Conduite automatique de l'usine marémotrice de la Rance

Sébastien de la Vallée Poussin

Division energie Sema Group

L'usine marémotrice de la Rance a été inaugurée le 26 novembre 1966. Dès 1968, un automate (calculateur PDP8) avait été installé afin d'assister les agents de quart chargés de la conduite. L'article évoque la refonte de cet automate afin de rendre la conduite de l'usine entièrement automatique, avec suppression des agents de quart. Après une description des modes d'exploitation, sont présentés les principes retenus par EDF pour l'architecture et la réalisation du nouvel automate de conduite. Enfin, quelques éléments caractéristiques de la solution informatique apportée par Sema Group illustrent la complexité de l'automatisation d'une usine marémotrice de grande taille.

Caractéristique des ouvrages

Génie civil

L'ensemble des ouvrages comprend, de la rive gauche à la rive droite :

- une écluse de 13 m de large rétablissant la navigation entre le bassin et la mer (sas de 65 m de long) ;
- l'usine (390 m de longueur, 53 m de largeur et 33 m de hauteur), qui abrite 24 groupes bulbes réversibles de 10 MW chacun ;
- une digue morte ;
- un barrage mobile de 115 m équipé de 6 pertuis de vannage de 15 m × 10 m. Les six vannes du type wagon peuvent assurer un débit total de 9 600 m³/s pour une hauteur de chute de 5 m. Elles permettent l'équilibrage rapide des niveaux en vue de la vidange ou du remplissage du bassin.

Le couronnement des ouvrages supporte une route à grande circulation reliant Dinard à Saint-Malo, consti-

tuée par deux chaussées de 7 m de large avec terre-plein central, qui franchit l'écluse à l'aide de deux ponts levants de 9 m de largeur chacun. Le volume des bétons est de 3 500 000 m³ pour 16 000 tonnes d'acier, et la surface des parements exposés à la mer est de 90 000 m².

Équipement électromécanique

Les groupes sont du type « bulbe amont », ils rassemblent dans une même coque métallique immergée dans un conduit hydraulique :

- une turbine Kaplan horizontale à pales et distributeur mobiles,
diamètre de la roue : 5,35 m
nombre de pales : 4 (− 5° à 35°)
nombres d'aubes directrices du distributeur : 24
vitesse normale : 93,75 tr/min
débit maximal : 275 m³/s ;

- un alternateur synchrone de 10 MW à excitation statique, fonctionnant dans l'air surpressé à 2 bars absolus sous la tension de 3 500 V.

Automatic control of the Rance tidal plant

La Rance tidal power station was inaugurated in November 1966. A PDP8 computer was installed in 1968 in order to assist shift operators responsible for the power station control. The conference aims at to describe the computerized control system refurbishment which makes it possible the automatic control together with the shift suppression. After a description of the station exploitation modes, basic principles of process control system architecture and functions are illustrated. Main characteristics of the data processing system realized by Sema Group, show the design of an automatic control system of a large size tidal power station.

Les groupes peuvent fonctionner indifféremment en pompe ou en turbine, leur sens de rotation étant déterminé par le sens d'écoulement de l'eau.

L'unité d'exploitation est constituée par un ensemble de quatre groupes qui fonctionnent simultanément et disposent en commun d'un certain nombre d'organes annexes, notamment pour le réglage des turbines et l'excitation des alternateurs. Chaque ensemble débite sur l'un des deux primaires du transformateur de « bloc » correspondant.

Les services auxiliaires alternatifs sont alimentés à partir de deux transformateurs 63/5,5 kV de 5 MVA raccordés en dérivation sur un câble reliant Dinard à Saint-Malo. Un réseau 5,5 kV distribue l'énergie à une série de huit postes de transformation 5 500/380 V. Deux groupes diesels de 600 kVA à démarrage automatique assurent l'alimentation des auxiliaires essentiels en cas de perte de la tension 63 kV.

Exploitation de l'usine

Cycle à simple effet (avec pompage)

Partant d'un état initial (bassin plein, marée descendante) où les groupes sont à l'arrêt et les vannes fermées, les groupes démarrent dans le sens direct (DIR-GDM) et restent couplés jusqu'à une valeur minimale de la chute où ils reçoivent alors un ordre d'arrêt (GAR) (fig. 1).

Le remplissage du bassin s'effectue par l'ouverture des vannes (VOC) et en faisant fonctionner les groupes en orifice (ORI) : distributeur et pales bloqués à la pleine ouverture pour un débit maximal, ils ne sont pas couplés au réseau.

A l'égalité des niveaux de la mer et du bassin, les vannes sont fermées ; selon les besoins en énergie, les groupes peuvent être démarrés en pompe pour augmenter la cote du bassin pour le cycle suivant.

La phase d'arrêt de la centrale est plus ou moins longue selon les besoins du réseau en puissance active ou réactive. L'heure de démarrage des groupes peut, en effet, être avancée ou retardée selon l'optimisation de la production liée aux caractéristiques de chaque marée et à la validation du coût de l'énergie dans le temps.

Cycle à double effet

Après une phase de turbinage direct, la vidange du bassin en fin de cycle est accélérée en ouvrant les vannes (VOI) et en passant les groupes en orifice (ORI). A la mer étale, les vannes sont fermées (VFC), pendant la phase d'arrêt des groupes. La chute augmente rapidement et les groupes sont alors couplés en turbine inverse. Le cycle se termine par un passage en orifice avec ouverture de vannes, de façon à remonter le niveau du bassin.

L'optimisation de la production détermine ainsi plusieurs types de cycle :

- simple effet avec ou sans pompage,
- double effet avec ou sans pompage direct,
- double effet avec pompage inverse (cas où on survide le bassin par les groupes),
- double effet avec pompage direct et inverse.

1. Cycle à simple effet.

La gestion des différentes marches est complexe et l'outil informatique permet d'en fixer les conditions par le programme de conduite de l'usine, exploité par un mini-calculateur.

Nouveau système de conduite de l'aménagement

Raison du changement

L'automate d'aide à la conduite (PDP8) avait été installé en 1968. Des problèmes liés à la vétusté de ce matériel sont apparus il y a quelques années. Par ailleurs, il devenait de plus en plus difficile d'en assurer la maintenance et de se procurer des pièces de rechange. C'est pourquoi il a été décidé de procéder à une rénovation de cet automate, sans incidence sur le relayage de commande des groupes. Les études et la maîtrise d'œuvre du nouveau système de conduite ont alors été confiées à la division Electricité du service de la Production hydraulique.

Cette rénovation a aussi permis d'améliorer le degré d'automatisation de l'usine de façon à :

- Assurer la conduite entièrement automatique de l'aménagement sans personnel permanent de conduite.
- Améliorer la qualité de la conduite.

Exemples :

- démarrage ou arrêt à heure fixe ou à chute donnée ;
- démarrage assisté ;
- report de charge en cas de déclenchement ;
- microrattrapage plus efficace (asservissement réduisant l'écart entre le niveau réel du bassin et celui prévu) ;
- contrôle de la puissance réactive des groupes ;
- visualisation d'informations diverses ;
- utilisation des possibilités d'une base de données.

2. Configuration du système de conduite.

- Réaliser des fonctions répétitives faites à la main par le personnel d'exploitation.

Exemples :

- tracés de courbes de niveaux ;
- fonction de suivis ;
- relevés de valeurs automatiques (protections cathodiques) ;
- statistiques et bilans d'exploitation.

Principes retenus pour la réalisation

Compte tenu de la taille de l'usine et du coût de câblage une structure décentralisée a été retenue. Les informations et commandes des groupes sont câblées au niveau d'un ensemble (quatre groupes) et traitées par un équipement de conduite d'ensemble ECE (fig. 2). Il en est de même pour les vannes, l'équipement de conduite des vannes traitant de plus les informations en provenance des auxiliaires.

Le relaying du premier rang, encore en bon état, a été conservé, il assure pour quatre groupes (un ensemble) les protections, le démarrage et l'arrêt, le réglage.

En ce qui concerne les vannes, l'automate de premier rang est propre à chaque vanne.

Les équipements de conduite d'ensemble sont situés en salle des machines ; ce sont des *automates programmables* (April SMC 600), car les gradients de température importants constatés auraient pu poser des problèmes

pour l'utilisation de mini-calculateurs. Par homogénéité, l'équipement de conduite des vannes est un automate programmable de même type, situé en salle calculateur.

Les traitements communs et les calculs importants sont effectués dans un calculateur central (équipement de conduite usine-ECU) relié aux automates par des liaisons séries selon un protocole maître-esclave (J BUS).

L'automate de conduite usine (ECU) est ainsi constitué de deux mini-calculateurs Bull SPS 5/70 avec un rack partageable fonctionnant en normal/secours.

La conduite de l'usine est élaborée à partir des informations indispensables suivantes :

- programme de conduite des différentes marches ;
- tableaux de caractéristiques des groupes en fonction des différentes marches.

Le nombre très important de ces informations impose un stockage sur une mémoire de masse constituée par un disque dur de 20 mégaoctets. Pour s'affranchir au mieux d'une défaillance importante interne au mini-calculateur (unité centrale ou disque hors service), il a été choisi de doubler ces unités. La reprise en secours d'un calculateur par l'autre est automatique.

Les automates peuvent détecter une défaillance du calculateur ECU soit à cause d'une panne liaison, soit par arrêt des calculateurs, soit pendant un basculement calculateur.

Ils passent alors dans un état dégradé provisoire. Cet état dégradé devient définitif si les automates ne reçoivent pas de nouveau programme dans les dix minutes.

La conduite en état dégradé peut durer deux heures au niveau des automates.

Commande de groupe

A chaque automate ECE sont associés trois stations de consigne constituées par :

- un moteur alimenté par la tension de contrôle des groupes (127 V =) ;
- un ou plusieurs potentiomètres ;
- un sélecteur de fin de course ;
- un système d'affichage numérique.

Ces stations de consigne gèrent l'inclinaison des pales, la marche en déchargeur et la consigne de tension des groupes.

Les potentiomètres de réglages sont entraînés par des moteurs commandés par des impulsions issues de l'automate lui-même ou des boutons-poussoirs de commande manuelle.

Trois commutateurs permettent de rendre actifs les différents niveaux de commande :

- Le commutateur général « Manuel/Automatique », installé sur le tableau en salle de commande permet, en position « Manuel », de rendre actives les roues codeuses d'affichage centralisé des consignes d'inclinaison de pales et de tension pour les 24 groupes. Ces roues codeuses attaquent directement chaque automate ECE, qui se charge de régler les groupes à la consigne affichée, après validation de celle-ci. En position « Automatique », les consignes sont données par le calculateur et les automates.
- Le commutateur « Centralisé/Ensemble », installé en salle de commande sur chaque tableau d'ensemble, permet, en position « Ensemble », de rendre actifs les boutons-poussoirs de commande des stations de consigne d'inclinaison de pales et de tension de chaque ensemble. Ces valeurs de consigne sont affichées sur le tableau d'ensemble.
- Le commutateur « Local/Distance », installé dans les armoires d'ensemble près des stations de consigne, permet en position « Local », l'affichage direct des valeurs de consigne sur les armoires des ensembles de groupes. En position « Distance », les commandes sont envoyées depuis la salle des machines.

Consignes en déchargeur (perte du réseau 220 kV)

Dans les différents modes (autres que « Local »), l'automate acquiert la chute et fait en permanence la correspondance entre la consigne d'inclinaison des pales et la chute, pour le cas où un déclenchement surviendrait.

Programme de conduite de l'usine

L'usine produit de l'énergie électrique en créant artificiellement une différence de niveau entre le bassin et la mer. L'évolution de cette hauteur de chute dépend du fonctionnement de l'usine et du cycle naturel des marées. La gestion optimale de l'usine est obtenue par la mise en œuvre d'un programme d'optimisation appelé AGRA (algorithme de gestion de la Rance).

Ce programme tient compte du cycle des marées, de la valeur de l'énergie, ainsi que des contraintes locales (indisponibilités des matériels et contraintes d'environnement).

Cet algorithme est un programme dynamique à deux variables d'état (état des groupes et état du bassin).

Le temps de calcul pour optimiser la gestion de la Rance sur une semaine est de 6 min sur un IBM 3091, avec un volume mémoire utilisé de l'ordre de 500 Kilo-mots de 32 bits.

Acheminement du programme de conduite

Le lundi de la semaine S , le dispatching régional de Nantes introduit les données d'entrée du programme, en particulier les indisponibilités programmées, le coût du pompage et la puissance maximale de pompage, pour la période allant du samedi de la semaine S jusqu'au vendredi de la semaine $S + 1$.

Le programme s'exécute sur un calculateur IBM 3091 de la direction des Etudes et Recherche à Clamart. Le fichier des résultats est vérifié, puis envoyé sur le disque dur de la station de rattachement du service central des Mouvements d'énergie à Paris (ultérieurement cette station de rattachement sera située à Nantes. A l'aide d'un micro-ordinateur Bull MICRAL 30 et du logiciel de communication PAMIR, l'exploitant de l'usine se connecte à la station de rattachement et récupère ainsi le programme AGRA. La version reçue, codée en EBCDIC est finalement traduite en ASCII (programme INDUS). L'exploitant peut alors visualiser sur écran les champs de données les plus importants du programme (sur 80 colonnes). Le programme AGRA est ensuite transféré sur le calculateur de conduite à l'aide d'un progiciel de transmission asynchrone baptisé KERMIT.

Contrôle et contenu du programme

Au niveau du calculateur de conduite de l'usine (ECU), le programme AGRA ainsi récupéré est vérifié par un contrôle de forme (nombre de pas), suivi d'un contrôle de fond (cohérence des ordres et des états en fonction de la chute entre autres). Le listing AGRA peut être édité sur une imprimante rapide 400 cps (Bull MST04) (fig. 3).

Il comprend (par pas de 10 min) :

- le jour et l'heure ;
- le type horaire ;
- la cote du bassin (au barrage et à St-Suliac) ;
- la cote de la mer ;
- les créniaux de navigation ainsi que les cotes butées du bassin (contraintes d'exploitation) ;
- la chute ;
- le volume du bassin ;
- le nombre de vannes disponibles ;
- le débit de ces vannes ;
- le nombre de groupes ;
- le type de marche ;
- les débits des groupes ;
- l'incidence des pales ;
- la puissance ;
- l'énergie, produite et consommée, cumulée ainsi que la dépense cumulée ;

- la recette cumulée ;
- le coût de l'énergie ;
- la limite en pompage ;
- les ordres tout ou rien de commande des groupes et des vannes.

Modification du programme

Le programme AGRA peut alors être modifié en fonction d'une indisponibilité fortuite ou de la suppression d'un pompage, par exemple. Deux programmes de modification existent : modification de l'incidence des pales et modification du niveau du bassin.

Ces programmes nécessitent la prise en compte au niveau de l'ECU des formules de calcul de débits et de pertes de charge pour les différents types de marche.

Le programme AGRA est ensuite chaîné au programme en cours ; l'égalité sur les pas de programme adjacents est nécessaire (chute, ordres et niveaux en particulier). Le programme obtenu est appelé AGRA LONG TERME : il comprend ainsi le reste du programme AGRA de la semaine S et le programme de la semaine $S + 1$.

Afin de tenir compte des « écarts de mer » (écart entre cotes réelle et prévue) en fonction des aléas climatiques, un programme AGRA COURT TERME d'une durée de 12 h 30 est élaboré toutes les 10 min. Son principe consiste à prendre en compte l'écart de mer à l'heure H et à en déduire la tendance future. On recalcule ainsi la mer pour les 12 h 30 à venir. Ce programme est lui-même modifiable en temps réel par l'exploitant (sauf pour les deux heures suivantes déjà envoyées aux automates).

Le programme AGRA COURT TERME est envoyé toutes les 10 min aux automates. Il comprend notamment :

- l'incidence, les ordres et la condition d'exécution (chute) pour les ensembles ;
- les ordres et la condition d'exécution (chute) pour les vannes.

Ces informations sont stockées dans la zone programme des automates.

Echanges entre le calculateur et les automates

La transmission entre le calculateur ECU et les automates ECE/ECV s'effectue à travers sept liaisons séries à boucle de courant fonctionnant à 9 600 bauds (liaisons chargées au tiers de leur capacité en régime normal). Pour permettre cette liaison, une carte de communication selon le protocole maître-esclave JBUS (CLI J2), implantée sur chaque automate, gère côté automate, la transmission des données.

D'une façon générale, la structure de la zone mémoire des automates est la suivante (classée par priorité décroissante).

Zone états

Les données nécessaires au traitement de l'ECU sont constituées par les mesures et les états des différents organes (groupes ou vannes).

Cette zone est lue par l'ECU toutes les 500 ms pour les états et toutes les 10 s pour les mesures.

Zone informations

L'ECU transmet dans cette zone les informations supplémentaires nécessaires aux ECE/ECV pour exécuter les consignes du programme de conduite :

Exemples :

- consignes d'incidence usine (normalement $i_{\text{agra}} + i_{\text{micro}}$, recalculées toutes les 5 min) ;
- marée de morte eau ;
- consigne de puissance réactive ;
- présence de liaison ;
- hauteur de chute toutes les 10 s.

Il transmet également les informations aléatoires élaborées en temps réel en fonction de l'état de l'usine.

Exemples :

- consigne d'incidence usine avec report de charge éventuel ;

HEURE	COTE SL SUL.	COTE BARR.	COTE MER	CHUTE	VOLUME	VANNES	GROUPES	PUISS.	E. CUM	R. CUM	PALES	COUT	LIM. ORDRE
	M	M	M	M	10 ³ M ³	M ³ /S		KW	MWH	F	DEGRES	F	MW
0 H 00	8.14	8.30	8.79	-0.49	77 323	5 - 2 761	22 OI - 2 241	0	0	0	15.00	245	220
0 H 10	8.34	8.49	8.97	-0.48	80 325	5 - 2 740	22 OI - 2 192	0	0	0	15.00	245	220
0 H 20	8.53	8.67	9.12	-0.45	83 285	5 - 2 676	22 OI - 2 114	0	0	0	15.00	245	220
0 H 30	8.72	8.84	9.26	-0.41	86 160	5 - 2 575	22 OI - 2 010	0	0	0	15.00	245	220
0 H 40	8.90	9.00	9.37	-0.37	88 911	5 - 2 430	22 OI - 1 875	0	0	0	15.00	242	220 INV
0 H 50	9.06	9.14	9.45	-0.31	91 495	5 - 2 237	22 OI - 1 709	0	0	0	15.00	238	220
1 H 00	9.20	9.27	9.52	-0.25	93 863	5 - 1 989	22 OI - 1 507	0	0	0	15.00	234	220 VFC
1 H 10	9.33	9.38	9.56	-0.18	95 961	5 - 1 618	22 PD - 1 655	-14 093	-2	-544	7.00	232	220
1 H 20	9.45	9.49	9.59	-0.10	97 925	5 - 1 111	22 PD - 1 646	-15 124	-4	-1 127	6.90	231	220
1 H 30	9.55	9.58	9.59	-0.01	99 580	0 0	22 PD - 2 242	-26 779	-9	-2 153	11.30	230	220
1 H 40	9.63	9.65	9.57	0.08	100 925	0 0	22 PD - 2 673	-38 977	-15	-3 543	14.50	214	220
1 H 50	9.72	9.75	9.54	0.21	102 529	0 0	22 PD - 2 745	-44 618	-23	-4 956	15.10	194	220
2 H 00	9.82	9.85	9.49	0.36	104 177	0 0	22 PD - 2 731	-48 781	-31	-6 376	15.10	171	220 VFI
2 H 10	9.91	9.94	9.42	0.52	105 816	0 0	22 PD - 2 717	-53 303	-40	-7 824	15.10	163	220
2 H 20	10.01	10.03	9.34	0.69	107 446	0 0	22 PD - 2 787	-61 016	-50	-9 411	15.70	156	220
2 H 30	10.10	10.13	9.25	0.88	109 119	0 0	22 PD - 2 758	-65 680	-61	-11 086	15.60	153	220
2 H 40	10.20	10.22	9.14	1.08	110 774	0 0	22 PD - 2 729	-71 318	-73	-12 881	15.60	151	220
2 H 50	10.29	10.31	9.02	1.29	112 412	0 0	22 PD - 2 715	-77 801	-86	-14 826	15.60	150	220

3. Exemple de programme AGRA.

- arrêt immédiat d'un ensemble ;
- interdiction de démarrer ;
- demande de mesure des protections cathodiques ;
- interdiction de transition ;
- fermeture impérative des vannes.

Zone programme

Elle est constituée du programme AGRA COURT TERME pour les deux heures à venir (incidence, ordre et condition de chute).

Zone de consignation

Les automates stockent dans cette zone les informations datées devant figurer sur le journal de bord ou sur l'imprimante de consignation. Ce sont les défauts, alarmes, changements d'états, valeurs particulières (vitesse groupes) et ordres exécutés. Cette zone est lue par l'ECU toutes les secondes.

Zone paramètres

Cette zone de 100 mots comporte les divers paramètres nécessaires à l'automate. Ceux-ci sont modifiables par dialogue opérateur.

Principe de la vérification et de l'exécution des ordres pour les transitions sur les groupes et les vannes

Pour chaque transition, on définit une fenêtre qui contient le ou les ordres à émettre.

Une première phase de fond du programme consiste à tester sur un pas si la chute est cohérente avec l'ordre à émettre et si celui-ci est bien placé.

Une deuxième phase, dite d'exécution, représente la condition d'exécution de cet ordre au moment de sa prise en compte par les automates (en vue d'un éventuel report). Cette condition de chute peut être figée ou dépendante du programme AGRA (fin de pompage par exemple).

Nota : Si la condition de chute existe avant le pas de positionnement de l'ordre, l'ECU autorise l'exécution de cet ordre lorsque les ensembles sont en mode automatique.

Gestion de la conduite au niveau du calculateur

Base de données

La base de données implantée sur le système de conduite de l'usine de la Rance est un produit de la société SEMA GROUP, qui a réalisé le logiciel de conduite.

Par rapport au noyau central, on distingue 6 directions (fig. 4) :

- l'élaboration du programme de conduite ;
- la conduite de communication avec les automates ;
- la consignation d'états ;
- le dialogue de maintenance ;
- le dialogue d'exploitation ;
- l'archivage.

Elaboration du programme de conduite

Rappel : Cette élaboration est constituée de plusieurs phases :

- un contrôle de forme puis de fond ;
- des modifications éventuelles, suivies d'un contrôle de fond ;
- un chaînage au programme existant ;
- une application de l'anticipation des écarts de mer.

Les trois premières phases nécessitent la participation de l'exploitant et de l'outil « dialogue de maintenance ». La vérification de fond permet de contrôler l'exactitude des fenêtres de transition des groupes et des vannes.

Par ailleurs, un contrôle de fond existe sur les relations débit-chute-incidence pour les différents types de marche, ainsi que sur la cavitation des groupes couplés.

Des modifications de programme sont possibles en cas d'indisponibilité fortuite ou d'arrêt du pompage, par exemple, ou lorsque le contrôle de fond détecte des erreurs jugées bloquantes.

Couche de communication

Celle-ci permet :

- La mise à jour des données connectées à l'ECU ou aux automates par :
 - une demande de traitement de rafraîchissement des variables d'une même origine ;
 - une remontée de la variable sur un critère de seuil ou de temps (sauf dans le cas de mesures filtrées ou archivées périodiquement).
- La création d'un lien entre les variables de la base de données et l'information physique connue.

Ces variables peuvent être :

- associées à des entrées/sorties tout ou rien ;
- des états résultants (états externes, mode de commande) ;
- des mesures analogiques (acquises ou calculées).

4. Exploitation de la base de données.

Ce lien est supprimé à l'arrêt de la variable.

- La datation des changements des états tout ou rien.
- La surveillance des liaisons avec les automates, des chaînes de mesures analogiques et de certaines cartes d'entrées/sorties de l'ECU.

— Les échanges avec les automates :

— entrées/sortie tout ou rien avec leur changement d'état ;

— envoi du programme AGRA ;

— envoi d'informations diverses (paramètres de conduite).

La consignation des événements

Un événement est une information qui permet de caractériser l'évolution du procédé ou celle du système informatique. Cette information est consignée sur un ou plusieurs périphériques (imprimantes ou consoles de visualisation).

Les événements sont détectés au niveau de l'ECU ou des automates. On en distingue différents types :

- acquisition des états tout ou rien (ECU, automates) ;
- mode de commande (ECU) ;
- acquisition des valeurs analogiques (ECU) sur dépassement de seuil ou variation trop rapide ;
- émission d'ordres pour les automates ;
- contrôle permanent (état carte, réception horloge, etc).

Le dialogue de maintenance permet de gérer les variables à consigner (notion de mise à l'arrêt de variables, modification de paramètres, etc.).

Il existe par ailleurs des événements pour renseigner l'exploitant sur l'état du système (basculement calculateur, initialisation...).

Datation des événements

Les événements associés aux changements d'états sont datés à 100 ms près, l'heure de référence est fournie par une horloge synchronisée sur la station radio France Inter.

L'ECU sait effectuer en permanence une correspondance entre le compteur interne à l'automate et la date légale. Par ailleurs, l'ECU gère l'inter-classement des événements.

Différents indicateurs sont prévus : indicateur de consignation lors des initialisations d'automates et indicateur de retard lors de la saturation de la table de consignation (avalanche d'événements).

Périphériques

On dispose des périphériques suivants :

En salle de commande de l'usine :

- imprimante consignation (changement d'états et événements de la gestion temps réel) ;
- imprimante journal de bord (conduite et exploitation de l'usine) ;
- console graphique d'exploitation.

Dans le bâtiment d'exploitation de l'écluse :

- imprimante journal de bord ;
- console graphique d'exploitation.

Les défauts importants sont consignés sur la dernière ligne de la console graphique d'exploitation avec alarme associée. Une liste non fugitive des défauts présents (alarme « normale » ou « urgente ») est mise à jour en permanence et éditée sur l'imprimante de service journalièrement à 00 h 30.

— Des imprimantes disposées à Saint-Malo (port et écluse) et à l'écluse de Chatelier renseignent les tiers sur les différentes marches de l'usine.

Le dialogue de maintenance

Le poste de travail du dialogue de maintenance est composé des périphériques suivants :

- écran alphanumérique 24 lignes/80 colonnes ;
- clavier associé à l'écran ;
- imprimante de service (imprimante rapide 400 cps).

Le dialogue de maintenance se fait à partir d'un menu de clefs de dialogue visualisé sur l'écran.

Au niveau de l'usine, il existe deux types de dialogue opérateur, protégés par un mot de passe :

• Opérateur « exploitation »

Les clefs disponibles concernent le programme de conduite de l'usine (élaboration, modification et sauvegarde), ainsi que la possibilité de gestion d'une interdiction de transition des groupes.

• Opérateur « de maintenance »

Outre les clefs accessibles à l'opérateur « exploitation », sont accessibles :

- la gestion des variables et des paramètres ;
- la liste des messages et des variables ;
- la composition d'un suivi et sa restitution sur écran, imprimante ou table traçante.

Le suivi permet de gérer jusqu'à 60 variables (analogiques ou états) pour des périodes multiples de 10 s. La restitution du suivi peut se faire sous forme d'édition au fil de l'eau sur un écran, sur imprimante (date de début-date de fin), ou sur table traçante.

Le dialogue d'exploitation

Il existe deux postes de travail :

- Le poste opérateur, situé en salle de commande et composé de :

- écran graphique couleur ;
- platine d'exploitation ;
- imprimante de service ;
- table traçante.

- Le poste de surveillance déporté situé dans le bâtiment d'exploitation avec :

- écran graphique couleur ;
- platine d'exploitation simplifiée (sans les touches de conduite) ;
- imprimante.

Les fonctions du dialogue d'exploitation

On distingue :

1. *Les images* : les images actionnées à partir des touches de visualisation des platines sont des photographies instantanées d'informations présélectionnées pouvant être rafraîchies en temps réel. Ce sont :

- les situations de l'usine et des ensembles ;
- les débits des groupes, des vannes, de l'usine ; les niveaux usines... ;
- les puissances actives, réactives (de consigne et réelles) ; les tensions jeux de barres... ;
- la visualisation du programme de conduite non validé (hors ligne).

2. *Les relevés* : ce sont des informations présentées dans l'état au moment de la demande. Ces relevés sont présentés sur la console graphique et éditables sur l'imprimante rapide.

● *Relevé Etat d'un ensemble* :

- mode de commande ;
- consigne d'incidence ;
- puissance active et réactive (réelle et consigne) ;
- incidence pales et vannage ;
- incidence théorique de vannage ;
- température air alternateur ;
- puissance active et réactive.

● *Relevé Etat Usine* :

- groupes indisponibles ;
- vannes indisponibles ;
- mode de commande et état externe des ensembles ;
- puissance active et réactive (réelle et consigne) de l'usine.

● *Relevé Etat des Auxiliaires* :

- transformateur 63 kV/5,5 kV ;
- diesels ;
- pompes d'exhaure ;
- onduleurs (normal/secours) ;
- redresseurs (présence défaut) ;
- ventilateurs du bâtiment d'accès.

● *Relevé de la protection cathodique d'un ensemble (existe aussi sur d'autres structures pour les vannes)* :

Protection cathodique : Toutes les pièces du groupe situées du côté du bassin, jusqu'à l'avant-distributeur inclus, sont en acier au carbone. Les autres pièces au contact de l'eau de mer, à l'exception de l'anneau côté mer, sont en matériaux inoxydables. Une installation de protection cathodique à soutirage de courant permet de protéger les surfaces métalliques immergées contre les effets des couples galvaniques. Une source extérieure à courant continu a son pôle négatif relié aux structures métalliques à protéger et son pôle positif à des anodes ponctuelles réparties sur les groupes (36 anodes) ainsi que sur les vannes.

Quatre prises permettent de mesurer le potentiel des structures métalliques à protéger.

Tension : calotte, manteau du distributeur, roue bassin et mer, joint d'arbre.

Intensité : bras d'accès triant, distributeur, manteau de roue, joint d'arbre.

Un relevé « états globaux » peut être édité sur l'imprimante de service.

3. *Les tracés* : ils sont édités sur la table traçante à partir du poste opérateur.

● *Tracés bilans journaliers* :

- 4 courbes de niveau (amont et aval, réels et prévus) ;
- 3 courbes de puissance (active réelle et prévue, réactive réelle) ;
- 2 courbes d'incidence : (consigne du programme et consignes d'incidence usine).

● *Tracés programmés* :

- courbes des coûts de l'énergie (jour par jour) ;
- courbes des niveaux mer et bassin (jour par jour).

4. *Les bilans* : ils sont édités sur l'imprimante rapide à partir du poste opérateur. On distingue des bilans journaliers, hebdomadaires, mensuels.

Les bilans journaliers se composent de :

● *Bilan hydraulique* :

- niveau maximal et minimal de la mer et du bassin ;
- chutes maximales atteintes ;
- hauteur de chute en fin de pompage direct et inverse ;
- les niveaux classés (temps pendant lesquels les niveaux mer et bassin sont supérieurs à certaines cotes).

● *Bilan d'état* :

Sont concernés les groupes et les vannes disponibles ainsi que la liste des défauts à 0 h et 12 heures.

● *Bilan d'exploitation* :

- énergies et puissances produites et consommées ;
- groupes indisponibles avec horodatage ;
- ensembles en défaut ;
- modes de marche des ensembles, ainsi que leurs modes de commande ;
- bilans des énergies actives et réactives produites et consommées en fonction des modes de marche ;
- modes de commande des vannes, ainsi que leur état externe.

Les bilans journaliers sont édités automatiquement à 0 heure.

Les bilans hebdomadaires et mensuels comprennent les bilans hydrauliques et d'exploitation.

5. *L'archivage* : la fonction d'archivage est née du besoin de visualiser à la demande l'historique d'entités d'exploitation sous forme de courbes.

Une variable est archivée sur disque si la valeur absolue de la différence entre deux valeurs consécutives est supérieure à un certain seuil.

Description des transitions entre modes de conduite de l'usine

Mode veille :

L'équipement informatique est déconnecté (ni acquisition ni surveillance). C'est le cas d'un arrêt de l'application.

Mode surveillance :

L'équipement informatique acquiert et traite les informations ainsi que les dialogues. Les ensembles de groupes et de vannes ne sont pas en automatique.

Mode automatique :

Le passage en automatique se fait à partir du mode surveillance. Il doit y avoir mise en automatique des ensembles en fonction de certains critères (chute valide, présence du programme, absence d'ordre en cours, faible écart sur le bassin, liaison présente et critères de commandabilité des ensembles).

Fonctions spécifiques du nouveau système de conduite

Microrattrapage

La fonction de microrattrapage a pour but de résorber les dérives éventuelles entre le niveau réel du bassin et celui prévu, lors du fonctionnement en turbine. La consigne de microrattrapage est une incidence (limitée à $\pm 4^\circ$), qui s'ajoute à la consigne générale d'incidence. Le microrattrapage peut être manuel (action à partir de la platine du poste opérateur) ou automatique.

Il existe deux boucles de régulation du niveau (fig. 5) :

- sur le niveau amont de l'usine,
- sur le niveau à St-Suliac (au milieu du bassin).

Nous raisonnerons sur cette dernière boucle où le niveau à St-Suliac filtré est comparé à la cote prévue pour ce niveau. L'écart obtenu est filtré et injecté à l'entrée du régulateur ($E(t)$). Le régulateur est constitué d'un correcteur numérique intégrateur à réponse plate asymptotique.

$$r_1(t) = \frac{1-c}{A} [E(t) - E(t - T_0)] + Cr_1(t - T_0) + \frac{1-c}{A} \sum_{i=1}^N [\alpha_{(i)} r_1]$$

Avec $A = \sum_{i=1}^N \alpha_{(i)}$ et $T_0 = 5 \text{ min}$.

C = coefficient d'adoucissement (table dépendant du niveau à St-Suliac).

$\alpha_{(i)}$ fait partie d'une table (Niveau à St-Suliac, NT_0).

L'intégrateur est défini par :

$$Dr_2(t) = 0,5 \cdot K_{INT}(E(t) - E(t - t_0))$$

où K_{INT} est un coefficient d'action intégrale dépendant du niveau à St-Suliac.

Le débit de régulation issu du régulateur s'obtient par la formule :

$$Q_{REG}(t) = Q_{REG}(t - T_0) + [r_1(t) - r_1(t - T_0)] + Dr_2(t)$$

Ce débit est ensuite converti en incidence :

$$I_{MIC} = (Q_{REG} \cdot i_0) / (NBG \cdot Q_0)$$

où NBG est le nombre de groupes commandables et i_0 l'incidence de correction faisant varier le débit de Q_0 .

L'incidence globale obtenue peut être limitée si elle conduit à une surpuissance ou à de la cavitation.

Procédure de démarrage assisté

A chaque démarrage en turbine, l'ECE vérifie l'état de chaque groupe en fonction de sa vitesse. Trois états sont possibles :

- Groupes en vitesse $N > 50 \text{ tr/min}$,
- Groupe collé sur sa butée $N < 5 \text{ tr/min}$,
- Groupe en dévissage $5 < N < 50 \text{ tr/min}$.

Si tous les groupes conduits par l'ECE sont en vitesse, la séquence de démarrage se poursuit correctement. Sinon une procédure de démarrage assisté est dégagée. De façon générale, le démarrage assisté consiste à augmenter l'incidence des pales du groupe jusqu'à une certaine limite.

En surveillant la vitesse du groupe, on détecte les « délogeables », caractérisés par :

- $N > 5 \text{ tr/min}$ pour un groupe collé,
- $N < 5 \text{ tr/min}$, puis $N > 5 \text{ tr/min}$ pour un groupe en dévissage.

Lorsque le groupe est délogé, il y a retour de l'incidence des pales à la consigne du programme. Si tous les groupes sont en vitesse, le démarrage se poursuit jusqu'au couplage, avec édition des vitesses.

5. Boucles de régulation du niveau.

Entrées et sorties du système informatique

Les prestations d'informatique de conduite (calculateurs, automates et logiciels de conduite) ont été assurées par la société SEMA GROUP.

L'installateur électricien est la société SPIE Batignolles.

Les nombres d'entrées-sorties des automates et calculateurs sont données dans le tableau ci-contre.

	ENTRÉES TOR	SORTIES TOR	ENTRÉES ANALOGIQUES
6 × ECE	6 × 260 (1) 6 × 60 (2)	150	120
ECV	253 (1) 28 (2)	25	2
ECU	76 (2)	32	2
TOTAL	2 277	207	124
(1) 127 Vcc, (2) 48 Vcc.			

Principales phases de réalisation

— Commande informatique et électrique passée en septembre 1984 à la société CERCI (devenue SEMA GROUP), associée à SPIE Batignolles ;

— réception en plate-forme : avril 1987 ;
 — mise en service sur site : octobre 1987 ;
 — suppression du service permanent de conduite le 18 juillet 1988 ;
 — réception provisoire : octobre 1988 ;
 — réception définitive : avril 1990.