Le centre de gestion hydraulique de Verbois

Autor(en): **Cettou, Raymond**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **87 (1995)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940417

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Am Bau Beteiligte

Bauherr: Rhonewerke AG, CH-3965 Chippis
Ingenieur: Lombardi AG Beratende Ingenieure, CH-6648 Minusio-Locarno.
Beratender Geologe: *Odilo Schmid,* Brig

Druckstollen
- Bauarbeiten – Firmenkonsortium: Murer AG, Erstfeld; Ed. Züblin & Cie, Zürich; B. Fantoni, Brig.
- Dichtungsfolien und Injektionen: Guniperm SA

Druckschacht
- Baufirma: Kopp AG, Luzern
- Injektionen: Injectobohr (Injectosond), Locarno
- Panzerrohre: Giovanola SA, Monthey; Vevey SA (Hydro-Vevey), Vevey
- Lieferung der Drosselklappe: Von Roll AG

nicht erneuerten Stollenabschnitten sowie in der Zentrale Sanierungs- und Revisionsarbeiten vorzunehmen.

In Tag- und Nachtarbeit wurden während dieser zwei Monate die Verbindungsstollen zwischen dem neuen und dem bestehenden Druckstollen sowie zum bestehenden Wasserschloss fertiggestellt (Bild 1). Der Zusammenschluss des Verbindungsstollens und des Fensterstollens im Raum Eggen ist in Bild 5 ersichtlich.

Gleichzeitig wurde die bestehende Verteilleitung unmittelbar von der Zentrale abgeschnitten und die Verbindung mit dem neuerstellten Druckschacht hergestellt.

Dank den mit der Bauleitung sehr genau programmierten Tätigkeiten und dem ausgezeichneten Einsatz und der Leistung aller Kader und aller Arbeitsequipen konnten die sehr eng angesetzten Termine eingehalten werden. Nach etwa dreijährigen Bauarbeiten mit nur zweimonatigem Betriebsunterbruch wurde somit das sanierte Kraftwerk Mörel im November 1987 wieder in Betrieb genommen.

4. Schlussbemerkungen

Trotz der Beihilfe von verschiedenen Untersuchungsmethoden erscheint es ausserordentlich schwierig, die Notwendigkeit und den optimalen Zeitpunkt für die Ausführung von Sanierungsarbeiten an Untertagebauten bestehender Kraftwerkanlagen zu bestimmen. Betriebstechnische Bedürfnisse ermöglichen es meistens nicht, das Ausmass der Schäden über Jahre zu verfolgen, und erschweren somit die Prognose deren zukünftiger Entwicklung.

Aufgrund der normalerweise hohen Energieausfallkosten sollte der Dauer der Betriebsunterbrechung und dem Risiko einer Überschreitung der Termine eine besondere Aufmerksamkeit bei der Erarbeitung des Sanierungsprojektes gewidmet werden.

Selbst wenn die Ausbauwassermenge nicht erhöht werden darf, kann sich ein Neubau der beschädigten Bauwerke gegenüber einer mit höheren Risiken verbundene Sanierung als vorteilhaft erweisen.

Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass aussergewöhnliche Naturereignisse während der Bauarbeiten (Überflutung der Rhone) an alle Beteiligten besondere Anforderungen gestellt haben.

Literatur: *P. F. Bertola, R. Bremen;* Erneuerung des Kraftwerkes Mörel. Symposium Betrieb, Erhaltung und Erneuerung von Talsperren und Hochdruckanlagen, Graz, September 1994, S. 273–284.

Adressen der Verfasser: Dr. Ing. *Roger Bremen,* Ing. *Renzo Tarchini,* Lombardi AG beratende Ingenieure, Via R. Simen 19, Postfach 1535, CH-6648 Minusio-Locarno, und Ing. *Paul Bartek,* Rhonewerke AG, CH-3965 Chippis.

Le Centre de gestion hydraulique de Verbois

Raymond Cettou

Résumé

L'exploitation de la chaîne d'ouvrages hydroélectriques sur le Rhône genevois cherche d'une part à optimiser la production et d'autre part à assurer la sécurité et à respecter les contraintes liées à l'environnement. Elle est d'une complexité telle qu'un concept de conduite entièrement automatisée a été mis en place par les Services industriels de Genève. Le Centre de gestion hydraulique en constitue la clé de voûte. Il a pour mission d'assurer la télésurveillance et la téléconduite des ouvrages. L'article donne les principes de la conduite automatique et de la marche sur programme, décrit les différents systèmes informatiques du Centre de gestion hydraulique et présente les fonctions de régulation et les outils d'aide à l'opérateur qui y sont implantés.

Zusammenfassung: Leitstelle für die Wasserwirtschaft in Verbois

Die Bewirtschaftung der Kraftwerkskette der Rhone auf Genfer Boden versucht einerseits die Produktion zu optimieren und anderseits die Sicherheit zu gewährleisten sowie auch die Einschränkungen zwecks Umweltschutz zu berücksichtigen. Sie ist von einer derartigen Vielseitigkeit, dass ein Konzept für einen vollautomatischen Betrieb eingeführt wurde. Die Leitstelle in Verbois bildet den Schlüsselpunkt davon. Sie hat zur Aufgabe, das Fernüberwachen und das Fernwirken der Kraftwerke zu sichern. Der Artikel erklärt das Prinzip des automatischen und programmierten Betriebes, beschreibt die verschiedenen Computersysteme und stellt die Art und Weise der Regulierungsfunktionen und die Softwarehilfsmittel für den Operator vor.

Introduction

Un important programme d'études et de réalisations a été entrepris par les Services industriels de Genève pour valoriser la production hydroélectrique locale. Les études menées, incluant la modélisation hydraulique de chacun des paliers du Rhône genevois, ont débouché sur la conception d'une conduite entièrement automatisée de l'ensemble de la chaîne de centrales. Les travaux exécutés ou encore en cours ont déjà permis l'automatisation intégrale de ces dernières. Dans ce contexte, la mise en place du *Centre de gestion hydraulique* constitue une étape essentielle pour l'exploitation optimale et sûre des ouvrages hydroélectriques du canton.

Exploitation de la chaîne de centrales sur le Rhône genevois

L'aménagement du Rhône genevois

Sur les 28 km de son parcours entre le lac Léman et la frontière franco-suisse, le Rhône subit une dénivellation de 41 m pour un débit moyen de 320 m^3/s à Verbois. Des quatre paliers qu'il comporte, trois sont actuellement exploités (voir figure 1).

Le *barrage de régularisation et usine hydroélectrique du Seujet,* mis en service en 1994, assure avant tout la régularisation du niveau du lac Léman, l'évacuation des débits de crues et la maîtrise du débit du Rhône pour assurer

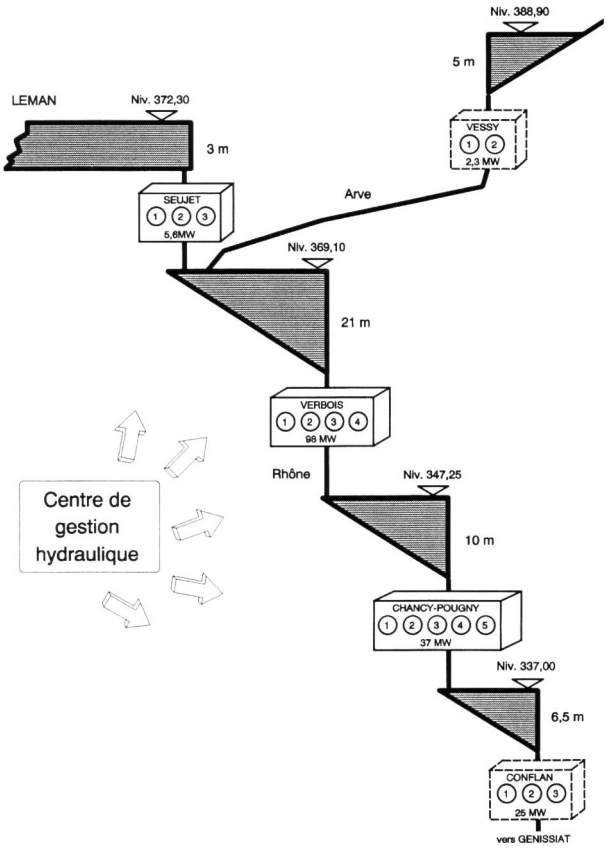

Figure 1. L'aménagement du Rhône genevois.

l'écoulement des eaux de l'Arve en toute sécurité pour le milieu urbain dense où il est situé.

La *centrale de Verbois* est le principal ouvrage hydroélectrique du canton de Genève. Construite entre 1938 et 1944, elle subit depuis 1989 de grands travaux de rénovation et une augmentation de sa puissance installée.

La *centrale de Chancy-Pougny* est un ouvrage franco-suisse qui date de 1925. L'étude de sa rénovation est en cours.

Le quatrième palier à *Conflan* fait l'objet d'études préliminaires, tout comme la rénovation de l'ancienne *centrale de Vessy* sur l'Arve.

La modulation continue des débits

L'exploitation de la chaîne de centrales est caractérisée par une modulation du débit du Rhône effectuée à l'émissaire du lac Léman par le barrage-usine du Seujet. La tolérance de niveau sur le lac Léman est ainsi utilisée pour constituer des lâchures qui, renforcées par les apports naturels de l'Arve, sont valorisées par les centrales à l'aval.

Cette exploitation vise à optimiser la gestion des mouvements d'énergie en produisant davantage d'énergie aux heures favorables qui correspondent à celles de forte consommation.

Les contraintes et les problèmes

Les consignes d'exploitation élaborée pour l'optimum financier énergétique doivent prendre en compte les impératifs prioritaires de sécurité, par exemple lors de crues, de déclenchements, de travaux ou d'accidents. De plus, elles doivent respecter un ensemble complexe de contraintes liées à la navigation, à la modulation hydraulique et à l'environnement. Ces contraintes sont fixées principalement dans les lois de concession et les règlements d'application des différents paliers.

Par ailleurs, la conduite de la chaîne et l'optimalisation de son fonctionnement doivent tenir compte des caractéristiques hydrauliques propres aux centrales à basse chute en rivière (centrales au fil de l'eau), où tout événement dans un ouvrage quelconque à des répercussions immédiates sur les ouvrages à l'aval et où les possibilités d'accumulation sont très limitées. A cela s'ajoutent les crues nombreuses, importantes et soudaines de l'Arve qui nécessitent des actions quasi instantanées.

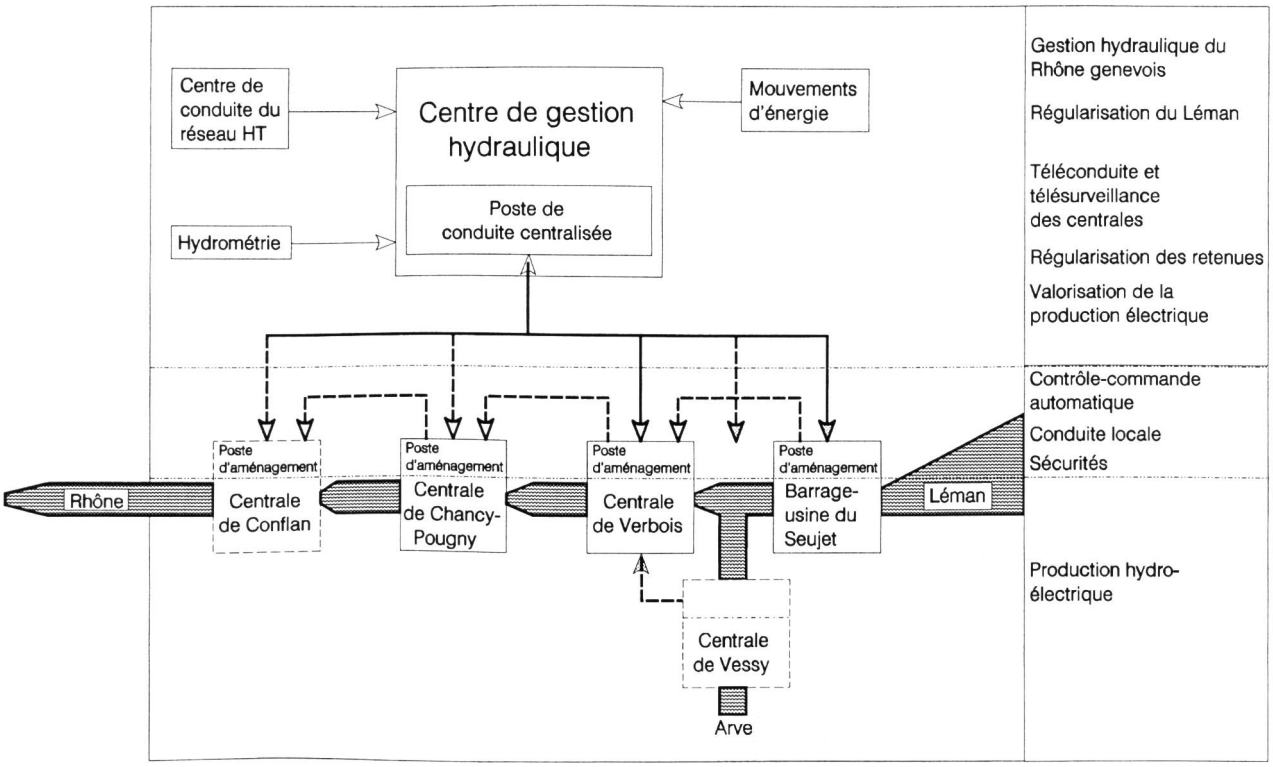

Figure 2. Principe de la conduite automatisée de la chaîne de centrales.

Enfin, la régularisation du lac Léman, mission confiée par la Confédération suisse au canton de Genève, impose une gestion à plus long terme des apports hydrauliques sur tout le bassin versant.

Concept de conduite automatisée du Rhône genevois

La conduite automatique

Tous les problèmes évoqués plus haut, difficilement maîtrisables en exploitation manuelle, ont conduit à adopter une conduite automatique de la chaîne. Pour satisfaire tant les objectifs d'optimisation énergétique de chacune des centrales et de l'ensemble de la chaîne que ceux liés à la sécurité des ouvrages et des riverains, le schéma de conduite retenu présente une décentralisation au niveau des centrales des fonctions de sécurité et un regroupement des fonctions de surveillance et d'optimisation au niveau d'un «chef d'orchestre»: le *Centre de gestion hydraulique.*

Ainsi, chacun des ouvrages hydroélectriques – qui sont tous non-gardiennés – est totalement autonome en conduite automatique, ses propres fonctions de régulation étant suffisantes pour assurer le respect des diverses contraintes hydrauliques et la sécurité. Le Centre de gestion hydraulique coordonne le fonctionnement de chaque centrale pour réaliser l'objectif de production énergétique de la chaîne.

Le système de conduite hiérarchique à deux niveaux

La conduite automatique s'appuie sur un système à deux niveaux (voir figure 2):

1. Au niveau supérieur se trouve le *poste de conduite centralisée,* véritable cerveau du Centre de gestion hydraulique, qui permet de:
   - superviser les ouvrages qui lui sont raccordés
   - surveiller et moduler la production d'énergie de chaque ouvrage
   - réguler les plans d'eau des retenues
   - assister l'opérateur en contrôlant et en adaptant les programmes de production demandés par les Mouvements d'énergie.
2. Le niveau inférieur est constitué pour chaque ouvrage hydroélectrique d'un *poste d'aménagement* qui assure les fonctions suivantes :
   - contrôle-commande des organes de l'usine et du barrage
   - conduite automatique en programme de débit et en régulation de niveau (fil de l'eau ou crue)
   - conduite locale manuelle en cas de besoin.

Figure 3. Le nouveau bâtiment du Centre de gestion hydraulique.

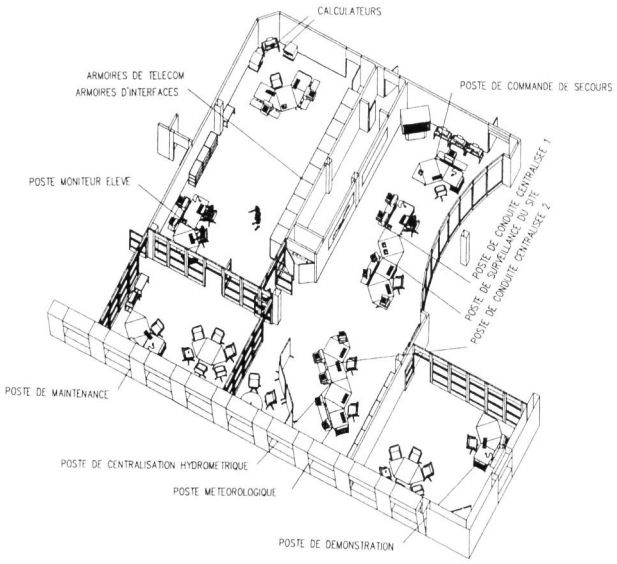

Figure 4. Equipements des locaux techniques du Centre de gestion hydraulique.

Les systèmes de secours

En cas de défaillance grave du système de conduite et d'un événement majeur, la situation est maîtrisée immédiatement à l'aide d'un système de secours complètement indépendant. De plus, chaque ouvrage possède un système rustique de sécurité intrinsèque agissant directement sur le barrage comme ultime sécurité.

Les principes de l'exploitation automatique

Sur la base des consignes d'exploitation établies par les Mouvements d'énergie, un programme de débit sur 24 heures est quotidiennement élaboré au Centre de gestion hydraulique et, après validation, transmis aux différentes centrales.

Le poste d'aménagement de chacune des centrales réalise alors le programme ainsi reçu: c'est le *fonctionnement en programme de débit,* usuel en période énergétique. Au niveau de la centrale, la réalisation automatique du programme de consigne est surveillée par une *fonction de régulation* qui, en plus de la situation réelle, connaît les programmes prévisionnels des apports et des affluents et le programme de consigne de la centrale amont.

Différents autres modes de fonctionnement sont définis pour faire face à toutes les situations hydrauliques ou d'exploitation particulières telles que crues, vidanges ou demandes immédiates de puissance.

Le poste de conduite centralisée, quant à lui, surveille l'exécution des programmes de débit et, si nécessaire, apporte en temps réel les corrections de débit pour réduire les dérives entre les niveaux réels des retenues et les niveaux prévus par calcul.

Description des installations du Centre de gestion hydraulique

Le Centre de gestion hydraulique est localisé sur le site de Verbois, comportant la centrale la plus importante ainsi qu'un grand poste de couplage et de transformation. Il est abrité dans un nouveau bâtiment (voir figure 3) dont le premier étage est affecté à l'activité de l'ensemble du personnel de conduite. La salle de commande, occupée en permanence par un seul opérateur, comporte les installations suivantes (voir figure 4):

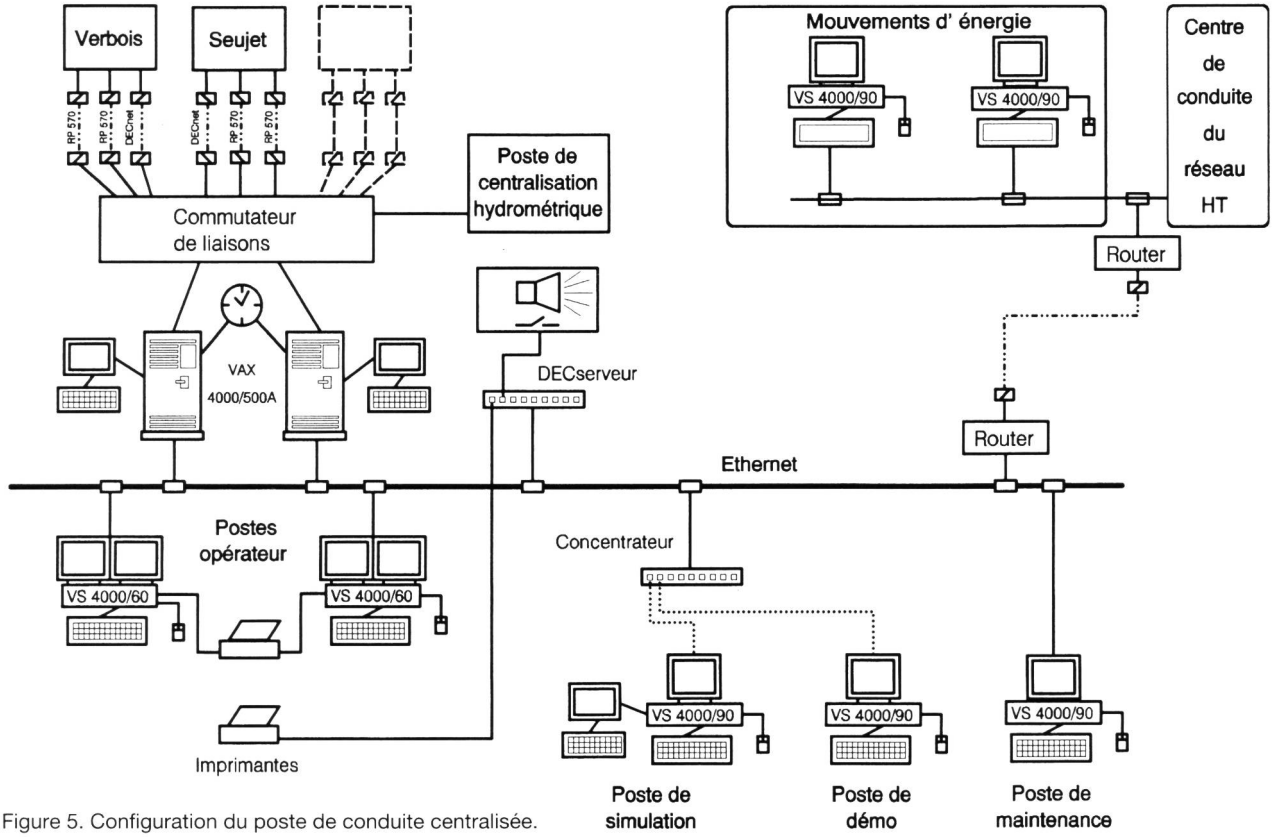

Figure 5. Configuration du poste de conduite centralisée.

Le poste de conduite centralisée

Il s'agit de l'installation principale du Centre de gestion hydraulique. La configuration (voir figure 5) comprend deux postes opérateurs principaux en salle de commande et un ensemble de calculateurs en réserve chaude. Les fonctions et tâches de cet équipement sont précisées ci-dessous.

Le poste de commande de secours

Cet équipement est constitué d'un poste opérateur et d'un système de communication directe et indépendante avec les centrales. Il permet, en cas d'indisponibilité ou de dysfonctionnement du système principal, de maîtriser rapidement la situation et, si nécessaire, d'effectuer immédiatement une manœuvre en attendant l'intervention du piquet d'astreinte.

Le poste de centralisation hydrométrique

Ce système a pour fonction d'acquérir les mesures de débit et de niveau des stations hydrométriques très éloignées comme celles sur le pourtour du lac Léman. Il effectue les traitements centralisés des informations hydrométriques et constitue un serveur de données pour le Centre de gestion hydraulique ainsi que pour les organismes de surveillance des niveaux aux points réglementaires.

Le poste de prévisions des apports

Ce système est connecté à différents serveurs (voir figure 6) pour l'acquisition de données hydrométriques (débits, niveaux) et météorologiques (pluies, températures) et permet d'élaborer, à l'aide d'un logiciel spécifique, les prévisions sur plusieurs jours des apports hydrauliques d'une part sur le lac Léman et d'autre part sur le bassin versant de l'Arve. Il constitue une aide à la décision pour les opérateurs dans l'élaboration des programmes de débit. Un terminal présentant la situation et les prévisions météorologiques complète cet outil.

Le réseau de transmission d'informations

Les systèmes de téléconduite bénéficient d'un réseau de télécommunication dédicacé. Les propres supports de transmission sont constitués de lignes en fibre optique et en cuivre. Les protocoles de communication sont pour la plupart normalisés.

Les installations auxiliaires

Le Centre de gestion hydraulique est équipé de toutes les installations nécessaires à un centre de conduite gardienné en permanence, notamment en ce qui concerne les moyens de communication et de surveillance du site. L'alimentation électrique du parc des calculateurs est particulièrement fiabilisée.

Fonctions et tâches du poste de conduite centralisée

Le Centre de gestion hydraulique est en étroite relation avec les mouvements d'énergie pour tout ce qui est de l'établissement des programmes de production et avec le

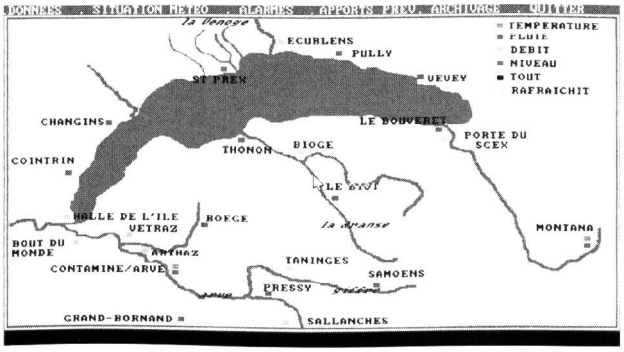

Figure 6. Données hydro-météorologiques pour la prévision des apports au lac Léman et des débits de l'Arve.

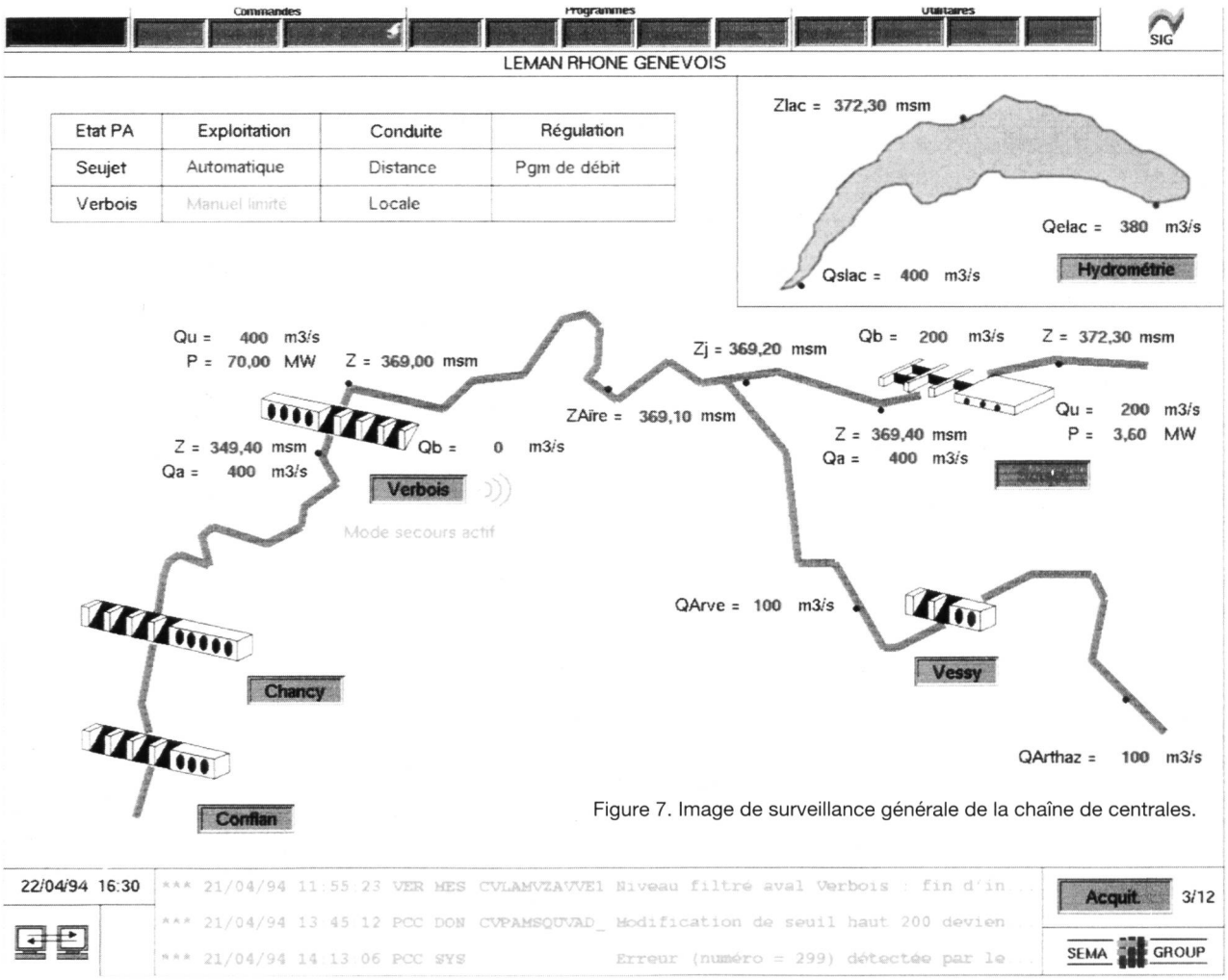

Figure 7. Image de surveillance générale de la chaîne de centrales.

Centre de conduite du réseau électrique de transport et de répartition pour ce qui est de la connexion des centrales sur le réseau à haute-tension.

Le poste de conduite centralisée est connecté aux réseaux informatiques de ces centres décisionnels et remplit ainsi complètement le rôle de *surveillance* et de *conduite* de l'aménagement du Rhône genevois.

Le rôle de surveillance

Le poste de conduite centralisée assure cette tâche grâce aux fonctions suivantes:

- acquisition des informations des centrales: les mesures (niveaux, débits, puissances, positions, ...), les signalisations (états des organes, modes de fonctionnement) et les alarmes;
- acquisition des informations hydrométriques des cours d'eau: les mesures (niveaux, débits) et les alarmes des stations;
- présentation des informations à l'opérateur sur les images graphiques (voir figure 7) à l'ergonomie spécialement étudiée et consignation des événements et des alarmes sur les journaux de bord;
- déclenchement de l'appel du piquet d'astreinte;
- archivage d'exploitation des mesures et des événements.

Le rôle de conduite

Cette tâche consiste à envoyer les consignes et les commandes aux centrales.

En *conduite automatique,* les consignes sont envoyées à chaque centrale sous forme de programmes de débit (voir figure 8) pour le jour courant et le lendemain. Ces programmes sont constitués d'une série de couples de valeurs (heure, débit). En tout temps, l'opérateur peut y apporter des corrections et renvoyer de nouveaux programmes. Il a aussi la possibilité de donner, pour une centrale ou pour l'ensemble de la chaîne, une consigne de débit ou de puissance en substitution de la valeur du programme en cours: ce mode de fonctionnement, appelé *action immédiate,* permet de gérer les appels de puissance imprévus.

En *conduite manuelle déportée,* utilisée pour des cas d'exploitation particuliers, seules une consigne de débit globale pour l'usine et une consigne de débit globale pour le barrage sont transmises aux centrales.

Par ailleurs, depuis les consoles à sa disposition, l'opérateur peut changer (voir figure 9) le mode de fonctionnement des postes d'aménagement des centrales pour les mettre en régulation de niveau (modes fil de l'eau ou crue) ou encore pour les faire fonctionner en réseau isolé (mode îlotage).

La régulation

La réalisation des programmes de débit ne peut jamais être parfaite à cause des imprécisions sur les mesures, de limites diverses, d'erreur sur la modélisation ou sur les programmes prévisionnels des affluents. Ceci se traduit par une dérive du niveau au point de réglage qui peut provoquer le franchissement des frontières du domaine d'état et aboutir à l'abandon du fonctionnement en programme de débit.

Une fonction de régulation en temps réel est implantée au poste de conduite centralisée pour effectuer la surveil-

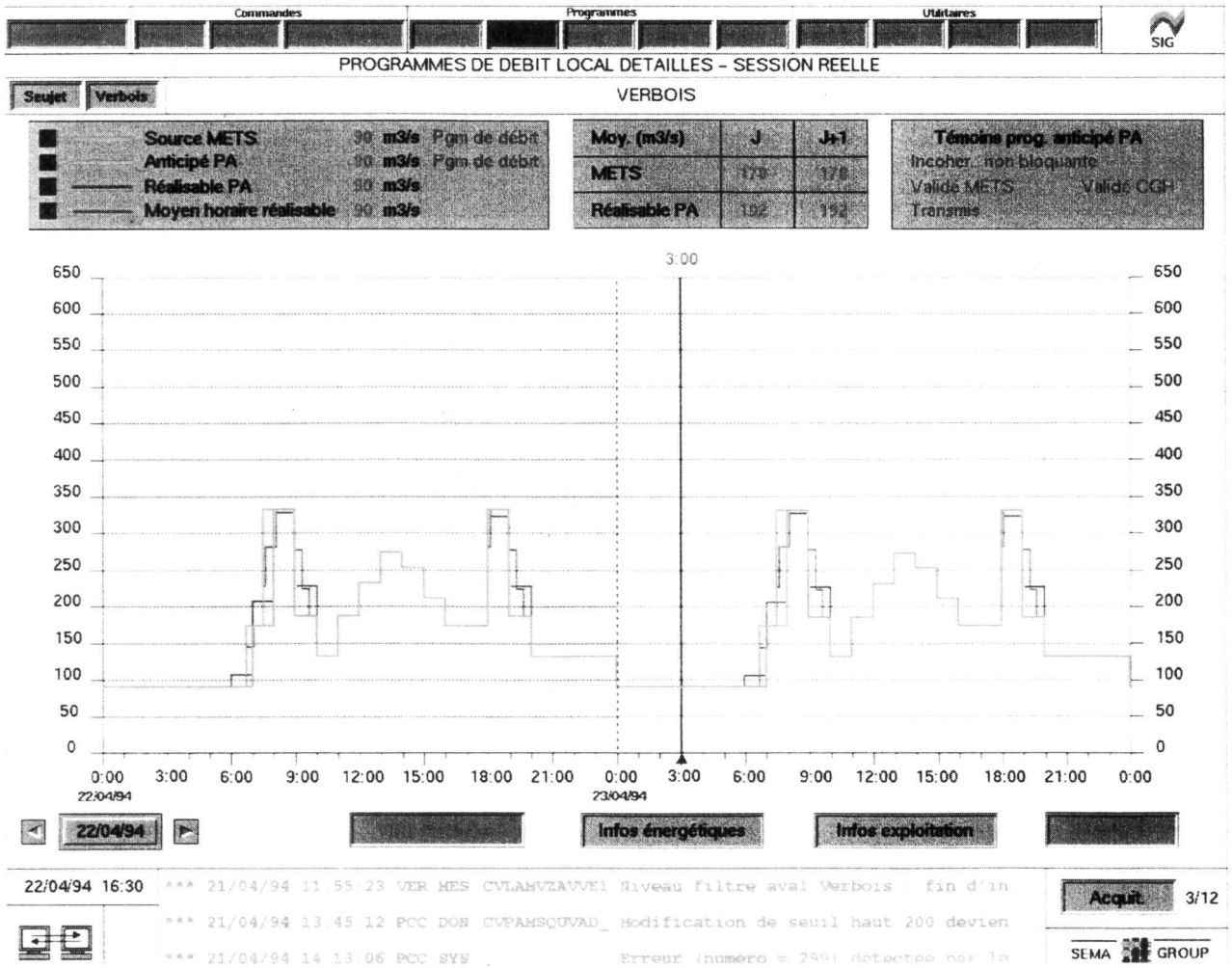

Figure 8. Image du programme de débit de consigne.

lance hydraulique de la chaîne et élaborer les corrections éventuelles: cette procédure est appelée *micro-corrections.*

L'évolution de la retenue d'une centrale est simulée localement par un modèle mathématique implanté dans son poste d'aménagement. Les niveaux prévisionnels pour les 6 prochaines heures sont calculés sur la base du programme de débit mémorisé et renvoyés au poste de conduite centralisée. Là, le logiciel de régulation calcule pour chaque centrale un débit de correction suivant un algorithme d'asservissement des niveaux réels sur le prévisionnel, basé sur un correcteur proportionnel-intégral. Après répartition, un incrément de débit est envoyé à chaque centrale pour se superposer aux valeurs en cours du programme.

L'élaboration des programmes de débit

Avant d'être transférés vers les centrales, les programmes de débit de consigne font l'objet d'une stratégie comprenant plusieurs phases (voir figure 10).

D'abord, le *programme source* est établi par les mouvements d'énergie en intégrant les estimations de la consommation, les programmes financiers d'échange et d'achat d'énergie et l'évaluation du potentiel de production: il est introduit sur le poste de conduite centralisée sous forme de valeurs moyennes horaires sur 14 jours correspondant à 2 semaines sur lesquelles les tarifs d'achat d'énergie sont définis.

Ce programme est alors traité automatiquement pour subir une *anticipation* à ses bornes de telle sorte qu'il respecte la contrainte de gradient de débit (50 m^3/s par 20 minutes) appliquée dans les centrales.

Puis, il subit un premier *contrôle de cohérence* qui calcule, par modèle mathématique sur un pas de 15 minutes, les niveaux caractéristiques de la retenue et l'évolution du niveau au point de réglage et qui signale tout dépassement des frontières ou des gradients.

Enfin, un *programme de référence* pour le jour actuel et le lendemain est extrait du programme bihebdomadaire: c'est lui qui, après avoir subit un deuxième contrôle de cohérence sur un pas de 5 minutes, est validé par l'opérateur du Centre de gestion hydraulique et envoyé aux centrales en tant que *programme exécutable.*

Mise en œuvre du Centre de gestion hydraulique

- Janvier 1993: adjudication des équipements principaux du Centre de gestion hydraulique
- Janvier 1993: début des travaux de construction du nouveau bâtiment de Verbois
- Mars 1994: mise en service du poste de commande de secours
- Avril 1994: mise en service du poste de centralisation hydrométrique
- Août 1994: mise en service du poste de prévisions des apports (Léman)
- Septembre 1994: finitions du nouveau bâtiment de Verbois

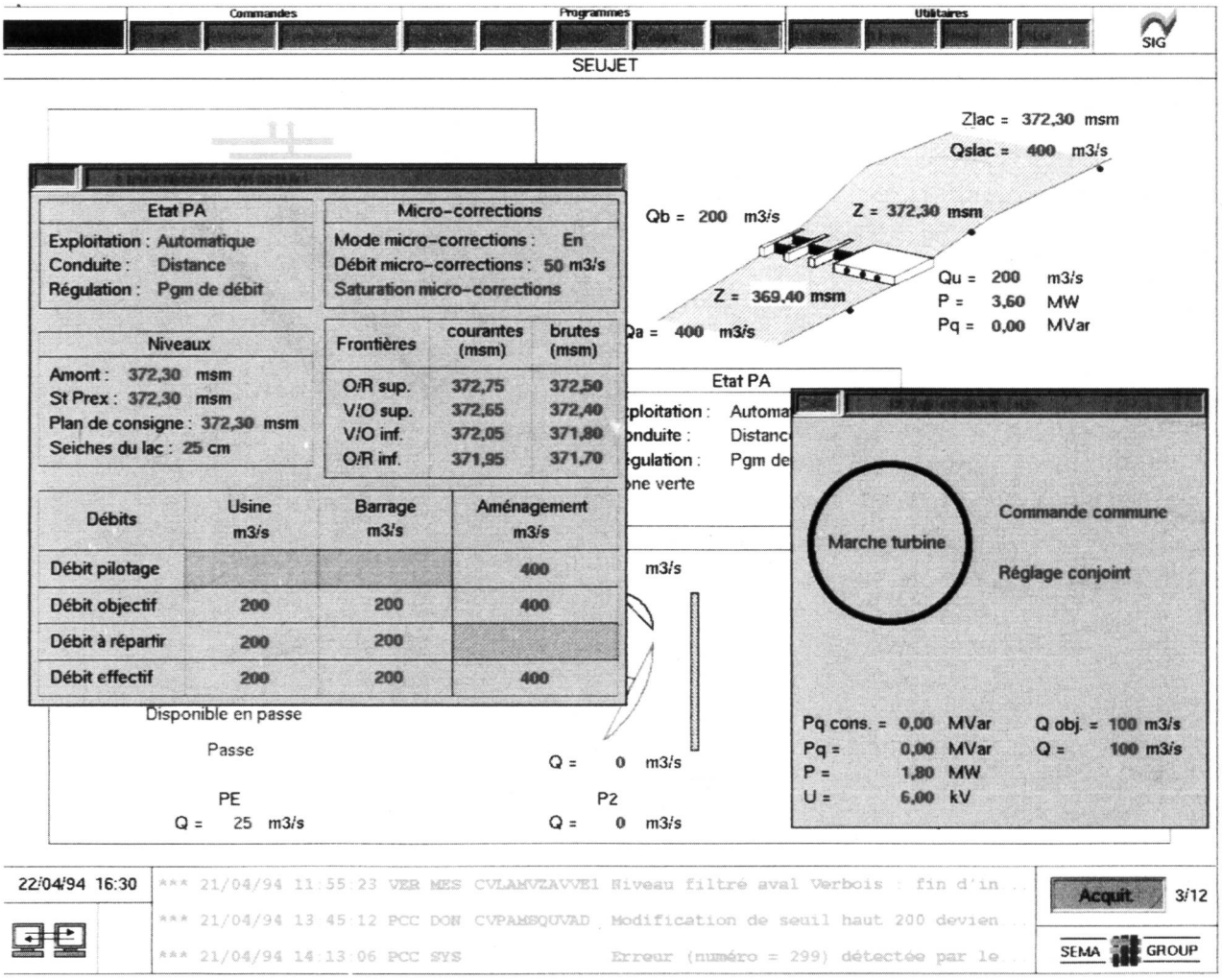

Figure 9. Image de conduite du barrage-usine du Seujet.

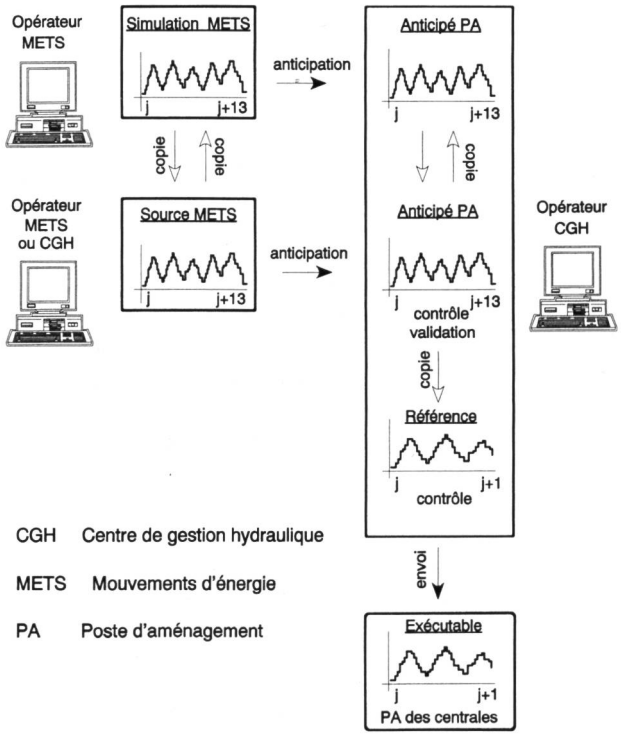

Figure 10. Stratégie d'élaboration des programmes de débit.

- Juillet 1995: mise en service du poste de conduite centralisée
- Octobre 1995: mise en exploitation du Centre de gestion hydraulique

Conclusion

Contrairement aux centrales à haute chute en cascade, la conduite d'une chaîne de centrales à basse chute en rivière a été très peu automatisée. Le système de conduite en cours de mise en place sur le Rhône genevois tire profit des études et des expériences effectuées sur le Rhône français par la Compagnie nationale du Rhône.

Suite à l'automatisation intégrale de la centrale de Verbois et du barrage-usine du Seujet, les premiers résultats sont une sécurité accrue de ces ouvrages, une augmentation de leurs performances ainsi qu'une réduction du personnel de conduite. La mise en service du poste de conduite centralisée au Centre de gestion hydraulique de Verbois devra maintenant permettre la conduite automatique de l'ensemble de la chaîne et par là réaliser les objectifs fixés dans le programme de valorisation de la production hydroélectrique genevoise.

Adresse de l'auteur: *Raymond Cettou,* Services industriels de Genève, rue du Stand 12, case postale 5445, CH-1211 Genève 11.