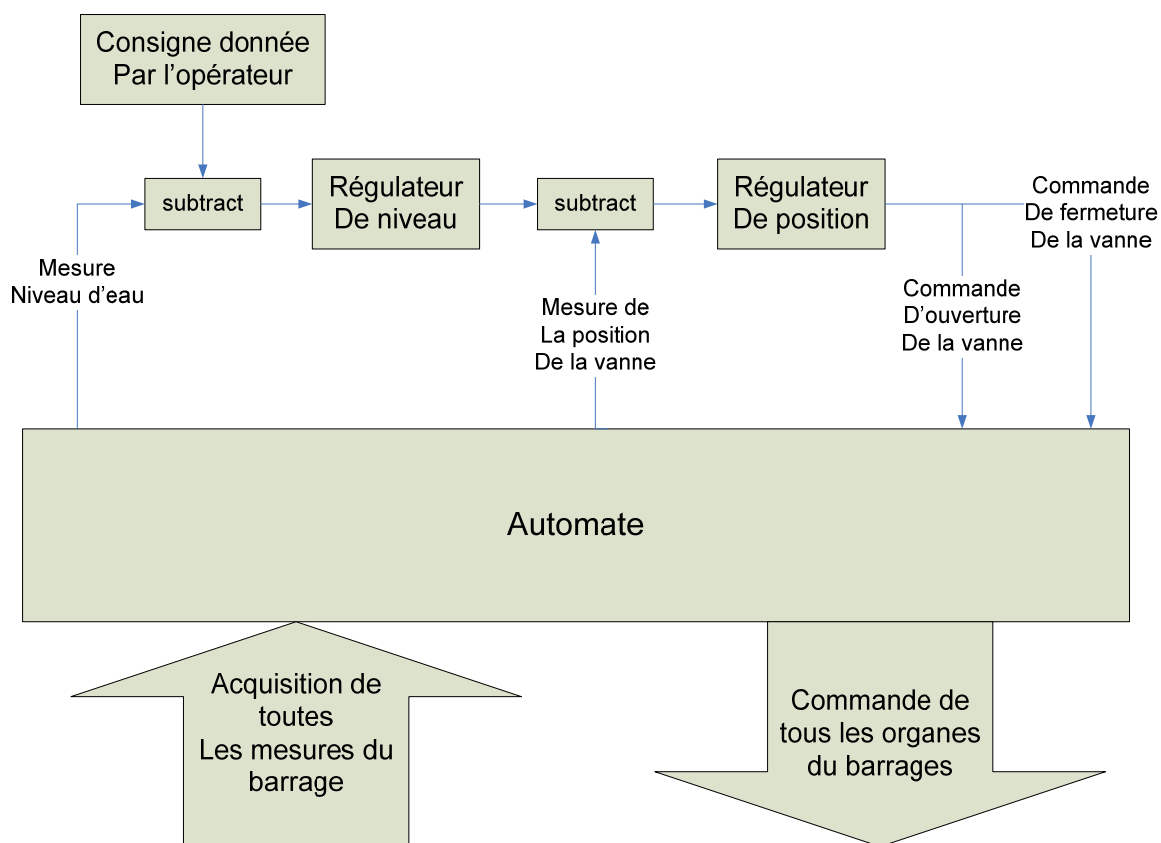


Figure 5: Schéma fonctionnel de la régulation cascadee

Remarque : Ce système nécessite un opérateur sur place pour modifier la consigne du niveau d'eau du lac, ce qui doit être fait régulièrement pour contrer la baisse de débit dans le canal de la prise d'eau due au bouchage des grilles de protection.

2.1.4 L'Illgraben

La montagne portant le nom d'Illgraben joue un rôle important dans le fonctionnement du barrage. En effet, lorsque de violents orages se produisent sur cette montagne, des boues torrentielles arrivent dans le lit du Rhône 500m en aval du barrage. Ces boues peuvent former un barrage artificiel qui peut représenter un danger pour les régions situées en aval (formation puis rupture d'une poche d'eau...). L'Etat du Valais a mandaté Hydro Exploitation pour parer à ce phénomène. Les boues sont détectées et au-dessus d'une certaine quantité, les trois vannes du barrage sont ouvertes simultanément. Tout le débit du Rhône passe alors dans le lit du fleuve et « purge » ces boues, empêchant la formation d'un lac artificiel.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

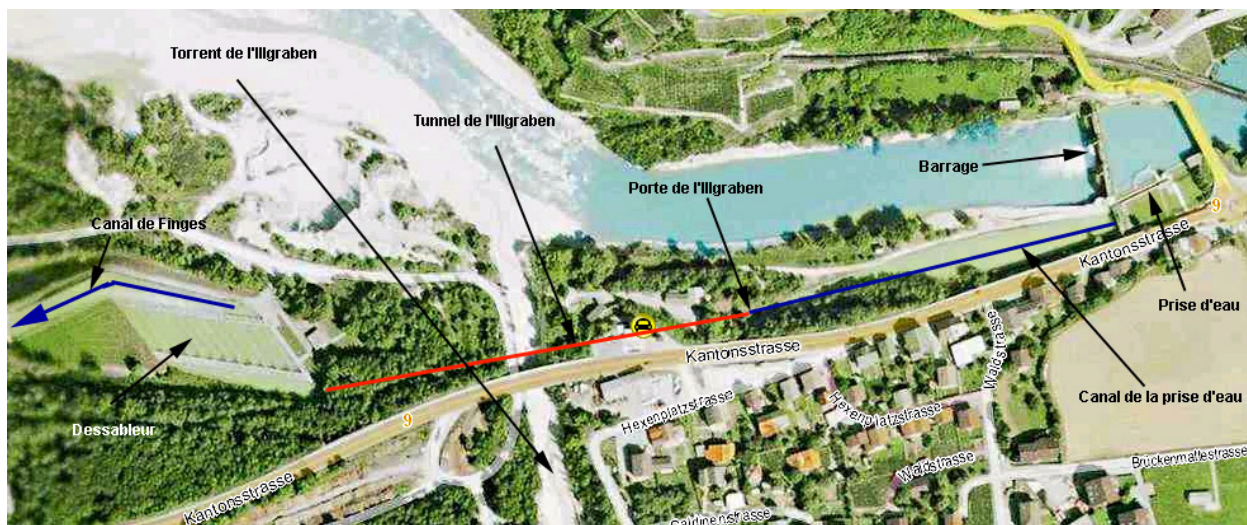


Figure 6: Vue du barrage et du torrent descendant de l'Iligraben.

2.2 Modèle mathématique du barrage

Le but de ce modèle est de pouvoir simuler l'installation afin de mesurer certains paramètres du système (gain du système, constantes de temps) et de tester les régulateurs calculés. Cette manière de procéder a été choisie car elle permet d'avoir une idée sur la réaction du barrage avec le régulateur développé. On peut aussi optimiser la régulation en variant les paramètres du régulateur sans perturber le fonctionnement des installations (installations perturbées = pertes).

Les parties du barrage qui ont été étudiées pour pouvoir le modéliser sont :

- a) **Les vannes du barrage** : Débit en fonction du niveau d'eau dans le lac et de leur ouverture.
- b) **La prise d'eau** : Débit en fonction de la hauteur d'eau dans le lac.
- c) **Le bassin d'accumulation du barrage** : La surface du lac en fonction de la hauteur d'eau dans le lac.

Le travail de diplôme réalisé par Vincent Maeder en 2005 ayant comme sujet : « Augmentation de la rentabilité de l'aménagement hydroélectrique La Souste – Chippis » m'a servi de base pour calculer le débit de la prise d'eau et la surface du lac d'accumulation.

Ce modèle a du être perfectionner dans ce travail, il a fallu rajouter le régulateur de niveau et la commande des vannes. La modélisation de ces dernières a également été améliorée. Les modifications apportées au modèle sont présentées ci-dessous.

2.2.1 Modélisation des vannes

Un phénomène que je n'ai pas pris en compte durant mon travail de semestre est la vitesse d'ouverture des vannes. Celle-ci étant très faible en raison du poids élevé des vannes (60 tonnes), elle ne peut pas être négligée par rapport au temps de réaction du niveau du lac. La vitesse moyenne de ces vannes est de 10 cm en 39 s, soit environ 0.0025 m/s. A cela s'ajoute le fait que pour des raisons d'étanchéité, on laisse tourner le moteur pendant 4 s lorsqu'elle a fini de se fermer pour que les chaînes se détendent. Cela induit un retard à l'ouverture de 4 s et la commande du moteur doit également être active pendant 4 s après que la vanne soit arrivée au capteur de fin de course. On voit sur la Figure 7 le comportement de la vanne et du signal de commande du moteur d'entraînement.

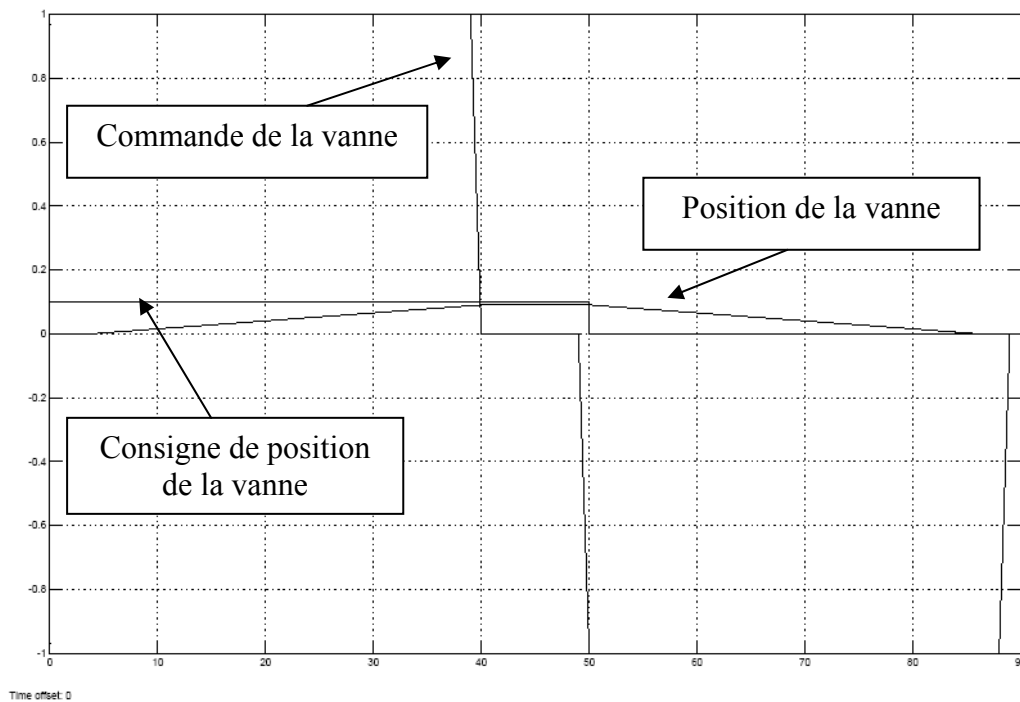


Figure 7: Modélisation d'une vanne du barrage

2.2.2 Modélisation du régulateur

2.2.2.1 Le régulateur de niveau

Le régulateur sera obligatoirement de type PI ou PID, pour éviter une erreur permanente. Un des gros problèmes des régulateurs comportant une composante intégratrice est le fait que si la valeur de la commande donnée par le régulateur dépasse la valeur maximale admissible et que l'erreur persiste (Ex : très long temps de réaction du système), il faut bloquer la composante intégratrice car elle va continuer d'augmenter. Pour ce faire, il suffit de détecter lorsque la commande est à sa valeur maximum et de déclencher l'intégrateur. Celui-ci repartira à la même valeur une fois la commande redescendue sous le seuil maximum. Dans Simulink (Figure 8), la détection peut se faire avec un switch, si la commande est à sa valeur maximale, on met la valeur « 0 » à l'entrée de l'intégrateur, ce qui le fait rester dans son état actuel.

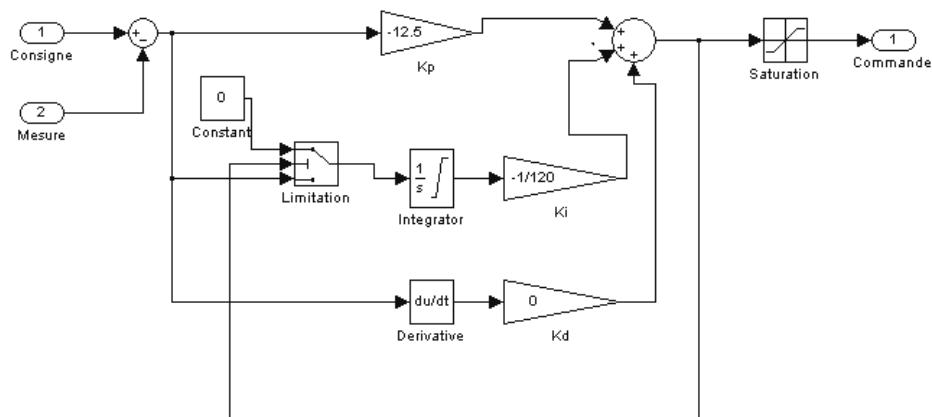


Figure 8: Limitation de la composante intégratrice dans Matlab Simulink.

2.2.2.2 Le régulateur de position

Le régulateur de position est un régulateur trois états :

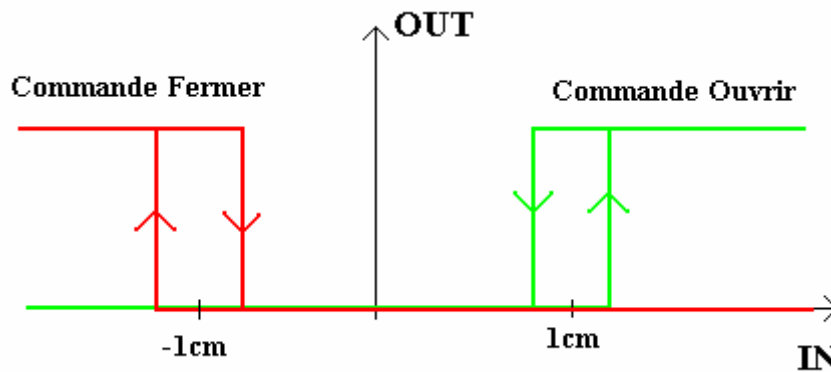


Figure 9: Régulateur de position 3 états

Fonctionnement :

Si la différence entre la consigne et la mesure est plus grande que 1cm, on ouvre la vanne. À l'inverse, si l'erreur est plus petite que 1cm, on ferme la vanne. Entre ± 1 cm, la vanne reste dans sa position.

Il est obligatoire d'ajouter une hystérèse à chaque point de commutation. Elle a été fixée à ± 1 cm.

2.2.3 Modélisation de la commande des vannes

Comme vu au chapitre 2.1.3, une vanne ne suffit pas à régler le niveau du lac lorsque le débit du Rhône est grand. Il faut donc partager la commande du régulateur entre deux vannes. La manière la plus simple et la plus efficace de partager cette commande est d'utiliser d'abord une des 2 vannes, et lorsque celle-ci est à son ouverture maximum, de commuter sur la 2^{ème} vanne réglante. Inversement, lorsque la 2^{ème} vanne s'est complètement fermée, on commute à nouveau sur la 1^{ère} vanne pour la fermer à son tour. Cela s'effectue facilement dans Simulink avec des switches (Figure 10) : si la commande est plus grande que la valeur d'ouverture de la 1^{ère} vanne, on dirige la commande sur la 2^{ème} vanne.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

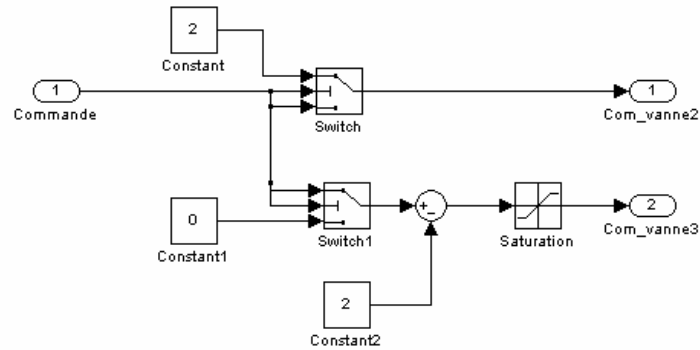


Figure 10: partage de la commande entre les 2 vannes dans Matlab Simulink.

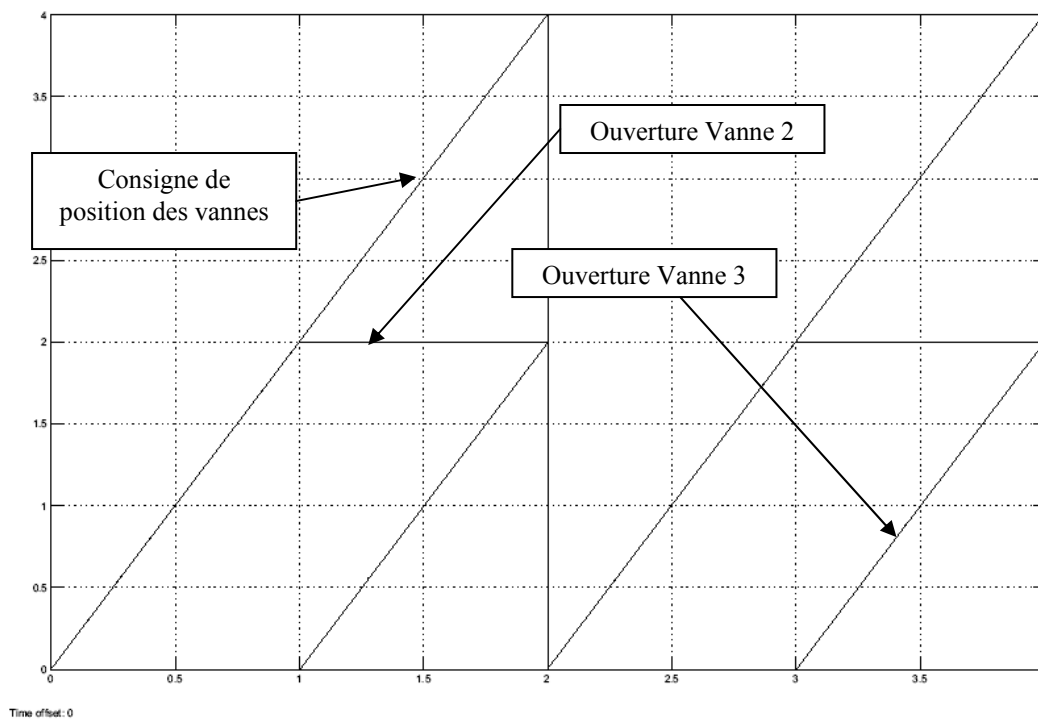


Figure 11: simulation du partage de la commande des vannes

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

La structure finale du modèle (système et régulateur) est celle de la Figure 12. Dans l'automate, on aura encore une fonction qui permet de déclencher la régulation pour utiliser les vannes en mode manuel pour des événements particuliers ou des travaux de maintenance.

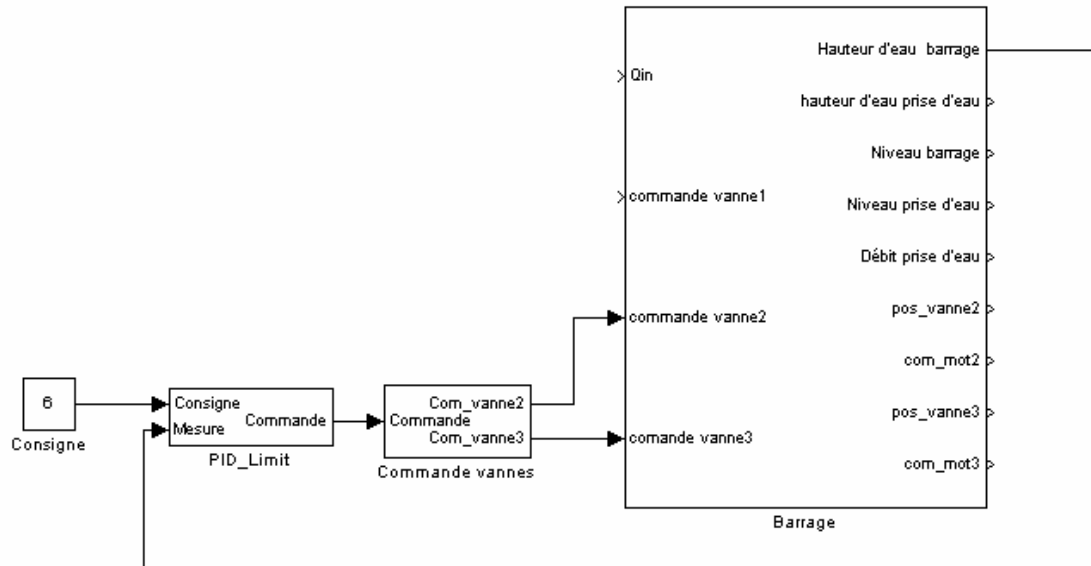


Figure 12: Structure du régulateur et du système.

2.3 Analyse fonctionnelle et analyse de risque AMDEC

Ces analyses ne sont pas reprises ici car trop conséquentes. Toutefois, la conclusion de l'analyse de risques est présentée ci-dessous.

Malgré le fait que cette installation ait été conçue sans analyse de risque préalable, il n'en ressort pas de gros risques dommageables pour l'installation elle-même et ses environs. Il existe néanmoins un risque de panne de communication entre les différentes installations car il n'y a qu'une seule fibre optique. Toutefois, le projet en cours visant à doubler cette fibre pare à ce risque. Les autres risques ayant une forte probabilité de se passer sont déjà connus ou traités (boues torrentielles de l'Illgraben) ou sont considérés comme modes de fonctionnements normaux dans certaines phases d'exploitation (Ex : centrale ne produit plus d'électricité lors d'une révision du canal)

La cause de défaillance pouvant avoir le plus de conséquence reste les défaillances humaines. Elles sont toutefois limitées dans ce système par une forte redondance (contrôle depuis la centrale ainsi que depuis le NLC).

3 Etude de la régulation de niveau

Cette partie vise à déterminer quel type de régulateur est le plus approprié pour ce système, puis par la suite à calculer ses coefficients. Pour ce calcul, plusieurs méthodes sont utilisées et leurs résultats comparés. La méthode donnant les meilleurs résultats sera sélectionnée.

3.1 Détermination de la fonction de transfert du système

Pour pouvoir approximer le barrage par une fonction de transfert, il faut distinguer deux plages de fonctionnement, la 1^{ère} lorsque le niveau d'eau dans le lac est inférieur au seuil de la prise d'eau (aucun débit capté) et la 2^{ème} lorsque le niveau est supérieur à ce seuil (2.3 m) et qu'un débit est capté par la prise d'eau. La 2^{ème} plage de fonctionnement est celle qui nous intéresse le plus, la 1^{ère} plage sera donc provisoirement laissée de côté.

3.1.1 Niveau inférieur à 2.3m

Lorsque l'on se trouve dans ce cas, on a tout simplement un réservoir qui se vide à l'ouverture de la vanne. Il suffit donc de partir avec une certaine condition initiale et d'effectuer un saut sur la commande de la vanne. Partant de la réponse indicielle obtenue, on peut en déduire l'ordre et la fonction de transfert du système en mesurant les constantes de temps T_u et T_g puis en se référant aux tables du cours MCR1, chap8 (Annexe 1).

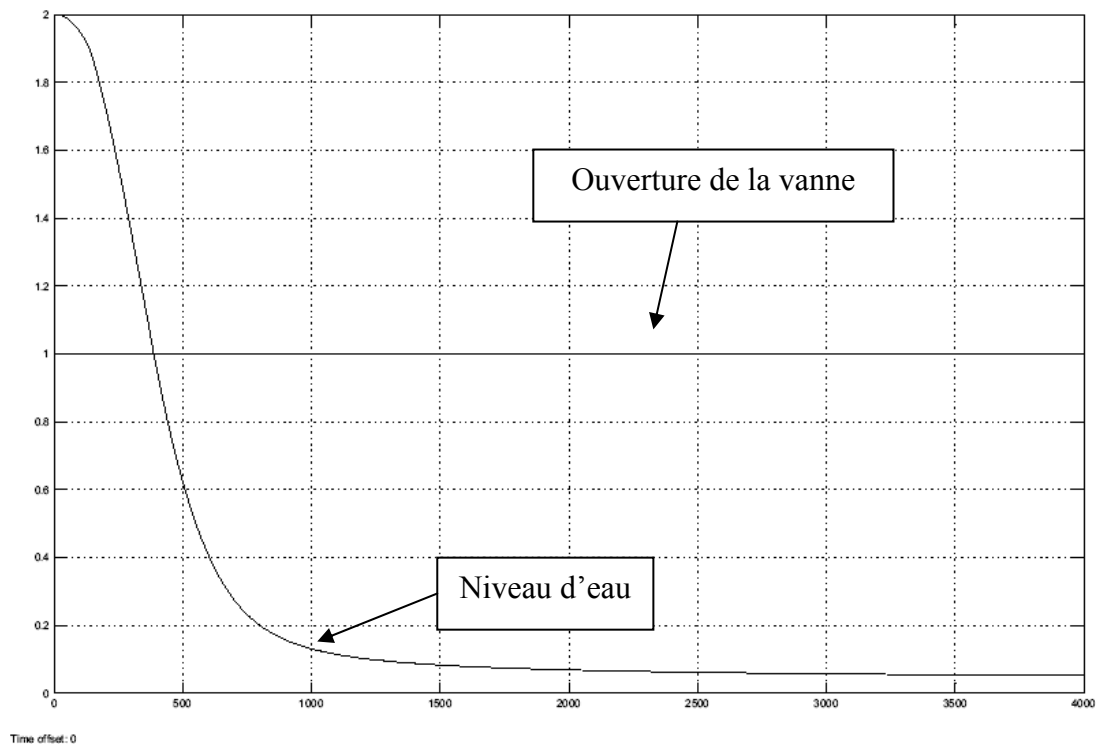


Figure 13: Réponse indicielle du barrage avec un niveau initial de 2m et un débit d'entrée nul.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

Dans ce cas, on arrive à un système d'ordre 4. Comme cette plage de fonctionnement n'est pas intéressante dans le cas de la régulation du niveau et que sa caractéristique diffère fortement de l'autre plage de fonctionnement, on ne dimensionnera pas de régulateur pour ce cas.

3.1.2 Niveau supérieur à 2.3m

Dans cette plage de fonctionnement, les perturbations externes (débit d'entrée et débit capté par la prise d'eau) varient fortement. Il est donc nécessaire d'effectuer des réponses indicielles avec différentes valeurs de ces paramètres. Le débit capté par la prise d'eau étant directement lié au niveau, des réponses indicielles vont être mesurées pour plusieurs niveaux (3m, 4m, 5m et 6m). Le débit d'entrée varie entre $0 \text{ m}^3/\text{s}$ et $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour des valeurs inférieures à $65 \text{ m}^3/\text{s}$ (débit max capté par la prise d'eau) lorsque le niveau vaut 6m, le lac va se vider. La valeur minimale de débit choisie est donc de $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Des réponses indicielles sont effectuées pour chaque niveau avec les débits suivants : $65 \text{ m}^3/\text{s}$, $100 \text{ m}^3/\text{s}$, $150 \text{ m}^3/\text{s}$ et $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Méthode de simulation :

Pour chaque débit, il faut trouver par simulation une ouverture de vanne qui donne un niveau stable dans le lac (Mathématiquement : $Q_{in} = Q_{vanne} + Q_{prise \text{ d'eau}}$). On effectue ensuite un saut indiciel sur la vanne. Il est important de ne pas trop ouvrir la vanne pour que le niveau du lac ne descende pas sous le seuil de la prise d'eau, on se retrouverait alors dans la 1^{ère} plage de fonctionnement.

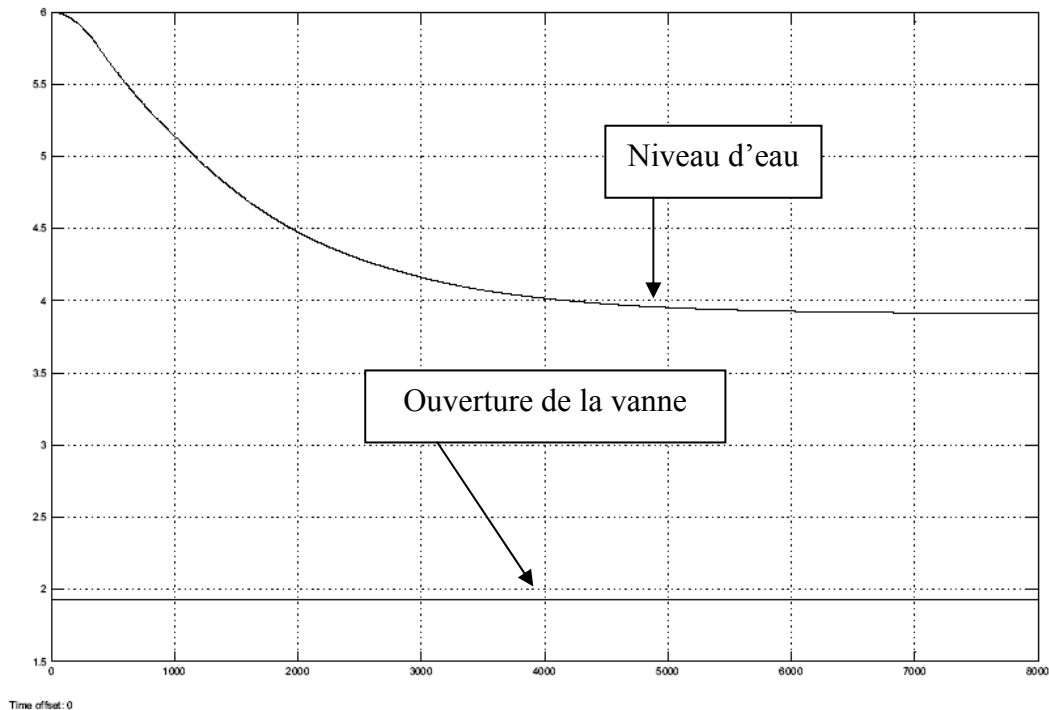


Figure 14: Réponse indiciel du barrage avec un niveau initial de 6m, une ouverture initiale de vanne de 0.92m et finale de 1.92m et un débit d'entrée de $150 \text{ m}^3/\text{s}$.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

Pour cette plage de fonctionnement, on obtient un comportement proche de celui d'un système du 2^{ème} ordre. A partir des paramètres T_u et T_g (mesuré sur la réponse indicielle), on peut calculer les deux constantes de temps du système (T_1 et T_2). Le gain statique du système peut également être calculé : $K_s = \Delta_{out}/\Delta_{in}$. Où Δ_{out} représente la différence de niveau et Δ_{in} le saut effectué sur la commande de la vanne. Δ_{out} est mesuré sur la réponse indicielle et Δ_{in} est connu.

La fonction de transfert a alors la forme suivante :

$$F(s) = \frac{K_s}{(1 + sT_1) * (1 + sT_2)}$$

Les valeurs moyennes obtenues pour chaque niveau sont présentées ci-dessous car ce sont ces moyennes qui sont utilisées pour dimensionner le régulateur. Le détail des valeurs pour chaque point de fonctionnement se trouve en Annexe 2.

		Kp	T1 [s]	T2 [s]
Niveau [m]	3	-1.4	123	253
	4	-1.82	198	986
	5	-2.23	229	1110
	6	-2.62	543	1032

Figure 15: Tableau des valeurs moyennes des constantes de temps et du gain statique du barrage

3.2 Dimensionnement du régulateur de niveau

Le régulateur choisi est de type PI (Proportionnel – Intégrateur), cela afin d'éviter une erreur permanente. On verra plus tard que ce choix n'est pas judicieux et il sera corrigé. Les coefficients du régulateur sont calculés par 2 méthodes et comparés ensuite. La 1^{ère} méthode est la compensation de pôles et la deuxième une méthode empirique (Chien-Hrones-Reswick). Le cahier des charges de ce régulateur est le suivant :

- Une oscillation maximale du niveau de ± 5 cm
- La consommation des moteurs d'entraînement la plus basse possible.

Test des régulateurs obtenus :

Les différents régulateurs obtenus sont testés avec les mêmes variations de débit d'entrée. Pour se rapprocher au maximum de la réalité, ces tests sont basés sur les mesures du Service hydrologique national durant la journée du 15 septembre 2006. Ce jour a été choisi car de fortes précipitations avaient été annoncées et des crues relativement violentes étaient attendues, on peut donc considérer les augmentations de débit de cette journée comme maximales. Une séquence de 24 h dans Matlab Simulink qui représente cette journée « exceptionnelle » a donc été simulée.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

Remarque : Les mesures relevées se font à Sion, comme plusieurs rivières assez importantes se jettent dans le Rhône entre La Souste et Sion, on peut considérer la valeur moyenne et les augmentations du débit à La Souste comme inférieures à celles de Sion. On a donc une marge de sécurité assez élevée en effectuant des tests avec les valeurs mesurées à Sion.

En mode de fonctionnement d'été, le niveau est tout le temps de 6 m, j'ai donc utilisé pour ces tests les coefficients calculés pour une hauteur d'eau de 6 m.

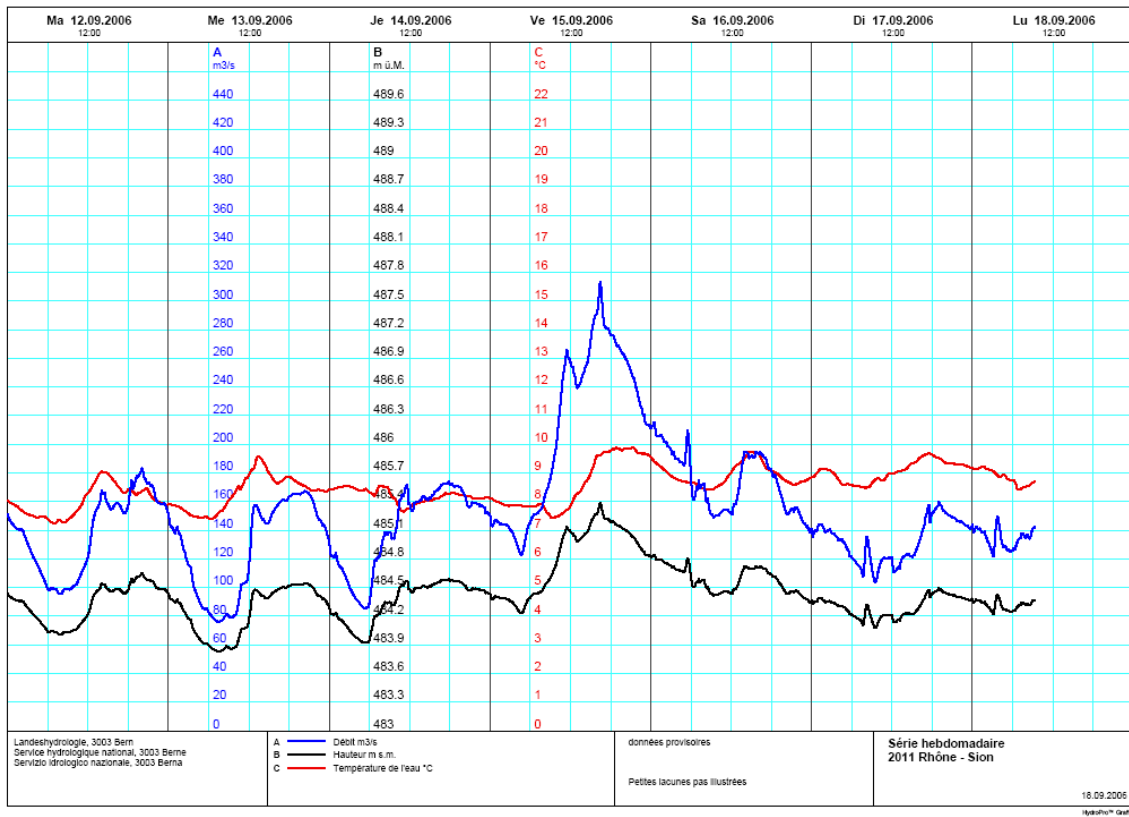


Figure 16: Mesure du débit du Rhône à Sion à la mi-septembre 2006.

3.2.1 Compensation des pôles pour un régulateur PI

Pour cette méthode, il faut d'abord compenser la constante de temps dominante du système avec la constante de temps d'intégration du régulateur. Le système obtenu ensuite en boucle fermée est du deuxième ordre.

Système :

$$F(s) = \frac{K'}{(1+sT_1)(1+sT_2)} \quad \text{Où } K' = -Ks$$

Régulateur :

$$G(s) = \frac{Kp * (sT_i + 1)}{sT_i}$$

$$F_{cl}(s) = \frac{F(s) * G(s)}{1 + F(s) * G(s)} = \frac{\frac{K'}{(1+sT_1)(1+sT_2)} * \frac{Kp * (sT_i + 1)}{sT_i}}{1 + \frac{K'}{(1+sT_1)(1+sT_2)} * \frac{Kp * (sT_i + 1)}{sT_i}} \quad T1 > T2, \rightarrow Ti = T1$$

$$F_{cl}(s) = \frac{\dots}{s^2 + \frac{1}{T_2}s + \frac{K' * K_p}{T_i * T_2}} = \frac{\dots}{s^2 + 2 * d * w_0 * s + w_0^2}$$

De cette équation de forme normalisée on peut tirer le gain Kp du régulateur en fixant le paramètre « d ». Ce paramètre représente le facteur d'amortissement, il faut le choisir plus grand que « 1 » si on désire une réponse indicielle sans oscillations.

Avec d=1 :

$$w_0 = \frac{1}{2 * d * T_2}$$

$$K_p = \frac{w_0^2 * T_i * T_2}{K'} = \frac{\frac{1}{4 * T_2^2 * d^2} * T_i * T_2}{K'} = \frac{T_i}{4 * T_2 * d^2 * K'} \quad \text{Où } Ti = T1$$

Remarque : Ces paramètres peuvent également être calculés en utilisant la marge de phase et la marge de gain plutôt que le facteur d'amortissement.

Il faut ensuite calculer ces paramètres pour chaque point de fonctionnement (niveau varie de 3 m à 6 m). En moyenne, on a :

$$-1 < Kp < 0$$

$$\text{et } Ti \approx 1000s$$

Les valeurs exactes des gains Ki et Kp pour chaque niveau se trouvent en Annexe 2.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

Remarque : Le gain K_p du régulateur est négatif car le système a un gain statique négatif.

Le régulateur obtenu réagit beaucoup trop lentement. Avec une consigne de 6m (niveau nominal, 20 cm sous le sommet des vannes), il y a un débordement du barrage lorsque le débit d'entrée augmente. On voit sur la Figure 17 que le régulateur commande les vannes beaucoup trop lentement pour être efficace.

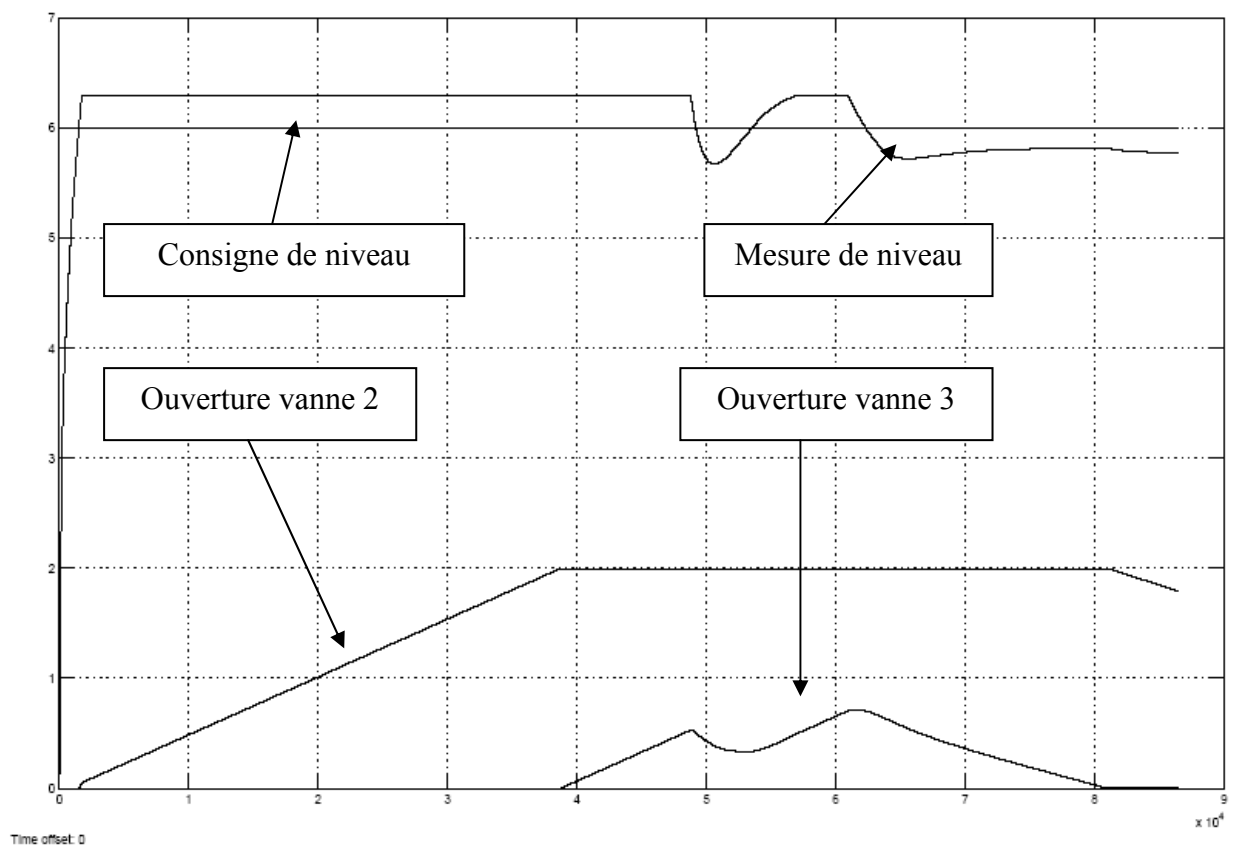


Figure 17: Régulateur PI calculé par compensation des pôles (24h, $K_p = -0.18$, $T_i = 1032$)

Les résultats obtenus étant mauvais, un nouveau régulateur est calculé avec une méthode empirique.

3.2.2 Méthode de la réponse indicielle de Chien – Hrones – Reswick pour un régulateur PI

Il s'agit d'une des méthodes empiriques qui permet de choisir un grand nombre de paramètres. Tout d'abord, on a le choix entre une réponse en boucle fermée avec un comportement sans oscillations ou avec un dépassement de 20% de la valeur finale. On peut ensuite choisir entre un réglage de correspondance, c'est-à-dire que l'on cherche à suivre précisément la consigne, ou un réglage de maintien où l'on doit avant tout contrer des perturbations. Dans ce cas, il s'agit d'un réglage de maintien pour contrer les variations du débit d'entrée et de celui capté par la prise d'eau. La réponse en boucle fermée devra également être apériodique (sans oscillations) pour éviter que le barrage ne déborde. Toutes ces conditions fixées, on reprend les valeurs de T_u , T_g et K_s mesurées sur les réponses indicielles effectuées au point Y. On se réfère ensuite à une table pour calculer les coefficients du régulateur. Dans ce cas, on a :

$$K_p = \frac{0.6 * T_g}{K_s * T_u} \quad \text{et} \quad T_i = 4 * T_u$$

Cette fois, on a comme valeur moyenne :

$$-5 < K_p < -2$$

$$\text{et } 400\text{s} < T_i < 800\text{s}$$

Les valeurs exactes des gains K_i et K_p pour chaque niveau se trouvent en Annexe 2.

Ces valeurs laissent présumer un régulateur plus rapide (K_p presque 10x plus grand qu'avec la compensation des pôles). Cela est confirmé avec la simulation.

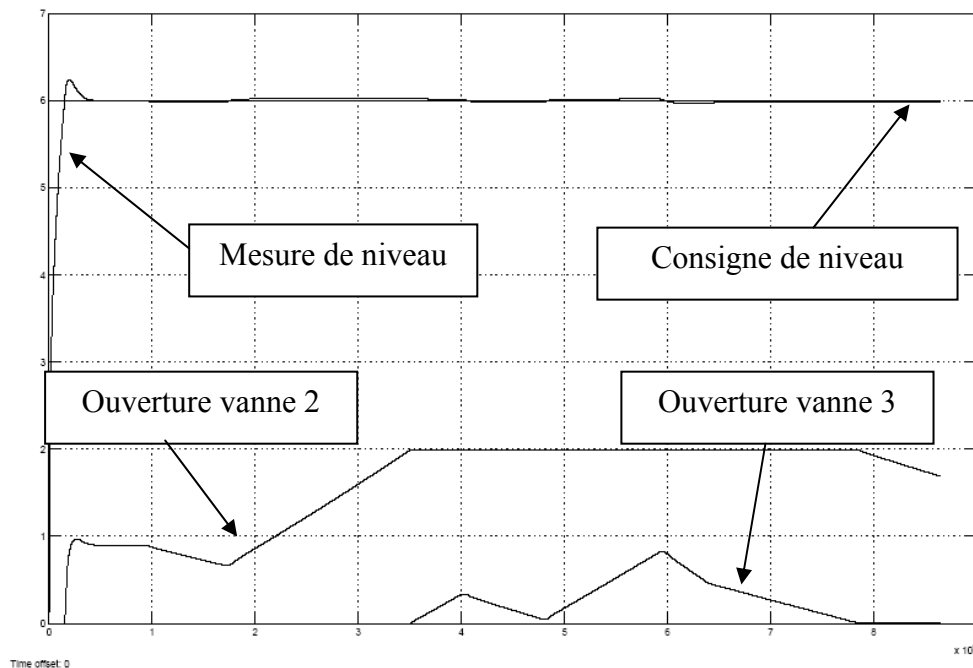


Figure 18: Régulateur PI calculé par Chien-Hrones-Reswick (24h, $K_p = -2.42$, $T_i = 790$)

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

Le régulateur dimensionné est assez rapide, une fois la consigne atteinte, il contre parfaitement bien les variations de débit imposée. Un problème subsiste encore : si le barrage est vide, que le débit d'entrée est élevé et que le barrage doit se remplir en mode automatique, on a un dépassement de la consigne (débordement du barrage) dû à la vitesse d'ouverture trop lente des vannes. Pour parer à ce débordement, On décide de rajouter un terme dérivateur au régulateur pour anticiper le débordement et réagir plus vite sur les vannes.

3.2.3 Compensation des pôles pour un régulateur PID

La méthode utilisée pour ce régulateur est légèrement différente de celle utilisée pour le PI. Un programme Matlab (cao) mis à disposition par M Marcuard a été utilisé pour tracer les diagrammes de Bode. Comme les résultats obtenus par cette méthode ne sont pas très bons, elle n'est pas décrite dans ce rapport.

Les valeurs exactes des gains K_i , K_d et K_p pour chaque niveau se trouvent en Annexe 2.

Identiquement au régulateur PI calculé par compensation des pôles, le PID est trop lent pour cette application, l'oscillation de niveau est d'environ 15 cm, ce qui ne correspond pas au cahier des charges. (Oscillation maximum de 10 cm)

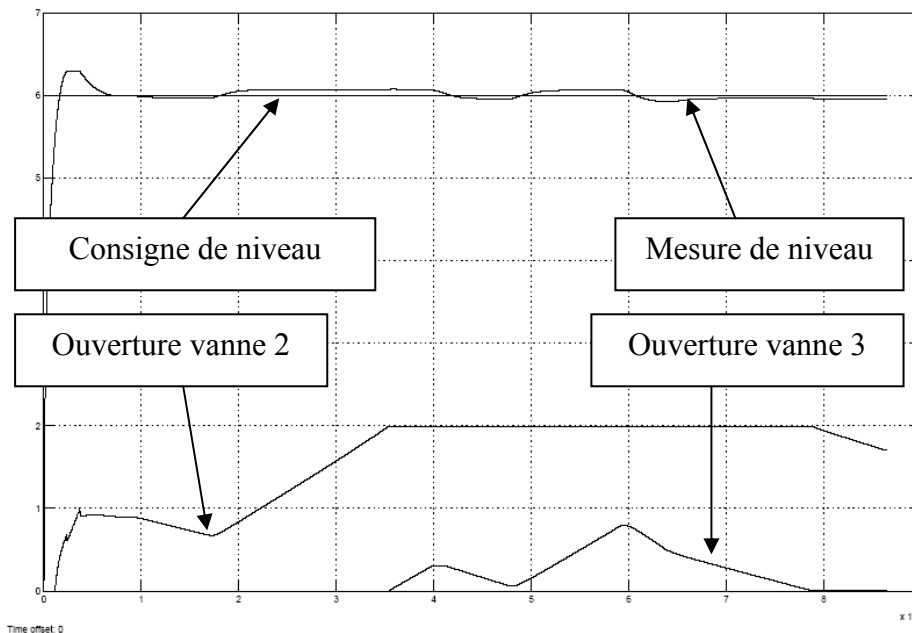


Figure 19: Régulateur PID calculé par compensation des pôles (24h, $K_p = -1.55$, $T_i = 1574$, $T_d = 355$)

3.2.4 Méthode de la réponse indicielle de Chien – Hrones – Reswick pour un régulateur PID

La méthode est identique à celle utilisée pour le PI, mais les formules pour calculer les coefficients du régulateur sont différentes :

$$K_p = \frac{0.95 * T_g}{K_s * T_u} \quad \text{et} \quad T_i = 2.4 * T_u \quad T_d = 0.42 * T_u$$

Les valeurs obtenues (voir Annexe 2) donnent cette fois-ci un résultat très satisfaisant, l'oscillation est cette fois quasi inexistante (1 cm).

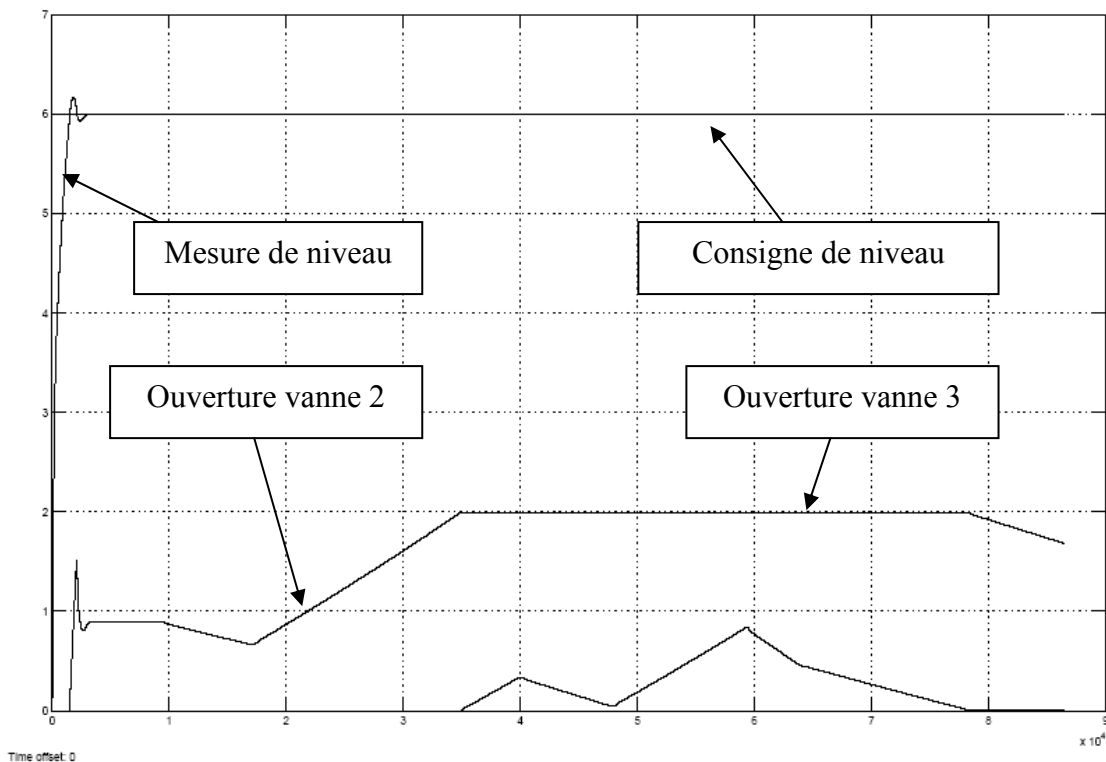


Figure 20: Régulateur PID calculé par Chien-Hrones-Reswick (24h, $K_p = -3.8$, $T_i = 475$, $T_d = 80$)

3.2.5 Régulateur actuel de l'installation

Le régulateur qui fonctionne actuellement sur l'installation est du type PI, ses coefficients sont les suivants :

Gain proportionnel :

Il faut déterminer celui-ci à partir de la bande proportionnelle du régulateur ($X_p = 120$). La bande proportionnelle d'un régulateur permet de déterminer le gain de celui-ci en tenant compte de la plage des signaux de mesure et de commande.

$$K_p = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{X_p * (y_{\max} - y_{\min})}$$

Dans notre cas, on a un signal de mesure 4-20 mA et un signal de commande 0-24 V, cela nous donne un gain $K_p = -12.5$.

La constante de temps d'intégration est donc de 120 s, ce qui est plus rapide que les régulateurs dimensionnés ci-dessus.

3.3 Choix du régulateur

Maintenant que quatre régulateurs ont été dimensionnés, il faut choisir celui qui est le mieux adapté au cahier des charges. Pour cela, on peut se baser sur 2 facteurs mathématiques, la qualité du régulateur et son coût. Ses deux critères permettent de comparer objectivement les régulateurs ainsi que de retoucher leurs coefficients pour améliorer la régulation.

3.3.1 Critère de qualité du régulateur

Elle est donnée par l'intégrale du signal d'erreur sur un temps défini.

$$J = \int_0^{24h} e \cdot dt$$

3.3.2 Critère de coûts du régulateur

Les coûts peuvent être représentés ici par le temps de fonctionnement des moteurs d'entraînements des vannes.

$$C = \int_0^{24h} com_{moteur_vanne2} + com_{moteur_vanne3} \cdot dt$$

Remarque : Les simulations pour la qualité et les coûts du régulateur sont toujours réalisées sur une durée de 24 h le 15 septembre 2006.

Les régulateurs PI et PID calculés par compensation des pôles peuvent directement être écartés car on voit que leur comportement est mauvais uniquement en les simulant. Il ne reste plus qu'à choisir entre les régulateurs PI et PID dimensionnés avec la méthode Chien-Hrones-Reswick (C-H-R). On peut également rajouter à ces deux régulateurs le régulateur PI qui fonctionne actuellement sur l'installation.

	PI actuel	PI C-H-R	PID C-H-R
Kp	-12.5	-2.4	-3.8
Ti [s]	120	790	475
Td [s]	-	-	80
Critère de qualité	1459	2504	1527
Critère de coûts	2716	2048	2078

Figure 21: tableau récapitulant la qualité et les coûts des différents régulateurs

En terme de qualité de réglage, le régulateur PI actuel et le PID C-H-R se valent, tandis qu'en matière de coûts ce sont les régulateurs PI et PI C-H-R qui se valent. Le régulateur voulu étant celui qui a le meilleur compromis entre qualité et coûts, le PID calculé par la méthode empirique Chien-Hrones-Reswick est choisi.

Remarque : Ces méthodes constituent un point de départ pour dimensionner un régulateur, on peut ensuite affiner la régulation en faisant varier les paramètres sur l'installation.

3.3.3 Coefficients du régulateur PID choisi

$$K_p = -3.83$$

$$T_i = 475$$

$$T_d = 80$$

3.4 Modification du capteur de niveau

Le capteur de niveau actuel mesure la hauteur d'eau uniquement 1m sous le niveau maximum du barrage. L'installation d'un capteur mesurant toute la hauteur du lac aurait trois gros avantages comparés à l'installation actuelle :

3.4.1 Contrôle du barrage à distance facilité

Si le débit n'est pas suffisant pour maintenir le barrage à son niveau nominal (6 m), et que celui-ci descend sous 5.2 m, les opérateurs ne se situant pas sur place et contrôlant le barrage avec le superviseur n'ont aucunes idées du niveau d'eau dans le barrage. Un capteur complet parerait à cet inconvénient.

3.4.2 Remise en service de l'installation facilitée après un évènement de type Illgraben

Actuellement, en cas d'un évènement de type Illgraben, pour remettre en mode automatique le barrage, le barragiste travaille en manuel avec les vannes jusqu'à ce que l'eau arrive au niveau nominal. Il peut ensuite enclencher le mode automatique.

On ne peut pas réenclencher le mode automatique directement car si le débit d'entrée du barrage est trop grand ($Q > 200 \text{ m}^3/\text{s}$), les vannes ne sont pas assez rapides pour éviter un débordement.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

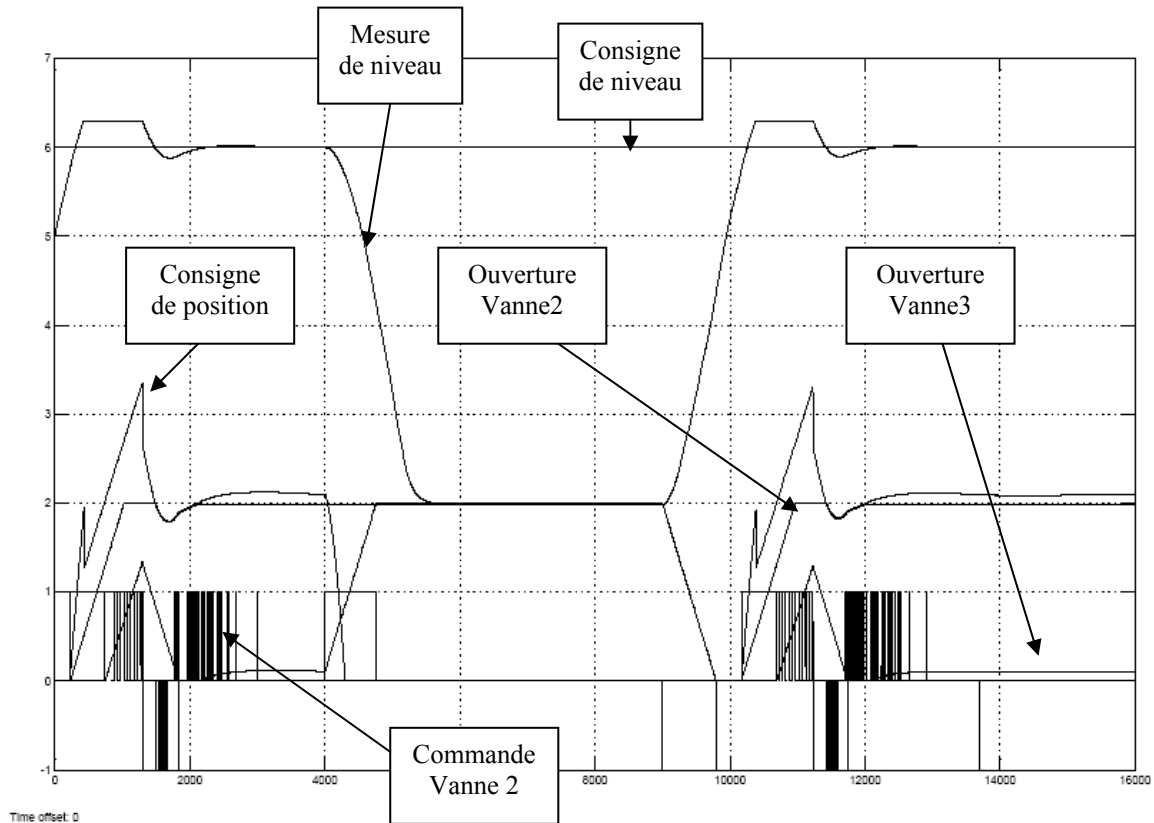


Figure 22: Evènement de type Illgraben, le régulateur a été réenclenché directement, on a un débordement du barrage.

Avec un capteur mesurant toute la hauteur d'eau, on peut calculer le débit d'entrée, donc prévoir l'ouverture des vannes pour avoir le niveau nominal dans le lac, une fois celui-ci atteint, la régulation automatique reprend le relai.

3.4.2.1 Calcul du débit d'entrée

Connaissant la hauteur d'eau dans le lac et l'ouverture des vannes, on peut calculer le débit capté par la prise d'eau et le débit sortant par les vannes du barrage. Ensuite, il faut mesurer l'augmentation de niveau et, connaissant la surface du barrage en fonction de la hauteur d'eau, on peut calculer l'augmentation de volume. Ensuite, la somme des débits sortants par les vannes et la prise d'eau et de l'augmentation de volume donne le débit d'entrée.

On donne ensuite une commande à priori aux vannes jusqu'à ce que le niveau atteigne sa valeur nominal, à ce moment, l'installation commute automatiquement en mode automatique.

Cette manière de procéder évite au barragiste de commander les vannes en manuel jusqu'à ce que le niveau soit nominal.

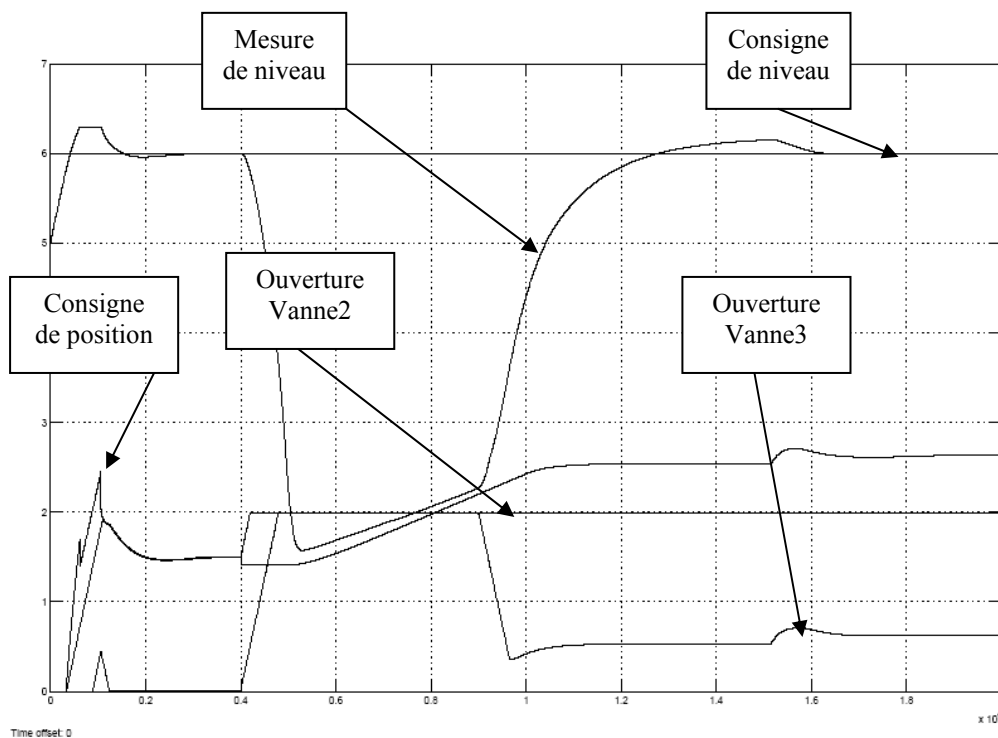


Figure 23: Evènement de type Illgraben, le régulateur a été réenclenché directement, avec une commande à priori des vannes on évite le débordement du barrage.

3.4.3 Possibilité de mesurer l'état des grilles de protection de la prise d'eau

Actuellement, il n'y a aucun moyen de détecter si ces grilles sont trop obstruées. Etant donné qu'un capteur mesurant toute la hauteur d'eau ne peut être installé seulement dans le bassin avant la prise d'eau, on pourrait alors mesurer la différence de niveau entre l'ancien capteur (après les grilles) et le nouveau (avant les grilles) et en déduire l'état des grilles. Cela permettrait une automatisation optimale de la dégrilleuse automatique.

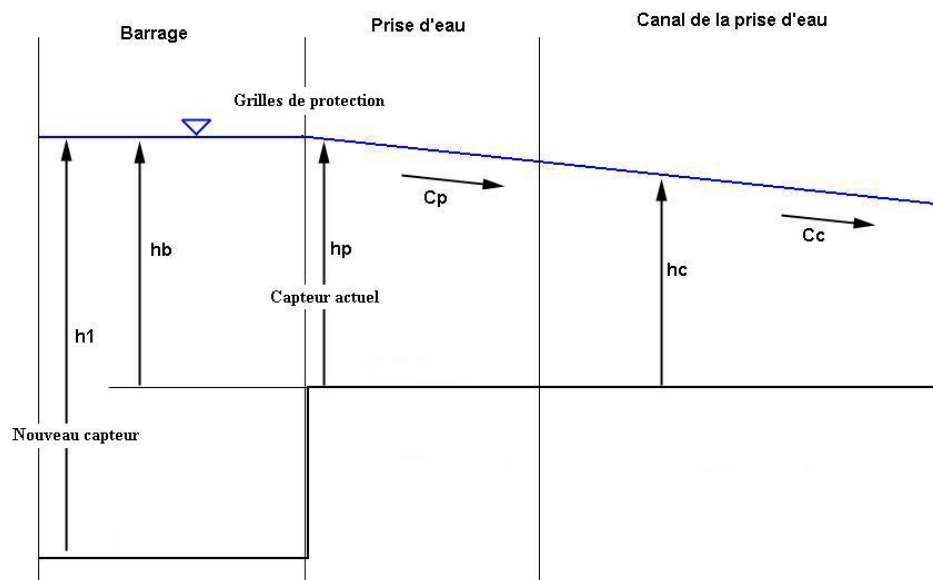


Figure 24: Schéma de la prise d'eau

En résumé, l'installation d'un nouveau capteur pourrait faciliter la gestion du barrage, surtout dans l'optique de le gérer à distance.

4 Implémentation de l'automate Siemens et du superviseur Citect

Dans le système actuel, l'automate récupère toutes les mesures du barrage et du lac (niveau, position des vannes, température de l'eau etc...) et traite les informations. Les mesures de niveau du lac et de position de la vanne réglante sont transmises aux régulateurs de niveau et de position. Ce dernier retransmet à l'automate le signal de commande de la vanne réglante. La consigne de niveau est définie sur le régulateur de niveau. Ces deux régulateurs doivent être intégrés dans l'automate. On aura donc plus de retransmission des signaux de mesure et la consigne sera fixée par l'intermédiaire du superviseur.

4.1 Implémentation du superviseur (Citect)

Lorsque le superviseur a été mis en service, il a été prévu qu'un jour la consigne de niveau devra être donnée à distance et une variable a été définie. Il faut donc juste afficher cette variable et pouvoir la modifier.

4.1.1 Affichage de la consigne

Actuellement, le capteur mesure le dernier mètre sous le niveau maximum. La mesure et la consigne sont donc données en cm de 0 à 100, où 0 cm représente un niveau d'eau de 5.2 m et 100 cm un niveau de 6.2 m. Il a été discuté avec les responsables de l'installation qu'il serait plus pratique d'afficher directement le niveau d'eau du lac en mètre avec une précision d'1 cm.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

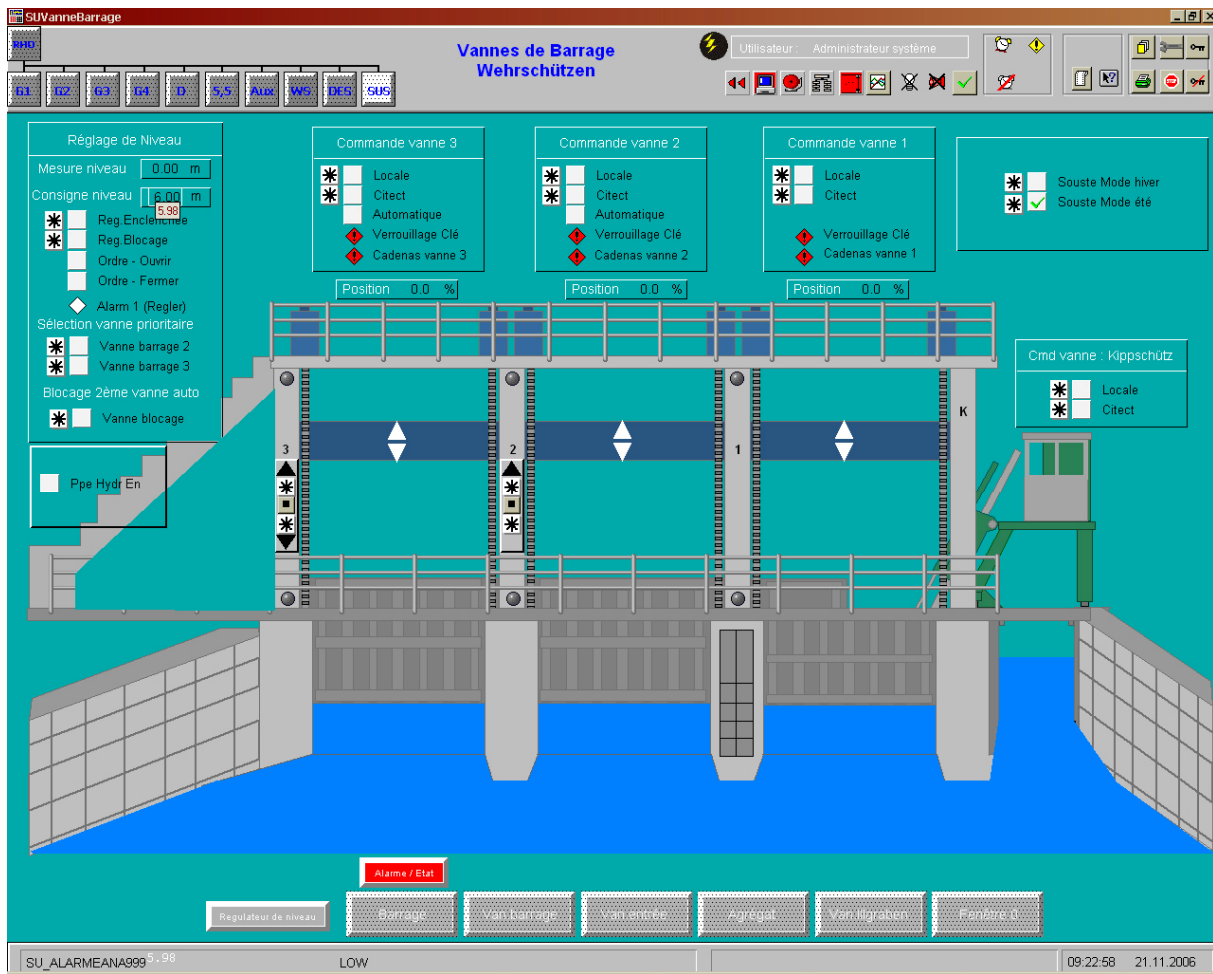


Figure 25: Affichage et modification de la consigne de niveau

Remarque : Avec le capteur actuel, lorsque le niveau indiqué est de 5.2 m, l'opérateur ne sait pas si la hauteur d'eau est bien de 5.2 m ou de 0 m !

4.1.2 Modifier la consigne

Pour modifier la consigne, l'opérateur doit positionner le curseur de la souris sur la valeur affichée de la consigne, rentrer la nouvelle valeur au clavier puis presser la touche Enter, s'il a les droits pour modifier la consigne, la nouvelle valeur sera affichée, sinon un message lui indiquera : « privilèges insuffisants. »

Remarque : actuellement la consigne est modifiable au millimètre, mais un réglage au centimètre suffi (mail de J-M Bosco du 25.10.2006).

4.1.3 Droits d'accès

Le superviseur permet l'utilisation de plusieurs utilisateurs avec des droits d'accès différents, ils sont cités ci-dessous dans l'ordre croissant de leurs privilèges :

- Visiteur
- Opérateur sans commande
- Opérateur avec commande
- Opérateur maintenance
- Opérateur supérieur
- Opérateur système

La consigne de niveau doit pouvoir être modifiée par un opérateur avec commande, tous ceux qui se situent en-dessus peuvent également la changer.



Figure 26: Message d'erreur lorsque l'opérateur n'a pas les droits pour modifier la variable

4.1.4 Régulateur de niveau

Une page a été rajoutée pour le régulateur de niveau, celle-ci permet de modifier les coefficients du régulateur (coefficient proportionnel, constante de temps intégratrice et dérivative). La manière de procéder à une modification de ces paramètres est la même que celle décrite pour modifier la consigne au point 4.1.2, à la différence qu'il faut ici avoir des droits d'opérateur système.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

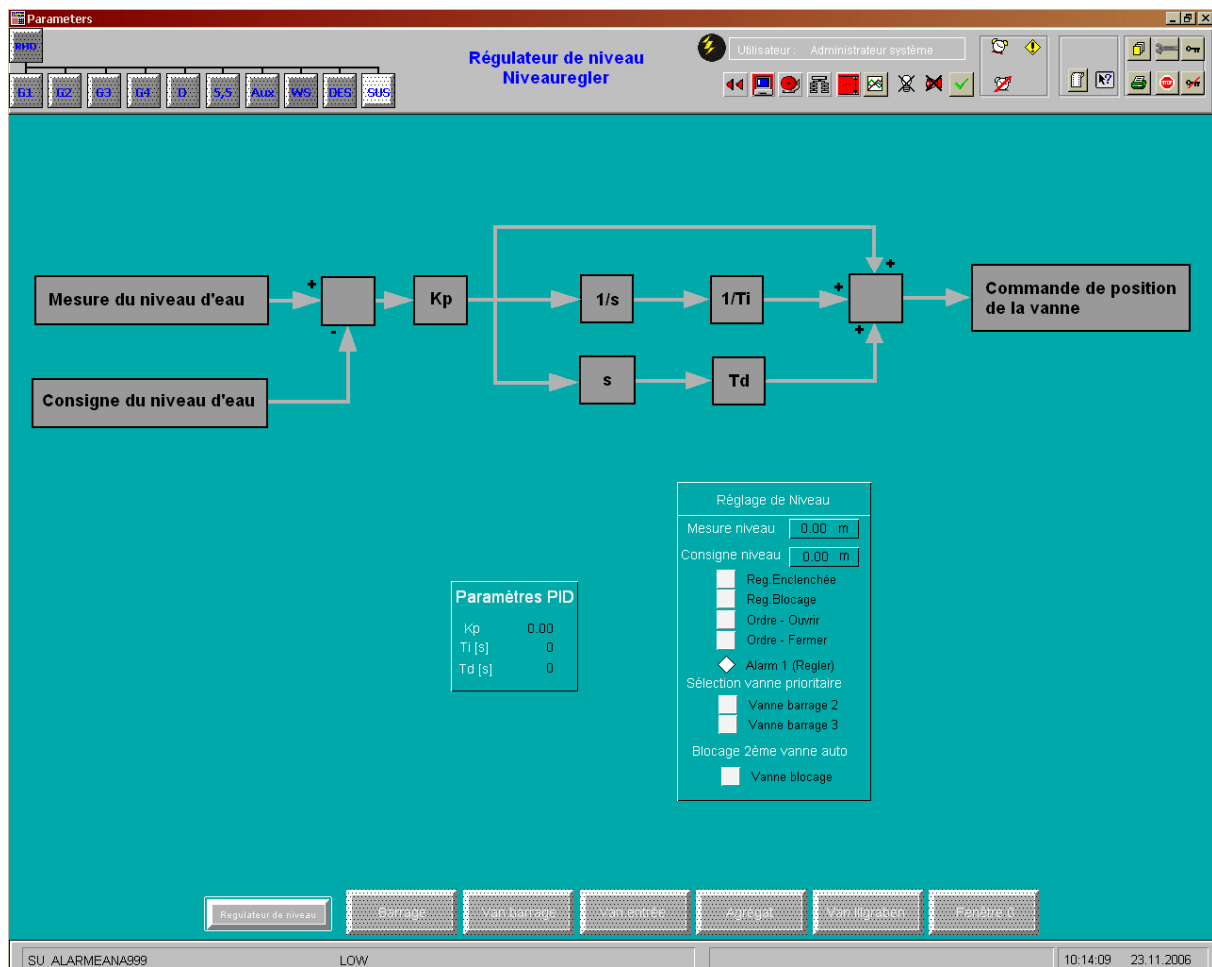


Figure 27: Affichage des paramètres du régulateur de niveau PID et modification du terme D

Cette page pourrait aussi servir à faire des statistiques afin d'améliorer la régulation. (Ex : calcul de l'erreur moyenne sur un temps défini...)

Une nouvelle variable a du être définie dans le superviseur pour chaque paramètre du régulateur, cette variable accède en lecture et en écriture à l'adresse correspondante dans la mémoire de l'automate.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

Définition d'une variable :

Les paramètres principaux à donner à une variable sont :

- Son nom
- Son type (Booléen, entier, réel...)
- Son emplacement dans la mémoire de l'automate Siemens

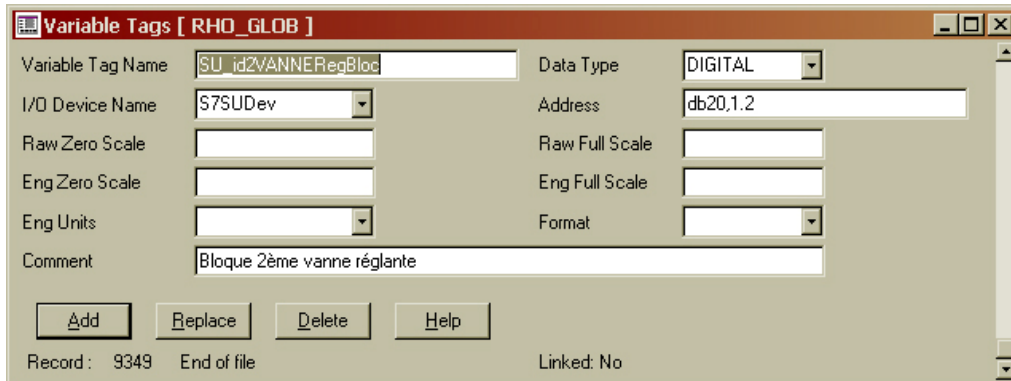


Figure 28: Définition d'une variable dans le superviseur

L'accès à la page du régulateur se fait depuis n'importe quelle page concernant les installations de la Souste en cliquant sur le bouton régulateur qui se trouve en bas à gauche de chaque page.

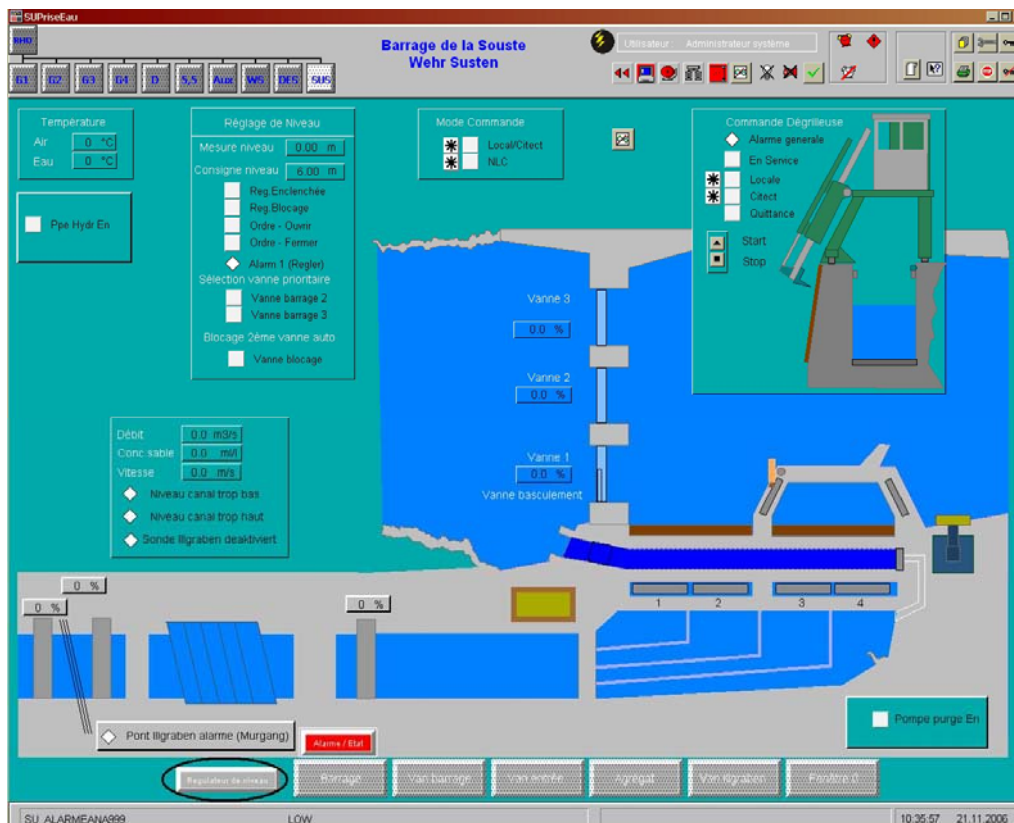


Figure 29: Bouton pour accéder à la page des paramètres du régulateur

4.1.5 Sélection de la vanne réglante

On peut choisir la vanne qui règle le niveau en priorité (vanne 2 ou vanne 3). Une autre option permet de bloquer la 2^{ème} vanne pour que le réglage ne commute pas automatiquement lors de travaux d'entretien. Une alarme (Alarm1) indique lorsque la vanne réglante arrive en saturation (complètement ouverte). Ces paramètres peuvent être modifiés uniquement depuis la page s'occupant de la gestion des vannes du barrage (figure x).

4.1.6 Mémorisation des signaux

A la demande du mandant, plusieurs signaux ont été mémorisés et peuvent être visualisés sous forme de TRENDS depuis le superviseur, cela permettra d'affiner la régulation.

Figure 30: Définition d'un TRENDS

Signaux mémorisés :

- Consigne de niveau
- Composantes proportionnelle, intégratrice et dérivative du régulateur

Remarque : Les signaux de mesure du niveau, de la position des vannes etc sont déjà mémorisés en TRENDS.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

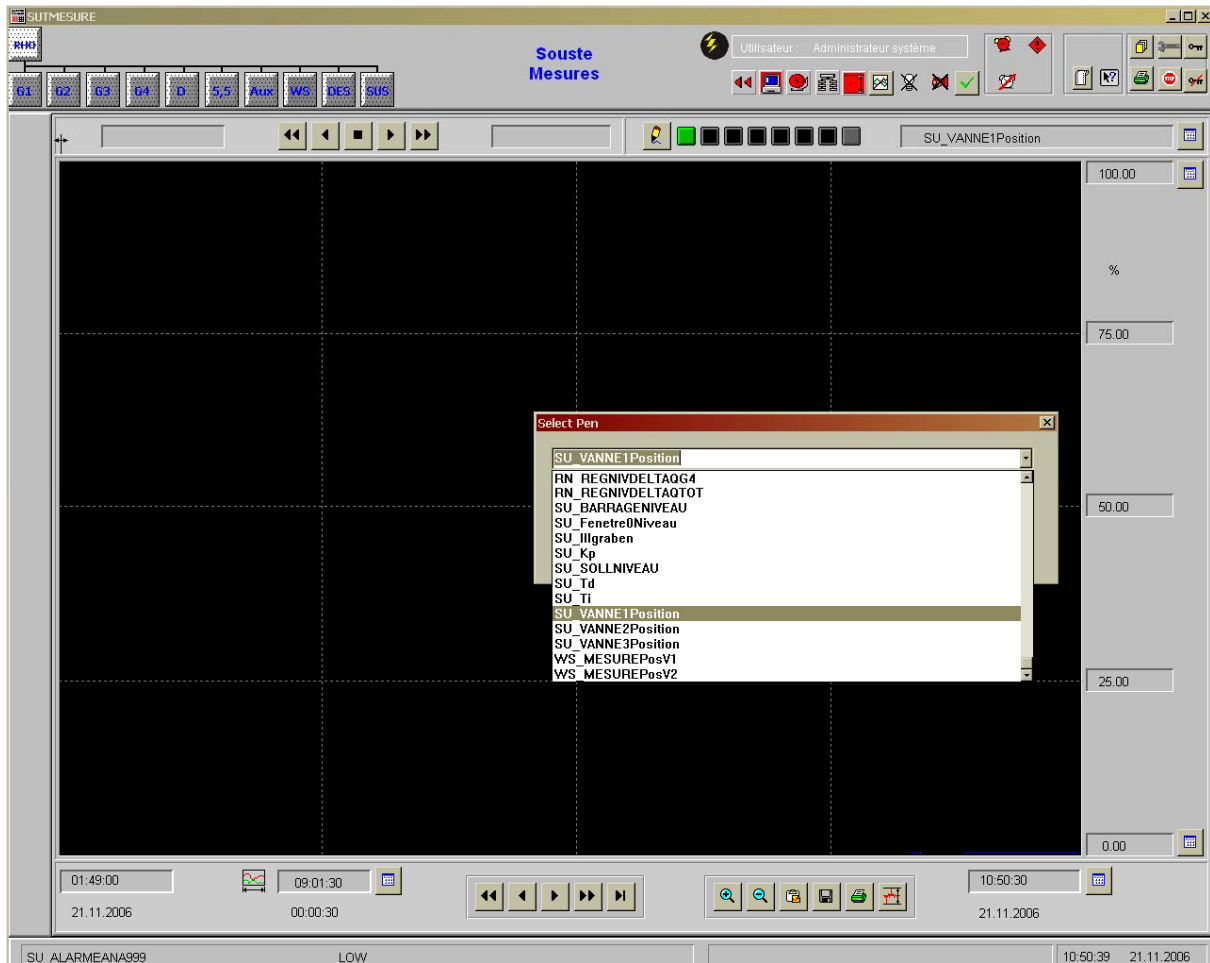


Figure 31: Affichage des différents TRENDS

4.2 Implémentation de l'automate Siemens

Pour implémenter les fonctions supplémentaires au programme existant, il a fallu décortiquer ce dernier afin de le comprendre et de ne pas modifier la bonne marche de ses fonctions.

4.2.1 Structure actuel du programme de l'automate

Les étapes effectuées par le programme sont les suivantes :

- 1) Acquisition des ordres donnés dans le superviseur.
- 2) Gestion général du barrage : affichage température de l'air et de l'eau, gestion des modes été/hiver.
- 3) Gestion du mode des vannes : Plusieurs modes disponibles :

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

- 4) Mode manuel : la vanne est commandée localement par l'opérateur.
- 5) Mode Citect : la vanne est commandée à distance par l'opérateur via le superviseur.
- 6) Mode automatique : La vanne est branchée sur le régulateur de niveau. (disponible uniquement pour la vanne 2 ou la vanne 3)
- 7) Contrôle et commande des trois vannes du barrage (un bloc par vanne) : Ouvrir et fermer les vannes selon l'ordre de l'opérateur et le mode de fonctionnement, mettre à l'échelle la position, générer des alarmes.
- 8) Contrôle et commande des quatre vannes d'entrée de la prise d'eau (un bloc par vanne)
- 9) Gestion et contrôle du canal des déchets et du déversoir.
- 10) Contrôle et commande des pompes hydrauliques.
- 11) Gestion du régulateur de niveau du barrage : Traitement de la valeur de mesure du niveau du barrage et copie de la position de la vanne réglante sur le régulateur de position ainsi que du niveau d'eau sur le régulateur de niveau. Ce bloc donne également l'ordre d'ouvrir la 2^{ème} vanne lorsque la vanne réglante est saturée.
- 12) Contrôle de la dégrilleuse.
- 13) Contrôle de la fenêtre « 0 ».
- 14) Contrôle de l'Illgraben.
- 15) Copie des commandes générées sur les sorties de l'automate.
- 16) Modification du programme de l'automate

Le programme actuel de l'automate a entièrement été repris et modifié. Certaines fonctions (les régulateurs de niveau et de position) ont été rajoutées. La structure du programme reste la même. Les modifications sont les suivantes :

4.2.2 Acquisition des signaux de mesures

Les mesures nécessaires à la régulation du niveau (niveau du lac et position de la vanne réglante) étaient redirigées sur des sorties analogiques de l'automate. Le nouveau régulateur étant interne, il faut mémoriser ces signaux et supprimer la retransmission vers les sorties de l'automate. Pour pouvoir être utilisés par le régulateur, ces signaux sont convertis dans la grandeur physique qu'il représente (mise à l'échelle).

Exemple de mise à l'échelle : Mesure de température

Signal d'entrée sur l'automate : signal analogique de 0 V à 10 V (0 V = 0°C et 10 V = 100°C)
Ce signal est converti par l'interface d'entrée en un nombre entier compris entre 0 et 27648.
Une fonction permet ensuite de rapporter cet entier à la valeur physique mesurée. (0 = 0°C et 27648 = 100°C)

4.2.3 Mise à l'échelle des signaux

4.2.3.1 Niveau du barrage

Le capteur mesurant la plage se situant 1m sous le niveau maximum, la valeur physique se trouvera entre 5.2 m et 6.2 m. Lorsque le niveau dépasse ces limites, la valeur de mesure est celle de la limite la plus proche.

4.2.3.2 Position de la vanne

La mise à l'échelle de la position des vannes se fait entre 0% et 100% (représente l'ouverture de la vanne en %). Comme le régulateur de position travaille en mètre, le signal est mis à l'échelle 0 m - 2 m avant le régulateur (représente l'ouverture de la vanne en mètre). Pour le reste du programme, la plage de mesure 0%-100% est conservée pour ne pas devoir modifier la partie de la gestion des vannes, de leurs alarmes et de l'affichage de leurs positions.

4.2.4 Régulation du niveau

Comme vu au chapitre 2.1.3, cette régulation est composée de deux régulateurs cascades, soit un régulateur de niveau et un régulateur de position. Le régulateur de niveau donne une consigne de position à une des deux vannes utilisées. Les vannes peuvent s'ouvrir de 2 mètre, la consigne de position est donc comprise entre 0 et 4 m (l'ouverture maximale totalisée des deux vannes). Lorsque le régulateur doit utiliser la 2^{ème} vanne, il faut alors soustraire 2 m à la consigne de position pour qu'elle corresponde à la hauteur réelle de la vanne.

Exemple : La consigne est de 3 m, la 1^{ère} vanne est complètement ouverte, la consigne à donner à la 2^{ème} vanne est de 1 m.

4.2.4.1 Régulateur de niveau

Le régulateur utilisé est de type PID (bloc FB41). Ce bloc récupère la consigne donnée dans le superviseur, la hauteur d'eau mesurée et donne la consigne de position au régulateur de position de la vanne. Les paramètres calculés au chapitre 3.3.3 (gain proportionnel, constante de temps d'intégration et dérivative) peuvent également être modifiés depuis le superviseur.

Ce régulateur doit être appelé avec une période d'échantillonnage fixe, il doit donc impérativement se trouver dans un OB cyclique (Bloc appelé avec une période précise). Dans la CPU utilisée, il y a un seul OB cyclique disponible et il est utilisé avec une période de 20ms. Ceci étant trop rapide, il faut appeler le bloc du régulateur après plusieurs passages dans cet OB. La période d'appel a été choisie à 1s, ce qui représente 50 passages dans l'OB. Cette période a été fixée à 1 s car le process du barrage a une constante de temps beaucoup plus grande et ne nécessite donc pas un régulateur très rapide. De plus, une période d'échantillonnage très faible peut amener à des oscillations du signal de commande.

Important : Lorsque le signal de commande de position de la vanne arrive à son maximum (4 mètres), il est important de bloquer la composante intégratrice du PID de niveau pour éviter qu'il ne continue d'intégrer et tende vers l'infini. Le bloc de régulation FB41 comporte une entrée qui permet de bloquer l'intégrateur.

La configuration complète de ce bloc se trouve en Annexe 3.

4.2.4.2 Régulateur de position

Ce régulateur reçoit la mesure de position de la vanne réglante, la consigne de position donnée par le régulateur de niveau et génère deux commandes :

- Ouvrir la vanne réglante.
- Fermer la vanne réglante.
- Vanne immobile

Cela donne un régulateur à trois états (voir Figure 9).

Remarque : Les paramètres cités au point 2.2.2.2 ont été optimisés lors des tests, les valeurs finales sont les suivantes :

- Point de commutation supérieur : 2.5 cm
- Point de commutation inférieur : -2.5 cm
- Hystérèse : ± 2.5 cm

4.2.5 Commande des vannes

Comme discuté avec les responsables de l'installation, le plus simple d'utilisation est de faire commuter le régulateur sur la 2^{ème} vanne une fois la 1^{ère} vanne complètement ouverte. La manière la plus simple de réaliser cette fonction est d'intervenir dans la gestion du mode des vannes.

Il faut rajouter sur les vannes 2 et 3 une condition qui fait passer en mode automatique la 2^{ème} vanne lorsque la 1^{ère} est saturée. Il faut également une condition qui fasse sortir la 2^{ème} vanne du mode automatique lorsqu'elle se referme complètement.

Exemple :

Conditions supplémentaires nécessaires au passage en mode automatique de la vanne 2 :

- Vanne 3 prioritaire pour le régulateur.
- Vanne 3 complètement ouverte.
- Commande d'ouverture donnée par le régulateur.

Conditions supplémentaires nécessaires de la vanne 2 pour sortir du mode automatique :

- Vanne 3 prioritaire pour le régulateur.
- Vanne 2 complètement fermée.
- Commande de fermeture donnée par le régulateur.

Il faut également rajouter un bloc qui génère les alarmes sur les vannes 2 et 3 (complètement ouverte ou fermée). Ce bloc est implémenté avec des comparateurs.

Exemple :

Alarme1Vanne2 = 1 lorsque la position de la vanne 2 est plus grande que 98%.

Remarque : L'alarme de saturation d'une vanne était de 98% de son ouverture maximale sur l'ancien régulateur, cette valeur a été reprise ici.

5 Tests des fonctions implémentées dans l'automate et le superviseur

Pour tester les deux parties modifiées (superviseur et automate), il faut dans un premier temps vérifier le bon fonctionnement de chaque organe individuellement. Une fois leur fonctionnement validé, on peut les faire communiquer et vérifier que le transfert d'information est correct. La phase finale de ces tests sera de simuler le barrage avec Matlab et de le commander avec le superviseur et l'automate.

5.1 Tests de l'automate

On peut diviser les tests du programme de l'automate en deux parties, la première est réalisée avec le simulateur d'automate S7-PLCSIM. Celui-ci permet de forcer les entrées (analogiques ou digitales) de l'automate, de forcer et de visualiser les variables du programme et de visualiser les sorties. Le gros avantage de cette méthode est qu'elle ne nécessite aucun matériel, tout est effectué de manière software. Elle est par contre d'aucune utilité pour tester la dynamique d'un système, car les variations sur les entrées ne peuvent pas être programmées, se sont des valeurs rentrées manuellement dans le simulateur. La deuxième partie des tests consiste à tester cette dynamique. La méthode consiste à simuler le process avec Matlab Simulink en temps réel et de le commander avec l'automate via une carte d'acquisition.

5.1.1 Simulation de l'automate

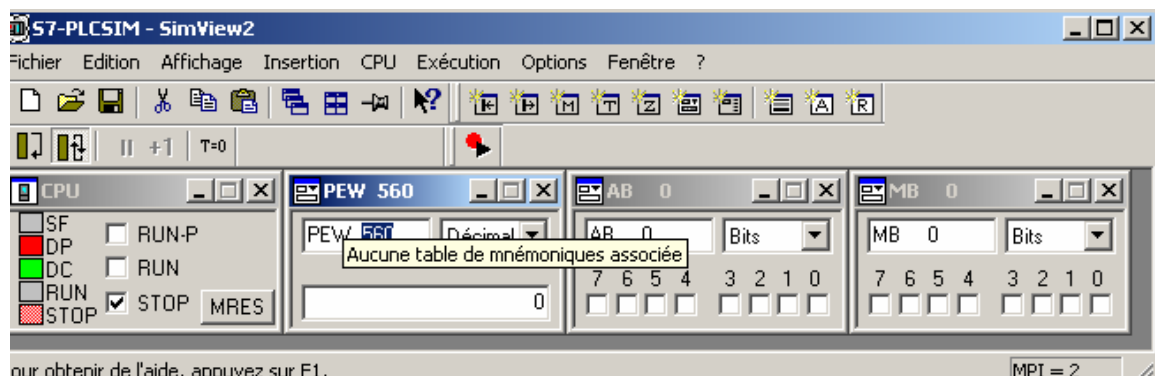


Figure 32: Simulateur d'automate S7-PLCSIM

Méthode :

Pour les variables digitales, il suffit de mettre le bit voulu à « 0 » ou « 1 » en cochant ou décochant la case correspondante. Pour les valeurs analogiques, elles varient entre 0 et 27648 et sont mises à l'échelle dans le programme (voir chapitre 4.2.3).

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

Tests :

Tous les tests qui suivent consistent à vérifier si les fonctions de base du programme fonctionnent correctement pour pouvoir commencer les tests sur la dynamique du système sur une base correcte.

Alarme :

Alarme vanne 2 complètement ouverte (position > 98%)	OK
Alarme vanne 2 complètement fermée (position = 0%)	OK
Alarme vanne 3 complètement ouverte (position > 98%)	OK
Alarme vanne 3 complètement fermée (position = 0%)	OK
Alarm1 active si une des vanne 2 ou 3 est complètement ouverte	OK

Mode des vannes (manuel, Citect) :

Vanne 2, enclenchement du mode manuel. OK

Ordre du Citect : - Vanne2SetModeManuel =1

2.2. Vanne 2, enclenchement du mode Citect. OK

Ordre du Citect : - Vanne2SetModeCitect =1

Vanne 3, enclenchement du mode manuel. OK

Ordre du Citect : - Vanne3SetModeManuel =1

2.4. Vanne 3, enclenchement du mode Citect. OK

Ordre du Citect : - Vanne3SetModeCitect =1

Mode automatique des vannes 2 et 3.

3.1. Vanne 2, enclenchement du mode automatique. OK

Ordre du Citect :
- RegNIVEnService =1
- RegulaSelectV2 =1

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

3.2.. Vanne 3, enclenchement du mode automatique. OK

Ordre du Citect : - RegNIVEnService =1
- RegulaSelectV3 =1

Remarque : Ces deux états ne sont plus valables lorsque les vannes sont saturées.

Commutation du mode automatique en cas de saturation d'une vanne :

4.1. Commutation du réglage de la vanne 2 à la vanne 3
lorsque la vanne 2 est prioritaire. OK

Conditions: - Vanne 2 saturée (Vanne2Alarm1 =1)
- RegulaSelectV2 = 1
- Commande d'ouverture donnée par le régulateur

4.2 Commutation du réglage de la vanne 3 à la vanne 2
lorsque la vanne 2 est prioritaire. OK

Conditions : - Vanne 3 complètement fermée (Vanne3Alarm0 = 1)
- RegulaSelectV2 = 1
- Commande de fermeture donnée par le régulateur

4.3. Commutation du réglage de la vanne 3 à la vanne 2
lorsque la vanne 3 est prioritaire. OK

Conditions: - Vanne 3 saturée (Vanne3Alarm1 =1)
- RegulaSelectV3 = 1
- Commande d'ouverture donnée par le régulateur

4.4 Commutation du réglage de la vanne 2 à la vanne 3
lorsque la vanne 3 est prioritaire. OK

Conditions : - Vanne 2 complètement fermée (Vanne2Alarm0 = 1)
- RegulaSelectV3 = 1
- Commande de fermeture donnée par le régulateur

Régulateur :

5.1. Régulateur donne l'ordre de fermer la vanne. OK

Conditions : - Consigne plus grande que le niveau

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

5.5. Régulateur donne l'ordre d'ouvrir la vanne. OK

Conditions : - Consigne plus petite que le niveau

Remarque : La dynamique du régulateur ne peut pas être testée dans ce programme.

Blocage de la régulation

6.1. Les vannes 2 et 3 sortent du mode automatique OK

Ordre du Citect : - REGNIVBlocage = 1

5.1.2 Tests de l'automate avec le process simulé dans Matlab Simulink

Fonctionnement global :

Les signaux nécessaires à la régulation du niveau donnés par les capteurs du barrage modélisé sont envoyés par la carte d'acquisition vers l'automate. Celui-ci renvoie les commandes au modèle. Dans Matlab Simulink, des blocs d'entrées/sorties analogiques ou digitales sont disponibles dans la librairie Real Time Windows Target. Il faut ensuite configurer les paramètres de la simulation en temps réel et compiler la simulation. Cette compilation génère un code C qui peut être lancé depuis Simulink. On peut ensuite suivre et mémoriser l'évolution des signaux avec un « scope ».

Plusieurs problèmes ont été rencontrés pour effectuer ces tests :

- La configuration matérielle de l'automate disponible diffère fortement de celle de l'automate en place à la Souste, il a donc fallu adapter le programme à cette configuration matérielle sans altérer ses fonctions.
- La simulation s'effectue en temps réel et je n'ai pas trouvé le moyen de mémoriser plus de 1000 points dans Matlab Simulink (correspond à 1 s). Pour avoir une simulation qui dure plus que 1000 secondes (environ 16 minutes) la vitesse de simulation a été multipliée par dix. Les paramètres à changer sont les suivants :

Process :

Ajouter un gain de facteur 10 à chaque intégrateur (intègre 10 fois plus vite).

Régulateur :

Diviser toutes les constantes de temps par 10.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

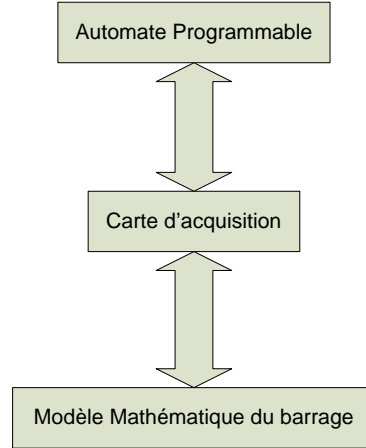


Figure 33: Communication entre Matlab et l'automate

Tests :

Dans cette phase de test, le superviseur (interface homme-machine) est remplacé par le programme STEP7 qui permet de visualiser et de forcer certaines variables. Une table permet de commander l'automate on-line.

	Opérande	Mnémonique	Format d'affichage	Valeur d'état	Valeur de forçage
38	DB10.DBX 1.5	"dbInputDigital".imVANNE2VerrouCle	BOOLEEN	true	true
39	DB10.DBX 2.4	"dbInputDigital".imVANNE3Cadenas	BOOLEEN	true	true
40	DB10.DBX 2.5	"dbInputDigital".imVANNE3VerrouCle	BOOLEEN	true	true
41	DB20.DBD 24	"dbCitect-Siemens".ipREGNIVSolINiveau	VIRGULE_FLOTTANTE	6.0	6.0
42	DB250.DBD 0	"dbRegNiveau".P	VIRGULE_FLOTTANTE	-3.8	-3.8
43	DB250.DBD 4	"dbRegNiveau".I	DEC	L#47	L#47
44	DB250.DBD 8	"dbRegNiveau".D	DEC	L#8	L#8
45	DB11.DBD 12	"dbMesuresAI".ipREGNIVNiveauBarrage	VIRGULE_FLOTTANTE	5.992535	
46	DB10.DBX 26.2	"dbInputDigital".amBARRAGIIVanneOuvrir	BOOLEEN	false	false

Figure 34: Table de forçage et de visualisation des variables de l'automate

5.1.2.1 Régulation de niveau avec deux vannes (vanne 2 et 3)

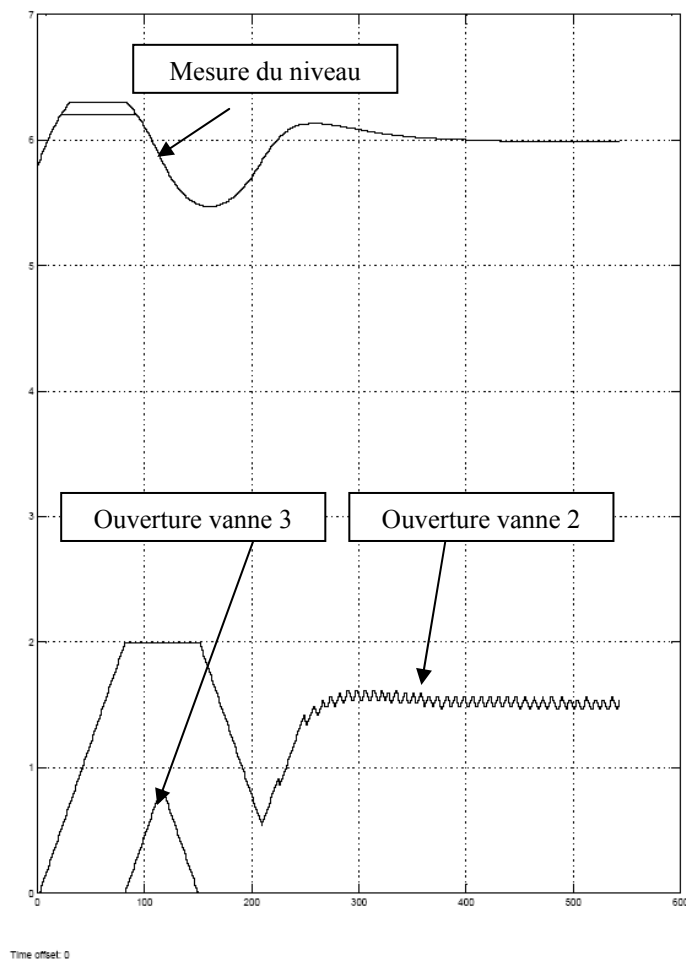


Figure 35: Régulation de niveau avec l'automate avec un débit d'entrée du Rhône de $200\text{m}^3/\text{s}$ (consigne de niveau = 6m)

Une forte oscillation de la vanne est visible sur la figure Figure 35. Trois choses ont été réalisées pour diminuer ces oscillations :

a) Modification des paramètres du régulateur de position

Voir chapitre 4.2.4.2.

b) Blocage de la composante intégratrice du régulateur de niveau lorsque l'erreur est petite.

Selon le cahier des charges, le niveau peut avoir une erreur de $\pm 5\text{cm}$ par rapport à la consigne. Lorsqu'il est dans cette plage, l'erreur statique qui subsiste est intégrée par la composante I du régulateur de niveau et il commande la vanne pour compenser cette erreur. L'intégrateur doit donc être bloqué lorsqu'il travaille dans cette plage.

c) Filtrage de la consigne de position

La consigne de position des vannes évolue à chaque calcul de l'algorithme PID (chaque seconde). Comme la constante de temps des vannes est beaucoup plus grande, il est judicieux de filtrer cette consigne. La constante de temps du filtre doit être environ 10 fois plus petite que la constante de temps dérivative du PID de niveau pour ne pas supprimer son effet de prévision. Ce filtre peut être facilement réalisé numériquement avec les deux équations suivantes :

$$Rate = \frac{-Sampl_T}{F_Tau}$$

$$FiltOut = FiltOut * (e^{Rate}) + RawValue * (1 - e^{Rate})$$

Où :

Sampl_T = Période du filtre

F_Tau = Période d'échantillonnage du filtre

FiltOut = Sortie du filtre

RawValue = Valeur d'entrée du filtre

La période d'échantillonnage du filtre est la même que celle du régulateur PID de niveau (1 seconde) et la période du filtre a été fixée à 10 secondes.

Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste

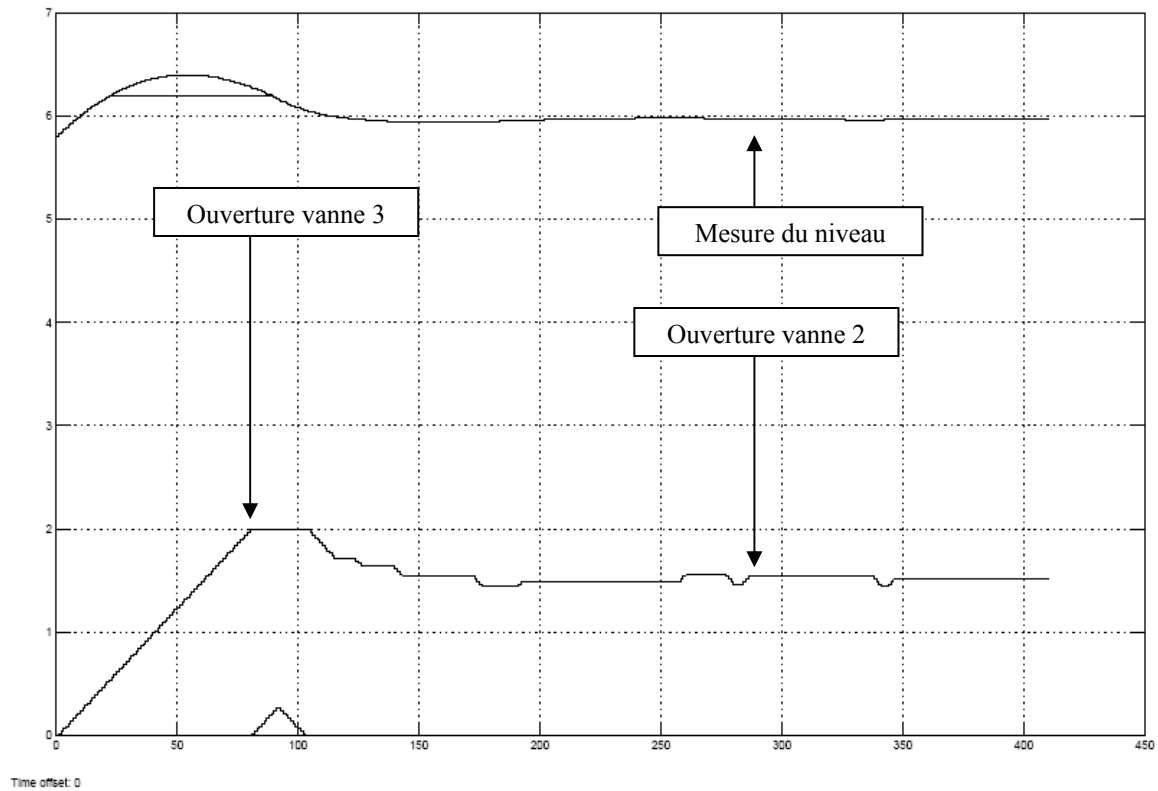


Figure 36: Régulation de niveau avec l'automate avec un débit d'entrée du Rhône de $200\text{m}^3/\text{s}$ et les améliorations citées ci-dessus (consigne de niveau = 6m)

5.1.2.2 Régulation de niveau avec la 2^{ème} vanne bloquée

On voit très bien sur la Figure 37 que lorsque la 1^{ère} vanne est saturée la 2^{ème} ne s'ouvre pas.

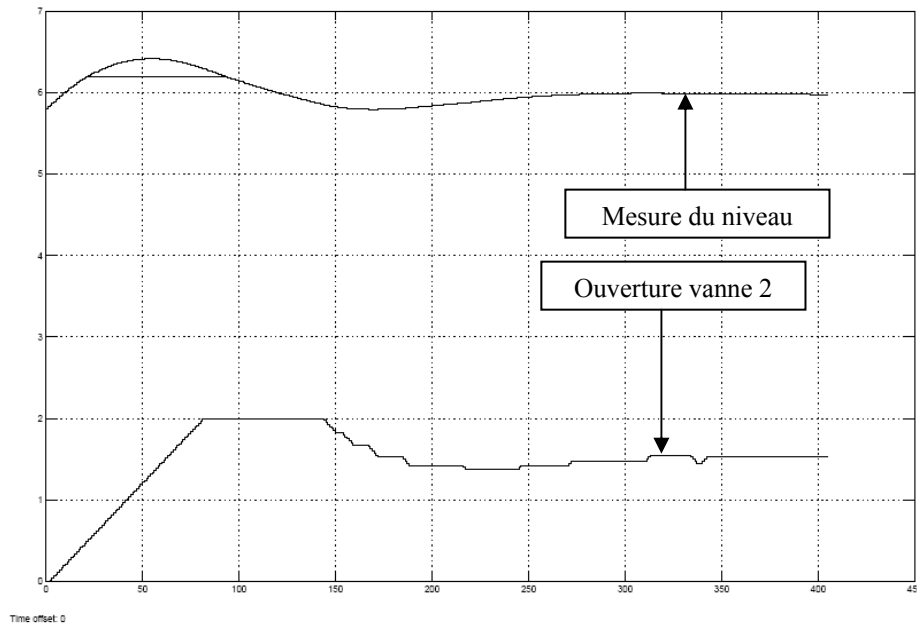


Figure 37: Régulation de niveau avec la 2^{ème} vanne bloquée et un débit de 200m³/s (consigne de niveau = 6m)

Remarque : Les fonctions de commutations et de blocage du réglage entre les vannes 2 et 3 ont été testées dans les deux sens mais ne sont présentées qu'une fois ici pour des raisons de convivialité.

5.2 Tests du superviseur

Ces tests sont divisibles en deux parties. Dans la première, le superviseur fonctionnera tout seul sans liaison avec l'automate, cela permettra de voir si les fonctions implémentées sont correctes. La deuxième partie de ces tests consiste en un test complet de toute l'installation, avec le superviseur qui commande l'automate et ce dernier gère le process du barrage.

5.2.1 Tests Off-line

Modification de la consigne :

Seuls les utilisateurs avec des droits supérieurs à celui d'opérateur avec commande peuvent la modifier. OK

Enclenchement et blocage de la régulation :

Les droits d'accès à ses fonctions n'ont pas été modifiés, un simple opérateur peut les modifier. OK

Choix de la vanne prioritaire et blocage de la 2^{ème} vanne :

Les droits d'accès ont également été repris de l'ancien programme, il faut avoir des droits d'opérateur avec maintenance pour pouvoir modifier ces paramètres.

Modification des paramètres du régulateur :

Seuls les utilisateurs avec des droits supérieurs à celui d'opérateur système peuvent les modifier. OK

Accès à la page du régulateur :

Depuis toutes les pages concernant les installations de la Souste on peut accéder à cette page en cliquant sur le bouton régulateur en bas à gauche.

5.2.2 Tests On-line

Procédure à effectuer pour la communication entre le superviseur Citect et l'automate Siemens :

5.2.2.1 Configuration du superviseur

- 1) Définir le serveur, le port et la board à utiliser.

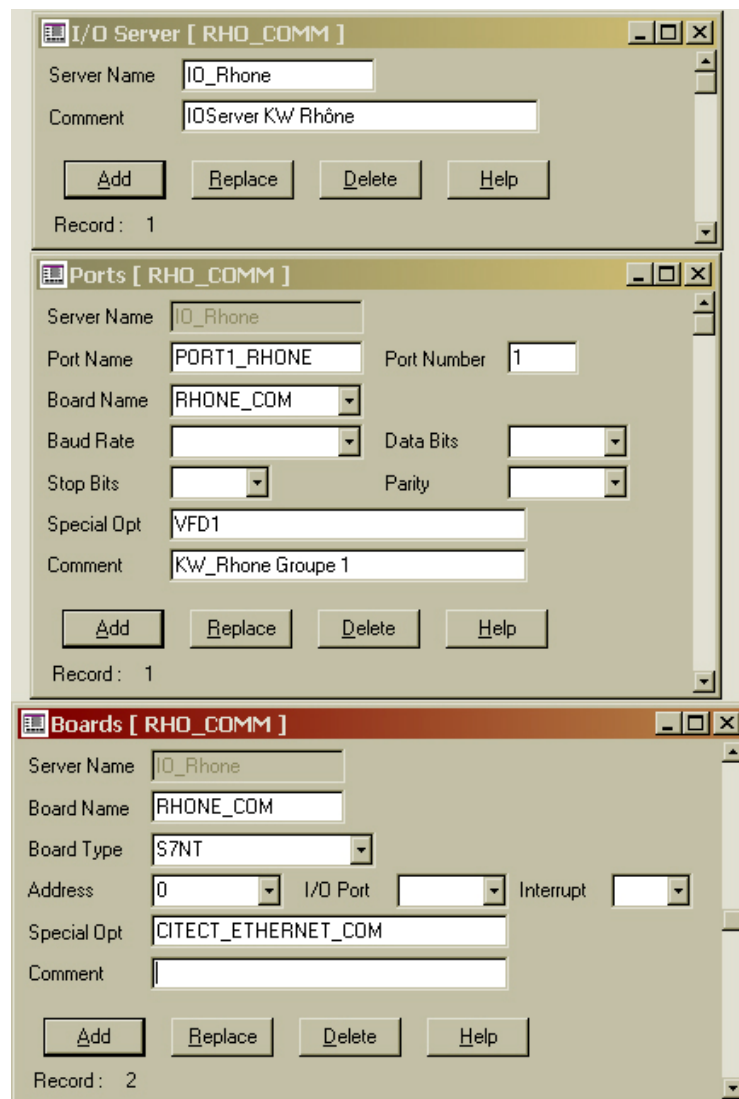


Figure 38 : Configuration de la communication du superviseur

- 2) Installer le Driver de communication S7NT servant à faire communiquer un automate Siemens S7 avec le superviseur.

5.2.2.2 Configuration de l'automate

Cette communication nécessite l'installation du programme SoftNet de Simatic. Une procédure est ensuite disponible en Annexe 5 pour la configuration d'un automate.

5.2.2.3 Problèmes de communications

Plusieurs facteurs ont fait que la communication entre le superviseur et l'automate n'a pas pu être établie.

- Version de STEP7

La version utilisée pour développer ce régulateur est la 5.4 et celle utilisée par Hydro-Exploitation est la 5.2. Cela ne pose pas de problème pour le développement mais la version 5.2 nécessite le programme SofNet de Simatic pour la communication et la 5.4 permet de réaliser cette communication sans ce programme. A priori, c'est un avantage, mais aucune documentation n'a été trouvée concernant la configuration de l'automate avec STEP7 v.5.4 pour la communication et je n'ai pas réussi à faire la liaison entre les explications de la configuration avec STEP7 v5.2 (utilisant SoftNet) et STEP7 v5.4.

- Compilation du superviseur

Lorsque le driver S7NT est installé, le superviseur ne compile pas et retourne 11 erreurs qui concernent un fichier Cicode de gestion des alarmes. Ces erreurs indiquent une taille d'array trop grande pour 11 variables différentes. Comme ce fichier n'a pas du tout été modifié et que sans le driver de communication le projet se compile et fonctionne correctement, ce phénomène reste incompris.

- Essai avec un nouveau driver

Un nouveau driver ne nécessitant pas l'utilisation du programme SoftNet existe actuellement, il s'agit de PSDIRECT. Après son installation, il a été constaté que le programme ne reconnaissait pas la CPU de l'automate, cela est peut-être dû à un problème de la configuration de la carte Ethernet de l'automate. Le délai pour ce projet arrivant à terme, je n'ai pas eu le temps d'approfondir ces essais. Ils seront toutefois continués après la remise de ce rapport.

6 Contrôle de l'analyse de risque

Une fois toutes les nouvelles fonctions implémentées, il faut vérifier qu'elles parent correctement aux risques identifiés dans l'analyse de risque. Dans ce cas, les fonctions implémentées consiste uniquement en des améliorations de fonctions existantes, l'analyse de risque reste donc la même. Toutefois, comme ces fonctions ont été intégrées dans l'automate, il serait judicieux d'effectuer une analyse de risque approfondie de celui-ci.

Les analyses fonctionnelles avant et après modifications sont disponibles en Annexe 4.

Dans la nouvelle analyse fonctionnelle, le bloc « régulateur de niveau » disparaît et les fonctions qu'il implémentait sont faites par l'automate.

7 Mise en service :

Il faut mettre à jour les programmes du superviseur et de l'automate afin de pouvoir tester les différentes fonctions implémentées. Deux paramètres permettent de faire fonctionner l'automate dans le mode actuel (avec le régulateur externe) et de tester les fonctions les unes après les autres.

7.1 Mise à jour du superviseur Citect

L'architecture d'un projet est la suivante :

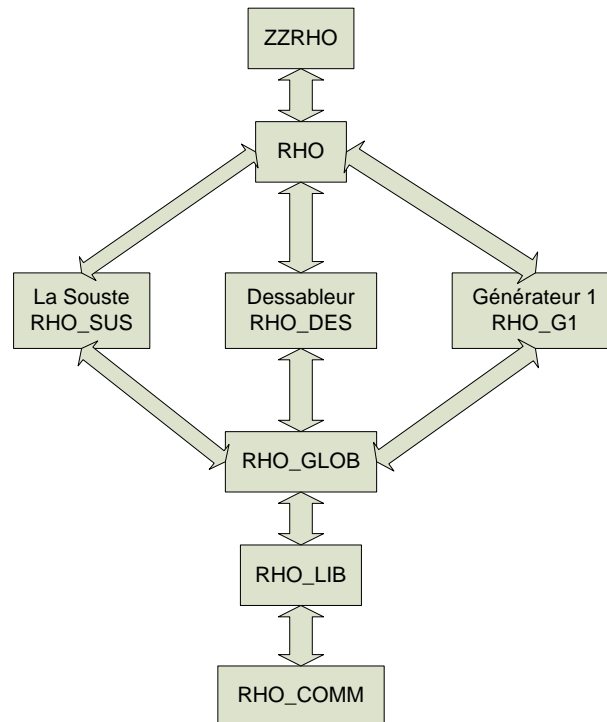


Figure 39: Architecture du Superviseur Citect

Les trois projets RHO_COMM, RHO_LIB et RHO_GLOB s'occupe de l'acquisition et de la mémorisation des variables nécessaires aux projets se situant au dessus. Ensuite chaque installation a son projet où ses propres pages et algorithmes sont définis. En dernier, deux projets s'occupent de la supervision générale entre les projets des différentes installations.

Les projets modifiés, donc à mettre à jour, sont :

- **RHO_GLOB** : ce projet gère toutes les variables, les trends et les fonctions de bases des projets, des variables et des trends ont été ajoutés dans ce projet.
- **RHO_SUS** : ce projet supervise l'installation du barrage de la Souste, la supervision du régulateur de niveau a été rajoutée dans ce projet.

Remarque : La version du Citect utilisée pour développer ces modifications est la n°6. Sur les installations, il tourne actuellement une version antérieure du superviseur. Lors du passage de l'ancienne version à la nouvelle, il faut faire une mise à jour des pages graphiques. Il faut ouvrir une page par projet pour que tout soit mis à jour. Comme les projets concernant les autres installations ont été mis à jour sans être modifiés, il est judicieux de charger tous les projets et pas seulement ceux qui ont subis des modifications.

7.2 Mise à jour de l'automate Siemens

Les blocs à chargés sont soit des blocs existants et modifiés, soit des blocs complètement nouveaux.

Blocs modifiés :

- **OB1** : Bloc d'organisation principal, toutes les fonctions sont appelées depuis ce bloc (ordre d'appel : voir chapitre 4.2.1).
- **OB35** : OB cyclique appelé avec une période de 20ms. Le régulateur PID de niveau et le filtre de la consigne de position sont implémentés dans ce bloc car ils nécessitent une période d'appel fixe.
- **FB49** : Bloc s'occupant de la gestion du mode des vannes. La fonction de commutation automatique de la régulation de niveau entre les vannes 2 et 3 a été rajoutée dans ce bloc.
- **FB50** : Bloc s'occupant de la gestion des vannes. Il a été modifié pour que la commutation automatique de la régulation fonctionne correctement.
- **FB57** : Bloc s'occupant de la gestion des signaux reçus et envoyés par le régulateur PID de niveau.
- **FB67** : Bloc gérant l'ancien régulateur, il est conservé afin de pouvoir commuter sur l'ancien système (régulateur externe à l'automate) en cas de disfonctionnement du nouveau régulateur.
- **FC40** : Régulateur de position des vannes.
- **FC100** : Compteur permettant d'appeler le régulateur PID à une période fixe d'une seconde dans l'OB35 dont la période d'appel est de 20ms.
- **FC2** : Filtre passe-bas de la consigne de position des vannes.
- **DB63** : Bloc de donnée d'instance du bloc fonctionnel FB57 (gestion du régulateur de niveau).
- **DB67** : Bloc de donnée d'instance du bloc fonctionnel FB67 (gestion de l'ancien régulateur de niveau).
- **DB100** : Bloc de donnée concernant les paramètres de mise en service du régulateur.
- **DB250** : Bloc de donnée contenant les paramètres du régulateur de niveau PID (Coefficient proportionnel, intégrateur et dérivateur).

7.3 Mise en service des nouvelles fonctions implémentées dans l'automate :

Régulateur de niveau :

La variable EnRegNiveau du DB100 permet d'enclencher ou de déclencher le nouveau régulateur de niveau. Lorsque ce dernier est déclenché, l'ancien régulateur prend le relai.

EnRegNiveau = 1 : Régulateur externe déclenché ; Régulateur interne en fonction.

Commutation automatique du réglage de niveau entre les vannes 2 et 3 :

La variable EnRegCommut du DB 100 permet d'enclencher ou de déclencher la commutation entre ces 2 vannes.

EnRegCommut = 1 : Commutation entre les vannes 2 et 3 autorisée.

La procédure de test conseillée est la suivante :

- 1) Mise à niveau du programme du superviseur Citect.
- 2) Mise à niveau du programme de l'automate.
- 3) Enclenchement du nouveau régulateur de niveau (EnRegNiveau = 1)
- 4) Vérifier que le régulateur fonctionne correctement avec la vanne 2 et la vanne 3.
- 5) Enclenchement de la commutation automatique du réglage de niveau entre les vannes 2 et 3 (EnRegCommut = 1)
- 6) Vérifier que le régulateur commute correctement lors du passage de la vanne 2 à la vanne 3 et de la vanne 3 à la vanne 2.

Une procédure de mise en service et de tests précise se trouve en Annexe 6.

8 Conclusion

Malgré le fait que la communication entre le superviseur et l'automate, je pense que le but principal de ce travail (la régulation de niveau du lac) a été atteint.

Sur le plan technique, il y aura certainement des adaptations à effectuer pour que les programmes développés fonctionnent correctement sur les installations de la Souste car analyser l'influence de chaque capteur sur un tel système serait beaucoup trop long et je n'ai pris en compte dans ce travail que les fonctions de sécurité les plus importantes. Il faudra donc tester absolument toutes les fonctions avant de déclarer ce système apte à fonctionner sans la présence d'un opérateur.

Sur le plan personnel, les tests réalisés avec l'automate contrôlant le process simulé dans Matlab m'ont rappelé que lorsqu'un système fonctionne en simulation, il ne va pas marcher correctement du premier coup sur le vrai système. En plus, ce projet m'a permis de me familiariser avec des notions qui m'étaient inconnues tel que la programmation d'automate Siemens, la supervision de ces automates et l'acquisition de données avec un PC.

La participation à des tests le printemps prochain serait un pour moi excellente opportunité de suivre un procédé de développement de la création de son cahier des charges à sa mise en service.

9 Table des figures

FIGURE 1: VUE D'ENSEMBLE DES INSTALLATIONS	4
FIGURE 2: SCHÉMA DES INSTALLATIONS (TIRÉ DU SUPERVISEUR)	5
FIGURE 3 : BOUCLE DE COMMUNICATION ENTRE LES INSTALLATIONS	6
FIGURE 4: SCHÉMA DU BARRAGE VU DE DESSUS (TIRÉ DU SUPERVISEUR)	7
FIGURE 5: SCHÉMA FONCTIONNEL DE LA RÉGULATION CASCADÉE	9
FIGURE 6: VUE DU BARRAGE ET DU TORRENT DESCENDANT DE L'ILLGRABEN.	10
FIGURE 7: MODÉLISATION D'UNE VANNE DU BARRAGE	11
FIGURE 8: LIMITATION DE LA COMPOSANTE INTÉGRATRICE DANS MATLAB SIMULINK.	12
FIGURE 9: RÉGULATEUR DE POSITION 3 ÉTATS	13
FIGURE 10: PARTAGE DE LA COMMANDE ENTRE LES 2 VANNES DANS MATLAB SIMULINK.	14
FIGURE 11: SIMULATION DU PARTAGE DE LA COMMANDE DES VANNES	14
FIGURE 12: STRUCTURE DU RÉGULATEUR ET DU SYSTÈME.	15
FIGURE 13: RÉPONSE INDICIELLE DU BARRAGE AVEC UN NIVEAU INITIAL DE 2M ET UN DÉBIT D'ENTRÉE NUL.	16
FIGURE 14: RÉPONSE INDICIEL DU BARRAGE AVEC UN NIVEAU INITIAL DE 6M, UNE OUVERTURE INITIALE DE VANNE DE 0.92M ET FINALE DE 1.92M ET UN DÉBIT D'ENTRÉE DE 150 M ³ /S.	17
FIGURE 15: TABLEAU DES VALEURS MOYENNES DES CONSTANTES DE TEMPS ET DU GAIN STATIQUE DU BARRAGE	18
FIGURE 16: MESURE DU DÉBIT DU RHÔNE À SION À LA MI-SEPTEMBRE 2006.	19
FIGURE 17: RÉGULATEUR PI CALCULÉ PAR COMPENSATION DES PÔLES (24H, KP = -0.18, TI = 1032)	21
FIGURE 18: RÉGULATEUR PI CALCULÉ PAR CHIEN-HRONES-RESWICK (24H, KP = -2.42, TI = 790)	22
FIGURE 19: RÉGULATEUR PID CALCULÉ PAR COMPENSATION DES PÔLES (24H, KP = -1.55, TI = 1574, TD = 355)	23
FIGURE 20: RÉGULATEUR PID CALCULÉ PAR CHIEN-HRONES-RESWICK (24H, KP = -3.8, TI = 475, TD= 80)	24
FIGURE 21: TABLEAU RÉCAPITULANT LA QUALITÉ ET LES COÛTS DES DIFFÉRENTS RÉGULATEURS	26
FIGURE 22: EVÈNEMENT DE TYPE ILLGRABEN, LE RÉGULATEUR A ÉTÉ RÉENCLENCHÉ DIRECTEMENT, ON A UN DÉBORDEMENT DU BARRAGE.	28
FIGURE 23: EVÈNEMENT DE TYPE ILLGRABEN, LE RÉGULATEUR A ÉTÉ RÉENCLENCHÉ DIRECTEMENT, AVEC UNE COMMANDE À PRIORI DES VANNES ON ÉVITE LE DÉBORDEMENT DU BARRAGE.	29
FIGURE 24: SCHÉMA DE LA PRISE D'EAU	30
FIGURE 25: AFFICHAGE ET MODIFICATION DE LA CONSIGNE DE NIVEAU	32
FIGURE 26: MESSAGE D'ERREUR LORSQUE L'OPÉRATEUR N'A PAS LES DROITS POUR MODIFIER LA VARIABLE	33
FIGURE 27: AFFICHAGE DES PARAMÈTRES DU RÉGULATEUR DE NIVEAU PID ET MODIFICATION DU TERME D	34
FIGURE 28: DÉFINITION D'UNE VARIABLE DANS LE SUPERVISEUR	35
FIGURE 29: BOUTON POUR ACCÉDER À LA PAGE DES PARAMÈTRES DU RÉGULATEUR	35
FIGURE 30: DÉFINITION D'UN TRENDS	36
FIGURE 31: AFFICHAGE DES DIFFÉRENTS TRENDS	37
FIGURE 32: SIMULATEUR D'AUTOMATE S7-PLCSIM	42
FIGURE 33: COMMUNICATION ENTRE MATLAB ET L'AUTOMATE	46
FIGURE 34: TABLE DE FORÇAGE ET DE VISUALISATION DES VARIABLES DE L'AUTOMATE	46
FIGURE 35: RÉGULATION DE NIVEAU AVEC L'AUTOMATE AVEC UN DÉBIT D'ENTRÉE DU RHÔNE DE 200M ³ /S (CONSIGNE DE NIVEAU = 6M)	47
FIGURE 36: RÉGULATION DE NIVEAU AVEC L'AUTOMATE AVEC UN DÉBIT D'ENTRÉE DU RHÔNE DE 200M ³ /S ET LES AMÉLIORATIONS CITÉES CI-DESSUS (CONSIGNE DE NIVEAU = 6M)	49
FIGURE 37: RÉGULATION DE NIVEAU AVEC LA 2 ^{ÈME} VANNE BLOQUÉE ET UN DÉBIT DE 200M ³ /S (CONSIGNE DE NIVEAU = 6M)	50

FIGURE 38 : CONFIGURATION DE LA COMMUNICATION DU SUPERVISEUR	52
FIGURE 39: ARCHITECTURE DU SUPERVISEUR CITECT	55

10 Références Bibliographiques

- Travail de diplôme 2005 de Vincent Maeder, Augmentation de la rentabilité de l'aménagement hydroélectrique du Rhône La Souste – Chippis.
- Travail du semestre d'été 2006 de Samuel Matthey-Doret, Régulation de niveau du lac de retenue du barrage de la Souste.

11 Annexes

- I. Tabelles pour déterminer l'ordre d'un système à partir de sa réponse indicielle
- II. Tableau avec les coefficients de tous les régulateurs calculés
- III. Paramètres du régulateur PID (Bloc FB41)
- IV. Analyses fonctionnelles
- V. Procédure d'établissement de communication entre le superviseur Citect et un automate Siemens
- VI. Procédure de tests pour la mise en service
- VII. Notice d'utilisation du régulateur