

Dixième groupe de Vianden : problèmes particuliers posés par l'installation d'un groupe réversible de 200 MW : solutions adoptées

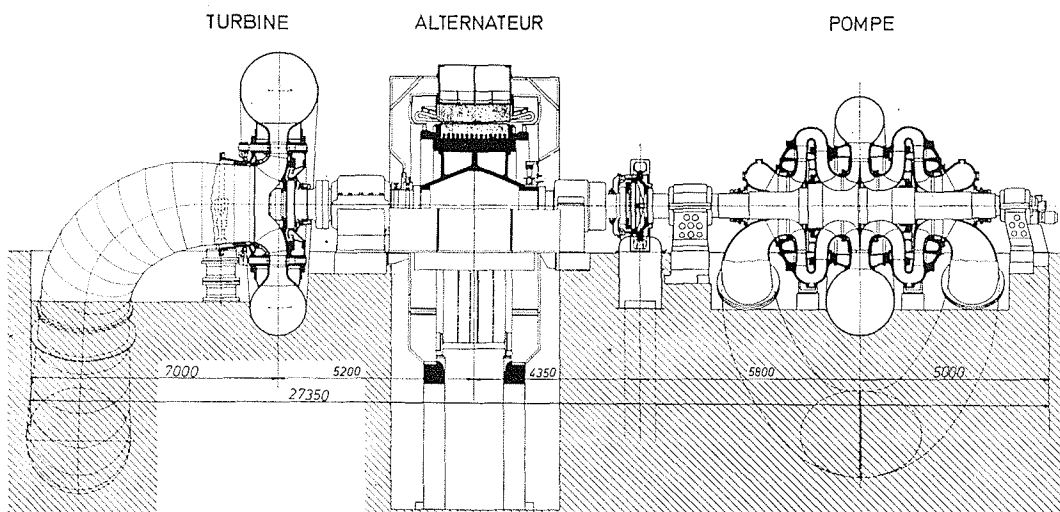
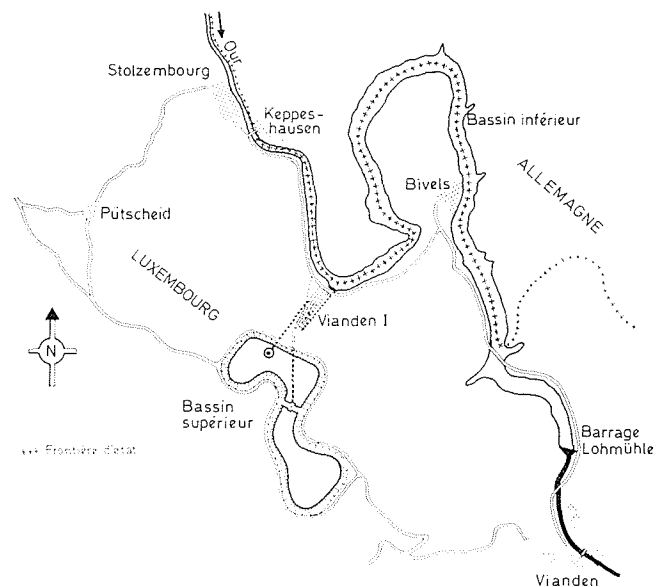
par L. Wehenkel

Directeur d'exploitation de l'usine hydro-électrique de Vianden,
Société Electrique de l'Our, Luxembourg

Motifs de la construction d'un dixième groupe

La centrale de Vianden, située au nord-est du Grand-Duché de Luxembourg et exploitée par la Société électrique de l'Our sert à fournir de l'énergie de pointe modulable au réseau de la RWE. Conçue comme station de transfert d'énergie par pompage à cycle journalier, elle travaille en circuit fermé entre deux retenues de même volume situées à des altitudes différentes. Les neuf groupes ternaires d'une puissance unitaire de 100 MW en turbine et de 70 MW en pompe qui y sont installés sont en service depuis 1964.

Ces données nous montrent que la centrale était initialement prévue pour un cycle de 8 h de pompage et de 4 h 15 mn de marche en turbine à pleine charge. Etant donné la capacité énergétique des bassins de retenue, une utilisation de la centrale à 100 % nous permettrait de produire annuellement 1 350 000 000 kWh.



1/
Plan d'ensemble
sans la
dixième machine.

2/
Coupe
longitudinale
d'un groupe.

Or, sur le diagramme affiché, on voit que la production annuelle moyenne depuis la mise en service du dernier groupe en 1964 est restée voisine de 800 000 000 kWh, ce qui ne correspond qu'à une utilisation d'environ 60 %. Abstraction faite des fluctuations de la demande, la principale raison de cet écart entre les prévisions et la réalité est l'évolution dans le temps de la courbe de charge du réseau RWE.

Tandis que la période de production s'étend actuellement à 8 à 12 h par jour, le temps disponible pour le pompage nocturne s'est abaissé progressivement à environ 6 h, soit seulement 75 % du temps initialement prévu.

Pour rétablir les conditions qui ont servi de base à l'étude de l'aménagement, il faudra donc multiplier la puissance de pompage par $1/0,75 = 1,33$, c'est-à-dire ajouter 215 MW aux 620 MW actuellement en exploitation. Cette augmentation de puissance nous permettra d'atteindre une utilisation moyenne de 80 % si les conditions du réseau restent inchangées et même de nous rapprocher sensiblement du 100 % si la demande augmente.

En fait, ce n'est pas une pompe, mais un groupe réversible de 215 MW en pompe et de 200 MW en turbine qui est prévu. Ainsi la puissance de pointe et d'intervention rapide s'élèvera à 1 100 MW tandis que les frais de construction par kW installé resteront voisins de celles de l'aménagement actuel.

Emplacement de l'usine

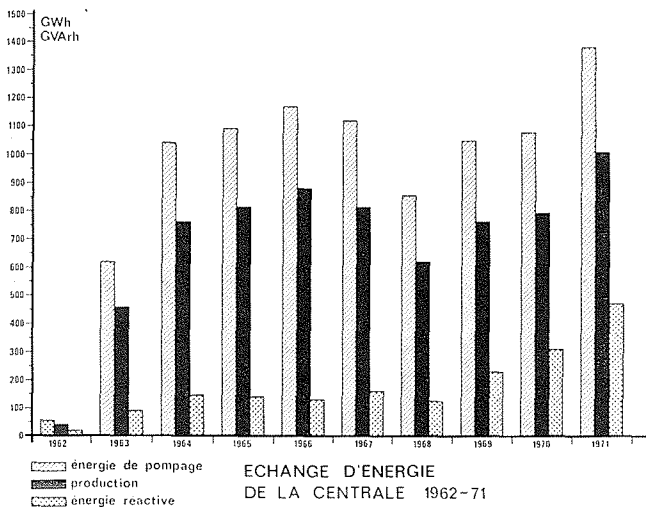
Les premiers avant-projets du dixième groupe datent de 1962, c'est-à-dire de la période de construction de la centrale actuellement en exploitation que nous appellerons Vianden I. A cette époque, l'avancement des travaux ne permettait plus d'ajouter un groupe à l'usine souterraine en cours d'excavation et l'on se décida rapidement à installer la nouvelle unité dans une usine séparée, travaillant entre les mêmes retenues et adaptée aux conditions spécifiques du groupe réversible.

Le plan de situation de l'aménagement nous montre que le bassin supérieur, dont les contours suivent les lignes de niveau, se rapproche en un deuxième point de la retenue inférieure. A partir de ce point, il était possible d'établir une nouvelle liaison souterraine d'environ 1 300 m de longueur entre les deux retenues sous une crête rocheuse constituée d'un excellent schiste. C'est ce tracé qui a été finalement retenu pour la troisième conduite souterraine. Dès la construction de la seconde partie du bassin supérieur en 1963, on mit en place la prise d'eau supérieure ainsi qu'un tronçon vertical de 63 m du puits blindé, accessible par une galerie latérale de 315 m de longueur. Grâce à ces précautions, il était possible de commencer la construction de la nouvelle usine en 1970 sans gêner l'exploitation de Vianden I.

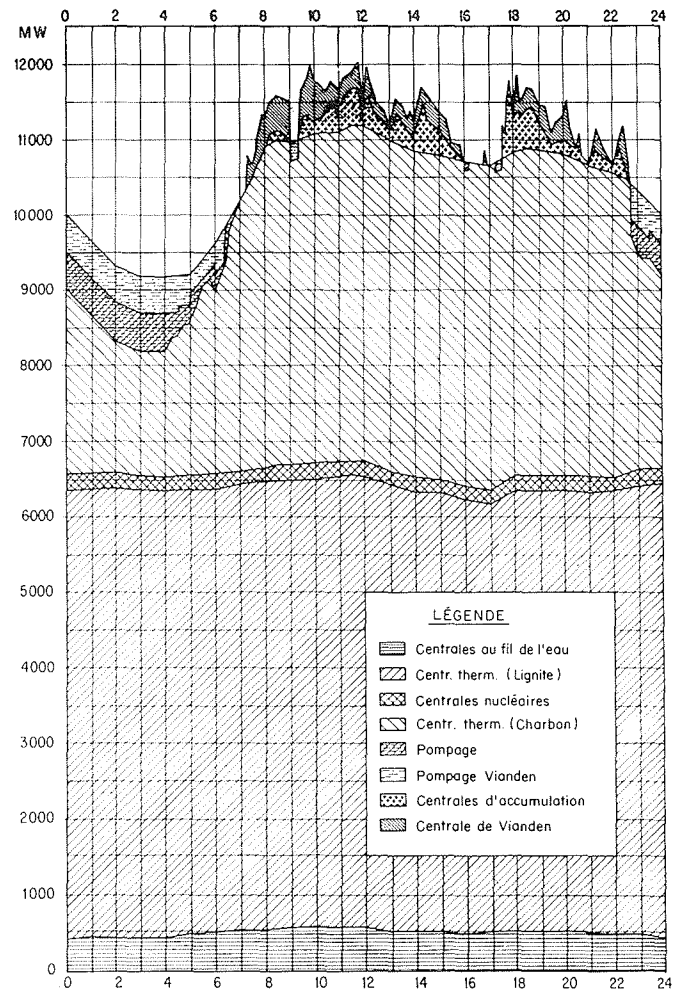
Après avoir retenu ce site, il restait à déterminer le tracé

Capacité utile des bassins	6 000 000 m ³	Puissance en turbine 9x100 =	900 MW
Capacité des bassins, après agrandissement	6 600 000 m ³	Débit total des turbines	355 m ³ /s
Hauteur de chute	267 à 290 m	Puissance en pompe 9x69 =	621 MW
Nombre de groupes	9	Débit total des pompes	183 m ³ /s
		Rendement global moyen	74 %

3/



4/



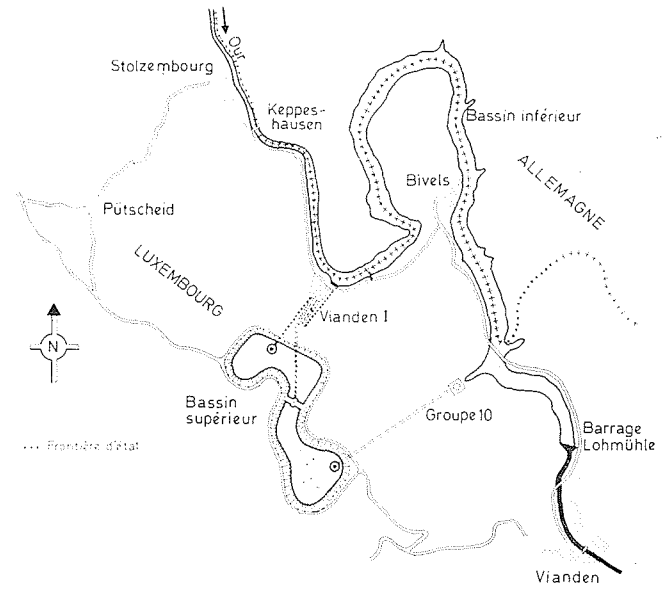
5/ Diagramme de charge du réseau RWE du 22 octobre 1970.

exact des adductions, ainsi que l'emplacement et la forme de l'usine. Comme à Vianden I, l'adduction amont sera un puits blindé composé d'une partie verticale, d'une partie inclinée à environ 30° et d'une partie horizontale. Si l'on avait choisi une usine souterraine, la galerie de restitution aurait dû être doublée d'une galerie d'accès dont le gabarit serait donné par les dimensions de la machine. Or, dans le cas d'un seul groupe, les frais unitaires de ces deux galeries parallèles dépassent largement celles de l'adduction amont, y compris le coût du blindage. Nous avons donc eu intérêt à nous rapprocher autant que possible de la retenue inférieure.

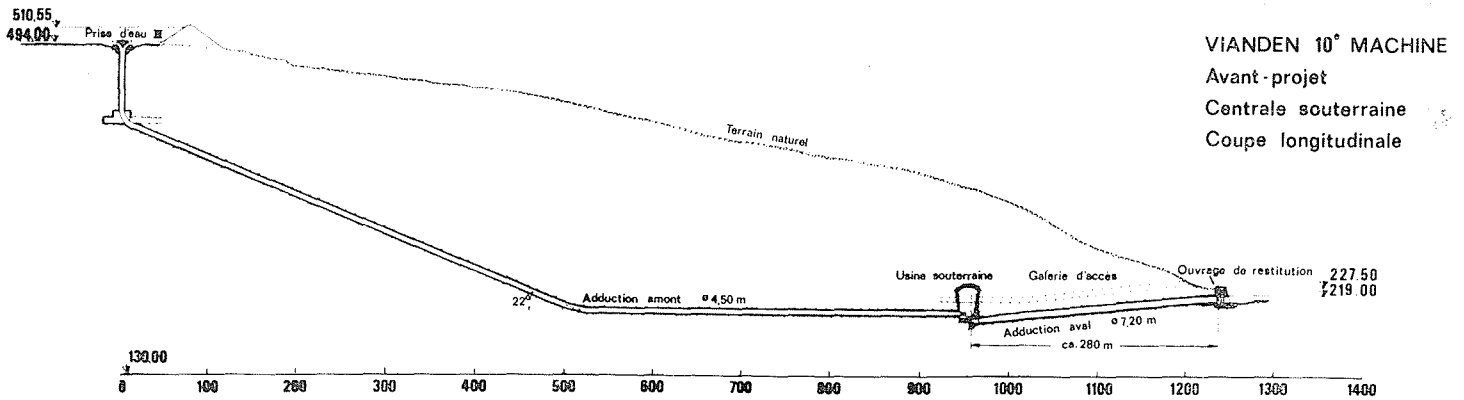
Finalement, deux solutions ont été étudiées :

a) USINE SOUTERRAINE.

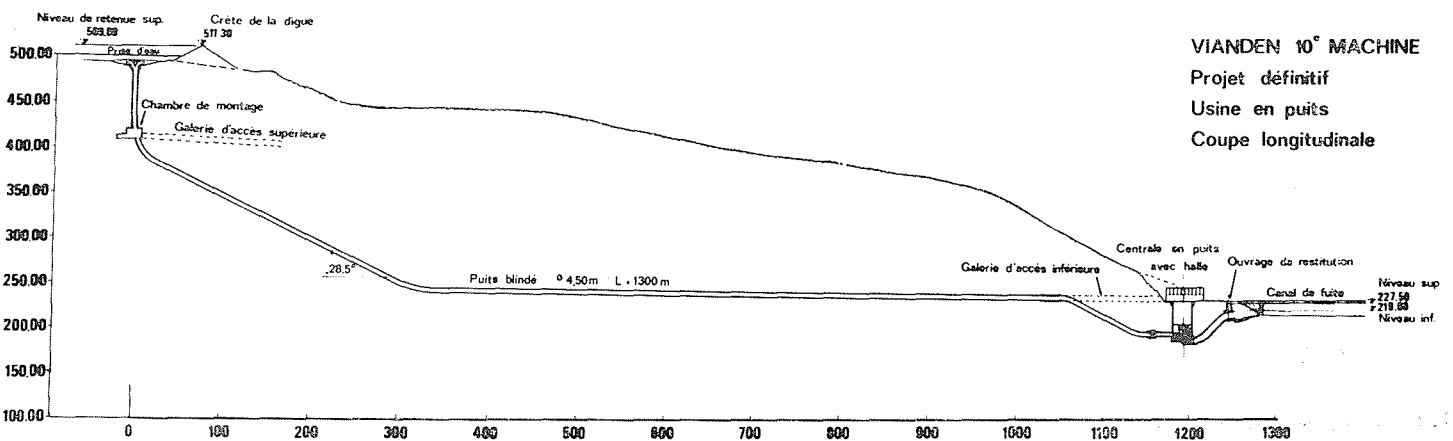
Compte tenu des considérations économiques que je viens d'évoquer, on a essayé de se rapprocher au maximum de la retenue inférieure. Etant donné une pente de 8 % de la galerie d'accès, la distance minimum se déduit de l'enfoncement nécessaire au bon fonctionnement du groupe en pompe. Le minimum absolu ainsi défini est de l'ordre de 150 m, et dans la variante que je viens d'afficher, on a choisi 280 m. Le groupe est à axe vertical et les organes de garde amont et aval sont des robinets sphériques, tandis que l'ouvrage de restitution est équipé de batardeaux non automatisés.



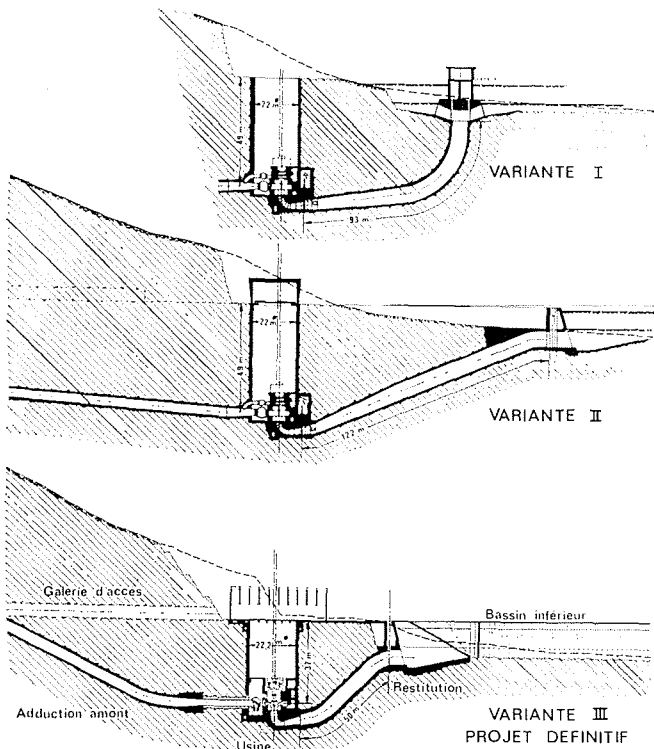
6/ Plan d'ensemble avec la dixième machine.



7/



8/



VIANDEN 10^e MACHINE

Usine-puits et ouvrage de restitution
Coupes longitudinales de 3 variantes
étudiées

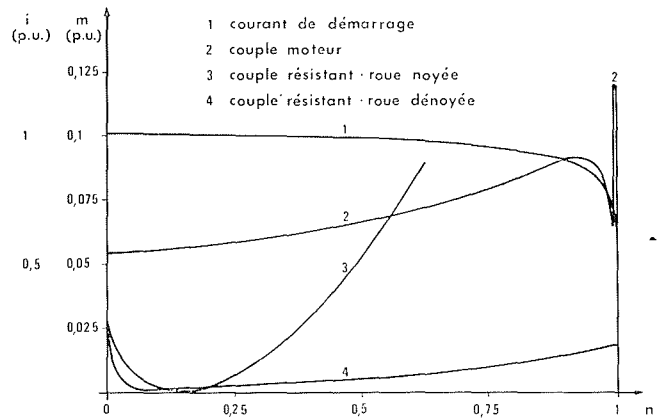


9/

b) USINE EN PUIITS.

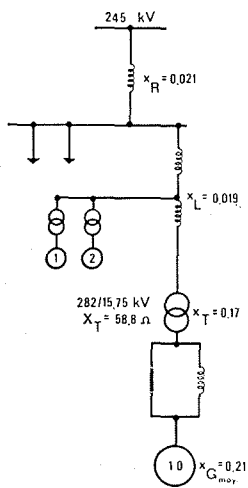
Dans cette variante qui fut finalement adoptée pour des raisons économiques, le groupe vertical est installé au fond d'un puits de 22,20 m de diamètre et de 50 m de profondeur, à environ 60 m de la retenue inférieure. Le groupe est équipé d'un robinet sphérique en amont tandis qu'en aval, on s'est contenté de deux vannes-wagons, installées dans l'ouvrage de restitution.

La bonne qualité du schiste nous a permis d'assurer la stabilité de l'ouvrage au moyen d'une centaine de tirants précontraints. D'autre part, grâce à une disposition judicieuse des auxiliaires, le volume excavé sera bien utilisé et le montage et l'entretien ultérieur seront facilités par des



11/ Démarrage avec self, sans résistance au démarrage (démarrage en pompe).

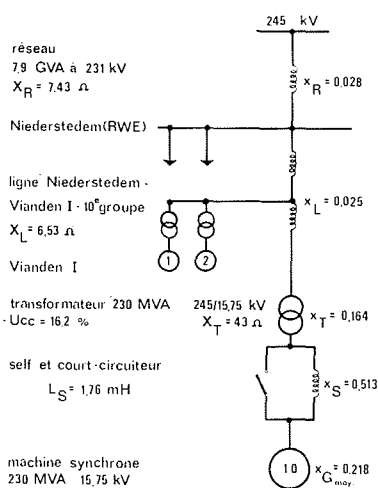
Démarrage à pleine tension



$$x = x_R + x_L + x_T + x_G = 0,42$$

$$\Delta_U = \frac{x_R}{x} = 5\%$$

Démarrage avec self



$$x = x_R + x_L + x_T + x_S + x_G = 0,948$$

$$\Delta_U = \frac{x_R}{x} = 3\%$$

10/ Démarrage asynchrone, schéma de principe.

voies d'accès courtes et des plateformes de travail spacieuses.

Notons cependant que la solution que nous avons choisie se prête surtout aux aménagements qui comportent un seul ou un petit nombre de groupes. Si l'on veut installer plus de trois groupes, le prix des terrassements devient prohibitif à cause du trop grand volume inutilisé au-dessus des machines, et de ce fait, l'usine souterraine est alors la solution la plus économique.

Du point de vue hydraulique, la faible longueur de l'adduction aval nous permet d'éviter des oscillations de pression dangereuses à la sortie de la roue en marche en turbine à ouverture partielle. Les vannes-wagons, installées à proximité immédiate du bassin inférieur, ne seront pas soumises à ces variations de pression. Une chambre d'équilibre n'est nécessaire ni en aval, ni en amont.

Démarrage en pompe

Une des particularités du dixième groupe est son système de démarrage en pompe par enclenchement asynchrone de la machine électrique principale sur le réseau 220 kV. Par rapport aux autres procédés connus, cette méthode apporte une simplification considérable du groupe et de ses auxiliaires et permet de réduire sensiblement le coût de l'équipement. Les deux principaux problèmes à résoudre sont cependant :

- 1) La chute de tension dans le réseau.

2) L'échauffement du circuit amortisseur.
 Nous allons les examiner successivement.

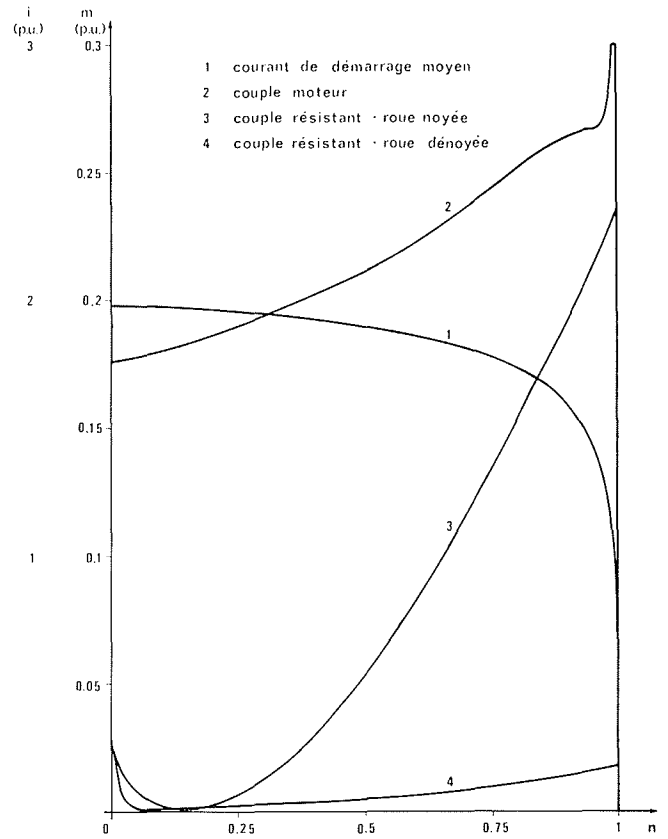
Actuellement, les exploitants du réseau exigent que la chute de tension au poste d'interconnexion de Niederstedem, à 20 km de Vianden, n'excède pas 3 %.

Comme nous le voyons sur la figure 10 la condition imposée n'est pas remplie par le démarrage à pleine tension. Etant donné la puissance de court-circuit minimum du réseau à Niederstedem qui est actuellement de 7,9 GVA à 231 kV, on obtient une chute de tension de l'ordre de 5 %. Pour respecter les 3 %, il faut donc passer au démarrage à tension réduite, ce que l'on réalise en intercalant temporairement une inductance de valeur appropriée dans le circuit. Comme le montre la deuxième partie de la figure, une self de 1,76 mH par phase permet d'abaisser la chute de tension à la valeur voulue.

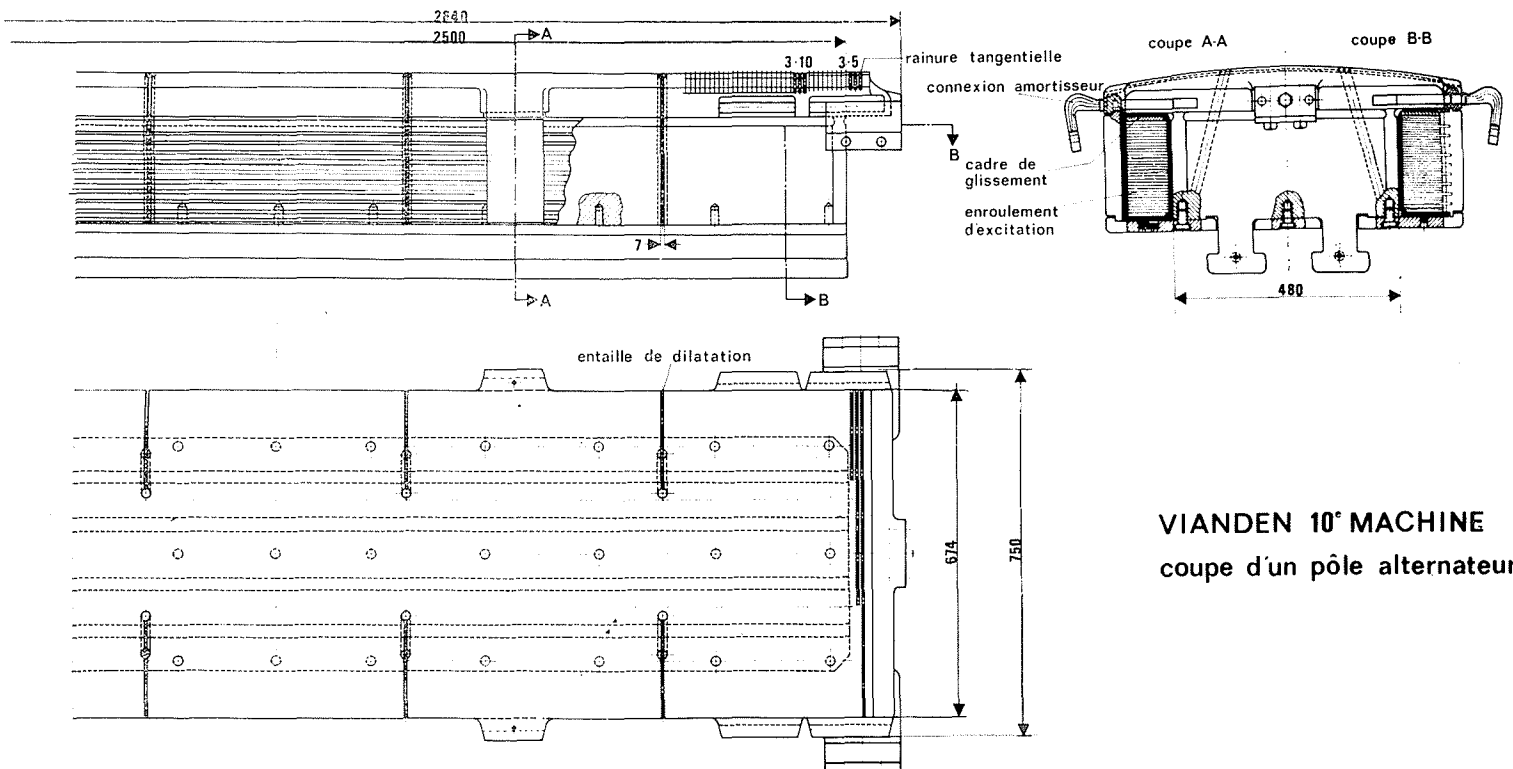
Le démarrage direct à pleine tension n'est pas abandonné pour autant mais reporté à une période où les conditions du réseau l'autoriseront. La machine et le circuit électrique seront dimensionnés de façon à supporter pleinement toutes les contraintes thermiques et mécaniques qui en résulteront. L'automatisme et les auxiliaires seront munis de tous les organes nécessaires pour permettre le passage rapide d'un mode de démarrage à l'autre selon les exigences du réseau et de l'exploitation.

Les couples et les courants de démarrage qu'on obtient par les deux méthodes sont donnés par les figures 11 et 12.

Le premier diagramme montre qu'en raison de la faible valeur du couple moteur, le démarrage avec self nécessite toujours le dénoyage préalable de la turbine-pompe. Après synchronisation, le renoyage s'effectue simultanément depuis l'amont et l'aval, de façon à réduire autant que possible les coups de bélier et les vibrations dangereuses.



12/ Démarrage direct, résistance de démarrage 2 (démarrage en pompe).



VIANDEN 10° MACHINE
 coupe d'un pôle alternateur

Le deuxième diagramme montre que si l'on enclenche à pleine tension, le couple moteur est suffisant pour permettre le démarrage à roue noyée. L'automatisme s'en trouvera considérablement simplifié et les inconvénients hydrauliques du renoyage seront complètement éliminés.

Pendant le démarrage à pleine tension, le courant induit dans le circuit amortisseur atteint des intensités très élevées, de l'ordre de 45 kA pendant un temps de 20 à 30 s. Les dilatations alternées causées par la courte durée et la forte intensité de ce courant nous ont posé des problèmes constructifs parmi les plus ardues du projet; on y a apporté la solution suivante (fig. 13) :

En guise d'amortisseur, on utilise des pôles massifs reliés entre eux par des connexions brasées en feuillards de cuivre souple, ce qui permet au courant induit de se répartir dans la masse des épanouissements polaires sans toutefois être obligé de se fermer par les fixations des pôles. L'acier utilisé pour les pôles a une résistivité aussi élevée que possible, ce qui a pour effet d'augmenter la profondeur de pénétration du courant. Des rainures tangentielles de 10 mm de profondeur empêchent le courant de circuler dans la couche superficielle des épanouissements polaires et améliorent encore la pénétration du courant induit. De plus, on obtient ainsi une capacité thermique supplémentaire en surface et un meilleur effet de refroidissement. Il en résulte une diminution de l'échauffement que l'on peut estimer à environ 80 °C pour le démarrage à pleine tension.

Les échauffements des épanouissements polaires et les temps de démarrage sont donnés par les figures 14 et 15.

Automatisation

L'examen de la méthode de démarrage en pompe avec ses différentes variantes nous laisse entrevoir le grand nombre d'états stationnaires ou transitoires de la machine et par conséquent la complexité nécessaire de l'équipement auxiliaire et des organes de commande, de réglage et d'automatisme. De plus, comme le groupe servira à intervenir en cas de perturbation dans le réseau, un grand soin devra être attaché à la robustesse et à la fiabilité de ce matériel.

C'est pourquoi il m'a semblé intéressant de faire rapidement le point de quelques-uns des problèmes d'automatisme qu'a posé l'extension de Vianden.

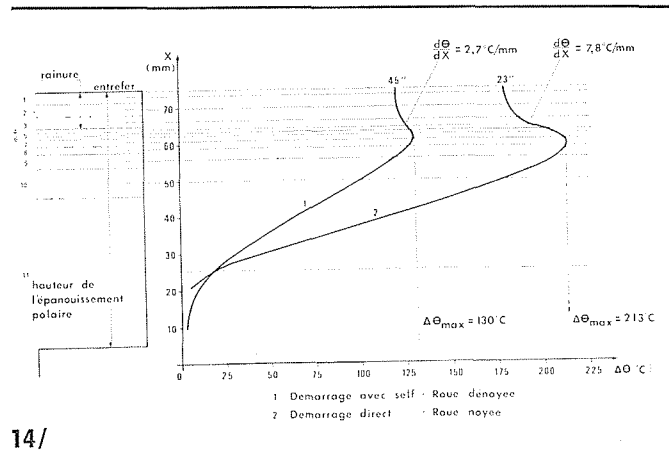
L'ensemble que nous appellerons « installation de conduite » remplit essentiellement les trois fonctions suivantes :

- a) transmettre les ordres du personnel aux organes du groupe;
- b) protéger la machine en cas d'incident mécanique ou électrique;
- c) informer le personnel de l'état du groupe.

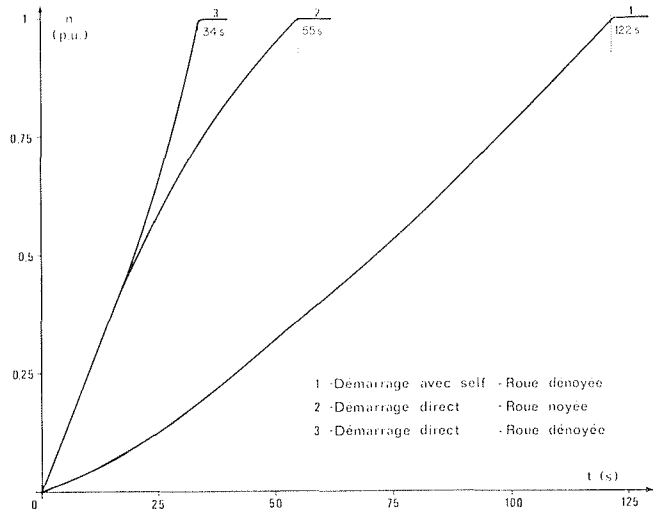
Comme il est prévu d'exploiter la nouvelle unité par télécommande, depuis Vianden I, sans personnel de quart sur place, l'automatisation devra être très poussée et en même temps, une sécurité maximum sera exigée en cas de défaillance d'une partie quelconque de l'équipement. C'est dans cette optique que nous allons examiner l'automatisme proprement dit, c'est-à-dire la partie de l'installation de conduite qui servira à amener le groupe dans l'état de marche voulu.

En exploitation normale, il existe cinq états stationnaires du groupe, soit :

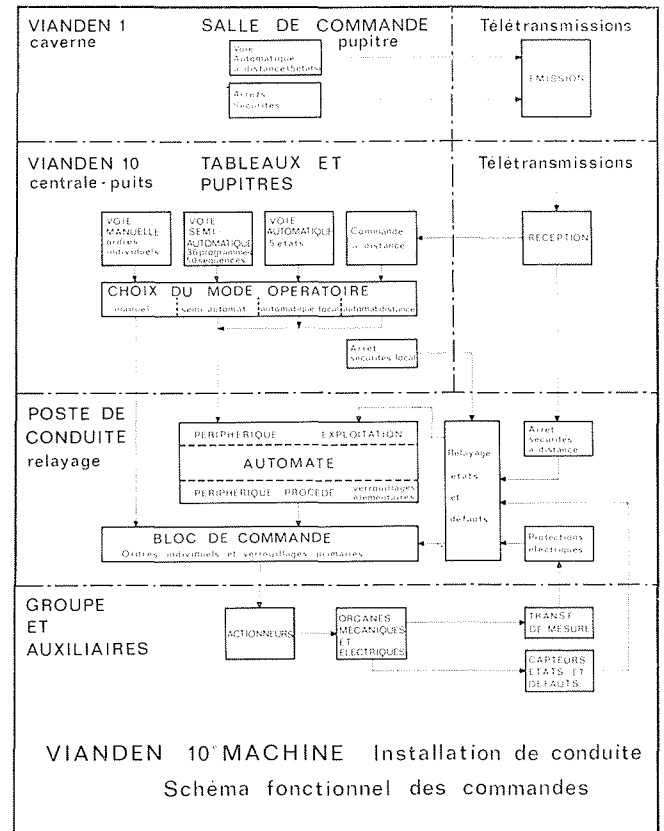
- l'arrêt;



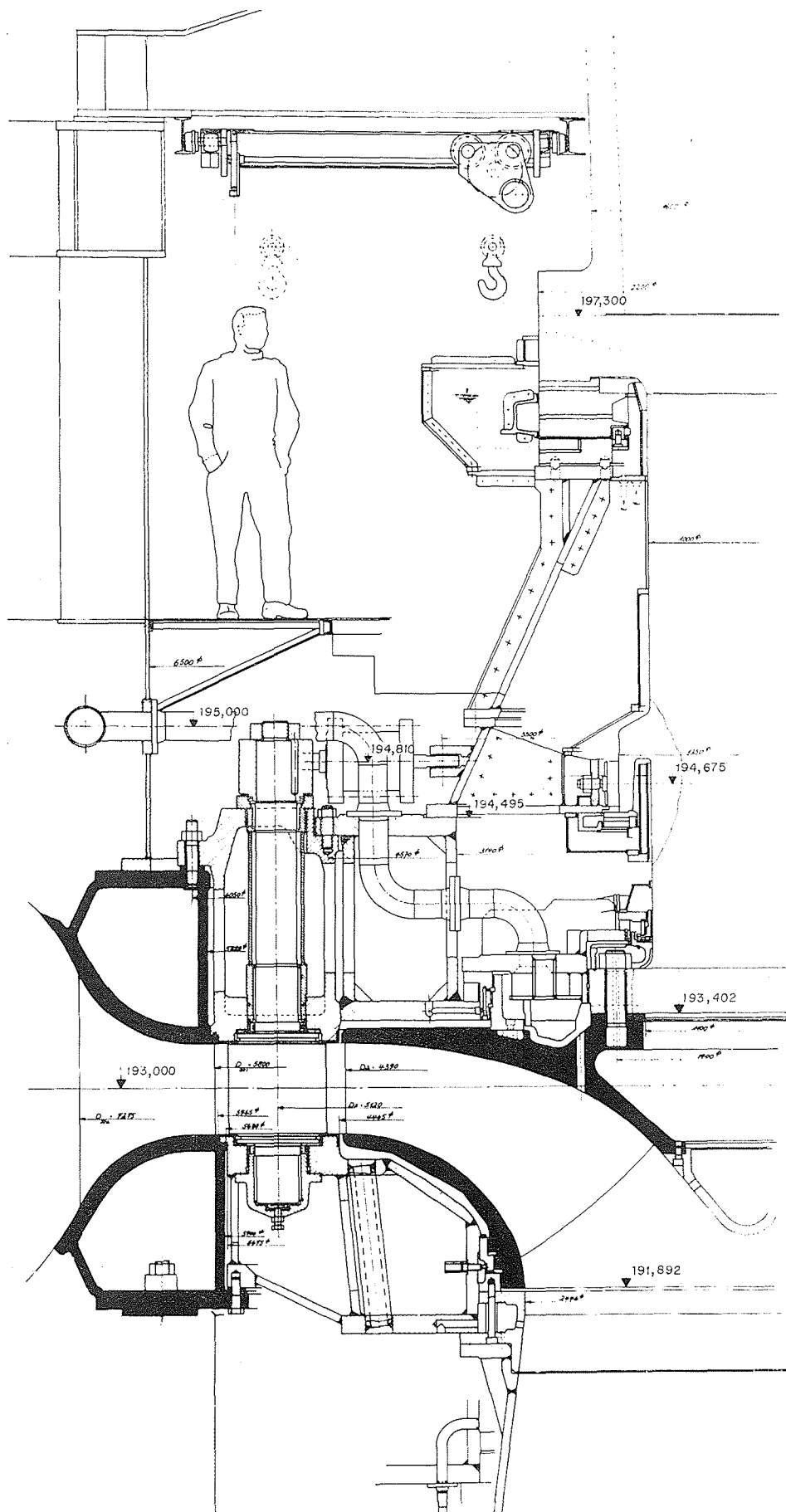
14/



15/



16/



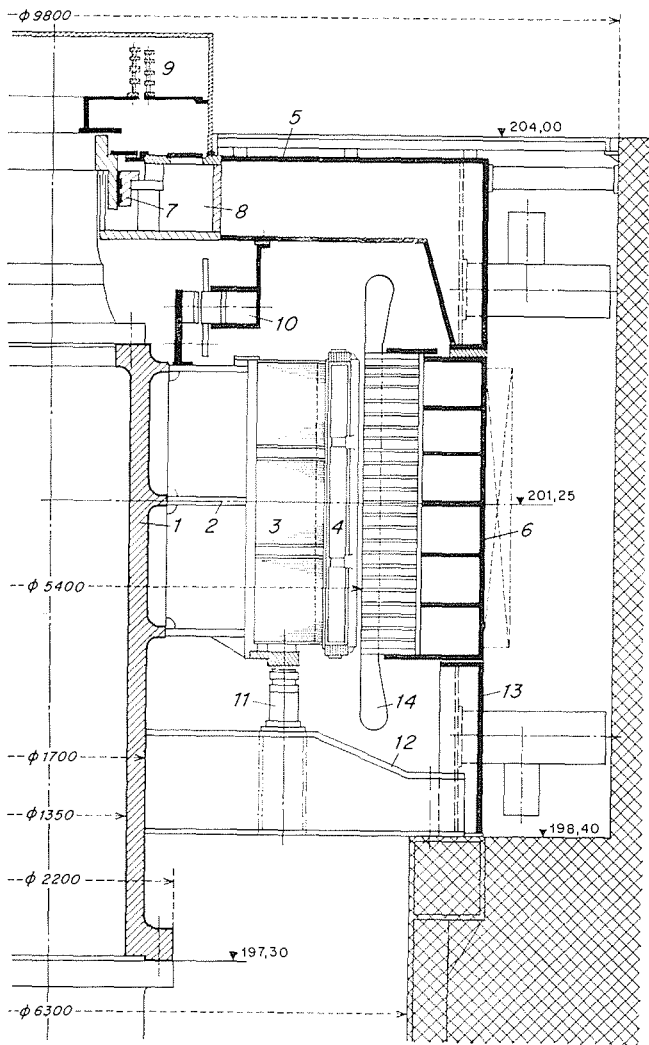
14/ Echauffement maximum (démarrage en pompe).

15/ Temps de démarrage (démarrage en pompe).

16/ Schéma fonctionnel des commandes.

17/ Plan d'ensemble (coupe).

17/



18/ Coupe de l'alternateur.

- la marche en turbine;
- la marche en pompe;
- la marche en compensateur synchrone, avec turbine-pompe dénoyée, tournant dans le sens turbine;
- la marche en compensateur synchrone, mais avec la turbine-pompe tournant dans le sens pompe.

Compte tenu des différents modes de démarrage en pompe et des différents modes d'arrêt, arrêt normal ou arrêt d'urgence, on définit trente-six « programmes de transition » qui permettent de passer de n'importe quel état de marche stationnaire à n'importe quel autre état final en empruntant les différentes voies possibles.

Chacun de ces programmes se décompose en un certain nombre de séquences qui font passer le groupe d'un état intermédiaire stable à un autre. Il existe en tout cinquante séquences. Notons que deux programmes peuvent se distinguer seulement par une partie de leurs séquences et en avoir d'autres en commun.

Enfin, chaque séquence se décompose en ordres individuels élémentaires qui agissent sur les organes électriques ou mécaniques, tels par exemple la fermeture d'un contacteur ou l'ouverture d'un robinet.

Pour l'exécution des programmes, quatre voies qui correspondent aux différents niveaux hiérarchiques sont possibles :

1) *La voie automatique à distance* qui sera utilisée en exploitation normale.

L'ordre de passer à l'état de marche voulu est donné à la salle de commande de Vianden I et acheminé par la télétransmission vers l'automate central. En fonction de l'état initial et de l'état final demandé, celui-ci assure l'enchaînement automatique des séquences. A cet effet, les informations nécessaires sur les états intermédiaires des organes de la machine lui sont transmises par des capteurs en passant par le « relayage états ». En fonction de ces informations, l'automate donne des ordres au bloc de commande qui élabore les ordres individuels et assure les verrouillages primaires nécessaires à la sécurité. De là, les ordres sont transmis aux organes de la machine par l'intermédiaire d'« actionneurs ». L'automate assure également le verrouillage entre les programmes non compatibles et donne la priorité aux ordres émis par les organes de sécurité.

2) *Voie automatique locale.*

Si cette voie est choisie, les mêmes ordres sont émis localement depuis le pupitre du poste de commande de la centrale-puits. Les fonctions de l'automate et des niveaux inférieurs restent inchangées.

3) *Voie semi-automatique.*

Pour la commande semi-automatique ou pas-à-pas, on utilise un second panneau du pupitre de commande locale, muni des synoptiques nécessaires à la visualisation de l'état de la machine. Deux claviers à touches lumineuses permettent de présélectionner les programmes et de valider séparément les séquences. Le pilotage des séquences est encore effectué par l'automate, mais les ordres s'arrêtent à la fin de chaque séquence.

Cette voie peut être utilisée en particulier si l'on veut effectuer des essais répétés d'une fonction mécanique donnée (exemple : amorçage de la pompe après synchronisation).

4) *Voie manuelle de secours.*

Enfin, pendant la période de mise en point ou si l'automate est hors service, on peut donner des ordres individuels en agissant directement sur le bloc de commande. Les organes correspondants se trouvent soit au poste de commande, soit dans le local du régulateur qui se trouve près de la turbine-pompe.

Les choix technologiques ne sont pas les mêmes pour tous les éléments de la chaîne d'automatisme que je viens d'esquisser. L'équipement de télétransmission à codage binaire ainsi que l'automate central à logique câblée sont équipés de relais statiques à modules débrochables à circuits imprimés. Les composants de ce matériel, en particulier les circuits intégrés, ont actuellement atteint une fiabilité au moins égale à celle des relais électromagnétiques. Par contre, la grande sensibilité des relais statiques aux parasites nous a fait adopter les relais classiques débrochables pour la partie la plus décentralisée de la chaîne qui est la plus exposée. C'est le cas notamment du bloc de commande et du relayage intermédiaire des défauts et des états.

Enfin, mentionnons brièvement l'ensemble de signalisations qui est conçu selon le même principe que le système de commande que j'ai décrit précédemment. En exploitation normale, un calculateur muni d'une mémoire de 16 kilomots sert à centraliser et à restituer les informations en texte clair au moyen de deux machines à écrire qui peuvent être placées soit au poste de commande du dixième groupe, soit

à la salle de commande de Vianden I. Les principales fonctions de cet équipement seront l'édition de journaux perturbographiques et les bilans et journaux de bord de la Centrale.

Le calculateur permet l'exploitation par commande à distance, sans qu'il y ait du personnel de surveillance sur place. Cependant un ensemble de *signalisations décentralisées* du type classique est nécessaire pour que le personnel puisse disposer à tout instant des informations directes nécessaires au cas où il doit intervenir à un niveau hiérarchique inférieur quelconque.

5) Conclusions.

Pour terminer, je voudrais dégager quelques aspects caractéristiques des *aménagements de pompage* qui les distinguent des autres installations hydroélectriques.

Pour un aménagement du type classique, on cherche à

capturer dans les meilleures conditions une énergie qui préexiste dans la nature. Par contre, une station de pompage pur est un ensemble fonctionnel, créé pour rendre un service donné au réseau électrique et c'est en vue de ce but fixé d'avance qu'on recherche un site. Il en résulte que le choix final dépend d'un nombre beaucoup plus grand de paramètres, et que les critères dont découle la décision sont plus nombreux et de nature différente.

En fonction du but que l'on recherche, l'unité à laquelle on aboutit se caractérise nécessairement par des changements d'état bien plus nombreux, plus variés et plus rapides. Dès lors, il est logique que pour obtenir la souplesse voulue, on doit prévoir des organes de commande, de réglage et d'automatisme beaucoup plus complexes et plus perfectionnés que dans les installations classiques. C'est ce que j'ai voulu illustrer par quelques exemples pratiques dans la deuxième moitié de cet exposé.

Discussion

PRÉSIDENT : M. J.-N. PLICHON

M. le Président remercie M. WEHENKEL dont l'exposé a enrichi nos connaissances en matière de pompage en nous faisant profiter des enseignements tirés de la conception et de l'exploitation de l'usine de Vianden.

Il observe que le rôle de cette dernière est assez différent de celui dévolu aux stations dont il a été déjà parlé dans les mémoires présentés à cette session; de ce fait, les études économiques qui ont été évoquées par M. GÉRARD ne lui sont applicables qu'avec de judicieuses adaptations. Cela tient essentiellement à ce que la station de Vianden travaille sur un réseau alimenté principalement par des Centrales thermiques.

Quelle est la quantité spécifique d'énergie que l'on doit fournir au rotor du groupe pour l'amener du repos à sa vitesse de synchronisme ? demande M. le Président au conférencier.

Elle est de l'ordre de $2,8$ à $3,2 \times 10^7$ Joules/m², répond ce dernier.

Sur une question de M. le Président, M. WEHENKEL précise qu'on a prévu à Vianden le démarrage dénoyé à tension réduite ou à pleine tension, bien que l'intérêt de ce dernier soit tout relatif (mais il n'exige pas d'appareillages supplémentaires). Le « renoyage » demande seulement une fraction de minute et n'augmente guère la durée de mise en service du groupe.

A propos du refroidissement du rotor de la machine électrique, M. DE MAUBLANC demande :

Avez-vous envisagé d'utiliser des « rotors-piscines » ou des pôles massifs refroidis par circulation d'eau ?

Ces solutions ont été discutées au cours de la période d'appel d'offres, mais finalement nous avons préféré une solution plus classique répond M. WEHENKEL.

M. DEJEUX (Alstom) apporte, sur ce point, les précisions ci-après :

A Vianden, la valeur du critère d'énergie de démarrage, dont on a parlé plus haut, a permis de s'en tenir à la solution simple avec pôles massifs décrite par M. WEHENKEL.

Dans le projet de Revin, suivant les conditions d'exploitation, ce critère atteint des valeurs de 6 à 8×10^7 J/m². Dans l'état actuel des connaissances, il est alors nécessaire de recourir à d'autres dispositifs, tel que le Rotor-Piscine.

Dans une longue intervention qu'il a résumée, comme suit, M. GÉRARD revient sur la question des caractéristiques des canaux d'adduction :

Nous avons eu bien conscience dès la conception initiale de l'usine de Revin, de la souplesse d'exploitation que devrait avoir cette installation, par analogie avec le cas de Vianden. Dans les calculs économiques présentés hier, on a considéré que la moitié de l'usine de Revin (deux groupes sur quatre) était consacrée au rôle de « réserve tournante » et que l'autre moitié seulement faisait, à proprement parler, du « transfert ». C'est une approche grossière

qui sera précisée par un modèle de simulation à « pas » horaire avec figuration du réseau.

C'est aussi pour des raisons de souplesse d'exploitation, qu'à coût peu différent, on a préféré la solution sans cheminée d'équilibre.

A ce sujet, je voudrais mettre en relief le point soulevé par M. WEHENKEL, et qui nous a quelque peu rendus perplexes au moment de l'élaboration du schéma de Revin, à savoir le problème que posent éventuellement les interactions hydrauliques entre les pulsations de vitesse de l'eau à la sortie de la roue (torche) et le risque qu'elles ont d'être entretenues ou amplifiées par la longue galerie basse pression en charge. M. WEHENKEL a mentionné ce risque comme une raison importante de l'implantation de Vianden X à proximité immédiate du bassin aval. Je pose surtout la question aux Constructeurs : y a-t-il un risque à prévoir, comme on l'a fait dans le projet de Montezic, une galerie basse pression en charge de 5 ou 600 m de longueur, avec une vitesse nominale de l'eau de 6 m/s ? De quelle nature est ce risque ? Peut-on le cerner ? Comment intervient la longueur de la galerie et la vitesse nominale de l'eau ? La présence de cette galerie est-elle compatible avec un fonctionnement souple en turbine ou introduit-elle des contraintes d'exploitation, indépendamment de la nécessité probable, dans ce cas, d'une cheminée d'équilibre ?

M. le Président rappelle que M. WEHENKEL a souligné que l'on avait considéré comme très important de réduire au maximum la longueur des canaux à l'aval de l'usine, non seulement pour supprimer la cheminée d'équilibre, mais aussi eu égard à l'écoulement très perturbé qui peut régner dans ce secteur en raison des torches émises par la roue dans l'aspirateur d'une turbine à certaines charges.

M. AMBLARD rappelle qu'il faut éviter que la fréquence propre du canal de fuite en charge soit trop proche de la fréquence de pulsation de la torche produite par la turbine aux charges partielles.

C'est dans ce sens, remarque M. REMENIERAS, que le dispositif de réduction de la célérité des ondes de pression — dont j'ai parlé dans la discussion de la communication de M. PLANCHARD — peut trouver d'utiles applications (même après la construction des ouvrages et en vue de remédier à certains inconvénients constatés en service).

L'amplitude des oscillations de puissances observées dépend surtout du « tracé hydraulique » de la roue et de la turbine, dit M. WEHENKEL.

Nous avons un certain nombre de types de turbines Francis. Sur certaines, nous avons des fluctuations de la pression de l'ordre de 20 m d'eau pour une profondeur d'installation de la roue de 12 à 20 m également.

D'après ce que nous avons constaté, cela varie assez peu avec l'emplacement des machines. La longueur de l'usine est de l'ordre

de 300 m; nous n'avons pas constaté de différence notable à ce point de vue entre les machines placées sur un canal de fuite ou sur l'autre; quant à l'emplacement des différentes machines, il intervient peu.

Le phénomène de la torche est commun à toutes les turbines Francis et turbines-pompes. Mais je crois qu'on peut prévoir des dispositifs de construction particulière dans le tracé de la machine et aussi dans le tracé de l'aspirateur qui permettent de réduire ces fluctuations de pression. Par contre, il est très difficile de les éliminer sur une machine existante.

M. NARCY rappelle que, dans de nombreux cas, on a pu diminuer fortement, sinon supprimer, les fluctuations de pression dues aux « torches » et aux vortex dans l'aspirateur en injectant de l'air comprimé sous la roue de la turbine (exemple : turbines de Bin El Ouidane au Maroc).

Nous avons procédé à de longs essais d'injection d'air dans tous les points possibles et imaginables, répond M. WEHENKEL : nous sommes arrivés à atténuer quelque peu les bruits mais pratiquement nous ne sommes pas parvenus à réduire l'amplitude des oscillations de pression susvisées sauf en injectant des débits d'air prohibitifs.

Nous avons ensuite inséré dans l'aspirateur un second coude concentrique aux parois de ce dernier, de façon à emprisonner la torche; nous avons ainsi obtenu une réduction notable des fluctuations de pression mais le coude sus-visé est soumis à de fortes contraintes mécaniques.

Il faut ajouter, observe M. FAUCONNET, que l'injection d'air dans les turbines qui fonctionnent sous une contre-pression aussi élevée, est beaucoup plus difficile à faire et beaucoup plus coûteuse que dans les cas auxquels M. NARCY faisait allusion.

M. MONTEIL revient sur la question de la vitesse de l'eau dans les adductions aval. A partir d'une certaine longueur, dit-il, de l'adduction basse pression, la cheminée d'équilibre est indispensable. Celle-ci étant adoptée, il ne devrait pas y avoir d'inconvénient à choisir pour cette adduction des vitesses d'écoulement du même ordre que pour l'adduction haute pression.

La cheminée d'équilibre peut être fort coûteuse, en particulier si le marnage est important, observe M. le Président, qui clôt la discussion en remerciant tous ceux qui ont contribué à la rendre très constructive.

Abstract

Tenth machine of the Vianden development Particular problems caused by the installation of a 200-MW reversible unit

REASONS FOR THE EXTENSION (Figures 1-5).

The Vianden pumped-storage station in Luxembourg is presently equipped with nine 100-MW sets with separate 70-MW pumps commissioned in 1964. Initially the power station was designed for a daily closed reversing cycle of 4 1/4 hours of generating and 8 hours of pumping and a yearly production of 1,350,000,000 kWh. In fact, the pumping period was progressively reduced to about 6 hours due to modifications of the load diagram, so that full use of the reservoirs can only be made by increasing the pumping capacity.

CIVIL ENGINEERING ASPECTS (Figures 6-9).

The new vertical reversible 200-MW unit, called the 10th machine, will be installed in a separate power station at a second location where the distance between the two reservoirs is relatively short (1,300 m). As the upper 63-m section of the pressure shaft was already constructed when the reservoirs were built, the works can be carried out without interfering with the operation of the present pumped storage station.

The steel-lined pressure tunnel is in three sections (vertical, horizontal and inclined at 30°). As in the case of one machine, the per-unit costs of an access tunnel for the transport of the machinery exceed those of the lined pressure shaft, we were interested in placing the powerhouse as near as possible to the lower reservoir. Two solutions were studied, an underground power station (Figure 7) and a shaft power station (Figure 8), right beside the outlet in the Our valley. Finally, the latter type of construction was preferred for economic reasons. Its most important technical advantages are improved accessibility and more favourable hydraulic conditions due to the short length of the tailrace tunnel.

STARTING FOR PUMPING OPERATION (Figures 10-15).

For reasons of economy and simplification, asynchronous starting with partial voltage was selected. To reduce the voltage drop in

the 220-kV system to the specified maximum value of 3 %, a reactor is switched into the main circuit during running-up. Nevertheless the machine and the auxiliaries are designed in such a way that later on, when conditions in the system allow it, it is possible to go over to direct starting with full voltage.

As shown in Figures 11 and 12, direct starting is possible with the filled pump-turbine, whereas starting with reduced voltage requires the dewatering of the impeller. In this case, filling is carried out after synchronization, simultaneously from the draft side and from the head water.

The damping winding which had to support currents of 45 kA during 30 sec is placed by solid poles with flexible copper connexions. By different constructive measures, it was possible to limit the temperature rise in the pole shoes to a maximum of 215 °C.

AUTOMATISM (Figure 16).

The control equipment transmits orders to the machine, protects the unit and informs the personnel of its state. Only the first of these functions is described in this article. In normal service, there are five types of set operation. These are standstill, turbine operation, pumping and synchronous condenser operation in both directions. Change-over from one of these final states to another is effected by 50 programmes which are subdivided into sequences and individual orders. For the execution of the programmes, four operation modes are possible : Remote automatic control used in normal service, local automatic control, semi-automatic and manual operation. The three latter modes of operation are mainly used during tests or when the control apparatus is disturbed.

Since there are no operating personnel on site, electronic components requiring no maintenance are used, except in those outlying parts of the equipment which are the most sensitive to interference.

For data-logging, especially for the daily reports and the recording breakdowns, a small computer will be installed.