

Des machines pour
nourrir les Hommes



CODEART

asbl

CODEART asbl
15, Chevémont

B-4852 HOMBOURG

Tél.: 0032(0)87 78 59 59

Fax: 0032(0)87 78 79 17

info@codeart.org

www.codeart.org

Ce document est mis gratuitement à disposition en ligne sur le site internet de www.codeart.org.

Il est destiné à être diffusé et reproduit largement.

CODEART développe des projets visant à résoudre des problèmes techniques récurrents dans les pays du Sud et en lien direct avec la production et la transformation des productions vivrières par les producteurs locaux eux-mêmes et les artisans locaux qui offrent leur service aux paysans.

CODEART complète son appui technique par l'offre de toute information susceptible d'aider les partenaires dans la maîtrise de technologies nécessaires au développement du pays.

Les productions, plans et savoir-faire développés sont mis à la disposition de l'ensemble des acteurs du secteur du développement tant au Nord qu'au Sud.

Dans les cas justifiés, une version papier peut vous être envoyée sur simple demande à info@codeart.org.

Si vous avez des questions, si vous constatez des imperfections ou si vous avez des expériences similaires à partager, nous vous remercions de nous contacter.

PROJET D'INSTALLATION DE CENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES EN HAITI

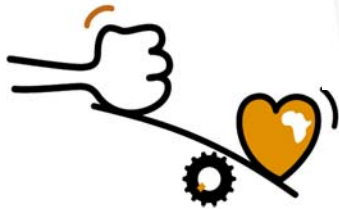
Classification : **document de réflexion**

Nom de l'auteur du document : **LOOZEN Roger en collaboration avec
Mr. Yves-André COMPAS, Ing. Prof. à la Faculté des
Sciences à Port-au-Prince et responsable de projets à l'EDH**

Date de conception : **2005**

Date de mise en ligne : **2006**

Référence interne : **B1603/2**



Des machines pour
nourrir les Hommes

CODEART

asbl

CODEART asbl

15, Chevémont

B-4852 HOMBURG

Tél.: 0032(0)87 78 59 59

Fax: 0032(0)87 78 79 17

info@codeart.org

www.codeart.org

PROJET D'INSTALLATION DE CENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES EN HAITI

Objectifs :

Réflexion sur l'installation de centrales hydro-électriques à Haïti
et exemples de petites centrales belges.

LOOZEN Roger

Juin 2005

Avec l'appui de

Mr. Yves-André COMPAS,

ing. prof. à la Faculté des Sciences à Port-au-Prince
et responsable de projets à l'EDH (Electricité d'Haïti).

Etude cofinancée grâce à

TABLE DES MATIERES

PROJET D'INSTALLATION DE CENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES EN HAITI.....	4
1. Le générateur de courant.....	4
1.1. Les alternateurs couplés sur un réseau (puissant) existant.....	4
1.2. Installation isolée donc non connectée sur un réseau existant.....	4
a) L'emploi d'alternateurs synchrones.....	4
b) L'excitation de l'alternateur synchrone.....	5
c) L'emploi de moteurs asynchrones.....	7
d) L'excitation de l'alternateur asynchrone.....	7
e) La vitesse de l'alternateur asynchrone.....	7
f) Le contrôle de la fréquence.....	8
g) Conclusions.....	8
2. Le circuit électrique.....	9
2.1. Les alternateurs couplés sur un réseau.....	9
a) L'emploi d'alternateurs synchrones.....	9
b) L'emploi d'alternateurs asynchrones.....	11
3. La régulation des turbines.....	11
3.1. Les centrales couplées sur un réseau.....	11
3.2. Les centrales qui alimentent un réseau isolé.....	12
a) Explication du problème.....	12
b) Quelle variation de fréquence est acceptable ?.....	12
c) Les régulateurs.....	14
4. La transmission.....	21
4.1. Les courroies.....	21
4.2. La chaîne cinématique.....	22
5. La turbine.....	22
6. Les grilles et le dégrilleur.....	22
7. Le canal d'alimentation.....	22
8. Le frein.....	23
9. Le réseau et sa gestion.....	23
10. Compte rendu de la visite de la centrale de Mr. Maraite et Piront.....	23
10.1. CENTRALE DE MONSIEUR MARAITE.....	23
10.2. CENTRALE DE MONSIEUR PIRONT.....	25
11. Photos commentées des 2 centrales.....	28
11.1. Centrale MARAITE à Ligneuville.....	28
11.2. Centrale PIRONT.....	29
11.3. Centrale MARAITE.....	31
11.4. CENTRALE MARAITE A LIGNEUVILLE TURBINE FRANCIS 150 KW.	32
11.5. Centrale de Mr.Piront. GROUPE, turbine Banki OSSBERGER, chute de 4,5 m, débit 2 m ³ /s.....	35
Bibliographie.....	41

PROJET D'INSTALLATION DE CENTRALES HYDRO-ELECTRIQUES EN HAITI

Document préparé par Roger LOOZEN, ing ., Codeart asbl en collaboration avec Mr. Yves-André COMPAS, Ing. Prof. à la Faculté des Sciences à Port-au-Prince et responsable de projets à l'EDH (Electricité d'Haïti).

1. LE GENERATEUR DE COURANT.

1.1. Les alternateurs couples sur un réseau (puissant) existant.

Par manque de temps nous ne développerons pas ce chapitre. Il nous concerne moins directement vu que nous comptons installer des turbines principalement dans des sites isolés. En annexe nous présentons les centrales hydro-électriques MARAITE et PIRONT de Ligneville qui sont de petites centrales couplées sur le réseau belge. Ils travaillent avec des alternateurs synchrones et asynchrones.

1.2. Installation isolée donc non connectée sur un réseau existant.

a) L'emploi d'alternateurs synchrones.

Description de la machine:

Le stator (partie fixe) contient les enroulements dans lesquels le courant électrique sera induit. Ce courant sera envoyé sur le réseau vers les utilisateurs. Le rotor comprend les enroulements inducteurs. Ces enroulements sont traversés par un courant continu. Il y aura donc la création de pôles N et S sur le rotor. Le rotor est mis en rotation par la turbine. Le champ tournant ainsi créé induit un courant dans les enroulements statoriques.

Les problèmes posés par l'emploi d'alternateurs standards :

☒ Ils ne sont pas prévus pour des survitesses importantes. Il faut assurer une survitesse possible de 2 x la vitesse normale. La solution sera un sertissage renforcé du rotor (Les ateliers CH. FOCQUET sont en mesure d'effectuer cette opération sur des alternateurs d'occasion ou neufs).

- Un équilibrage plus précis est conseillé afin d'éviter des vibrations trop importantes lors de survitesses
- Les roulements sont à renforcer car non prévus pour ces conditions de travail.
- Les roulements devront pouvoir être graissés.
- Les régulateurs de vitesse ne sont pas prévus pour une large plage de fonctionnement.

- L'isolement des bobinages devra être adapté au climat tropical.

Les prix des alternateurs standards:

A titre d'exemple un alternateur de 25 KVA coûte 41.000 FB (neuf) et 46.000 FB en 32 kVA. Le régulateur électronique coûte environ 4.500 FB.

Les producteurs d'alternateurs de qualité sont STAMFORD (UK), LEROY pour les puissances sup. à 15 kVA et ANSALDO MARELLI (I) . Ce dernier est de l'ordre de 10% moins cher que les 2 premiers.

b) L'excitation de l'alternateur synchrone.

Le but recherché est d'obtenir à une vitesse constante (fréquence constante) une tension égale pour toutes les valeurs de la charge.

La caractéristique tension - charge d'un alternateur synchrone pour une vitesse constante et un courant d'excitation constante donne une courbe tombante de la tension de par ex. 240 V à vide jusque 180 V à pleine charge. Cette chute rapide est due à l'effet démagnétisant du courant principal.

Il est donc essentiel d'ajuster le courant magnétisant ou courant d'excitation à la charge de l'alternateur de façon à maintenir constante la tension aux bornes de l'alternateur. Cet ajustement du courant d'excitation n'est pas proportionnel au courant de charge et ne peut donc pas être réalisé de façon simple.

Un régulateur de tension (AVR ou Automatic Voltage Regulator) permet de contrôler le courant continu d'excitation.

Pour les petits alternateurs il s'agit de composants électroniques qui sont intégrés à l'alternateur.

Un bon régulateur va aussi maintenir la tension constante aux bornes de l'alternateur si la vitesse change.

Divers systèmes existent :

Nous pensons que le système le plus approprié est l'alternateur compound. Mecc alte (Italie) propose des alternateurs de ce type sans balai et avec en option une régulation électronique qui permet d'obtenir une régulation plus précise.

Le principe :

Extrait de la documentation de MECC ALTE concernant la série d'alternateurs ECS (10 à 100 kW): Après trente années d'expérience dans l'activité de fabricant de générateurs synchrones, Mecc Alte offre aujourd'hui, une machine de technologie nouvelle (ECS) en mesure de répondre simultanément aux diverses exigences techniques, très grande capacité de démarrage des MOTEURS ELECTRIQUES grâce au système de régulation compound, et régulation de la tension grâce au régulateur électronique AVIR. (Cet AVIR pouvant être monté à posteriori sans aucune connaissance technique particulière ni aucun réglage). L'ensemble du système de régulation et du régulateur électronique AVIR a fait l'objet d'un brevet international références 85669A et 85526A.

Ces ALTERNATEURS ECS sont du type sans balai (Brushless) à inducteur tournant, à pôles saillants et cage d'amortissement, induit fixe à encoches inclinées et PAS raccourci. Ils peuvent être monophasés ou triphasés, à vitesse 1500 ou 1800 T/mn (50 - 60 Hz) pour les 4 pôles et 3000 ou 3600 t/mn (50 - 60 Hz) pour les 2 pôles. Possibilité d'insertion du régulateur bidirectionnel AVIR sans aucune modification qui vient ajouter ou soustraire une partie du courant d'excitation selon la nécessité.

L'AVIR est également conçu avec une protection en sous vitesse qui réduit la tension débitée, en fonction de la vitesse lorsque celle-ci est diminuée de plus de 10% de la vitesse nominale. On évite ainsi le danger de suralimentation de l'inducteur exciteur en cas de sous vitesse prolongée. En cas d'anomalie sur le régulateur électronique, l'alternateur continue à fonctionner sans intervention avec seulement la régulation du compound triphasé. Le choix de la technicité permet ainsi de garantir un fonctionnement pratiquement illimité.

Principe de fonctionnement du système de régulation compound (voir schéma ci-joint).

L'alimentation du circuit de régulation est obtenue à partir d'un enroulement auxiliaire (1) situé dans le stator, en phase, légèrement décalé par rapport à l'enroulement principal de puissance. Le courant d'excitation (2) de la tension à vide est déterminé par le nombre de spires du primaire du transformateur (3) et à son entrefer.

Le secondaire du transformateur est relié en série avec l'enroulement de puissance, et donc traversé par la totalité du courant de charge, augmentant ainsi l'excitation nécessaire pour maintenir constante la tension en charge.

La combinaison géométrique de ces courants assure une bonne régulation de tension quelque soit le cos phi de charge.

Avec l'adjonction du régulateur électronique AVIR, lui aussi alimenté en basse tension de l'enroulement auxiliaire (1), l'ensemble aura le comportement d'une machine à régulateur électronique.

Précision de la tension

Avec la seule régulation compound la variation de la tension est maintenue à $\pm 4\%$ avec variation de cos phi 0,8 à 1 et variation de vitesse de 4%.

Avec l'insertion du régulateur électronique AVIR la précision de la tension est de $\pm 1,5\%$ pour toutes charges, tous cos phi et une variation de vitesse de -10% +30%.

Réglage de la tension

Avec la régulation compound la tension à vide peut être réglée de 10% en jouant sur l'entrefer du transformateur. Avec l'adjonction du régulateur électronique AVIR, il est également possible de varier la tension à vide avec le potentiomètre. Sur le régulateur sont également positionnées des bornes pour le réglage à distance.

Chute de tension transitoire

A partir de la machine à vide et en insérant la charge nominale (à vitesse nominale), la chute de tension transitoire est d'environ 11%.

Temps de réponse

Grâce à la seule régulation compound et en appliquant la charge nominale à vitesse nominale, la tension revient aux valeurs nominales en moins de 0,15 seconde. En ajoutant le régulateur électronique AVIR, le temps de réponse est encore inférieur.

Surcharges

La surcharge admissible est de 300% pour 20 secondes, de 50% pour 2 Minutes et 10% pour une heure toutes les 4 Heures.

Fonctionnement en parallèle

En régulation compound seule, le couplage en parallèle est possible avec d'autres machines du même type, en couplant ensemble les sorties puissances et les fils de l'excitation. Lorsque la machine fonctionne avec AVIR, il faut un dispositif de transformateur proposé en option.

c) L'emploi de moteurs asynchrones.

Avantages :

- Moteurs peu coûteux.
- Simple : pas d'enroulements rotoriques (cage d'écureuil), pas de balais, par rapport à l'alternateur synchrone.
- Machine robuste : peut supporter une surcharge de 200% sans danger. Ce qui est dû au fait que le rotor n'est pas bobiné.
- Pas d'entretien

d) L'excitation de l'alternateur asynchrone.

Le moteur asynchrone utilisé comme alternateur rencontre le problème de son excitation. Pour l'alternateur synchrone l'excitation est assurée séparément par des enroulements particuliers prévus pour cela. Dans le cas d'un alternateur asynchrone " accroché " à un réseau existant le courant d'excitation sera ponctionné sur ce réseau. Il sera donc producteur d'énergie active et consommateur d'énergie réactive.

Suivant l'expérience de Mr. MARAITE :

Suivant la charge de l'alternateur asynchrone le facteur de puissance variera entre 0,5 et 0,8. On peut améliorer le facteur de puissance par l'utilisation de capacités. Certains disposent de batteries de capacité qui seront enclenchées suivant la charge de l'alternateur. Un mauvais facteur de puissance est pénalisant pour le producteur. Une centrale de Nessonvaux (GAMBY) possède un alternateur de 140 kW. Il paye des pénalités mensuelles de 15.000 à 20.000 FB ce qui représente 10% de son chiffre d'affaire.

Dans le cas d'un réseau isolé il faudra fournir le courant d'excitation par des capacités.

Il est à noter que lors du démarrage il faudra parfois disposer d'une batterie 6 ou 12 V pour magnétiser l'alternateur s'il a perdu son magnétisme rémanent. La connexion d'une batterie aux bornes de l'alternateur durant 2 ou 3 secondes suffira pour restaurer un minimum de magnétisme qui permettra son excitation ultérieure par des capacités.

e) La vitesse de l'alternateur asynchrone.

La caractéristique tension - courant à vitesse constante.

La tension chute rapidement avec l'augmentation de la charge.

La caractéristique tension - vitesse

La tension est plus dépendante de la vitesse que dans un alternateur synchrone. Une faible chute de vitesse engendre une chute importante de tension.

A ce niveau l'utilisation d'alternateurs asynchrones couplés avec des condensateurs n'est envisageable que lorsque la charge est multiple et principalement résistive (lampe à incandescence dans un village) et si des variations de tension sont tolérées.

Des travaux récents de régulateurs simples de tension et de vitesse ont résolu ces problèmes et rendent cette solution intéressante pour des micro-centrales hydrauliques. Ces régulateurs, développé par ITDG et l'école polytechnique de Nottingham s'appellent " Induction Generator Controller " ou IGC. Ils tiennent compte de la caractéristique charge/vitesse de la turbine et de la caractéristique tension/vitesse du générateur. L'IGC mesure la tension de sortie de l'alternateur asynchrone et corrige celle-ci par la déviation d'une partie de la charge vers des résistances de charges. Ce système nécessite donc l'emploi de résistances de charges.

Schématiquement nous aurons :

Une turbine qui entraîne l'alternateur asynchrone. Le courant passe par le contrôleur IGC. Ce dernier maintient la charge constante de l'alternateur par la commande de résistances de charges.

Le prix de ce contrôleur IGC est d'environ 510 \$US/ 10 kW, soit par exemple, 2550 \$US pour une turbine de 50 kW.

f) Le contrôle de la fréquence.

Harvey annonce une variation de 5 à 10% de la fréquence ce qui donnerait une fréquence de 60 à 66 Hz. La limitation admise est de 5% pour la plupart des régulateurs (de 60 à 63 Hz). Les problèmes liés à une augmentation de fréquence sont :

- L'échauffement des moteurs asynchrones dont la charge est fortement liée à la vitesse de rotation telle que les ventilateurs et pompes.
- La réduction du couple de démarrage de ces moteurs dû à l'augmentation de la fréquence peut être significative surtout si ce problème s'accompagne d'une chute de tension en ligne. La correction du facteur de puissance est donc très importante car elle limitera la variation de la fréquence.

g) Conclusions.

Les avantages principaux par rapport à d'autres systèmes (alternateur synchrone avec régulateur mécanique ou électronique) sont sa fiabilité et le fait que la protection contre les surcharges est inhérente au système de contrôle.

Le prix est de moitié par rapport aux autres systèmes mais il faut tenir compte du coût relatif dans le prix global de la centrale. Cet avantage est de taille quand il faut renouveler les machines. Le prix du moteur asynchrone qui sera utilisé en alternateur asynchrone est 3 fois moins cher que l'alternateur synchrone et le régulateur coûte près du 1/4 du prix d'un régulateur de fréquence + tension conventionnel.

Les inconvénients sont la variation importante de la fréquence (5 à 10%) et la difficulté d'alimenter des charges inductives importantes tels que des moteurs électriques. Dans ce cas des modules importants de condensateurs devront être ajoutés.

L'utilisation d'alternateur asynchrone n'est donc envisageable que par l'utilisation de ce contrôleur électronique (IGC) qui, malgré son coût modique, présente l'inconvénient de ne pouvoir être réparé localement. Les vendeurs conseillent d'acheter toutes les pièces essentielles en double exemplaire. Cette solution n'est pas satisfaisante parce que le personnel qui gère l'installation ne sera que rarement en mesure de déterminer l'origine de la panne. Dans ce cas même plusieurs jeux de pièces de rechange risquent d'être détériorés si on ne trouve pas l'origine du défaut.

D'autre part cette solution demande l'utilisation de résistances de charge. L'alternateur fonctionne donc continuellement à pleine charge. Toute la mécanique est donc sollicitée au maximum de ses capacités, l'énergie fournie par les résistances sera souvent inutilisable et une certaine quantité d'eau sera perdue. Ce dernier inconvénient n'est pas à prendre en compte s'il s'agit d'une turbine installée au fil de l'eau donc sans réservoir d'eau.

Avis de Mr. Willot.

Il n'a jamais vu le régulateur dont parle Harvey en fonctionnement. Ce système convient pour de petites installations (moins de 20 kW) et pour l'entraînement d'alternateurs de camion (env. 1kW) pour le chargement de batteries. Dès que l'on dépasse 20 kW, il faut faire du " sérieux " avec des alternateurs synchrones.

2. LE CIRCUIT ELECTRIQUE.

2.1. Les alternateurs couplés sur un réseau.

Nous allons développer ici l'installation de Monsieur Maraitte dont le schéma électrique est présenté en annexe.

a) L'emploi d'alternateurs synchrones.

Principe de fonctionnement.

Rappelons que nous fournissons du courant sur un réseau existant. Il s'agit donc pour le producteur " d'accrocher " son alternateur sur le réseau. La procédure de démarrage est la suivante : Par des boutons poussoirs, on commande manuellement l'ouverture de la turbine. L'alternateur n'étant pas chargé, la vitesse augmente rapidement. Lorsque la vitesse de synchronisme est presque atteinte, le contrôleur de vitesse ferme le contact " N min. ". Le contrôleur de vitesse détecte une vitesse minimale et une vitesse maximale programmée. La fermeture du contact " N min. " permet l'accouplement de l'alternateur sur le réseau. Avant l'accouplement au réseau on enclenchera la commande de l'excitation. Cette opération sera réalisée manuellement par bouton poussoir. L'enclenchement du contacteur C d'accouplement de l'alternateur sur le réseau est aussi réalisé manuellement. Cette fermeture est conditionnée par la vérification de :

- la détection de fluctuations de la fréquence : relais V680 (voir annexe).
- la vitesse maximale de la turbine. La turbine pourrait s'emballer en cas de rupture de courroie.L
- La pression d'huile suffisante dans le système de lubrification des transmissions mécaniques.
- Le contrôle de la surcharge de l'alternateur par le relais thermique du contacteur C.

L'alternateur est accouplé sur le réseau.

La vitesse de l'alternateur est déterminée par la fréquence du réseau.

La production d'énergie active.

L'alternateur ne produit pas encore d'énergie active. Il tourne à vide. La turbine est ouverte juste ce qu'il faut pour entraîner l'alternateur à la vitesse de synchronisme. Pour produire de l'énergie il faudra simplement ouvrir la turbine et donc augmenter le débit d'entrée. Cette quantité d'eau supplémentaire libère son énergie qu'elle transmet à l'alternateur via la courroie de transmission. L'alternateur accouplé sur le réseau ne peut augmenter de vitesse. Le supplément d'énergie fourni se traduit par la production d'énergie active qui est renvoyée sur le réseau. Nous remarquons la simplicité du système. Aucune régulation de vitesse, comme ce serait le cas dans les turbines fonctionnant dans un réseau isolé, n'est nécessaire. Si, de plus, le débit d'eau est constant il suffira d'ouvrir la turbine pour que l'alternateur produise le maximum d'énergie possible. De temps à autre, on effectuera un petit contrôle. Monsieur Maraitte visite sa centrale deux fois, ou même une fois par jours.

Le réglage de l'ouverture de la turbine.

Nous avons dit ci-dessus que l'ouverture (et fermeture) est manuelle. Monsieur Maraitte a également installé un système d'ouverture automatique. Une fois que la turbine est accrochée au réseau il démarre l'ouverture automatique. L'ouverture a lieu par petit cycle ouverture/attente, chaque cycle dure une dizaine de secondes. Il est préférable de réaliser une ouverture lente par paliers afin de permettre la stabilisation de l'ensemble du groupe. Un contact de fin de course imposera l'arrêt de l'ouverture. Cette position correspond à l'ouverture nécessaire pour que l'alternateur fournisse sa puissance maximale.

Mécanisme d'ouverture de la turbine.

C'est le grand-père de Monsieur Maraitte qui a débuté la production d'électricité dans le petit village de Ligneuville en 1912. C'est lui qui a réalisé un système ingénieux d'ouverture et de fermeture rapide de la turbine au moyen d'un différentiel de véhicule. La commande par bouton poussoir de l'ouverture (ou la fermeture) de la turbine alimente un moteur électrique. Ce dernier entraîne la rotation d'un des 2 " arbres de sortie de roue ". La couronne d'attaque est bloquée par un système à crabot. L'autre arbre de sortie de roue tourne donc en sens inverse. Au bout de cet arbre se trouve un pignon qui entraîne un segment de couronne dentée solidaire des bras de commande de l'ouverture de la turbine. Dès que l'on arrive à l'ouverture maximale désirée un fin de course coupe l'alimentation du moteur d'entraînement. En même temps que le système d'ouverture est actionné, un câble métallique est enroulé autour d'un tambour. Au bout de ce câble se trouve un poids qui servira à actionner la fermeture rapide de la turbine. La fermeture aura lieu de la même manière par inversion du sens de rotation du moteur d'entraînement. En cas de problème, le système permet une fermeture rapide de la turbine. En effet si un défaut est détecté le taquet de blocage de la roue à crabots (solidaire de la couronne d'attaque du différentiel) est retiré au moyen d'un bendix de démarreur de camion. La couronne d'attaque est donc libre. Elle permet dès lors la rotation de l'arbre de sortie (côté commande de la turbine) quand l'arbre d'entraînement (côté moteur) est bloqué (à l'arrêt). C'est le contrepoids qui va entraîner la rotation de l'arbre d'ouverture dans le sens de la fermeture de la turbine. Cette fermeture est relativement rapide (quelques secondes). Ce système a l'avantage de ne pas nécessiter d'énergie pour effectuer cette fermeture d'urgence.

L'excitation de l'alternateur (voir schéma).

L'excitation de l'alternateur est assurée de façon très simple. Puisque nous disposons d'une connexion sur le réseau, on prendra l'énergie du réseau pour alimenter un pont redresseur qui fournira le courant continu aux enroulements d'excitation de l'alternateur. Un shunt permet de régler manuellement le courant d'excitation.

b) L'emploi d'alternateurs asynchrones.

Un moteur asynchrone peut fonctionner en générateur. Il est réversible. Dans ce cas l'alternateur asynchrone devra être branché sur un réseau triphasé auquel il pourra prendre son énergie réactive pour sa magnétisation.

Au démarrage, le moteur sera entraîné par la turbine afin d'atteindre une vitesse proche de la vitesse de synchronisme. A ce moment, on la connecte sur le réseau et l'alternateur tourne en moteur asynchrone. On aurait pu démarrer cet alternateur en moteur asynchrone mais l'appel de courant est très important. Il est préférable de l'entraîner par la turbine. Accouplé au réseau il prend le courant réactif qu'il a besoin pour sa magnétisation. Pour faire produire de l'énergie active à cet alternateur, il suffira d'ouvrir la turbine. A ce moment l'alternateur voudra dépasser la vitesse de synchronisme (glissement négatif). Il commence à fournir de l'énergie active au réseau tout en continuant à prendre sur ce réseau l'énergie réactive nécessaire à son aimantation (excitation).

Quelle que soit sa vitesse (importance du glissement) l'énergie est fournie à la fréquence du réseau. Une telle génératrice ne peut fonctionner de façon autonome. Elles sont très utilisées dans des centrales au fil de l'eau connectées sur un réseau. Leur inconvénient est leur mauvais facteur de puissance dont il est tenu compte dans le paiement de l'énergie produite. Ce facteur de puissance peut-être amélioré par l'utilisation de condensateurs.

3. LA REGULATION DES TURBINES.

3.1. Les centrales couplées sur un réseau.

Dans ce type de centrale, le problème se pose de façon moins complexe que dans une centrale qui alimente un réseau isolé.

En effet, la vitesse de l'alternateur est imposée par la fréquence du réseau. Une variation de vitesse n'est dès lors pas possible en marche normale. L'ouverture (fermeture) de la turbine se traduit par une augmentation (diminution) de la puissance active fournie au réseau.

Dans la centrale de Monsieur Maraitte la régulation est très simple. C'est lui qui vient chaque jour (2x) contrôler le bon fonctionnement de ses turbines.

Il essaiera de produire le maximum d'énergie. Il actionnera donc ses turbines de façon à utiliser au mieux l'eau disponible.

Si le débit de l'Amblève diminue, il arrêtera par exemple la turbine OSSBERGER de 35 kW et la turbine Francis de 70 kW. Il travaillera uniquement avec la turbine Francis de 150 kW. Cette dernière entraîne un alternateur synchrone et non un alternateur asynchrone. Cette dernière solution est plus intéressante financièrement à cause des pénalités liées au mauvais facteur de puissance.

Les conditions de fonctionnement ne varient pas beaucoup sur une période d'une journée. Le réglage du matin est souvent valable pour plus de 24 heures.

3.2. Les centrales qui alimentent un réseau isolé.

a) Explication du problème.

L'alternateur n'étant plus " accroché " sur le réseau, il sera directement tributaire de toutes les variations de la charge qu'il alimente. Si la charge augmente (demande de lumière importante le soir) l'alternateur aura tendance à ralentir puisque l'énergie qui lui est demandée ne lui est pas fournie mécaniquement.

Pour maintenir la fréquence dans des limites acceptables pour les consommateurs, les centrales isolées devront impérativement contrôler la vitesse de rotation de l'alternateur. En effet, la fréquence du courant alternatif produit est directement proportionnelle à la vitesse de rotation de l'alternateur.

La tension est aussi dépendante de la vitesse mais les systèmes de régulation des alternateurs permettent de garantir une tension constante dans une plage de vitesse assez large. Il faudra donc par un système quelconque contrôler l'ouverture de la turbine. Une augmentation de l'ouverture permettra l'entrée d'une plus grande quantité d'eau et donc la disponibilité d'une puissance plus importante.

On comprendra aisément que, à l'inverse, si la charge diminue, il sera nécessaire de réduire l'ouverture de la turbine pour maintenir une vitesse et donc une fréquence constante.

b) Quelle variation de fréquence est acceptable ?

Notons d'abord que les exigences de nos pays industriels ne sont pas comparables avec les besoins dans un village isolé du Tiers Monde.

Le chauffage

Dans ce cas, les variations de fréquence ne posent pas de problème. Par contre, les variations de tension auront comme effet d'augmenter la durée de vie des équipements lors d'emploi en tension réduite. Par contre, un survoltage peut endommager l'appareil car une augmentation de la tension de 10% (242 V au lieu de 220V) cause une augmentation de puissance de chauffage de 21%.

L'éclairage

Les lampes à incandescence sont insensibles à la fréquence. Par contre une sous-tension réduit la luminosité mais augmente la durée de vie de l'ampoule. A l'inverse, une augmentation de la tension réduit de façon significative la durée de vie de l'ampoule. Une augmentation de 5% de la tension (231V au lieu de 220V) réduit la durée de vie de 50%. Les lampes fluorescentes sont sensibles à la variation de fréquence et de tension. Si la tension est réduite de plus de 15%, le tube ne fonctionnera pas. Si le tube est en fonctionnement et que la tension chute, il va clignoter dans des proportions plus importantes que la chute de tension.

Une surtension est par contre moins dangereuse pour le tube.

Le tube fonctionnera correctement si la fréquence reste dans une plage de -5 à + 10% de la fréquence nominale.

Les transformateurs

Dans ces appareils, les pertes principales qui se traduisent en chaleur sont proportionnelles au carré de la tension. Un sous-voltage ne présentera dès lors pas de problème mais les surtensions devront rester limitées à 5% maximum.

Les moteurs

Les moteurs à induction seront affectés de façon similaire aux transformateurs. Une réduction de fréquence avec une tension constante produira des courants plus importants et un échauffement. Un fonctionnement en sous-tension à fréquence constante produira le même effet.

Une surtension à fréquence constante devra être limitée tout comme les transformateurs. Cependant un moteur pourra fonctionner avec une fréquence plus élevée de 10% s'il n'entraîne pas un récepteur dont le couple augmente rapidement avec la vitesse (ventilateur, pompe,...). Dans ce cas, on limitera l'augmentation de fréquence à 5% maximum.

Au démarrage, un moteur demandera jusqu'à 6x son courant nominal afin de développer son couple nominal de démarrage. Les constructeurs de moteurs annoncent que les moteurs peuvent fonctionner de façon correcte dans une plage de tension de 10% par rapport à leur tension nominale.

Cependant, dans des ateliers ruraux où les réseaux sont alimentés par des turbines sans régulation correcte, la tension peut chuter de façon très importante durant la phase de démarrage. Si le moteur n'est pas chargé, il prendra sa vitesse assez rapidement mais si le moteur est chargé (réfrigérateur, compresseurs,...) le temps de démarrage pourrait être augmenté de façon significative. Ce qui peut causer un échauffement et la destruction du moteur. Dans ce cas, il faut aussi considérer la ligne électrique. Si elle est sous-dimensionnée la chute de tension sera accentuée. Dans de telles conditions d'utilisation, il serait souhaitable que ce type de récepteur se trouve à proximité de la centrale.

Conclusions

Il est recommandé pour alimenter ce type de récepteurs, de limiter les valeurs de la tension et de la fréquence dans les limites suivantes :

- Tension : +/- 7% de la valeur nominale.
- Fréquence : jusqu'à 5% au dessus de la fréquence nominale mais ne pas descendre sous la fréquence nominale.

c) Les régulateurs.

Les principaux systèmes de régulation sont :

Système mécanique de contrôle de l'ouverture de la turbine.

Si la puissance nécessaire pour commander l'ouverture et la fermeture de la turbine est faible, on pourra envisager un système direct c'est-à-dire que le système à boules dénommé aussi système de WATT (basé sur le principe des forces centrifuges qui tentent à écarter deux boules) qui donne une image de la vitesse de la turbine en agissant sur un levier, commande directement le système d'ouverture et de fermeture de la turbine. Ces systèmes sont utilisés sur des petites turbines Turgo et Pelton dans lesquelles le système commande la déviation du jet d'eau. Sur d'autres turbines, ce système n'est pas envisageable vu les efforts importants à développer. Aussi, faut-il amortir le mouvement afin d'éviter des problèmes d'instabilité.

Notons que les turbines autorégulatrices Crozet-Fourneyron étaient équipées d'un tel système. L'auteur ne dit pas jusqu'à quelle puissance ce système était d'application. (Turbines Hydrauliques et leur régulation, Lucien Vivier chez Albin Michel, page 26) Dans ce cas de régulation directe, le système de WATT est plus imposant que celui utilisé pour commander les régulateurs hydrauliques.

Ce système, bien que moins coûteux que les systèmes hydrauliques, n'est pas très fiable. Il a été remplacé par des contrôleurs électroniques de charge.

Système hydraulique de contrôle de l'ouverture de la turbine.

Il s'agit d'un système mécanique (WATT) dont les effets (déplacements d'une tige) sont amplifiés par un système hydraulique.

Une courroie entraînée par la turbine entraîne l'axe récepteur du régulateur. Le mouvement est transmis au système de WATT qui donne une image de la vitesse de la turbine en déplaçant un levier. La transmission entraîne aussi une pompe hydraulique qui alimentera en puissance le groupe hydraulique. Les mouvements du levier reliés aux systèmes de WATT commanderont l'ouverture ou la fermeture de la turbine.

Il s'agit donc d'un système asservi parce que le système hydraulique modifiera l'alimentation de la turbine et par conséquent sa vitesse. Or, cette vitesse est continuellement mesurée par le régulateur. Nous avons donc une régulation en boucle fermée.

Comme tout système mécanique, un entretien régulier est nécessaire.

Les principaux points à vérifier et opérations à réaliser signalé par A. Harvey sont:

- Remplacement de joints, buselures,...
- Vérification des boulons de fixation.
- Vérification des leviers au niveau des mouvements.
- Huilage et nettoyage de tous les pivots, surfaces de cames et guides.

- Contrôle des caractéristiques du régulateur.
- Contrôle de l'usure des pistons.
- Remplacement régulier des filtres. L'huile hydraulique devra être maintenue extrêmement propre.

Le prix et la sophistication de ces appareils ne sont pas compatibles avec le niveau technologique des pays du Tiers Monde. Ils sont plutôt adaptés dans des sites où l'économie de l'eau est un facteur important c'est-à-dire des sites qui disposent d'un réservoir d'eau, ce qui n'est malheureusement que rarement le cas vu le coût important de ces réservoirs. Quelques indications de prix : WOODWAARD offre des régulateurs pour de petites installations pour des prix qui varient entre 150.000 FB et 400.000 FB suivant la précision souhaitée. Voir doc. ci-jointe.

Système électronique de contrôle de l'ouverture de la turbine.

Une solution est de contrôler la vitesse de l'alternateur par un système électronique qui commandera l'ouverture de la turbine. C'est ce système que propose la société WILLOT JLA. Cette solution semble intéressante au niveau des coûts. Le prix d'un contrôleur électronique pour une turbine de 25 kW est d'environ 60.000 FB (1660 US\$).

La programmation de la régulation devra être faite sur le site par Mr. Willot . Il n'est pas possible d'acheter une turbine et une régulation sans une mise au point du programme. Le problème est de bien pondérer les paramètres. En effet la correction d'ouverture ou de fermeture doit tenir compte de l'accélération et de l'écart de vitesse qui sont à l'origine de l'intervention du régulateur.

Le système mesure la vitesse et effectue une soustraction avec la vitesse de consigne. Nous avons donc l'écart de vitesse. Cet écart de vitesse est multiplié par un coefficient. Il s'agit d'un des coefficients de réglage. Cet écart de vitesse est comparé au douzième écart avant cette mesure. L'appareil effectue alors une soustraction entre les 2 écarts. Il sait maintenant si la turbine accélère ou décélère. Cette accélération est aussi multipliée par un coefficient. De ces deux coefficients dépendent une correction. La correction sera alors effectuée en fonction de l'écart de vitesse et de l'accélération pondérés chaque fois par le coefficient.

Après le lancement de la correction, il insère un temps d'attente qui est proportionnel à la correction elle-même. Il y a donc trois coefficients à ajuster. Ces coefficients varient suivant la position de l'ouverture. Si on est complètement ouvert, la proportionnelle est plus importante mais quand on est fermé c'est l'accélération qui sera plus sensible. L'inertie du système, la longueur de la conduite, et d'autres paramètres interviennent. C'est pour cela que l'optimisation du programme doit être faite sur site lors de la mise en route.

Dans un système de régulation de charges (maintient d'une charge constante) comme décrit ci-après, le seul paramètre est l'inertie du groupe. Tandis que dans le système de régulation de l'ouverture, nous avons plus de paramètres qui interviennent tels que le temps d'ouverture de la vanne, le volant d'inertie, les phénomènes d'élasticité dans la conduite : quand on ferme la vanne la pression augmente un peu donc a une tendance à la ré accélération. Nous avons donc un ensemble de paramètres à gérer.

L'inconvénient est l'inadaptation de ces systèmes dans des régions à faible niveau technologique. Des producteurs belges de courant préfèrent un système mécanique qu'ils

maîtrisent mieux. Aussi un système conventionnel est souvent accessible à un technicien moyen. La panne est souvent visible directement.

Pannes constatées avec le régulateur électronique de Willot :

- chute d'un trousseau de clés sur la régulation ;
- panne d'un relais sur la carte qui commande l'enclenchement des moteurs de régulation ;
- intervention d'un client au niveau des seuils de régulation, les seuils de sécurité étaient revenus dans la plage de réglage.

Contrôleur électronique de charge

Ce système part du principe suivant : plutôt que de contrôler l'ouverture (fermeture) de la turbine, on agit sur la charge de l'alternateur. Si on peut " donner l'impression " à l'alternateur d'alimenter continuellement une charge constante la régulation se limite à un réglage de l'ouverture correspondant à cette charge constante.

Il s'agit d'un système électronique qui dévia la partie de l'énergie non demandée vers des résistances de charge. Le principe de fonctionnement est basé sur la détection des variations de vitesse de l'alternateur par la mesure de la fréquence.

L'avantage principal de ce système est sa simplicité et son faible prix de revient. Non seulement le régulateur devient inutile mais aussi la conception même de la turbine est simplifiée.

Le régulateur de charge est simple. Il ne comprend pas de pièces en mouvement. Il ne pourra probablement pas être réparé localement mais les cartes électroniques sont interchangeables.

La viabilité à long terme est mieux assurée avec un tel système.

Si l'inertie de l'ensemble est suffisante, le système de commutation des charges sera suffisamment rapide pour obtenir une bonne régulation de vitesse.

Dans ce système, le seul paramètre est l'inertie du groupe. Ce système est intéressant dans les centrales au fil de l'eau où le stockage d'eau dans un réservoir n'est pas prévu. Dans ce cas il faut prévoir un régulateur mécanique ou hydraulique qui économise l'eau. L'énergie calorifique pourra peut-être trouver une application économique intéressante.

En annexe : une documentation sur les contrôleurs de charge proposés par la société POWERFLOW Ltd en Nouvelle Zélande.

Les prix sont :

- 320 US\$ pour un régulateur monophasé SR 3kW
- 362 US\$ pour un régulateur monophasé SR 5kW
- 980 US\$ pour un régulateur triphasé SR 15kW
- 870 US\$ pour un régulateur ELG 20kW
- 1.075 US\$ ELG 35kW

Pour les 2 derniers, il faut un régulateur par phase. Pour un réseau triphasé, il faut donc 3 appareils. Les résistances ne sont pas incluses dans les prix.

Système de contrôle pour des moteurs asynchrones utilisés en alternateur.

Pour ce type d'alternateur, un régulateur a été développé pour contrôler à la fois la charge de l'alternateur (comme décrit ci-dessus) et la tension. (Système IGC- Induction Generator Controler).

D'autres systèmes plus simples existent si on peut se contenter d'une tension peu stable.

Citons le contrôle manuel de l'ouverture de la turbine par la lecture de la fréquence ou de la vitesse. On peut aussi assurer manuellement la charge complète de la turbine. Une solution pour éviter l'emballement de la turbine est de travailler dans la partie descendante de la courbe PUISSANCE/VITESSE à débit constant. De cette façon une demande supplémentaire d'énergie se traduira par un ralentissement de la turbine.

Conclusions et propositions d'une solution intermédiaire.

Si on s'intéresse à l'installation de turbines dans une gamme de puissance de 10 à 100 kW les systèmes de régulation directe sont à exclure. Leur puissance est trop faible pour actionner la turbine.

Les systèmes à régulateurs hydrauliques sont coûteux et peu adaptés pour du personnel non qualifié et non expérimenté au niveau de la maintenance.

Les systèmes de régulation à charge constante et les systèmes de contrôle électronique (Willot JLA) présentent le même inconvénient de la maintenance de systèmes électroniques même simples.

Les systèmes à commande manuelle sont également à écarter car on ne pourra pas garantir un service fiable quand on sait que les personnes qui devront exécuter la conduite de la centrale ne pourront pas être payées de façon correcte.

Une solution mixte serait de développer un système de contrôle électro-mécanique pour lequel le personnel de maintenance sera plus facile à trouver. Les pannes seront en général bien visibles. Les pièces de rechange seront en partie disponibles localement.

Description de la régulation :

Les ouvertures et fermetures de la turbine seront contrôlées par un système mécanique semblable à celui utilisé par Monsieur Maraite pour la régulation de la turbine Francis de 150 kW.

L'ouverture (fermeture) serait commandée par le déplacement d'un levier solidaire d'un écrou qui est déplacé par une vis sans fin. La vis sans fin est mise en rotation par un système mécanique de réduction de vitesse lui-même entraîné par un moteur électrique à courant alternatif et un second moteur à courant continu alimenté par batterie de 12V (cas de non production de courant).

Le moteur à courant alternatif sera commandé par un appareil de mesure de vitesse équipé de contacts de fermeture réglés pour la vitesse minimum et maximum. La vitesse sera mesurée à partir d'un appareil de mesure de fréquence.

Une dynamo tachymétrique accouplée sur la turbine permettra de contrôler l'emballement de la turbine et sa fermeture rapide.

Cette fermeture rapide sera opérée automatiquement sans batterie. Un système à contrepoids agira sur le régulateur pour effectuer la fermeture. Cette fermeture peut être assez rapide (quelques secondes) sans problème de coup de bélier.

Il faudra peut-être prévoir une fermeture ou ouverture de la turbine par cycle marche/arrêt afin d'attendre la mesure de la réponse en vitesse de l'alternateur. En effet, les variations de vitesses seront amorties par le volant d'inertie.

Description du fonctionnement (voir les schémas électriques ci-joints). Nous décrirons la procédure de mise en route, le fonctionnement normal et les cas de pannes prévues.

Procédure de mise en route.

- Ouverture manuelle de la turbine. Le régulateur à commande électrique sera muni d'un volant permettant à tout moment d'intervenir manuellement sur l'ouverture de la turbine. Cette ouverture sera assez lente afin de permettre de stabiliser la vitesse de la turbine à, approximativement, sa vitesse nominale.
- Enclenchement du système de régulation automatique. Vu que l'alternateur tourne à une vitesse proche de la vitesse nominale nous disposons donc de courant électrique qui sera utilisé pour alimenter le système automatique de régulation de vitesse.
- La régulation va ajuster la vitesse de l'alternateur dans la plage autorisée soit 1.815 à 1.875 RPM. Si la vitesse est inférieure à la vitesse minimale, le contacteur O (Ouverture) est alimenté et commandera l'ouverture de la turbine. Si la vitesse est supérieure à la vitesse maximale, le contacteur F (Fermeture) est alimenté et commandera la fermeture de la turbine.
- Nous avons maintenant la turbine qui entraîne l'alternateur à une vitesse proche de la vitesse nominale. L'alternateur ne débite pas encore sur le réseau. La fréquence du courant se situe entre 60,5 (1.815 RPM) et 62,5 Hz (1.875 RPM).
- La fermeture du contacteur principal C de l'alternateur sera contrôlée par les sécurités suivantes : relais thermique du contacteur contrôlant la surcharge de l'alternateur, la pression du système de lubrification des systèmes mécaniques (si nécessaire), la vitesse maximale admissible par la turbine (emballement), la vitesse minimale admissible par la turbine.
- La fermeture sera effectuée manuellement par bouton poussoir.

Fonctionnement normal.

- L'alternateur alimente le réseau. Suivant la charge de celui-ci, la vitesse de l'alternateur va chuter et descendre sous la vitesse minimale. L'ouverture de la turbine sera dès lors actionnée par la régulation afin de rétablir la vitesse dans les limites prévues. La chute de vitesse et en général toutes les variations de vitesse seront amorties par le volant d'inertie accouplé sur l'arbre de l'alternateur.

Cas de pannes prévues :

- Surcharge de l'alternateur : déclenchement du relais thermique du contacteur.
- Court-circuit sur le réseau : les fusibles de protection interviennent.
- Rupture de la courroie de transmission : nous aurons un emballement de la turbine et un ralentissement de l'alternateur. La régulation aura tendance à vouloir ouvrir la turbine. Une dynamo tachymétrique fixée en bout d'arbre de la turbine interviendra via un relais pour ouvrir le circuit de commande de l'alternateur dès que la vitesse dépasse un seuil préétabli de par exemple 1.500 RPM.

Ce même relais commandera la fermeture rapide de la turbine par le moteur à courant continu alimenté par une batterie de 12V. Le circuit à courant alternatif n'étant plus utilisable.
Avis de Mr. WILLOT.

L'inconvénient de ce type de régulation est que le système aura tendance à osciller continuellement. Une fois que l'on atteint la vitesse minimale ou maximale, le système décide d'une correction à laquelle nous ne pouvons donner de valeur adaptée. La correction sera toujours identique. Si nous avons une décélération importante, car des charges viennent d'être branchées, la correction " standard " prévue ne sera peut-être pas suffisante. Le système sera peu stable.

Pour améliorer le système, il faut prévoir un écart suffisant entre la vitesse minimale et maximale.

Le point capital du système de régulation est de tenir compte de l'accélération plus que de l'écart de vitesse. Ce dernier facteur n'a pas beaucoup d'importance.

Pour tenir compte de l'accélération, on pourrait mesurer par un système électronique l'augmentation de la charge (la partie proportionnelle pour la régulation). La pente de l'augmentation nous donnerait une image de l'accélération. Dans un tel système, on gagne encore du temps puisqu' on anticipera la réaction de l'alternateur. Le fléchissement de la vitesse aura lieu quelques secondes après l'augmentation de la charge. C'est la rapidité dans la réaction qui permettra d'atteindre une stabilité et par conséquent un courant de fréquence très précise. Il faut également souligner que la régulation sera fortement dépendante du type de réseau que l'on alimente. Un nombre important de petites charges est bien entendu préférable à un nombre restreint de charges importantes. Il faut éviter des moteurs à cage qui démarrent en direct par exemple. Dans ce cas, imposer des systèmes de démarrage progressifs : rotor bobiné avec rhéostat de démarrage ou démarrage étoile - triangle.

L'idéal serait d'avoir un réseau divisé en 2 ou 3 sous - réseaux. Dans ce cas lors de démarrage on peut moduler, à partir de la centrale, la mise en charge lors de la mise en route de la turbine. Mr. Willot a installé un système semblable en Bretagne dans une crêperie : Mr . LE CORVEC à TREUROUX BREC. Il s'agit d'une turbine de 30 kW.

Il s'agit d'un des premiers systèmes mis au point par Mr. Willot. Une carte électronique donne deux vitesses limites et la régulation ramène la vitesse entre ces 2 limites. Il impose également une vitesse maximale pour éviter l'emballement de la turbine, et une vitesse minimale pour éviter une fréquence trop faible.

L'avantage dans le cas de cette installation est qu'elle est gérée par l'utilisateur du courant. Il peut donc adapter ses charges afin de respecter au mieux les limites du système. Ceci ne sera pas le cas pour un réseau rural tel que nous le concevons en Haïti.

Notons que le temps de réponse lors d'une intervention de la régulation est de l'ordre de 2 à 3 secondes. Ce temps de réponse dépend de la configuration de chaque installation.
Solutions envisagées suite à ces remarques.

Pour tenir compte de la rapidité du phénomène de variation de vitesse (accélération ou décélération) nous pourrions prévoir 2 limites maximales et 2 limites minimales.

Exemple :

- Niveau 1 : min : 61,25; max : 61,75 Hz
- Niveau 2 : min : 60,5 ; max : 62,5 Hz.

Quand la charge augmente et que l'alternateur décélère sous 61,25 Hz, ce qui correspond à 1837,5 RPM, nous enclenchons l'ouverture de la turbine avec des cycles de par exemple ouverture : 1s. attente : 2 s. Si la décélération est rapide et que cette intervention ne suffit pas on atteindra la vitesse minimale de niveau 2 soit 60,5 Hz ce qui correspond à 1815 RPM. Dans ce cas, le cycle d'ouverture-attente est modifié et deviendrait par exemple, ouverture : 2 s., attente : 2 s.

Une solution supplémentaire serait l'intervention humaine lors de l'enclenchement du réseau. C'est probablement à ce moment, suivant la charge, que l'on observera la plus grande variation de charge. L'opérateur pourrait, dans ce cas, assister l'ouverture manuellement.

Ce système demande des essais et une mise au point sur site car comme dans la régulation de Mr. Willot beaucoup de paramètres interviennent tels que l'inertie de l'alternateur, le temps d'ouverture des vannes, les phénomènes de variation de pression dans la conduite.

Ce système de régulation reste assez simple et ne nécessiterait pas de circuits électroniques.

Conclusions

La régulation constitue le cœur du système. La solution envisagée doit être compatible avec les moyens locaux d'intervention et les besoins réels en matière de qualité de courant. Si le cas de figure le plus courant est l'alimentation d'un réseau local, le producteur de courant ne pourra pas contrôler la méthode de consommation.

Il doit donc disposer d'un système relativement autonome.

Si aucun réservoir d'eau n'est prévu, il nous semble que la solution de la régulation par la charge constitue la solution la plus appropriée.

Les équipements seront continuellement sollicités à leur capacité maximale pour laquelle ils auront été prévus. La régulation sera électronique mais il s'agit d'un système relativement simple qui ne demande pas de programmation particulière.

Ensuite nous pensons que des systèmes de régulation de l'alimentation de la turbine seraient intéressants surtout pour les sites où un réservoir sera construit.

La mise au point du système " électromécanique " qui est assez simple mériterait d'être essayé. Si ce système ne donnait pas satisfaction il reste le système de Mr. Willot qui est techniquement moins adapté.

Dans tous les cas, il sera nécessaire de créer une équipe de techniciens capables d'intervenir au niveau de la maintenance et la réparation des systèmes.

4. LA TRANSMISSION

4.1. Les courroies.

En général la transmission d'énergie entre la turbine et l'alternateur est assurée par des courroies plates. D'après Monsieur Maraitte (Centrale Hydro-électrique de Ligneuville); les courroies à gorges ne donnent pas satisfaction pour différentes raisons :

- Les courroies trapézoïdales ne sont pas durables. On observe un sifflement des courroies après un certains temps d'utilisation.
- Leur rendement n'est pas bon.
- Les courroies plates absorbent bien les chocs répétés dûs aux variations de régime. Une perturbation même faible se traduira par un patinage de la courroie. On protège ainsi les pièces mécaniques des machines telles que les engrenages.

Il utilise les courroies plates CUIR/NYLON. Le côté intérieur en contact avec les poulies est en cuir pour l'adhérence. Le côté extérieur en Nylon pour la traction.

Mr. Maraitte a déjà fait des essais avec des courroies EXTREMULTUS GT (couche de frottement en élastomère et couche de couverture en textile) mais sans succès. Il a observé un sifflement quelques temps après leur installation.

Ces courroies présentent un très bon rendement. Elles sont silencieuses et durables.

Fournisseur : CARON VECTOR : tél. +32 10 231 311, Fax +32 10 231 336 Type de courroies : EXTREMULTUS LT Prix : 21.882 FB (607US\$) pour une courroie LT40P de 6.000 x150mm Voir doc en annexe.

Un autre fournisseur :

EAM Eifeler Anlagen & Maschinenbau GbR Tél. + 49 2472 421 Fax. + 49 2472 940300 Courroie RAPPLON Type LT12 Exemple de prix (juillet 98): 9,93m, largeur 240mm pour 1912 DM soit 39.578 FB (env. 1.100 US\$).

Autre fournisseur dont la documentation est annexée :

Leder Beltech S.A. Tél. + 32 3 354 13 13 Ces courroies présentent néanmoins quelques inconvénients :

- Elles sont collées sur mesure. On observe parfois des décollements qui sont difficiles à réparer localement. La partie en matière plastique est un 1 morceau donc un seul collage tandis que la partie cuir est un assemblage de plusieurs morceaux.
- Lors du remplacement de la courroie, il est souvent difficile pour l'utilisateur de préciser exactement le type de la courroie et sa longueur vu qu'il s'agit de courroies dont les dimensions ne sont pas standards. La longueur a été définie lors de la conception de la transmission.
- L'alignement des poulies motrice et réceptrice doit être très bien réalisé ce qui n'est pas chose simple avec les moyens locaux .
- Les poulies sont de dimension importante.

Mr. Willot propose de prendre des courroies crantées type RPP dont une information technique détaillée est présentée en annexe.

Ces courroies sont bruyantes mais présentent l'énorme avantage de ne pas faire l'objet d'un collage lors de l'achat et d'être normalisées. Ce dernier avantage est important. Il suffit de relever le numéro de la courroie et de le transmettre au fournisseur. Un autre avantage important est la dimension des poulies. Les poulies sont nettement plus petites que les poulies plates pour une transmission équivalente.

Fournisseur : Vermeire Belting, Verviers (Belgique) Tél : + 32 87 32 23 60 Fax : 31 50 71

4.2. La chaîne cinématique.

Willot propose des groupes de disposition suivante :

Alternateur - accouplement - palier 1 - poulie - palier 2 - volant d'inertie. C'est le palier 2 qui est le plus sollicité mais pour des raisons de standardisation les paliers 1 et 2 sont identiques.

Une photo de la disposition du groupe est fournie en annexe.

5. LA TURBINE.

Nous avons choisi la turbine Cross-flow pour sa simplicité, sa facilité de construction locale et sa large plage d'utilisations possibles (Hauteur de chute de 1 à 200m, Débit de 0,025 à 13m³/s., Puissance de 1 à 1.500 kW). Ce chapitre ne sera pas développé à ce stade de l'étude.

Nous avons établi une relation de collaboration avec les Ateliers JLA Willot à B-4520 MOHA (Belgique) Rue Pierre-Jacques, 72 Tél : +32 85 211394 ; Fax : + 32 85 250254. Ils sont d'accord de nous aider à produire localement et à installer ce type de turbines.

Il nous a remis une disquette contenant la méthode de détermination de la turbine nécessaire, le dimensionnement du canal d'alimentation, le dimensionnement de la ligne électrique.

En annexe : quelques références et doc. de la turbine WILLOT JLA. Notons que nous n'avons pas de crainte à avoir au niveau de l'emballage. Les turbines Willot sont prévues pour tourner en continu à la vitesse d'emballage (on atteint environ 1,8 x la vitesse nominale).

Concernant le prix des turbines, citons quelques chiffres : une turbine complète WILLOT JLA coûte entre 200.000 et 400.000 FB (5.500 à 11.000 US\$) suivant le type de turbine (hauteur de chute et débit).

La régulation coûte environ 60.000 FB (1.660 US\$) quelle que soit la puissance de la turbine. Les servomoteurs de commande d'ouverture de la turbine coûtent 25.000 FB chacun. Il en faut 2 et il est souhaitable de disposer de 2 moteurs de réserve.

6. LES GRILLES ET LE DEGRILLEUR.

Ce chapitre ne sera pas développé à ce stade de l'étude.

Voir les photos du rapport sur les centrales MARAITE et PIRONT de Ligneuville. Monsieur Maraite insiste beaucoup sur les grilles. En effet pour les turbines cross flow (BANKI) il faut que la distance entre les barreaux de la grille soit inférieure à la distance entre les aubes de la turbine. Chez Monsieur Piront (Ossberger) la distance est de 20 mm.

7. LE CANAL D'ALIMENTATION.

Ce chapitre ne sera pas développé à ce stade de l'étude.

En annexe, une documentation sur des tuyaux souples (NORDI TUBE) qui présentent un intérêt important au niveau de la réduction des coûts de transport. A titre d'exemple, un tuyau de dia. 400mm avec un coating intérieur pour assurer l'étanchéité et réduire les pertes de charge coûte 2.243 FB/m (62 US\$/m). Un autre document présente des tubes en matières plastiques : HYDROTUB POLYPIPE. Ces tubes peuvent bien convenir pour des transports d'eau à faible pression et grands débits.

8. LE FREIN.

Il est toujours utile de pouvoir arrêter la turbine. On n'arrive pas toujours à l'arrêter totalement en fermant l'entrée d'eau. Si aucun frein n'est prévu, on remarque que les utilisateurs utilisent parfois des moyens dangereux pour bloquer les poulies. Lors d'une intervention sur une turbine sans frein Mr. Willot met un chiffon entre la courroie et la poulie. Même en cas d'oubli il n'y a pas de danger. Le chiffon sera éjecté par la rotation de la poulie.

9. LE RESEAU ET SA GESTION.

Ce chapitre ne sera pas développé à ce stade de l'étude. Il s'agit d'un aspect très important dans des projets d'installation de turbines dans des sites isolés. En effet, on ne peut pas scinder les 2 parties : production et utilisation.

Notons les aspects suivants à analyser :

- dimensionnement des lignes électriques et leur coût.
- Le type d'utilisateurs : grand nombre d'utilisateurs de faible puissance ou quelques gros utilisateurs ?
- Le type de charge : résistive ou inductive ?
- Le payement de l'énergie consommée.
- La communication entre le producteur et le consommateur lors de nécessité de réduction de la charge lors d'un redémarrage.
- La limitation correcte de la charge globale des utilisateurs.

10. COMPTE RENDU DE LA VISITE DE LA CENTRALE DE MR. MARAITE ET PIRONT.

Rencontre entre Mr. MARAITE, Monsieur Compas de l'EDH (Haïti) et Roger LOOZEN (CODEART) le vendredi 6 novembre 1998.

10.1. CENTRALE DE MONSIEUR MARAITE.

PUISSANCE INSTALLEE.

Turbines Francis de 150 kW

Turbines Francis de 70 kW

Turbine Cross flow de 35 kW (OSSBERGER)

Puissance totale de 255 kW

Production annuelle : 500.000 à 800.000 kWh

Prix moyen du kWh : 1,3 à 1,35 FB/kWh + une prime de 2 FB/kWh pour la production d'énergie renouvelable.

Le prix dépend de beaucoup de facteurs tel que le moment de la production (heures de pointe, heures creuses, heures hors pointes), le moment dans l'année (pleine saison, moyenne saison, basse saison),... En hiver il arrive à un prix de 4FB/kWh. En Allemagne le système est plus simple : on paye au producteur les $\frac{3}{4}$ du prix moyen au consommateur soit 3 FB quand le prix est de 4FB.

Au Luxembourg ils tiennent compte de la régularité de la puissance fournie.

Les 3 turbines sont installées au fil de l'eau. Un barrage de dérivation dévie une partie de l'eau de l'Amblève et conduit cette eau vers la centrale.

Longueur du canal en amont de la centrale : env. 600m, canal en terre sans digues. La largeur est de 4m environ.

Longueur du canal en aval : env. 150m.

La prise d'eau pour les turbines est constituée par un barrage de retenue en béton, il assure le niveau de l'eau dans la prise. Une porte équipée d'une vanne permet de vider la prise. La grille est large de 7m environ. L'espace entre les barreaux de la grille est de 22mm. Il possède aussi un système de dégrillage mécanique assez simple.

Après la grille l'eau se retrouve dans un bac assez important qui alimente les 3 turbines. Ce réservoir est recouvert de tôles, afin de ne pas polluer. La première turbine est la turbine Francis de 150 kW, ensuite la turbine Ossberger de 35 KW et enfin la seconde turbine Francis de 70 kW.

La chute est de 7m

Débit de 400 à 5000 litres/s.

Les turbines Francis sont accouplées à un alternateur leur enclenchement est manuel. La turbine cross flow est accouplée sur un alternateur asynchrone. Son enclenchement est automatique ou manuel.

SCHEMA ELECTRIQUE

Turbine 150 kW Francis.

La turbine est à axe vertical. Sur la turbine se trouve un renvoi d'angle qui supporte également la roue de la turbine. La vitesse de rotation de la roue est de 120 RPM environ. A la sortie du renvoi d'angle la puissance est transmise via des courroies plates vers l'alternateur synchrone qui se trouve à l'étage supérieur.

L'armoire de commande est plus complexe que celle d'un alternateur asynchrone. Sur la porte on trouve : La tension de l'excitation, le courant produit, Voltmètre réseau, tension alternateur, puissance produite, cos Phy, courant excitation, un relais de synchronisation et la visualisation du champ tournant.

Des boutons poussoirs permettent de régler l'ouverture de la turbine ainsi que l'enclenchement/déclenchement du disjoncteur.

Dans l'armoire nous trouverons entre autre les relais de sécurité suivants :

- relais de fréquence (en cas de différence avec le réseau)
- relais de tension

- relais de vitesse de turbine : ex. : en cas de rupture de courroie : emballement et arrêt immédiat.

Excitation : il transforme le courant du réseau en C.C.. Ensuite cette tension est mise au borne des bobines d'excitation de l'alternateur et régulée au moyen d'un shunt.

Turbine OSSBERGER 35 kW Achetée d'occasion pour 160.000 FB, réparation pour 100.000 FB. Nouvelle elle coûte environ 1.800.000 FB soit env. 65.000 \$US sans sa régulation.

LA REGULATION

Monsieur Maraite envoie le courant produit sur le réseau belge. Il n'a donc pas de problème de devoir adapter la puissance fournie à la demande des consommateurs ce qui serait le cas dans un réseau isolé alimenté uniquement par cette seule turbine.

D'autre part le débit de l'Amblève est relativement constant. Un réglage effectué le matin est encore valable le soir.

La régulation des turbines se limite donc à une maximisation de la puissance envoyée sur le réseau.

En effet une ouverture ou une fermeture des turbines n'ont pas d'effet sur la tension ou la fréquence produite. Ces dernières valeurs sont fournies par le réseau. Il doit donc simplement exploiter le maximum des capacités de sa centrale.

LA REGULATION DE LA TURBINE CROSS FLOW

Le réglage s'effectue par un système mécanique mis au point par Monsieur Maraite au moyen d'un pont de voiture.

Il commande l'ouverture et la fermeture des vannes par boutons poussoir qui commande le moteur électrique qui entraîne la transmission.

10.2. CENTRALE DE MONSIEUR PIRONT.

Puissance installée : 60 kW

1 turbine CROSS FLOW de OSSBERGER

1 turbine FRANCIS de 5 à 6 kW

Hauteur de chute de 4,5m. Débit de 2 m³/s.

Il est situé sur la même rivière que Monsieur MARAITE.

Il dévie une partie de l'eau de la rivière vers sa centrale mais il ne peut pas capter suffisamment car son canal est limité en largeur (inférieur à 1m). Un élargissement est impossible car ce canal passe sous la route. Il a effectué un approfondissement du canal mais les pertes de charge sont trop importantes.

L'eau arrive d'abord sur un grille de 2 m de largeur qui arrête les objets dont la taille dépasse 2 cm. Un dégrilleur automatique nettoie la grille à intervalle régulier. Ce dégrilleur a été construit par le propriétaire. Il est simple et présente l'avantage de ne pas avoir de pièces qui sont constamment dans l'eau comme le système à chaînes de Willot.

Les grilles seront placées le plus inclinées possible afin d'offrir une surface maximale au passage de l'eau. Dans ce cas les crasses remontent plus facilement vers la partie supérieure de la grille.

Les crasses sont récupérées dans un petit chenal qui sera rincé.

On peut aussi commander les opérations de dégrillage automatiquement par mesure des niveaux d'eau en aval et en amont. La différence de niveau maximale de consigne déclenchera l'opération de dégrillage.

ALTERNATEUR

Il dispose d'un alternateur asynchrone qui tourne à 1000 RPM.

SCHEMA ELECTRIQUE

Le coffret électrique est très simple.

Sur la porte on peut lire : trois ampèremètres à cadre mobile indiquent les courants dans les 3 phases, La tension, la vitesse de l'alternateur asynchrone, et la puissance envoyée sur le réseau.

Dans le coffret on remarquera en venant du réseau des fusibles, Un disjoncteur avec ses sécurités. Des TI permettent la lecture des courants.

Ensuite il y a quelques relais de commande.

Voir schéma ci-joint.

REGULATION

Il dispose d'une régulation mécanique de l'ouverture et la fermeture de la turbine. Marque : ATORF u. PROPFE Maschinen Fabrik PADERBORN Turbinen Régler Type 2. Ce régulateur n'est pas vraiment nécessaire vu que, comme dans la centrale de Mr. Maraite les conditions de fonctionnement sont relativement constantes. Son régulateur permet de fermer automatiquement la turbine en cas de problème. Aussi il régule l'ouverture suivant le niveau de l'eau dans le canal (voir réservoir à flotteur au dessus de la turbine sur les photos en annexe). En fait il disposait de ce régulateur et l'a installé. Il n'est pas indispensable pour une telle centrale connectée à un réseau puissant.

LES REGULATIONS ELECTRONIQUES

Monsieur Maraite n'est pas favorable aux régulations électroniques. Bien que relativement fiables elle présente l'inconvénient de ne pas pouvoir être réparée localement. Les sources de problèmes sont parfois difficile à déterminer tel que les courants résiduels qui reviennent pas la terre en cas d'orages. Les systèmes électro-mécaniques sont très simples surtout dans le cas d'un alternateur asynchrone. Les compétences seront plus facilement disponibles. La localisation des défauts est très facile à déterminer.

TRANSMISSION PAR COURROIES PLATES

Dans les 2 centrales les transmissions s'effectuent au moyen de courroies plates. Elles ont l'avantage d'amortir tous les petits à-coups fourni par le réseau tel que par exemple une coupure brutale du disjoncteur.

Ces perturbations sont encaissées par les courroies.

POURQUOI NE PAS UTILISER UNIQUEMENT DES ALTERNATEURS ASYNCHRONES ?

Le moteur asynchrone qui tourne en alternateur prendra sur le réseau l'énergie réactive nécessaire à son aimantation. Le cos Phy n'est pas très bon et constitue une source de pénalité pour le producteur. Par l'utilisation d'alternateur synchrone il peut régler le cos phy par le réglage du courant d'excitation.

FACTURATION DE L'ENERGIE PRODUITE.

Centrale Hydro-électrique BRUNO MARAITE GRAND-RUE 39 4960 LIGNEUVILLE (MALMEDY)
BANQUE: 197-7363991-76 T.V.A: 428.032.096

FACTURE No 1009/98 - Le 30-sept-98

DOIT POUR FOURNITURE D'ENERGIE ELECTRIQUE DANS LE COURANT DU MOIS DE SEPTEMBRE
1998 PAR LA MICRO-CENTRALE 'MARAITE'

COMPTEURS INDEX DIFFERENCE CONSTANTE RESULTAT
ELECTRABEL NOUVEAUX-ANCIEN

Heures pointes 1,302.50 1.227,60 74,90 60 4.494
Heures creuses 8,090.30 7,612.10 478,20 60 28.692
Heures hors pointes 4,857.00 4,539.70 317,30 60 19.038
Pointe 41,925 39,031 2,894 60,0 174
PERTES CU (A - 0,015) FE (A - 0,165) A FACTURER
Heures pointes (1) 67 11 4.416
Heures creuses 430 64 28.198
Heures hors pointes (2). 286, 44 18.708
total heures hors pointes (1)+(2) 23.124

% kwhc = 54,9400%

NC = 1.0385

= 1,2218

Util. H.P = 330 A FACTURER 51.322 kWh

Util. lac = 390

DETERMINATION DE LA PUISSANCE EFFECTIVE

kWmax P = 174 kW

TDE % = (kWhP) : (kWmaxP x nbr.heures) 41,0%

kWe = kWmaxP x TDE 71 kW

FACTURATION

Terme puissance 147,5. NE. Kwe 12.795 BEF

Terme heures de pointes Uniquement de Novembre à Février 0 BEF

Terme heures pleines hors pointes (0,615.Ne + 0,642.Nc). kWp 32.793 BEF

Terme heures creuses (0, 155.NE)+(0,542.NC)).kWhc 21.212 BEF

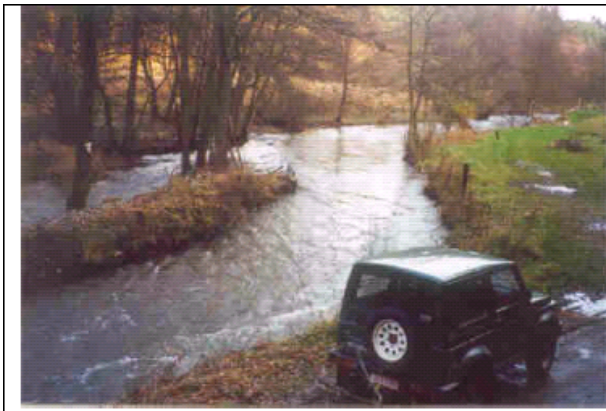
Terme Réactif Si Cosinus Phi < 0,95 0 BEF Redevance compteur [(400 + 265). NE -812 BEF

Aide extra-tarifaire aux énergies renouvelables de 2 BEF/kWh 102.644 BEF

MONTANT A FACTURER : 168.632 FB

11. PHOTOS COMMENTEES DES 2 CENTRALES

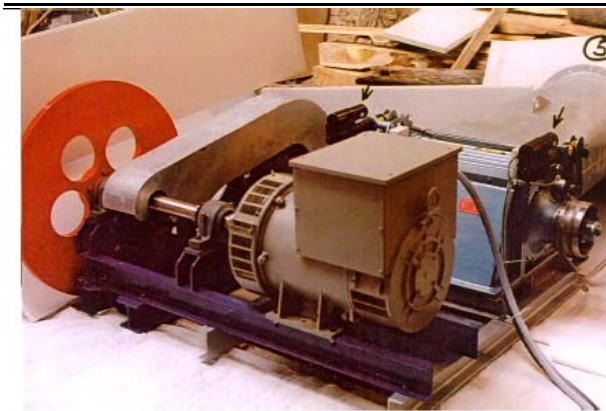
11.1. Centrale MARAITE à Ligneuville



Vue de la prise d'eau sur l'Amblève à environ 600 m de sa centrale. Le Canal a été creusé à la main voici près de 100 ans. Il ne peut pas prendre toute l'eau de la rivière pour des raisons de protection de la nature. On voit sur cette photo le barrage de retenue qu'il a réalisé.



Vue du canal. Les barres de fers verticales sont destinées à retenir les pièces de dimensions importantes qui seraient transportées par la rivière.



Vue du groupe turbine - alternateur de Willot. Nous voyons ici le montage sur châssis du groupe turbine BANKI/alternateur de Willot. On distingue les 2 servomoteurs d'ouverture (12 V).

La chaîne cinématique est la suivante : turbine/poulie -courroie RPP à profil parabolique - poulie réceptrice sur l'alternateur.

11.2. Centrale PIRONT



Les 5 photos suivantes montrent les grilles de retenue des particules solides qui flottent sur l'eau.

La distance entre les barreaux de la grille est de 20 mm (22 mm chez Maraité). Ils possèdent tous les deux des turbines OSSBERGER.

Le mécanisme de dégrillage chez Mr. Piront est commandé automatiquement par mesure du niveau d'eau amont et aval de la grille.

Le mécanisme de dégrillage est assez simple. Un schéma en vue d'une construction locale pourrait être réalisé sur demande.

L'avantage de ce système est qu'il n'y a pas de partie mécanique qui reste continuellement dans l'eau comme c'est le cas des systèmes classiques (comme chez Willot). Ici le bras de nettoyage descend dans l'eau et remonte les crasses en glissant sur la grille.

Les pièces en contact avec la grille sont en polyamide (nylon).





11.3. Centrale MARAÏTE



Les 4 photos suivantes montrent le système de grille de la centrale Maraïte. La commande du dégrilleur est actionnée par une minuterie.



Vue du barrage de retenue et la porte de nettoyage du canal.

Le treuil n'est pas monté car il est en réparation. La largeur de la grille est d'environ 7 m. La chute est de 7 m, le débit varie de 400 à 5.000 l/s.

11.4. CENTRALE MARAITE A LIGNEUVILLE TURBINE FRANCIS 150 KW.



Vue de l'alternateur synchrone.

On distingue la courroie plate cuir/nylon.

Face au ventilateur on distingue le redresseur de courant qui est refroidi par l'air de refroidissement de l'alternateur.



Vue arrière de l'alternateur.

Avant une dynamo d'excitation était bridée sur l'alternateur. Elle a été remplacée par un redresseur de courant. Nous distinguons le transformateur et le thermostat de réglage du courant d'excitation.



Vue du renvoi d'angle de la turbine Francis vers la poulie.

Ce renvoi d'angle supporte la roue de la turbine.

Il effectue une mesure de la pression d'huile de la lubrification. Quand un défaut apparaît le contacteur de liaison au réseau est déclenché.

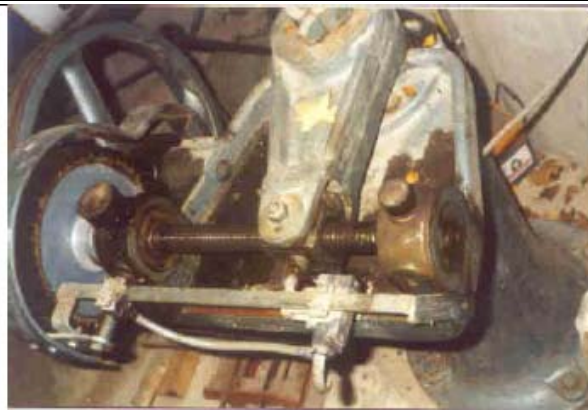


Vue générale du système de régulation de vitesse de la turbine.

On distingue les batteries qui permettront d'alimenter les moteurs CC quand le courant du réseau n'est pas disponible.

Un volant permettait une régulation manuelle. Mr. Maraite l'a retiré parce qu'il ne l'utilisait pas.

C'est un système analogue que nous proposons avec en plus une fermeture par contre-poids de la turbine et un volant de régulations manuelle qui sera nécessaire surtout à l'enclenchement afin d'aider le régulateur à retrouver rapidement la vitesse nominale.



Vue de la vis sans fin et écrou command le bras de commande.

Le bras descend vers la turbine où il va actionner toutes les aubes directrices d'alimentation de la turbine Francis.

On distingue aussi les fins de course qui limitent l'ouverture de la turbine.



Vue des deux moteurs en CC.

(Monsieur Maraite a monté deux moteurs en série car un seul moteur ne suffirait pas).



Vue du moteur en CA au fond et les deux moteurs en CC à l'avant .

Nous voyons aussi à droite du régulateur la dynamo qui servait auparavant à l'excitation de l'alternateur.

11.5. Centrale de Mr.Piront. GROUPE, turbine Banki OSSBERGER, chute de 4,5 m, débit 2 m³/s.



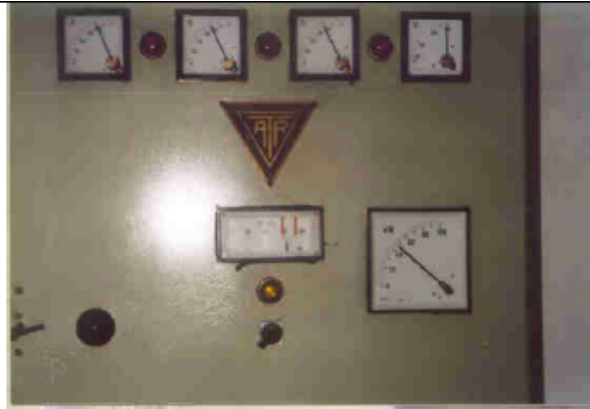
Vue du régulateur hydraulique et du jeu de bras de levier commandant l'ouverture et la fermeture de la turbine.

On distingue également la courroie plate transmettant le mouvement de rotation au régulateur.



Réservoir vert.

Ce réservoir mesure par vases communicants la hauteur de l'eau dans le canal d'alimentation. En cas de manque d'eau ou de réduction du niveau de l'eau d'alimentation par encrassement de la grille, le régulateur sera actionné et fermera la turbine.



Vue de la face avant du tableau de commande.
Nous remarquons la simplicité du système.



Vue de l'intérieur du tableau de commande.
Nous remarquons la simplicité du système.



Vue de l'alternateur asynchrone entraîné par la turbine.

En bout d'arbre de l'alternateur nous distinguons la dynamo tachymétrique qui mesure la vitesse de la turbine.



Vue de la soupape de mise à l'air de la partie aval de la turbine (voir doc. OSSBERGER).



Vue de la courroie plate transmettant le mouvement de rotation au régulateur.

La poulie réceptrice entraîne le système à boules (Watt) et la pompe hydraulique.

11.6. Système de régulation mécanique de la turbine OSSBERGER chez Maraite.

Un schéma du système mécanique est disponible sur commande. Le système a été construit autour d'un différentiel de véhicule.

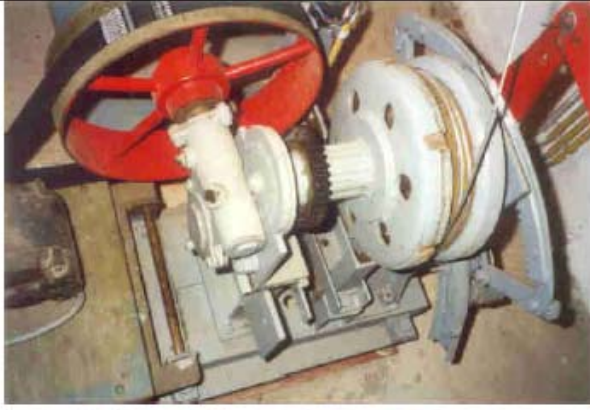


Vue de l'alternateur et de la dynamo tachymétrique de mesure de vitesse.

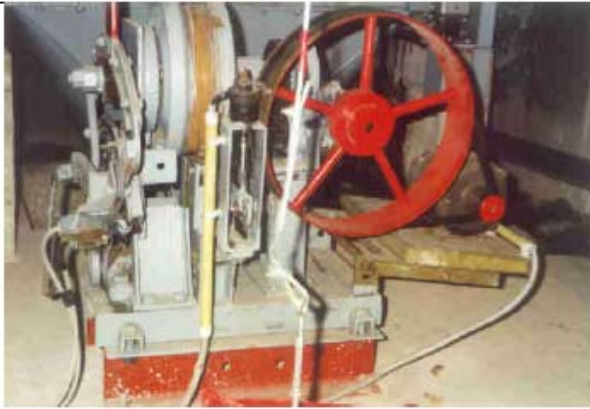
L'alternateur est un moteur asynchrone.



Vue de la turbine 35 kw. et du mécanisme à levier de commande de la fermeture de la turbine.



Vue du système de réduction de vitesse



Vue du système de réduction de vitesse et de la bobine du démarreur (Bendix) qui commande la fermeture rapide de la turbine par le contrepois.

Sur cette photo on distingue également la fin de course qui limite l'ouverture et la fermeture de la turbine.



Vue du mécanisme à levier de commande de la fermeture de la turbine et du contrepois qui permettra une fermeture rapide en cas de problème.



Vue de la fin de course qui limite l'ouverture et la fermeture de la turbine.



La partie droite du tableau montre l'armoire de commande de la turbine OSSBERGER.



BIBLIOGRAPHIE

Livres de références sur micro centrales hydro-électriques.

1. REVUE " HYDRO-ENERGIE " (Editions de la Vallée Fr- 54870 Cons La Grandville B.P.11). Le prix d'un abonnement pour une année, soit 6 numéros est de 360 FF.
2. HARNESSING WATER POWER on a small Scale volume 8 I.S.B.N. 3 - 908001-19-6 Governor Product Information Auteurs Ger. Fischer. Prix £ 19.55 envoyé chez nous en Belgique.
1. MICRO-HYDRO DESIGN MANUAL A Guide to small-scale water power schemes Adam Harvey with Andy Brown Priyantha Hettiarachi and Allen Inversin I.S.B.N. 1 85 339 1034 Prix £ 42.00 envoyé chez nous en Belgique.
2. Manuel d'install. et descript. ELG-20 Hydro Turbine controller (Powerflow New Zel .) Nous avons reçu la brochure gratuitement, et l'avons fait parvenir aux AECF.
3. LOCAL EXPERIENCE WITH MICRO HYDRO TECHNOLOGY Ueli Meier, St . Gall 1981 SKAT 32 Sfr : +/- 800 BEF

Les livres suivants se trouvent chez Atol et peuvent être photocopiés, à 5 Bef la page :

4. MICRO HYDRO POWER BASED ON LOCAL TURBINE TECHNOLOGY Document de travail WP 5/82 Ueli Meier, St. Gall 1982. SKAT 19 pages : 95 Bef
5. TECHNOLOGY LOCALE POUR LES MICRO CENTRALES HYDRAULIQUES Document de travail WP 11/82 Ueli Meier, traduit par ATOL. Résumé de " LOCAL EXPERIENCE WITH MICRO-HYDROPOWER " 29 pages : 145 Bef
6. CIVIL ENGINEERING IN MICRO-HYDRO PROJECTS Document de travail WP 03/86 UELI MEIER Skat pas de copie dans la bibliothèque Atol.
7. THE DHADING MICRO - HYDROPOWER PLANT : 30 kwe Document de travail WP 6/83 UELI MEIER Skat 29 pages : 145 Bef

Les deux ouvrages suivants sont épuisés, impossible de se les procurer :

8. LES MICRO CENTRALES HYDRAULIQUES, Dossier Technologie et développement
9. MICRO CENTRALES HYDRAULIQUES, de Jean Bernard et Serge Maucor, éd.Alternatives .

10. SMALL WATER TURBINE GATE Instruction Manual for the Construction of a Crossflowturbine (sept 80) Nous avons reçu ce manuel gratuitement du GATE.

11. L'INSTALLATION DE TURBINE A IMPULSION RADICALE Equipe Hydro - Borda. Nous l'avons obtenu gratuitement chez BORDA, Bahnhofplatz 13, im Überseemuseum D - 2800 BREMEN 1 (RFA)

LIVRES DONT NOUS N'AVONS PAS EU DE REPONSE QUANT A LA DISPONIBILITE.

12. PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES GUIDE PRATIQUE POUR LA REALISATION DE Petites centrales hydrauliques. I.S.B.N. 3- 90 5232 20 0 1992 96 pages N° Commande 724. 244 F. 25 FR. (assez bien fait avec photos couleurs) à commander : COORDINATION ROMANDE du programme d'action " Construction et Energie " EPFL - LESO Case Postale 12 CH - 1015 LAUSANNE

13. LES MICROS AMENAGEMENTS HYDRO - ELECTRIQUE Quid pour la conception , réalisation, mise en service et exploitation Société hydrotechnique de France 199 rue de Grenoble 75007 Paris. (Tél./ (1) 7051337 (trop vieux))

14. MHPG Service Harnessing Wayter Power GATE/ Skat On a smale Scale ISBN 3 908001 34 X Volume 1 à 9 (V8 Governor Produkt Information) V3 Cross Flow Turbine désign and Equipment V4 Cross Folw Turbine fabrication / Engineering).

15. MICRO CENTRALE UTILISANT DES ENERGIES RENOUVELABLES pour les Pays ACP Annexe VI Energie Hydraulique Avril 80 À demander chez CDI 02/679 18 11 Fax 02/675 26 03 Monsieur Perez Diaz

16. EXPLOITATION A COUT MODIQUE DE PETITES INSTALLATIONS DE HOUILLE BLANCHE Hans W. Hamm. Edition française Août 76. Volontaire pour l'assistance technique (VITA) 3706 RHODE ISLAND ANC MT. RAINIER, Maryland 20822 USA