

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : **2 561 718**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : **84 02814**

51 Int Cl^a : F 03 B 15/00, 13/12; E 02 B 9/08.

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

22 Date de dépôt : 24 février 1984.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 39 du 27 septembre 1985.

60 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

71 Demandeur(s) : *NEYRPIC, société anonyme. — FR.*

72 Inventeur(s) : Lucien Megnint.

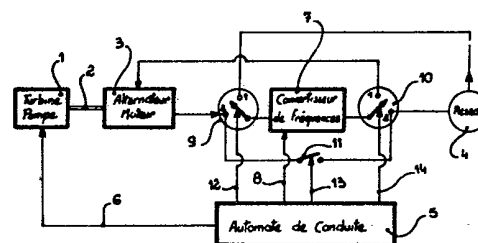
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : Cabinet Monnier.

54 Installation hydroélectrique de basse chute.

57 Installation hydroélectrique de basse chute, en particulier
pour usine marémotrice, destinée à fonctionner sous des hau-
teurs de chute variables et pouvant descendre jusqu'à des
valeurs de zéro.

Lorsque la hauteur de chute est inférieure à une valeur
déterminée H_d , inférieure à au moins la moitié de la chute
nominale H_n , on fait tourner la turbomachine 1 à une vitesse
 $N_1, N_2, N_3, \dots$ inférieure à la vitesse de synchronisme n_s et
ramenant son rendement près du cœur de la colline de rende-
ment; on intercale pour cela un convertisseur de fréquences 7
entre la machine électrique tournante 3 et le réseau 4, ledit
convertisseur 7 étant construit pour une puissance en tous cas
inférieure à au moins la moitié de la puissance nominale P_n .



FR 2 561 718 - A1

Installation hydroélectrique de basse chute

La présente invention se rapporte à une installation hydroélectrique de basse chute destinée à fonctionner sous des hauteurs de chute ou de refoulement variables et pouvant descendre jusqu'à des valeurs très faibles, voisines de zéro, comme c'est par exemple le cas pour une installation hydroélectrique équipant une usine marémotrice.

On distingue de façon classique les centrales hydroélectriques de basse chute, du type centrales de rivières ou usines marémotrices, qui fonctionnent sous une hauteur de chute ou de refoulement comprise entre zéro et au maximum vingt mètres, et les centrales hydroélectriques de haute chute, du type centrales de barrages, qui fonctionnent sous des hauteurs de chute ou refoulement beaucoup plus élevées, fréquemment de l'ordre de plusieurs centaines de mètres.

Pour certaines centrales de basse chute, en particulier pour les usines marémotrices, la chute peut varier dans de grandes proportions, mais chaque turbomachine, telle que turbine, turbine-pompe ou pompe, est calculée et donc construite pour avoir le meilleur rendement au voisinage de la chute la plus fréquente, dite chute nominale. Pour les usines marémotrices par exemple, cette chute la plus fréquente, ou nominale, est de l'ordre de 5 à 10 mètres.

Malheureusement le rendement de ces turbomachines décroît très vite en deçà de ces valeurs de chute, de sorte qu'en turbinage les chutes les plus basses, inférieures par exemple à la moitié ou au quart de la chute nominale, ne sont pas exploitées car elles ne sont pas assez rentables, et qu'en pompage on est conduit à consommer une puissance assez considérable.

En prenant, à titre d'exemple illustratif, le cas d'une usine marémotrice où la hauteur de chute varie en turbinage de 7 à 1 mètres et en pompage de 0 à 2 mètres, on consomme environ 300 GWh en pompage alors qu'on en produit 430 en turbinage.

L'invention a pour but de pallier ces inconvénients, et donc de permettre une plus grande production en turbinage et une plus faible consommation en pompage, grâce à des moyens permettant d'augmenter considérablement le rendement de la turbomachine lorsque la chute devient inférieure à une fraction déterminée de la chute nominale.

L'installation hydroélectrique de basse chute conforme à

l'invention est du type comportant :

- au moins une turbomachine hydraulique, turbine, turbine-pompe ou pompe, soumise à la chute et construite pour un rendement maximal à une hauteur de chute définie, dite nominale, correspondant à une puissance nominale de l'installation, et pour une vitesse de rotation correspondant à la vitesse de synchronisme avec la fréquence du réseau électrique,
 - au moins une machine électrique tournante, alternateur en turbinage et moteur en pompage, associée en entraînement avec ladite turbomachine et connectée électriquement au réseau,
 - des moyens de commande automatique, régulateur ou plus généralement automate de conduite de l'installation, permettant de faire tourner ladite turbomachine à la vitesse de synchronisme,
- et elle est caractérisée en ce qu'elle est en outre équipée de moyens permettant, lorsque la hauteur de chute est inférieure à une fraction déterminée de ladite hauteur nominale, en tous cas inférieure à la moitié de cette dernière, de faire tourner ladite turbomachine à une vitesse inférieure à ladite vitesse de synchronisme, et en conséquence d'intercaler entre le réseau et ladite machine électrique un dispositif adaptateur de fréquences de puissance maximale au moins inférieure à la moitié de ladite puissance nominale.

Par ces moyens, on accroît considérablement le rendement de l'installation pour les plus faibles hauteurs de chute uniquement, de sorte qu'il en résulte pour certaines applications une diminution considérable de la puissance consommée en pompage qui passe par exemple dans le cas illustratif évoqué précédemment, de 300 GWh environ à 200 GWh environ, et une augmentation appréciable de la puissance produite en turbinage, qui passe dans cet exemple de 430 GWh environ à 500 GWh environ. La puissance totale produite par cette usine marémotrice, citée pour fixer des ordres de grandeur, passe donc, grâce aux moyens de l'invention, de 130 à 300 GWh.

Bien évidemment, la réalisation de l'invention nécessite l'installation d'un convertisseur de fréquences qui, s'il devait fonctionner pour toute la gamme de chute, serait à prohiber comme non rentable ; il serait en effet d'un coût élevé pour pouvoir supporter de fortes puissances, et son rendement propre pourrait facilement chuter jusqu'à des valeurs de l'ordre de quelques pour cent. En utilisant, conformément à l'invention, un convertisseur de fréquences uniquement pour les très basses chutes, et donc les faibles puissances, celui-ci peut être construit pour une puissance maximale bien plus faible ; de plus, sa perte de rendement propre devenant

alors négligeable par rapport au gain de rendement dû à la diminution de la vitesse de rotation de la turbomachine, son utilisation devient très rentable. Ceci ne vient pas naturellement à l'esprit, car l'homme de métier calculant une installation d'une certaine puissance nominale est normalement enclin à lui adjoindre un convertisseur de fréquences de même puissance, ce qui se révèle économiquement dissuasif comme on l'a montré précédemment.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante d'un exemple de réalisation, destiné à une usine marémotrice, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- 10 - la figure 1 est un schéma-blocs de l'installation hydroélectrique de l'invention,
- la figure 2 est un faisceau de courbes permettant de mettre en valeur le gain de rendement dû à l'invention.

Sur la figure 1, la référence 1 désigne une turbine-pompe reliée
15 mécaniquement par un arbre 2 à une machine électrique tournante 3, fonctionnant en alternateur en turbinage et en moteur synchrone en pompage. Lorsque la turbomachine 1 fonctionne en turbine, l'alternateur 3 a pour rôle de fournir de l'énergie électrique au réseau électrique de distribution 4. A
20 contrario, pour que la turbomachine 1 fonctionne en pompe, le moteur synchrone 3 doit être alimenté en énergie électrique par le réseau 4. En régime classique, la machine électrique 3 est directement couplée au réseau, de sorte qu'elle tourne obligatoirement à la vitesse de synchronisme correspondant à la fréquence de celui-ci. L'automate ou ordinateur de conduite 5 de la centrale hydroélectrique possède donc une connexion 6 vers la turboma-
25 chine 1 chargée de faire tourner celle-ci à la vitesse de synchronisme avec la fréquence du réseau électrique alternatif 4.

De manière classique une turbine-pompe telle que 1 est calculée et construite pour fonctionner avec un rendement maximal, 90 % par exemple, pour la hauteur de chute nominale, par exemple neuf mètres. Pour cette chute nominale, elle fonctionne à puissance nominale, 17 MW dans l'exemple
30 considéré par exemple. Pour les hauteurs de chute situées en deça de la chute nominale, le rendement de la turbine-pompe baisse très vite. Dans l'exemple considéré, lorsque la hauteur de chute baisse jusqu'à 2,5 mètres et que la puissance qui en dépend n'est alors plus que de 5 MW, le rendement de la
35 turbomachine n'est plus que de l'ordre de 45 %.

Le constructeur fournit classiquement, pour une installation donnée, un diagramme topographique des courbes d'égal rendement, dite "colline de rendement" par analogie avec les lignes isohypses d'une colline sur une

carte topographique. Ces courbes sont tracées la plupart du temps en coordonnées réduites donnant le débit dans la turbomachine ramené à une roue de un mètre de diamètre sous un mètre de chute en fonction de sa vitesse de rotation ramenée également à une roue de un mètre de diamètre sous un mètre
5 de chute.

L'examen de cette colline de rendement n'est a priori pas très encourageant en ce qui concerne les centrales devant fonctionner sous des hauteurs de chute variables, comme c'est le cas pour les usines marémotrices. On se rend compte en effet que le point de fonctionnement s'éloigne assez
10 rapidement du coeur de la colline lorsque la chute baisse, et que le seul moyen de l'y ramener serait de baisser la vitesse de rotation de la turbomachine, ce qui conduirait à devoir installer un convertisseur de fréquences entre la machine électrique tournante et le réseau, destiné à adapter la fréquence de fonctionnement de cette machine à la fréquence fixe du réseau.
15 Or une étude rapide montre vite que le bilan économique résultant de l'installation d'un tel convertisseur de fréquences est prohibitif. Pour des puissances nominales élevées, 17 à 20 MW dans l'exemple considéré, un tel convertisseur est très onéreux, de sorte qu'il n'est pas rentable aux faibles puissances, et possède des pertes propres telles qu'au voisinage du
20 coeur on ne pourrait visiblement pas apporter de gain de rendement substantiel.

La demanderesse a trouvé qu'il était possible d'obtenir un bilan économique substantiellement positif en installant, entre la machine électrique 3 et le réseau 4, un convertisseur de fréquences 7 de faible puissance
25 maximale admissible, 5 MW par exemple dans l'exemple cité ci-dessus où la puissance nominale est de 17 MW, et en n'intercalant ce convertisseur, normalement hors-circuit, que lorsque la hauteur de chute devient inférieure à une faible fraction de la hauteur nominale, de l'ordre du quart de celle-ci par exemple. On peut alors, par l'automate de conduite 5, connexion
30 6, baisser la vitesse de rotation de la turbomachine de manière à en augmenter substantiellement le rendement, avantageusement en ramenant celui-ci près de son maximum, par exemple à 87 %. Corrélativement, l'automate de conduite 5 commande le convertisseur de fréquences 7 par la connexion 8 pour lui permettre d'adapter la fréquence imposée par la vitesse, alors ré-
35 duite, de la machine électrique 3, à la fréquence du réseau 4.

Sur la figure 1, le dispositif permettant d'intercaler le convertisseur de fréquences 7 est schématisé par deux commutateurs 9, 10 à deux positions, respectivement placés en amont et en aval du convertisseur 7, et

par un interrupteur 11 permettant de court-circuiter ledit convertisseur. Ces trois contacteurs 9, 10, 11 sont commandés par l'automate de conduite 5, par les lignes schématisées en 12, 13, 14.

Le fonctionnement du dispositif de la figure 1 est le suivant :

5 En turbinage tout d'abord, tant que la hauteur de chute reste supérieure à une valeur définie H_d , par exemple 2,5 mètres pour une hauteur de chute nominale de 9 mètres, l'interrupteur 11 est fermé, les commutateurs 9 et 10 étant en position "2". Le convertisseur de fréquences 7 est court-circuité et hors service. La turbine 1 tourne à sa vitesse de synchronisme avec la
10 fréquence du réseau et l'alternateur 3 débite directement sur le réseau 4.

Lorsque la hauteur de chute devient égale ou inférieure à la valeur H_d , dans ce cas 2,5 mètres, l'automate 5 commande l'ouverture de l'interrupteur 11, ce qui met le convertisseur 7 en circuit entre l'alternateur 3 et le réseau 4 ; en même temps l'automate 5 commande, d'une part par la
15 connexion 6 la vitesse de rotation de la turbine pour la faire baisser jusqu'à une valeur, fonction de la chute, augmentant le rendement jusqu'à environ 85 à 87 %, et d'autre part par la connexion 8, le convertisseur de fréquences 7 pour qu'il fournisse en sortie une tension électrique de fréquence égale à celle du réseau 4.

20 En pompage maintenant, la hauteur de chute, dite alors hauteur de refoulement, est généralement nulle au départ et peut augmenter progressivement par la suite.

Il faut tout d'abord démarrer la pompe 1. Pour ceci, l'automate 5 commande l'ouverture de l'interrupteur 11 et place les commutateurs 9 et 11
25 en position "1", ce qui intercale le convertisseur 7 entre le réseau 4 et le moteur synchrone 3. L'automate 5 commande alors, par la connexion 8, le convertisseur 7 pour lui faire appliquer au moteur 3 une tension de fréquence progressivement croissante, 1 Hertz pour commencer, puis plusieurs Hertz au fur et à mesure que le moteur synchrone 3 commence à tourner.

30 Le démarrage étant effectué, l'automate commande, par ses connexions 8 et 6, la vitesse de rotation de la pompe pour lui donner la valeur qui, pour la hauteur de refoulement considérée, correspond au rendement maximal.

Lorsque la hauteur de refoulement atteint la valeur H_d précédemment définie, c'est-à-dire 2,5 mètres dans notre cas, il faut déconnecter
35 le convertisseur 7 car il ne supporterait pas une plus grande puissance. L'automate 5 commande alors la montée en fréquence du convertisseur 7 de façon à faire tourner le moteur 3 à la vitesse de synchronisme, puis la ferme-

ture de l'interrupteur 11, ce qui met le convertisseur 7 hors-circuit et couple le moteur 3 directement sur le réseau 4. Au-delà de la hauteur H_d , l'installation fonctionne donc comme une installation de pompage classique, à moteur synchrone 3 couplé au réseau 4, et à pompe hydraulique 1.

5 On se reportera maintenant à la figure 2 où la demanderesse, pour mieux faire comprendre son invention, a tracé, en s'aidant de la colline de rendement de la turbomachine 1, un faisceau de courbes représentant, pour différentes vitesses n de rotation de la turbomachine 1, la variation du rendement η , en pour cent, en fonction de la hauteur de chute H en mètres.

10 La courbe 20 correspond au fonctionnement classique de la machine 1 sans le convertisseur 7, et pour la vitesse n_s de synchronisme correspondant à un courant alternatif de 50 périodes. Elle montre un maximum de rendement, soit 90 %, pour la hauteur de chute nominale H_n , soit 9 mètres. La puissance fournie en turbine, ou consommée en pompe, qui comme on le sait
15 dépend de la hauteur de chute H , est pour la hauteur nominale H_n , de 17 MW. De part et d'autre de la valeur nominale H_n , le rendement décroît très vite ; il n'est plus que de 75 % pour une chute de 11 mètres, où la puissance est de 20 MW, et de 45 % pour une chute de 2,5 mètres, où la puissance est de 5 MW. Pour une installation classique, on ne fera pas fonctionner la
20 turbine pour une hauteur de chute trop basse, inférieure à 1,5 mètre par exemple, car l'on perd plus alors en coût d'exploitation que ce que l'on gagne en turbinage.

La courbe 21 est la courbe correspondant à une hauteur de chute H_p de 7 mètres, d'environ 22 % inférieure à la chute nominale H_n , mais dans
25 laquelle le rendement a été ramené à son maximum possible, soit 87 % dans cet exemple, par diminution appropriée de la vitesse de rotation de la turbine, qui est passée à la valeur n_p , correspondant à une fréquence de courant alternatif d'environ 44 périodes par seconde, déterminée par la "colline", dans notre exemple. En comparant avec la valeur du rendement à H_p don-
30 née par la courbe 20, on voit que le fait de baisser la vitesse de n_s à n_p ne fait passer le rendement que de 82 % à 87 %. Compte-tenu du coût élevé d'installation et d'exploitation d'un convertisseur de fréquences de forte puissance et des pertes propres d'un tel convertisseur, justement de l'ordre de 5 %, un tel investissement n'apparaît bien évidemment pas rentable à
35 l'exploitation du procédé pour ces hauteurs de chute assez proches de la chute nominale.

Les courbes 22, 23, 24, 25, 26 sont analogues à la courbe 21, mais sont tracées pour des hauteurs de chute inférieures à H_d , soit 2,5 mè-

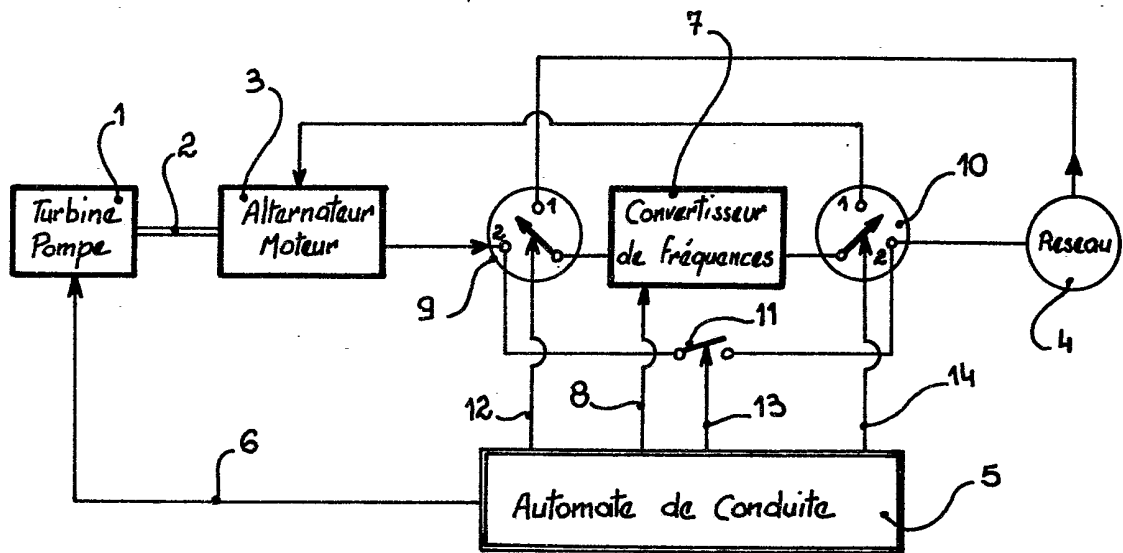
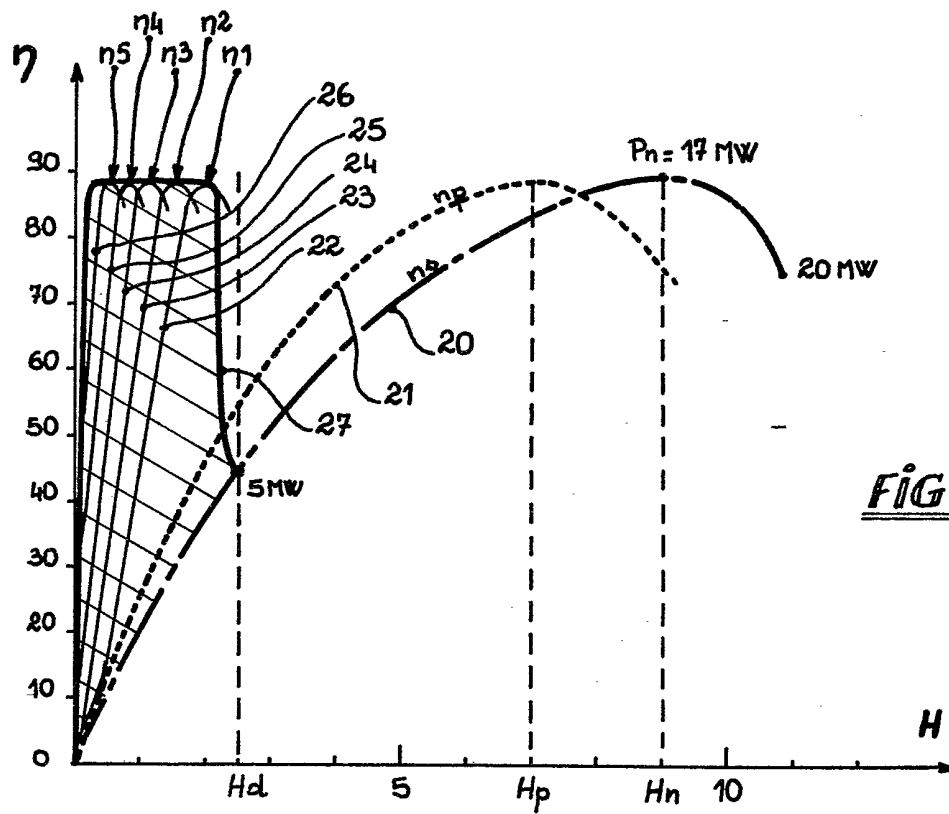
tres, et pour les vitesses de rotation n_1 , n_2 , n_3 , etc ..., correspondant dans chaque cas au maximum de rendement possible ; ces valeurs, là encore déterminées par la "colline de rendement", correspondent respectivement à des fréquences en Hertz de 23, 20, 18, etc Ces courbes montrent de façon frappante le gain de rendement important dû à la diminution adaptée de la vitesse de rotation. Par ailleurs, le coût de l'installation et d'exploitation d'un convertisseur de 5 MW au maximum, car devant fonctionner uniquement en dessous de H_d , est très inférieur à celui d'un convertisseur de 17 MW, de sorte que le bilan économique de l'opération s'élève très positif.

Dans l'installation hydroélectrique de l'invention, dans la zone entre 0 et H_d où le convertisseur (7, figure 1) est opérationnel, la courbe de fonctionnement est l'enveloppe des courbes 22, 23, 24, etc ..., et est représentée en trait fort en 27. Le gain de rendement dû à l'invention est alors représenté par la zone hachurée comprise entre la courbe 27 et la partie inférieure de la courbe 20.

REVENDEICATIONS

- 1.- Installation hydroélectrique de basse chute, du type comportant :
- au moins une turbomachine hydraulique (1) construite pour un rendement optimal sous une hauteur de chute ou de refoulement définie (H_n), dite nominale, correspondant à une puissance nominale (P_n) de l'installation et pour une vitesse de rotation correspondant à la vitesse de synchronisme (n_s) avec la fréquence d'un réseau électrique (4),
 - au moins une machine électrique tournante (3) associée en entraînement à ladite turbomachine et connectée électriquement audit réseau,
 - des moyens de commande automatique (5) permettant, entre autres, de faire tourner ladite turbomachine à sa vitesse de synchronisme avec la fréquence du réseau,
- caractérisée en ce qu'elle est en outre équipée de moyens (5, 9 à 11) permettant, lorsque la hauteur de chute ou de refoulement est inférieure à une valeur (H_d) égale à une fraction déterminée de ladite hauteur nominale (H_n), en tous cas inférieure à la moitié de cette dernière, de faire tourner ladite turbomachine à une vitesse inférieure à ladite vitesse de synchronisme, et en conséquence d'intercaler entre le réseau et ladite machine électrique un dispositif adaptateur de fréquences (7) de puissance maximale au moins inférieure à la moitié de ladite puissance nominale.
- 2.- Installation hydroélectrique de basse chute selon la revendication 1,
- caractérisée en ce que ladite fraction déterminée de la hauteur nominale est de l'ordre du quart de cette dernière.
- 3.- Installation hydroélectrique de basse chute selon la revendication 1 ou la revendication 2,
- caractérisée en ce que lesdits moyens sont des moyens de commande automatique faisant tourner, lorsque la hauteur de chute ou de refoulement devient inférieure à ladite valeur (H_d), ladite turbomachine à la vitesse donnant le rendement maximal pour cette turbomachine.
- 4.- Installation hydroélectrique de basse chute selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, du type selon lequel ladite turbomachine et ladite machine électrique sont des machines réversibles, turbine et alternateur en turbinage, pompe et moteur électrique en pompage,
- caractérisée en ce qu'elle utilise un seul et même dispositif adaptateur de fréquences (7) en turbinage et en pompage et en ce que lesdits moyens permettent, lorsque la hauteur de chute est inférieure à ladite valeur (H_d),

de brancher en turbinage ledit dispositif adaptateur (7) entre l'alternateur (3) entraîné par la turbine (1) et le réseau électrique (4) qu'il alimente, et de brancher en pompage ce dispositif adaptateur (7) entre le réseau électrique d'alimentation (4) et le moteur électrique (3) entraînant
5 la pompe (1).

$I/1$

FIG: 1

FIG: 2