

Le contrôle-commande des petites centrales

Small hydropower stations control and monitoring

par P. Jacquemmoz, D. Tironi

Electricité de France

An hydropower station control and monitoring system is in charge of electromechanical devices automatic working. Until now, the EDF small stations control and monitoring was based on the other stations system. But today, in order to reduce the global cost of a station, the principles for the small stations that do not jeopardize people or electrical network, are to set up only working specifications and a guide for electrical installation. These new principles have been applied to some small stations renewing in 1997, in particular the Rabastens station.

I ■ AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE

Un aménagement hydroélectrique transforme l'énergie naturelle hydraulique en énergie électrique produite dans les alternateurs.

Il est constitué d'une succession d'ouvrages qui participent directement à la production électrique : les ouvrages de retenue (les barrages, prises d'eau), d'amenée d'eau (les galeries, canaux, conduites forcées), de production (turbines alternateurs), d'évacuation d'énergie (transformateur, disjoncteurs).

II ■ CONTRÔLE-COMMANDE

Il est indispensable de coordonner le fonctionnement des équipements électromécaniques. Ainsi le démarrage d'un groupe de production (ensemble turbine alternateur) nécessite l'enchaînement parfaitement maîtrisé d'opérations élémentaires : ouverture de la vanne de garde, ouverture du vannage, mise en rotation progressive, excitation de l'alternateur, " couplage " avec le réseau électrique général.

Les centrales étant automatiques, c'est le contrôle-commande de groupe qui gère toutes ces actions.

Un système automatisé est composé de deux parties :

- la partie commande, autrement dit le contrôle-commande ;
- la partie opérative, autrement dit le processus physique à commander (partie opérative d'un groupe de production, des services généraux etc.).

La partie opérative d'un groupe comprend la vanne de garde, la turbine, l'alternateur, éventuellement le transformateur, le disjoncteur, les organes auxiliaires du groupe.

Les capteurs (contacts fins de course, capteurs de mesure) et les actionneurs (électrovannes, contacteurs) sont usuellement inclus dans la partie opérative.

La partie commande comprend l'automatisme de démarrage/arrêt, l'asservissement aux consignes et la mise en sécurité du groupe, la commande des organes, les signalisations et alarmes éventuelles.

La frontière entre les parties opérative et commande d'un groupe est généralement située au niveau des câbles de liaison entre ces deux parties.

III ■ HISTORIQUE

Dans les années 70, EDF a édicté un corps de doctrines techniques pour le contrôle-commande des groupes de production. Ces doctrines accompagnaient la généralisation des centrales automatiques sans personnel de conduite. Elles reposaient sur les principes directeurs suivants, toujours en vigueur :

- le fonctionnement normal est automatique ;
- la tension de contrôle-commande est fournie par une batterie unique 125 V et distribuée selon une tranche continue par groupe ;
- l'état de sécurité d'un groupe est l'arrêt ;
- l'état de sécurité d'une centrale dépend des conditions hydrauliques ;
- les schémas sont à manque de tension.

Les automatismes des groupes ont été réalisés dans le respect des ces principes à partir de schémas types à relais. D'autre part EDF a engagé des programmes de tests en vue de qualifier les matériels critiques pour la sécurité des installations : relais de protection, automates de couplage, chaînes de mesure de vitesse, diffuseurs d'alarmes, automates de consignation des événements...

Dans les années 80 les automates programmables industriels se sont progressivement imposés lors des opérations de rénovation. Des " Grafcets " types ont remplacé les schémas à relais dans le corps de doctrine, une architecture de contrôle-commande a été définie pour les groupes de puissance unitaire inférieure à 30 MW. Des gammes d'automates programmables ont été qualifiées.

Depuis 90, l'emploi des automates programmables a été confirmé pour les groupes de puissance supérieure à 30 MW.

Ces doctrines ont permis de bâtir des automatismes

simples, fiables, disponibles, facilement maintenables par les agents d'exploitation.

Cependant les automatismes des petites centrales découlaient des principes appliqués sur les autres installations avec quelques simplifications, notamment dans le plan de protection des machines.

IV ■ LES CENTRALES À ENJEU PUREMENT ÉCONOMIQUE

Aujourd'hui, dans un cadre de réduction des coûts globaux (investissement et exploitation sur la durée de vie des installations) de nouvelles orientations techniques allégées visent les centrales de moins de 5 MW (en première approche) qui n'ont pas d'impact sur la sécurité publique (présence d'un barrage, de vannes d'évacuation des crues etc.) la sûreté du système électrique (le réseau) ou l'environnement.

Ces centrales, dites à enjeu purement économique, fonctionnent automatiquement au fil de l'eau. La maintenance en est prioritairement corrective.

Les prescriptions EDF relatives au contrôle-commande se limitent à des exigences fonctionnelles et laissent une grande latitude aux entreprises réalisatrices pour proposer des solutions techniques économiques.

Les équipements doivent rester modulaires et simples. Le remplacement d'un équipement élémentaire ou d'un constituant pendant la durée de vie de l'installation de contrôle commande doit se faire par substitution sans impact sur les autres équipements, ce qui garantit l'interchangeabilité des composants.

Les logiciels sont structurés et modulaires. On privilégie l'utilisation d'outils paramétrables par rapport à des développements spécifiques.

4.1 Pilotage de la centrale

4.1.1 Conduite

Sont assurés :

- la conduite automatique de la centrale en limitant les gradients des débits sortant lors des changements de régime ; en particulier, la régulation de niveau doit rechercher un compromis entre les écarts de niveau et les variations de débit sortant ;
- l'enchaînement des démarrages et arrêts des groupes en tenant compte des indisponibilités et de la consigne de débit à répartir, tout en minimisant le nombre de sollicitations sur les machines.

4.1.2 Protections

Sont assurés :

- le traitement des protections des services généraux et des auxiliaires (distribution d'auxiliaires, ateliers d'énergie, pompes d'exhaure, vannes de tête...);
- l'arrêt d'urgence général ;
- le respect du plan de protection imposé par l'exploitant du réseau électrique en ce qui concerne les défauts extérieurs à la centrale (GTE 2666...).

4.1.3 Interface " homme machine "

L'interface utilisateur comporte seulement les commandes essentielles (arrêts d'urgence, sélection de mode de marche et ordres de commande des groupes, sélection de mode de marche et ordres de commande d'organes auxiliaires) et les signalisations indispensables (défaut groupe, mesure de puissance, niveau de la retenue).

4.1.4 Surveillance

Le contrôle-commande gère les alarmes et leur émission au personnel (alerte locale si présence de personnel à la centrale, renvoi d'alarmes à distance, possibilité d'acquiescement des alarmes à distance, possibilité d'alarmes différées en heures ouvrables...), la consignation des événements (défauts, alarmes et actions d'exploitation et restitution des messages localement voire à distance), l'exploitation à distance grâce à un dispositif simple permettant de consulter à distance certaines informations et d'intervenir sur le déroulement du processus en marche normale.

Pour les organes essentiels comme disjoncteur de groupe et ligne, vannages, vannes de tête, vannes de garde, le retour à l'état de sécurité doit pouvoir être effectué en cas de perte totale d'une source d'alimentation électrique auxiliaire.

4.2 Pilotage des groupes

Les groupes ne disposent ni de régulation de vitesse, ni de régulation de tension ; en vue de respecter les exigences sur l'énergie réactive, les alternateurs doivent disposer d'un réglage de l'excitation et les génératrices asynchrones d'une compensation de facteur de puissance.

Sont assurés :

L'enchaînement des étapes nécessaires pour faire passer le groupe de l'arrêt à la marche établie en turbine et vice-versa dans le cas d'arrêt normal et sur défaut. Un groupe fonctionne en marche automatique enchaînée ou en marche semi automatique. Dans ce dernier cas, l'exploitant agit manuellement sur l'automatisme du groupe pour régler le débit de celui-ci. Une possibilité de démarrage fractionné est demandée.

- La protection sur défauts électriques : découplage et désexcitation immédiats, suivis d'une fermeture rapide de l'organe d'admission du débit et de l'arrêt bloqué du groupe.

- La protection sur défauts mécaniques : fermeture rapide de l'organe d'admission du débit puis découplage, désexcitation et arrêt bloqué du groupe.

- La protection sur défauts réseau : découplage et désexcitation immédiats, suivis d'une fermeture rapide de l'organe d'admission du débit et d'un arrêt avec redémarrage automatique dès que les conditions de réseau et hydrauliques le permettent.

- L'arrêt d'urgence du groupe : même traitement que les protections électriques.

La commande et l'asservissement des organes réglants aux valeurs de consigne.

Les protections sont imposées par l'exploitant EDF.

4.3 Les services auxiliaires

Les services auxiliaires sont constitués par les sources et les circuits de distribution d'énergie à courant alternatif et à courant continu nécessaires pour assurer le fonctionnement des installations de l'ouvrage.

Il est exigé une seule source à courant alternatif, avec régime IT (neutre isolé), une source à courant continu de 24 V ou 48 V.

V ■ EXPÉRIMENTATION : RÉNOVATION DE LA CENTRALE DE RABASTENS (1997)

La maîtrise d'œuvre est réalisée par le Service Ingénierie Hydraulique d'EDF USI Sud-Ouest.

Repère groupe		G1	G2
Année mise en service		1928	1950
Turbine	Type	Hélice vertical	Kaplan vertical
	Débit	15,3 m ³ /s	6,3 m ³ /s
	Petite vitesse	75 tr/mn	185 tr/mn
	Renvoi d'angle multiplicateur vitesse	engrenages à chevrons	engrenages
	Grande vitesse	428 tr.mn	428 tr.mn
	Puissance	283 kW	132 kW
Alternateur	Type	Axe horizontal	Axe horizontal
	Puissance plaque à borne	225 kVA	225 kVA
	Puissance maxi fournie sous 3 m 60 de chute		160 kW
	Tension nominale	220 V	220 V
	Vitesse	428 tr/mn	428 tr/mn
	Excitation	Statique	Statique

Tableau 1 : caractéristiques des groupes

5.1 Présentation succincte de l'aménagement

La centrale de Rabastens est située, en Midi Pyrénées, sur le cours inférieur du Tarn entre Albi et Toulouse. Elle est alimentée par un barrage de type digue déversante. La hauteur de chute maximale est de 3,6 m. Le débit maximal turbiné est 21,6 m³/s. L'énergie électrique produite est évacuée par une ligne E.G.S. 20 kV (cf. Tableau 1).

5.2 Présentation du projet

5.2.1. Expertise de l'existant

Le groupe n°1 est arrêté depuis 1993 suite à une avarie sur le multiplicateur à engrenages pour lequel les pièces de rechange ne sont plus fabriquées (plusieurs dents sont cassées).

Le groupe n°2 installé en 1950 peut être maintenu en service moyennant :

- une révision de la roue,
- le remplacement par un vérin du régulateur de vitesse mécanique, qui est à l'origine de nombreux ennuis d'exploitation.

5.2.2. Solution retenue

La turbine n°1, en bon état et surpuissante par rapport à l'alternateur qu'elle entraînait, se verra accouplée à une génératrice asynchrone par l'intermédiaire d'un nouveau multiplicateur de vitesse.

Les circuits d'évacuation d'énergie, cellules 20 kV installées en 1983 et transformateurs datant de 1967 seront conservés.

Le contrôle-commande installé en 1983 sur plat-forme surélevée est également à conserver moyennant une réfection de l'armoire de commande G1 pour le nouveau groupe, des adaptations pour le G2 et la reprise des services généraux du fait de l'installation d'un automate programmable.

Cette opération est envisageable dans la mesure où un gain est prévu sur le productible annuel du fait de l'augmentation de puissance du G1 avec un retour sur investissement de 12 ans, estimé par EDF Energie Midi Pyrénées.

Dans la suite de l'exposé, ne sera développé que l'opération de rénovation du contrôle commande de la centrale de Rabastens dans le cadre des usines à enjeu purement économique.

5.3 Rénovation des équipements de contrôle-commande

5.3.1. Introduction

Le maître mot de cette opération est : " réduction des coûts ". Dans cette optique, un certain nombre de principes ont été mis en œuvre :

- a/ Le nouveau contexte de la réalisation,
- b/ Recherche des fonctions minimales de contrôle-commande et simplification des schémas,
- c/ Stratégie d'achat.

5.3.2. Contexte de la réalisation/exemples

Afin de garantir un minimum de robustesse, de fiabilité et de maintenance des équipements au-delà de la durée de retour sur investissement, EDF a défini un Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) des centrales à enjeu purement économique. Ce document a été mis en œuvre à titre expérimental sur l'affaire de Rabastens.

EDF avec ce CCTG ne s'affiche plus en tant que spécificateur de matériel et laisse aux entreprises le choix des matériels. Nous allons montrer à l'aide de quelques exemples comment le choix des matériels peut amener une réduction des coûts.

1/ Protections électriques du groupe 1

Le choix s'est porté sur un appareillage numérique programmable d'entrée de gamme (SOCOMEC DIRIS) qui réalise les protections électriques du groupe. Cet appareillage comporte aussi un écran LCD de visualisation, permettant d'afficher les 3 courants, les 3 tensions, la puissance active et réactive ainsi que le cumul de production.

Par la fusion de 2 fonctions habituellement séparées (protections / interface homme-machine) le gain en terme de diminution de la filerie et de l'IHM est important.

2/ Contrôle de température

Un appareillage numérique programmable a été choisi pour l'acquisition des températures des groupes (8 voies possibles). Le traitement des protections est programmable et réalisé par la fermeture d'une boucle sèche sur seuils. Le suivi à distance est possible grâce à l'existence d'une liaison série et la visualisation des températures sur chaque voie se fait par un écran digital.

3/ Acquisition de la vitesse des groupes

Cette fonction est nécessaire pour le contrôle du séquentiel de démarrage des groupes et la protection de survitesse. Des relais à seuil ont été utilisés car peu onéreux en comparaison des chaînes tachymétriques.

4/ Capteur de mesure de la hauteur d'eau dans la retenue

Le matériel proposé par l'Entreprise d'équipement électrique est de marque API à technologie piézorésistive. Le coût par rapport à d'autres constructeurs est nettement inférieur (de l'ordre de 2 à 3).

5/ Circuits d'auxiliaires

Partout où la norme C15.100 le permet, des fusibles ont été utilisés pour la protection des circuits terminaux d'auxiliaires à la place de disjoncteurs divisionnaires.

6/ Conclusion

Ces quelques exemples indiquent bien que le choix d'un certain nombre de matériels s'est fait uniquement sur des considérations économiques. On peut s'interroger sur la fiabilité et la pérennité de ces matériels. Or la plupart des matériels utilisés sont connus par nos services (déjà utilisés sur des applications sans enjeu) et sont largement mis en œuvre par des producteurs indépendants.

Pour prolonger la logique dans laquelle est inscrite le choix des matériels, nous avons récupéré tout ce qui a été jugé en bon état (peu ou pas de manœuvres par exemple) :

- barrettes de connexion DAV,
- interrupteurs de tranche,
- court-circuiteurs,
- boîtes d'essai type SECURA,
- disjoncteurs divisionnaires,
- porte fusibles...

C'est un changement de logique important dans nos établissements bien que déjà réalisé par nos anciens.

5.3.3. Simplification des fonctions

De nombreuses simplifications sur les fonctions de contrôle-commande ont été réalisées pour épurer au maximum tout ce qui ne sert pas strictement à la production d'énergie.

1/ Interface homme machine

Celle-ci a été réduite au minimum. Pour le G1 nous avons mentionné comment nous y sommes parvenus (voir § 5.3.2).

La fonction de consignation d'états n'a pas été mise en place car elle nécessite une imprimante et donc une maintenance. Elle a été remplacée par un produit interne EDF qui permet de télé-exploiter les aménagements à distance.

2/ Fonctions des services généraux

Les circuits de détection d'incendie ont été supprimés. Il y a eu simplification du circuit des alarmes de façon à n'avoir plus qu'un seul type d'alarme transmis à la tête de groupement d'usines en heures ouvrables. C'est le logiciel de télé-exploitation qui permet de gérer la transmission des alarmes.

3/ Architecture automate

L'architecture retenue est à un seul automate. Celui-ci remplit les fonctions suivantes :

- 1/ régulation de niveau de la retenue,
- 2/ répartition de charge sur les 2 groupes,
- 3/ gestion des séquentiels de marche/arrêt des groupes,
- 4/ réglage en marche des machines,
- 5/ acquisition et traitement des protections des groupes.

Le matériel retenu est de l'APRIL 2000. Bien que le coût

de ce matériel reste élevé par rapport à d'autres automates, cette solution a été choisie en regard de :

- a/ la gratuité du logiciel, déjà mis en œuvre sur un autre aménagement similaire,
- b/ la maintenance du logiciel, car il s'agit d'un standard en interne,
- c/ la maintenance du matériel, car le groupement d'usines possède du matériel de rechange.

4/ Schéma de contrôle-commande

Pour les groupes, le schéma de contrôle-commande retenu est à logique positive (schéma à émission). Les protections électriques et mécaniques sont acquises par l'automate qui pilote par ses sorties les divers organes des groupes : disjoncteur, vannage/pales, vanne de garde...

Seules les protections réseaux (GTF 2666 type 3) ont un contact doublé permettant le déclenchement des disjoncteurs des groupes.

Les risques d'un tel schéma sont connus et acceptés en regard de l'enjeu de l'usine (pas de redondance, pas de retour à l'état de sécurité par coupure d'une polarité...).

5.3.4 Stratégie d'achat

La réduction des coûts ne peut pas s'appliquer uniquement aux matériels et aux techniques.

Un travail de recherches d'entreprises capables de mener à bien ce type de modernisation a été réalisé au sein de l'USI Sud Ouest, Service Ingénierie Hydraulique et Service Achats.

La visite de nombreuses usines de producteurs hydrauliques autonomes ou industriels de la région Midi-Pyrénées a permis de dégager une démarche de stratégie d'achat pour la modernisation du contrôle-commande d'usine à enjeu purement économique. Elle a permis de répondre aux contraintes économiques des exploitants pour lesquels 3 possibilités se présentent :

- ne pas renouveler l'autorisation,
- arrêter la centrale et attendre la fin de l'autorisation ou vendre,

renouveler si les coûts de renouvellement sont rentables.

Les critères de sélection des entreprises ont été les suivants :

- coût de main d'œuvre faible (petites structures ou filiales de grands groupes),
- expérience dans le domaine avec des références,
- de bonnes capacités d'études et d'adaptation au contexte varié des aménagements hydrauliques.

Le choix s'est porté sur une PME ayant une grande expérience auprès de producteurs autonomes de la vallée de l'Ariège.

IV ■ CONCLUSION

Après plusieurs décennies où le contrôle-commande des petites centrales hydroélectriques d'EDF a été conçu à partir des spécifications applicables aux grandes centrales, les orientations actuelles s'écartent de doctrines techniques internes à l'entreprise et permettent des solutions techniques originales dans l'objectif d'une réduction des coûts.

Ces orientations ont été expérimentées avec succès à Rabastens où l'installation intègre des fonctionnalités simplifiées, des matériels économiques et une stratégie d'achat cohérente.