

ETUDE D'UNE TURBINE HYDRAULIQUE

MICROCENTRALE HYDROELECTRIQUE du Moulin de CHIGNY



Vous disposez de :

6 pages numérotées DT 1 à DT 6 [Documents techniques]

6 pages numérotées DR 1 à DR 6 [Documents questions - réponses]

1 document informatique à compléter

1 programme de traitement du signal

1 dispositif de mesure de vibration (accéléromètre, amplificateur de charge et oscilloscope)

1 dispositif de mesure de vitesse (capteur photoélectrique, alimentation et oscilloscope)

1 dispositif de mesure de hauteur d'eau (pied de géomètre)

Répondre aux emplacements réservés

Cette étude porte sur l'analyse d'une montée en régime de la centrale hydroélectrique afin de mettre en évidence ces paramètres optimaux de fonctionnement et de régulation.

I - Mise en situation

Deux centrales hydroélectriques "au fil de l'eau" (sans possibilité de stockage de l'eau) sont implantées sur le site du moulin de Chigny (voir Figure 1). La centrale n°1 a été construite il y a quelques dizaines d'années en remplacement d'un ancien moulin. La centrale n°2 de construction plus récente est le sujet de notre étude. Les vannes de décharge permettent de maintenir le niveau amont constant (lame d'eau constante - voir Figure 2) dans la limite de leur capacité de $60\text{m}^3/\text{s}$.

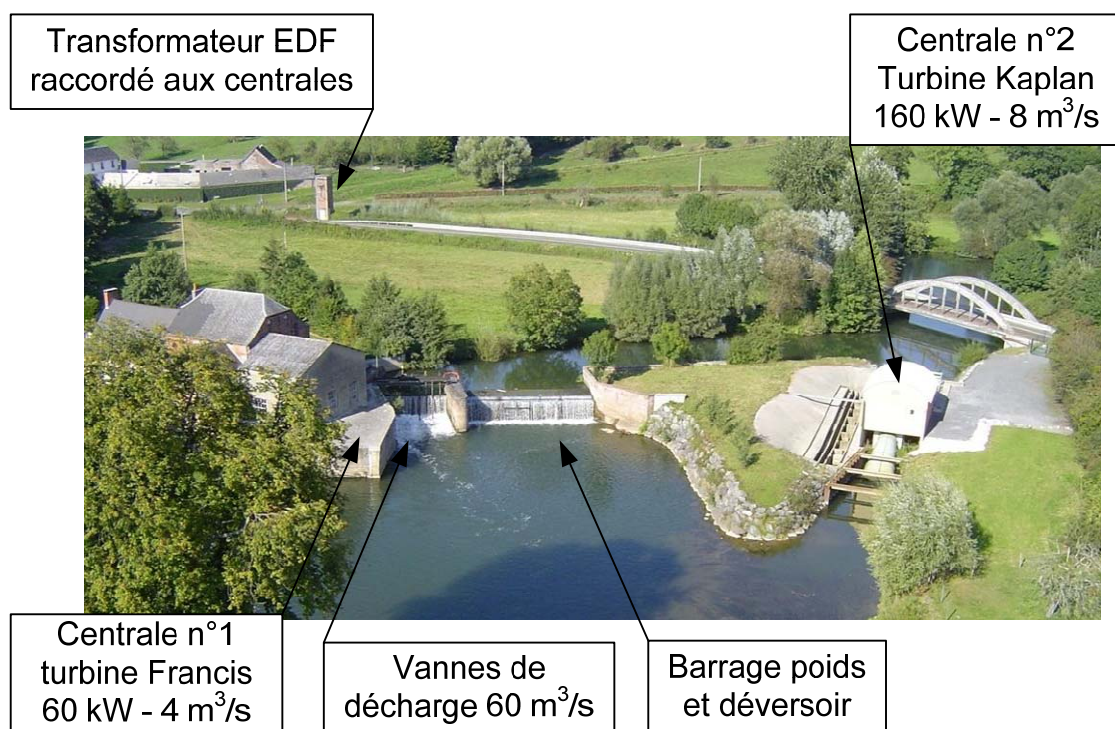


Figure 1 : Vue d'ensemble du site de Chigny

II - Notions utiles à l'étude de la centrale n°2

a) Hauteur d'eau :

Les capacités d'une centrale sont entre autre estimées grâce à la charge hydraulique équivalente à la hauteur de chute brute H_b , exprimée en mètre, comme décrit Figure 2. La rugosité et la géométrie, des conduites et de la turbine d'une centrale provoquent des pertes de charges ΣH . On définit alors la chute nette H_n comme suit :

$$H_n = H_b - \Sigma H$$

Sur la centrale étudiée, les conduites étant courtes, on peut dans un premier temps négliger ces pertes de charge. Les hauteurs d'eau brute minimum et maximum observées sont respectivement

de 1,5m et 3m. Les centrales hydroélectriques ne peuvent pas fonctionner en période de crue. Dans ce cas la hauteur constatée est quasi nulle.

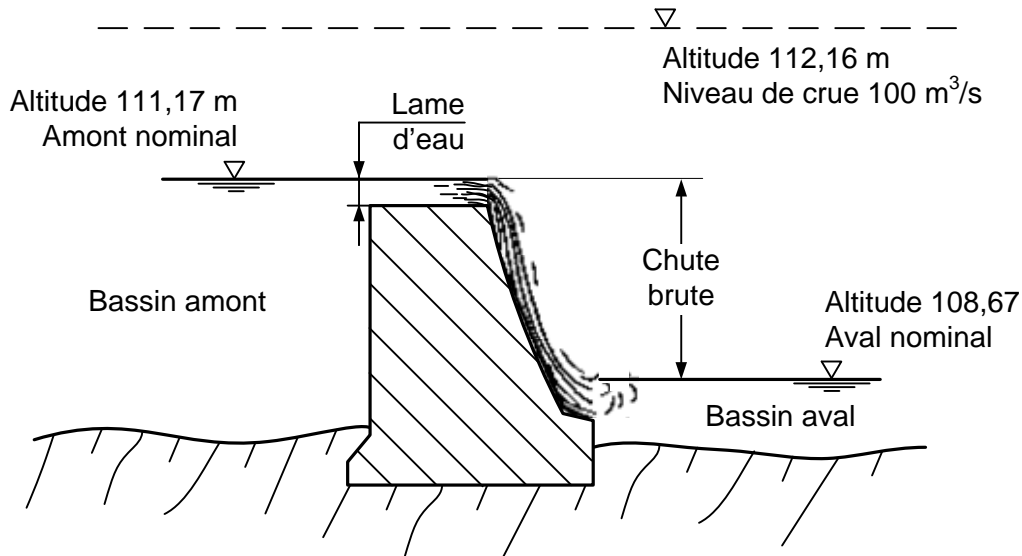


Figure 2 : Coupe du barrage et du déversoir

b) Puissance hydraulique :

La puissance hydraulique P_h (en Watt) disponible dans une centrale électrique s'écrit :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_n$$

- avec :
- ρ masse volumique de l'eau en kg/m^3
 - g accélération de la pesanteur en m/s^2
 - Q_t débit turbiné en m^3/s
 - H_n chute nette en m

c) Théorème de Bernoulli :

Le théorème de Bernoulli exprime le bilan hydraulique simplifié d'un fluide parfait incompressible dans une conduite. Cette équation traduit la **conservation de l'énergie le long d'une ligne de courant** et peut être écrite en termes de charge (en mètre) comme suit :

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = Cte$$

- avec :
- ρ masse volumique de l'eau en kg/m^3
 - g accélération de la pesanteur en m/s^2
 - p la pression du fluide en Pa
 - V la vitesse du fluide en m/s
 - z l'altitude en m

Pour une ligne de courant (AB) (voir Figure 3), on peut donc écrire :

$$\frac{p_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{p_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B$$

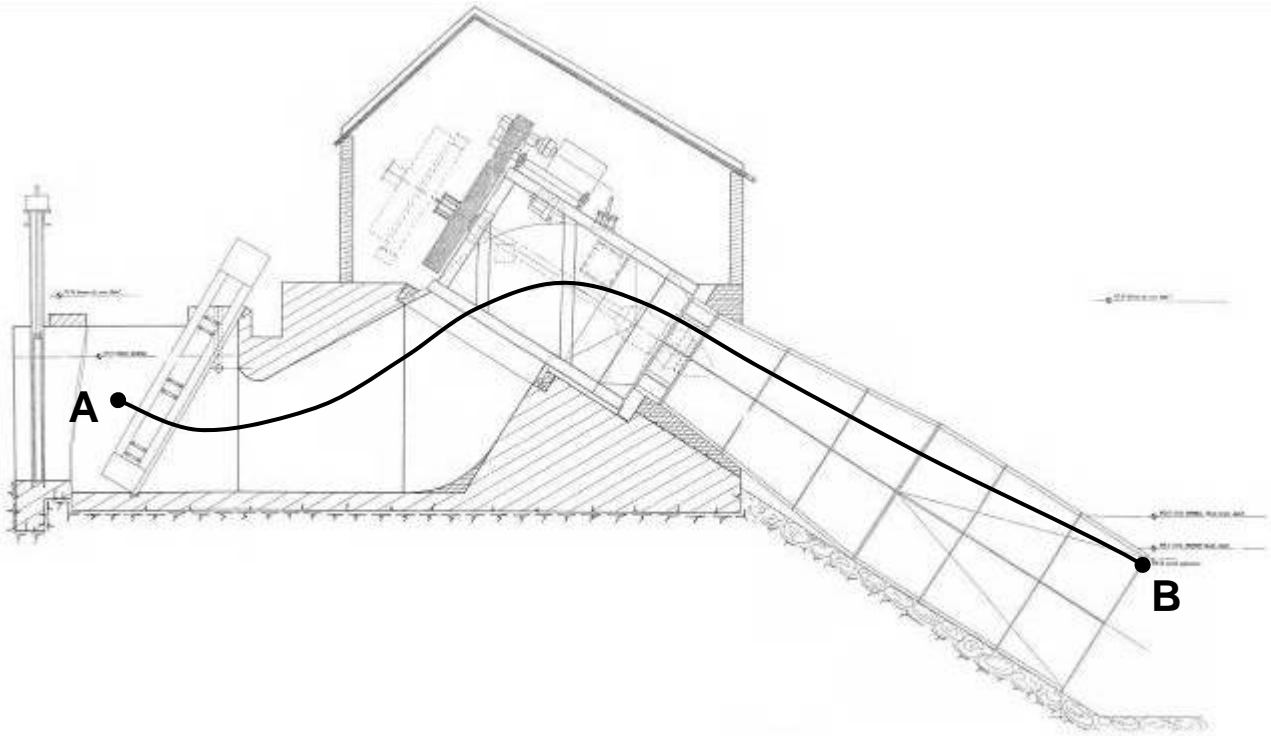


Figure 3 : Plan d'implantation - Ligne de courant (AB)

III - Transmission de puissance

1 - Description

La microcentrale est constituée d'une turbine, d'un multiplicateur de vitesse et d'une génératrice. La Figure 4 représente la chaîne de transmission de puissance de cette centrale.

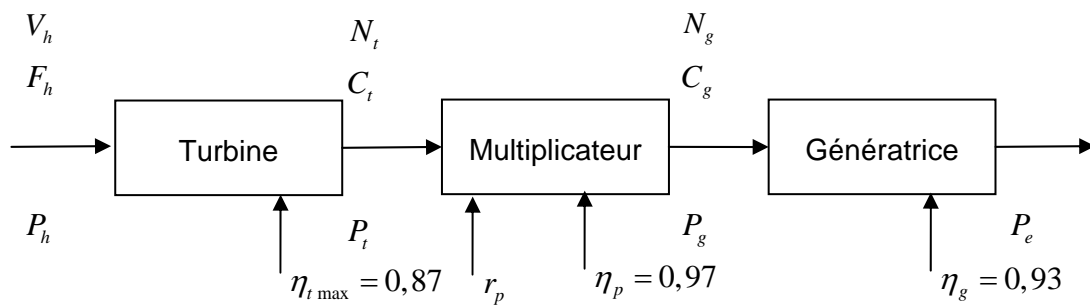


Figure 4 : Transmission de puissance de la centrale n°2

2 - Turbine hydraulique

La turbine hydraulique étudiée est dite "turbine à réaction" à pales orientables (type Kaplan - voir Figure 5).

Le flux d'eau est tout d'abord orienté d'un angle $\alpha_1 = 60^\circ$ (voir Figure 6) sur les pales par des génératrices fixes (non représentées)

Le profil des pales est optimisé pour transmettre au mieux la puissance hydraulique disponible à l'arbre de la turbine. La géométrie de ce profil est paramétrée par l'angle d'aubage β qui varie en tout point de la pale.

L'inclinaison des pales est variable et permet entre autre de modifier la vitesse de rotation de la turbine ω .

Dans notre étude cet **angle d'inclinaison** sera considéré **égal à l'angle d'aubage** β_1 à l'entrée de la turbine en R_{moy} .



Figure 5 : Turbine Kaplan

La Figure 6 présente une décomposition courant des vitesses d'écoulement qui permet de raisonner facilement sur l'interaction entre le fluide et les aubes en rotation. On définit ainsi :

\vec{U} vitesse périphérique dite d'entraînement ($U = \omega R_{moy}$),

\vec{W} vitesse relative de l'eau par rapport à l'aubage,

\vec{C} vitesse absolue de l'eau dans la machine de composantes \vec{C}_u et \vec{C}_m .

La composante périphérique \vec{C}_u est liée à la hauteur d'eau et la composante méridienne \vec{C}_m est donnée par le débit traversant la turbine ($C_m = Q/S$ avec S section de la conduite).

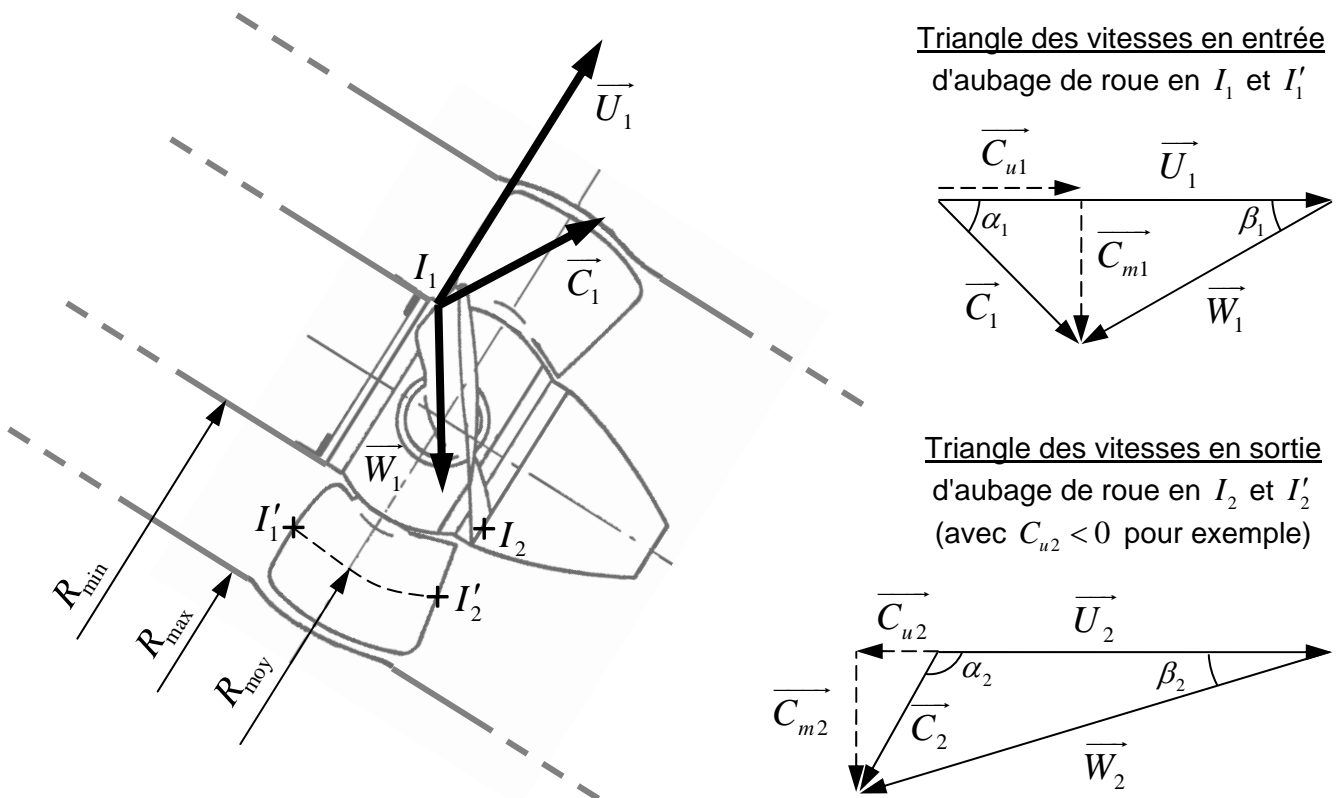


Figure 6 : Vue schématique d'une turbine Kaplan avec triangle des vitesses

3 - Multiplicateur poulies - courroie

Le multiplicateur permet d'adapter la fréquence de rotation de la turbine à celle de la génératrice. Le couple transmissible par ce système dépend principalement de la tension de pose de la courroie et du coefficient de frottement entre les poulies et la courroie.

Afin d'évaluer la tension de pose par une méthode de mesure similaire à celle utilisée dans l'automobile, on caractérise la courroie en fréquence pour différente tension.

Ainsi à partir d'un échantillon de courroie, une étude préliminaire a été réalisée sur une machine d'essai de traction. L'échantillon est mis sous tension puis excité manuellement et sa réponse oscillatoire est mesurée à l'aide d'un accéléromètre (Figure 7). Puis à partir du principe de "la corde vibrante", on exprime les résultats obtenus à l'échelle du brin de courroie étudié (Figure 8).

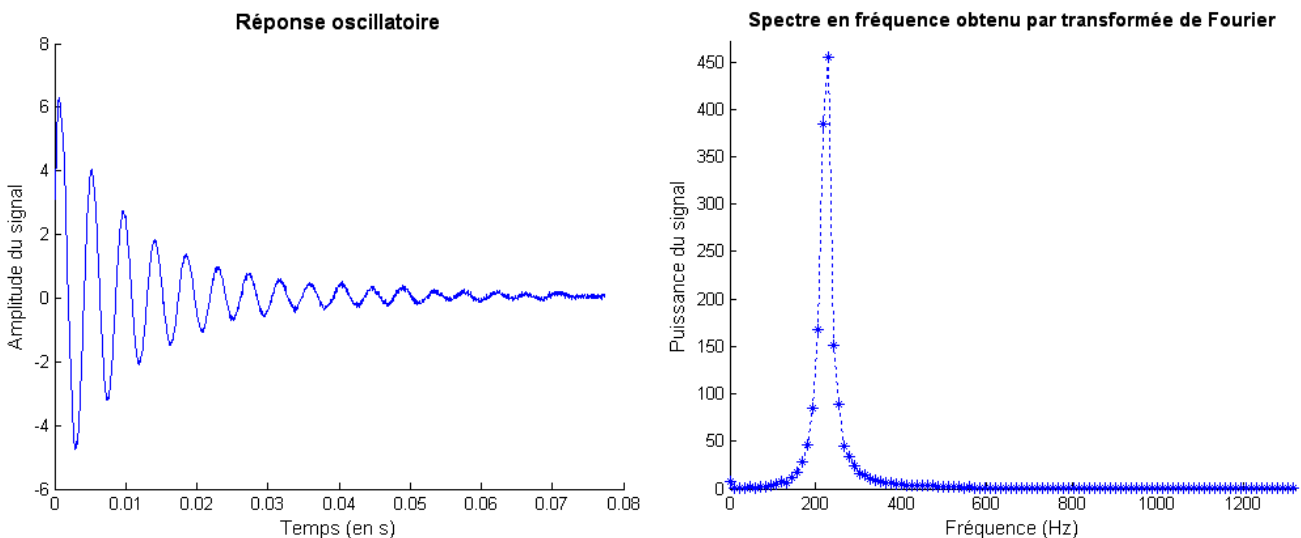


Figure 7 : Réponse impulsionnelle d'un échantillon de courroie

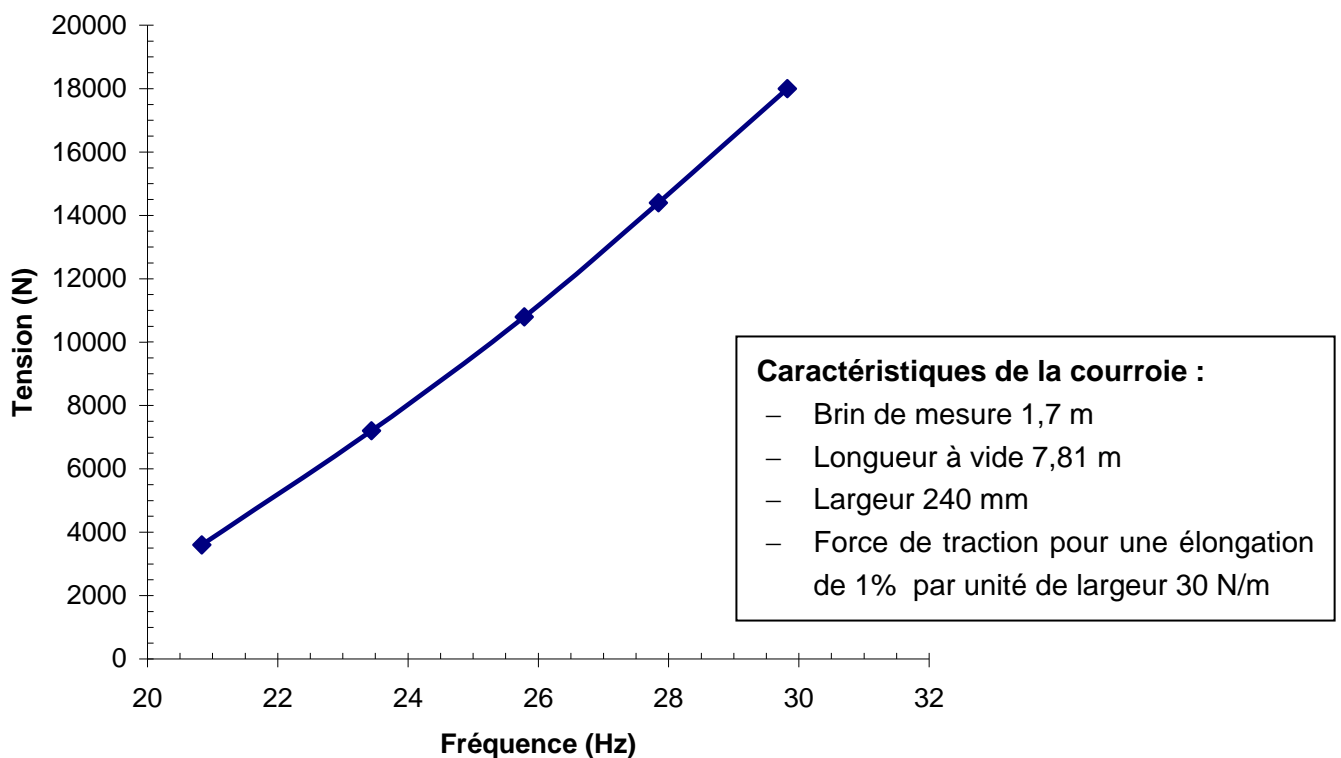
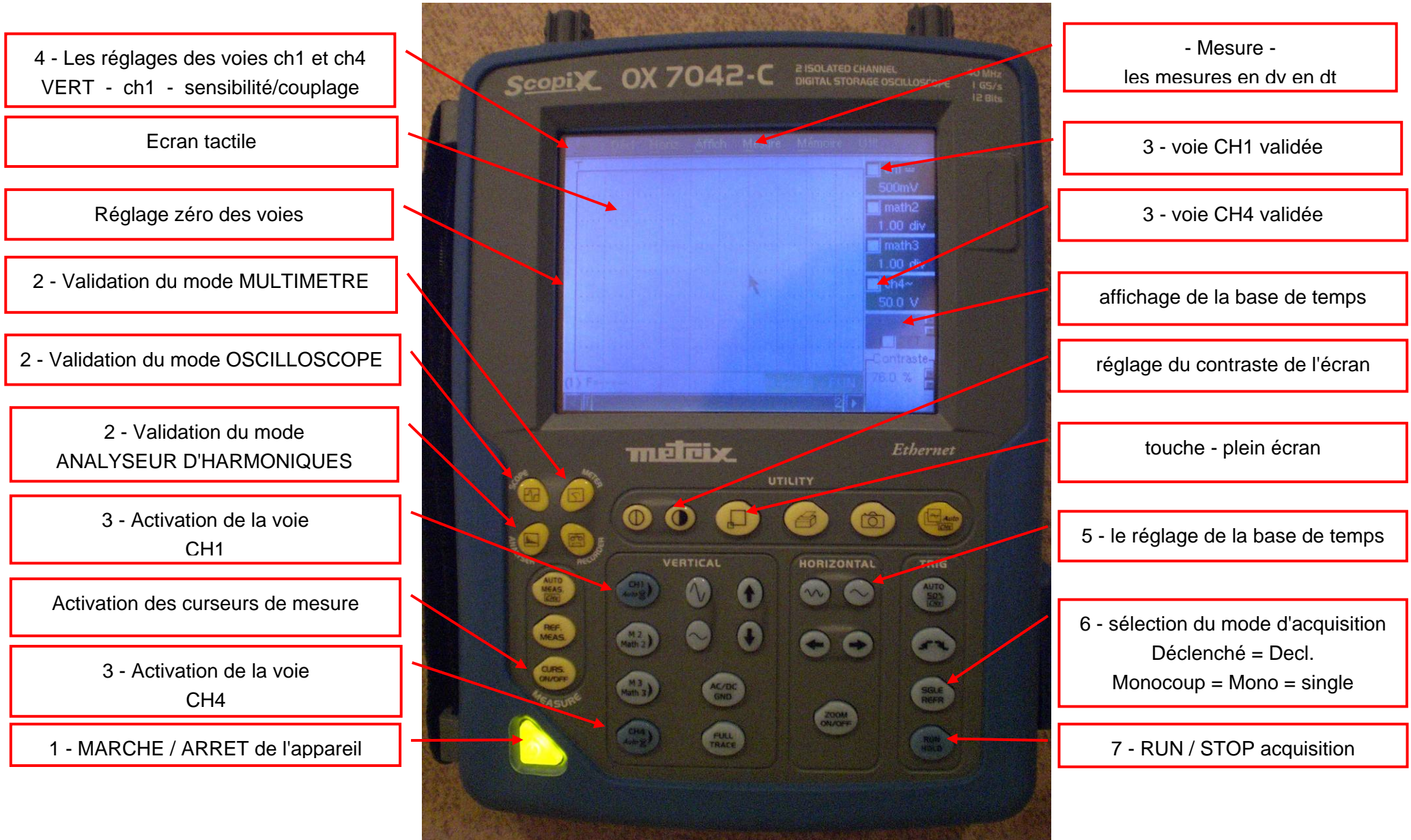


Figure 8 : Tension du brin étudié en fonction de la fréquence mesurée

MISE EN SERVICE DE L'OSCILLOSCOPE OX7042C



4 - Les réglages des voies ch1 et ch4
VERT - ch1 - sensibilité/couplage

Ecran tactile

Réglage zéro des voies

2 - Validation du mode MULTIMETRE

2 - Validation du mode OSCILLOSCOPE

2 - Validation du mode
ANALYSEUR D'HARMONIQUES

3 - Activation de la voie
CH1

Activation des curseurs de mesure

3 - Activation de la voie
CH4

1 - MARCHE / ARRET de l'appareil

- Mesure -
les mesures en dv en dt

3 - voie CH1 validée

3 - voie CH4 validée

affichage de la base de temps

réglage du contraste de l'écran

touche - plein écran

5 - le réglage de la base de temps

6 - sélection du mode d'acquisition
Déclenché = Decl.
Monocoup = Mono = single

7 - RUN / STOP acquisition

1. MESURES EXPERIMENTALES

Objectifs : Réaliser les mesures permettant de déterminer la tension de courroie, la fréquence de rotation de la turbine en fonction de l'angle des pales et à la hauteur d'eau brute.

- 1.1.** Avec l'aide de l'examineur, réaliser la mesure de la réponse en fréquence d'un brin de courroie sous l'effet d'une impulsion "manuelle". **Sauvegarder votre mesure** au format *TXT* pour le traitement ultérieur du signal.
- 1.2.** Réaliser les branchements nécessaires à la mesure de la fréquence de rotation de la courroie. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un capteur photoélectrique et d'une bande réfléchissante collée sur la courroie. Ce capteur est dit "passif" et doit donc être alimenté avec une **tension maximum de 24V**. Le signal de mesure sera visualisé sur un oscilloscope.

La question suivante nécessite le démarrage de la centrale et que le 2^{ème} candidat soit prêt à réaliser ses mesures. Répondre aux autres questions en attendant.

- 1.3.** Après démarrage, la centrale augmente progressivement l'angle des pales de la turbine d'environ 5% en 5% de 0° à 30°. Sur le document DR6 relever la hauteur d'eau et la fréquence de rotation de la courroie (tous les chiffres significatifs) pour différent angle de pale en % puis saisir les relevés dans le fichier informatique fourni.
- 1.4.** Les capteurs de niveau d'eau permettent de réguler la centrale en **variation de hauteur d'eau** et ne sont donc pas réglés précisément pour donner la hauteur d'eau brute. Confronter la valeur affichée sur l'armoire électrique à une mesure de hauteur d'eau à l'aide du pied de géomètre fourni.

2. TRAITEMENT DES DONNEES

Objectifs : Déterminer les données caractéristiques relatives au démarrage de la turbine.

- 2.1.** Transférer votre fichier de mesure de vibration dans l'ordinateur et utiliser le programme *vibration* pour déterminer la fréquence du signal. En déduire la tension de pose de la courroie et déterminer sa longueur.

2.2. Déterminer la relation entre la fréquence du signal mesuré par le capteur photoélectrique et la vitesse de la courroie V_c .

2.3. Donner les expressions qui permettent de relier la fréquence de rotation de la turbine N_t puis de la génératrice N_g avec la vitesse de la courroie V_c .

2.4. Quelles sont les fréquences de rotation de la turbine N_t minimum et maximum que l'on cherche à mesurer. Justifier votre réponse.

2.5. Quelle est la plus petite variation de fréquence de rotation de la turbine mesurable sachant que l'oscilloscope donne la fréquence du signal de mesure sur 4 chiffres significatifs.

2.6. Sur le document informatique fourni et à l'aide des expressions trouvées aux questions 2.2 et 2.3, déterminer pour différents angles de pales la fréquence de rotation de la turbine et de la génératrice au cours du démarrage de la centrale. **Pour la longueur de courroie, on prendra la valeur de 7,94m fourni dans le fichier quelque soit les résultats trouvés précédemment.**

2.7. En utilisant le triangle des vitesses en entrée de l'aubage de turbine, déterminer l'expression du débit Q dans la conduite en fonction de l'angle de pale β et de la fréquence de rotation de la turbine N_r . Saisir cette expression dans le fichier informatique fourni.

2.8. A partir des données précédentes et du fichier informatique fourni, déterminer pour chaque angle de pale au cours du démarrage de la centrale :

- la puissance hydraulique disponible,
- la puissance mécanique sur l'axe de la turbine,
- le couple sur l'axe de la turbine.

3. LOIS DE SIMILITUDE

Objectifs : Les relevés expérimentaux ne peuvent pas être utilisés en l'état car ils dépendent non seulement de l'ouverture de la turbine mais aussi de la hauteur d'eau. Cette partie a pour but de mettre en place des équations de similitude qui permettent d'exprimer les différentes caractéristiques de la turbine pour une hauteur d'eau fixée.

3.1. Ecrire l'équation de Bernoulli pour la ligne de courant (AB) et montrer que la vitesse de l'eau dans la conduite dépend exclusivement de la hauteur d'eau. Les points A et B ont été choisis tel que la pression en A peut être considérée égale à la pression en B et la surface du bassin amont S_a est bien plus grande que la section de la conduite S .

3.2. Montrer que l'équation de similitude des débits peut s'écrire :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \quad \text{avec } Q_i \text{ le débit dans la conduite pour une hauteur d'eau } H_i$$

3.3. En utilisant les expressions trouvées aux questions 2.7 et 3.2, montrer que l'on peut écrire le même type de relation avec les fréquences de rotation de la turbine N_i pour une hauteur d'eau H_i .

3.4. Afin "d'encadrer" et d'interpréter les mesures expérimentales, déterminer sur le fichier fourni les hauteurs d'eau permettant d'atteindre les fréquences minimum et maximum d'utilisation de la génératrice. Faire de même pour le débit ainsi que la puissance et le couple sur l'arbre de turbine.

4. INTERPRETATION DES RESULTATS

Objectifs : A l'aide des courbes obtenues, définir les capacités et les procédures d'utilisation de la centrale hydroélectrique.

4.1. Les données obtenues sont-elles globalement en adéquation avec les caractéristiques de la centrale ?

4.2. Expliquer la procédure de démarrage de la centrale pour une hauteur d'eau élevée.

4.3. Une des caractéristiques de la turbine est le débit d'armement à environ 30% du débit nominal. Expliquer à quoi correspond ce débit.

Un couple trop important sur l'axe de la turbine pourrait provoquer un glissement de la courroie. Le coefficient de sécurité de glissement s s'écrit : $s \cdot k = f$ avec k coefficient de frottement en service et f coefficient de frottement entre les poulies et la courroie.

La condition de non glissement s'écrit :

$$T_0 \geq \frac{C}{2R} \cdot \frac{e^{k\alpha} + 1}{e^{k\alpha} - 1}$$

- avec :
- T_0 tension de pose en N
 - C couple transmis en Nm
 - R rayon de la poulie considérée
 - k coefficient de frottement de service
 - α angle d'enroulement de la poulie sur la courroie (approximativement π)

4.4. A l'aide des résultats obtenus et en se basant sur des coefficients de frottement "classiques", évaluer le risque de glissement de la courroie.

