



Ce document a été mis en ligne par l'organisme [FormaV](#)®

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :

[www.formav.co/explorer](http://www.formav.co/explorer)

# **Brevet de technicien supérieur**

## **Conception et réalisation de systèmes automatiques**

**Épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées**

**Durée : 2 heures**

**Coefficient : 2**

**La calculatrice (conforme à la circulaire N°99-186 du 16-11-99) est autorisée.**

**La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.**

### **IMPORTANT**

**Ce sujet comporte 8 pages.**

**Le document réponse, page 8, est à remettre avec la copie.**

# Étude d'un barrage et de sa centrale électrique

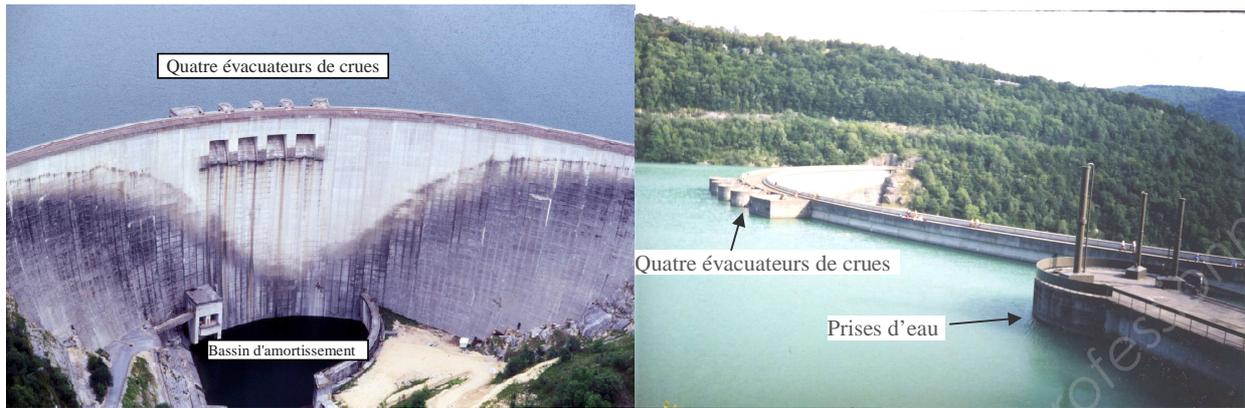


Photo : François BONNEVILLE (1997) (libre de droit)

## Mise en situation

Le barrage étudié (voir **figures n°1 et 2** ci-dessous) est construit en forme de voûte, avec des arcs horizontaux, ressemblant à une spirale. Il a l'avantage, par rapport à la voûte cylindrique classique, d'avoir une meilleure transmission des efforts sur les rives pour résister aux énormes pressions dues à l'eau de la retenue. Sa construction nous permet, d'une part, de réguler les crues grâce à ses quatre évacuateurs et, d'autre part, de produire de l'énergie électrique avec sa centrale, mais il doit être ausculté en permanence au moyen de capteurs pour éviter tout risque de catastrophe.

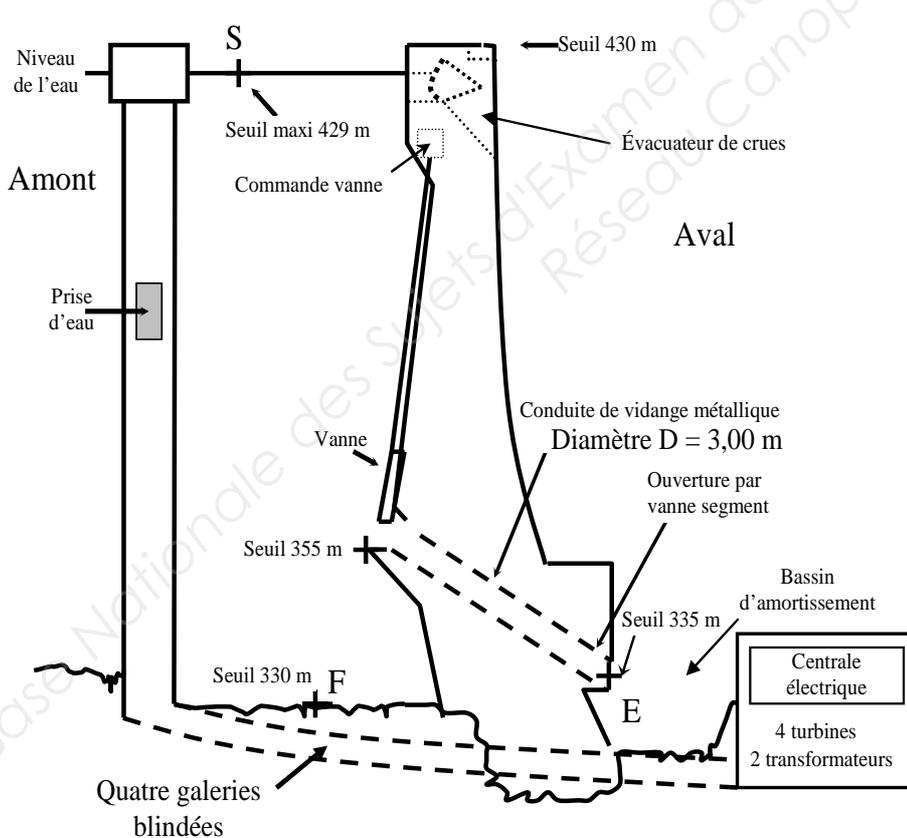


Figure n°1 : Vue de profil du barrage

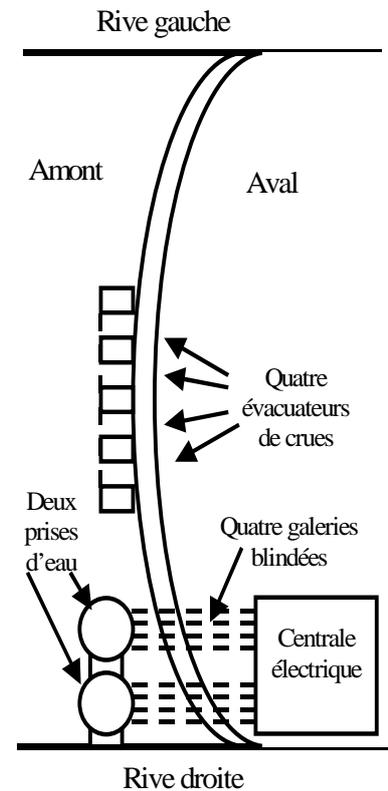


Figure n°2 : Vue de dessus du barrage

BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 1/8

## PARTIE A. ÉTUDE DU BARRAGE (6,5 POINTS)

### I. Étude hydraulique

**Données :**

- pression atmosphérique supposée uniforme dans l'air :  $P_0 = 1013 \text{ hPa}$  ;
- intensité du champ de pesanteur terrestre :  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$  ;
- masse volumique de l'eau  $\rho_{\text{eau}} = 1 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ .

#### I.1. Pression au fond de la retenue

On considère que l'eau est statique dans la retenue. Sa surface se situe à une altitude (seuil) de 429 m (point S).

Déterminer la pression  $P_F$  au point F d'altitude 330 m, en **pascal**, au fond de la retenue, puis l'exprimer en **bar**.

#### I.2. Vidange du barrage

Tous les dix ans, le barrage est vidangé par l'intermédiaire d'une conduite de vidange pour effectuer une inspection générale et afin de faire éventuellement des travaux nécessaires. On ouvre alors une vanne au seuil de 355 m et une vanne segment au seuil de 335 m.

On rappelle le théorème de Bernoulli pour deux points quelconques A et B du barrage :

$$P_A + \rho \cdot g \cdot z_A + \frac{1}{2} \rho \cdot v_A^2 = P_B + \rho \cdot g \cdot z_B + \frac{1}{2} \rho \cdot v_B^2$$

**I.2.1.** En appliquant le théorème de Bernoulli, déterminer l'expression littérale de la vitesse d'écoulement  $v_E$  au point E, à la sortie de la conduite de vidange au seuil de 335 m. On considérera que la pression au point de sortie de la conduite de vidange se trouve à la pression atmosphérique et que la vitesse au seuil maximal (point S) est négligeable devant la vitesse d'écoulement. Faire les simplifications nécessaires et vérifier par le calcul que  $v_E$  est égale à  $42,9 \text{ m.s}^{-1}$ .

**I.2.2.** Déterminer le débit volumique  $Q_v$  de l'eau dans la conduite de vidange, sachant que le diamètre de celle-ci est identique en tout point et de valeur  $D = 3,00 \text{ m}$ .

### II. Étude des évacuateurs de crues de surface

Selon les périodes de l'année, il est nécessaire de pallier les crues. Le barrage est doté de quatre évacuateurs de crues équipés d'une vanne segment pouvant évacuer au total  $1\,600 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Chaque vanne est commandée par un servomoteur entraînant une chaîne à la remontée. L'eau passe sous ces vannes et chute dans le bassin d'amortissement afin de ne pas endommager les fondations du barrage. Voici le schéma de principe d'un évacuateur (**figure n°3 page 2** ci-dessous) :

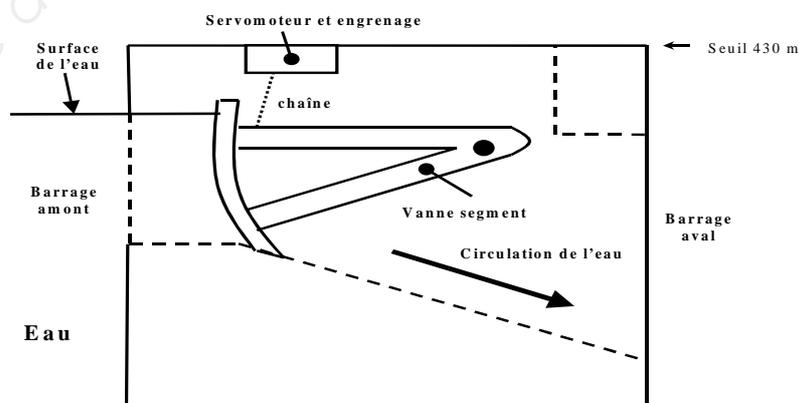


Figure n°3 : Évacuateur de crues

BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 2/8

## II.1. Étude de la chaîne synoptique

Le schéma fonctionnel simplifié de l'asservissement de position de la vanne segment est représenté **sur le document réponse 1 page 8**.

Sur ce document réponse :

**II.1.1** Entourer les différents éléments en précisant leur nom : chaîne directe, chaîne de retour, comparateur.

**II.1.2.** Annoter les termes suivants : consigne et erreur.

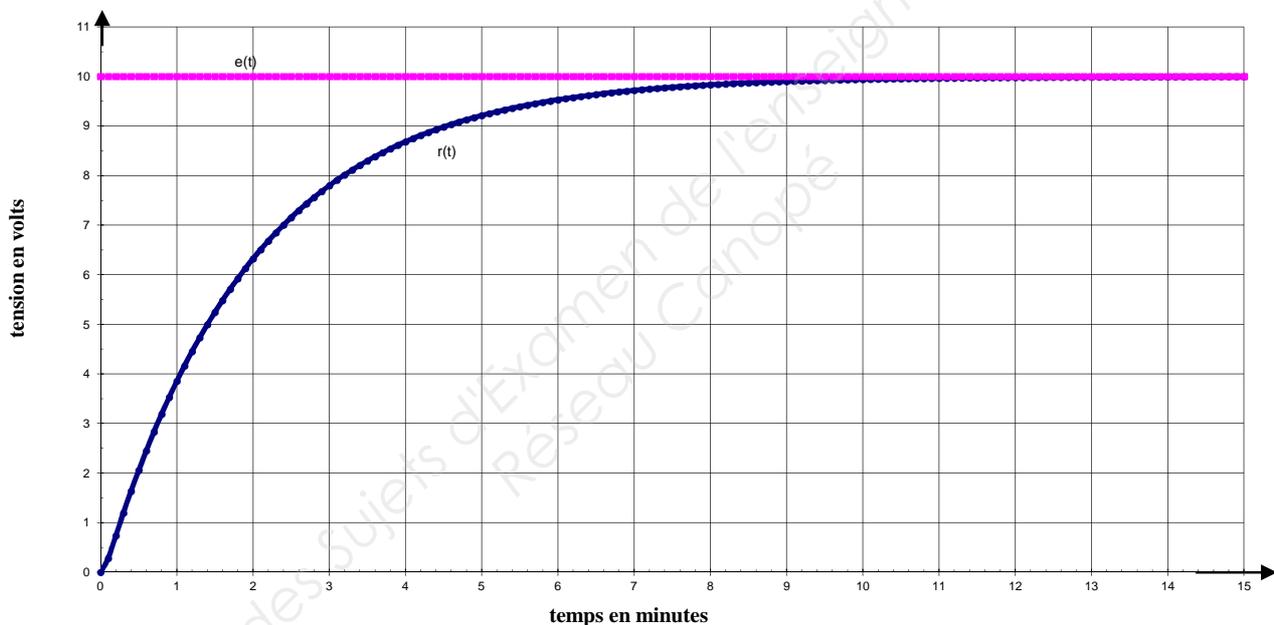
## II.2. Étude de l'ouverture de la vanne

On teste la rapidité d'ouverture de la vanne segment en appliquant un échelon en entrée  $e(t) = 10 \text{ V}$ . La réponse à cet échelon de tension est donnée graphiquement sur le document **figure n°4 ci-dessous**.

**II.2.1.** Déterminer le temps de réponse à 5 %, noté  $t_{r5\%}$  du système.

**II.2.2.** Calculer l'erreur  $\varepsilon$  en régime permanent.

**II.2.3.** Le système est-il stable ou instable ? Justifier.



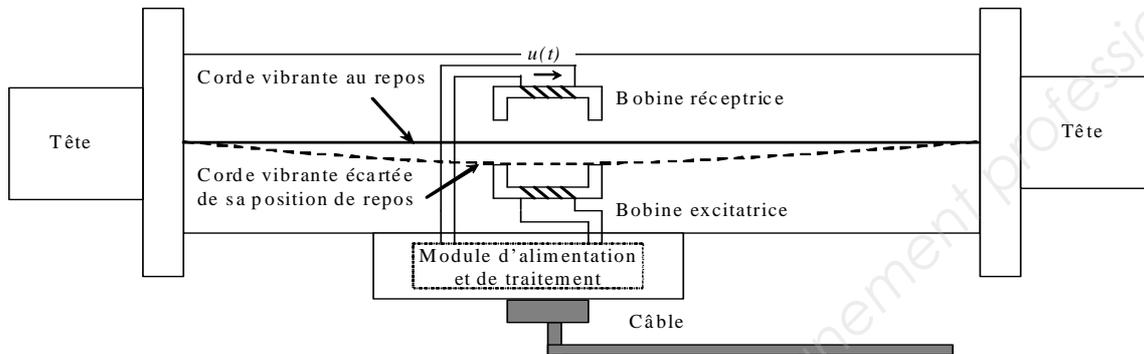
**Figure n°4 : Représentation (en gris) de l'échelon de tension  $e(t)$  et (en noir) de la réponse en tension  $r(t)$**

BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 3/8

## PARTIE B. L'AUSCULTATION : LA SURVEILLANCE DU BARRAGE (5 POINTS)

Le barrage se déforme au rythme des saisons en fonction de la température et du niveau de la retenue : on dit qu'il respire. C'est pourquoi, il est équipé de multiples capteurs et doit être surveillé en permanence par un centre de contrôle. L'étude portera sur un capteur : un extensomètre à corde vibrante préalablement installé dans le béton lors de sa construction.

L'extensomètre est représenté schématiquement sur la **figure n°5 ci-dessous**. C'est un cylindre en acier, dans lequel une corde (fil en acier) est tendue entre deux têtes ancrées dans la structure du barrage dont on veut mesurer la déformation.



**Figure n°5 : Vue de coupe de l'extensomètre**

Une bobine électromagnétique sert à exciter la corde via une impulsion électrique. La corde est donc écartée de sa position de repos puis relâchée. La vibration de la corde magnétisée à sa fréquence de résonance génère aux bornes de la bobine réceptrice une tension induite. Un module de traitement équipé d'un filtre permet de déterminer cette fréquence électrique.

À sa fabrication, la corde en acier de section  $S = 0,20 \text{ mm}^2$  a une longueur initiale  $L = 220 \text{ mm}$  sous une force de tension de valeur  $F = 194 \text{ N}$ .

La masse volumique de l'acier est  $\rho_{\text{acier}} = 7700 \text{ kg.m}^{-3}$ .

La relation donnant l'allongement  $\varepsilon$  (en mètre) de la corde dû à la déformation de la structure s'écrit :  $\varepsilon = K \cdot (f_1^2 - f_0^2)$  avec un coefficient extensométrique  $K = \frac{4L^3\rho}{E}$

$E$  : module d'Young de l'acier  $E = 2,1 \times 10^{11} \text{ N.m}^{-2}$ ,

$L$  : longueur de la corde au repos en mètre,

$\rho$  : masse volumique en  $\text{kg.m}^{-3}$ ,

$f_0$  : fréquence initiale correspondant à la longueur au repos,

$f_1$  : fréquence mesurée correspondant à la force exercée sur les deux têtes de l'extensomètre.

I. Quelles sont les grandeurs d'entrée et de sortie du capteur ?

II. Est-ce un capteur passif ou actif ? Justifier.

III. La **figure n°6 page 5** représente la tension induite  $u(t)$  considérée transitoirement périodique aux bornes de la bobine réceptrice.

III.1. Déterminer sa fréquence  $f_u$ .

III.2. Déterminer son amplitude  $A_u$ .

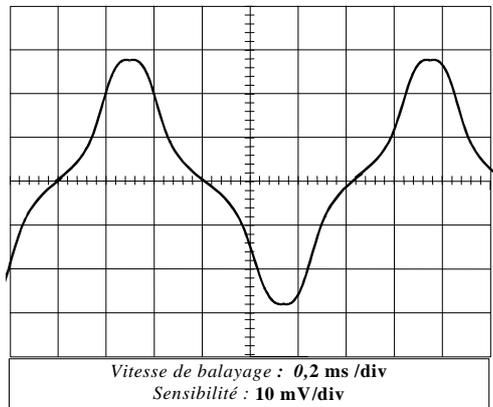
III.3. Citer l'appareil de mesure permettant d'obtenir la valeur efficace de la tension induite  $u(t)$ . Préciser son couplage.

BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 4/8

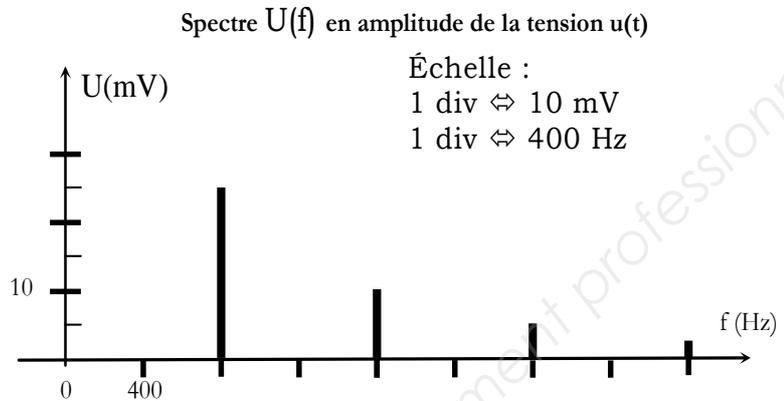
IV. Un analyseur de spectre permet de tracer le spectre en amplitude de la tension  $u(t)$ . Ce dernier est représenté sur la **figure n°7 ci-dessous**.

IV.1. Déterminer l'amplitude et la fréquence du fondamental de la tension  $u(t)$ .

IV.2. Déterminer l'amplitude de l'harmonique de rang 3.



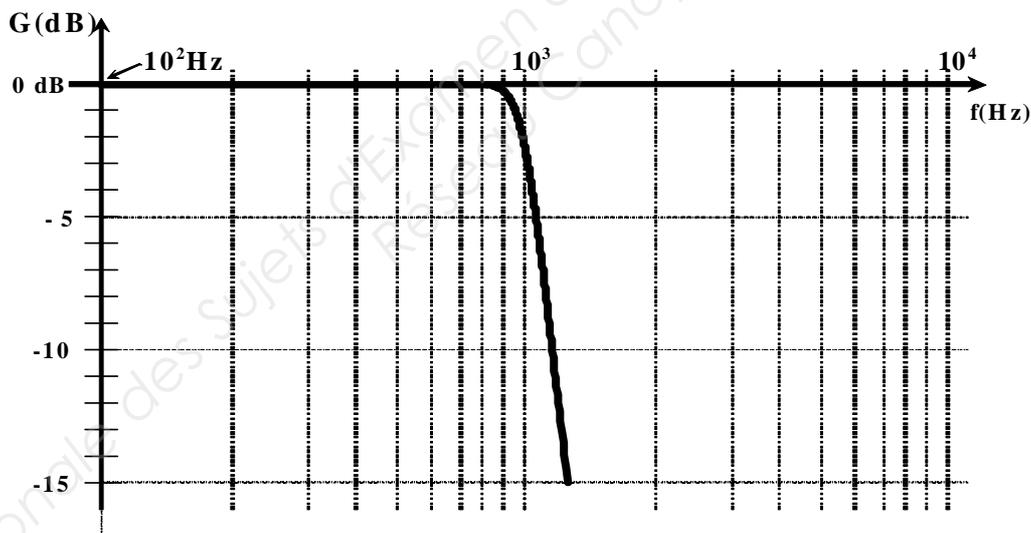
**Figure n°6 : Évolution temporelle de la tension  $u(t)$**



**Figure n°7 : Spectre en amplitude de la tension  $u(t)$**

V. Afin de rendre la tension  $u(t)$  sinusoïdale et d'augmenter la précision de la mesure de fréquence, on intercale un filtre entre la sortie de la bobine réceptrice et le module de traitement.

La réponse en fréquence du filtre est représentée sur la **figure n°8 ci-dessous**.



**Figure n°8 : Diagramme de Bode en gain du filtre**

V.1. Nommer le type de filtre choisi.

V.2. Déterminer la bande passante du filtre à  $-3$  dB.

V.3. Dessiner le spectre de la tension  $u_s(t)$  de sortie du filtre **sur le document réponse n°2 page 8**.

V.4. Sachant que la fréquence  $f_1$  mesurée après déformation de la structure est égale à 900 Hz et connaissant la fréquence initiale  $f_0 = 800$  Hz de la corde à la construction, déterminer l'allongement de l'extensomètre.

BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 5/8

## PARTIE C. PRODUCTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (8,5 POINTS)

### Équipement de la centrale électrique :

► 4 groupes (G1-G2-G3-G4) composés chacun d'un alternateur couplé à une turbine « Francis » à axe vertical dont :

- trois sont non réversibles :

La plaque signalétique d'un alternateur triphasé est représentée ci-dessous :

Induit :	68 MW	10,3 kV / 17,8 kV
	214 tr.min <sup>-1</sup>	50 Hz
Inducteur :	électroaimant	continu

- un est réversible (G4)

=> en turbine : vitesse  $n_t = 150 \text{ tr.min}^{-1}$  ;  $Q_{t \text{ nominal}} = 65 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ;  $P_{t \text{ nominale}} = 57 \text{ MW}$ .

=> en pompe : vitesse  $n_p = 150 \text{ tr.min}^{-1}$  ;  $Q_{p \text{ nominal}} = 58,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ;  $P_{p \text{ nominale}} = 63,2 \text{ MW}$ .

► 2 transformateurs considérés comme parfaits.

► 4 disjoncteurs considérés comme parfaits.

On représente, sur la **figure n°9 ci-dessous**, le schéma électrique des groupes 1 et 2 (G1 - G2) comprenant deux alternateurs couplés au réseau entraînés par leur turbine respective.

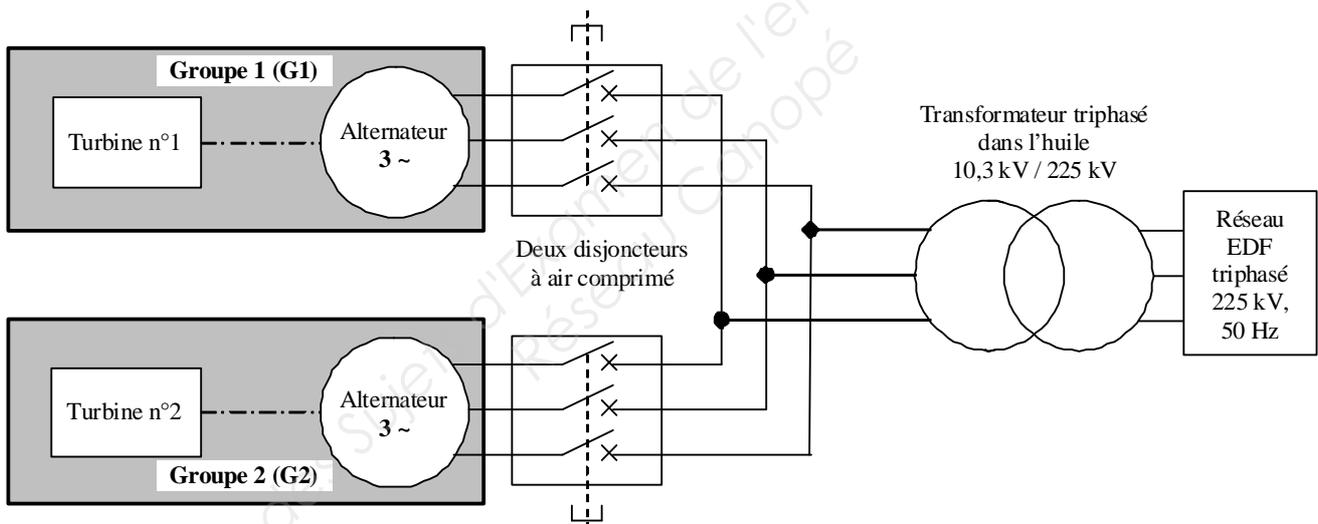


Figure n°9 : Schéma électrique des groupes 1 et 2 de la centrale

### I. Étude du transformateur (voir figure n°9 page 6 ci-dessus)

I.1. Quel est le nom de la tension correspondant à 10,3 kV ?

I.2. Déterminer le rapport  $m$  de transformation du transformateur.

### II. Étude d'un l'alternateur triphasé (groupe G1)

II.1. Le couplage de l'alternateur (voir figure n°9 ci-dessus)

II.1.1. Déterminer le couplage de l'alternateur. Justifier la réponse.

II.1.2. Le dessiner sur le **document réponse 3 page 8**.

BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 6/8

**II.2.** Compléter sur les pointillés du **document réponse 4 page 8** en choisissant les puissances mises en jeu parmi la liste des puissances ci-dessous :

<b><math>P_{Jex}</math> : pertes par effet Joule à l'excitation</b>	<b><math>P_{JS}</math> : pertes par effet Joule au stator</b>
<b><math>P_{elec}</math> : puissance électrique</b>	<b><math>P_{mec}</math> : puissance mécanique</b>
<b><math>P_{FS}</math> : pertes fer au stator</b>	<b><math>P_m</math> : pertes mécaniques</b>
	<b><math>P_{ex}</math> : puissance d'excitation</b>

**II.3.** Pour un fonctionnement précis d'un alternateur sous la tension électrique de 10,3 kV, la puissance active est de 68 MW et l'intensité du courant de ligne de l'alternateur est  $I = 3,90$  kA.

**II.3.1.** Déterminer la valeur du facteur de puissance.

**II.3.2.** Citer une incidence due à une diminution du facteur de puissance sur le réseau.

**II.3.3.** L'ensemble des pertes est estimé à « PERTES » = 2,5 MW. Déterminer le rendement de l'alternateur.

### III. La production d'énergie électrique

**III.1.** Déterminer la puissance nominale totale de la centrale lorsque tous les groupes fonctionnent.

**III.2.** Calculer la production d'énergie électrique de la centrale, si l'on considère qu'elle ne fonctionne au nominal que le **tiers de l'année à raison de 9 h 30 min par jour** sans pomper ? L'exprimer en GWh.

**III.3.** Dans la centrale, les opérateurs effectuent des contrôles. En moyenne, ils sont présents deux heures par jour et sont soumis au bruit de rotation des alternateurs et des turbines. On place un sonomètre à l'intérieur de la centrale. L'afficheur indique 83 dB.

**III.3.1.** Les opérateurs doivent-ils être équipés de dispositifs de protection individuelle pour respecter les normes sécuritaires selon l'OMS ? Justifier.

Durée	Niveau sonore acceptable selon l'OMS (norme sécuritaire)
8 heures	75 dB
4 heures	78 dB
2 heures	81 dB
1 heure	84 dB
30 minutes	87 dB
15 minutes	90 dB

**III.3.2.** Citer deux risques sur la santé de l'exposition au bruit.

**III.3.3.** Citer deux paramètres influant sur les risques liés à l'exposition au bruit.

### IV. Étude de la réversibilité de la machine synchrone

Ce barrage est capable aussi d'absorber un excédent d'énergie électrique sur le réseau en pompant et en stockant l'eau avec le groupe n°4 pour reconstituer partiellement la réserve de la retenue.

**IV.1.** Quel est le nom de la source d'énergie correspondant à ce stockage ?

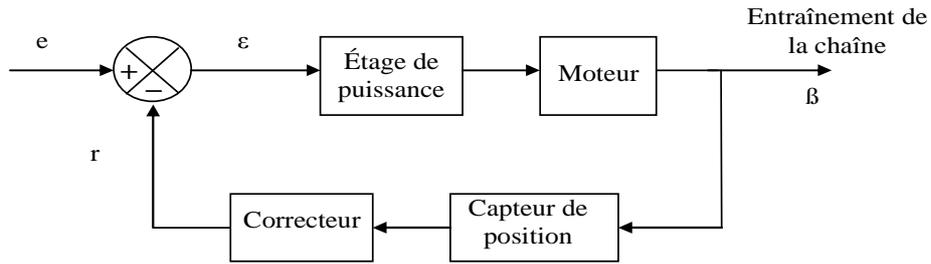
**IV.2.** Est-ce une énergie renouvelable ou non renouvelable ?

BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 7/8

**DOCUMENTS RÉPONSE (à remettre avec la copie)**

Document réponse 1

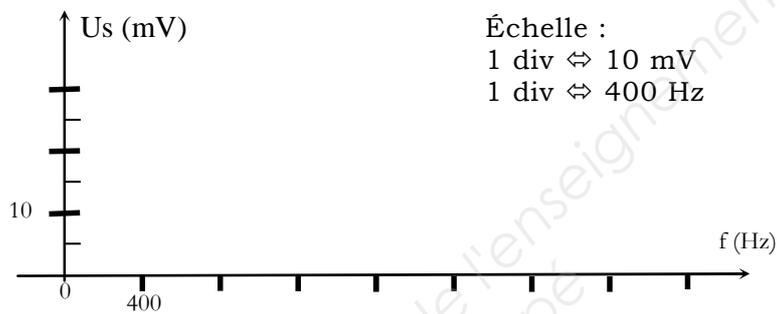
**Partie A. Questions n° II.1.1 et II.1.2.**



Document réponse 2

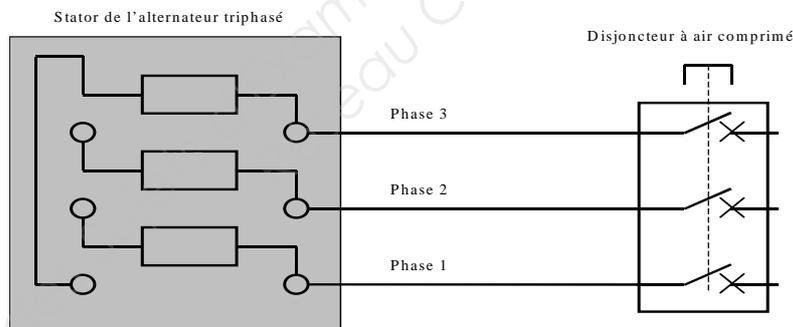
**Partie B. Question n° V.3.**

Spectre  $U_s(f)$  en amplitude de la tension  $u_s(t)$



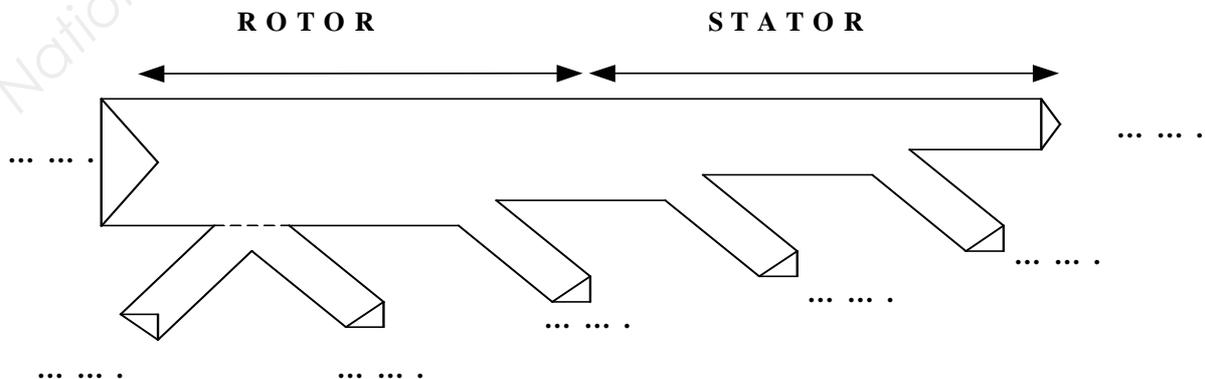
Document réponse 3

**Partie C. Question n° II.1.2.**



Document réponse 4

**Partie C. Question n° II.2.**



BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques	SUJET	Session 2015
Epreuve U32 - sciences physiques et chimiques appliquées	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
15CSE3SPCME1		Page 8/8