



CONCOURS GENERAL DES
LYCEES

SESSION 2003

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

GENIE ELECTRIQUE

(Classe de terminale STI)

ELECTROTECHNIQUE

Durée : 6 heures



**ELEMENTS
DE
CORRIGE**



PARTIE A

ETUDE DE L'ALIMENTATION HYDRAULIQUE DES CANONS A NEIGE

A1 ANALYSE DE LA ZONE D'ETUDE

A 1 1 La réserve des courtiens sert à l'alimentation en eau du système de production de neige de culture de la station: Donner la variation d'altitude entre la surface libre de la réserve des courtiens et la salle des machines de l'usine à neige de l'aiguille.

Altitude de la surface libre de la réserve des courtiens : 1965 m

Altitude de la salle des machines de l'usine à neige : 1895 m

variation d'altitude : 70 m

A 1 2 La conduite d'amenée de l'eau de la réserve des courtiens à la salle des machines de l'usine à neige de l'aiguille est constituée de tuyauteries DN150 et DN 200 .Donner, pour chacune de ces tuyauteries, la longueur utilisée.

Longueur tuyauterie DN150 : 1600 m

Longueur tuyauterie DN200 : 830 m

A 1 3 Donner les caractéristiques de la conduite d'alimentation en eau des canons à neige de la salle des machines à l'abri 42 (longueur et caractéristiques).

Longueur : 875 m

Désignation : Ø 6" PN60

A 1 4 Donner les caractéristiques du canon "Rubis R10m" (débit d'eau maximum et pression d'eau).

Débit d'eau maximum : 12,7 m³/h

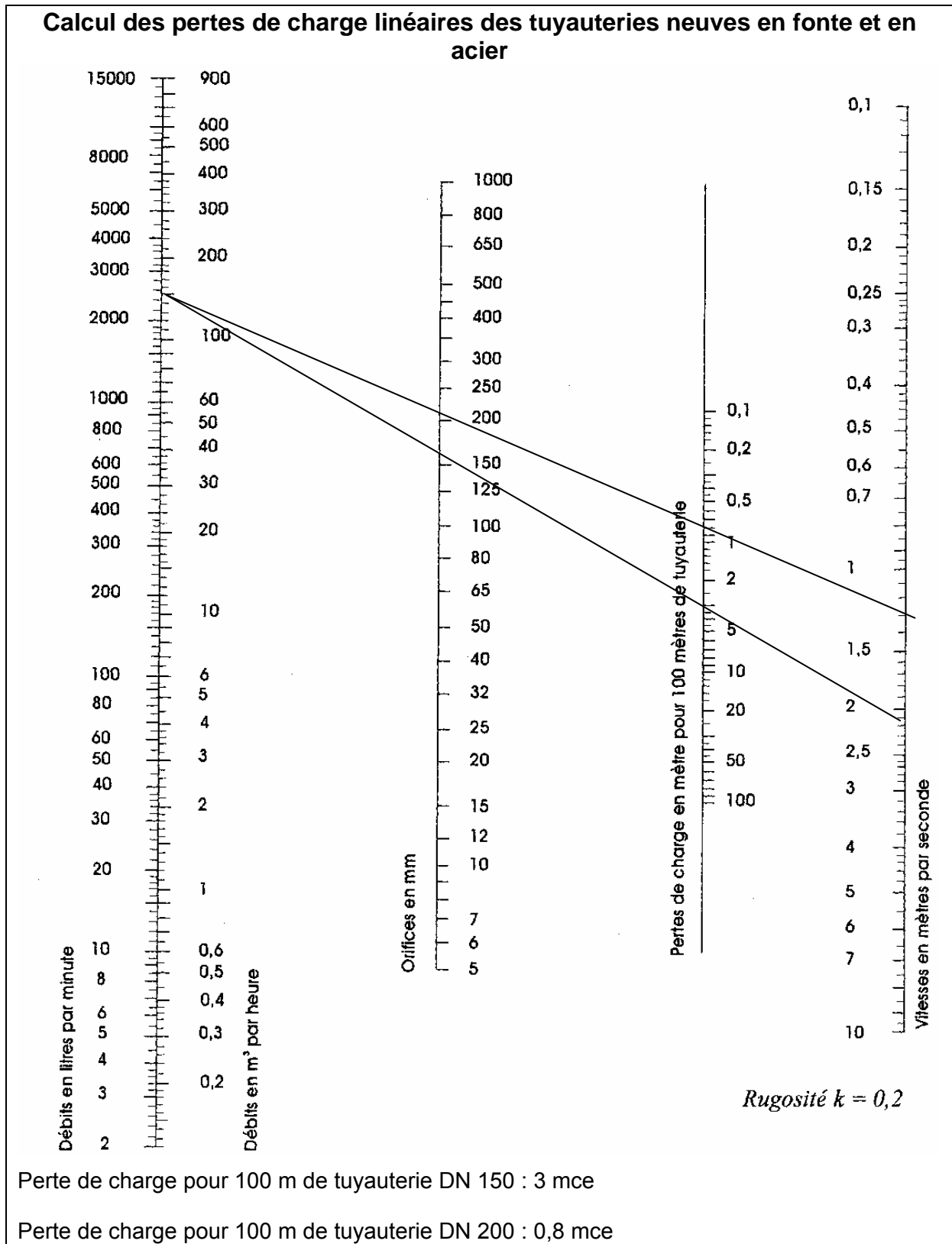
Pression d'eau : 40 bars

A2 ETUDE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE L'USINE A NEIGE.

A 2 1 Déterminer à l'aide de l'abaque fourni dans le dossier réponses la perte de charge donnée en "mètre de colonne d'eau pour 100m de conduite" pour chacun des diamètres de conduite. Prendre le débit maxi de la pompe 150m³/h

A2 ETUDE DE L'ALIMENTATION EN EAU DE L'USINE A NEIGE

A 2 1 Pertes de charge



A 2 2 Calculer la perte de charge totale pour toute la conduite (les pertes de charge linéaires et perte de charge singulière dans le compteur).

Perte de charge linéaire pour toute la conduite : $(16 * 3) + (8,3 * 0,8) = 54,64$ mce

Perte de charge singulière dans le compteur : 0,5 mce

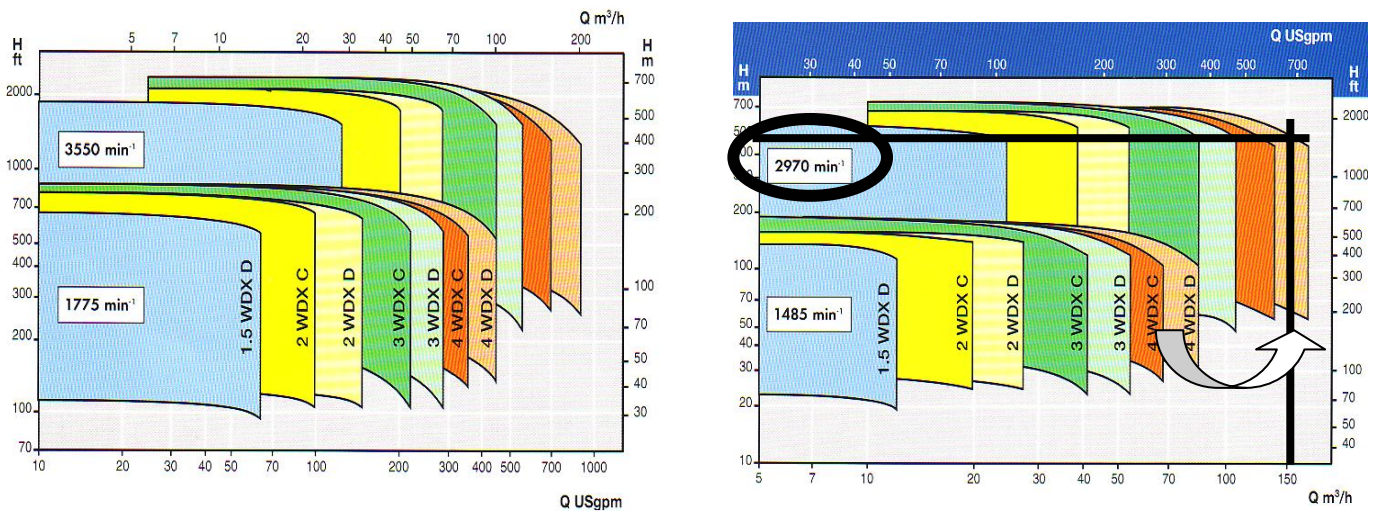
Perte de charge totale pour toute la conduite : $0,5 + 54,64 = 55,14$ mce

A 2 3 Montrer que l'altitude de la réserve des courtiens permet l'alimentation par gravité de la salle des machines de l'usine à neige de l'aiguille avec cette conduite.

La variation d'altitude entre le réservoir et la salle des machines étant de 70 m, cette valeur est supérieure aux 55,14 mce de perte de charge pour un débit de $150 \text{ m}^3/\text{h}$. L'alimentation peut donc être réalisée par gravité sans problème.

A 3 ETUDE DE L'ALIMENTATION EN EAU DES CANONS A NEIGE.

A 3 1 Valider le choix du type de pompe à partir de l'abaque "plage de fonctionnement" du constructeur "FLOWERVE division pompe". Tracer, sur le bon abaque, le point de fonctionnement maximum.



Remarque : le point de fonctionnement est juste aux possibilités maximum de la pompe mais cela correspond à la charge maximum pour le dernier canon (abris 42) et lorsque le débit est maximum. Il est à penser que pour ces conditions de fonctionnement, le dernier canon ne disposera pas des 40 bars de pression, ce qui n'est pas préjudiciable, la pression minimum de fonctionnement étant de 20 bars.

A 3 2 Calculer la puissance hydraulique nécessaire à l'enneigement d'un secteur d'altitude constitué de 12 canons "RUBIS R 10m"

Remarque: l'alimentation en eau de 12 canons en débit maximum dépasse légèrement la capacité maximum de la pompe (152,4 m³/h pour 150). On peut ajuster ce débit au débit maximum de la pompe en supprimant l'alimentation d'une couronne de deux gicleurs sur un canon.

A 3 2 1 Montrer que la variation d'énergie potentielle pour 1 m³ d'eau peut s'écrire:

$$\rho g (Z_B - Z_A)$$

Poids d'un m³ d'eau : ρg

énergie potentielle en A : poids * Hauteur = $\rho g Z_A$

énergie potentielle en B : poids * Hauteur = $\rho g Z_B$

Variation d'énergie potentielle pour un m³ d'eau : $\rho g (Z_B - Z_A)$

A 3 2 2 Montrer que la variation d'énergie cinétique pour 1 m³ d'eau peut s'écrire:

$$\frac{1}{2} \rho (V_B^2 - V_A^2)$$

Masse d'un m³ d'eau : ρ

énergie cinétique en A : $\frac{1}{2}$ Masse * Vitesse² = $\frac{1}{2} \rho V_A^2$

énergie cinétique en B : $\frac{1}{2}$ Masse * Vitesse² = $\frac{1}{2} \rho V_B^2$

Variation d'énergie cinétique pour un m³ d'eau : $\frac{1}{2} \rho (V_B^2 - V_A^2)$

A 3 2 3 Montrer, à partir de l'équation de Bernoulli, que le travail d'échange que doit apporter la pompe à l'écoulement peut s'écrire sous la forme suivante:

$$W_{pompe} = (P_B - P_A) + \rho g (Z_B - Z_A) + \frac{1}{2} \rho (V_B^2 - V_A^2) + P d C$$

$$\underbrace{\text{Energie en A}}_{P_A + \rho g Z_A + \frac{1}{2} \rho V_A^2} - P_{dc} + \text{Travaux d'échange (W pompe)} = \text{énergie en B} \rightarrow P_B + \rho g Z_B + \frac{1}{2} \rho V_B^2$$

$$P_A + \rho g Z_A + \frac{1}{2} \rho V_A^2 - P_{dc} + W_{\text{pompe}} = P_B + \rho g Z_B + \frac{1}{2} \rho V_B^2$$

En regroupant et en factorisant:

$$W_{\text{pompe}} = (P_B - P_A) + \rho g(Z_B - Z_A) + \frac{1}{2} \rho (V_B^2 - V_A^2) + P_{dc}$$

A3 2 4 Calculer ce travail pour 1 m³ débité dans l'ensemble des 12 canons.

Il faut, pour le calcul des pertes de charge, ne considérer qu'un seul canon et non les 12.

$$W_{\text{pompe}} = (P_B - P_A) + \rho g(Z_B - Z_A) + \frac{1}{2} \rho (V_B^2 - V_A^2) + P_{dc}$$

$P_{dc} = P_{dc} \text{ linéaire} + P_{dc} \text{ singulière de la conduite} + P_{dc} \text{ singulière du canon}$

$$P_{dc} = 265 * 586 + 20000 + 6 * 1000 * 9,81 = 234150 \text{ J/m}^3$$

$(P_B - P_A) = 0$ (A et B sont tous deux à la pression atmosphérique)

$V_A = 0$ (vitesse de la surface libre du réservoir), $V_B = 90 \text{ m/s}$

$Z_B - Z_A = 75 \text{ m}$ (donnée)

$$W_{\text{pompe}} = 0 + 9,81 * 1000 * 75 + 0,5 * 1000 (90^2 - 0) + 234150$$

$$W_{\text{pompe}} = 5019900 \text{ j/m}^3$$

A 3 2 5 Calculer la puissance hydraulique apportée par la pompe au circuit sachant que le débit maximum est de 150 m³/h alimente 12 canons et que la puissance est le produit du travail d'échange W, en J/m³, avec le débit Qv, en m³/s.

$$W_{\text{pompe}} = 5019900 \text{ j/m}^3$$

$$Q_v \text{ pompe} = 150 \text{ m}^3/\text{h} = 150/3600 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{\text{pompe}} = 5019900 * 150 / 3600 = 209162,5 \text{ w}$$

A 3 2 6 Valider le choix du moteur utilisé :

Montrer que ce moteur satisfait aux contraintes recherchées.

$P_{\text{moteur}} = P_{\text{pompe}} / \text{rendement de la pompe}$

$P_{\text{moteur}} = 209162,5 / 0,77 = 271640 \text{ w}$

La puissance utile maximum étant de 315000 w, elle peut fournir la puissance nécessaire au fonctionnement des 12 canons

A 4 ETUDE DU DEMARRAGE DU MOTEUR DE POMPE

A 4 1 Calculer l'accélération angulaire de l'ensemble moteur et pompe.

α : accélération angulaire , $\omega = \pi N / 30 = 2970\pi / 30 = 311 \text{ rd/s}$, démarrage en 2s

$\alpha = d\omega / dt = 311 / 2 = 155,5 \text{ rd/s}^2$

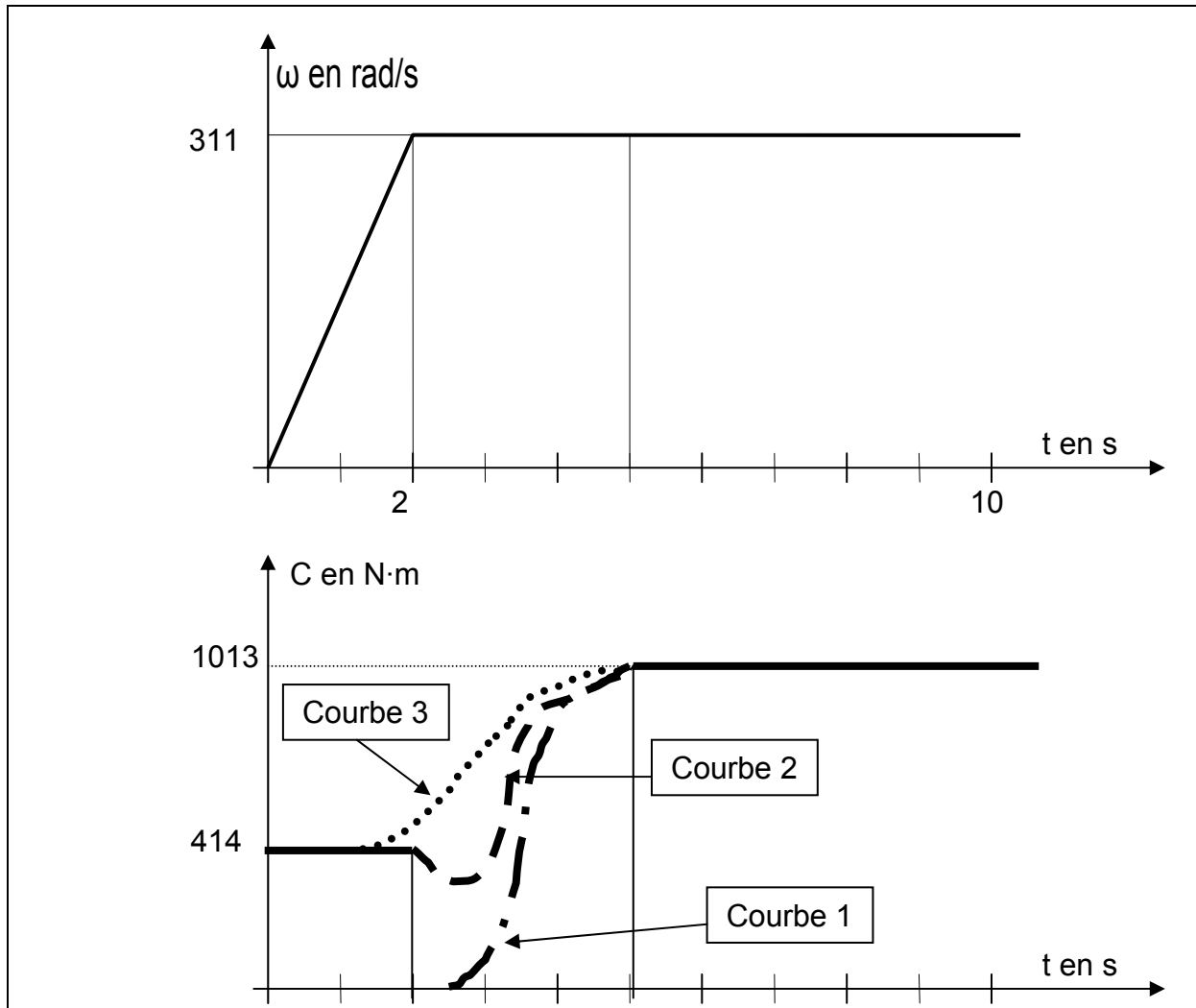
A 4 2 Calculer le couple électromagnétique du moteur durant la phase de démarrage.

$C_{em} = J_{\text{Pompe} + \text{moteur}} \alpha = (0,287 + 2,375) \text{ kg m}^2 * 155,5 \text{ rd/s}^2 = 414 \text{ Nm}$

A 4 3 Calculer le couple utile du moteur au bout de 5 secondes, lorsque, la pompe étant amorcée, la puissance maximum est sollicitée.

$C = P / \omega = 315000 / 311 = 1013 \text{ Nm}$

A 4 4 Couple en fonction du temps



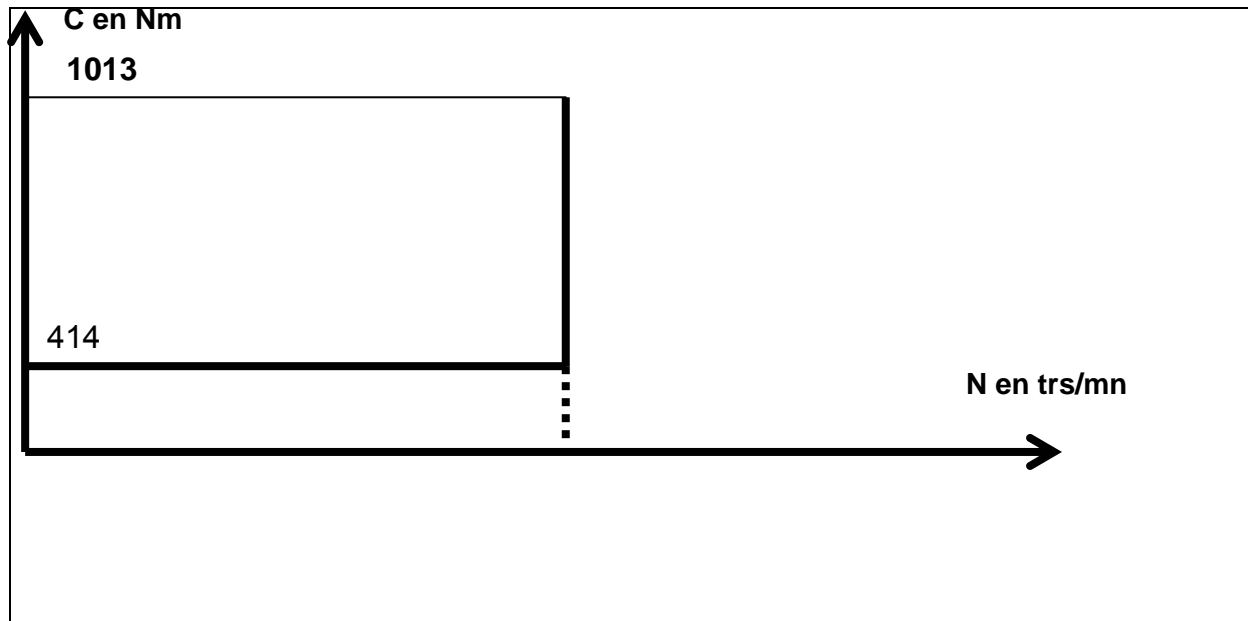
A 4 5 Imaginer et décrire plusieurs scénarios concernant la forme de la courbe précédente, qui prennent en compte le moment d'amorçage de la pompe, après la fin de la période de démarrage

L'amorçage ne se réalise pas immédiatement après la phase de démarrage : le couple tombe à 0 puis remonte au couple maxi durant l'amorçage suivant une forme liée aux caractéristiques hydrauliques de la pompe. (courbe 1)

L'amorçage se réalise juste à la fin de la phase de démarrage : le couple passe de 414 Nm à 1013 Nm suivant une forme liée aux caractéristiques hydrauliques de la pompe entre 2 et 5 secondes. (courbe 2)

L'amorçage se réalise avant à la fin de la phase de démarrage : le couple passe de 414 Nm à 1013 Nm suivant une forme liée aux caractéristiques hydrauliques de la pompe à partir d'un temps inférieur à 2 secondes et jusqu'à 5 secondes. (courbe 3)

A 4 6 Couple en fonction de la vitesse



A 4 ETUDE DE L'ACOUPLEMENT MOTEUR / POMPE

Citez au moins deux avantages de ce type d'accouplement qui ont conduit le constructeur à l'utiliser dans cette réalisation : Possibilité d'un léger écart radial entre l'axe de la pompe et l'axe du moteur, transmission homocinétique.

PARTIE B

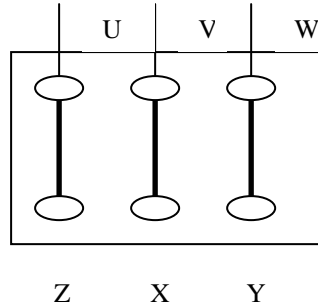
DIMENSIONNEMENT DU MOTEUR D'ENTRAINEMENT DE LA POMPE "WDX E 7"

CORRIGE PARTIE B

B1. Couplage du moteur

B1.1

Moteur 400/690 V
Réseau 3 x 400 V
Couplage triangle



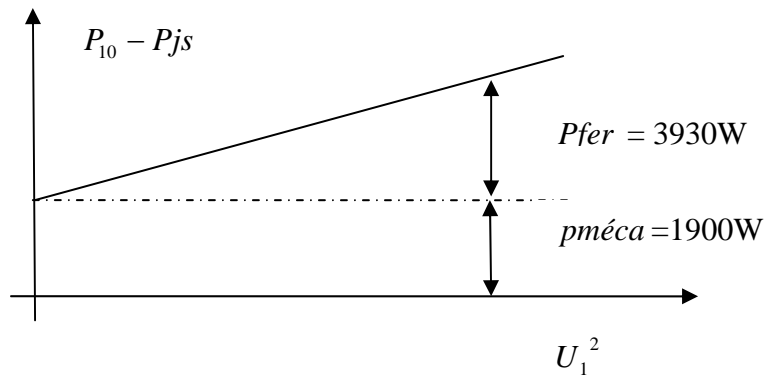
B2. Bilan énergétique

B2.1

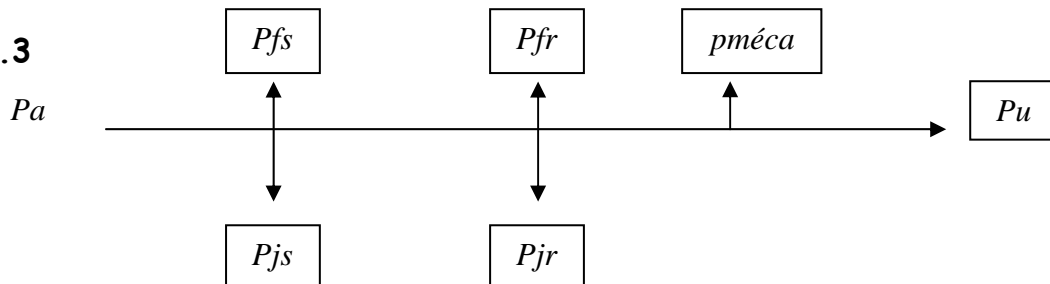
$$P_{10} = P_{js} + P_{fs} + pméca$$

$$P_{fs} + pméca = P_{10} - P_{js} = 6100 - \frac{3}{2} \cdot r \cdot I^2 = 6100 - \frac{3}{2} \cdot 0,0103 \cdot 128^2 = 5846 \text{ W}$$

B2.2 On trace la courbe $P_{10} - \frac{3}{2} \cdot r \cdot I_{10}^2 = f(U^2)$



B2.3



B2.4

$$P_{js} = \frac{3}{2} \cdot 0,0103 \cdot 553^2 = 4728 \text{ W}$$

B2.5

$$g = \frac{ns - n}{ns} = \frac{3000 - 2970}{3000} = 1 \%$$

$$fr = g \cdot fs = 0,01 \cdot 50 = 0,5 \text{ Hz}$$

B2.6

$$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs} = 329300 - 4728 - 3950 = 320622 \text{ W}$$

B2.7

$$P_{jr} = g \cdot P_{tr} = 0,01 \cdot 320622 = 3206 \text{ W}$$

B2.8

$$P_u = P_{tr} - P_{jr} - p_{méca} = 320622 - 3204 - 1900 = 315518 \text{ W}$$

B2.9

$$\text{rendement} = \frac{P_u}{P_a} = \frac{315518}{329300} = 0,958 \text{ (On retrouve la valeur donnée par le constructeur)}$$

B2.10

$$C_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} = \frac{320622}{314} = 1021 \text{ Nm}$$

B3. Dimensionnement du moteur asynchrone**B3.1**

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot fs}{p}$$

B3.2

$$\text{Volume du rotor} = \frac{0,2 \cdot P}{n \cdot A} = \frac{0,2 \cdot 315 \cdot 1000}{50 \cdot 27072} = 4,65 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$D = \frac{3 \cdot N_c \cdot J}{A \cdot \pi} = \frac{3 \cdot 28 \cdot 319}{27072 \cdot \pi} = 0,315 \text{ m} \text{ soit } 31,5 \text{ cm}$$

$$L = \frac{4 \cdot \text{volume}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 4,65 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 0,315^2} = 0,600 \text{ m} \text{ soit } 60 \text{ cm}$$

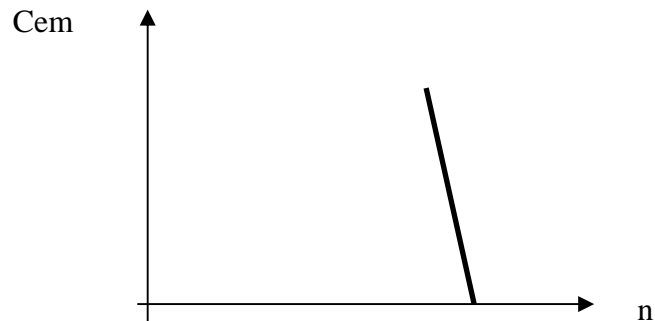
B4. Caractéristique Couple – vitesse du moteur asynchrone

B4.1

Lorsque le glissement est faible, le couple peut s'écrire

$$Cem = \frac{3 \cdot p \cdot V_s^2}{\omega_s} \frac{\frac{R'_2}{g}}{\left(\frac{R'_2}{g}\right)^2} = \frac{K}{R'_2} \cdot g \quad \text{si on exprime } g = \frac{ns - n}{ns}$$

$$Cem = \frac{K}{R'_2} \cdot \left(1 - \frac{n}{ns}\right) \quad \text{forme } Cem = a \cdot n + b \quad (\text{avec } a \text{ coefficient directeur négatif})$$

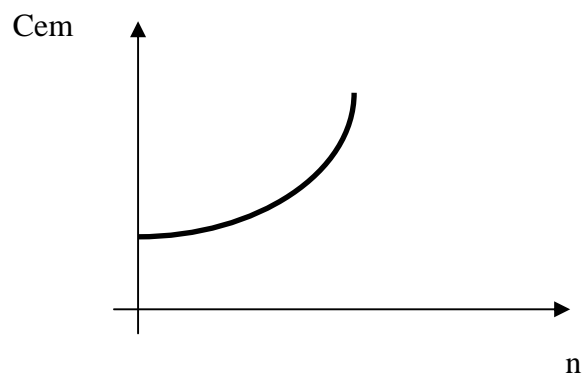


B4.2

Lorsque le glissement est très grand (au démarrage $g = 1$), le couple peut s'écrire

$$Cem = \frac{3 \cdot p \cdot V_s^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{R'_2}{g}}{X_2^2} = K \cdot \frac{R'_2}{X_2^2} \cdot \frac{1}{g} = K \cdot \frac{R'_2}{X_2^2} \cdot \frac{ns}{ns - n}$$

Cela représente l'équation d'une hyperbole



B5 Alimentation du moteur par un démarreur progressif.

B5.1

En démarrage direct, on aurait $I_d = 6,4.I_n = 6,4.553 = 3539 \text{ A} !!$

B5.2

Conséquence, une chute de tension importante au démarrage du moteur.

B5.3

Pour le moteur entraînant la pompe d'enneigement on a $C_d / C_n = 1,9$ et $I_d / I_n = 6,4$

Le démarreur limite le courant à $3.I_n$, alors

$$\frac{C'd}{C_d} = \left(\frac{I_d'}{I_d} \right)^2 = \left(\frac{3}{6,4} \right)^2 = 0,219$$

Soit un $C'd$ avec le démarreur = $1,9 \times 0,219 \times C_n = 0,417 \times C_n$

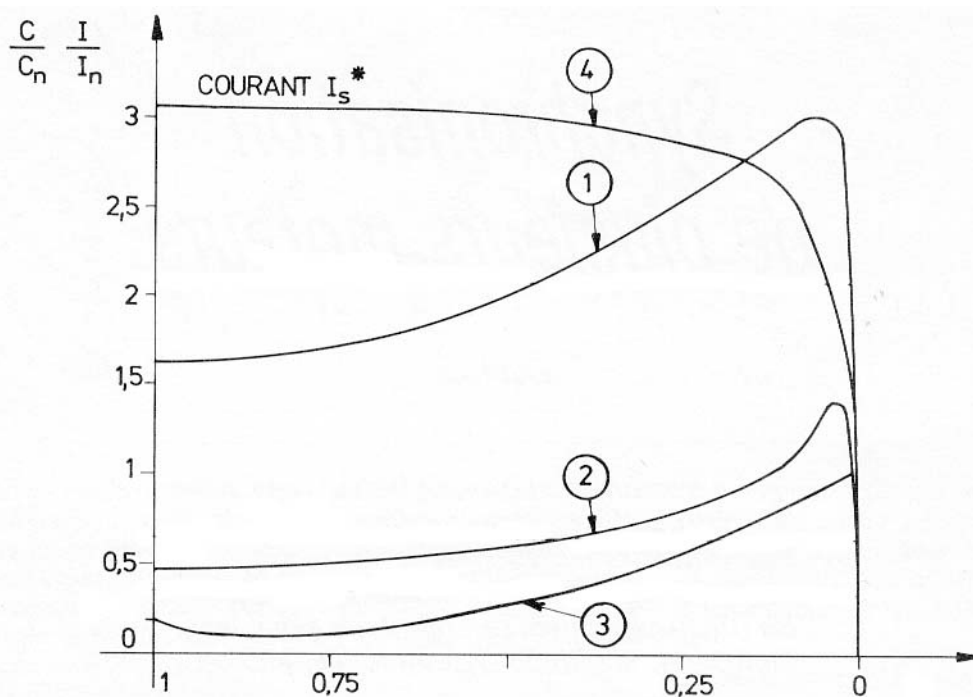
Comme $C_n = 1014 \text{ Nm}$

$C'd$ avec le démarreur = $0,417 \times 1014 = 422,8 \text{ Nm}$

B5.4

Translation de la courbe de couple avec $C'd / C_n = 0,417$

Courbe 2 : couple au démarrage avec démarreur électronique.



B5.5

Composants utilisés : thyristors

B5.6

Le gradateur est interposé entre le réseau et les bornes du moteur. En retardant à chaque alternance l'entrée en conduction du thyristor correspondant, on diminue la tension appliquée au moteur.

B5.7

On agit ainsi sur la tension efficace.

B5.8

Critères de choix du démarreur :

- tension du réseau,
- courant maximum de démarrage défini à partir des caractéristiques mécaniques du process et des performances demandées.
- temps de démarrage (spécification client)
- couple de décollage, inertie du système entraîné, couple résistant.

B5.9

Démarreur choisi : STV 2313.14700

B5.10

- Avantages : simplicité robustesse, faible coût, fiabilité.
- Inconvénients : A glissement donné, le couple est proportionnel au carré de la tension. Cette proportionnalité est applicable également au couple maximal. Si on réduit la tension, on réduit les possibilités du moteur.
Les pertes Joules au rotor sont proportionnelles au glissement, donc pour les fortes valeurs de glissement, le rendement est faible.

Toutefois le but recherché est atteint, limitation du courant de démarrage, au prix d'une perte de couple en gros comme la carré de l'atténuation obtenue sur le courant.

PARTIE C

ETUDE DES AUTOMATISMES

PARTIE D

PROTECTION DU MATERIEL ET DES PERSONNES

CORRIGE PARTIE D

D1. Bilan des puissances

D1.1

- ◆ Compresseur 1 et 2 $I = \frac{200.10^3}{400.\sqrt{3}.0,87.0,9} = 368A$
- ◆ Moteur d'entraînement de la pompe d'enneigement : 553 A donnée dans le sujet
- ◆ Pompe immergée 1 $I = \frac{92.10^3}{400.\sqrt{3}.0,88.0,93} = 162A$
- ◆ Pompe immergée 2 $I = \frac{75.10^3}{400.\sqrt{3}.0,88.0,91} = 135A$
- ◆ Soit un total de 297 A pour les deux pompes immergées.

D1.2

- ◆ Pour les branches 1 et 2, on trouve Q2 et Q3 de calibre 400 A
- ◆ Pour la branche 3, on trouve Q4 de calibre 630 A
- ◆ Pour la branche 4, on trouve Q5 de calibre 400 A

D1.3

$\sum I = 368 + 368 + 162 + 135 + 553 = 1586A$ $1586 \times 0,75 = 1190 A$
Le disjoncteur Q1 est calibré pour 1200 A

D2. Calcul des courants de courts-circuits

	R (mΩ)	X (mΩ)
Réseau amont	$R_1 = \frac{410^2}{500} \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,05$	$X_1 = \frac{410^2}{500} \cdot 0,98 \cdot 10^{-3} = 0,33$
Transformateur 1250 kVA	$R_2 = \frac{15600 \cdot 410^2 \cdot 10^{-3}}{1250^2} = 1,67$	$X_2 = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \cdot \frac{410^2}{1250}\right)^2 - 1,67^2} = 7,2$
Câble C1 3x300mm ² /Ph 1x300 mm ² /N L = 5 m	$R_3 = \frac{22,5 \cdot 5}{3 \cdot 300} = 0,125$	$X_3 = 0,15 \cdot 5 = 0,75$
Disjoncteur UNELEC CNP	0	0
Jeu de barres B1 L = 5 m	$R_4 = 0$ négligeable pour S > 200 mm ²	$X_4 = 0,15 \cdot 5 = 0,75$
Disjoncteur Q1 C1251 N	0	0
Câble C2 5x240 mm ² 5x95 mm ² L = 25 m	$R_5 = \frac{36,25 \cdot 25}{5 \cdot 240} = 0,75$	$X_5 = 0,15 \cdot 25 = 3,75$
Jeu de barres B2 Salle des machines L = 2 m	$R_6 = 0$ négligeable pour S > 200 mm ²	$X_6 = 0,15 \cdot 2 = 0,30$
Somme	$\Sigma R = 2,595$	$\Sigma X = 13,08$
Courant de court-circuit en B2	$I_{CC3} = \frac{410}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,59^2 + 13,08^2}} = 17,75 \text{ kA}$	
Câble C3 2x150 mm ² 1x150 mm ² L = 15 m	$R_7 = \frac{22,5 \cdot 15}{2 \cdot 150} = 1,12$	$X_7 = 0,15 \cdot 15 = 2,25$
Somme	$\Sigma R = 3,71$	$\Sigma X = 15,33$
Courant de court-circuit niveau moteur	$I_{CC3} = \frac{410}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,71^2 + 15,33^2}} = 15 \text{ kA}$	

D2.2

Pouvoir de coupure des disjoncteurs Q1, et Q4

PdC Q1 est de 50 kA > 17 kA sur le jeu de barres B2

PdC Q4 est de 45 kA > 15 kA au niveau du moteur de la pompe d'enneigement.

D3. Réglage du disjoncteur Q5

D3.1

Le courant nominal du moteur de la pompe d'enneigement est de 553 A

Le disjoncteur à un calibre de 630 A

Protection long retard LR : réglage $553/630=0,877$ soit $I_0 = 1$ et $I_R = 0,88$

D3.2

Sélectivité : C'est la coordination des dispositifs de protection pour qu'un défaut survenant en un point quelconque du réseau soit éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut et lui seul. On laisse sous tension toutes les parties saines de l'installation.

D3.3

Au moins deux réponses parmi :

Sélectivité ampèremétrique (par les courants)

Sélectivité chronométrique (par le temps)

Sélectivité par échange d'informations encore appelée sélectivité logique

Sélectivité énergétique

D3.4

D'après les courbes de fonctionnement, il y a sélectivité entre Q4 et Q1.

D3.5

Valeur de réglage du déclencheur court retard CR à 6300 A soit $5600/553 = 10.I_r$

D4. Chute de tension à l'extrémité du câble C5

D4.1

Dans le câble C3

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (0,0225 \cdot \frac{15}{300} \cdot 0,8 + 0,15 \cdot 15 \cdot 0,6) \cdot 553 = 2,15V$$

D4.2

Chute de tension totale depuis l'origine de l'installation BT : $2,15 + 3,5 = 5,65 V$

Soit $\Delta U / U = 5,65 / 400 = 0,0141$ soit 1,41 %

D4.3

Cette valeur est bien inférieure aux 5% tolérée par la norme.

D5. Schéma de liaison à la terre.

D5.1

T : Point neutre relié directement à la terre

N : Masse métallique reliées au conducteur de neutre

S : Conducteurs de neutre (N) et de protection (PE) séparés

D5.2

- ◆ Technique d'exploitation : coupure au premier défaut d'isolement.
- ◆ Dispositifs de protections : dispositifs de protection contre les surintensités. Le conducteur de protection ne doit pas être coupé. En TNS le disjoncteur aura 4 pôles si le neutre est distribué.
- ◆ Avantages : protection contre les contacts indirects assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités
- ◆ Contraintes : coupure au premier défaut. Lors d'un défaut d'isolement, l'intensité de court-circuit est élevée et peut provoquer des dommages aux matériels.

D5.3

4 pôles pour le disjoncteur Q1, le neutre est distribué.

3 pôles pour le disjoncteur Q4, le moteur est couplé en triangle.

D5.4

Contact indirect : contact avec une masse métallique mise accidentellement sous tension suite à un défaut d'isolement.

Dans notre cas, régime TNS, ce sont les dispositifs de protection contre les surintensités (disjoncteurs ou fusibles) qui agissent dès que la tension de défaut est supérieure à la tension limite de sécurité ceci dans un temps inférieur à celui indiqué par la norme.

D5.5

Le courant de court-circuit minimal doit être calculé en aval de tous les dispositifs de protection car ceux-ci assurent la protection des personnes.

$$I_{cc \min} = \frac{230}{0,015} = 15,33kA$$

Le seuil de déclenchement instantané du disjoncteur Q4 (NS630N) est bien inférieur à cette valeur ($I_m = 5600A$), il s'ouvrira dans le temps requis.

D5.6

$$L_{\max} = \frac{0,8.230}{0,03375.5600.\left(\frac{1}{300} + \frac{1}{150}\right)} = 97m$$

D5.7

Solutions possibles quand la longueur du câble dépasse la valeur calculée :

- installer un disjoncteur à réglage magnétique faible.
- réaliser des liaisons équipotentiels complémentaires.
- augmenter la section des conducteurs.
- Installer un DDR.