

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria |
| Herausgeber: | Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband |
| Band: | 87 (1995) |
| Heft: | 7-8 |
| Artikel: | Contrôle-commande des aménagements hydro-électriques de Verbois et du Seujet |
| Autor: | Gremaud, Michel |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-940418 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Contrôle-commande des aménagements hydro-électriques de Verbois et du Seujet

Michel Gremaud

Résumé

L'intégration des ouvrages du Seujet et de Verbois dans un schéma de régularisation et de valorisation automatiques du Léman-Rhône genevois posait des exigences particulières quant aux équipements de contrôle-commande. Pour respecter les différents règlements fédéraux de quotes extrêmes et de variation de niveaux dans des ouvrages qui seront non gardiennés, il fallait concevoir à la base un système de contrôle-commande extrêmement disponible.

L'auteur présente ici les concepts architecturaux implantés dans les deux ouvrages, les redondances de matériels et de fonctions retenues, ainsi que les stratégies de repli en cas de défaillances.

Zusammenfassung

Die Integrierung der Werke von Seujet und Verbois in ein automatisches Regulierungs- und Aufwertungsschema des Genfer See- und Rhonegebietes stellte besondere Anforderungen hinsichtlich der Leittechnik. Um die verschiedenen eidgenössischen Vorschriften für die Wasserquoten und die Pegelschwankungen in Werken, die nicht bewacht werden, einzuhalten, musste ein äusserst verfügbares Leittechniksystem erarbeitet werden.

Der Verfasser stellt hier die architektonischen Konzipierungen vor, die jeweils in den beiden Werken eingebaut wurden, die ausgewählte Redundanz von Material und Funktion sowie die Vorsichtsstrategien im Versagensfall.

Contexte du projet

Les aménagements hydro-électriques sur le Rhône et l'Arve genevois seront au nombre de cinq à l'aube des années 2000, et seront non-gardiennés. Ces ouvrages, qui seront répartis dans un rayon d'une quinzaine de kilomètres, seront supervisés depuis un Centre de Gestion Hydraulique (CGH) implanté sur le site de Verbois.

L'aménagement de Verbois, avec ses quatre groupes et quatre passes, allait subir en premier un programme de réhabilitation majeur (augmentation de puissance des machines, rénovation des passes, etc.), s'étalant sur quatre ans, à commencer en 1990. Les équipements de contrôle-commande existants, en logique câblée, dataient de 1969, ils étaient donc candidats à remplacement total. Les études de conception du système futur étaient mandatées en 1986 et le constructeur sélectionné en 1988.

L'aménagement du Seujet, ouvrage-clé pour la valorisation de Verbois, tout comme le CGH devaient entrer en service en même temps que la fin des travaux de Verbois, c'est-à-dire en 1994. Les équipements du Seujet et du CGH ne devaient être spécifiés qu'en 1991, respectivement en 1992.

Considérations de disponibilité

Dans le système de gestion hydro-électrique des SIG (le système), la disponibilité peut être définie comme la capacité de produire le maximum d'énergie demandée, tout en respectant les règlements de sécurité des plans d'eau. Or, la disponibilité globale du système est dépendante du maillon le plus faible de la chaîne. Citons en passant quelques maillons, qui sont innombrables: un organe d'une machine, un capteur de niveau, une puce d'ordinateur,

sans oublier l'homme qui intervient tôt ou tard dans la chaîne.

La seule redondance des matériels de contrôle-commande n'est de loin pas la panacée universelle pour l'augmentation de la disponibilité globale du système. Celle-ci doit être accompagnée ou remplacée par des stratégies automatiques de repli, d'appareils rustiques «garde-fous», de stratégies d'intervention humaine pour la reprise en main de situations anormales et de leur régularisation, etc.

Dans la conception globale d'un système de contrôle-commande, le facteur «coûts» intervient à un stade précoce. Il est maintes fois plus sûr et plus économique d'avoir à la base un composant (matériel, logiciel, stratégie) de qualité, plutôt que des équipements imposants par leur multiplicité.

Exigences primordiales

Le choix de l'architecture et des différents équipements de contrôle-commande a été dicté par les exigences de disponibilité telle que définie précédemment et du contexte d'implantation du projet. Parmi ces exigences, on pourrait citer:

- autonomie de chaque commande d'organe (groupe, passes), c'est-à-dire que chaque commande doit pouvoir remplir sa tâche isolément du reste du système, éventuellement de manière dégradée (situation de repli);
- implantation du système par étapes, toute nouvelle installation ne devant pas influencer le fonctionnement des équipements en service;
- haute fiabilité des:
 - commandes servant à l'évacuation des débits (passes)
 - nœuds importants de production des SIG (groupes de Verbois)
 - communications avec le CGH dès sa mise en service
 - des postes-opérateurs locaux, en attendant la mise en service du CGH
- système ouvert multi-constructeurs (facteur économique)

Concepts architecturaux

Les quelques exigences citées précédemment appellent à une architecture *distribuée* en nœuds de processus. Un nœud de processus est une entité composée de:

- matériels: à chaque organe, une commande indépendante est attribuée, avec redondance nulle, partielle ou totale, selon les cas;
- base de données: chaque commande possède sa propre base de données, de façon à pouvoir déporter localement un poste-opérateur (équipement vidéo portable);

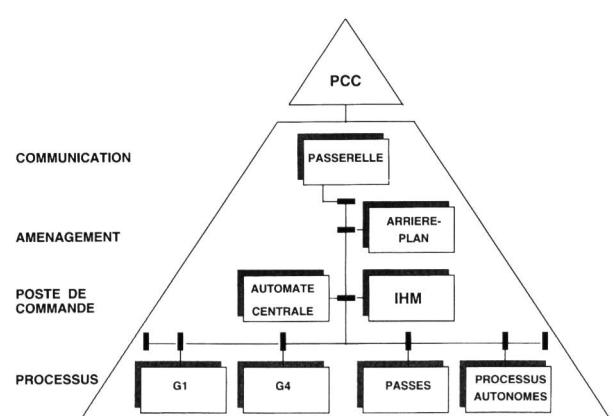


Figure 1. Schéma: Poste de commande centralisé (PCC) et le système hiérarchique.

– **fonctions:** les processus sont traités localement à partir d'ordres, de consignes ou d'informations coordonnées centralement. En cas de perte de la coordination centrale, un fonctionnement dégradé selon une stratégie de repli doit être assuré.

Les différents nœuds de processus sont intégrés dans un système de contrôle-commande global qui va depuis le Poste de Commande Centralisé ou PCC (c'est-à-dire le CGH) jusqu'aux différents organes des Postes Asservis ou PA (c'est-à-dire Verbois, Seujet, etc.).

L'intégration des nœuds de processus repose sur des réseaux locaux de données à l'intérieur des PA et des réseaux externes entre PA-PA et PA-PCC selon le modèle d'Interconnexion des Systèmes Ouverts ISO. Un réseau de données est une entité composée de différentes couches, très grossièrement résumées ici:

- **physique:** câbles et modems
- **transport:** protocole de communication
- **application:** échange de données

Le concept d'ouvrages non-gardiennés et supervisés depuis un PCC rend les réseaux de données d'une importance vitale à la disponibilité du système SIG. Toute la chaîne de transport de données de procédé entre le PCC et les nœuds de processus doit être redondante et statique, c'est-à-dire la solution classique de transit par une base de données intermédiaire (sur disques), telle qu'on voit dans maintes autres réalisations, n'était pas acceptable. De plus, un plan «catastrophe» est prévu par une TéléCommande de Secours TCS, agissant directement au plus bas du procédé (par ex., commande des moteurs d'entraînement des vannes de déversement) et empruntant une voie de communications indépendante du reste du système.

Configuration du système

Sur appels d'offres successifs, les SIG ont attribué les infrastructures de contrôle-commande des PA à ABB Power Generation (Genève), les logiciels de régulation du Lac-Rhône genevois à CNR (Lyon), et le PCC et la TCS à Sema Group (Grenoble). L'ouverture «multi-constructeurs» des équipements des PA devait répondre à:

- communications PA-PCC avec un protocole basé sur les normes CEI TC57 de l'un quelconque des grands constructeurs de PCC, à déterminer ultérieurement par les SIG;
- intégration des logiciels de régulation en langage FORTRAN dans l'infrastructure de contrôle-commande du PA.

Le système *Hydro Power Control ABB-HPC300* a été proposé comme répondant le mieux aux concepts architecturaux et exigences de base précédemment énoncés. La figure 1 montre la structure répartie et intégrée du système, nivellée hiérarchiquement. Appliquée au PA de Verbois, tel qu'il sera à la fin des travaux, cette structure correspondra à la configuration matérielle montrée sur la figure 2. Le PA du Seujet a une structure identique, mais vu la faible importance de production de cet ouvrage, certaines redondances de matériels ont été abandonnées. La configuration du PA Verbois est développée ici:

- **Niveau processus**
 - 4 automates ABB-MP200 de Groupe (redondance partielle) pour la commande des groupes de production (MPG); complémenté d'automatismes à relais (commande locale de secours)
 - 1 automate ABB-MP200 de Vannes (redondance partielle) pour le réglage conjoint des 4 vannes clapet et

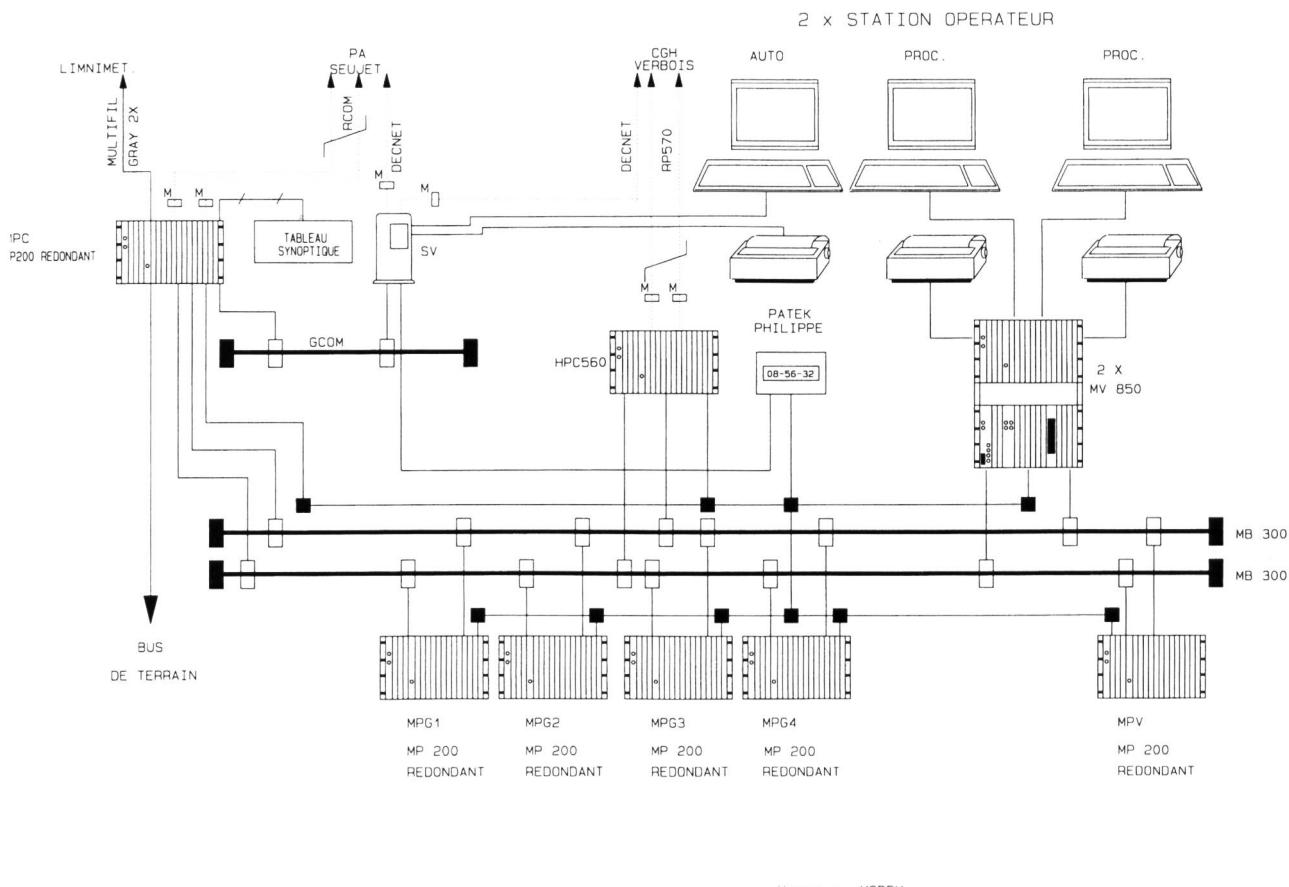


Figure 2. Schéma de Verbois.

secteur (MPV); complémenté d'un automate «sécurités intrinsèques»

- 1 automate ABB-MP200 Services Auxiliaires (MPA)
 - *Niveau poste de commande locale*
 - 1 automate ABB-MP200 de Centrale (redondance partielle), servant entre autres au réglage conjoint des groupes (MPC)
 - 2 postes-opérateurs ABB-MV850 en configuration redondante totale (MV)
 - *Niveau aménagement*
 - 1 Calculateur d'arrière-plan ABB-SV960 servant à l'Exploitation Automatique (CEA)
 - *Niveau PCC*
 - 1 Passerelle ABB-HPC560 pour les communications «procédé» avec le PCC (PAS)
 - *Réseaux de données*
 - 1 réseau local redondant ABB-MB300 pour le contrôle-commande du PA
 - 1 réseau externe redondant ABB-RP570 pour le transfert de données procédé PA-PCC
 - 1 réseau externe ABB-RCOM pour le transfert de données procédé PA-PA
 - 1 réseau externe DEC-DecNet pour le transfert de fichiers PA-PCC et PA-PA

- automatique, avec ou sans poste-opérateur vidéo mobile

- manuel, avec l'aide d'automatismes à relais pour éviter les fausses manœuvres

– en secours (situation de défaillances)

Le groupe peut être arrêté depuis le CGH, via la télé-commande de secours TCS.

Les redondances suivantes ont été prévues:

Automate de Groupe MP200:

Les modules centraux (CPU, mémoires, alimentations) sont dédoublés.

Les modules E/S sont auto-surveillés et les défauts immédiatement rapportés.

Les arrêts forcés par défauts sont dédoublés par une chaîne à relais.

Protections Électriques BEG216:

Modèles à multi-processeurs, multi-canaux d'entrée, multi-alimentations

Les fonctions de protection sont réparties et recoupées sur différents modules

Excitation | INK4807

Excitation UNK4807.
Régulateur de tension et étage de puissance à thyristors dédoublés

Commandes des passagers

Commande des passes

Détails d'implantation

Commande de groupe

Le groupe peut être commandé:

- à distance (situation normale)
Le groupe débite conformément aux consignes reçues.
 - en local (situation d'exception: par exemple lors d'une maintenance de groupe)

Tableau de commandes d'activation

Chaque passe est équipée de son propre tableau contenant les circuits à courant fort pour la commande des treuils et d'un relayage pour différents types de commandes parallèles. Ci-après, par ordre de priorité:

- ## 1. Commande par sécurités intrinsèques (situation de défaillances matérielles et humaines).

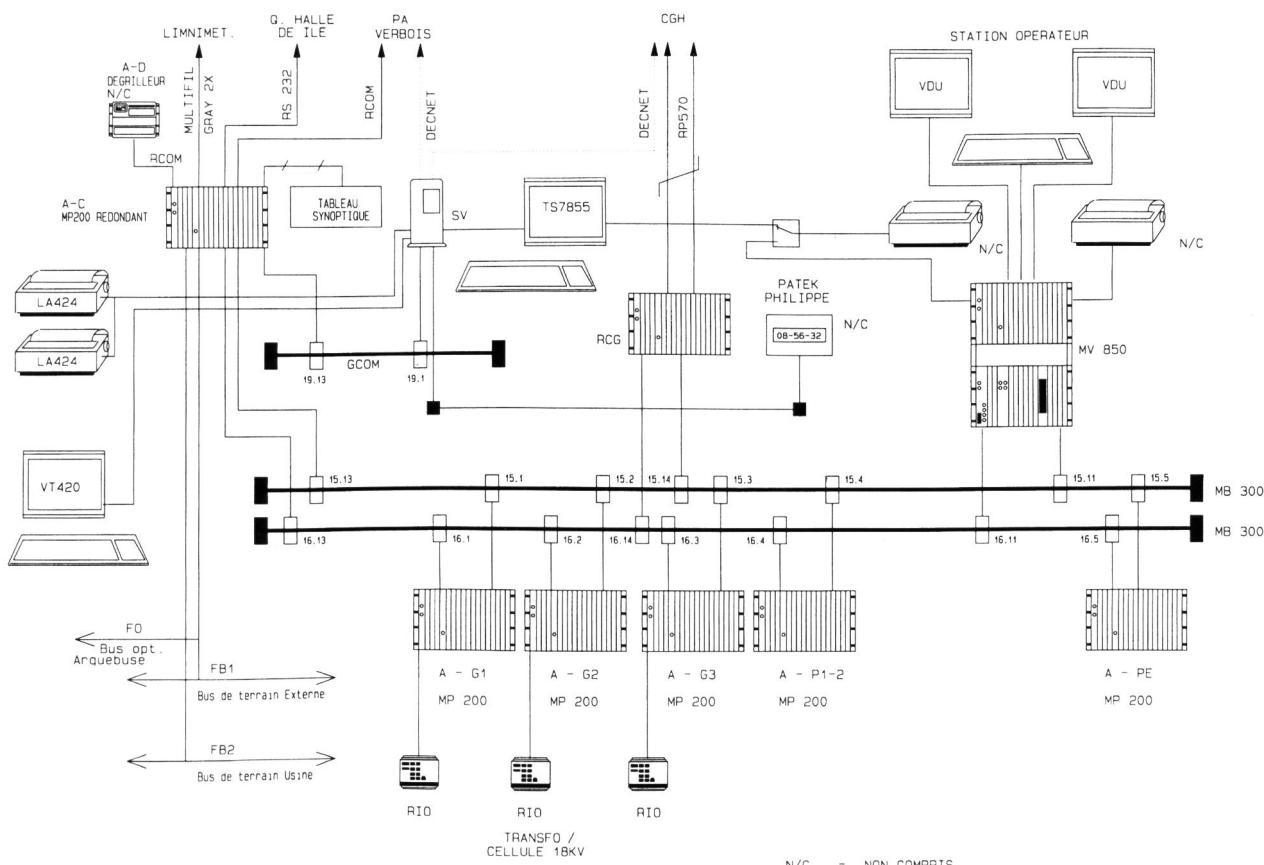


Figure 3. Schéma du barrage-usine de Seujet.

Le niveau amont est acquis de manière redondante via des interrupteurs de pression dans un automate autonome et agit directement sur les vannes.

2. Commande manuelle (situation d'exception).

L'opérateur, dans la chambre des vannes, agit sur les vannes à l'aide de l'instrumentation locale

3. Commande de secours (situation de défaillances matérielles)

L'opérateur, au CGH, agit sur les vannes à l'aide de la Télécommande de Secours TCS

4. Commande automatique (situation normale)

Le positionnement des vannes est sous contrôle de l'automate de passes

Automate des passes MP200

L'automate en lui-même est en redondance partielle (CPU, mémoires, alimentations). Sa tâche primaire est le positionnement automatique de chacune des vannes selon une consigne de débit individuelle élaborée conformément aux différents modes d'exploitation et de commande.

En considération d'une dégradation partielle de fonctions, suite à des défauts matériels, la fonction centrale «Réglage conjoint débits», discutée plus loin, a été déportée de l'automate de centrale dans l'automate des passes quant au débit-barrage.

Exploitation du PA

Automate de centrale MP200

L'Automate de centrale est en redondance partielle (CPU, mémoires, alimentation). Sa tâche essentielle est de prendre en charge toutes les fonctions qui ne sont pas spécifiques aux groupes ou aux passes, et de les mettre à disposition de toutes les parties prenantes au réseau de contrôle-commande. Parmi celles-ci, qui sont nombreuses, on ne va en citer que quelques-unes:

• Gestion des modes d'exploitation de l'aménagement

On distingue les modes suivants:

– mode d'exploitation automatique

Les débits usine et barrage sont déterminés automatiquement par les logiciels de régulation. Ce mode d'exploitation n'est possible que lorsque des ressources minimum (organes de débit, mesures de niveaux et de débits, etc.) sont disponibles.

– mode d'exploitation manuelle

Les débits usine et barrage sont déterminés par un opérateur (local ou CGH). C'est le mode de repli quand les ressources ne sont pas disponibles.

• Réglage conjoint des débits

Comme précédemment introduit, cette fonction a été distribuée entre l'automate de centrale quant aux débits-usine et l'automate de passes quant aux débits-barrage. Du fait de l'analogie, cette fonction est développée ici.

On distingue deux modes d'opération:

– commande commune

les organes de débit (groupe, vanne) sont sélectionnés automatiquement selon des algorithmes de disponibilité, de priorité, et pour les groupes, de rendement et d'heures de service pour participer aux débits-objectifs d'usine et de barrage.

– commande individuelle

Chaque groupe ou chaque vanne reçoit sa consigne de débit individuelle par l'opérateur.

• Acquisitions ouvrage amont, niveaux et débits

Pour Verbois, l'amont s'agit des débits et états du Seujet, acquis via une ligne de télémétrie PA-PA. Pour le res-

te, acquisition depuis des stations de mesure en point-à-point, redondantes ou non, et leur traitement (plausibilité, filtrage, etc.).

Postes-opérateurs MV850

A Verbois, deux postes-opérateurs en configuration entièrement redondante sont prévus. Il est à noter que ces postes sont entièrement statiques, c'est-à-dire qu'ils ne font pas appel, en fonctionnement normal, à des mémoires de masse à disque, d'où une fiabilité très élevée. Ce principe, basé sur la technologie ABB-Tesselator quant au graphisme vidéo, offre une très bonne résolution d'image, mais ne peut évidemment offrir les techniques plein-graphique ou fenêtres, qui sont gourmandes en place-mémoire.

Calculateur d'arrière-plan SV960

Ce calculateur, basé sur un équipement DEC-microVax, est exploité par le système opératoire DEC-VMS et le système d'exploitation ABB-SV960. Il permet l'accès, dans un environnement multi-tâches et en langage évolué (FORTRAN ou PASCAL), que ce soit en écriture ou lecture selon autorisation, de toutes les données du système de contrôle-commande. Ce calculateur, qui est le seul de tout le système de contrôle-commande HPC300 à posséder des mémoires de masse à disque et bandes magnétiques, est bien-sûr l'endroit de prédilection pour concentrer (localement) et acheminer (de/vers l'extérieur: PCC ou autre PA) les informations orientées «fichiers». Parmi celles-ci, on peut citer:

- bibliothèque de programmes-débits (modulation horaire de débits)
- modèles mathématiques de retenues
- archivage à très long-terme et rappel des événements du PA, ainsi que de ses variables
- etc.

L'exploitation automatique du PA, c'est-à-dire quand les logiciels de régulation (développés dans l'exposé de la CNR) déterminent les débits-usine et barrage à respecter par l'aménagement, nécessitait un tel environnement. Après analyse, la redondance active de ce nœud a été abandonnée pour des raisons de complexité. Une redondance passive (calculateur de réserve hors-ligne) et une stratégie de repli automatique lui ont été préférées. Cette stratégie de repli consiste:

- à annoncer immédiatement le défaut jusqu'au CGH, via la passerelle PCC
- à forcer l'exploitation manuelle tout en gardant les dernières consignes calculées de débit-usine et barrage

Passerelle HPC560

La passerelle a pour fonction d'acheminer vers le poste de contrôle éloigné (le CGH), n'importe quelle donnée de processus (indication, mesure, ordre, consigne, etc.) du réseau local MB300, selon un protocole de télémétrie assurant l'intégrité de ces données. Parmi les différents protocoles basés sur les recommandations CEI TC57, tels qu'utilisés par les grands constructeurs de PCC, le choix des SIG s'est porté sur le protocole ABB-RP570.

La liaison CGH-PA des données de processus est d'importance vitale dans le concept non gardienné des ouvrages des SIG. La passerelle HPC560 répond à ce concept par une très haute disponibilité, puisque les données sont acheminées directement de la source (acquisition au niveau des nœuds de processus) jusqu'aux frontaux du CGH via des voies redondantes (MB300, RP570), sans aucun élément mécanique intermédiaire (disques).

Conclusions préliminaires

A l'instant de cet exposé, il est prématûr de tirer des conclusions définitives quant à la disponibilité du système, telle que définie en introduction. Ceci pour la simple raison que toutes les installations ne sont pas encore en service, et qu'il n'y a pas suffisamment de recul dans le temps pour avoir expérimenté les multiples défaillances possibles. Il est à noter qu'aucun défaut de matériels dans le système de contrôle-commande n'a été enregistré jusqu'à présent (à l'exception d'une imprimante) et que de ce fait, les stratégies de réponse aux défaillances n'ont pas pu être vérifiées en exploitation.

Dans de tels projets d'envergure, une rigueur absolue est nécessaire depuis l'analyse fonctionnelle à la conception, au choix des matériels et à leur réalisation. Sans nul doute que le succès confirmé du projet reviendra à tous les intervenants, et notamment aux SIG, qui par leur vision d'avenir, ont encouragé l'implantation de solutions résolument innovatrices.

Überflutung des Stauraumes Kraftwerk Rüchlig am 15. Juni 1995

Heinz Gross

Was ist passiert?

Am 15. Juni 1995 stieg der Wasserstand im Stauraum des Kraftwerks Rüchlig an der Aare ab 3.02 Uhr in weniger als 30 Minuten um 1 m an und überflutete die umliegenden Wohnquartiere. Die unverzüglich alarmierte Picketmannschaft stellte fest, dass alle Turbinen abgeschaltet und die Wehre bis zur Endstellung geschlossen waren.

Die Anlage Rüchlig im Automatikbetrieb

Die Anlage Rüchlig läuft seit 1988 ohne nennenswerte Störungen im Automatikbetrieb. Die Wasserhaushaltautomatik hat die Aufgabe, den Wasserstand am Konzessionspegel durch laufendes Anpassen des Durchflusses mittels der Stellorgane Turbine und Wehr zu regeln. Der Soll-Pegelstand ist allerdings nicht konstant, sondern richtet sich nach der Gesamtwasserführung der Aare und wird laufend automatisch aufgrund der Pegelmesswerte Murgenthal und Brugg definiert. Die Ausführung entspricht dem damaligen Stand der Technik. Alle möglichen unzulänglichen Betriebszustände werden erfasst und lösen die notwendigen Reaktionen aus, sei dies bezüglich Erreichen von Sicherheitszuständen wie Unterbinden von weiteren Stellbefehlen an die Turbinen und Wehrschützen oder Bilden von Alarmzuständen wie «Regelabweichung zu gross», «Oberwasserpegel zu hoch» usw. Die Wasserhaushaltautomatik ist zudem auf zwei Rechnersysteme (1 × Turbinen, 1 ×

Adresse de l'auteur: Michel Gremaud, Ing. ETS, ABB Power Generation Ltd, 49, Av. Blanc, CH-1202 Genève.

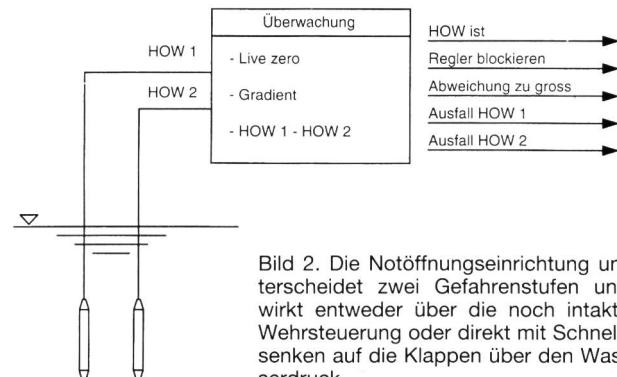


Bild 2. Die Notöffnungseinrichtung unterscheidet zwei Gefahrenstufen und wirkt entweder über die noch intakte Wehrsteuerung oder direkt mit Schnellsenken auf die Klappen über den Wasserdruk.

Wehr) aufgeteilt, die sich gegenseitig überwachen und somit die Verfügbarkeit wie die Sicherheit erhöhen. Alle wichtigen Signale wie Regelabweichung sowie die gerechneten Werte werden laufend auf zulässige Grenzwerte überprüft. Die Messwerte werden auf Ausfall (Live zero) überwacht. Unterschreitet ein Messwert den Grenzwert 4 mA, bedeutet dies Unterbruch der Signalleitung oder Ausfall des Messgerätes und führt zu einer sofortigen Blockierung des Reglers und auch zur Alarmierung des Bereitschaftsdienstes.

Ursache der Störung

Die Ursache der Störung lag bei einem plötzlich auftretenden Fehler der Oberwasserstandsmessung. Die Sonde zeigte über all die Jahre, die sie im Einsatz war, nie die geringsten Abweichungen oder sogar Ausfälle. Die Aufzeichnungen haben gezeigt, dass das Messsignal ziemlich schnell den Wert von 6,3 mA annahm. Dies bedeutet für den Regler, dass der Istwasserstand viel zu tief ist, also

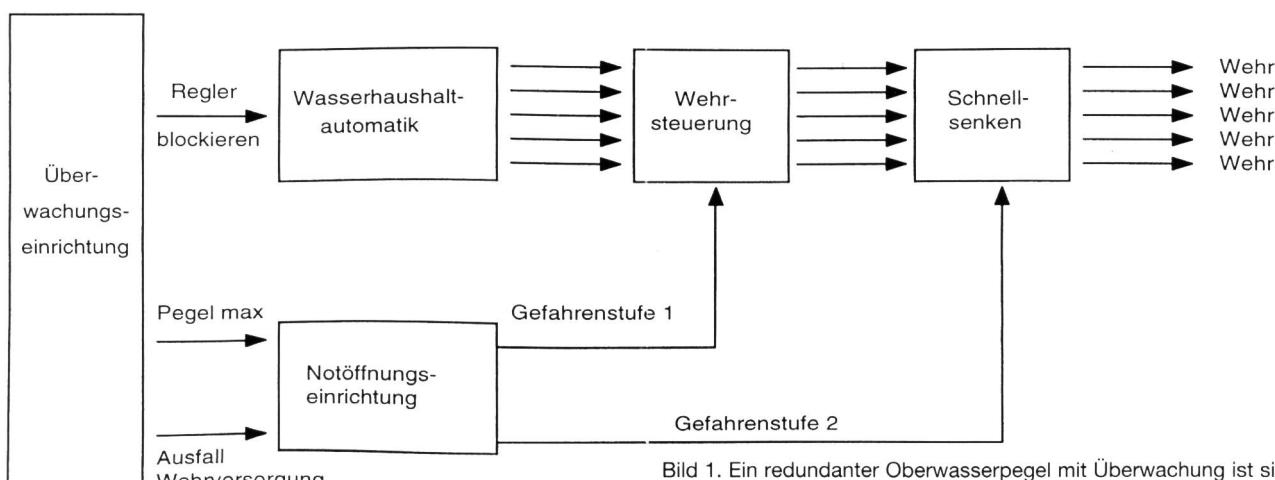


Bild 1. Ein redundanter Oberwasserpegel mit Überwachung ist sicherer und kostengünstig realisierbar.