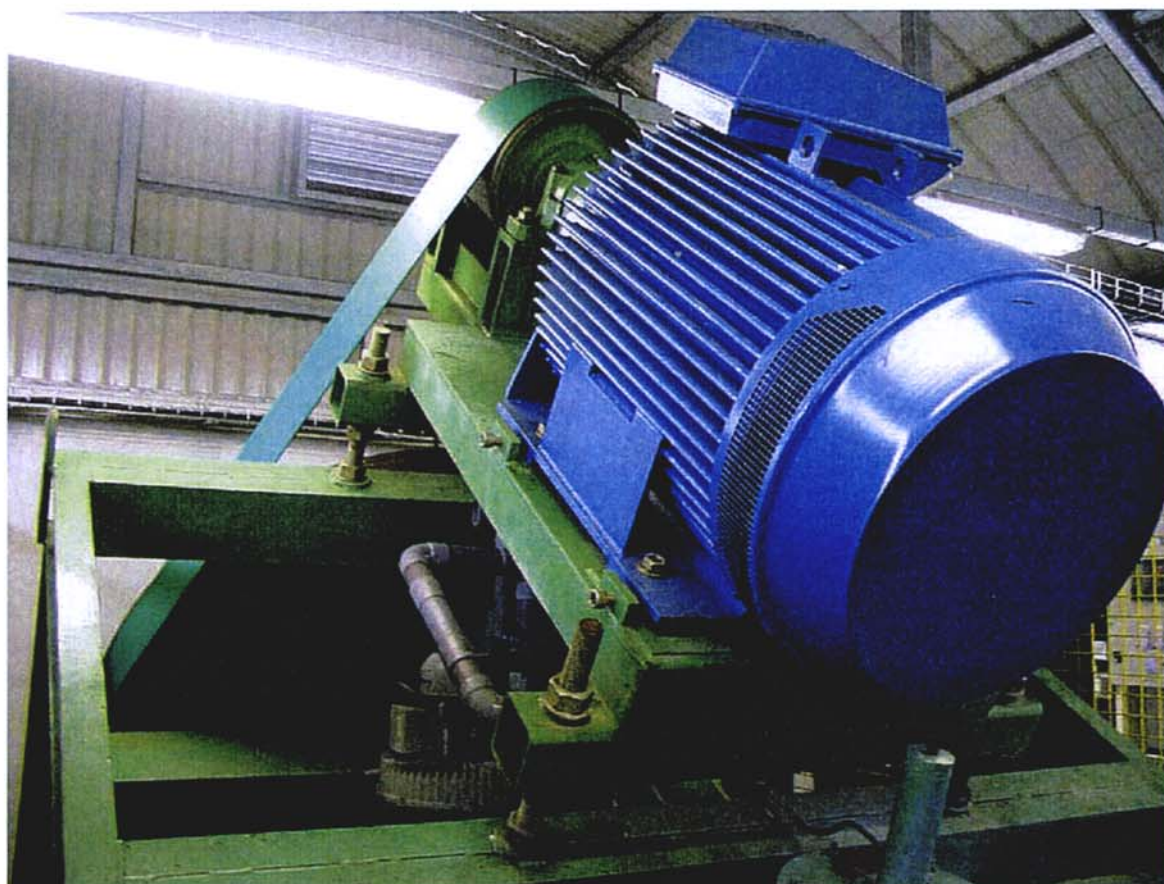


PARTIE B**LA PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE*****MICROCENTRALE HYDROELECTRIQUE
du Moulin de CHIGNY***

- B1 - Etude de la génératrice asynchrone triphasée
- B2 - Etude du couplage au réseau EDF
- B3 - Bilan des puissances
- B4 - Etude environnementale

Ce dossier est constitué de :

9 pages numérotées DR B1 à DR B9 [Documents questions - réponses]

3 pages numérotées DT B1 à DT B3 [Documents techniques]

Répondre aux emplacements réservés

L'étude de faisabilité ayant conclu positivement, la centrale est maintenant réalisée. Cette partie s'intéresse tout d'abord à la génératrice réalisant la conversion de l'énergie mécanique provenant de la turbine en énergie électrique. Puis les conditions de couplage sont étudiées afin de délivrer cette énergie sur le réseau EDF. Ensuite le bilan des puissances affine les estimations de production précédentes. Cette partie s'achève par l'étude de l'influence du fonctionnement de la microcentrale sur l'environnement.

B1. ETUDE DE LA GENERATRICE ASYNCHRONE TRIPHASEE

Objectifs : Exploiter la caractéristique $T_{em} = f(n)$ dans les quatre quadrants. Justifier le choix d'une génératrice asynchrone.

On définit les grandeurs suivantes :

- Ω_s = vitesse angulaire du champ tournant (en rad/s)
- ω_s = pulsation angulaire du champ tournant (en rad/s)
- p = nombre de paires de pôles
- P_{em} = puissance électromagnétique transmise au rotor (en W)
- T_{em} = couple électromagnétique transmis au rotor (en Nm)
- r_1 = résistance d'un enroulement statorique = 25 m Ω
- g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s²

Les données techniques de la machine asynchrone :

Constructeur : ABB Modèle : M2FG 355 SA8 B3
160 kW, 759 tr/min, 8 pôles, 50 Hz, 400 / 660 V, $\cos \varphi = 0,7$
Résistance d'un enroulement statorique : $r_1 = 25 \text{ m}\Omega$

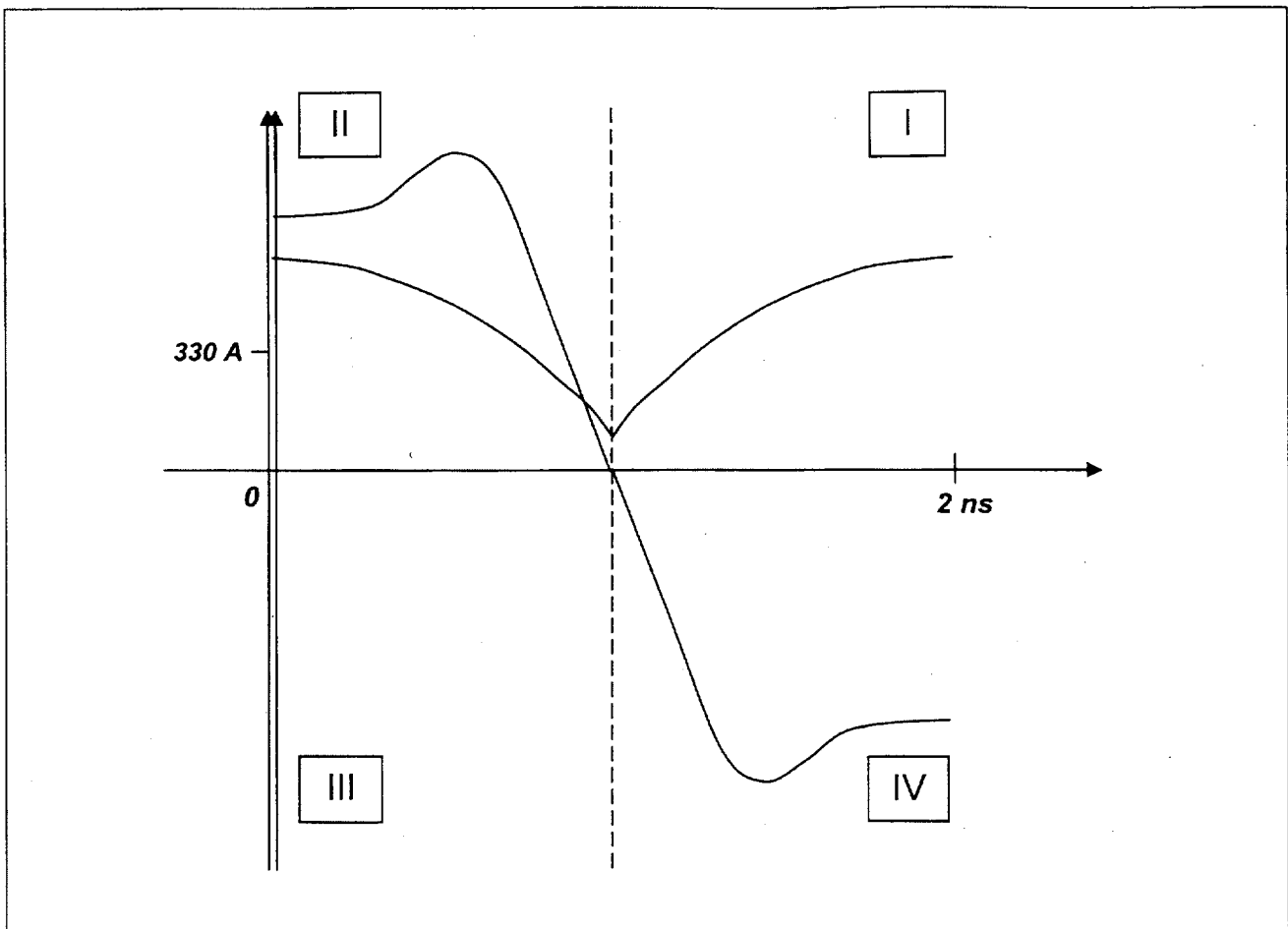
B1.1. Représenter et justifier le couplage des enroulements de la machine (réseau 3 x 400V).

B1.2. Calculer l'intensité nominale I_n de la génératrice asynchrone.

B1.3. Quelle est la vitesse n_s de synchronisme et la valeur du glissement nominal g_n en % ?

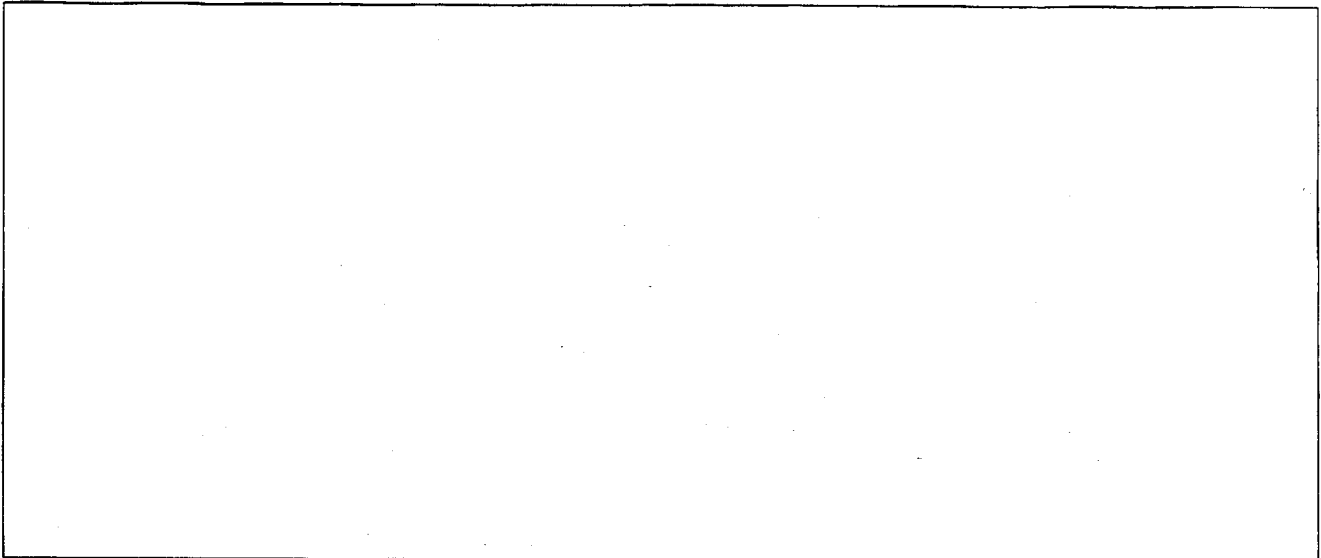
B1.4. On considère les caractéristiques de la machine asynchrone représentées dans le graphe ci-dessous :

- Identifier la courbe $T_{em} = f(n)$, la courbe $I_{eff} = f(n)$
- Repérer les axes, rappeler les unités,
- Placer n_s la vitesse de synchronisme.



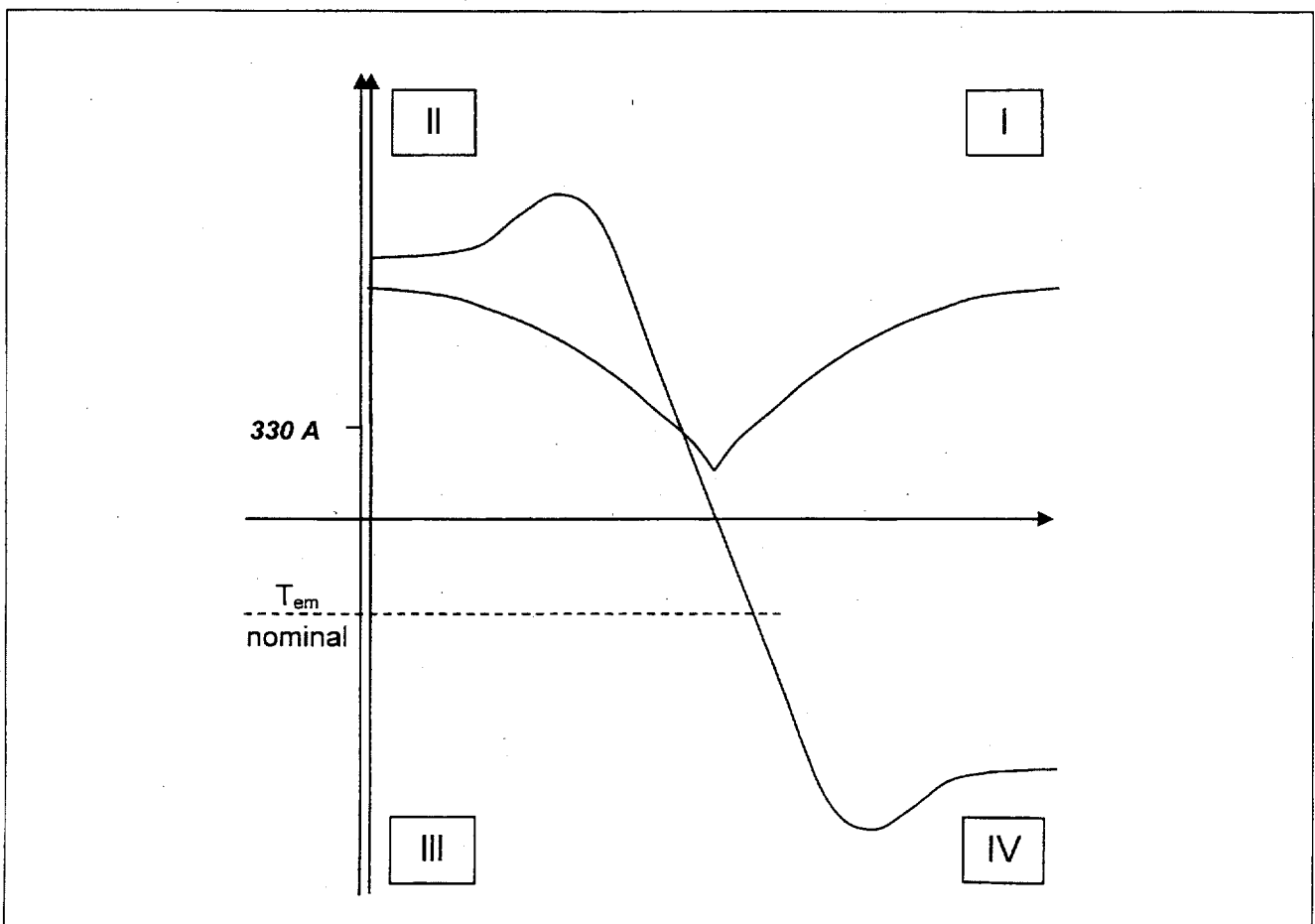
B1.5. Pour le graphe ci-dessus, préciser dans quels quadrants la machine est moteur ou générateur ? Justifier votre réponse.

B1.6. Préciser pour les quadrants II et IV, le sens de circulation de l'énergie entre le stator et le rotor? De quel type de conversion s'agit-il ?



B1.7. Sur les courbes $T_{em} = f(n)$ et $I = f(n)$ ci-dessous, positionner les points de fonctionnement **P1**, **P2**, **P3** correspondants aux situations suivantes:

- P1** : centrale hydroélectrique à l'arrêt,
- P2** : couplage de la génératrice asynchrone au réseau à $n = n_s$ (vitesse de synchronisme)
- P3** : génératrice à son point nominal de fonctionnement.



B1.8. Sur la figure ci-dessus, surligner et flécher en bleu le parcours du point de fonctionnement lors de la mise en oeuvre de la microcentrale.

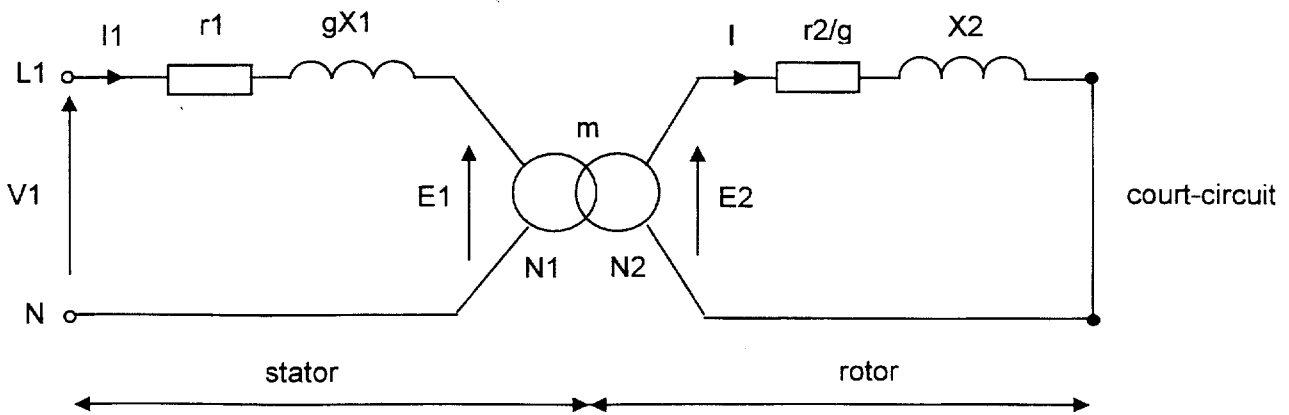
- P1 : centrale hydroélectrique à l'arrêt,
- P2 : couplage de la génératrice asynchrone au réseau,
- P3 : génératrice à son point nominal de fonctionnement.

B1.9. Justifiez le choix d'une machine asynchrone par rapport à une machine à courant continu et à une machine synchrone. Les choix se limiteront à la gestion de l'énergie.

B2. ETUDE DU COUPLAGE AU RESEAU EDF

Objectifs : étude du comportement de la machine asynchrone couplée au réseau EDF.

Le schéma équivalent simplifié d'une machine asynchrone vu d'une phase correspond à un transformateur monophasé parfait dont le secondaire est en court-circuit.



L'expression du couple électromagnétique T_{em} s'écrit :
$$T_{em} = 3 \cdot m^2 \cdot V_1^2 \cdot \frac{p}{\omega} \cdot \frac{r_2}{\frac{r_2^2}{g} + gX_2^2} = \frac{K}{\frac{r_2^2}{g} + gX_2^2}$$

B2.1. Que représente N1, N2. Justifier la réversibilité du comportement de la machine asynchrone en rappelant les relations du rapport de transformation m.

B2.2. Lorsque le glissement g est au voisinage du synchronisme, montrer que la caractéristique $T_{em} = f(n)$ devient une droite d'équation $T_{em} = \alpha \cdot g$. Quelle est la conséquence pour la puissance P_{em} de la génératrice?

B2.3. Identifier et justifier le choix du constituant connectant la génératrice au réseau (voir DT B1 - extrait des schémas électriques).

B2.4. Suite à un défaut du capteur de fréquence de rotation, l'ordre de couplage de la génératrice au réseau est donné à $n = 741$ tr/min.

- Placer le point de fonctionnement **P4** correspondant à cette situation en B1.4,
- Quelles en sont les conséquences pour l'ensemble de l'équipement?

B2.5. Quelles sont toutes les causes de découplage de la génératrice du réseau EDF?

B2.6. Au moment du couplage sur le réseau, que se passe-t-il si l'ordre des phases de la génératrice n'est pas en concordance avec l'ordre des phases du réseau EDF?

B2.7. Le constructeur imposant le sens de rotation de la turbine (due à la forme des pales). Proposer une méthode pour s'assurer de la correspondance entre l'ordre des phases du réseau et la f.e.m. créée par le sens de rotation de la génératrice :

B2.8. Présenter deux capteurs susceptibles de fournir une image de la vitesse de rotation. Avantages et inconvénients.

B3. BILAN DES PUISSANCES

Objectifs : déterminer le rendement global de la microcentrale, de la conduite, de la génératrice, de la turbine KAPLAN lors du relevé du 8 avril 2007.

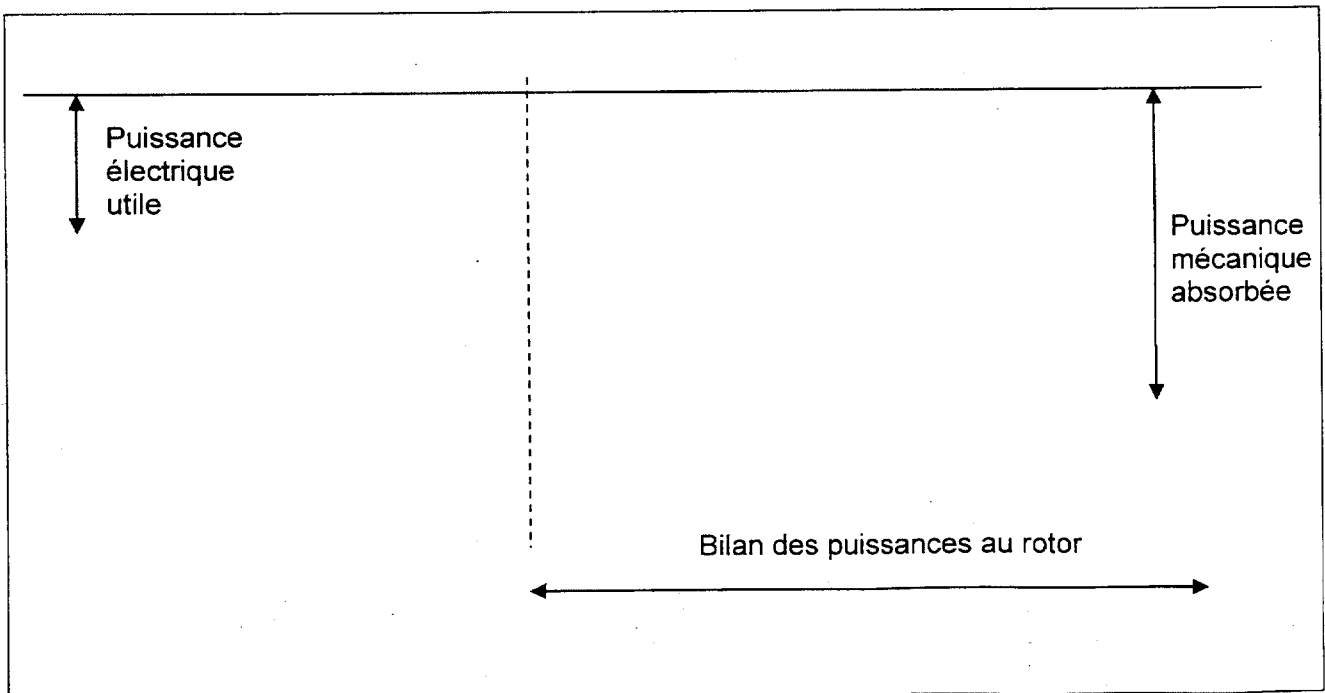
Si nécessaire, le dossier technique de la partie A contient les définitions des grandeurs hydrauliques.

B3.1. Déterminer la hauteur de chute d'eau brute H_b , la puissance débitée P_u , le rendement global η_g de la microcentrale hydroélectrique lors du relevé du 8 Avril 2007 (voir DT B2 : tableau des relevés).

Cadre réponse B3.1

B3.2. Déterminer le rendement η_{cond} de la conduite amenant l'eau à la turbine KAPLAN pour le relevé du 8 avril 2007 (voir DT B3 : étude hydraulique).

B3.3. Compléter le bilan des puissances en génératrice (pertes fer au rotor négligées).



B3.4. Calculer les pertes joules stator P_{js} pour le point de fonctionnement du 08/04/07.

B3.5. Calculer les pertes joules rotor ($P_{jr} = -g \cdot P_{em}$) pour le point de fonctionnement du 08/04/07 (pertes fer stator = 1070 W et $g = -0,8\%$).

B3.6. Pour le point de fonctionnement du 8 avril 2007, calculer le rendement $\eta_{\text{généré}}$ de la génératrice avec des pertes mécaniques de 2820 W.

B3.7. Dans les mêmes conditions, déterminer le rendement η_t de la turbine. Le rendement du multiplicateur poulie-courroie étant égal à $\eta_{\text{courroie}} = 0,97$ (voir page PG4).

B3.8. Justifier le coefficient 0,8 de la " formule approchée " ci-dessous utilisée lors de la pré-étude hydraulique d'un site.

Détermination de la puissance électrique P_e récupérable en sortie de la génératrice :

P_e (kW) = 0,8 . Puissance hydraulique brute

Puissance hydraulique brute = $H_n \cdot Q_m \cdot g$

H_n : Hauteur brute de la chute d'eau

Q_m : Débit maximal du site

g : Coefficient d'attraction terrestre

B4. ETUDE ENVIRONNEMENTALE

Objectifs : Quantifier la quantité d'énergie fossile économisée en 2006 grâce à l'exploitation du site de Chigny.

B4.1. Calculer l'énergie annuelle (en kWh) produite sur l'année 2006.

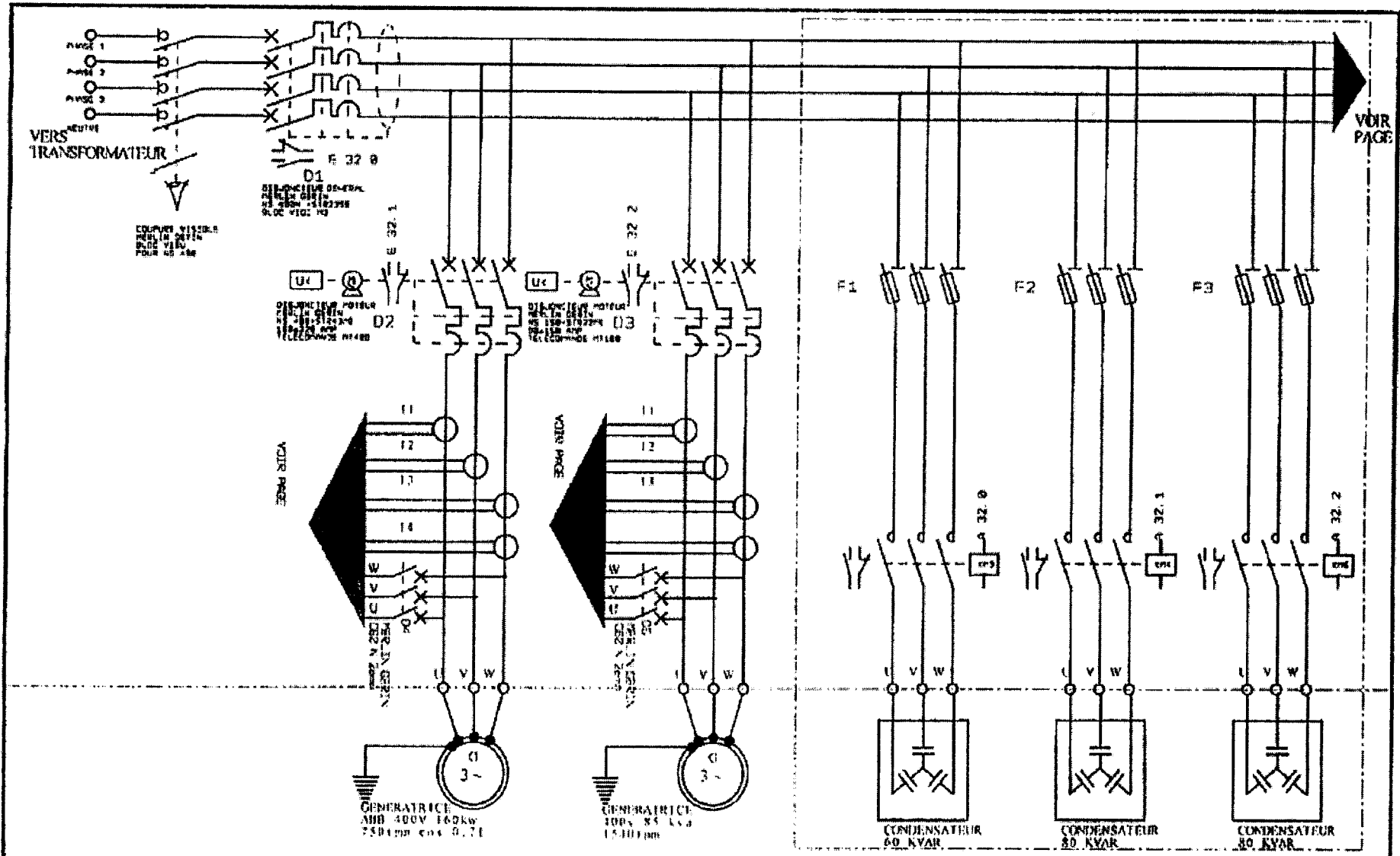
B4.2. Déterminer la quantité de CO₂ émise dans l'atmosphère par la microcentrale au cours de l'année 2006 (voir DT B3).

B4.3. Calculer la quantité de pétrole (en litres) économisée grâce à la microcentrale hydroélectrique durant l'année 2006 (voir DT B3).

B4.4. Qu'est ce que le CO₂? Que savez-vous du rôle du CO₂ dans l'effet de serre?

B4.5. Combien d'arbres faudrait-il planter pour compenser l'émission de CO₂ d'une centrale thermique au charbon produisant la quantité d'énergie de la question A4.1 (la croissance d'un grand arbre absorbe environ 500 kg de CO₂/an) ?

B4.6. Comparer le résultat précédent dans le cadre de la microcentrale.



CHIGNY TURBINE HYDRAULIQUE		GROUPE N°1	GROUPE N°2	LES CONDENSATEURS SONT DES BLOCS COMPLETS PLACES HORS ARMOIRE		
		REFERENCE MCT 400	schema de puissance des groupes		ECH: SANS DATE: 16/05/1998	PAGE 0
				DESSINATEUR: I.M.		

DB

DT B1

GET 08

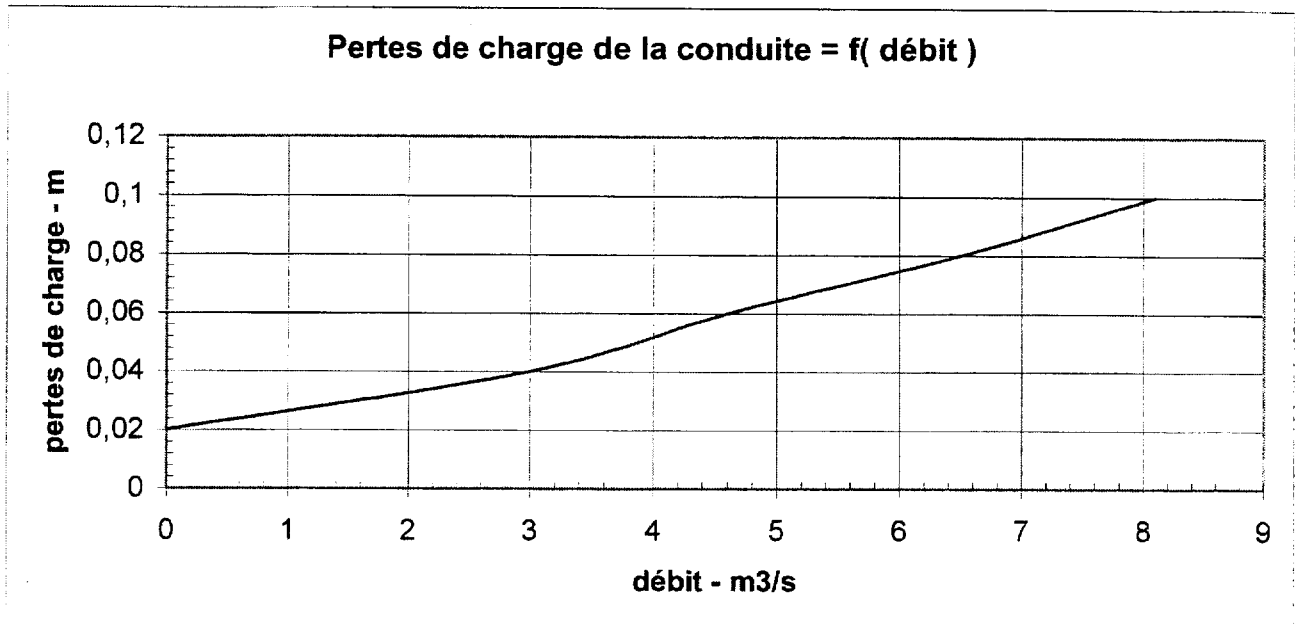
Centrale hydraulique de CHIGNY - turbine KAPLAN

Extraits des relevés du 7 au 17 Avril 2007

Date	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Repère hauteur amont / cm	103	104	103	105	104	105	105	103	103	105	104
Repère hauteur aval / cm	343	351	349	353	352	353	345	351	352	357	354
Chute d'eau brute/ cm	240		246	248	248	248	240	248	249	252	250
Débit / m ³ .s ⁻¹	7,2	5,4	5,2	4,9	4,8	4,6	3,6	3,6	3,4	3,2	3,5
Puissance hydraulique brute /kW	172	134	127	122	119	115	87	88	85	80	87
Réglage des pales / %	67	52	54	52	49	48	36	38	36	31	34
I génératrice / A	275	244	235	237	236	234	203	202	201	195	204
cos phi	0,688		0,577	0,542	0,532	0,512	0,412	0,429	0,409	0,385	0,410
phi / °	47	54	55	57	58	59	66	65	66	67	66
Puissance utile génératrice / kW	131		94	89	87	83	58	60	57	52	58
Rendement global /%	76		74	73	73	72	67	68	67	65	67

source : SICAE de l'Aisne

Etude hydraulique de la conduite



source : SICAE de l'Aisne

Production d'énergie électrique de la microcentrale (en kWh) au cours de l'année 2006

Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
66792	49666	81073	80866	68406	53419	23008	32008	7821	1481	17387	53868

source : SICAE de l'Aisne

Correspondance entre les sources d'énergie

Une tonne de pétrole contient une énergie de 41,86 Gjoule = 1 tep (tonne équivalent pétrole)

1 tep	11628 kWh électricité	1100 m ³ de gaz naturel	7,2 m ³ de bois bûche	1,4 tonne de charbon	7,33 barils de pétrole	1 baril = 159 litres de pétrole
-------	--------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------	---------------------------	------------------------------------

source : www.energie-rhone.fr

Emissions de CO₂ dans l'atmosphère (en g/kWh électrique) suivant les sources d'énergie à partir du calcul de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) de la filière

(construction de l'installation, extraction et transport du combustible, production de l'énergie électrique, traitement et stockage des déchets, déconstruction de l'installation)

nucléaire	gaz	charbon	pétrole	hydraulique
6	430	800 à 1050	985	4

source EDF