



PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ETUDE D'UNE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE



SOLUTIONS ENSEIGNEMENT



Pour financer et accompagner **les PME**



Préambule

La croissance constante de la consommation d'énergie et l'épuisement inévitable des ressources naturelles font que dans un avenir proche, il sera difficile d'adapter l'offre à la demande. Des solutions alternatives de production devront alors être mises en œuvres. La prise de conscience de ce problème et la modification des comportements vis-à-vis de la consommation d'énergie passe par une formation plus conséquente des utilisateurs comme des acteurs de la filière énergie. Un des enjeux majeurs des futurs techniciens sera de mettre au point de nouveaux systèmes de production d'énergie électrique, principalement à partir des énergies renouvelables.

La production d'énergie hydroélectrique à partir de cours d'eau est aujourd'hui bien maîtrisée, mais reste dans le domaine de compétences des gros producteurs tel qu'EDF. La construction d'une petite centrale hydraulique pose le problème différemment puisqu'il faut rechercher un optimum de production sur un cours d'eau, souvent de faible débit, pour atteindre un seuil de rentabilité.

La nécessaire évolution de la formation dans ce domaine à pousser la société SPEN à développer en partenariat avec de jeunes techniciens en formation au lycée Carriat, un nouveau produit permettant l'étude du comportement et de la rentabilité d'une petite centrale hydraulique.

Ce projet cofinancé par Oséo et par l'Education Nationale a abouti à l'élaboration d'un prototype d'une microcentrale hydroélectrique pour l'enseignement. La version définitive sera proposée aux établissements de formation dès la rentrée scolaire 2007.

Les sujets présentés dans ce dossier sont des exemples de questionnement par rapport à des thèmes d'étude. Il convient à chacun, de les adapter en fonction de l'environnement matériel qu'il dispose, mais aussi en fonction des progressions pédagogiques envisagées. L'utilisation des sujets tels quels n'a pas de sens, tant que l'équipe pédagogique ne se les est pas appropriés et tant qu'ils n'ont pas été validés en fonction du matériel et des options retenues.

Une connaissance du mode fonctionnement, de la gestion et du dimensionnement des centrales hydroélectriques est nécessaire pour appréhender la problématique de la production hydraulique. De nombreux ouvrages et sites Internet proposent des explications sur le fonctionnement de ces microcentrales. Une lecture approfondie de certains articles permettra au lecteur d'appréhender les problèmes rencontrés lors de l'étude, de la mise en service et de l'exploitation d'une microcentrale. Cette phase indispensable ne se suffit généralement pas à elle-même, car les phénomènes rencontrés sont complexes. Des manipulations sur un système représentant le réel permettent d'infirmer ou confirmer les représentations que chacun a pu se faire du problème.

La compréhension par les jeunes techniciens des possibilités offertes par la production hydraulique de petite puissance, est un atout majeur pour aborder et prendre part à la maîtrise des techniques, dans la part croissante des énergies renouvelables.



Sommaire

1. Introduction

2. Les différents types de turbine

3. Mise en situation de la micro centrale hydroélectrique

a. Caractéristiques de la centrale réelle

b. Caractéristiques de la centrale didactique

c. Les parties simulées

4. Les différentes approches de la centrale hydroélectrique

5. Thèmes abordés

1) Mise en service d'un système ou d'un équipement

2) La distribution de l'énergie électrique

3) Les différents procédés de transformation de l'énergie

4) La réversibilité énergétique

5) Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes

6) La qualité de l'énergie électrique

7) La gestion des coûts

8) Asservissement et régulation

9) Les équipements communicants

1. Introduction

Les centrales hydraulique ou hydroélectrique permettent de convertir l'énergie potentielle de l'eau en énergie électrique. C'est une source d'énergie renouvelable et non polluante qui fournit aujourd'hui près de 20% de la consommation électrique mondiale. Les petites centrales hydroélectriques (PCH) sont définies pour des puissances inférieures à 10 MW. Elles représentent 10% de l'énergie d'origine hydraulique. Sans véritable dénomination elles sont classées selon leur puissance :

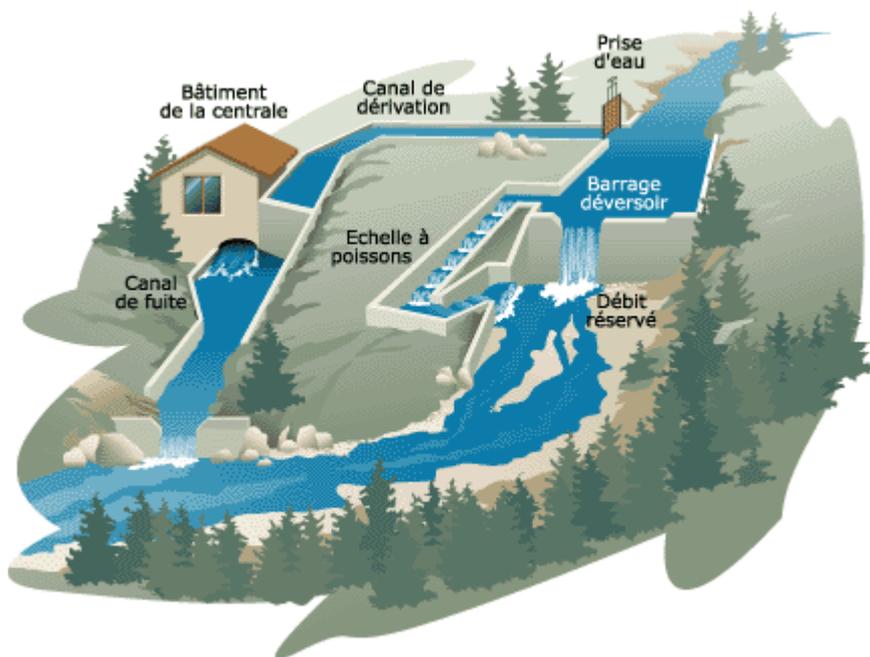
1. petite centrale hydroélectrique de 2 MW à 10 MW
2. mini centrale hydroélectrique de 500 kW à 2 MW
3. micro centrale hydroélectrique de 20 kW à 500 kW
4. pico centrale hydroélectrique inférieure à 20 kW

Les PCH fonctionnent au fil de l'eau ce qui signifie qu'elles ne stockent pas d'eau, mais utilisent directement l'eau débitée par la rivière. La production d'électricité varie donc en fonction de ce débit. Selon le lieu et la puissance disponible, elles fonctionnent en mode autonome pour alimenter une ou un groupe d'habitation ou alors elles sont raccordées au réseau pour la revente de l'énergie.

La structure d'une PCH est toujours la même et comprend :

5. un barrage permettant la réalisation d'une prise d'eau
6. un canal de dérivation ou une conduite forcée pour diriger l'eau sur la centrale
7. un bâtiment de la centrale abritant la turbine, la génératrice et les équipements électriques
8. un canal de fuite pour le retour de l'eau dans la rivière.

Selon l'endroit d'implantation il peut être nécessaire de placer une échelle à poissons afin de ne pas perturber la faune. Un débit réservé doit être entretenu dans le lit de la rivière ou l'eau à été dérivée.



La puissance d'une PCH dépend essentiellement du débit et de la hauteur de chute. Ainsi plusieurs configurations peuvent se présenter :

9. centrale à basse chute avec un dénivelé de quelques mètres et un débit important
10. centrale à moyenne chute avec un dénivelé d'une dizaine de mètres et un débit modéré
11. centrale à haute chute avec un dénivelé de plusieurs dizaines de mètres et débit faible.

Afin d'optimiser la conversion de l'énergie hydraulique en énergie mécanique, il convient alors de choisir la turbine la mieux adaptées à la configuration.

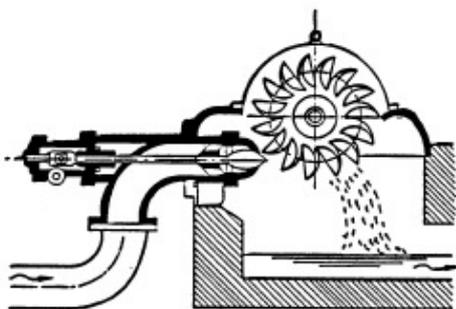
2. Les différents types de turbine

Il existe principalement 3 types de turbine

Turbine PELTON

La turbine Pelton est constituée par une roue à augets qui est mise en mouvement par des jets provenant de un ou plusieurs injecteurs.

Elle est adaptée aux faibles débits allant de 23 l/s à 2 m³/s et des hauteurs de chute importante allant de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.



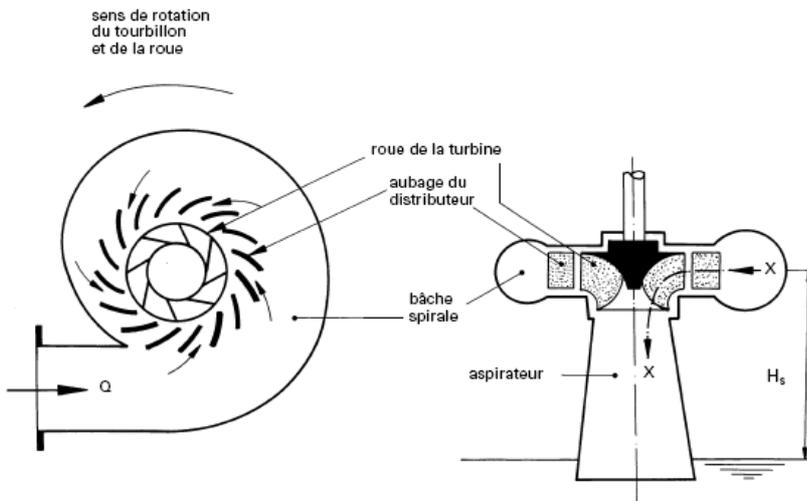
Turbine PELTON



Turbine FRANCIS

La turbine Francis est constituée d'une bêche spirale qui crée un tourbillon et vient entraîner une roue à aubes placée au centre de ce tourbillon.

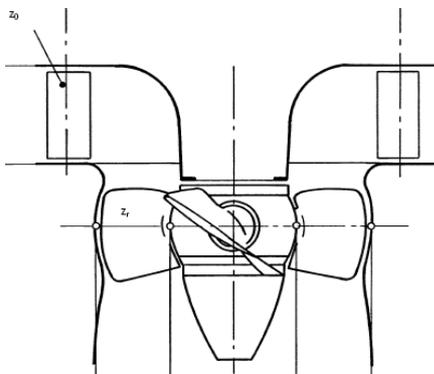
Elles conviennent pour des hauteurs de chute moyenne de quelques mètres à une centaine de mètres. Elles acceptent des débits moyens de 100 l/s à 10 m³/s.



Turbine KAPLAN

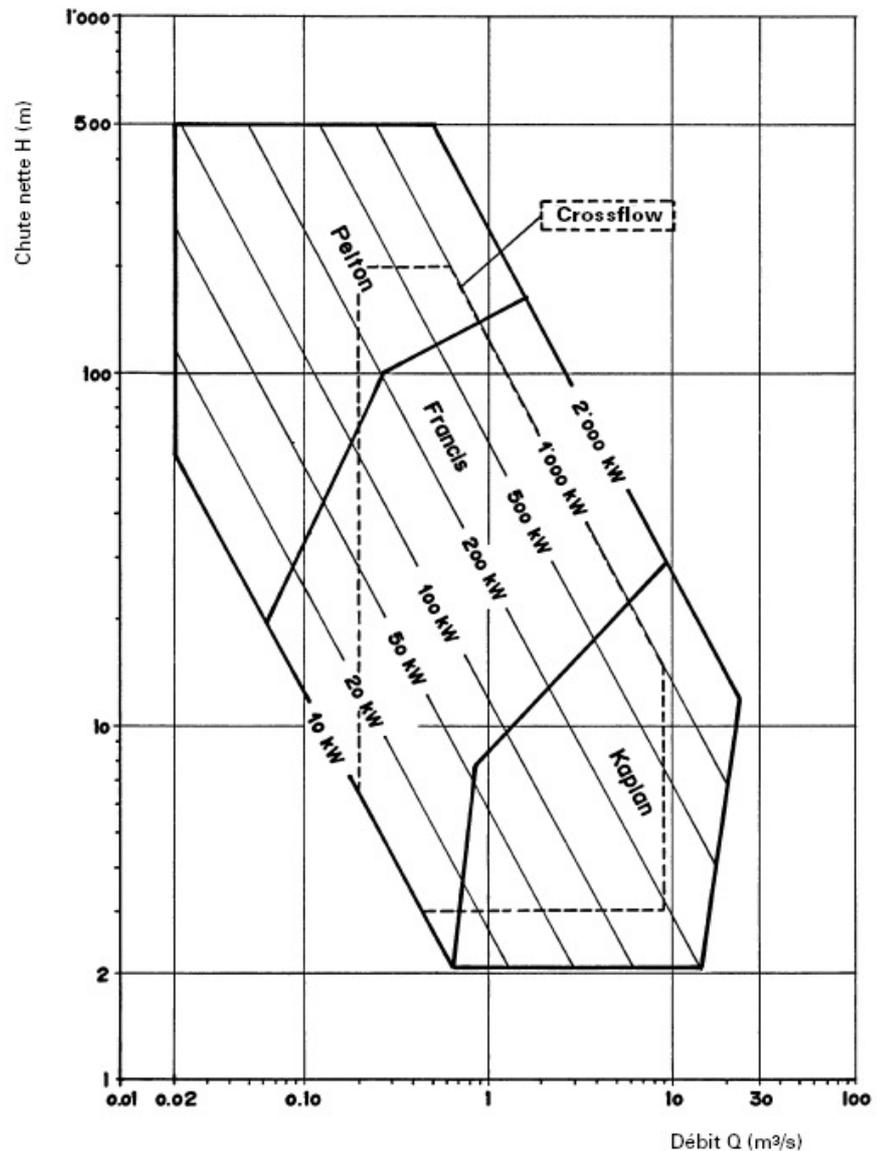
La turbine Kaplan fonctionne sur le principe d'une hélice dont les pales peuvent être fixes ou orientables.

Elles sont utilisées pour les basses chutes de quelques mètres mais avec un débit important pouvant aller jusqu'à 50 m³/s



Choix d'une turbine

Les constructeurs proposent des abaques de détermination du type de turbine ainsi que des puissances associées selon les données hydrauliques, débit et hauteur de chute nette.



Mise en situation de la centrale hydroélectrique



Bâtiment faisant office de local technique

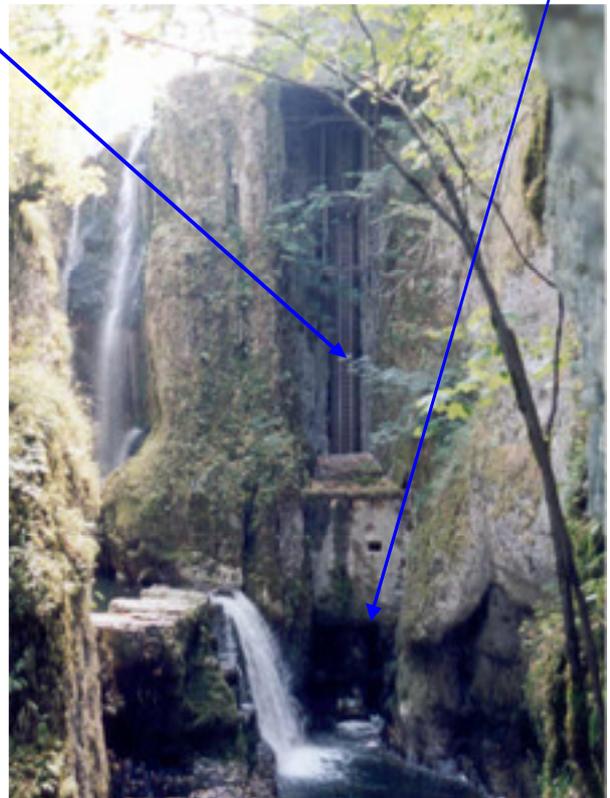
Départ de la conduite

Cascade

Barrage, régulateur de

Descente de la conduite

Local turbine



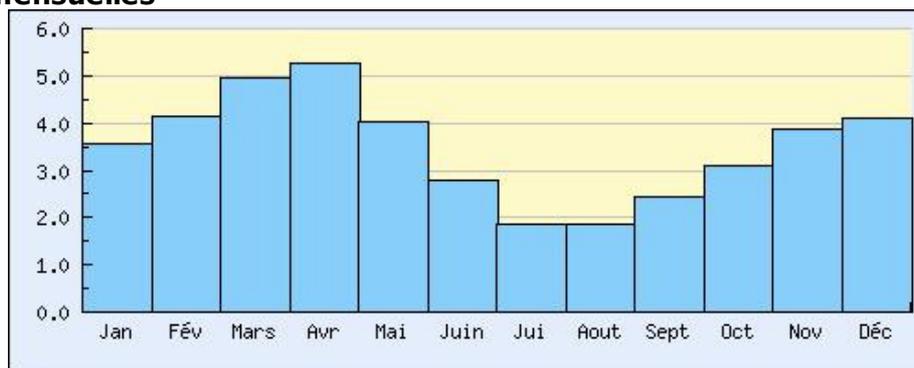
a. Caractéristiques de la centrale réelle

Cette centrale hydroélectrique exploite une hauteur de chute importante dans des gorges creusées dans un massif calcaire. Le cours d'eau se transforme à cet endroit en une cascade naturelle d'une hauteur de plusieurs dizaines de mètres. Par contre le débit est relativement faible sauf pendant les périodes pluvieuses ou orageuses. Pour s'adapter à cette situation et respecter l'environnement, une conduite forcée a été placée dans une faille située entre deux roches. Cette configuration impose une architecture particulière, car il n'est pas possible de réaliser le bâtiment de la centrale en aval de cette conduite. Seul un petit local a été construit entre les 2 roches pour abriter le groupe turbine - génératrice. L'ensemble de commande et de gestion est alors décentralisé proche de la prise d'eau au sommet des gorges.

Débit constaté



Moyennes mensuelles



Le débit étant très variable, une étude technico-économique précise doit être effectuée pour dimensionner au mieux la puissance de la centrale.

Il faut trouver un compromis entre le dimensionnement de la turbine et son coût pour fixer le débit nominal.

Hauteur de chute : 30 m

Débit moyen : 3,5 m³/s



Caractéristiques de la centrale didactique

La centrale hydroélectrique didactique est une représentation homothétique de la centrale réelle. Les grandeurs hydrauliques ainsi que les puissances électriques sont réduites afin d'être compatible avec les infrastructures et les équipements des lycées. Le fonctionnement, le comportement et les méthodes de réglage restent néanmoins identiques à ce qui est rencontré sur le système réel.

Les éléments constitutifs du système didactique tels que la turbine et la génératrice sont directement issus du monde industriel et sont couramment utilisés dans de véritables projets de microcentrale hydroélectrique. Cette approche permet de mettre les utilisateurs de ce système dans des conditions réelles d'exploitation d'une microcentrale hydroélectrique.

Caractéristiques des différents éléments

Grandeurs hydrauliques :

- Débit : de 10 à 22 m³/h
- Hauteur de chute simulée : 50 à 70 m

Turbine :

- Type Pelton à 6 jets
- Commande manuelle d'ouverture – fermeture sur 3 injecteurs (fonctionnement possible avec 3, 4, 5 ou 6 jets)
- Vitesse nominale de rotation : 3000 tr/min
- Puissance nominale mécanique : 3 kW

Génératrice

- génératrice asynchrone triphasée
- puissance utile électrique : 3 kW

Module de raccordement au réseau

- Disjoncteur, contacteur de couplage
- Couplage automatique par détection de seuil de vitesse
- Protection survitesse en cas de découplage
- Compensation de l'énergie réactive

Module de mesure

- I, U, P, Q, S, Fp par phase et global
- Compteur d'énergie active et réactive
- Harmoniques de rang 1 à 30 sur I et U, taux d'harmoniques, DPF
- Mise à disposition de toutes les valeurs sur réseau Profibus

Module de gestion

- Automate programmable siemens S7-300 (CPU 314C-2DP)

Communication

- réseaux Profibus pour la partie interne et Ethernet pour la partie externe
- Serveur Web et serveur de mail intégrés
- Dialogue par pupitre opérateur tactile

a. Les parties simulées

La conduite forcée :

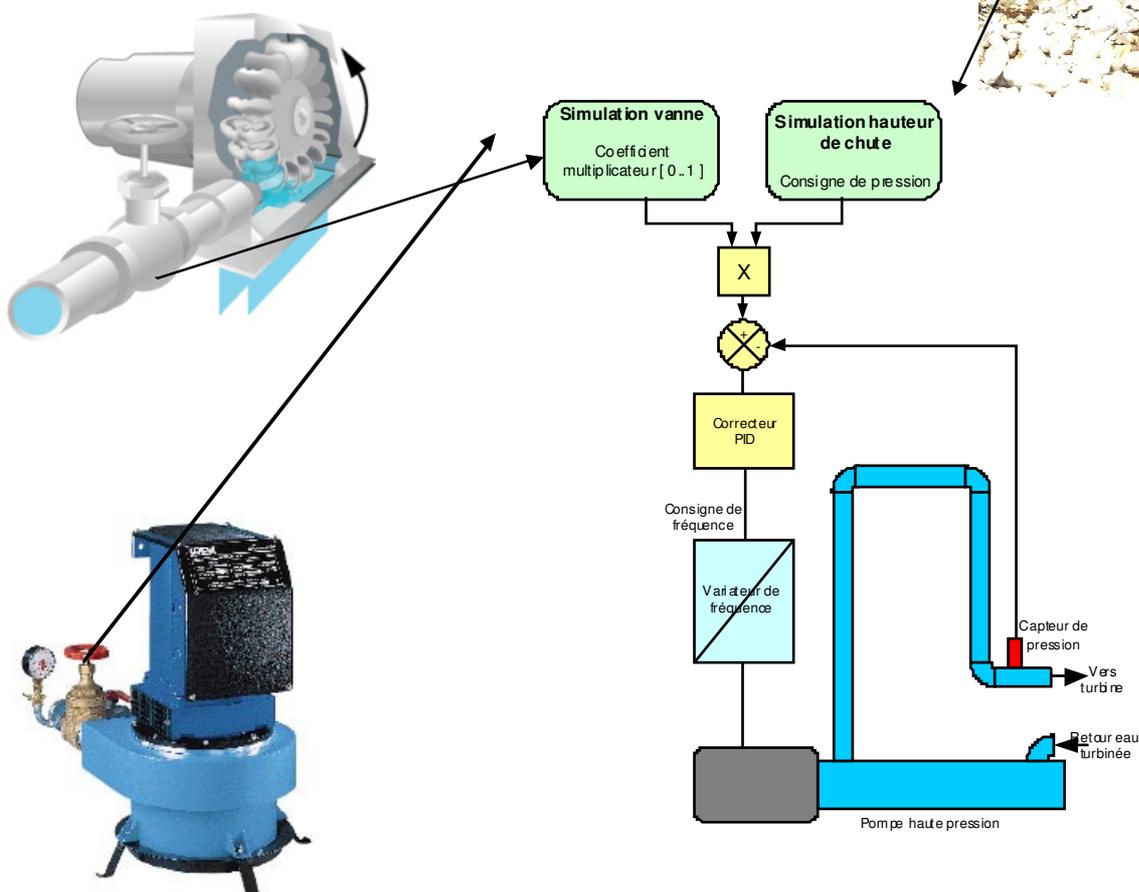
Elle a pour but de canaliser l'eau de la prise d'eau jusqu'à l'entrée de la turbine. La différence de niveau entre ces deux points crée une pression quasi constante à l'entrée de la turbine. Cette pression est réalisée sur la maquette par une pompe haute pression asservie en pression.

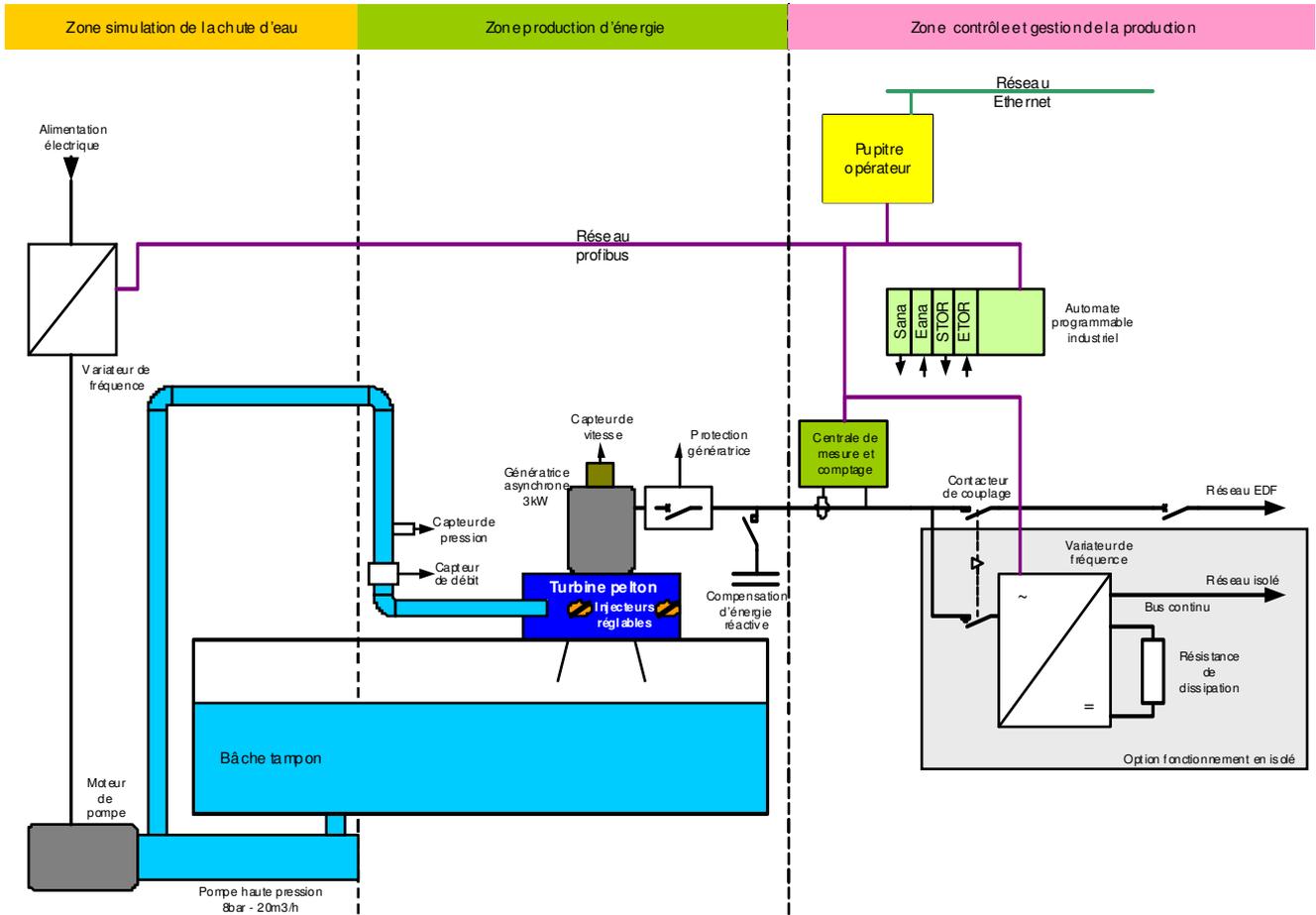
La vanne de pieds :

Elle a deux rôles.

- Isoler la turbine de la conduite forcée pour les opérations de maintenance.
- Appliquer une pression progressive à la turbine afin de l'amener graduellement à la vitesse désirée.

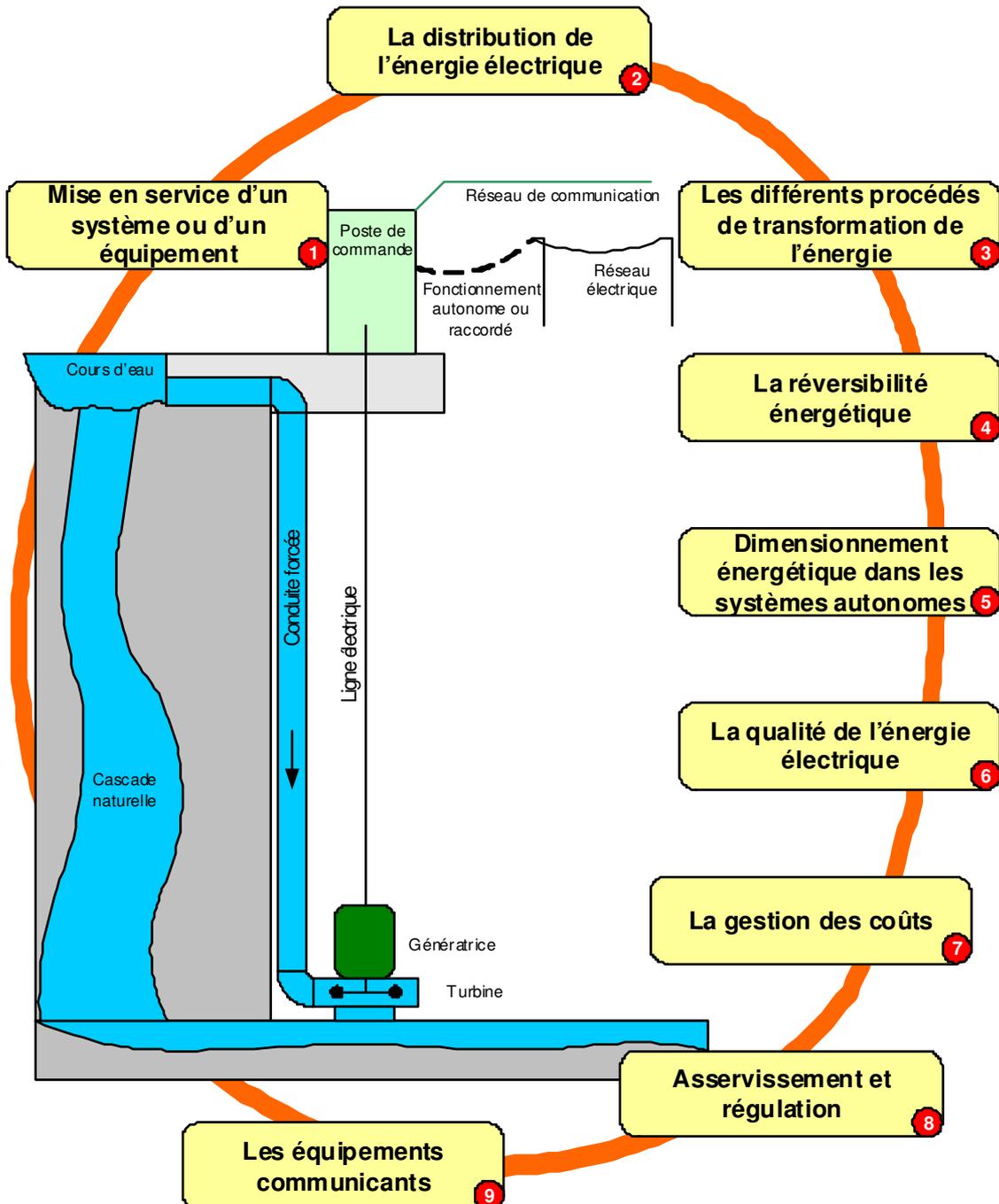
Cette vanne est simulée en plaçant un coefficient multiplicateur variant de 0 à 100% sur la consigne de pression.





3. Les différentes approches de la centrale hydroélectrique

La richesse de cette centrale hydroélectrique permet d'aborder de nombreux thèmes des programmes des filières énergétiques et électrotechniques. Selon le niveau de complexité recherché, l'approche des différents thèmes d'étude permet l'utilisation de cette maquette à un niveau bac ou bac plus 2.





4. Thèmes abordés

Les différents thèmes proposés correspondent à ceux présentés dans le nouveau référentiel du BTS électrotechnique. La richesse de ce système offre un support d'étude utilisable tout au long des 2 années scolaires. Utilisée en essais de systèmes, cette centrale hydroélectrique permet d'aborder la quasi-totalité des thèmes définis. Par des approches complémentaires une grande partie du programme de génie électrique et de sciences appliquées trouve ici une application concrète permettant de lier les savoirs de ces deux disciplines.

Chaque thème met l'accent sur des points précis qui peuvent être développés sur différents systèmes. Les points proposés. Les exemples de points présentés peuvent servir de support pour l'écriture de sujets d'essais de systèmes sur la centrale hydroélectrique.

Les exemples de sujets d'essais de systèmes présentés ci-après montrent les possibilités d'activités pour les thèmes de 1 à 5.

1 - Mise en service d'un système ou d'un équipement

- Analyse fonctionnelle du système
- Ordonnancement des fonctions
- Architecture de la chaîne fonctionnelle
- Représentation synoptique
- Identification les éléments du système
- Lecture de schémas électrique, mécanique et hydraulique
- Suivi d'une procédure de mise en service
- Vérification des grandeurs caractéristiques
- Réalisation de mesurages

2 - La distribution de l'énergie électrique

- Protection des personnes dans une installation
- Protection du matériel et impératifs de production
- Tarifification et comptage de l'énergie
- Dimensionnement du matériel (disjoncteurs, câble,...)
- Optimisation du matériel, compensation de l'énergie réactive

3 - Les différents procédés de transformation de l'énergie

- Quantification de la puissance hydraulique de la source d'énergie
- Conversion énergie hydraulique - énergie mécanique, principe des turbines
- Fonctionnement d'une turbine Pelton
- Détermination des points de fonctionnement et du rendement
- Réglage de la puissance d'une turbine



4 - La réversibilité énergétique

Caractéristiques de la machine asynchrone couplé au réseau
La génératrice asynchrone, fonctionnement en hypersynchrone
Les puissances mises en jeu dans la machine, puissance active et réactive
Points de fonctionnement et rendement

5 - Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes

L'adéquation production – consommation
Fonctionnement autonome de la génératrice asynchrone, autoexcitation
Pilotage d'une génératrice asynchrone par un onduleur de tension
Identification de la chaîne de l'énergie
Equilibre des puissances par délestage

6 - La qualité de l'énergie électrique

La pollution harmonique, les générateurs d'harmoniques
Quantification des harmoniques, les puissances en régimes harmoniques
Remèdes

7 - La gestion des coûts

Les tarifs de rachat de l'électricité
Amortissement d'une microcentrale hydroélectrique

8 - Asservissement et régulation

Les régulations nécessaires au fonctionnement d'une centrale hydroélectrique autonome
Représentation des schémas de régulation
Simulation d'une chute d'eau, régulation de pression
Principe de réglage des boucles de régulation

9 - Les équipements communicants

Structure du réseau de communication
Le paramétrage des différents éléments du réseau
Le stockage des données, leurs formats
La surveillance à distance, le serveur Web
La maintenance à distance, le serveur de mails



Thème 1

Mise en service d'un système ou d'un équipement

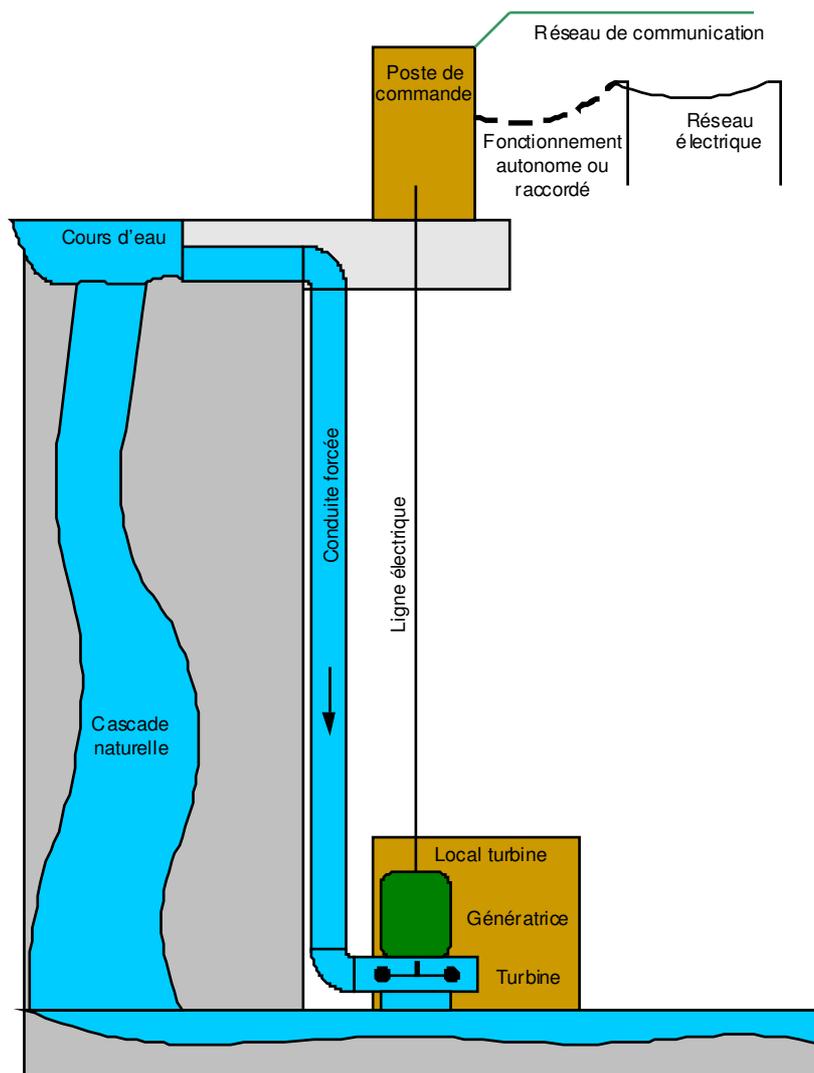
MISE EN SERVICE D'UN SYSTÈME OU D'UN ÉQUIPEMENT

MISE EN SERVICE D'UNE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation de la microcentrale

Les petites centrales hydrauliques permettent la production d'énergie électrique à partir d'un cours d'eau, sans nécessiter une grosse infrastructure. Leur puissance varie de quelques kW à plusieurs centaines de kW. La centrale présentée dans le document d'accompagnement se situe sur une cascade dans le massif du jura. Situé au fond d'une gorge, le local turbine se trouve réduit à son strict minimum, c'est à dire l'ensemble turbine plus génératrice. La partie commande se situe dans un local au niveau de la prise d'eau.

Les caractéristiques principales de cette centrale sont données dans le document « présentation de la centrale hydraulique ».





2. Elaboration d'un synoptique de la micro centrale didactique

La micro centrale didactique reprend toutes les fonctions de la centrale réelle mais à une échelle 1/100 sur les puissances. Cette centrale fonctionne avec une chute d'eau artificielle créée par une motopompe. Le circuit hydraulique est en circuit fermé.

2.1. Inventaire

- 2.1.1. Faire l'inventaire des organes principaux de puissance présent sur le système et préciser pour chacun d'eux leur fonction ainsi que leurs caractéristiques principales.
- 2.1.2. Faire l'inventaire des capteurs présent sur le système et préciser pour chacun d'eux leur fonction et le mode de détection utilisé
- 2.1.3. Faire l'inventaire des éléments de gestion et commande du système. Préciser les modes de transmission de l'information utilisés.

2.2. Synoptique

Le synoptique à élaborer doit permettre de présenter et expliquer le fonctionnement de la centrale hydraulique didactique à un technicien qui ne l'aurait jamais vue.

- 2.2.1. Représenter un synoptique de la partie opérative en faisant apparaître les principaux éléments de puissances hydrauliques et électriques.
- 2.2.2. Compléter le synoptique précédent en plaçant les éléments de détections, de commande, de dialogue ainsi que les principaux liens.
- 2.2.3. Encadrer sur ce synoptique ce qui relève de la simulation de la chute d'eau et qui ne se retrouve pas dans la centrale réelle.

3. Procédures de mise en service et d'arrêt de la centrale

Cette centrale doit pouvoir être conduite par une personne n'ayant pas une formation approfondie en électricité. Pour lui permettre d'utiliser cette centrale, des fiches de procédures sont à établir afin qu'il puisse réaliser les opérations courantes de mise en service et d'arrêt. La première mise en service se fait obligatoirement par un technicien pour vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble.

3.1. Procédures de mise en service et d'arrêt en exploitation

- 3.1.1. Définir une procédure de mise en service de la centrale en décrivant la suite des opérations à réaliser pour l'amener à la production nominale. Compléter le document « procédure de mise en service » en annexe.
- 3.1.2. Définir une procédure d'arrêt de la centrale en décrivant la suite des opérations à réaliser pour passer de la production nominale à l'arrêt. Compléter le document « procédure d'arrêt » en annexe.



3.1.3. Vérification des procédures

Faire réaliser les 2 procédures de mise en service et d'arrêt par une personne n'ayant pas connaissance du dossier. Surveiller ses actions et corriger les fiches en fonction de ses hésitations ou de ses erreurs.

3.2. Procédure de première mise en service et de maintenance

Lors de la première mise en service de la centrale, il est nécessaire de réaliser les vérifications précisées dans le tableau annexe.

Habilitation chargé d'interventions BR : Tâche 1 : Mettre en service un ouvrage électrique

Conditions :

L'armoire est raccordée au réseau mais hors tension.

Travail à réaliser :

- Compléter la fiche « première mise en service et maintenance de la centrale »
- Effectuer les différentes opérations de vérifications proposées.

4. Vérification du fonctionnement de la centrale

Afin de faciliter la maintenance de la centrale, il est demandé d'établir une fiche précisant les grandeurs que l'on doit obtenir selon les différents réglages de débit.

Habilitation chargé d'interventions BR : Tâche 2 : Exécuter des tâches de mesurage réglage

Conditions : La centrale est sous tension mais à l'arrêt.

Travail à réaliser :

Compléter le tableau de mesures en relevant les tensions, courants et puissances en sortie de génératrice pour les 4 réglages de débit possibles. Préciser les conventions utilisées lors des mesures (sens de la pince de courant) ainsi que les unités.

A partir des relevés précédents, calculer le déphasage entre les courants en ligne et les tensions simples au niveau de la génératrice.

Représenter le diagramme de Fresnel pour le plus grand débit, des tensions simples triphasées ainsi que des courants au niveau de la génératrice et au niveau du réseau.



Procédure de mise en service de la centrale

Conditions initiales :

L'armoire de commande est hors tension, le disjoncteur principal est ouvert.

Action à réaliser	Résultat attendu



Procédure d'arrêt de la centrale

Conditions initiales :

La centrale est en production normale

Action à réaliser	Résultat attendu



Procédure de première mise en service et de maintenance de la centrale

Points de vérification	Actions à réaliser	Résultats attendus
Vérification de l'ordre des phases		
Vérification de l'entraînement de la turbine de 0 à 3000 tr/min par la pression hydraulique		
Vérification de l'entraînement de la turbine par la machine asynchrone		
Vérification du point de fonctionnement nominal		
Vérification de l'arrêt de la centrale sur déclenchement de la protection génératrice		



Tableau de mesures

	Mesures en sortie de génératrice			
	3 jets	4 jets	5 jets	6 jets
Pression à l'entrée de la turbine				
Débit				
Tension entre phase et neutre				
Tension entre phases				
Intensité en ligne : phase 1				
Intensité en ligne : phase 2				
Intensité en ligne : phase 3				
Puissance active totale				
Puissance réactive totale				
Puissance apparente totale				
Facteur de puissance				
Déphasage				



Thème 2

La distribution de l'énergie électrique

LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

(1)

PROTECTION DU MATÉRIEL DANS UNE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation

Il existe aujourd'hui 1 810 micro centrales, dont 326 au groupe EDF, 32 à la SNCF et 1 452 à des producteurs indépendants produisant 8,45 TWh (1 300 centrales sont d'une puissance inférieure à 1 000 kW), soit environ 1,5 % de la production électrique nationale et 10 % de la production hydroélectrique nationale.

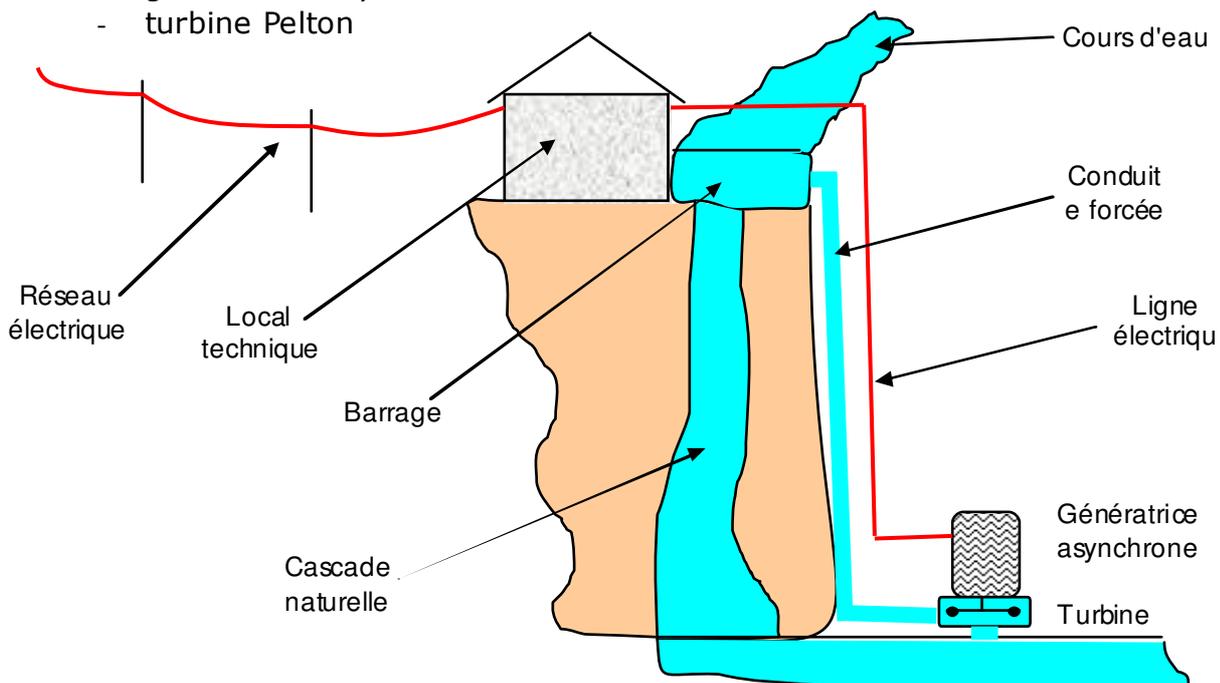
La facilité d'exploitation de ces équipements, leur technologie parfaitement maîtrisée (contrairement au nucléaire), leurs conséquences limitées et réversibles sur l'environnement, en font donc une énergie renouvelable cruciale qui arrive, en potentiel, au deuxième rang derrière l'exploitation énergétique de la biomasse (bois, méthanisation...).

Cette énergie décentralisée est aussi créatrice d'emplois ruraux, et de ressources fiscales souvent uniques au niveau des petites communes qui les abritent. On estime à 2 000 les emplois actuellement induits par les microcentrales.

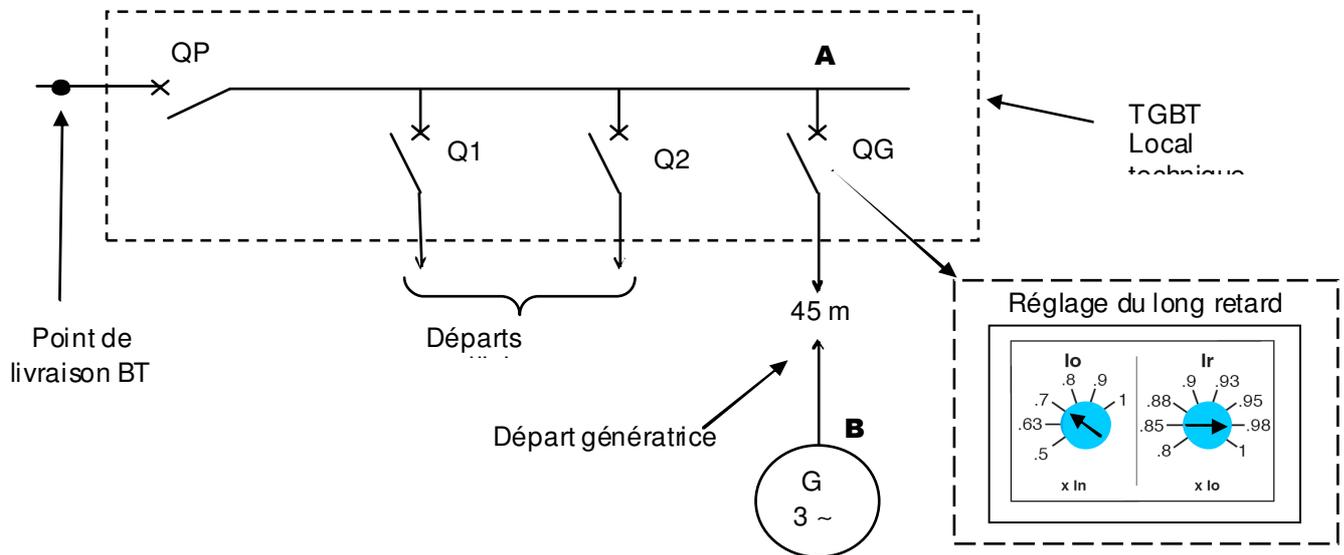
Cette production d'électricité ne rejette pas de gaz à effet de serre responsables du changement climatique.

La microcentrale hydroélectrique étudiée possède les caractéristiques suivantes:

- hauteur de chute: 25 m
- débit moyen: 1,4 m³/s
- génératrice asynchrone: 250 kW
- turbine Pelton



2. Etude de la microcentrale réelle



Données techniques:

- réseau triphasé 400 V entre phases
- facteur de puissance de la génératrice à 100/75/50/25 % de charge : 0,84/0,82/0,75/0,54
- canalisation A: câbles unipolaires isolés au Polyéthylène Réticulé, posés en un seul circuit sur une échelle à câble, à une température ambiante maxi de 40°C
- disjoncteur QG: calibre 630 A, crans de réglage de la protection I_{inst} contre les courts-circuits : 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 $\times I_{Rth}$
- caractéristiques des câbles : résistivité du cuivre $\rho = 0,0225 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, résistivité de l'aluminium $\rho = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, réactance $\lambda = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$
- résistance totale (réseau amont+transformateur+câble+JdB) d'une phase au point A : 2,85 m Ω
- réactance totale (réseau amont+ transformateur+câble+JdB) d'une phase au point A : 8,78 m Ω
- masse volumique de l'aluminium : $Mv = 2700 \text{ kg}/\text{m}^3$
- chaleur massique de l'aluminium : $Cm = 900 \text{ J}/(\text{kg}.\text{m}^3)$
- température des conducteurs en aluminium en régime nominal : $\theta_n = 90 \text{ }^\circ\text{C}$
- température maximale des conducteurs en aluminium : $\theta_m = 250 \text{ }^\circ\text{C}$

2-1 Section de phase du départ génératrice

- Déterminer la section minimale de phase du câble, en cuivre.
- Déterminer la section minimale de phase du câble, en aluminium.
- Choisir la solution technico-économique la plus intéressante.



2-2 Protection du départ génératrice

- Justifier le réglage du déclencheur Long Retard de QG.
- Calculer le courant de court-circuit triphasé $I_{cc_{3A}}$ au point A.
- En déduire le pouvoir de coupure minimum du disjoncteur QG.
- Calculer le courant de court-circuit triphasé $I_{cc_{3B}}$ au point B.
- Calculer le courant de court-circuit biphasé $I_{cc_{2B}}$ au point B.
- En déduire le réglage maximum de la protection contre les courts-circuits.

2-3 Vérification de l'échauffement du câble du départ génératrice

- Donner l'expression de l'énergie dissipée dans le câble lors d'un court-circuit triphasé de 13 kA au point B coupé en un temps t_{cc} .
- Calculer la durée maximale du court circuit pour ne pas atteindre la température critique du câble en considérant qu'il n'y a pas d'échange avec l'extérieur.
- Vérifier que le disjoncteur QG protège bien le câble sachant qu'il coupe le court circuit en 40 ms.

2-4 Relèvement du facteur de puissance

- La législation impose que les installations de production raccordées en BT ne doivent pas absorber d'énergie réactive. Calculer la puissance de la batterie de condensateurs, à compensation automatique, à installer.
- Pour des raisons de commodité de raccordement, la compensation d'énergie réactive est installée au niveau du TGBT et non pas directement sur les bornes de la génératrice. Quelles auraient été les influences de ce positionnement sur le réglage du Long Retard de QG et sur la section du câble?
- La batterie de condensateur est composée de gradins de 10 kVar et le rendement de l'ensemble "chute d'eau – turbine – génératrice" est estimé constant et égal à 65 %. Placer en bleu sur le document réponse 1, pour chaque mois, le niveau de puissance active fournie au réseau par la génératrice.
Placer en rouge sur le document réponse 1, pour les 4 mois d'octobre à janvier, le niveau de puissance réactive fournie par la batterie de condensateurs.
Remarques : - le régulateur varométrique détermine un facteur de puissance par excès.
- le pilotage des injecteurs de la turbine permet de ne jamais dépasser la puissance nominale de la génératrice.



Annexe 1

Détermination de la section des conducteurs

Les canalisations non enterrées

■ Détermination de la lettre de sélection.

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sous conduit profilé ou goulotte en apparent ou encastré ■ sous vide de construction, faux plafond ■ sous caniveau, moulure, plinthes, chambranles ■ en apparent contre mur ou plafond ■ sur chemin de câble ou tablettes non perforées 	B
		C
câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câble perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	E
câbles monoconducteurs		F

Les canalisations non enterrées (le coefficient K1)

■ Détermination de K1.

lettre de sélection	cas d'installation	k1
B	■ câbles dans des conduits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	■ câbles multiconducteurs	0,90
C	■ vides de construction et caniveaux	0,95
	■ pose sous plafond	0,95
B,C,E,F	■ autres cas	1

Les canalisations non enterrées (le coefficient K2)

■ Détermination de K2.

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2												
		nombre de circuits ou câbles multiconducteurs												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
B, C	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40	0,40	
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,78	0,72	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				
	simple couche au plafond	1,00	0,85	0,78	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64				
E, F	simple couche sur les tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1,00	0,85	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
	simple couche sur les échelles à câbles corbeaux, etc.	1,00	0,85	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :
 0,80 pour 2 couches - 0,73 pour 3 couches - 0,70 pour 4 ou 5 couches - 0,68 pour 6 ou 8 couches - 0,65 pour 9 et plus.

Les canalisations non enterrées (le coefficient K3)

■ Détermination de K3.

températures ambiantes °C	isolants		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71
65	-	-	0,65

Les canalisations non enterrées

■ Choix des sections : cuivre.

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)							
	caoutchouc ou PVC				butyle ou PR ou éthylène PR			
	B	PVC3	PVC2	PR3	PR3	PR2	PR2	
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36
4	28	32	34	36	40	42	45	49
6	36	41	43	45	51	54	58	63
10	50	57	60	63	70	75	80	86
16	68	76	80	85	94	100	107	115
25	89	96	101	112	119	127	138	149
35	110	119	126	138	147	158	169	200
50	134	144	153	168	179	192	207	242
70	171	184	196	213	229	246	268	310
95	207	223	238	258	278	298	328	377
120	239	259	276	299	322	346	382	437
150		299	319	344	371	395	441	504
185		341	364	392	424	450	506	575
240		403	430	461	500	538	599	679
300		464	497	530	576	621	693	783
400					656	754	825	940
500					749	868	946	1083
630					855	1005	1088	1254

Les canalisations non enterrées

■ Choix des sections : aluminium.

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)							
	caoutchouc ou PVC				butyle ou PR ou éthylène PR			
	B	PVC3	PVC2	PR3	PR3	PR2	PR2	
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28
4	22	25	26	28	31	33	35	38
6	28	32	33	36	39	43	45	49
10	39	44	46	49	54	59	62	67
16	53	59	61	66	73	79	84	91
25	70	73	78	83	90	98	101	108
35	86	90	96	103	112	122	126	135
50	104	110	117	125	136	149	154	164
70	133	140	150	160	174	192	198	211
95	161	170	183	195	211	235	241	257
120	186	197	212	226	245	273	280	300
150		227	245	261	283	316	324	346
185		259	280	298	323	363	371	397
240		305	330	352	382	430	439	470
300		351	381	406	440	497	508	543
400					526	600	663	740
500					610	694	770	856
630					711	808	899	996



Annexe 2

CABLES RIGIDES ET SEMI-RIGIDE POUR INSTALLATIONS INDUSTRIELLES

U-1000 R2V NF C 32-321 CUIVRE



Libellé	S	Code		Prix	VALEURS		Service payant	Libellé	S	Code		Prix	VALEURS		Service payant
Désignation		Code	SAP	€/km	Mini	Increment	Coupe	Désignation		Code	SAP	€/km	Mini	Increment	Coupe
AMES EN CUIVRE MASSIVES								AMES EN CUIVRE CABLEES CLASSE 2							
6G1,5 GL		01248563	10048108	1 927	50	1	150	3x35 GL		01360480	10013009	12 700	20	1	150
8G1,5 GL		01248566	10048110	2 614	30	1	150	3x50 GL		01360490	10013039	18 720	20	1	150
10G1,5 GL		01248556	10048111	2 903	30	1	150	3x50+35 GL		01361040	10013120	22 283	20	1	150
14G1,5 GL		01248559	10048113	3 893	30	1	150	3x70 GL		01360500	10013190	25 404	20	1	150
19G1,5 GL		01361500	10046515	5 307	30	1	150	3x70+35 GL		01361050	10013204	30 365	20	1	150
24G1,5 GL		01361600	10046517	6 967	30	1	150	3x70+50 GL		01361060	10013208	31 202	20	1	150
27G1,5 GL		01361640	10046519	7 585	30	1	150	3x95 GL		01360510	10013010	34 847	20	1	150
30G1,5 GL	C	01248562	10048117	8 739	1700	1	NON	3x95+50 GL		01361070	10013030	40 299	20	1	150
37G1,5 GL		01361700	10046520	10 041	30	1	150	3x120 GL		01360520	10013361	46 092	20	1	150
10G2,5 GL	C	01248557	10048120	4 543	500	1	NON	3x120+70 GL		01361080	10013352	53 667	20	1	150
								3x150 GL		01360530	10013294	56 529	20	1	150
19G2,5 GL		01361510	10046516	8 250	20	1	150	3x150+70 GL		01361090	10013353	63 735	10	1	150
24G2,5 GL		01361610	10046518	10 938	20	1	150	3x185 GL		01360540	10013440	68 999	10	1	150
27G2,5 GL		01248561	10048125	12 247	20	1	150	3x185+70 GL		01361100	10013358	75 694	10	1	150
37G2,5 GL		01361710	10046521	16 305	20	1	150	3x240 GL		01360550	10012938	86 975	10	1	150
7G4 GL		01248564	10048127	5 161	20	1	150	3x240+95 GL		01361120	10012937	97 695	10	1	150
AMES EN CUIVRE CABLEES CLASSE 2								AMES EN CUIVRE CABLEES CLASSE 2 petites sections et 7 conducteurs et plus							
1x35 GL		01360080	10012978	4 073	20	1	150	4G35 GL		01360685	10013032	16 434	10	1	150
1x50 GL		01360090	10013072	5 811	20	1	150	4x35 GL		01360680	10013031	16 341	10	1	150
1x70 GL		01360100	10013073	7 747	20	1	150	4G50 GL		01360695	10013122	24 101	10	1	150
1x95 GL		01360110	10012979	10 300	10	1	150	4x50 GL		01360690	10013121	23 927	10	1	150
1x120 GL		01360120	10013093	13 040	10	1	150	4G70 GL		01360705	10013338	32 986	10	1	150
1x150 GL		01360130	10013092	16 104	10	1	150	4x70 GL		01360700	10013343	32 956	10	1	150
1x185 GL		01360140	10013059	19 878	10	1	150	4G95 GL		01360715	10013035	45 455	10	1	150
1x240 GL		01360150	10013071	25 529	10	1	150	4x95 GL		01360710	10013034	44 227	10	1	150
1x300 GL		01360160	10013411	32 438	10	1	150	4x120 GL		01360720	10013362	58 764	10	1	150
1x400 GL		01360170	10013413	45 891	10	1	150	4x150 GL		01360730	10013295	71 665	10	1	150
1x500 GL		01360180	10014670	61 588	10	1	150	4x185 GL		01360740	10013441	89 749	10	1	150
1x630 GL		01094581	10014671	76 760	10	1	150	5G35 GL		01383880	10013033	20 740	10	1	150
2x35 GL		01360280	10012985	8 753	10	1	150	5G50 GL		01360895	10013123	30 115	10	1	150
2x50 GL		01360290	10013038	13 257	10	1	150	5G70 GL		01006480	10013354	41 872	10	1	150
								5G95 GL		01006481	10013943	56 827	10	1	150

U-1000 AR2V NF C 32-321 ALUMINIUM



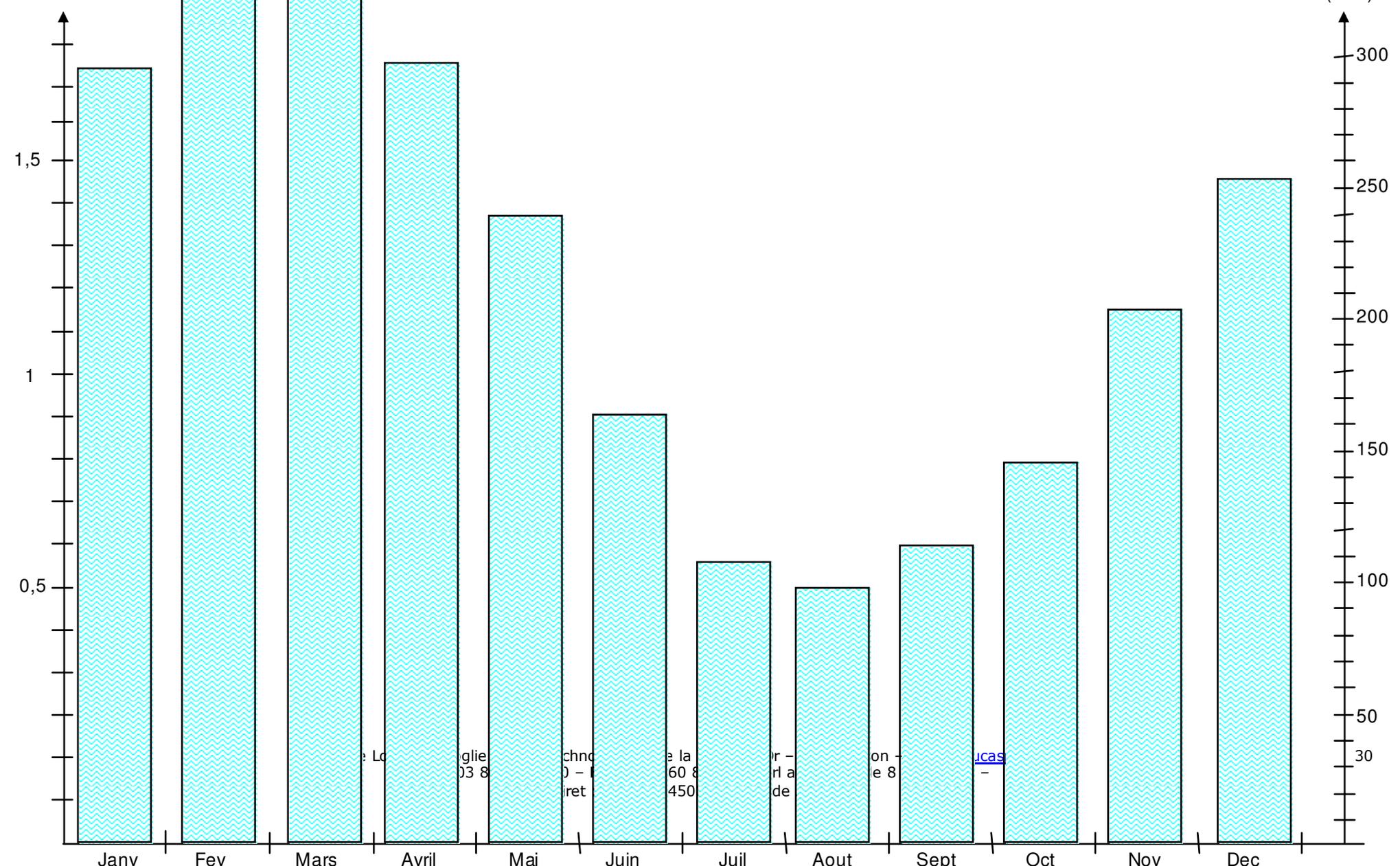
1x35 GL		01362080	10044029	1 068	50	1	150	3x70+50 GL		01362890	10043997	7 546	20	1	150
1x50 GL		01362090	10043984	1 383	50	1	150	3x95 GL		01362510	10044012	8 700	20	1	150
1x70 GL		01362100	10043985	1 888	30	1	150	3x95+50 GL		01362900	10043998	9 731	20	1	150
1x95 GL		01362110	10043986	2 493	30	1	150	3x120+70 GL		01362920	10043999	12 267	20	1	150
1x120 GL		01362120	10043987	3 046	30	1	150	3x150+70 GL		01362940	10044000	14 992	20	1	150
1x150 GL		01362130	10043988	3 781	20	1	150	3x185+95 GL		01362960	10044001	19 049	20	1	150
1x185 GL		01362140	10043989	4 678	20	1	150	3x240+95 GL		01362970	10044002	23 045	20	1	150
1x240 GL		01362150	10043990	5 895	20	1	150	4G25 GL		01362670	10057449	3 647	20	1	150
1x300 GL		01362160	10043991	7 879	20	1	150	4x25 GL		01362675	10057463	3 648	20	1	150
1x400 GL		01362170	10043992	9 980	20	1	150	4G35 GL		01362600	10057448	4 685	20	1	150
1x630 GL		01362190	10044014	16 791	20	1	150	4x35 GL		01362680	10043983	4 661	20	1	150
2x25RM GL		01362270	10057343	2 187	30	1	150	4x50 GL		01362690	10043994	5 906	20	1	150
2x35RC GL		01363001	10098424	2 726	30	1	150	4x70 GL		01362700	10043995	8 318	20	1	150
3x35 GL		01362400	10057451	3 962	20	1	150	4x95 GL		01362710	10043996	11 018	20	1	150
3x50 GL		01362490	10057430	4 828	20	1	150	4x150 GL		01362730	10057458	17 568	20	1	150
3x70 GL		01362500	10043993	6 482	20	1	150	4x240 GL		01362750	10057440	28 244	20	1	150



Document Réponse 1

Débit (m³/s)

P (kW)
Q (kVar)





LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (2)

PROTECTION DES PERSONNES DANS UNE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

2. Présentation

Il existe aujourd'hui 1 810 micro centrales, dont 326 au groupe EDF, 32 à la SNCF et 1452 à des producteurs indépendants produisant 8,45 TWh (1 300 centrales sont d'une puissance inférieure à 1000 kW), soit environ 1,5 % de la production électrique nationale et 10 % de la production hydroélectrique nationale.

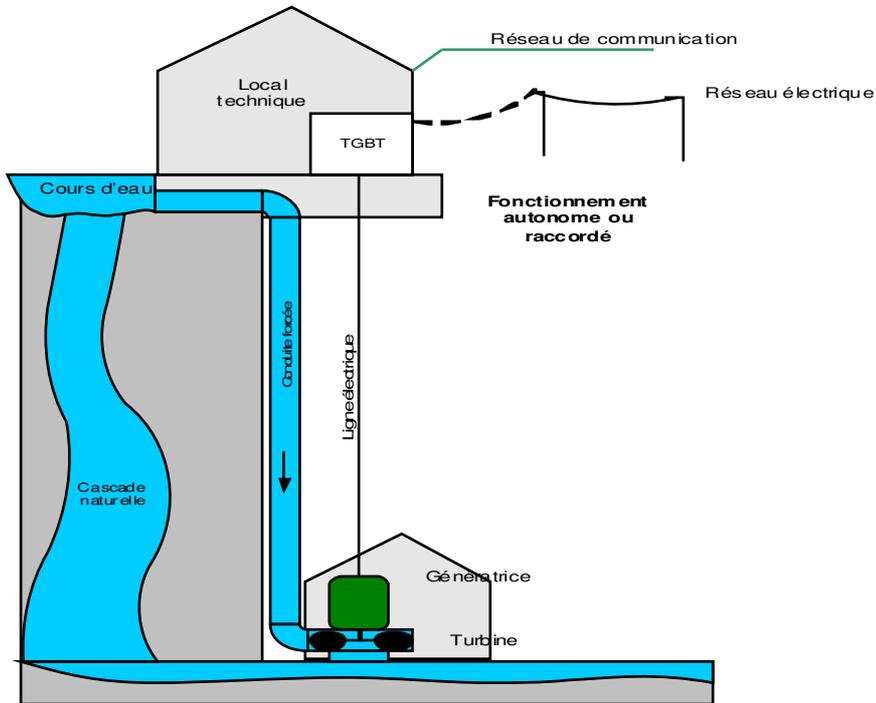
La facilité d'exploitation de ces équipements, leur technologie parfaitement maîtrisée (contrairement au nucléaire), leurs conséquences limitées et réversibles sur l'environnement, en font donc une énergie renouvelable cruciale qui arrive, en potentiel, au deuxième rang derrière l'exploitation énergétique de la biomasse (bois, méthanisation...). Cette énergie décentralisée est aussi créatrice d'emplois ruraux, et de ressources fiscales souvent uniques au niveau des petites communes qui les abritent. On estime à 2000 les emplois actuellement induits par les microcentrales.

Cette production d'électricité ne rejette pas de gaz à effet de serre responsables du changement climatique.

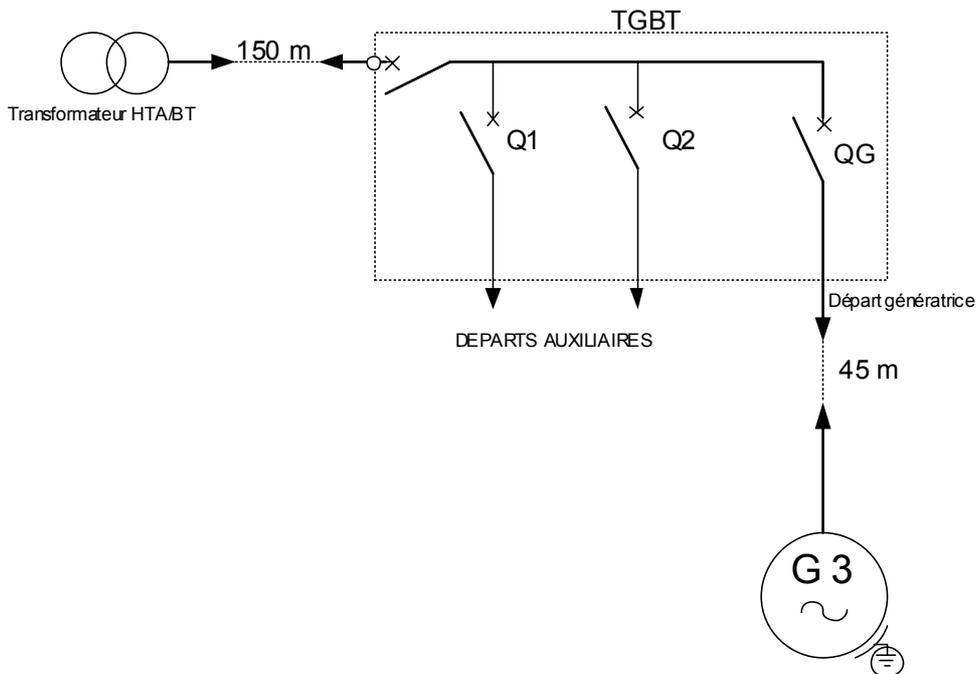
La microcentrale hydroélectrique étudiée possède les caractéristiques suivantes :

- hauteur de chute : 25 m
- débit moyen : 1,4 m³/s
- génératrice asynchrone : 250 kW
- turbine Pelton.

Elle peut fonctionner raccordée au réseau BT du distributeur local ou fonctionner en îlot (réseau autonome).



3. Etude de la microcentrale réelle





Données techniques :

- réseau triphasé 400 V entre phases
- facteur de puissance de la génératrice à 100/75/50/25 % de charge : 0,84/0,82/0,75/0,54
- canalisation A: câbles unipolaires isolés au Polyéthylène Réticulé, posés en un seul circuit sur une échelle à câble, à une température ambiante maxi de 40°C
- disjoncteur de départ QG du poste de transformation : calibre 630 A, crans de réglage de la protection I_{inst} contre les courts-circuits : 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 $\times I_{Rth}$. Le réglage prévu est le cran n°6 ; précision des réglages : $\pm 20\%$.
- disjoncteur d'arrivée QP du poste de transformation : calibre 630 A, crans de réglage de la protection I_{inst} contre les courts-circuits : 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 $\times I_{Rth}$. Le réglage prévu est le cran n°6 ; précision des réglages : $\pm 20\%$.
- caractéristiques des câbles : résistivité du cuivre $\rho = 0,0225 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, résistivité de l'aluminium $\rho = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, réactance $\lambda = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$.
- Les câbles sont des câbles de 240 mm² aluminium pour les phases.
- Les câbles sont des câbles de 120 mm² aluminium pour le PE et le neutre.

2-1 Etude du schéma général de l'installation :

2.1.1) Dans un tableau, répertorier les appareils de contrôle nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.

Expliquer le rôle de chacun et quand ils doivent agir

2.1.2) D'après la documentation technique disponible, comment doit être raccordé le neutre ?

2.1.3) Justifier le rôle des contacteurs N et R dans le schéma de principe donné fig 7.12 du document "générateurs et installations électriques.pdf".

2.1.4) D'après la documentation fournie, représenter le schéma général du local technique.

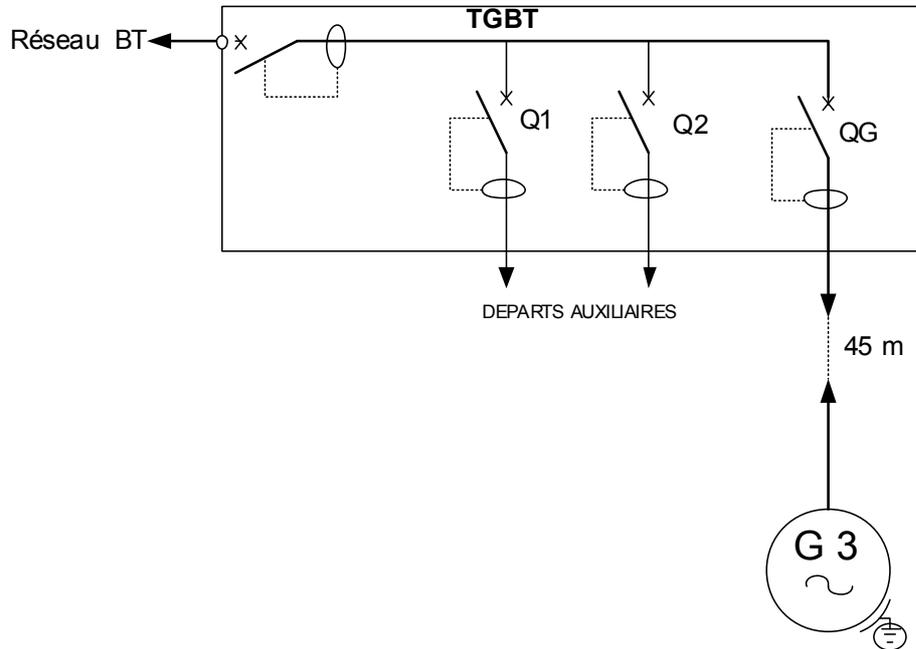
Conseils:

Voir Doc technique "générateurs et installations électriques.pdf". §7.4.9 et ouvrage sur les symboles électriques

Voir Doc technique "générateurs et installations électriques.pdf". §7.4.4 et "décret du 170303rtf"

Voir Doc technique "générateurs et installations électriques.pdf". §7.4.9

2-2 Etude de la sécurité :



Dessin2

- 2.2.1) Quel est le régime de neutre imposé dans un réseau de distribution BT ?
- 2.2.2) Sachant que $R_a = 14 \Omega$ (résistance de la prise de terre des masses) et $R_b = 6 \Omega$ (résistance de la prise de terre du neutre), calculer la sensibilité du DDR.
- 2.2.3) Justifier le réglage du court retard au cran 6 du disjoncteur QG.
- 2.2.4) Reproduire le tableau ci-dessous et indiquer, dans chaque cas prévu, si la sécurité des biens et des personnes est assurée. Définir quel appareil assurera cette sécurité.

Conseils:

Voir ouvrage sur les schémas des liaisons à la terre

Voir Doc technique " générateurs et installations électriques.pdf". §4.3.4

On utilisera les codes suivants :

- *DDR*: dispositif à courant résiduel.
- *Magn*: dispositif magnétique d'un appareil de protection.
- *Ther*: dispositif thermique d'un appareil de protection..

	Local technique		Local turbine	
	Défaut franc phase-neutre	Défaut franc phase-terre	Défaut franc phase-neutre	Défaut franc phase-terre
Fonctionnement raccordé au réseau BT				
Fonctionnement en isolé				

2.2.4) Est ce que la sécurité est assurée dans tous les cas ? |



Thème 3

Les différents procédés de transformation de l'énergie

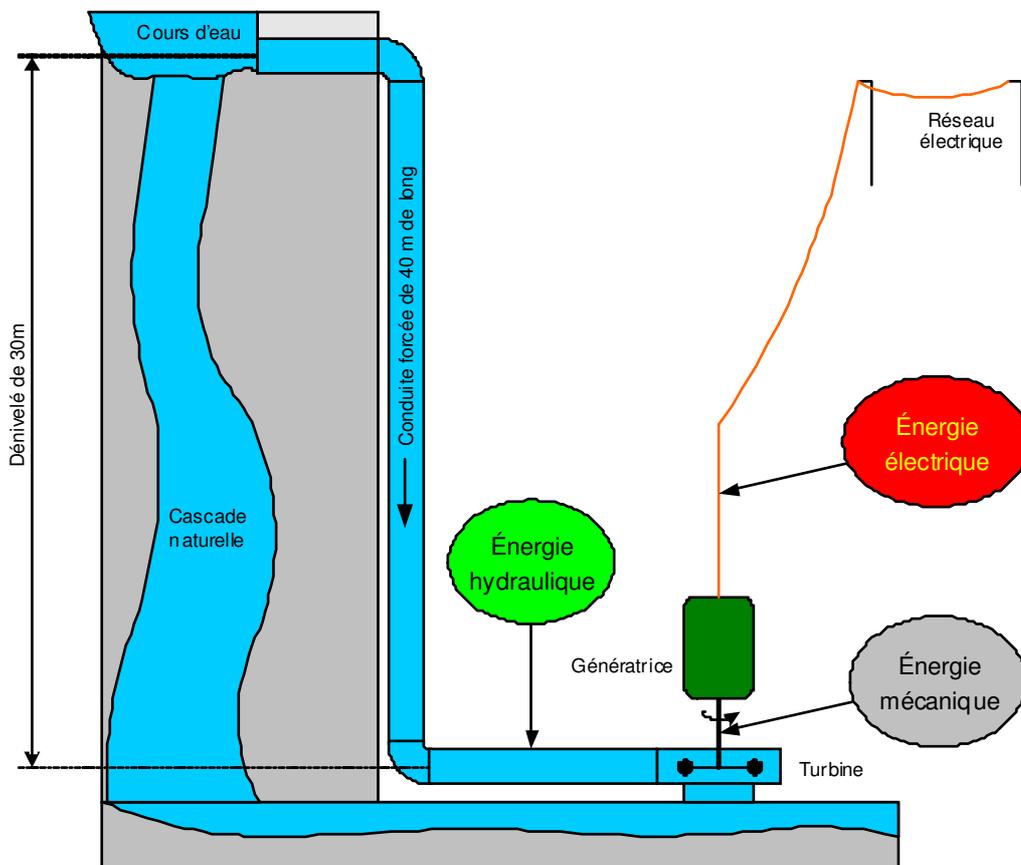
LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE

LES TRANSFORMATIONS ÉNERGÉTIQUES DANS UNE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation du problème :

Dans une centrale hydroélectrique, l'énergie électrique de sortie provient de l'énergie hydraulique d'une chute d'eau. Cette transformation d'énergie se fait en deux étapes :

- Une transformation hydraulique / mécanique par l'intermédiaire d'une turbine ;
- Une transformation mécanique / électrique par l'intermédiaire d'une génératrice.





L'objectif de cet essai est de comprendre la transformation d'énergie hydraulique en énergie mécanique dans une turbine et de déterminer les réglages à réaliser pour obtenir un rendement maximum.

La turbine est de type Pelton à 6 jets dont certains peuvent être ouverts ou fermés manuellement.

2. Détermination de l'énergie hydraulique à l'entrée de la turbine

Le relevé réel du débit de la rivière est donné mensuellement en annexe 1. Un débit minimum de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ doit être conservé dans le cours naturel de la rivière. La canalisation à une longueur de 40m, les pertes de charges sont considérées constantes égales à 5 mm d'eau par mètre de conduite. Le dénivelé entre la prise d'eau et l'entrée de la turbine est de 30 m.

- Pour chaque mois, calculer le débit utilisable par la turbine (débit turbinable).
- Calculer la pression à l'entrée de la turbine en fonctionnement normal.

Le débit nominal de la turbine réelle est de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, elle possède 6 jets pouvant être ouverts ou fermés.

- Pour chaque mois, déterminer le nombre de jets à ouvrir et le débit réel turbiné.
- En déduire pour chaque mois la puissance hydraulique fournie à la turbine.

Relevé de la puissance hydraulique sur la centrale hydroélectrique didactique

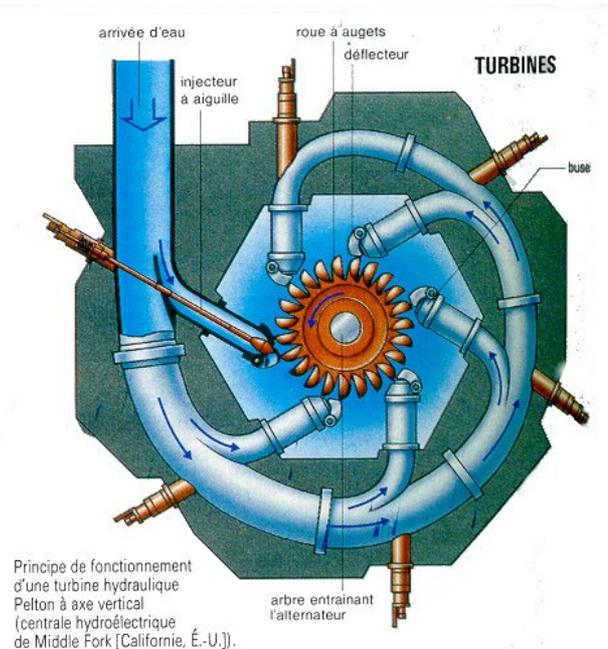
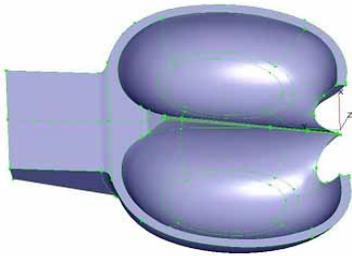
- Mettre en service la centrale en appliquant la procédure de mise en marche, puis la connecter au réseau.
- Régler la pression à 7 bars et relever pour 3, 4, 5 et 6 jets, le débit et la puissance active électrique produite.
- Tracer sur un même graphe la puissance hydraulique et la puissance électrique en fonction du débit.
- Est-il possible de faire fonctionner la centrale entre 2 points ?
- Que se passe-t-il dans la réalité si le débit turbinable se situe au-dessus du débit autorisé par les injecteurs ?
- Que se passe-t-il dans la réalité si le débit turbinable se situe en dessous du débit autorisé par les injecteurs ?
- Valider votre réponse en réalisant un essai satisfaisant cette dernière condition.

3. Conversion d'énergie hydraulique en énergie mécanique : la turbine Pelton

Principe :

L'eau de la canalisation sous pression est amenée sur des injecteurs créant ainsi des jets qui viennent heurter des augets en forme de demi coquilles.

Le nombre d'injecteur est variable. Ils peuvent être commandé en tout ou rien ou posséder une aiguille de réglage de débit.



Principe de la transformation de l'énergie



La vitesse du jet en sortie d'injecteur est donnée par la relation : $v = \sqrt{2gh}$

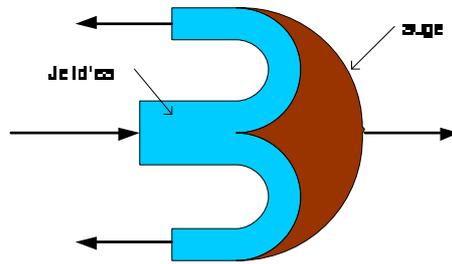
Avec h : hauteur d'eau nette à l'entrée de l'injecteur

- A quelle hauteur h nette correspond une pression de 7 bars à l'entrée de l'injecteur ?
- Calculer la vitesse du jet d'eau à la sortie de l'injecteur.
- Pour un diamètre du jet d'eau de 10 mm, quel serait alors le débit correspondant ?

Afin d'expliquer le phénomène de transformation d'énergie, nous allons étudier 3 cas :

- Cas N°1 : l'auget est à l'arrêt
- Cas N°2 : l'auget se déplace à une vitesse linéaire égale à la moitié de la vitesse du jet
- Cas N°3 : l'auget se déplace à une vitesse linéaire égale à la vitesse du jet d'eau

La vitesse du jet d'eau V_j est considérée constante



Compléter le tableau ci-dessous pour les 3 cas en répondant aux questions suivantes :

En se plaçant sur l'auget (référence)

- Déterminer la vitesse d'impact V_i du jet en fonction de V_j et V_a .
- L'auget renvoie l'eau à la même vitesse mais dans la direction opposée. Déterminer la relation de la vitesse V_{ra} de l'eau renvoyée.

En se plaçant sur le bâti de la turbine (repère fixe)

- Déterminer la relation de la vitesse V_{rb} de l'eau renvoyée en fonction de V_j et V_a .
- Déterminer l'énergie cinétique du jet entrant W_{je} en fonction de la masse volumique de l'eau ρ , du débit Q , de V_j et du temps t .
- Déterminer l'énergie cinétique du jet renvoyé W_r en fonction de la masse volumique de l'eau ρ , du débit Q , de V_{rb} et du temps t .
- Déterminer l'énergie cinétique transmise à l'auget W_a en fonction de la masse volumique de l'eau ρ , du débit Q , de V_j , V_{rb} et du temps t .
- Déterminer la puissance P_a transmise à l'auget en fonction de la masse volumique de l'eau ρ , du débit Q , de V_j et V_a .

	Relations	Cas N°1 : $V_a=0$	Cas N°2 : $V_a=V_j/2$	Cas N°3 : $V_a=V_j$
Vitesse d'impact V_i				
Vitesse de renvoi par rapport à l'auget V_{ra}				
Vitesse de renvoi par rapport au bâti V_{rb}				
Energie cinétique du jet entrant W_e				
Energie cinétique du jet renvoyé W_s				

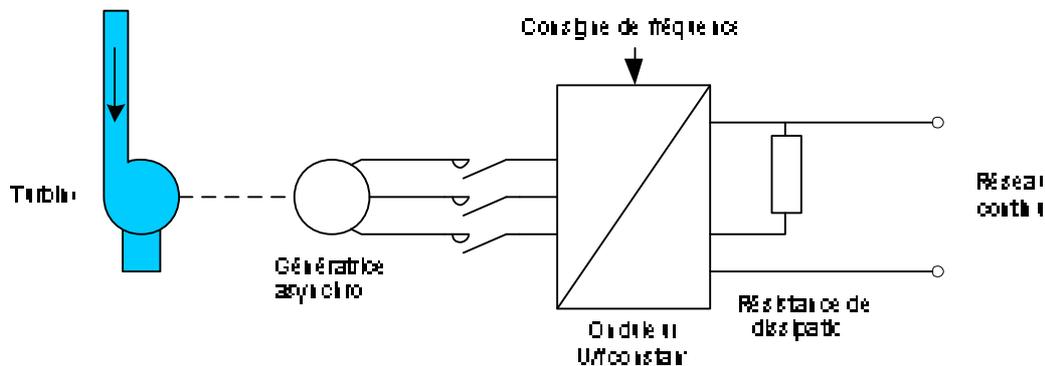
Energie cinétique transmise à l'auget W_a				
Puissance transmise à l'auget P_a				

- Expliquer pourquoi le cas N°2 est un optimum de puissance.

Une turbine Pelton est donc construite en fonction des données du site pour obtenir un fonctionnement optimum.

- Sachant que la roue à augets à un diamètre de 25 cm et que la vitesse de synchronisme de la génératrice est de 1500 tr/min, déterminer la hauteur de chute nette optimale pour cette turbine.
- Expliquer pourquoi dans une centrale hydroélectrique raccordée au réseau, il est impératif d'avoir une pression constante à l'entrée de la turbine Pelton.

Essais de validation



Choisir le mode de fonctionnement autonome, puis ouvrir complètement la vanne de pieds. Fermer la vanne de pieds, puis mettre en service la centrale avec une pression de 7 bars et 6 jets ouverts.

- Pour une fréquence de l'onduleur variant de 30 à 70 Hz, relever le débit, la pression, la vitesse de rotation de la turbine et la puissance active qui transite dans l'onduleur.
- Faire un nouveau relevé avec 4 jets ouverts.
- Tracer sur un même graphe et dans les 2 cas : la puissance hydraulique et la puissance électrique en fonction de la vitesse de rotation de la turbine.
- Vérifier l'optimum de puissance et la vitesse correspondante. Ces courbes sont elles conformes à l'étude théorique ?



Réglage de la puissance par le nombre de jets

- Pour uniquement la vitesse correspondant au fonctionnement optimum, relever la puissance hydraulique et électrique pour 3 et 5 jets.
- Tracer la puissance électrique obtenue en fonction du débit.

Réglage de la puissance par la vanne de pieds

Les 6 jets sont ouverts et le débit est réglé par la vanne de pieds.

- Pour les 4 débits précédents, rechercher en faisant varier la fréquence de l'onduleur entre 20 et 50 Hz, les optimums de puissance. Relever pour ces points le débit, la pression avant la vanne de pieds, la pression après la vanne de pieds, la vitesse de rotation et la puissance électrique qui transite dans l'onduleur.
- Calculer pour chaque point la puissance hydraulique avant la vanne de pieds et après la vanne de pieds.
- Tracer en fonction du débit et sur le même graphe que précédemment, la puissance hydraulique après la vanne de pieds et la puissance électrique.
- Expliquer pourquoi avec le même débit, on obtient une puissance inférieure dans le 2^{ème} cas.
- D'où viennent les pertes supplémentaires ?



Thème 4

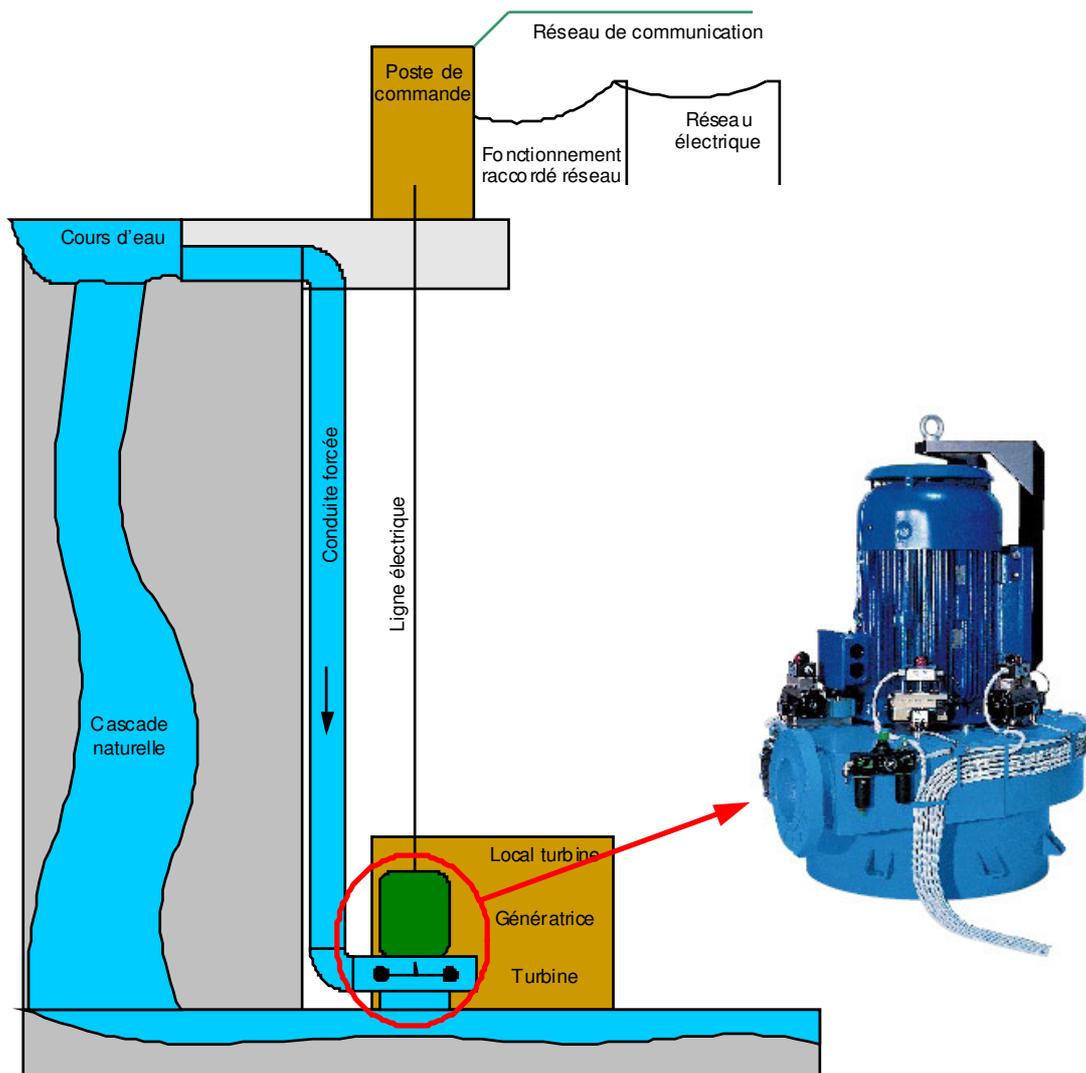
La réversibilité énergétique

LA RÉVERSIBILITÉ ÉNERGÉTIQUE

RÉVERSIBILITÉ DE L'ÉNERGIE DANS UNE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE RACCORDÉE AU RÉSEAU

1. Présentation du problème :

Dans les petites centrales hydrauliques raccordées au réseau, il est nécessaire d'utiliser des éléments qui sont à la fois simple d'emploi, endurants et nécessitant peu de maintenance afin de réduire les coûts de construction et d'exploitation. Le générateur électrique alors employé est généralement une machine asynchrone.

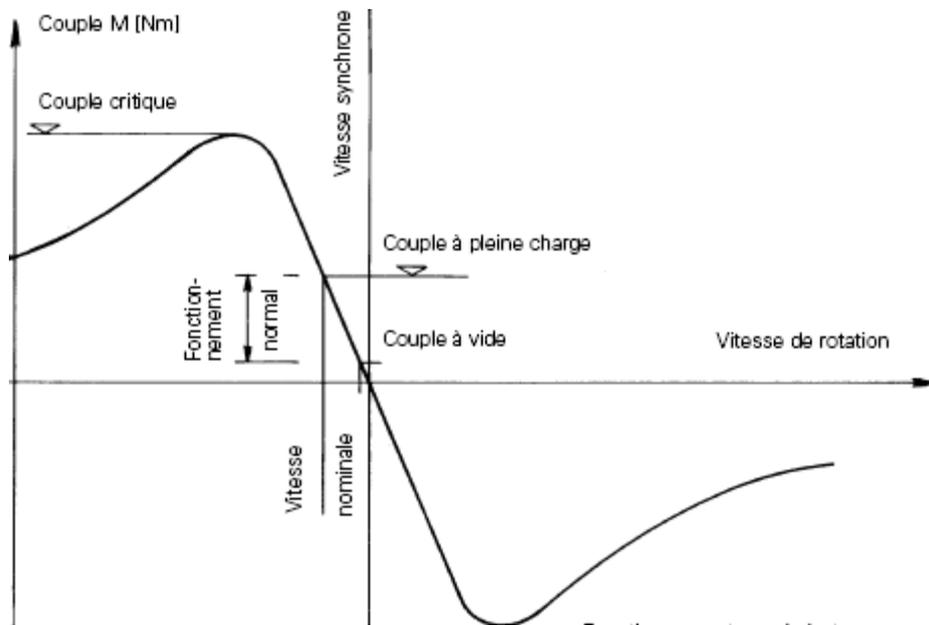


L'objectif de cet essai est de comprendre le fonctionnement de la machine asynchrone en fonctionnement en génératrice et de voir comment évoluent les caractéristiques de cette machine par rapport à un fonctionnement en moteur.

2. Caractéristiques de la machine asynchrone

La machine asynchrone en fonctionnement moteur à pour caractéristiques nominales :
 $U = 400 \text{ V}$ $P = 2,2 \text{ kW}$ $\cos \varphi = 0,85$ $\eta = 0,85$ $n = 2970 \text{ tr/min}$

Caractéristique de couple de la machine asynchrone



- Préciser le quadrant moteur et générateur sur la caractéristique de couple de la machine.
- Préciser sur cette caractéristique la zone de fonctionnement normal de la machine en moteur.
- Donner la vitesse de synchronisme de la machine et préciser à quoi elle correspond.
- Sachant que l'écart de vitesse $\Delta n = |n_s - n|$ ne doit jamais excéder $n_s - n_{nr}$, calculer la vitesse nominale de rotation de la machine en fonctionnement en génératrice.
- Placer le point de fonctionnement nominal en génératrice sur la caractéristique de couple de la machine.
- En déduire sur cette caractéristique, la zone de fonctionnement normal de la machine en génératrice.



3. Etude du fonctionnement de la machine en moteur :

Fermer la vanne de pied de la canalisation de la turbine.

Mettre en marche la centrale puis connecter la génératrice au réseau.

- Quelle est la puissance hydraulique fournie à la turbine.
- Mesurer la puissance active électrique de la génératrice.
- Dans quel sens circule cette puissance. A quoi correspond-t-elle.
- Mesurer la puissance réactive de la génératrice.
- Dans quel sens circule cette puissance. A quoi correspond-t-elle.
- Calculer le facteur de puissance.
- Relever le courant en ligne et tracer le diagramme de Fresnel des tensions et courant statoriques pour une phase.
- Relever la vitesse de rotation et placer le point de fonctionnement sur la caractéristique de couple de la machine.

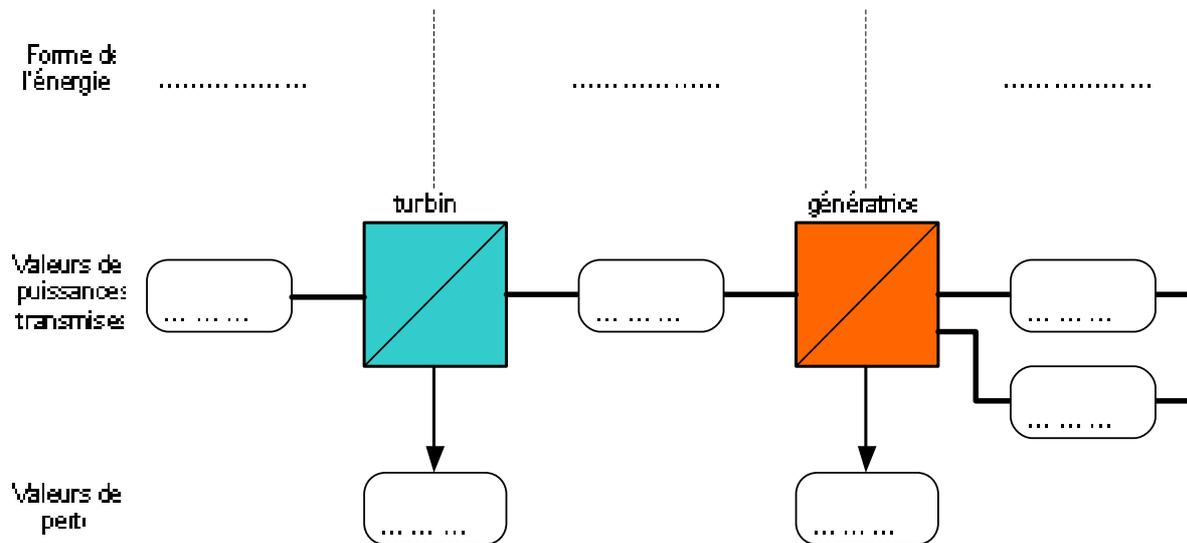
Arrêter la centrale

4. Fonctionnement de la machine en génératrice :

Mettre en marche la centrale et réaliser la procédure de couplage au réseau.

Pour les 6 jets en service :

- Déterminer la puissance hydraulique fournie à la turbine.
- Mesurer la puissance active de la génératrice.
- Dans quel sens circule cette puissance.
- Mesurer la puissance réactive de la génératrice.
- Dans quel sens circule cette puissance.
- Calculer le facteur de puissance.
- Relever le courant en ligne et tracer sur le diagramme de Fresnel précédents, les tensions et courant statoriques pour une phase.
- Relever la vitesse de rotation et placer le point de fonctionnement sur la caractéristique de couple de la machine. Calculer le glissement.
- En déduire la puissance mécanique sur l'arbre de la machine.
- En déduire les pertes de la turbine et celle de la génératrice.
- Compléter le diagramme des puissances ci-dessous et flécher les liaisons.



- Calculer le rendement global de la conversion d'énergie hydraulique en électrique.

Pour 3, 4 puis 5 jets :

- Relever la vitesse de rotation, le courant en ligne, la puissance active et réactive de la génératrice.
- Sur le diagramme de Fresnel, déduire de ces mesures l'évolution du vecteur courant selon la charge de la génératrice.
- Comment évoluerait ce vecteur courant pour un fonctionnement moteur.
- Tracer la courbe du courant I en fonction de la vitesse de rotation pour le fonctionnement en génératrice.
- Compléter cette courbe pour un fonctionnement moteur.
- Dans la relation $P = \sqrt{3} U I \cos\varphi$, quel est le terme qui définit le fonctionnement moteur ou génératrice de la machine asynchrone.



Thème 5

Dimensionnement énergétique dans les systèmes autonomes



DIMENSIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE DANS LES SYSTÈMES AUTONOMES

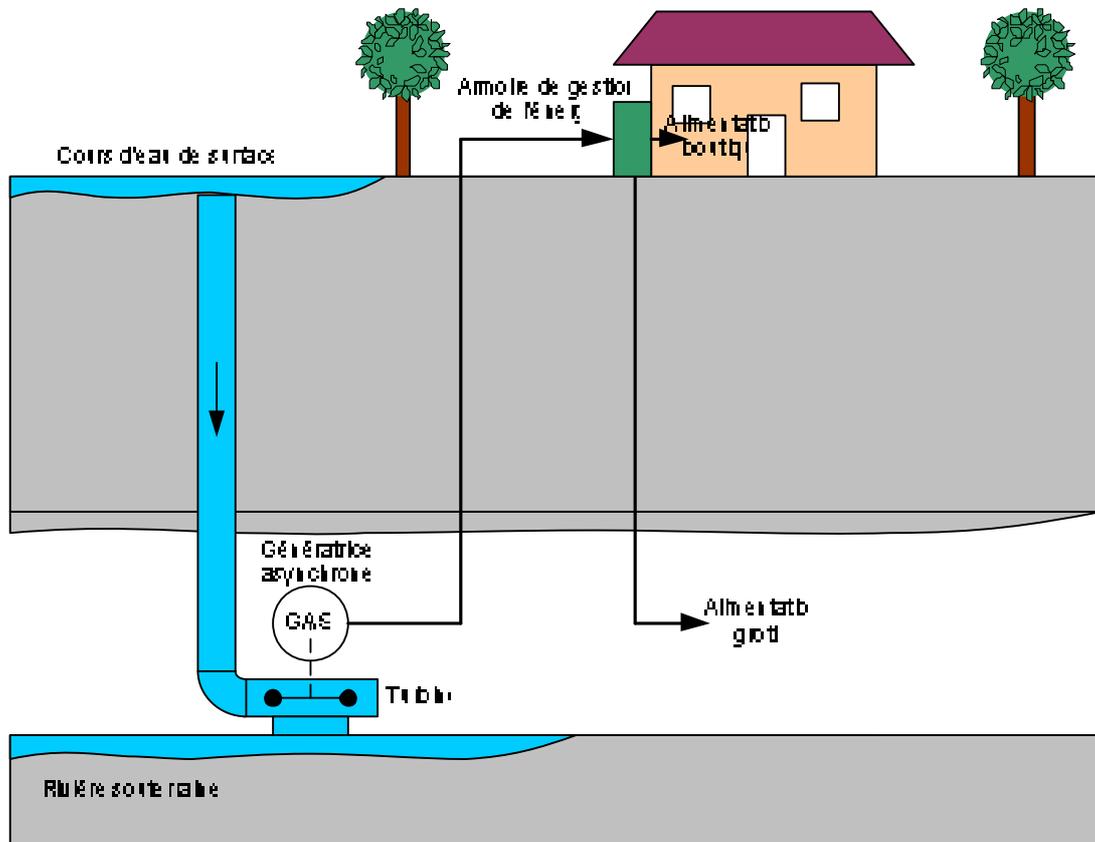
FONCTIONNEMENT AUTONOME D'UNE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation du problème :

Dans un site isolé loin de toutes lignes électriques, il est très rentable de faire appel aux énergies renouvelables pour alimenter celui ci en énergie électrique. Le choix du ou des types d'énergie doit se faire en prenant en considération le contexte naturel du site. La présence d'un cours d'eau, lorsqu'il est exploitable est l'assurance d'une énergie abondante et peu fluctuante.

L'étude qui suit propose de voir comment est dimensionné une centrale hydroélectrique autonome pour l'alimentation d'un site isolé.

L'exploitation touristique d'une grotte située dans le massif jurassien nécessite une source d'énergie électrique pour les besoins en éclairage de la grotte, mais aussi pour la boutique de souvenirs située en surface. Localisée dans une partie boisée et loin de toutes lignes électriques, il est envisagé de réaliser cette alimentation électrique à partir de la dérivation d'un cours d'eau situé à proximité.



Afin de limiter la consommation d'électricité dans la grotte, celle-ci est découpée en zones qui sont alimentées les unes après les autres au fur et à mesure de l'avancée de la visite. Seul une zone peut être alimentée à la fois. Elles sont toutes constituées d'éclairage basse tension 24V selon la répartition suivante :

- Zone 1 : 6 lampes 60 W
- Zone 2 : 12 lampes 30 W
- Zone 3 : 15 lampes 25 W
- Zone 4 : 9 lampes 40 W
- Zone 5 : 18 lampes 30 W
- Zone 6 : 12 lampes 50 W

La boutique de surface possède les équipements suivants :

- Total éclairage : 12 lampes 50 W
- Banc réfrigéré monophasé: 150 W
- Distributeur de boissons monophasé: 200 W
- Appareils auxiliaires monophasés : 180 W

2. Etude énergétique

2.2. Détermination de la quantité d'eau à dériver

L'énergie électrique est produite par une génératrice asynchrone triphasée raccordée à un onduleur.

La hauteur nette de chute est de 70 m, le rendement de la génératrice asynchrone ainsi que celui de la turbine est de 80%.

- Déterminer la puissance électrique nominale de la génératrice asynchrone.
- Déterminer la puissance hydraulique nécessaire à l'entrée de la turbine.
- En déduire le débit minimum d'eau qu'il faut dériver.

2.2. Amorçage de la génératrice asynchrone

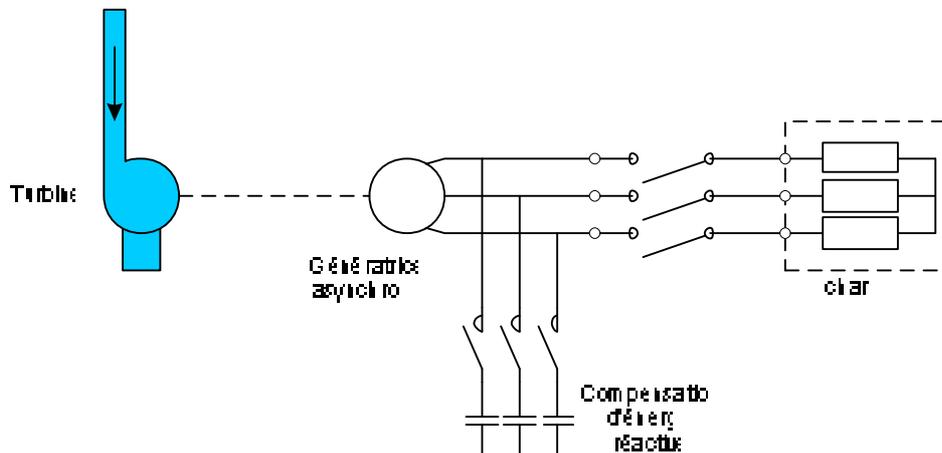
Pour qu'une génératrice asynchrone puisse fonctionner de manière autonome, il faut lui fournir l'énergie réactive nécessaire pour entretenir le flux dans la machine.

Les caractéristiques de la machine asynchrone en fonctionnement moteur sont :

$U = 400V$ $n_s = 3000 \text{ tr/min}$ $n_n = 2970 \text{ tr/min}$ $\cos\phi = 0,84$ $\eta = 0,80$ $P_u = 2200 \text{ W}$

- Calculer la puissance réactive qu'il faut fournir à la machine pour qu'elle puisse fonctionner de manière autonome.

Essais de vérification



La centrale est en mode autonome, la génératrice n'est raccordée qu'à une charge résistive.

La centrale est à l'arrêt, la vanne de pieds est fermée, la pression est réglée à 7 bars, les 6 jets sont en service.

- Fermé le contacteur de compensation d'énergie réactive.

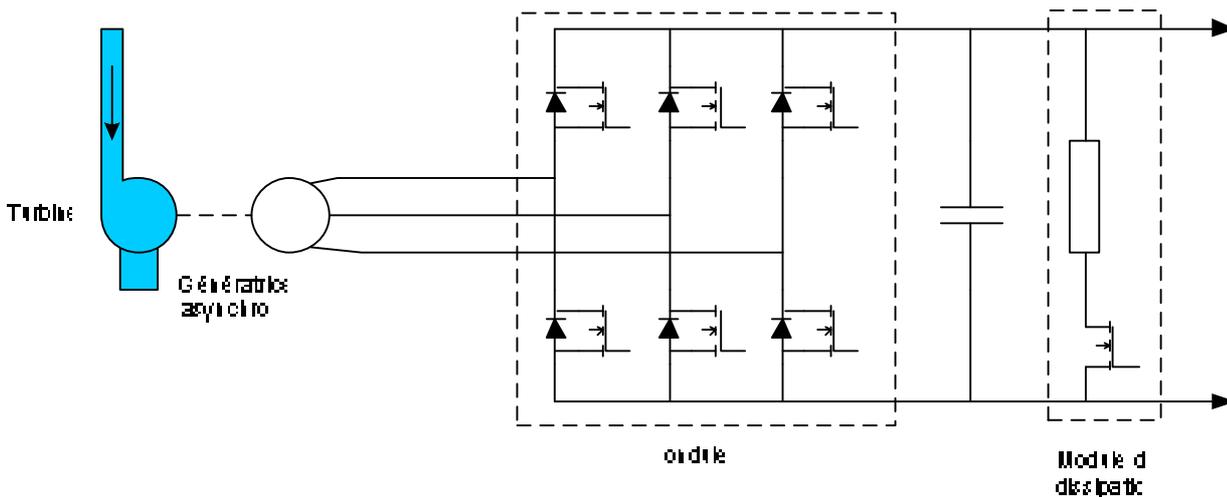
- Ouvrir progressivement la vanne de pieds et relever en fonction de la vitesse de rotation, la tension aux bornes de la génératrice et la fréquence.

Attention de ne pas dépasser 420 V entre phase.

- Placer une charge résistive de 200 W en sortie de la génératrice.
- Relever la vitesse de rotation et la puissance réelle fournie par la génératrice.
- Pourquoi la génératrice ne peut elle pas fournir la puissance demandée ?
- Dans un réseau isolé, quelles sont les 2 grandeurs importantes qu'il faut réguler ?
- Sur quels paramètres faudrait il agir pour réguler ces grandeurs ?

2.3. Génératrice associée à un onduleur

Pour résoudre les problèmes précédents, on se propose de relier la génératrice à un onduleur de tension à rapport U/f constant. La charge est constituée d'une résistance de dissipation.



L'onduleur impose une tension MLI de rapport U/f constant aux bornes de la machine asynchrone.

- Pour une fréquence de 50 Hz, quelle sera la valeur efficace du fondamental de la tension aux bornes de la MAS.
- Quelle doit être la tension du bus continu pour obtenir cette tension efficace ?

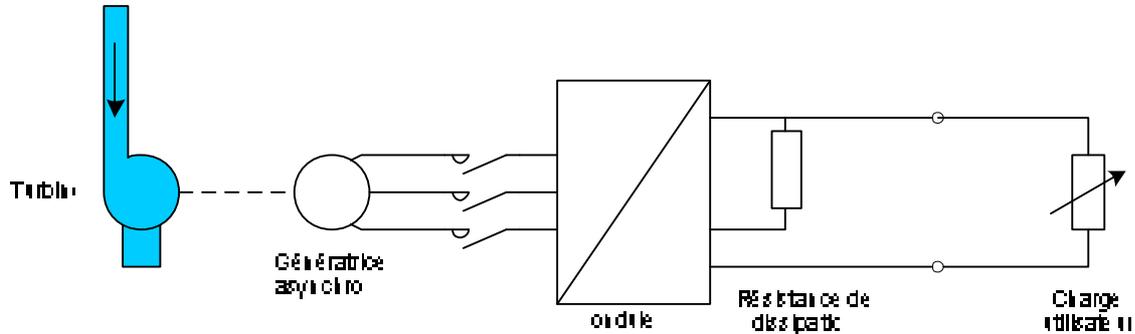
Pendant le fonctionnement en génératrice de la machine asynchrone, la tension du bus continu monte à 600 V.

- Pour une puissance électrique de la génératrice de 2 kW, quel serait le courant moyen en sortie d'onduleur côté continu.

La résistance de dissipation vaut 120 Ω

- Que vaut alors le rapport cyclique du hacheur du module de dissipation
- Si l'utilisateur consomme 1200 W sur le réseau continu, quelle serait la nouvelle valeur du rapport cyclique.
- Quel est le rôle du condensateur C.

Essais de validation



La centrale est en mode autonome, la génératrice est connectée à l'onduleur, la charge utilisateur n'est pas en service.

La centrale est à l'arrêt, la vanne de pieds est fermée, la pression est réglée à 7 bars, les 6 jets sont en service.

Ouvrir progressivement la vanne de pieds pour obtenir une vitesse de 3000 tr/min.

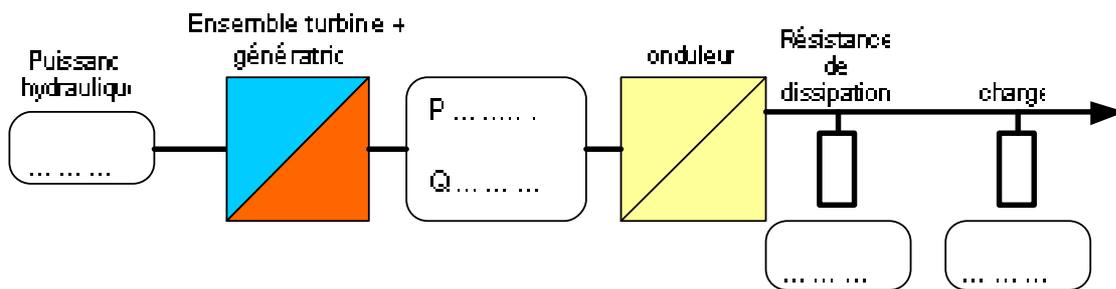
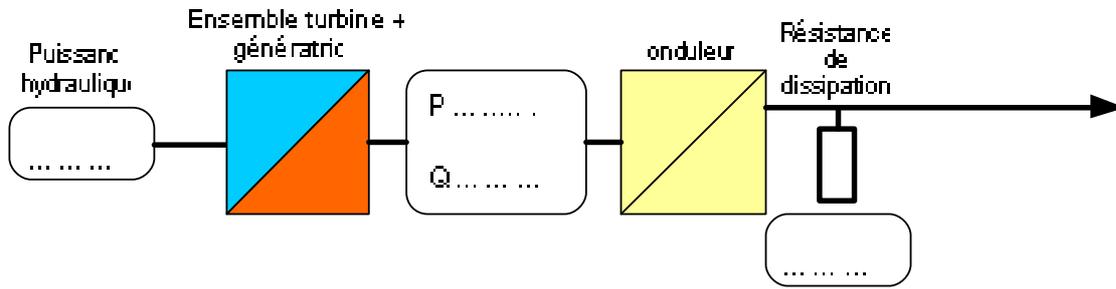
Mettre en service l'onduleur avec une consigne fréquence de 50 Hz.

Ouvrir ensuite complètement la vanne de pieds.

- Relever la vitesse de rotation ainsi que la puissance active et réactive en sortie de la génératrice.
- Relever à l'oscilloscope la forme du courant instantané dans la résistance de dissipation.
- En déduire la puissance dissipée dans cette résistance.

Placer une charge utilisateur de 500 W sur le réseau continu.

- Relever la vitesse de rotation ainsi que la puissance active et réactive en sortie de la génératrice.
- Relever à l'oscilloscope la forme le courant instantané dans la résistance de dissipation.
- En déduire la puissance dissipée dans cette résistance.
- Compléter les graphiques ci-dessous avec les relevés précédents. Quel est l'avantage de délester la puissance dans une résistance de dissipation plutôt que d'asservir la puissance de la génératrice ?





Thème 6

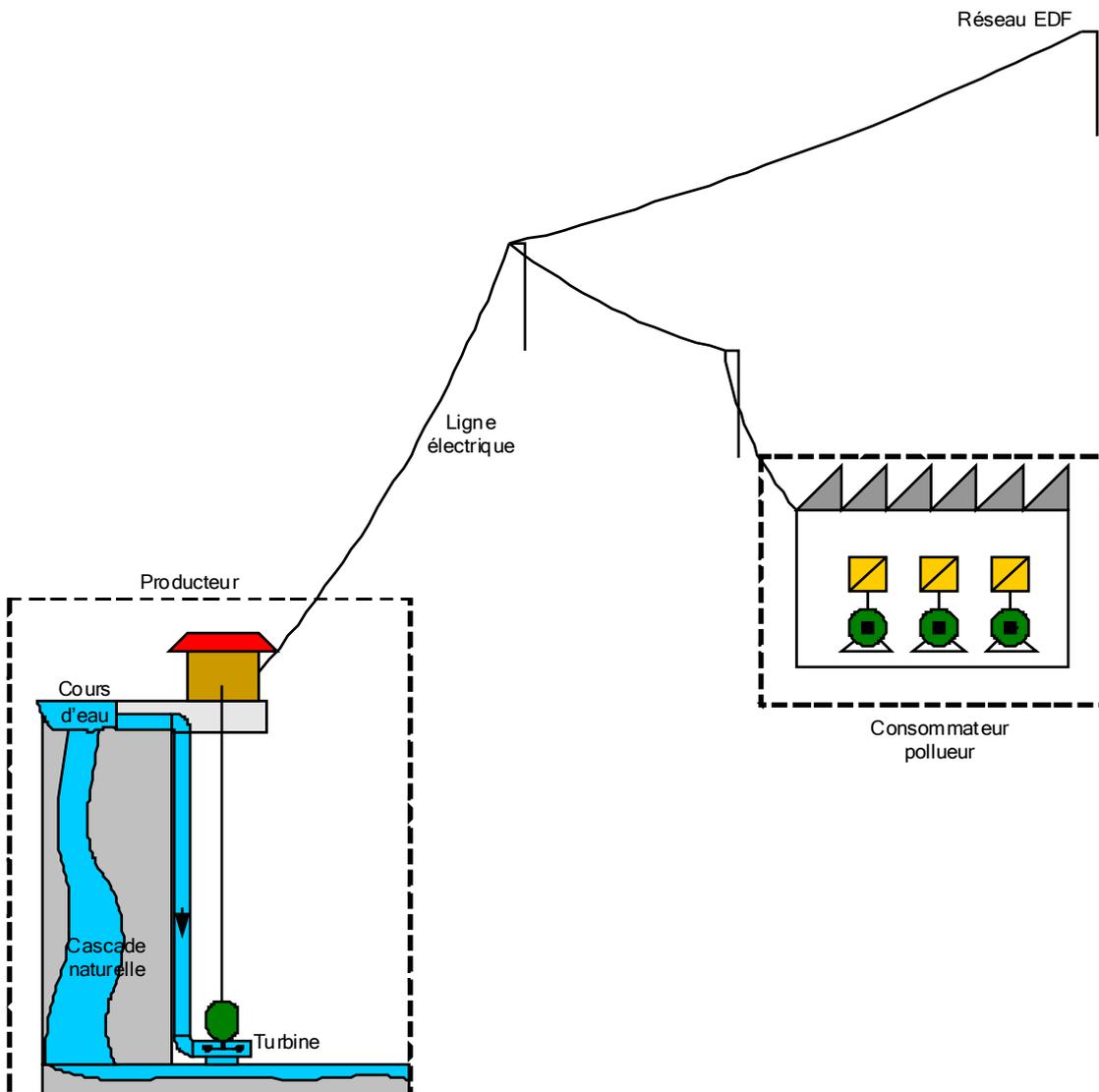
La qualité de l'énergie électrique

LA QUALITÉ DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation du problème :

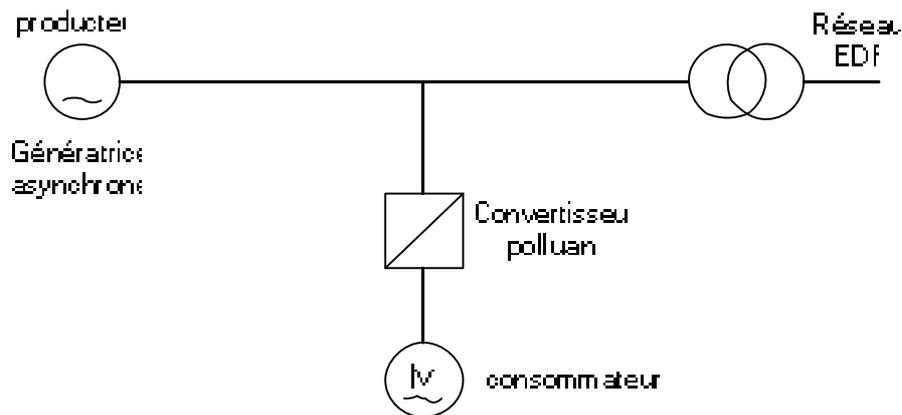
La qualité de l'énergie électrique est un élément fondamental à prendre en compte pour le dimensionnement des appareils et des lignes électriques. La recherche d'un optimum de coût lors de la construction d'une nouvelle installation demande à ce que soit étudié l'influence des harmoniques afin d'optimiser le dimensionnement et le réglage du matériel. De plus, les harmoniques sont susceptibles de perturber le fonctionnement des générateurs placés sur le réseau.

L'objectif de cet essai de système est de présenter l'influence d'une charge polluante sur un petit producteur d'énergie.



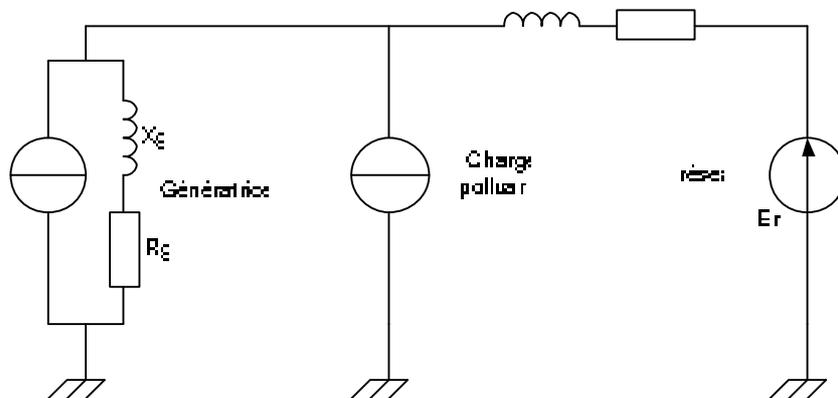
2. Modélisation de la partie de réseau étudié

La partie de réseau simplifiée se ramène à l'étude du circuit ci-dessous :



Par souci de simplification, les impédances des lignes sont négligées devant celles des machines (génératrice et transformateur).

- Justifier le modèle simplifié ci-dessous et en particulier le choix des sources de tension ou de courant.



2.1. Fonctionnement à 50 Hz

Dans un premier temps, la charge est non polluante et constituée d'un banc résistif variable.

Étude de la répartition des courants

Connecter la centrale au réseau avec uniquement 3 jets ouverts.

- Faire varier la charge de 0 à 3 kW et relever la puissance active et le courant dans chaque branche.



- Tracer le graphe de la puissance fournie par le réseau en fonction de la puissance consommée.
- Tracer le courant fourni par le réseau en fonction du courant consommé par la charge.
- Analyser les tracés et expliquer les différentes phases constatées.

2.2. Fonctionnement avec une charge polluante

Dans le schéma du modèle, la charge polluante est considérée comme un ensemble de générateurs de courant en parallèle. Chaque générateur correspond alors à un harmonique.

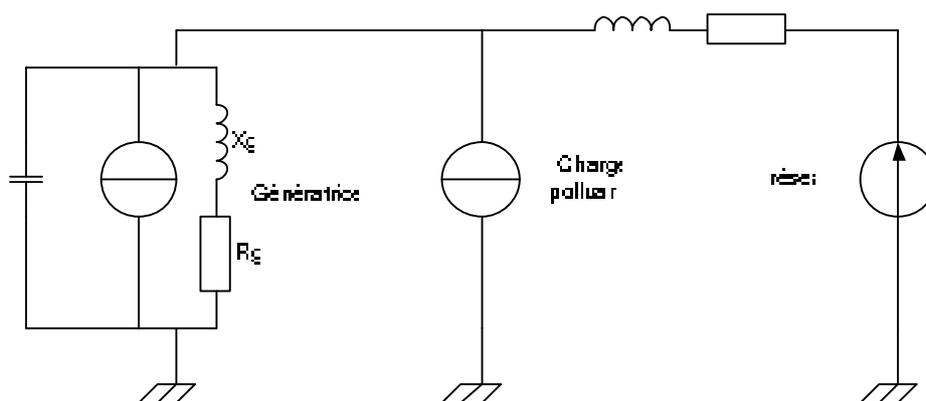
- Représenter le modèle harmonique du schéma ci-dessus.
- Déterminer le pourcentage de la répartition des courants harmoniques dans la génératrice et dans le réseau.
- Quels sont les paramètres qui influent sur cette répartition.

Essais de vérification

Connecter directement la centrale au réseau et mettre en service une charge polluante.

- Mesurer les harmoniques de courant dans chaque branche et calculer les pourcentages de répartition.
- Placer un transformateur d'isolement de 3kVA coté réseau et reprendre les mesures précédentes.
- Commenter les résultats au regard de l'étude théorique.

2.3. Fonctionnement avec la compensation d'énergie réactive



Seul le modèle harmonique sera considéré.

La batterie de compensation installée à une puissance réactive de - 2,5 kVar.

- Déterminer la valeur de C.
- A l'aide d'un logiciel, tracer l'impédance du circuit vue de la charge en fonction de la fréquence.
- Pour quelle fréquence se produit-il une résonance ?



- Quelles sont les conséquences de cette résonance sur la tension réseau et sur le condensateur ?

Essais de vérification

- Mettre la centrale en service avec la compensation d'énergie réactive. Connecter une charge polluante et mener une analyse harmonique sur les courants et tensions du circuit.
- Comparer les résultats par rapport au fonctionnement sans la batterie de compensation.

Amélioration du fonctionnement

- Proposer des solutions afin de minimiser l'effet des harmoniques sur l'installation.
- Mettre en place une solution et vérifier les bienfaits escomptés.



Thème 7

La gestion des coûts

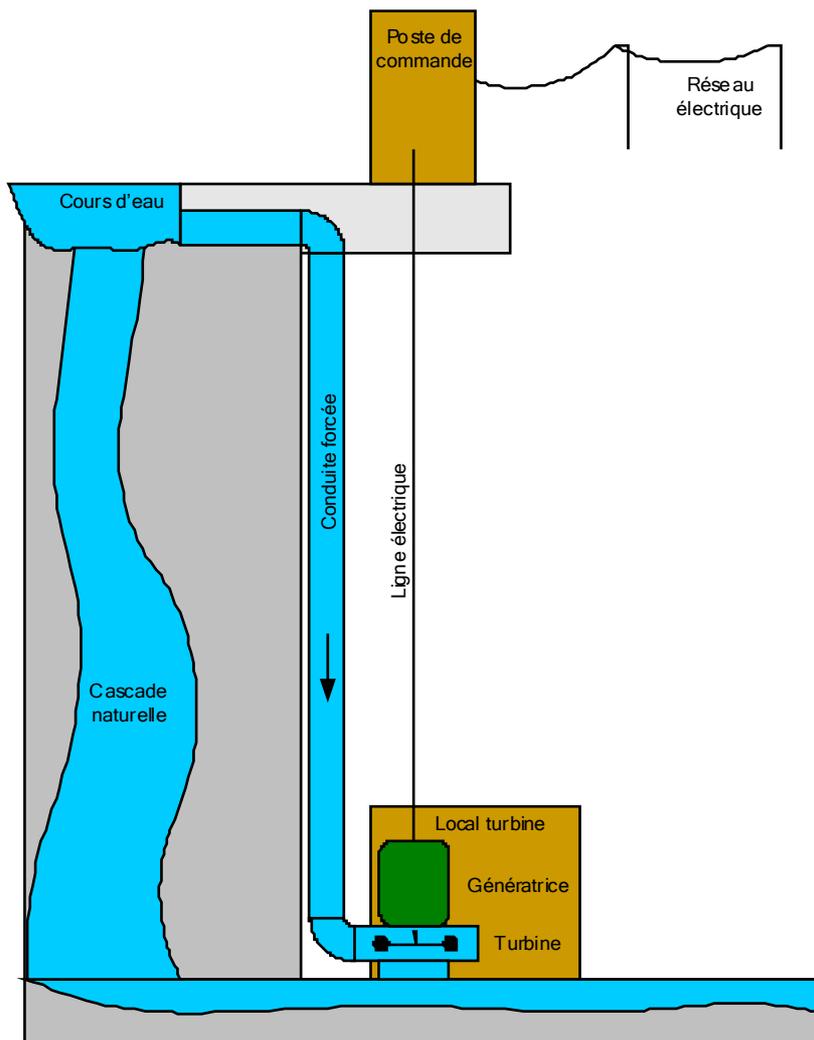
LA GESTION DES COÛTS MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation du problème :

Avant la construction d'une centrale hydroélectrique, les financeurs cherchent à connaître la rentabilité d'un tel investissement. Celui-ci dépend essentiellement des caractéristiques hydrologiques du cours sur lequel elle sera installée, mais il faut également tenir compte des conditions de rachat de l'électricité. Dans le cas des centrales hydroélectriques les retours sur investissements sont assez longs, de l'ordre de 20 à 30 ans.

Nous vous proposons de suivre une démarche classique dans l'étude des coûts des projets hydroélectriques.

A partir des débits constatés du cours d'eau, il faut déterminer la puissance de la centrale et le temps de fonctionnement potentiel de celle-ci. Connaissant le prix de rachat de l'énergie par le distributeur local, on peut alors estimer les temps de retour sur investissement.





Un dossier ressource précise les informations et les démarches nécessaires à l'étude des coûts pour la réalisation d'une centrale hydroélectrique. L'étude qui suit permet de faire une application pratique de la rénovation d'une centrale.

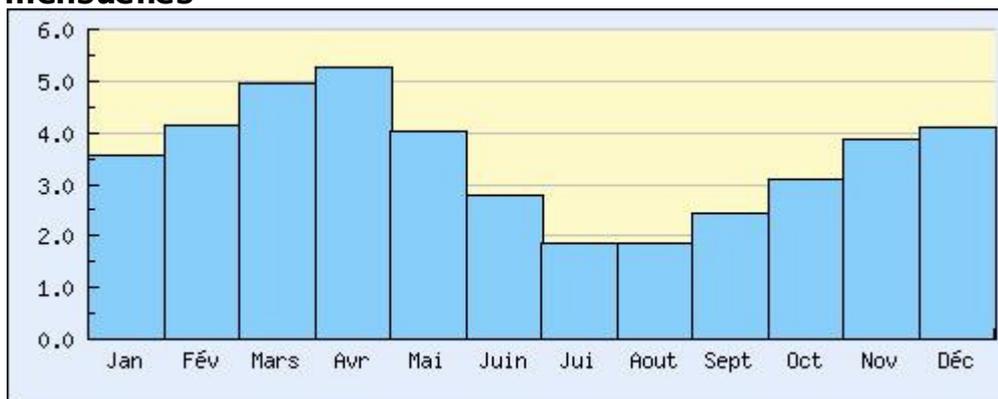
2. Etude économique

La centrale, thème de l'étude, se trouve sur un cours d'eau dont les caractéristiques globales sont données ci-dessous.

Débits constatés



Moyennes mensuelles



Hauteur de chute : 30 m

Débit moyen : 3,5 m³/s

Les propriétaires souhaitent rénover cette installation, surtout la partie active (électronique et électrotechnique). La partie génie civil fera l'objet d'un autre projet. Ils souhaitent rentabiliser le projet sur 20 ans et envisagent le financement suivant :

- Autofinancement : 20% des coûts.



- Subventions : Elles peuvent aller jusqu'à 30% des coûts du projet. C'est cette valeur qui sera retenue dans notre cas.
- Prêt bancaire : 50% des coûts. Les taux sont actuellement à 5% brut sur 20 ans et l'inflation est estimée à 2% l'an.

2.1. Etude des conditions hydrologiques

Les déterminations demandées se feront en respectant la méthode donnée dans le document « *choix,dimensions,essais_turbine.pdf* ».

- Donner la définition du débit Q_{347} .
- A partir du tableau des débits constatés « *débits_constatés.xls* », tracer le tableau des débits classés. Utiliser les fonctions du tableur pour établir cette courbe.
- Déterminer le débit instantané Q_{347} de ce cours d'eau.
- En déduire le débit résiduel minimal.
- La turbine est prévue pour fonctionner couplée au réseau, en déduire le débit nominal à retenir pour une production optimum.

La hauteur nette de chute sera considérée constante et égale à 85% de la hauteur brute.

- Déterminer la puissance hydraulique nominale pour le choix de la turbine.

Afin de déterminer la puissance électrique que fournira la centrale, on désire rechercher son rendement en fonction du débit de la rivière.

La centrale didactique comportant une turbine industrielle, il sera considéré que le rendement mesuré peut s'appliquer à la centrale réelle.

Sur la micro centrale raccordée au réseau :

- Fixer la hauteur de chute à 70m puis faire varier le débit de 7 l/s à 0.
- Pour chaque point, adapter le nombre d'injecteur de manière à obtenir le débit maximum avec une conduite pleine si possible.
- Relever pour chaque point le débit dans la turbine, la puissance hydraulique en entrée de turbine et la puissance électrique.
- Quel est le débit maximum turbinable Q_{mt} .
- Tracer la courbe de rendement en fonction du rapport $Q_{turbine}/Q_{mt}$.
- Utiliser cette courbe pour compléter le tableau « *débits_constatés.xls* »
- En déduire l'énergie en kWh produite par cette centrale en une année.

2.2. Etude du tarif de rachat de l'énergie électrique

Les informations concernant le rachat de l'électricité sont données par l'arrêté de mars 2007, document « *tarifs hydrauliques mars2007.pdf* »

- Quelle est la durée d'un contrat de rachat. (paragraphe 5)
- Déterminer le tarif de rachat, sachant que le tarif retenu est celui à une seule composante, la majoration de qualité est fixée à son maximum. (annexe)



2.3. Etude de coût

L'estimation du coût du projet de rénovation de cette centrale sera fait en s'appuyant sur la méthode présentée au paragraphe 4 du document « *choix, dimensions, essais_turbine.pdf* ». Les coûts sont donnés en franc suisse, prendre un taux de change de 1,33.

- Déterminer :
 - L'investissement I,
 - Les frais financiers F. Utiliser le fichier « simulation_crédit.xls » pour faire le calcul.
 - Les charges d'exploitation C
 - Les dépenses annuelles D
- Calculer les revenus par an générés par cette centrale.
- Calculer le retour sur investissement.



Thème 8

Asservissement et régulation

ASSERVISSEMENT ET REGULATION

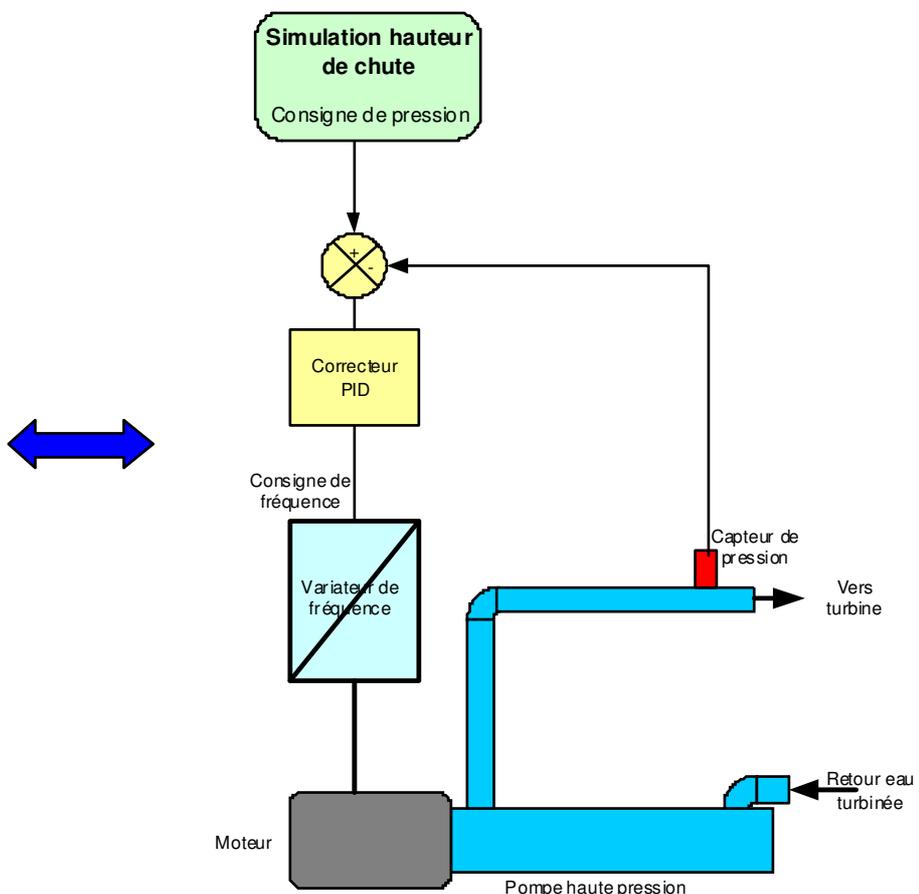
MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation du problème :

Dans une centrale hydroélectrique, la pression de l'eau à l'entrée de la turbine est obtenue par le dénivellement entre la prise d'eau et cette turbine. Cette pression est directement proportionnelle à la hauteur de chute. Dans le cas des faibles débits, il est nécessaire d'avoir une hauteur de chute importante afin d'obtenir une puissance hydraulique non négligeable. Pour les turbines Pelton la hauteur de chute varie de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres.

Dans la centrale hydroélectrique didactique, la pression en entrée de turbine n'est pas obtenue par une différence de hauteur, mais par une pompe de surpression pour des raisons évidentes d'encombrement.

Pour simuler le comportement réel de la chute d'eau, il est nécessaire de réaliser un contrôle de la pression intégrant les paramètres principaux du cours d'eau.





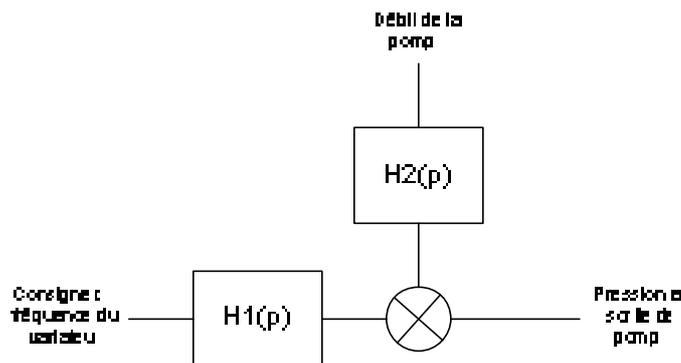
Étude de l'asservissement de pression

On considère que les pertes de charge sont négligeables et que le niveau à la prise d'eau est constant.

- Montrer que la pression à l'entrée de la turbine est constante quelque soit le débit.
- Pour simuler une hauteur de chute de 70 m, quelle consigne de pression en bar faudra-t-il donner.
- Pour cette consigne et en vous aidant des courbes caractéristiques de la pompe, quel débit maximum pourra fournir la pompe.
- Pour une réduction du débit de 20% par rapport à la valeur précédente, quelle serait l'élévation de pression, s'il n'y avait pas d'asservissement.

2.1. Recherche d'un modèle simplifié de l'ensemble variateur, moteur, pompe, turbine.

Le modèle retenu est le suivant :



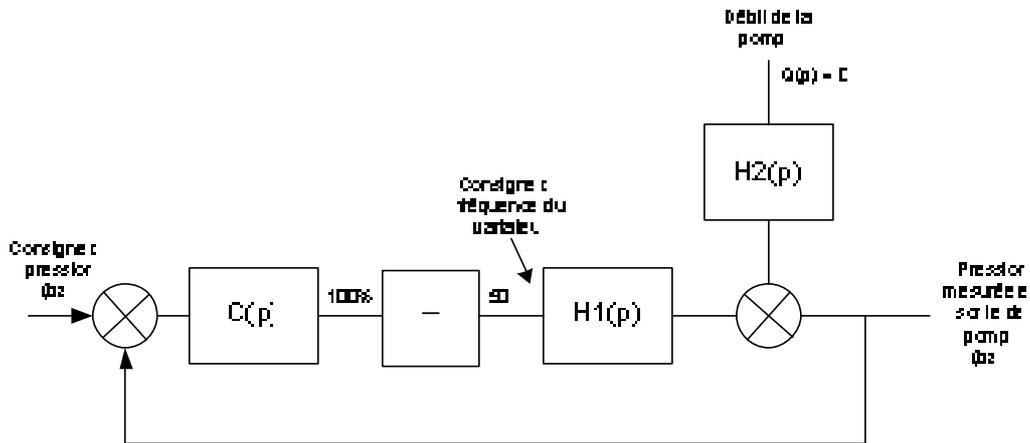
Identification des fonctions H1 et H2.

Les fonctions H1 et H2 sont assimilées à des fonctions du premier ordre.

Les 3 injecteurs sont fermés, la centrale est en mode manuel, la génératrice n'est pas raccordée au réseau.

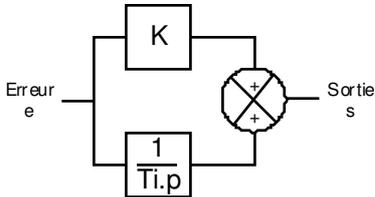
- Mettre la centrale en service avec une consigne de fréquence de 40 Hz.
- Placer un échelon de fréquence de 5Hz et relever l'évolution de la pression en fonction du temps.
- Déterminer, à partir du relevé, le gain K1 et la constante de temps T1 de la fonction H1(p).
- Ramener la consigne de fréquence à 40Hz et relever la valeur du débit.
- Ouvrir un injecteur et relever l'évolution de la pression en fonction du temps ainsi que la nouvelle valeur du débit.
- En considérant que l'ouverture d'un injecteur a provoqué un échelon de débit, déterminer à partir du relevé, le gain K2 et la constante de temps T2 de la fonction H2(p).

2.2. Réglage du correcteur



Le correcteur $C(p)$ fournit un signal variant de 0 à 100% correspondant à une fréquence variateur variant de 0 à 50 Hz.

Le correcteur $C(p)$ est de type parallèle



- Montrer que sa fonction de transfert peut se mettre sous la forme $C(p) = \frac{s(p)}{e(p)} = k \left(\frac{1 + k \cdot T_i \cdot p}{k \cdot T_i \cdot p} \right)$

On désire régler le correcteur de manière à compenser le pôle de la fonction $H1$ et obtenir une constante de temps en boucle fermée 5 fois plus petite qu'en boucle ouverte.

- Montrer qu'avec ces réglages, la fonction de transfert en boucle fermée est une fonction du premier ordre.
- En déduire la valeur de k et T_i .
- Calculer l'erreur statique de pression obtenue.

Essais de vérification

- Fermer les 3 injecteurs, puis mettre la centrale en mode automatique et la connecter au réseau.
- Régler la hauteur de chute à 60 m ainsi que les coefficients du correcteur conformément aux résultats précédents.
- Placer la consigne à 65 m et relever l'évolution de la pression en fonction du temps.
- Analyser la courbe, en déduire l'erreur statique et le temps de réponse à 5%.
- Comparer aux résultats théoriques.

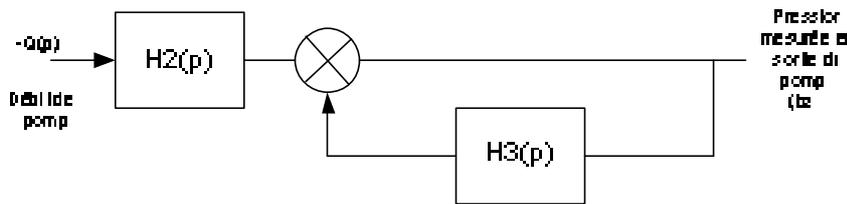


2.3. Régulation de pression

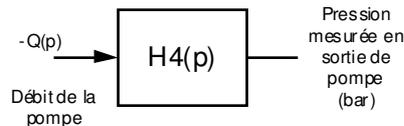
On désire vérifier le comportement de la boucle précédemment réglée vis-à-vis d'une perturbation de débit.

La consigne de pression est fixe et égale à 6 bars.

- Montrer que le schéma bloc peut se mettre sous la forme :



- Donner numériquement la fonction de transfert $H3(p)$.
- Transformer le schéma ci-dessus afin d'obtenir une seule fonction de transfert $H4(p)$.
- Calculer $H4(p)$ numériquement.



- Mettre $H4(p)$ sous la forme :

$$H4(p) = k_4 \frac{\tau_4 p}{1 + \frac{2m}{\omega_0} p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

- En déduire la valeur de m et ω_0 .
- Quelle sera l'erreur statique de pression obtenue pour un échelon de débit de 1 l/s?
- La réponse sera-t-elle oscillante amortie ?

Essais de vérification

- Fermer les 3 injecteurs, puis mettre la centrale en mode automatique et la connecter au réseau.
- Régler la hauteur de chute à 60 m.
- Ouvrir un injecteur et relever l'évolution de la pression en fonction du temps.
- Analyser la courbe et mesurer l'erreur statique de pression et le temps de réponse à 5%.
- Comparer aux résultats théoriques.

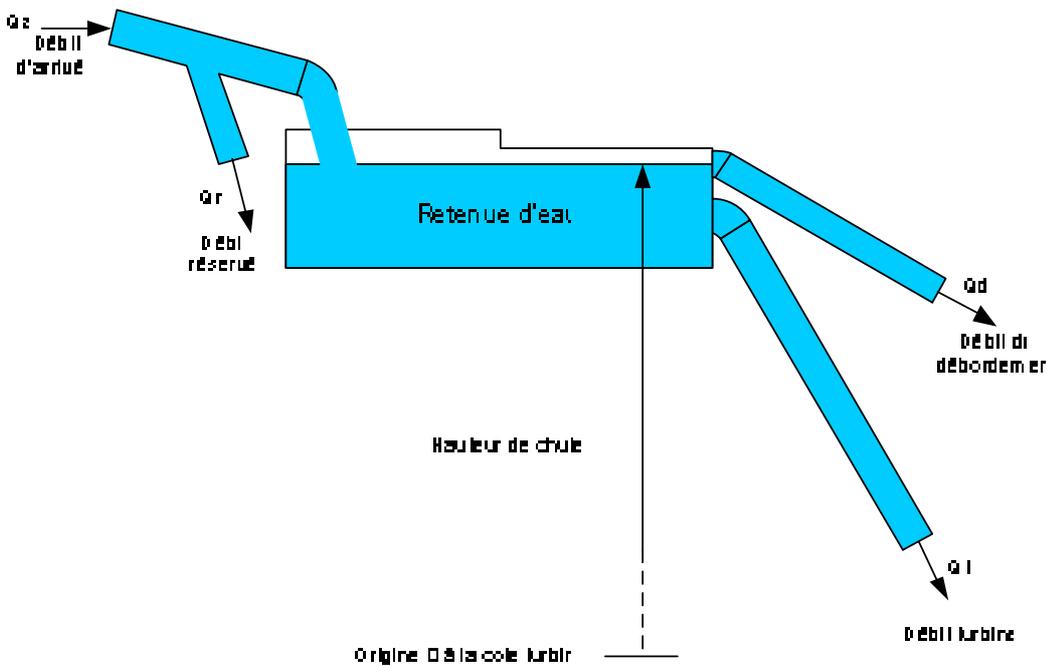
3. Étude de la simulation des courbes de débit

La hauteur de chute d'eau ne peut être conservée que si le débit de la rivière est suffisamment élevé. Dans le cas contraire, le niveau dans la conduite risque de chuter ce qui provoque une perte de rendement de la turbine.

Afin de suivre l'évolution naturelle de l'écoulement et analyser les phénomènes, le débit de la rivière peut se régler manuellement.



La répartition des flux se fait selon le schéma ci-dessous :



Pour la centrale hydroélectrique les homothéties par rapport à la centrale réelle donne les grandeurs suivantes :

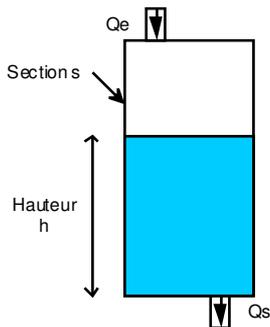
- débit réservé Q_r : 3 l/s constant
- débit d'arrivée Q_a : variable de 6 à 18 l/s



Mesure du débit turbine Q_t en fonction du nombre d'injecteurs

Mettre la centrale en service et la connecter au réseau avec une hauteur de chute de 70 m. Placer le débit à 18 l/s.

- Relever les débits turbine pour 3, 4, 5 et 6 injecteurs ouverts.
- Vérifier dans chaque cas l'équation des débits.



- En partant de la définition du débit, montrer que la hauteur d'eau dans le récipient ci-contre s'écrit :

$$h(t) = h_0 + \frac{1}{s} \int (Q_e - Q_s) dt$$

- En déduire la hauteur de chute de la retenue d'eau en fonction des différents débits.
- Pour les 6 injecteurs ouverts, passer le débit d'entrée de 20 l/s à 6 l/s et relever l'évolution de la hauteur de chute ainsi que les débits de débordement et turbine.
- Analyser les différentes phases de l'évolution de la hauteur.
- Après stabilisation du niveau, mesurer la puissance électrique fournie par la génératrice.
- Fermer un à un les injecteurs et relever pour chaque cas après stabilisation, la puissance électrique, la hauteur, les débits de débordement et turbine.
- Tracer la puissance électrique en fonction du nombre d'injecteurs ouverts.
- Au regard des résultats précédents, fournir à l'utilisateur de la centrale un graphique présentant le nombre d'injecteurs à ouvrir en fonction du débit de la rivière.



Thème 9

Les équipements communicants



LES ÉLÉMENTS COMMUNICANTS

ÉQUIPEMENTS COMMUNICANTS D'UNE

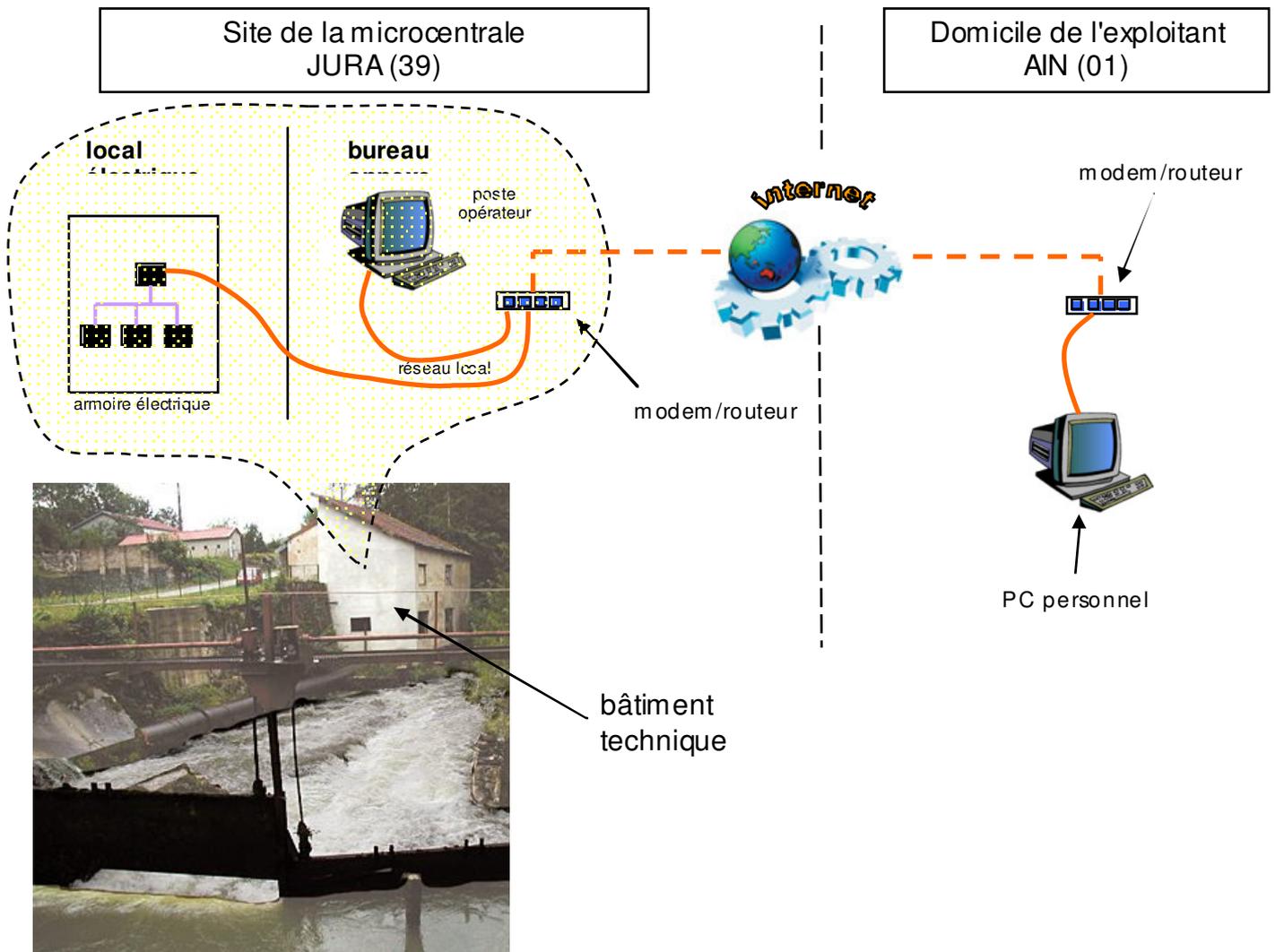
MICROCENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

1. Présentation

Une microcentrale ne nécessite pas la présence permanente d'un personnel d'exploitation sur le site. Il est néanmoins impératif de pouvoir la superviser et contrôler à distance mais aussi d'être averti en cas de dysfonctionnement (courrier électronique ou SMS). Les éléments communicants, présents sur la microcentrale étudiée, permettent ce type d'exploitation et assurent à l'exploitant une plus grande souplesse de gestion.

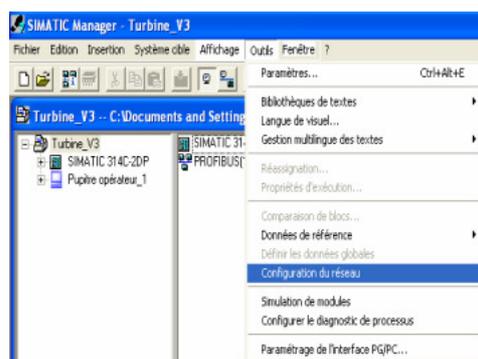
L'exploitant se voit ainsi offert la possibilité de piloter et superviser la microcentrale à partir :

- d'un pupitre tactile, situé en face avant de l'armoire électrique, dans le local technique
- d'un PC local situé dans un bureau du bâtiment technique
- de son propre PC personnel, situé à son domicile, via Internet



2. la configuration des éléments communicants

- Sous STEP7, ouvrir le fichier relatif à la microcentrale.
- Dans l'onglet "outils" cliquer sur "configuration réseau".



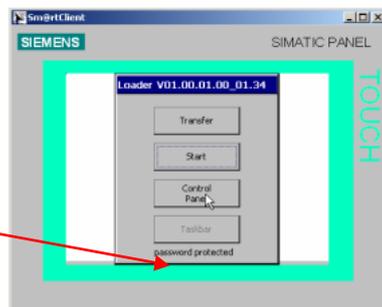
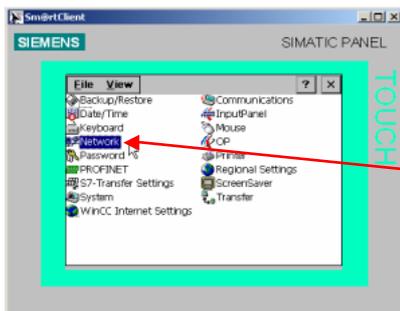


- Imprimer la topologie du réseau.
- Donner le nom du réseau permettant aux éléments de communiquer.
- Lister les différents éléments communicants.
- Identifier ces éléments sur le système et définir leur fonction.
- Préciser l'adresse réseau de chaque élément.
- Vérifier si le raccordement du câble réseau est en concordance avec les schémas électriques.

3. Communication à distance

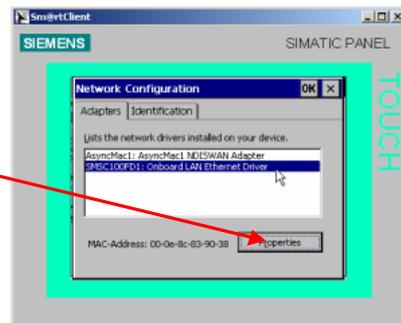
a. Affecter une adresse IP au pupitre de la microcei

① Entrer dans le mode "Control Panel"

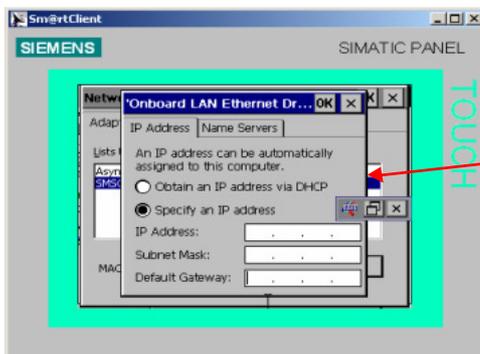


② Ouvrir Network

③ Configurer le driver Ethernet en cliquant sur propriétés



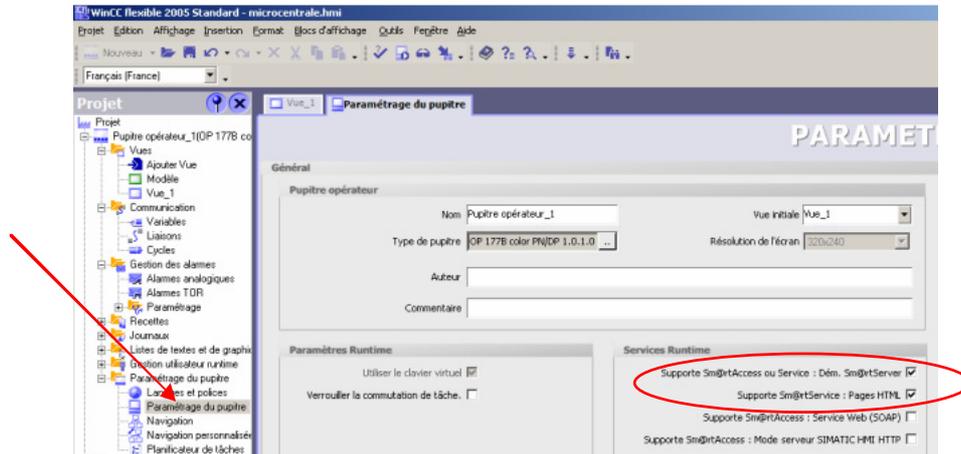
④ Entrer les données correspondant au réseau local



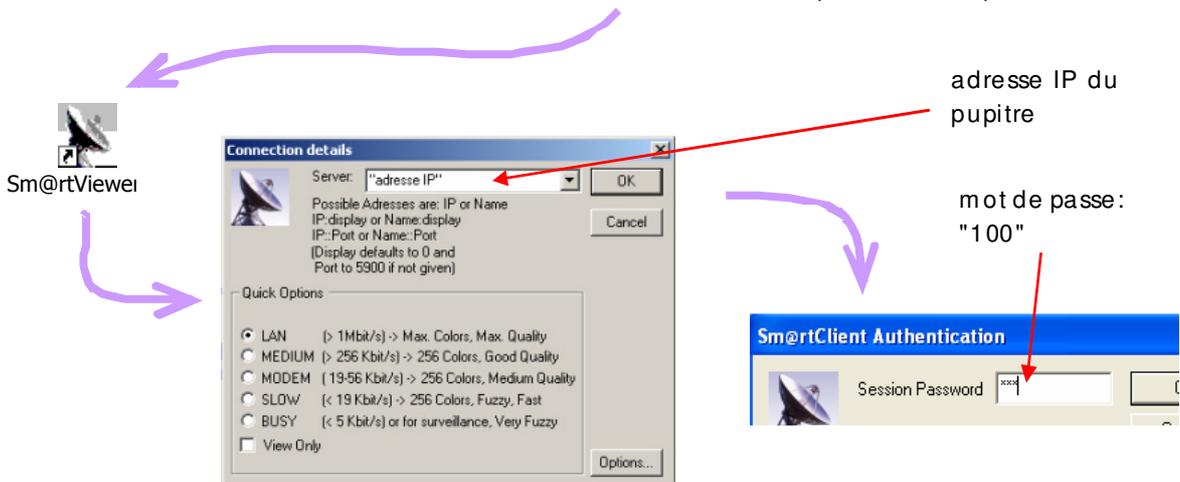


b. Communication via Sm@rtViewer et Internet.

- Vérifier l'autorisation d'accès au pupitre via Sm@rtViewer et Internet.



- Procéder à un essai de communication via Sm@rtViewer (accès local).



- Procéder à un essai de communication via Internet Explorer en appelant l'adresse IP du pupitre

4. Pilotage de la centrale à partir d'un poste opérateur local.

- Accéder au pupitre via Sm@rtViewer
- Effectuer une "Mise en service de la centrale" (mise en vitesse progressive de la génératrice et couplage sur le réseau au voisinage du 50Hz [+/- 1%]).
- Visualiser les courbes de production.
- Observer l'effet sur la production d'une chute du débit de l'eau dans la conduite forcée, de 1/6, 2/3 puis 1/2.



5. Maintenance à distance

Pour la suite du sujet, appeler un professeur afin qu'il effectue une panne sur l'installation.

Depuis son domicile, l'exploitant constate (sur la vue "homothétie" du pupitre) une incohérence entre la puissance hydraulique affichée et la puissance électrique fournie au réseau.

a. Connexion au pupitre via Internet Explorer.

The image shows two overlapping browser windows. The left window is titled 'Remote Control - Windows Internet Explorer' and displays the 'SIMATIC HMI Miniweb on TP177' interface. The 'Remote Control' link in the left sidebar is circled in red. The right window is titled 'Siemens Sm@rtClient Desktop [WinVNC] - Windows Internet Explorer' and shows a 'VNC Authentication' dialog box with a 'Password:' field and an 'OK' button. A red arrow points from the circled 'Remote Control' link to the password field. A red box below the password field contains the text 'Mot de passe: 100'. A small button labeled 'Cliquez pour activ' is visible at the bottom right of the dialog box.

- b. Effectuer un diagnostic à partir des informations recueillies.
- c. Emettre des hypothèses de ce dysfonctionnement.
- d. Faire état de votre réflexion au professeur, tout en lui proposant une méthode de vérification sur le système.
- e. Si accord du professeur, vérifier vos hypothèses, puis remettre en état l'installation.
- f. Contrôler l'efficacité de votre intervention.



6. Supervision de la production d'énergie

L'exploitant souhaiterait pouvoir contrôler la production d'énergie de sa microcentrale. Afin de réaliser cette supervision, il est nécessaire de créer une vue supplémentaire sur le pupitre de commande. Cette dernière sera accessible depuis la page "Mesures électriques".

- A partir du listing du programme automate, retrouver la partie réalisant la recopie des valeurs de la centrale de mesure (SIMEAS ou PAC 3200)
- Identifier les variables relatives aux énergies actives et réactives
- Créer la nouvelle vue sur le pupitre, permettant la supervision de la production d'énergie