

La conduite automatique de la centrale de la Rance

par Alain Charon

EDF

Directeur Groupe Mixte d'Exploitation Bretagne

La conduite de la centrale a pour objectif d'utiliser au mieux l'énergie des marées dans l'estuaire de La Rance.

Le bassin, créé par la centrale, s'étend jusqu'à l'écluse du Châtelier, près de Dinan, sur une vingtaine de kilomètres. La superficie du plan d'eau à la marée la plus forte est de 22 km².

Le volume d'eau déplacé par les grandes marées est de 184 Mm³ pour une variation maximale du niveau de 13,5 m.

I ■ LES CYCLES DE FONCTIONNEMENT

L'utilisation la plus simple conduit à réaliser des remplissages et des vidages successifs du bassin.

⊙ 1.1 Simple effet (fig 1).

— A marée montante, on remplit le bassin par les vannes. A pleine mer, on ferme les vannes et on attend **pour vider le bassin** par les turbines, que la mer en se retirant ait créé une hauteur de chute suffisante.

— C'est l'exploitation la plus simple qui était réalisée autrefois dans **les moulins à marée**.

— On peut améliorer ce cycle en utilisant l'énergie disponible sur le réseau aux heures creuses pour **pomper** l'eau de la mer afin de surélever le niveau du bassin et d'augmenter le volume turbinable.

⊙ 1.2 Double effet

— C'est la combinaison des deux cycles précédents. L'énergie est produite à la fois lors du remplissage et lors du vidage du bassin.

— Parmi les nombreux cycles dont dispose l'exploitant, il choisira celui qui convient le mieux, selon l'amplitude de la marée et la valeur de l'énergie aux diverses heures de la journée.

— Grâce au fonctionnement à **double effet** et au **pompage**, il est donc possible d'obtenir une exploitation " sur mesure ", fonction de l'heure et de l'amplitude de la marée.

II ■ LE PROCESSUS À COMMANDER

⊙ 2.1 les vannes

Elles sont au nombre de 6 : 15 m de largeur
10 m de hauteur.

Elles sont manœuvrables hors charge : lorsque les niveaux mer et bassin sont équilibrés, elles sont manœuvrées pour être, soit totalement ouvertes, soit totalement fermées.

⊙ 2.2 les groupes

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 mobile.

Diamètre de la roue : 5,35 m

Nombre de pales : 4 (- 5 à = 35 degrés)

Nombre d'aubes directrices

du distributeur : 24

Vitesse normale : 93,75 tr/mn

Débit maximum : 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.

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 4 groupes ; ceux-ci 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.

Il existe donc 6 ensembles et 3 blocs.

— Auxiliaires :

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 St-Malo.

Un réseau 5,5 kV distribue l'énergie à une série de 8 postes de transformation 5500/380 Volts.

Deux groupes diesels de 600 kVA à démarrage automatique assurent l'alimentation des auxiliaires essentiels en cas de perte de la tension 63 kV.

III ■ L'ORGANISATION DE LA CONDUITE

La réalisation des cycles de fonctionnement se fait en deux phases.

3.1 La programmation

La programmation tient compte :

- du cycle des marées dont la connaissance est totalement prévisible à longue échéance,
- de la disponibilité prévisionnelle des matériels de la centrale : groupes et vannes. La maintenance de la centrale est liée au cycle des marées de vive eau et de morte eau, ce qui permet de prévoir longtemps à l'avance la période d'arrêt pour entretien des machines.
- de la prévision hebdomadaire du coût de l'énergie électrique dans le cadre de la planification nationale.
- des contraintes externes à la centrale, notamment sur les

niveaux à ne pas dépasser dans le bassin.

A partir de toutes ces données, le code de calcul appelé AGRA (Algorithme de Gestion de La Rance) propose le programme de fonctionnement détaillé (au pas de 10 mn) de la centrale après avoir optimisé le fonctionnement de l'ensemble : bassin - usine. L'optimisation est faite sur le critère de la recette exprimée en francs.

Le programme ainsi obtenu est transmis à l'usine (figure 2).

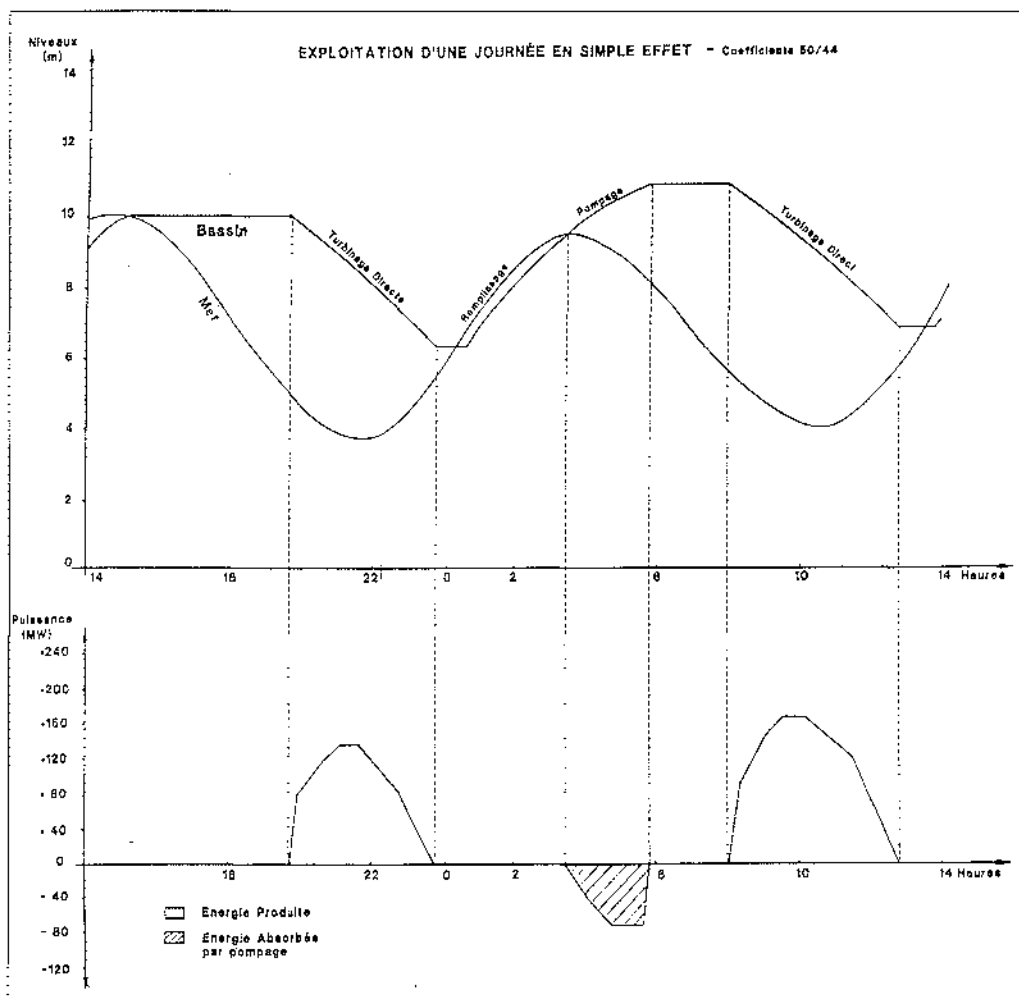
3.2 Le suivi du programme

Le programme à exécuter se présente sous la forme d'une liste qui donne au pas de 10 mn :

- les ordres à émettre vers les groupes et les vannes,
- les niveaux de la mer et du bassin.

De 1968 à l'automatisation de la conduite, le programme de fonctionnement hebdomadaire est en mémoire dans le programmeur (calculateur PDP 8) et est exécuté à partir de la date et de l'heure du moment.

De 1966 à 1987, un service de quart existe en salle de commande. Il a pour fonction de surveiller le déroulement du programme et il intervient dès lors qu'il y a une mauvaise exécution d'ordre ou une dérive du niveau du bassin. Il doit également corriger l'exécution du programme si les conditions présentes ne sont pas celles qui ont servi à l'élaboration du programme : indisponibilité fortuite d'une machine, contrainte sur les réseaux électriques.



1. Exploitation d'une journée en simple effet - coefficients 50/44.

IV ■ L'AUTOMATISATION DE LA CONDUITE

④ 4.1 Les raisons du changement

Le programmeur (PD 8) arrivait en fin de vie au début des années 1980 et il était devenu difficile d'assurer la maintenance car les pièces de rechange ne pouvaient plus être approvisionnées. On a donc décidé de rénover cet équipement et à cette occasion, on a envisagé la conduite entièrement automatique de la centrale. Cette démarche s'inscrivait dans la recherche normale de la productivité par suppression du service de quart, comme cela s'est fait dans les autres centrales hydroélectriques d'EDF.

④ 4.2 Les principales fonctions à assurer

Ce sont celles d'un automate de 2^{ème} rang, à savoir :

- la réception et la validation du programme de fonctionnement issu de AGRA,
- la conduite, en temps réel, de la centrale par exécution du programme et prise en compte des événements récents et non intégrés dans le programme,
- la consignation de tous les événements de la centrale, à savoir 2277 entrées TOR (tout ou rien), 207 sorties TOR, 124 entrées analogiques,
- le traitement des données en vue de leur suivi, l'archivage, le tracé des courbes,
- le dialogue homme-machine.

④ 4.3 Les principales caractéristiques de l'automatisation

L'automatisation a nécessité la résolution de nombreux problèmes spécifiques à La Rance et dont les principaux sont cités ci-après :

- le logiciel AGRA a dû être révisé de manière à mieux modéliser l'estuaire de La Rance et les caractéristiques des machines.
- le nombre d'entrées-sorties est très important, comparé à ce qu'on rencontre habituellement dans une centrale hydroélectrique.
- l'aménagement de La Rance n'a pas de position de repos. Sous aucun prétexte la centrale ne peut s'arrêter. La marée ne s'arrête pas. Il faut reconstituer une marée dans l'estuaire et

la centrale est pratiquement toujours en situation dynamique.

— les distances dans la centrale sont importantes : 390 m de longueur pour la salle des machines. Les équipements sont complexes : groupes regroupés par ensembles de 4, 2 ensembles pour un transformateur principal.

— le niveau de la mer est influencé par la pression atmosphérique et le niveau réel est rarement identique au niveau prévu par les tableaux des marées. Il faut tenir compte de ce phénomène en temps réel (fig 3).

— le suivi de la trajectoire du niveau du bassin nécessite la mise en place d'une régulation de niveau, en complément des ordres issus du programme. Cette régulation, appelée micro-rattrapage doit compenser les erreurs de position des groupes.

— le programme de fonctionnement peut être rectifié localement afin de prendre en compte des événements ou contraintes non pris en compte lors de la prévision.

④ 4.4 Les choix techniques retenus

Compte tenu de la taille de l'usine et du coût du câblage, une structure décentralisée a été retenue.

Les informations et commandes des groupes sont câblées au niveau d'un ensemble (4 groupes) et traitées par un équipement de conduite d'ensemble (ECE). Il en est de même pour les vannes, l'équipement de conduite des vannes assurant de plus les informations en provenance des auxiliaires.

Le relayage du premier rang a été conservé ; il assure pour 4 groupes (un ensemble) :

- la protection,
- 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 (SMC 600).

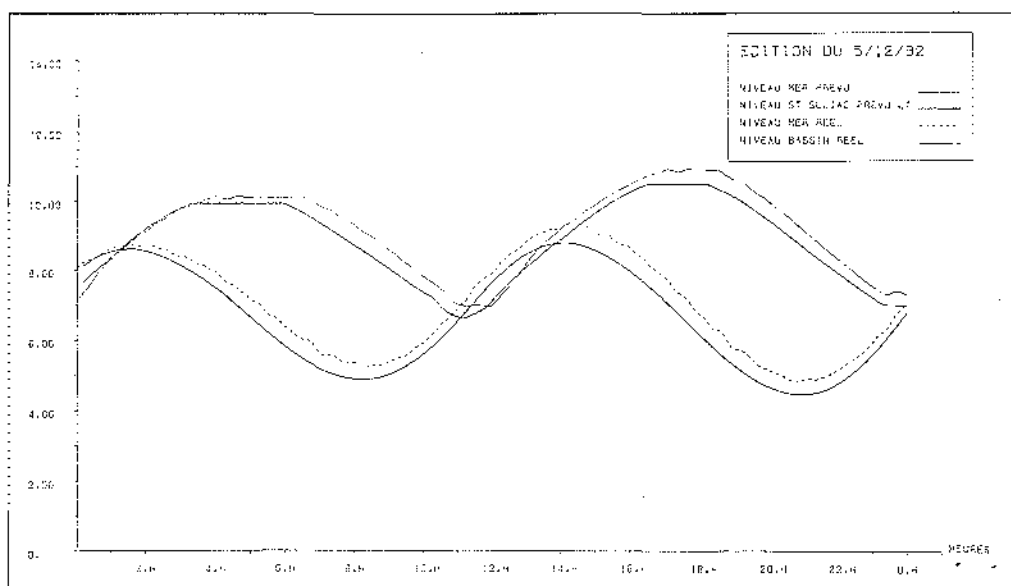
Par homogénéité, l'équipement de conduite de vanne est un automate programmable de même type situé en salle "calculateur".

Les traitements communs, les fonctions de calculs importants sont effectués dans un calculateur central ou Equipement de Conduite Usine (ECU) relié aux automates par des liaisons séries (CLJ2).

HEURE	COTE SCBUL	COTE BARR.	COTE MER	CHUTE	VOLUME	VANNES	GROUPES	PUISS.	E.CUM	R.CUM	PALES	COUT	LIM.
	M	M	M										M
	M	M	M	M	10 ⁶ M ³	M ² /S		KW	MWH	F	DEGRES	F	MW
0 H 00	8.14	8.30	8.79	-0.49	77 323	5 0 -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 0 -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 0 -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 0 -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 0 -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 0 -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 0 -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 0 -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 0 -1 111	22 PD -1 846	-15 124	-4	-1 127	6.90	231	220
1 H 30	9.55	9.58	9.59	-0.01	99 580	5 F 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	5 F 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	5 F 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	5 F 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	5 F 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	5 F 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	5 F 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	5 F 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	5 F 0	22 PD -2 715	-77 801	-86	-14 826	15.60	150	220

2. Description du programme AGRA.

3. Tracé des niveaux - bilan du 4/12/92 (en traits continus, niveaux de la mer et de Saint Suliac prévus ; en petits pointillés, niveau mer réel, en grands pointillés, niveau réel du bassin).



Le second rang est ainsi constitué de deux SOLAR 16-70 avec un rack partageable.

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

- 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 des défaillances importantes internes au mini-calculateur (unité centrale ou disque hors service), on a choisi de doubler ces unités.

La reprise en secours d'un calculateur par l'autre est automatique et ne dépasse pas trois minutes.

Les automates peuvent détecter une absence de calculateur ECU :

- soit à cause d'une panne de liaison,
- soit par arrêt des calculateurs,
- soit pendant un basculement calculateur.

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

La conduite en état dégradé pourra durer 2 heures maximum au niveau des automates.

4.5 Les phases du projet d'automatisation

Septembre 1984

— passation de la commande globale de l'automatisation à Sema Metra (ex. Cerci), associé à Spic Batignolles.

Octobre 1987

— mise en service sur le site et surveillance de la conduite par le service de quart.

Été 1988

— suppression du service de quart.

1992

— derniers ajustements de l'automatisation.

V ■ CONCLUSION

Le projet de l'automatisation de LA RANCE avait de grandes difficultés techniques à surmonter. Aujourd'hui nous pouvons dire que le système mis en place est bien maîtrisé et qu'il remplit correctement l'ensemble des fonctions exposées.

Nous observons en 1996 une moyenne d'une intervention fortuite et par semaine sur le système de conduite.