

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2018

-----

ÉPREUVE E.4.1

Étude d'un système technique  
industriel Pré-étude et modélisation

Durée : 4 heures – Coefficient : 3

### Matériel autorisé

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

-----

Le sujet comporte **24** pages numérotées de **1/24 à 24/24**.  
**Les documents réponses (pages 21, 22, 23 et 24) sont à remettre avec la copie.**

-----

Il sera tenu compte de la qualité de la rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul.

Les notations du texte seront scrupuleusement respectées.

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 1 sur 1

# Présentation Générale

## Introduction

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR), créée en 1933, est aujourd'hui le premier producteur français d'énergie électrique renouvelable. Elle est également le deuxième producteur d'électricité, avec environ 3 % de la production électrique française et 25 % de la production hydroélectrique. L'État lui a cédé la concession unique du Rhône en 1934, afin d'exploiter et d'aménager un ensemble d'installation entre le lac Léman et la mer Méditerranée.

Ces aménagements doivent permettre de garantir la navigation fluviale 24h/24 tous les jours de l'année.

L'aménagement du Rhône dans la région d'Avignon, qui date de 1973, est indiqué sur la figure 1, ci-après.

La centrale hydroélectrique de Sauveterre produit de l'électricité en turbinant la partie des eaux du Rhône qui circule dans le bras 1.

L'autre partie des eaux du Rhône emprunte le bras 2. Le barrage de retenue de Villeneuve permet d'aiguiller une partie des eaux du Rhône vers le bras 4.

Ce dernier est utilisé non seulement pour produire de l'électricité grâce à une centrale hydroélectrique mais également pour assurer, grâce à son écluse, la navigation fluviale sur le fleuve.

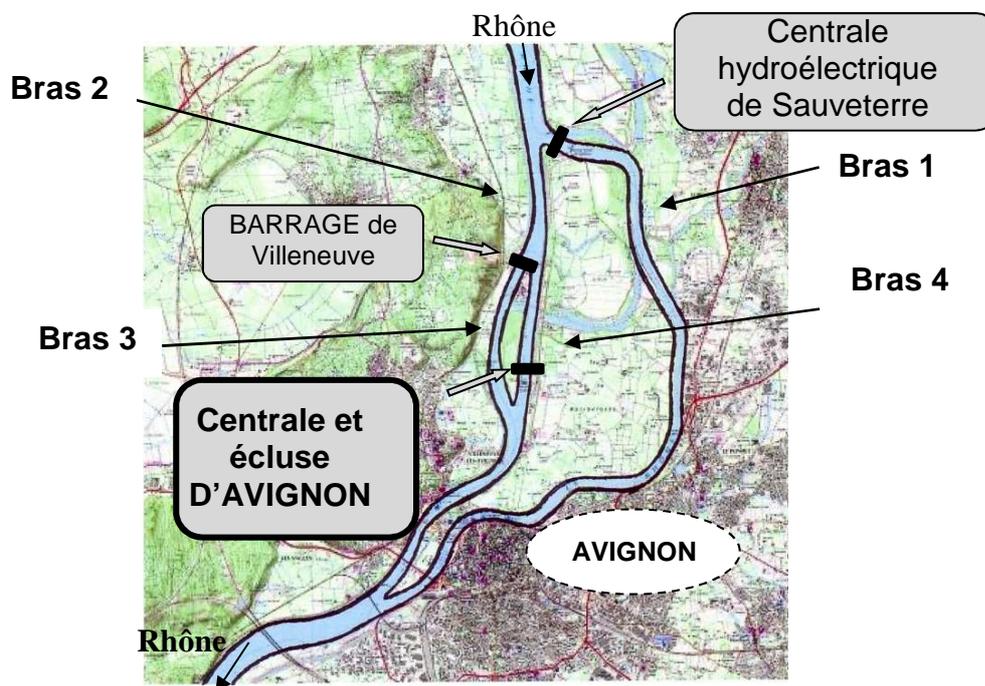


Figure 1 : aménagement du Rhône

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 2 sur 2

## La centrale hydroélectrique et l'écluse d'Avignon

Cet aménagement est principalement constitué :

- d'une centrale hydroélectrique qui permet la production d'électricité ;
- d'une écluse qui permet la navigation fluviale.

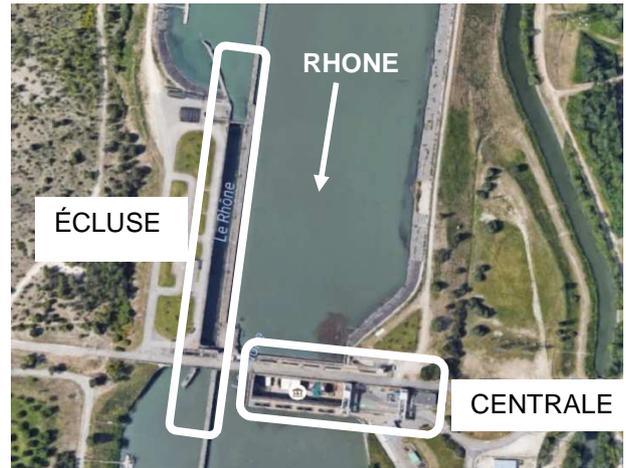


Figure 2 : centrale hydroélectrique et écluse

L'écluse et son alimentation en énergie font l'objet de l'étude. Elle a une longueur de 195 mètres et une largeur de 12 mètres.

Le barrage de Villeneuve permet d'obtenir une dénivellation de 10,5 mètres afin de produire l'électricité. L'écluse permet aux bateaux de franchir cette dénivellation grâce au principe rappelé ci-après à l'aide de la figure 3.

Le sas peut être vu comme un bassin que l'on peut remplir ou vider grâce à deux portes amont et aval.

L'écluse est constituée d'un sas dans lequel on peut faire varier le niveau de l'eau et de deux portes étanches, l'une située en amont et l'autre située en aval.

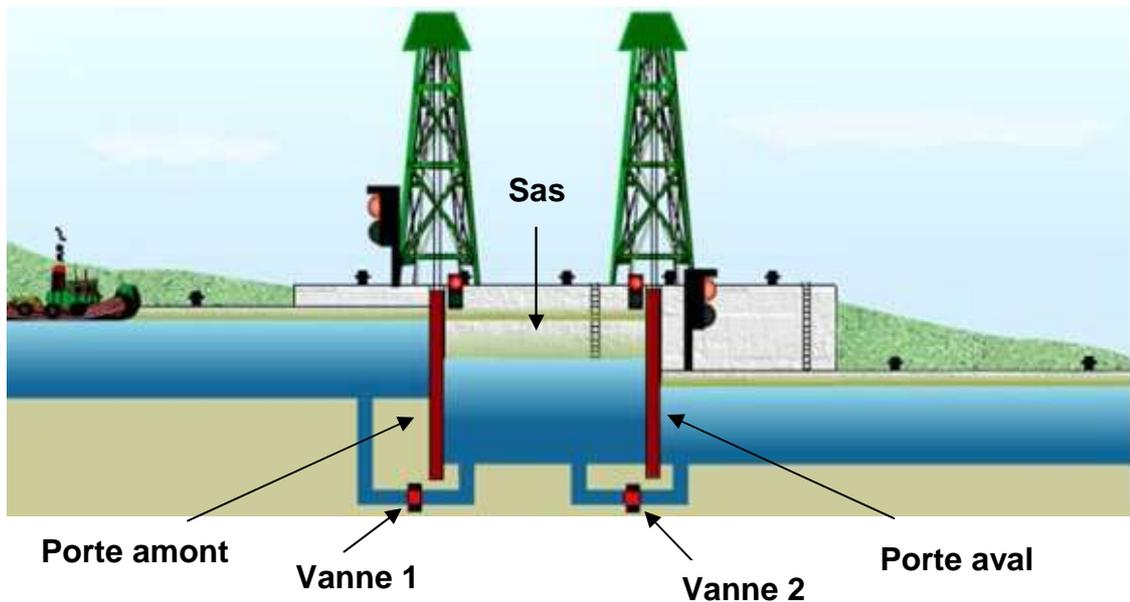


Figure 3 : principe de fonctionnement de l'écluse

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 3 sur 3

Principe : l'ouverture de la vanne 1 permet de remplir le sas pour obtenir un niveau d'eau égal au niveau d'eau amont, ce qui autorise l'ouverture de la porte amont et l'entrée du bateau dans le sas. Après fermeture de la porte amont et de la vanne 1, la vanne 2 est ouverte et permet d'obtenir un niveau d'eau dans le sas égal au niveau d'eau aval. L'ouverture de la porte aval permet au bateau de continuer sa navigation.

### Mécanisme d'ouverture des deux portes

**La porte amont** est coulissante du type « brouette ». À l'ouverture, elle s'efface dans son garage situé rive droite. Elle roule sur un galet inférieur placé côté opposé au garage et elle est entraînée par un chariot supérieur côté garage. Le chariot est entraîné par un treuil électrique à câble.

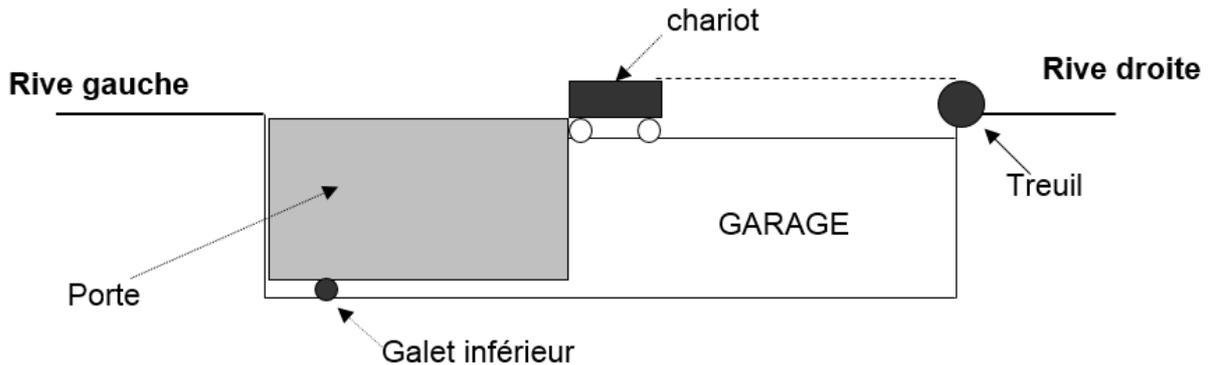


Figure 4 : mécanisme d'ouverture de la porte amont

Les dimensions de la porte amont sont :  $L = 12,1 \text{ m}$  ;  $H = 8,7 \text{ m}$  ;  $E = 1,0 \text{ m}$ .

La porte aval est coulissante du type « suspendue ». Comme la porte amont, à l'ouverture, elle s'efface dans son garage situé rive droite. Elle est suspendue à deux chariots situés aux extrémités de la porte et roulant sur des rails portés par des poutres et traversant l'écluse. Ces chariots sont actionnés par un treuil électrique à câble.

Les dimensions de la porte aval sont :  $L = 12,1 \text{ m}$  ;  $H = 13,4 \text{ m}$  ;  $E = 1,0 \text{ m}$  (voir figure 7).

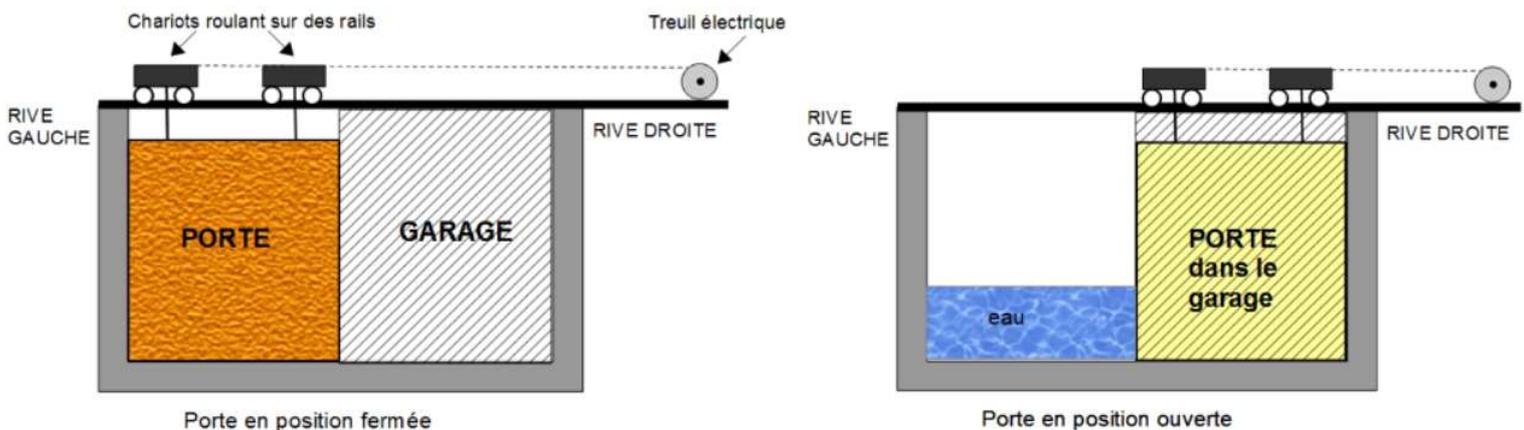


Figure 5 : positions de la porte aval

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 4 sur 4

À l'ouverture, un profil de vitesse est défini afin de permettre une fin de mouvement moins brutale. Ce mouvement se décomposera en 5 phases :

- 1 : phase d'accélération pendant 10 s ;
- 2 : phase à vitesse de translation constante ( $v_{porte} = 7 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) pendant 92 s ;
- 3 : phase de décélération pendant 10 s ;
- 4 : phase d'approche à vitesse constante et réduite pendant 8 s ;
- 5 : phase finale de décélération d'une durée de 0,5 à 1 s.

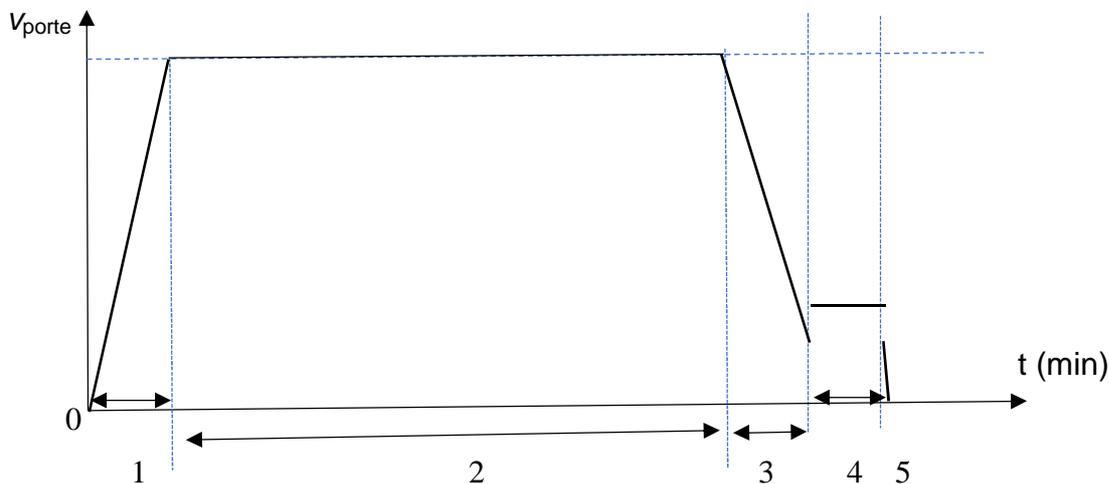


Figure 6 : profil de vitesse de la porte

Le temps de fermeture ou d'ouverture d'une porte est approximativement de 2 minutes. Par inversion du sens de rotation, les treuils assurent la fermeture et l'ouverture des portes.

## ENJEU - OBJECTIFS

L'enjeu est de permettre une navigation fluviale 24h/24. Cette continuité de service est nécessaire pour assurer le transport maritime sur le fleuve. La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) chargée d'assurer cette continuité de service doit payer des pénalités de retard au cas où le transport maritime est interrompu à cause d'une défaillance de l'une de ses écluses.

La rénovation des équipements et l'amélioration du fonctionnement est permanente.

L'objectif principal est d'assurer un fonctionnement satisfaisant de l'écluse. L'étude porte sur le mouvement des portes et l'alimentation électrique du poste écluse.

Le sujet est composé de 3 parties indépendantes, notées A, B et C.

- **La partie A** aborde le dimensionnement du moteur asynchrone qui permettra le mouvement de la porte aval.
- **La partie B** compare l'ancienne solution utilisée avec le nouveau moteur asynchrone choisi.
- **La partie C** porte sur l'alimentation électrique du poste écluse et sur l'étude des différents transformateurs.

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 5 sur 5

## PARTIE A - Dimensionnement du moteur par rapport aux contraintes hydrauliques et mécaniques

Dans cette partie, on évalue les contraintes hydrauliques et mécaniques exercées sur la porte aval de l'écluse afin de choisir le moteur électrique nécessaire au mouvement de translation horizontal de la porte.

Les dimensions de la porte sont :

- hauteur :  $H = 13,4$  m ;
- largeur :  $L = 12,1$  m ;
- épaisseur :  $E = 1$  m ;
- masse :  $M = 86$  tonnes.

### Résultante des forces de pression de l'eau sur la porte

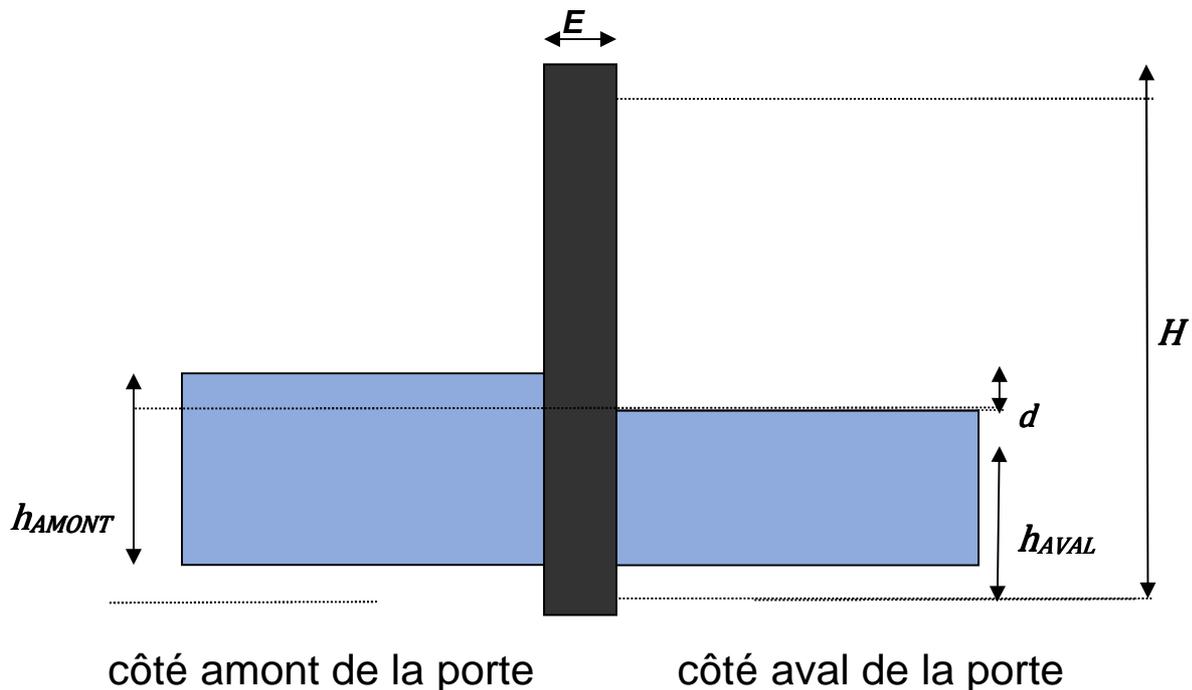


Figure 7 : coupe de la porte aval

On rappelle les données

- masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000$  kg.m<sup>-3</sup> ;
- accélération de la pesanteur :  $g = 9,81$  m.s<sup>-2</sup>.

Avant la mise en mouvement de translation de la porte, la partie immergée côté amont, notée  $h_{AMONT}$ , représente 30% de sa hauteur totale  $H$ . De plus, la Compagnie Nationale du Rhône impose une différence de niveau d'eau  $d$  maximale entre l'amont et l'aval égale à 20 cm. Cette différence peut être due à un effet du vent qui a généré du clapot ou de petites vagues.

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 6 sur 6

- Q1.** La porte est en position fermée et sans aucun mouvement. On note  $F_d$  la composante horizontale des forces de pression de l'eau sur la porte. Donner sa valeur lorsque la différence de niveau d'eau  $d$  est nulle.
- Q2.** Calculer la valeur de  $h_{AMONT}$ .
- Q3.** Montrer que  $h_{AVAL}$  est égale à 3,8 m dans le cas où  $d=d_{MAX}=20$  cm.

Toutes les grandeurs étant exprimées en unité du S.I., l'expression de la résultante horizontale des forces de pression de l'eau sur la porte est donnée par :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot L (d^2 + 2h_{AVAL} \cdot d)$$

- Q4.** Calculer la valeur de  $F_d$  pour  $d_{MAX} = 20$  cm.

La valeur maximale de  $F_d$  supportée par la porte est de 120 000 N.

- Q5.** À partir du résultat obtenu pour  $F_d$ , justifier la norme de la CNR qui impose une différence de niveau d'eau maximale de 20 cm entre le côté amont et le côté aval.

## Mouvement de translation horizontal de la porte

- Q6.** Énoncer le principe fondamental de la dynamique appliqué à un solide en mouvement de translation, la masse du solide étant notée  $M$  et son accélération notée  $\vec{a}$ .

Dans un premier temps, on considère la porte en position fermée, sans aucun mouvement avec **un même niveau d'eau** des deux côtés.

Sur la figure 8, on a représenté par leurs vecteurs respectifs les quatre forces qui agissent sur la porte lorsqu'elle est immobile :

- le poids  $\vec{P}$  ;
- la poussée d'Archimède  $\vec{A}_R$  (force verticale dirigée du bas vers le haut et due à l'action de l'eau sur la porte) d'intensité  $A_R = \rho \cdot g \cdot V$  où  $V = 3,3 \text{ m}^3$  est le volume de la porte soumis à la poussée d'Archimède ;
- les actions des chariots sur la porte qui sont représentées par deux forces  $\vec{R}_1$  et  $\vec{R}_2$  avec  $R_1 = R_2 = R$ .

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 7 sur 7

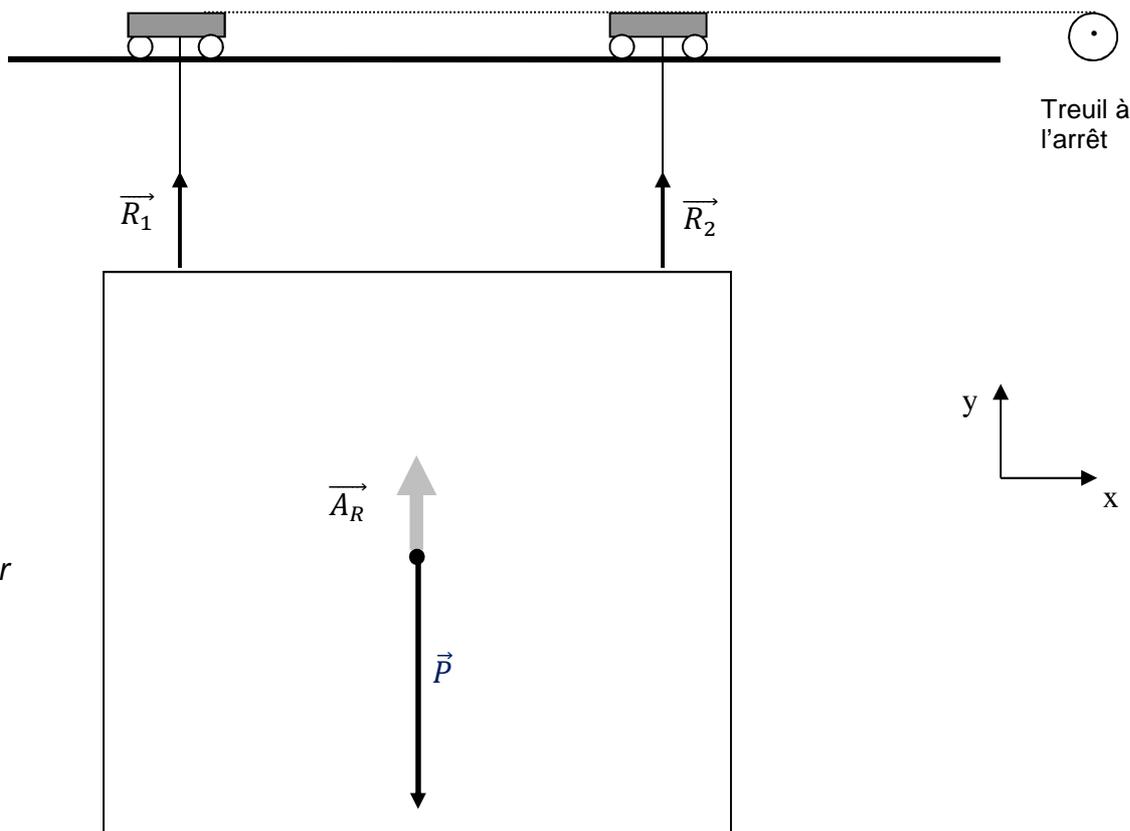


Figure 8 :  
forces  
agissant sur  
la porte  
immobile

- Q7.** Dans le cas où la porte est fermée et sans mouvement, écrire l'équation traduisant le principe fondamental de la dynamique.  
En déduire la relation entre  $R$ ,  $P$  et  $A_R$ .

On rappelle la masse de la porte :  $M = 86$  tonnes.

- Q8.** Calculer les valeurs numériques de  $P$  et de  $A_R$ .  
En déduire l'intensité  $R$  des forces représentant les actions des chariots sur la porte.

**Sous l'action du treuil, caractérisée par la force de tension  $\vec{T}$ , la porte est maintenant en mouvement de translation horizontale.**

Les forces agissant sur le système {porte et chariots} sont :

- le poids :  $\vec{P}$  ;
- la poussée d'Archimède :  $\vec{A}_R$  ;
- la résistance de l'eau sur la porte :  $\vec{R}_{EAU}$  ;
- la tension du câble :  $\vec{T}$  ;
- la force de pression de l'eau sur la porte  $\vec{F}_d$ , étudiée à la question Q.4 ;
- les forces d'interactions entre les chariots et le système de guidage qui sont caractérisées par deux paramètres :
  - o angle de roulement  $\theta$  ;
  - o coefficient de glissement  $\tan\varphi$  ;

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 8 sur 8

En appliquant le principe fondamental de la dynamique, on obtient l'expression de la tension du câble  $T$  :

$$T = (P - A_R)\tan\theta + F_d \cdot \tan\varphi + M \cdot a + R_{EAU}$$

Pour la première phase du mouvement de la porte, on donne les valeurs numériques suivantes :

- poids :  $P = 844$  kN ;
- poussée d'Archimède :  $A_R = 32,4$  kN ;
- angle de roulement  $\theta$  :  $\tan\theta = 0,0025$  ;
- force de pression de l'eau pour  $d_{MAX} = 20$  cm :  $F_d = 92,6$  kN ;
- coefficient de glissement :  $\tan\varphi = 0,3$  ;
- accélération :  $a = 11,7 \times 10^{-3}$  m.s<sup>-2</sup> ;
- résistance de l'eau sur la porte :  $R_{EAU} = 27$  N.

**Q9.** Compléter le document réponse n°1 :

- . en calculant les valeurs numériques des différents termes de  $T$  ;
- . en faisant la somme de ces termes pour calculer  $T$  ;
- . en évaluant le % de chacun de ces termes par rapport à  $T$ .

**Q10.** En déduire la force prépondérante pour la tension du câble  $T$ .

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 9 sur 9

## Chaîne cinématique

Le profil de vitesse (vitesse de la porte en fonction du temps), lors de son ouverture, est représenté sur la figure 9.

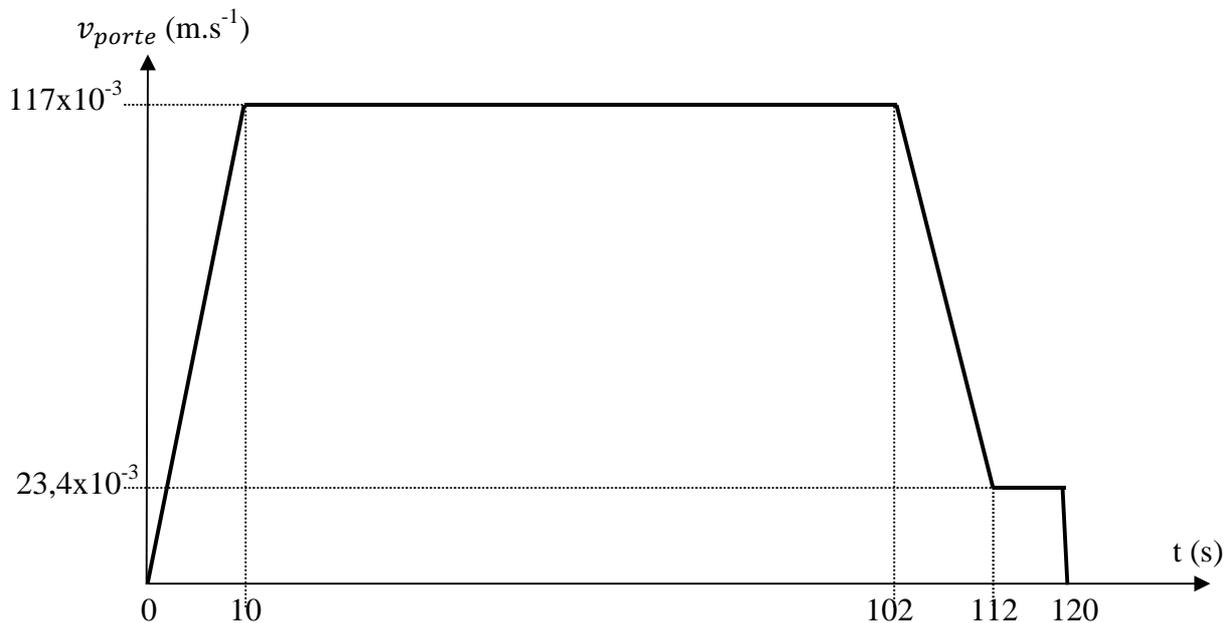


Figure 9 : profil de vitesse lors de l'ouverture de la porte

**Q11.** Montrer que la valeur de l'accélération entre 0 et 10 s vaut :  
 $a = 11,7 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-2}$ .

On rappelle que pour un mouvement uniformément accéléré, la distance parcourue  $D$  (en mètre) pendant une durée  $t$  (en seconde) est donnée par :

$$D = \frac{1}{2}.a.t^2 + v_0.t \quad \text{avec :}$$

- $a$  : accélération en  $\text{m.s}^{-2}$
- $v_0$  : vitesse initiale en  $\text{m.s}^{-1}$

**Q12.** Calculer la distance parcourue par la porte lors des différentes phases du mouvement :

- phase 1 : entre 0 et 10 s ;
- phase 2 : entre 10 s et 102 s ;
- phase 4 : entre 112 s et 120 s.

Reporter ces distances sur le document réponse n°2.

Montrer que la distance totale parcourue par la porte est égale à la largeur de l'écluse soit 12 m.

On considère que la force  $\vec{T}$  exercée par le treuil sur la porte a une intensité constante sur toute la durée du mouvement. On prendra comme valeur  $T=31$  kN.

**Q13.** Donner l'expression de la puissance mécanique en sortie du treuil notée  $P_{treuil}$  en fonction de  $T$  et de la vitesse de la porte  $v_{porte}$ .

Tracer le profil de la puissance  $P_{treuil}$  en fonction du temps sur le document réponse n°2.

La chaîne cinématique est représentée sur la figure 10 :

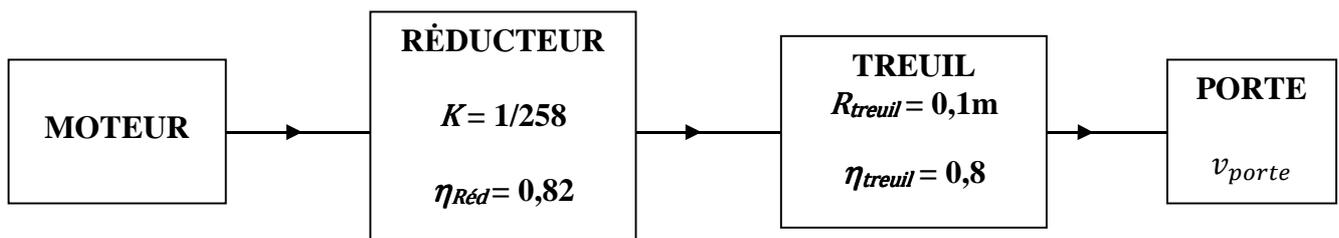


Figure 10 : chaîne cinématique

On considère que la puissance mécanique  $P_{treuil}$  en sortie du treuil est égale à 3,62 kW et que la vitesse de translation de la porte est égale à  $v_{porte} = 117 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$  (phase 2).

On note :

- $\Omega_{treuil}$  et  $\Omega_{moteur}$  : vitesses de rotation du treuil et du moteur en  $\text{rad.s}^{-1}$  ;
- $K$  : rapport de transmission du réducteur ( $K = \frac{\Omega_{treuil}}{\Omega_{moteur}} = \frac{1}{258}$ ) ;
- $R_{treuil}$  : rayon du treuil égal à 0,1 m ;
- $C_{treuil}$  : moment du couple en sortie du treuil ;
- $\eta_{treuil}$  et  $\eta_{Réd}$  : rendements respectifs du treuil et du réducteur ;
- $P_M$  : puissance mécanique fournie par le moteur ;
- $C_M$  : moment du couple utile du moteur.

**Q14.** Donner l'expression de  $v_{porte}$  en fonction de  $\Omega_{treuil}$  et  $R_{treuil}$ .

Calculer la valeur de  $\Omega_{treuil}$ .

**Q15.** Calculer la valeur de  $\Omega_{moteur}$  et en déduire la fréquence de rotation du moteur  $n_M$  en  $\text{tr.min}^{-1}$ .

**Q16.** Calculer les valeurs de  $P_M$  et  $C_M$ .

**Q17.** Choisir sur l'annexe 1, le ou les moteurs qui correspond(ent) au besoin.

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 11 sur 11

## PARTIE B - Comparaison entre l'ancienne motorisation et le nouveau moteur asynchrone du treuil

### Caractéristiques du moteur de type « Dahlander »

L'ancienne motorisation utilisait un moteur de type « Dahlander » à deux vitesses dont les caractéristiques sont les suivantes :

1<sup>ère</sup> vitesse : 380 V – 8 A – 50 Hz – 1445 tr.min<sup>-1</sup> – 3 kW – 4 CV

2<sup>ème</sup> vitesse : 380 V – 13,7 A – 50 Hz – 2875 tr.min<sup>-1</sup> – 5,9 kW – 8 CV

Pour une vitesse de translation de la porte  $v_{porte} = 117 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ , la fréquence de rotation du moteur est  $n_M = 2875 \text{ tr.min}^{-1}$ .

**Q18.** Quelle-doit être la fréquence de rotation  $n'_M$  du moteur correspondant à une vitesse de translation de la porte  $v'_{porte} = 23,4 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$  ?

**Q19.** Déduire de la question précédente que le moteur de type Dahlander est dans l'impossibilité d'assurer le nouveau profil de vitesse de la porte (figure 9).

Quelle solution proposez-vous afin que le profil de vitesse soit respecté ?

### Étude du moteur asynchrone choisi

Le moteur Dahlander étant par ailleurs vétuste, il a été décidé de le changer au profit d'un moteur neuf dont la plaque signalétique est donnée ci-dessous :

CE		VEM motors Thurm GmbH Made in Germany		VEM		DIN EN 60034-1	
IE2-WE1R 132 S 2 T H FNS-K 2WE				IM B35 FF265			
13096180011505		IP 55		Th.Kl.155		48 kg 3~Mot	
Bremse:		M <sub>BR</sub>		Nm		FI / c/h	
50Hz		S1		CODE		60Hz	
5.5 kW		IE2 87 %		IE2 89.5 %		6.6 kW	
400 / 690 V D/Y		cosφ 0.88		460 V D		cosφ 0.88	
10.3/5.95 A		2900 min. <sup>-1</sup>		10.5 A		3490 min. <sup>-1</sup>	
380... 420 / 660... 690 V				440... 480 / ... V			
10.8... 10 / 6.2... 5.95 A				10.9... 10.2 / ... A			
2880.. 2910 min. <sup>-1</sup>		cosφ 0.85		3470.. 3500 min. <sup>-1</sup>		cosφ 0.89	

Figure 11 : plaque signalétique du moteur asynchrone

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation		Repère : 18 PO - EQPEM Page 12 sur 12

Le moteur est alimenté par le réseau 230 V/400 V – 50 Hz.

**Q20.** Donner la signification des indications suivantes de la plaque signalétique :

- 5,5 kW
- 400 / 690 V     D / Y
- 10,3 / 5,95 A
- 2900 tr.min<sup>-1</sup>

En déduire le couplage du moteur sur le réseau utilisé.

**Q21.** Pour le fonctionnement nominal, déterminer les valeurs des grandeurs suivantes :

- la fréquence de synchronisme  $n_s$  en tr.min<sup>-1</sup> ;
- le nombre de paires de pôles  $p$  du moteur ;
- le moment du couple utile du moteur  $C_{um}$ .

Le modèle équivalent pour une phase du moteur en régime permanent est donné figure 12 :

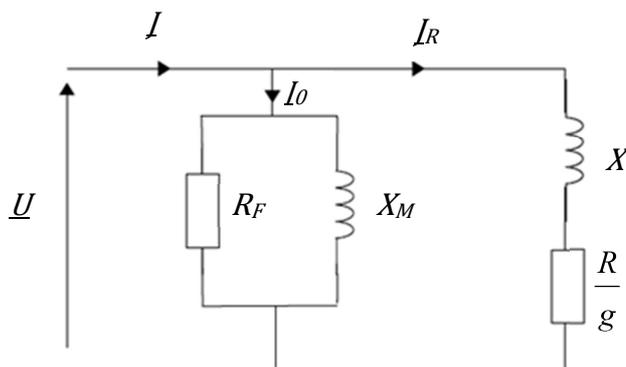


Figure 12 : modèle équivalent pour une phase du moteur

avec :

- $R_F$  : pertes fer statoriques ;
- $X_m$  : réactance magnétisante ;
- $X = L\omega$  : réactance de fuites magnétiques avec  $\omega$  pulsation électrique ( $\omega = 2\pi f$ );
- $R$  : résistance du rotor ramenée au stator :  $R = 2,81 \Omega$ .

Les grandeurs tensions et courants, représentées sur le modèle équivalent, sont écrites en notation complexe.

**Q22.** Donner la signification physique des courants  $I_0$  et  $I_R$ .

**Q23.** Donner l'expression de la puissance électromagnétique  $P_{em}$  développée par la machine en fonction de  $R$ ,  $g$  et  $I_R$ .

À partir de l'expression précédente de la puissance électromagnétique, on peut montrer que le moment du couple électromagnétique  $C_{em}$  (que l'on considérera égale au moment du couple utile) peut se mettre sous la forme :

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 13 sur 13

$$C_{em} = \frac{3p^2}{2\pi R 60} \times \frac{U^2}{f^2} (n_s - n)$$

avec :

- $U$  : valeur efficace des tensions composées du réseau ;
- $f$  : fréquence du réseau qui alimente le moteur ;
- $p$  : nombre de paires de pôles du moteur ;
- $n_s$  et  $n$  : fréquences de rotation exprimées en  $\text{tr.min}^{-1}$ .

**Q24.** Calculer la valeur de  $K = \frac{3p^2}{2\pi R \times 60} \times \frac{U^2}{f^2}$  en précisant son unité. Vous préciserez aussi quelle condition il faut respecter pour que cette valeur soit bien constante pour différentes fréquences de fonctionnement.

## Caractéristique utile du moteur asynchrone

La caractéristique du moteur asynchrone, moment du couple électromagnétique  $C_{em}$  en fonction de la fréquence de rotation  $n$ , est représentée sur le document réponse n° 3.

Cette caractéristique  $C_{em} = K(n_s - n)$  a été tracée pour une fréquence  $f_1 = 50$  Hz et pour une tension d'alimentation simple dont la valeur efficace du fondamental vaut  $V_1 = 230$  V.

Le moment du couple résistant ramené à l'axe du moteur est supposé constant et égal à  $C_R = 18$  N.m.

**Q25.** Tracer sur le document réponse n°3, la caractéristique du moment du couple résistant et noter  $A$  le point de fonctionnement du moteur. En déduire la fréquence de rotation du moteur notée  $n_1$ .

Afin de respecter le profil de vitesse de la porte, il est nécessaire d'utiliser un variateur de vitesse qui permettra au moteur de travailler à fréquence de rotation réduite.

Le variateur de vitesse travaillera à  $V/f = \text{constante}$ .

La nouvelle fréquence de rotation du moteur  $n_2$  devra être égale à  $575 \text{ tr.min}^{-1}$  afin de permettre une phase d'approche à vitesse réduite.

**Q26.** Représenter sur le document réponse n°3, la nouvelle caractéristique du moteur permettant d'obtenir le nouveau point de fonctionnement noté  $B$ . En déduire la nouvelle fréquence de rotation au synchronisme  $n_{s2}$ , la nouvelle fréquence  $f_2$  d'alimentation ainsi que la nouvelle valeur efficace du fondamental de la tension d'alimentation notée  $V_2$ .

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 14 sur 14

# Étude des grandeurs électriques d'entrée et de sortie du variateur

On s'intéresse aux grandeurs d'entrée et de sortie du variateur alimentant le moteur.

On note les valeurs instantanées des grandeurs suivantes :

- $v_E(t)$  : tension simple à l'entrée du variateur ;
- $i_E(t)$  : courant dans un fil de ligne à l'entrée du variateur ;
- $u_{12}(t)$  : tension composée en sortie du variateur, donc à l'entrée du moteur ;
- $i_S(t)$  : courant dans un fil de ligne alimentant le moteur.

Le schéma de puissance du variateur alimentant le moteur asynchrone est représenté figure 13 :

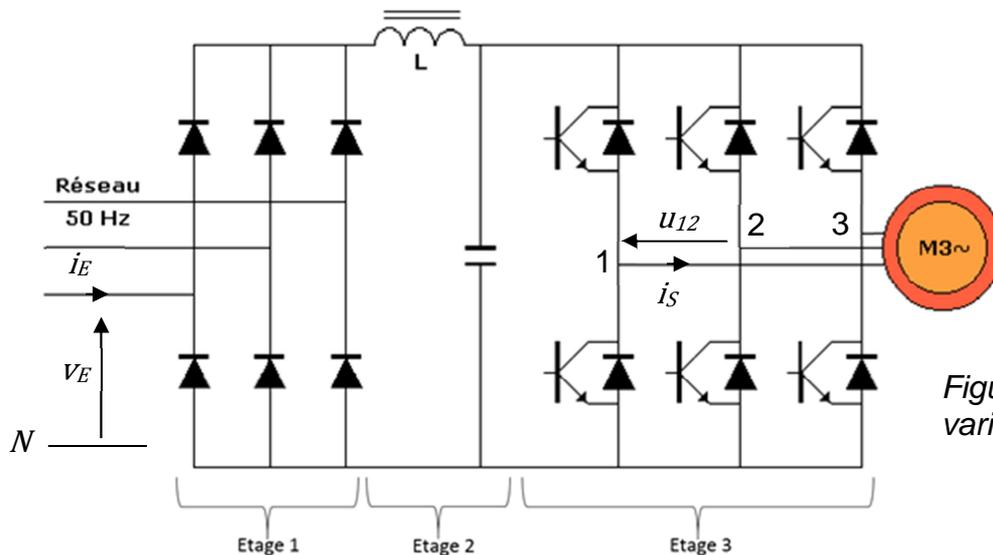


Figure 13 : structure du variateur de vitesse

**Q27.** Nommer les fonctions réalisées par les 3 étages qui composent le variateur.

Sur les relevés 1 et 2 (document réponse n°4), chaque relevé représente soit les grandeurs à l'entrée du variateur  $v_E(t)$  et  $i_E(t)$ , soit celles en sortie du variateur  $u_{12}(t)$  et  $i_S(t)$ .

**Q28.** Compléter le document réponse n°4 :

- en précisant à quoi correspondent les relevés 1 et 2 : grandeurs d'entrée  $v_E(t)$  et  $i_E(t)$ , ou de sortie  $u_{12}(t)$  et  $i_S(t)$  du variateur ;
- en attribuant à chaque voie de l'oscilloscope une des 4 grandeurs électriques définies précédemment ?

Une des voies 1 ou 2 du relevé 2 a donné l'analyse spectrale (représentation des harmoniques) suivante :

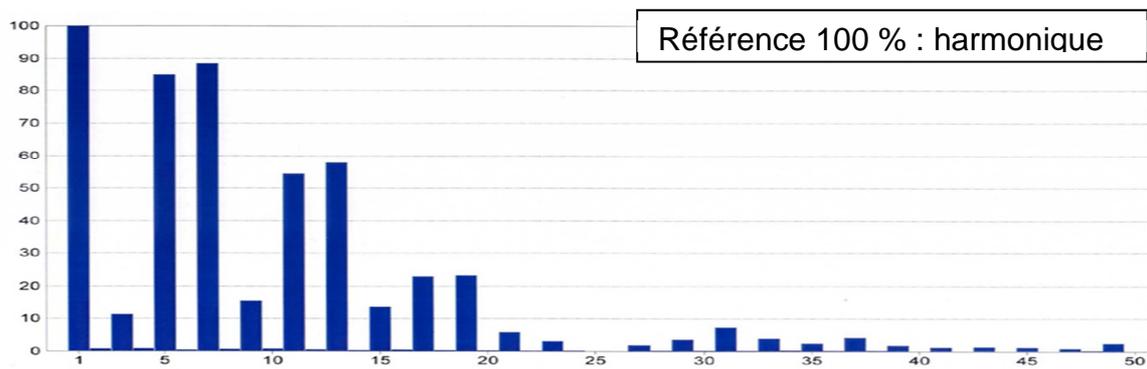


Figure 14 : spectre fréquentiel relevé

- Q29.** À quelle voie correspond cette analyse spectrale ?  
Le taux de distorsion affiché sur le document réponse n°4 est-il en accord avec cette représentation des harmoniques ?

## PARTIE C - Alimentation du poste écluse et étude du transformateur abaisseur 5,5 kV / 400 V

L'objectif de cette partie est de représenter les différentes sources d'alimentation du poste écluse et d'étudier le transformateur abaisseur de tension qui alimentera le poste TGBT rive droite.

Cette étude permettra de calculer l'intensité du courant de court-circuit au secondaire du transformateur afin de déterminer le pouvoir de coupure nécessaire du disjoncteur placé en aval.

### Alimentation du poste écluse

Le poste écluse peut être alimenté à partir de trois sources : le poste TGBT rive droite, le poste TGBT rive gauche, le groupe électrogène de secours.

La figure 9 représente le schéma unifilaire de l'alimentation du poste écluse.

Les postes TGBT rive droite et gauche sont alimentés par l'intermédiaire de transformateurs à partir des sorties des alternateurs.

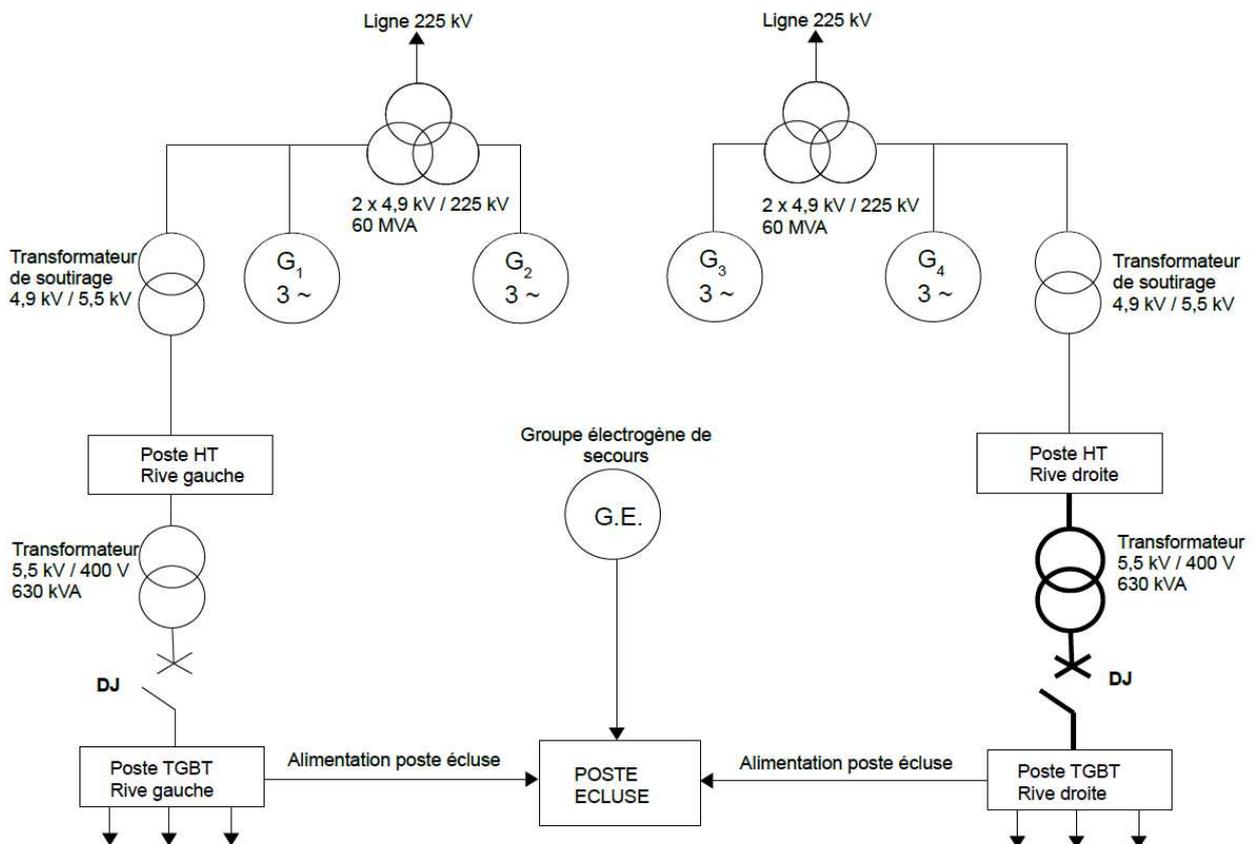


Figure 15 : schéma unifilaire de l'alimentation du poste écluse

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 17 sur 17

- Q30.** Quel est l'intérêt pour la compagnie nationale du Rhône d'alimenter les postes TGBT à partir des sorties de ses alternateurs ?
- Q31.** Quel est l'intérêt pour la compagnie nationale du Rhône d'avoir la possibilité d'alimenter le poste éclusé à partir de trois alimentations indépendantes ?

## Caractéristiques du transformateur 5,5 kV / 400 V

Les caractéristiques du transformateur données par la plaque signalétique sont les suivantes :

ABB : transformateur sec triphasé – 50 Hz – refroidissement naturel	
Puissance : 630 kVA	Haute tension : 5500 V – 66 A
Groupe de couplage : Dyn 11	Basse tension : 400 V – 909 A

- Q32.** Retrouver par le calcul les valeurs efficaces des intensités des courants de ligne au primaire  $I_{1N}$  et au secondaire  $I_{2N}$  inscrites sur la plaque signalétique.

Un essai à vide sous tension primaire nominale a permis de relever la valeur efficace de la tension secondaire à vide  $U_{20} = 410V$ .

- Q33.** Calculer la valeur du rapport de transformation  $m$  du transformateur.

## Essai en court-circuit et modèle équivalent

Les mesures relevées lors d'un essai en court-circuit sont les suivantes :

$$U_{1CC\%} = 4\% ; I_{2CC} = 909A$$

$U_{1CC\%}$  correspond au pourcentage de la tension  $U_{1CC}$  pris par rapport à la tension primaire nominale.

- Q34.** Calculer la valeur efficace de la tension composée primaire  $U_{1CC}$  utilisée pour l'essai en court-circuit et en déduire la valeur efficace de la tension simple primaire  $V_{1CC}$ .

Le modèle équivalent par phase du transformateur ramené au secondaire est représenté figure 16.

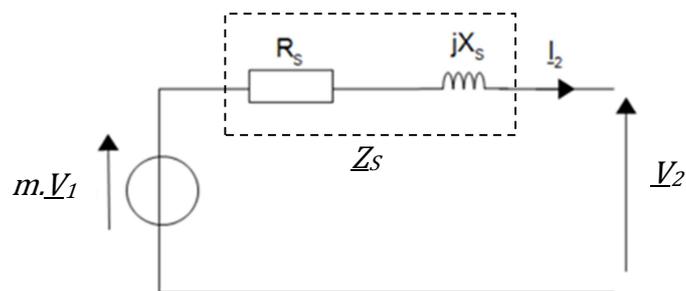


Figure 16 : modèle équivalent par phase du transformateur

- Q35.** Donner la relation liant  $Z_s$ ,  $m$ ,  $V_{1cc}$  et  $I_{2cc}$  lorsque le secondaire est en court-circuit.
- Q36.** À partir des mesures relevées lors de l'essai en court-circuit, montrer que la valeur de l'impédance  $Z_s$  est égale à  $10,4 m\Omega$ .

## Courant de court-circuit sous tension primaire nominale

- Q37.** Le transformateur étant maintenant alimenté sous tension primaire nominale, calculer la valeur efficace de l'intensité théorique  $I_{2cc}$  du courant secondaire de court-circuit.
- Q38.** Le pouvoir de coupure du disjoncteur placé au secondaire du transformateur est de 50 kA. En justifiant votre réponse, indiquer si le choix de ce disjoncteur est judicieux.

BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page 19 sur 19

# Annexe 1

## Three-phase motors with squirrel-cage rotor, marine version

with surface ventilation, mode of operation S1, continuous duty  
thermal class 155, degree of protection IP 55

Motor selection data

Design point : 400V ; 50 Hz

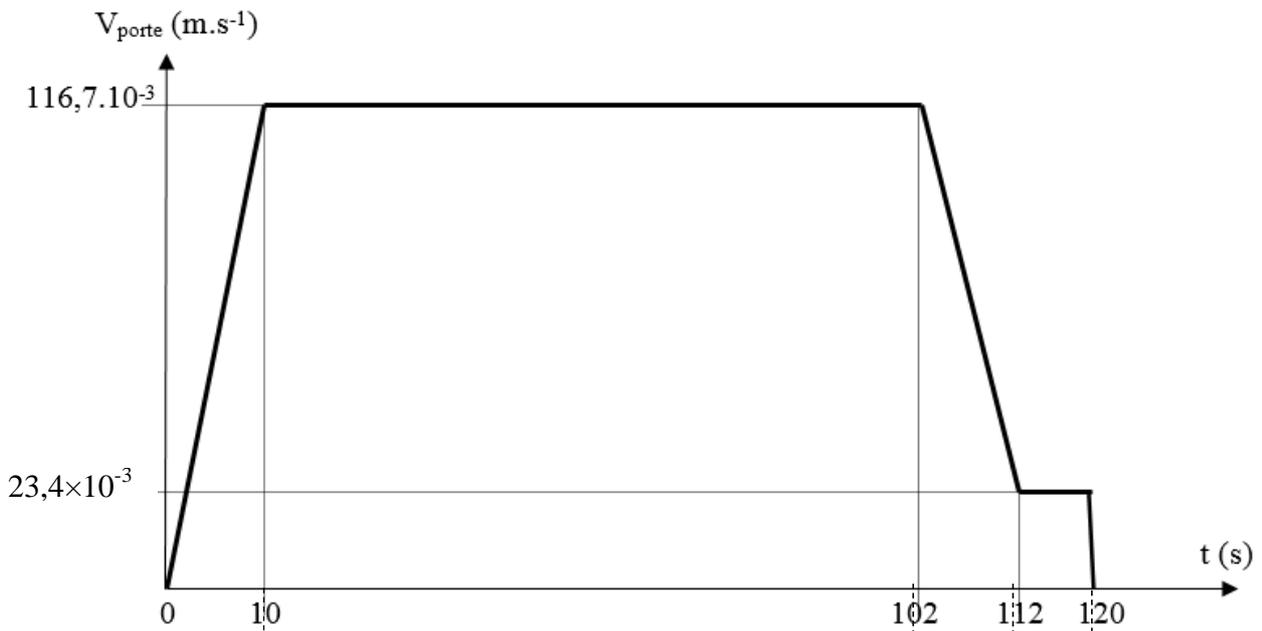
Type	P <sub>B</sub> GL RRS	P <sub>B</sub> BV DNV LR ABS CCS	M <sub>B</sub>	n <sub>B</sub>	η <sub>B</sub>	cos j <sub>B</sub>	I <sub>B</sub> 380 V	I <sub>A</sub> /I <sub>B</sub>	M <sub>A</sub> /M <sub>B</sub>	M <sub>S</sub> /M <sub>B</sub>	M <sub>R</sub> /M <sub>B</sub>	J	m
	kW	kW	Nm	rpm	%	-	A	-	-	-	-	kgm <sup>2</sup>	kg
Synchronous speed 3000 rpm – 2-pole version													
KPER 63 K2	0.18	0.18	0.62	2765	68	0.79	0.51	4.1	1.7	1.7	2.0	0.00013	4.9
KPER 63 G2	0.25	0.25	0.86	2775	67	0.79	0.72	4.2	2.0	2.0	2.2	0.00015	5.2
KPER 71 K2	0.37	0.37	1.29	2745	71.5	0.85	0.93	4.2	1.9	1.9	2.1	0.00025	6.7
KPER 71 G2	0.55	0.55	1.77	2730	73.5	0.86	1.33	5.0	1.9	1.9	2.3	0.00032	7.6
KPER 80 K2	0.75	0.75	2.56	2795	77.5	0.85	1.74	5.6	2.2	2.2	2.3	0.00057	10.7
KPER 80 G2	1.1	1.1	3.74	2810	77	0.84	2.59	5.6	2.2	2.1	2.4	0.00072	11.5
KPER 90 S2	1.5	1.5	5.06	2810	80	0.88	3.25	6.7	2.3	2.3	2.6	0.00132	16
KPER 90 L2	2.2	2.2	7.42	2830	82	0.88	4.65	7.0	2.6	2.1	2.6	0.0017	19
KPER 100 L2	3	3	10.1	2840	82.5	0.87	6.35	6.4	2.2	2.1	2.5	0.00275	25
KPER 112 M2	4	4	13.2	2885	85.5	0.85	8.5	6.7	2.0	1.9	2.6	0.0045	32
KPER 112 MX2	5.5	5.5	18.3	2875	85.5	0.87	11.2	7.0	2.2	2.0	2.7	0.0055	38
K11R 132 S2	5.5	5.5	18.4	2860	85.7	0.86	11.5	5.5	1.8	1.6	2.2	0.0081	52
K11R 132 SX2	7.5	-	24.7	2900	87	0.86	15	6.6	1.8	1.3	2.5	0.011	57
K11R 132 SX2	-	7.1	23.3	2905	87	0.86	14.5	6.8	1.9	1.4	2.6	0.011	57
K11R 160 M2	11	11	36.2	2900	88.5	0.90	21	7.0	2.4	2.0	2.4	0.0258	81
K11R 160 MX2	15	15	48.9	2930	89.4	0.90	28.5	7.1	2.2	1.7	2.9	0.0575	118
K11R 160 L2	18.5	18.5	60.5	2920	90.5	0.92	34	7.2	2.1	1.6	2.6	0.0675	134
K11R 180 M2	22	22	71.6	2935	91.8	0.92	39.5	6.8	1.7	1.4	2.6	0.105	165
Synchronous speed 1500 rpm – 4-pole version													
KPER 63 K4	0.12	0.12	0.8	1360	57.5	0.70	0.45	3.1	1.7	1.6	2.0	0.00019	4.8
KPER 63 G4	0.18	0.18	1.3	1340	63	0.70	0.62	3.2	1.8	1.8	2.1	0.00024	5.2
KPER 71 K4	0.25	0.25	1.7	1370	64.5	0.76	0.77	3.5	1.6	1.6	1.9	0.0004	6.8
KPER 71 G4	0.37	0.37	2.6	1345	68	0.78	1.06	3.6	1.8	1.8	2.0	0.0005	7.8
KPER 80 K4	0.55	0.55	3.8	1390	70.5	0.74	1.6	4.2	2.0	1.9	2.1	0.00087	10.6
KPER 80 G4	0.75	0.75	5.2	1380	71.5	0.74	2.15	4.4	2.1	2.0	2.2	0.00107	11.7
KPER 90 S4	1.1	1.1	7.5	1400	75.5	0.83	2.65	5.0	2.1	2.0	2.2	0.00207	15.5
KPER 90 L4	1.5	1.5	10.3	1390	77.5	0.84	3.5	5.2	2.3	2.2	2.4	0.0026	18
KPER 100 L4	2.2	2.2	14.9	1395	82	0.81	5.05	5.6	2.2	2.0	2.3	0.004	23.5
KPER 100 LX4	3	3	20.1	1420	82	0.82	6.75	6.1	2.3	2.0	2.6	0.00725	30
KPER 112 M4	4	4	26.8	1425	83	0.81	9	6.7	2.4	2.3	2.8	0.009	37
K11R 132 S4	5.5	5.5	36.5	1440	85.7	0.89	11	6.5	1.9	1.7	3.0	0.015	50
K11R 132 M4	7.5	7.5	49.4	1450	87	0.84	15.5	6.0	2.0	1.7	2.9	0.028	70
K11R 160 M4	11	11	72.4	1450	88.4	0.85	22	6.8	2.2	1.9	3.3	0.035	92
K11R 160 L4	15	15	97.8	1465	89.4	0.86	29.5	7.3	2.5	2.0	3.0	0.078	120
K11R 180 M4	18.5	-	121	1460	90	0.86	36.5	6.8	2.5	2.0	2.9	0.09	136

# DOCUMENT RÉPONSE N°1

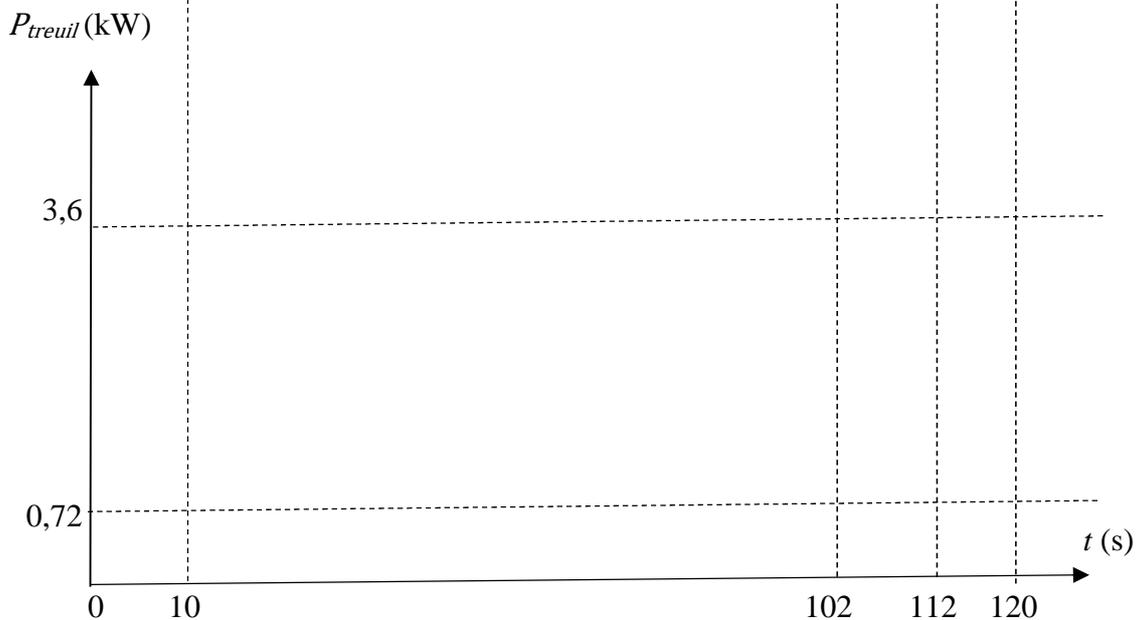
$$T = (P - A_R)\tan\theta + F_d \cdot \tan\varphi + M \cdot a + R_{EAU}$$

	Valeur numérique	Valeur en % de $T$
$(P - A_R) \cdot \tan\theta$		
$F_d \cdot \tan\varphi$		
$M \cdot a$		
$R_{EAU}$	27 N	
$T$		100 %

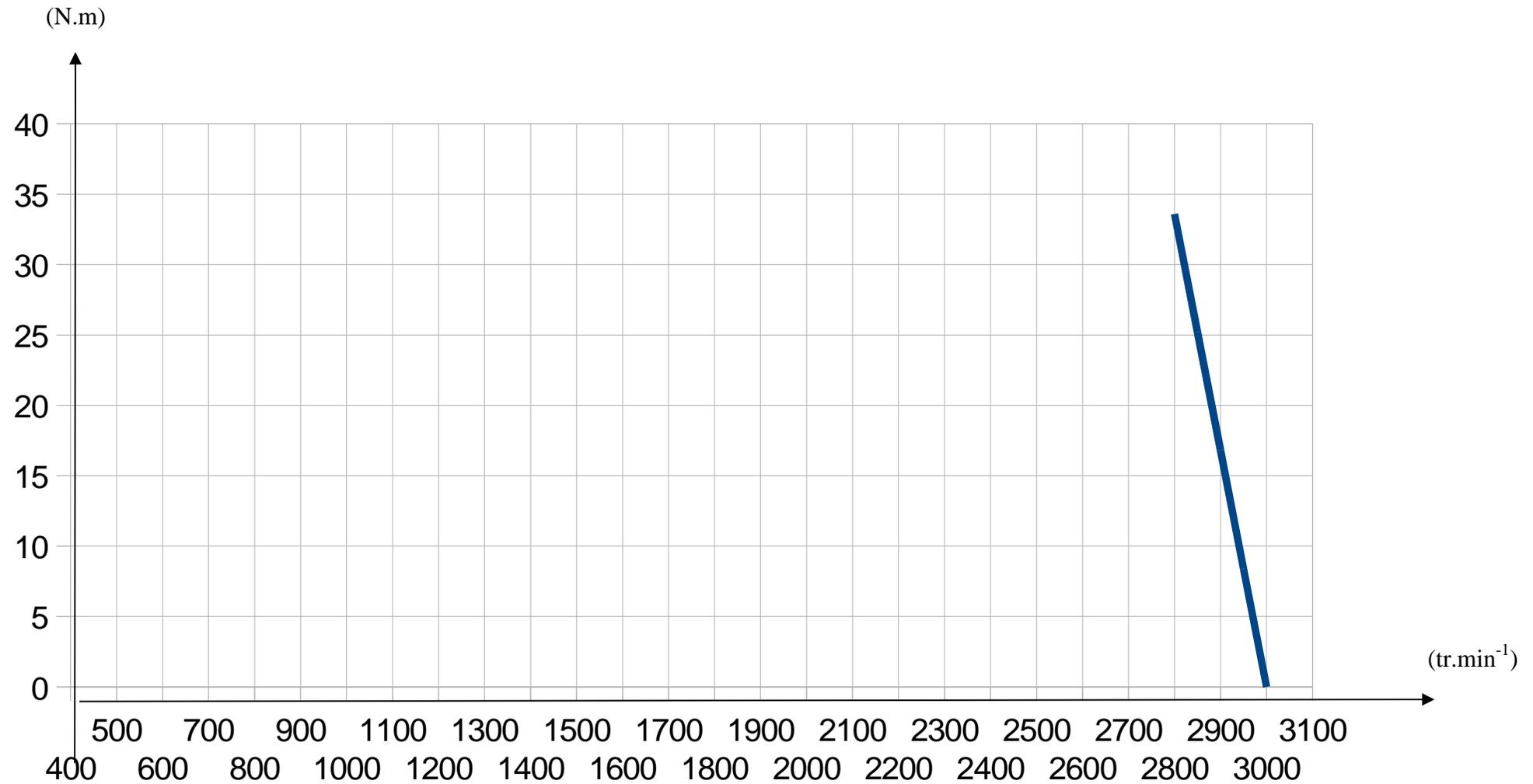
# DOCUMENT RÉPONSE N°2



<b>Distance parcourue</b>		<b>0,47 m</b>	<b>Distance totale :</b>
---------------------------	--	---------------	--------------------------



# DOCUMENT RÉPONSE N°3

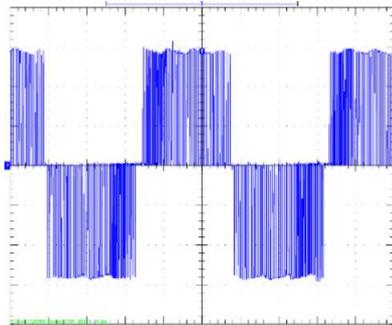


BTS ÉLECTROTECHNIQUE		SESSION 2018
Épreuve E.4.1 : Étude d'un système technique industriel Pré-étude et modélisation	Repère : 18 PO - EQPEM	Page <b>23</b> sur <b>23</b>

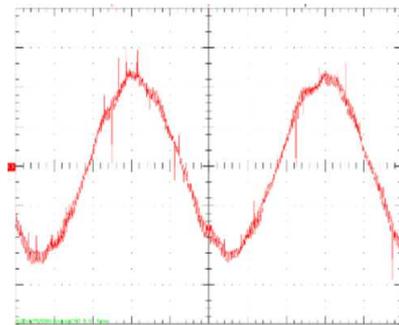
# DOCUMENT RÉPONSE N°4

Pour les deux relevés, cocher les bonnes réponses

**Relevé 1 :** Grandeurs d'entrée  ou grandeurs de sortie  du variateur

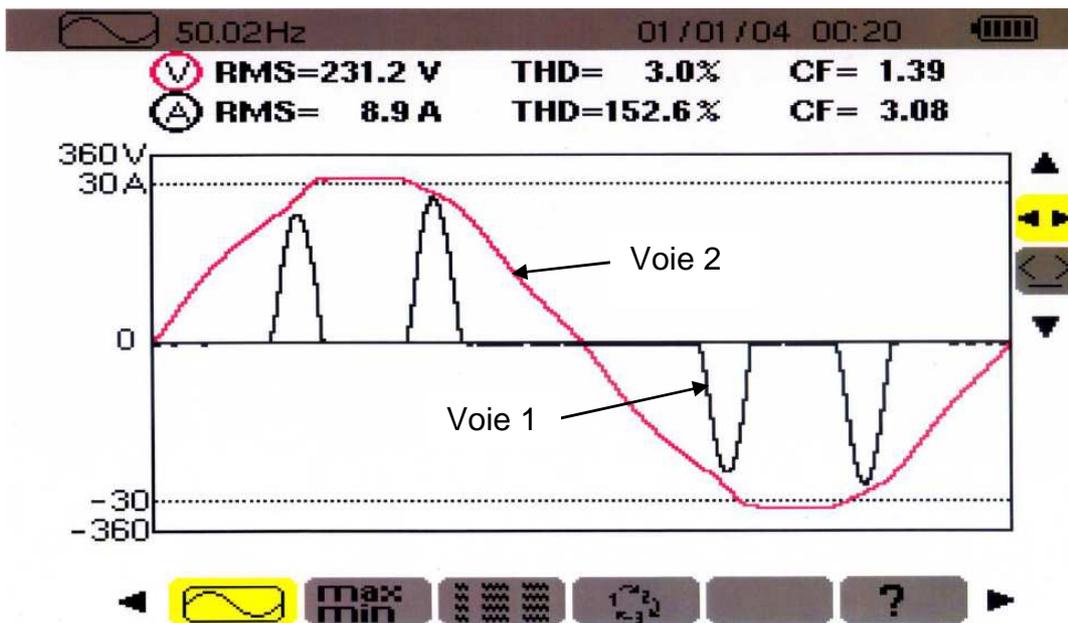


Voie 1:  $v_E(t)$    $i_E(t)$    
 $u_{12}(t)$    $i_s(t)$



Voie 2:  $v_E(t)$    $i_E(t)$    
 $u_{12}(t)$    $i_s(t)$

**Relevé 2 :** Grandeurs d'entrée  ou grandeurs de sortie  du variateur



Voie 1:  $v_E(t)$    $i_E(t)$    
 $u_{12}(t)$    $i_s(t)$

Voie 2:  $v_E(t)$    $i_E(t)$    
 $u_{12}(t)$    $i_s(t)$