

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles  
de Formation d'Ingénieurs  
Session 2012



الجمهورية التونسية  
وزارة التعليم العالي  
والبحر العلمي

المنافسات الوطنية للدخول  
إلى مراحل تكوين المهندسين  
دورة 2012

Concours Mathématiques - Physique & Physique - Chimie  
Épreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Date : Vendredi 08 Juin 2012

Heure : 8 Heures

Durée : 3 Heures

Barème : Partie A : 4 points

Partie B : 11 points

Partie C : 5 points

- L'épreuve comporte trois parties :
  - A- Technologie de conception
  - B- Mécanique des solides indéformables
  - C- Automatique
- Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte Deux dossiers :
  - « Présentation, Données et Hypothèses » & « Document Réponses ».
- Aucun autre document n'est autorisé.
- L'utilisation des calculatrices de poche non programmables est autorisée.
- Les différentes parties sont indépendantes et doivent être traitées sur le document réponses.
- Il n'est fourni au candidat qu'un **seul et unique** « dossier document réponses » qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.

**DOSSIER**

**PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES**



# **DOSSIER**

## **PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES**

Ce dossier comporte 10 pages numérotées de 1 à 10

- Présentation : Page 1 à 3 ;
- Données et hypothèses Partie A : Page 3 ;
- Données et hypothèses Partie B : Page 3 à 5 ;
- Données et hypothèses Partie C : Page 6 à 10 ;

## CENTRALE A BETON PRET A L'EMPLOI

### MISE EN SITUATION

La présente étude porte sur les constituants d'une chaîne de production de béton prêt à l'emploi (BPE). (Figure 1). Cette chaîne est constituée de :

- Unité (A) de stockage, de dosage et d'alimentation en sable et en gravier appelés agrégats,
- Unité (B) de convoyage des agrégats vers le malaxeur,
- Unité de dosage et d'alimentation en eau et en adjuvants (non représentée),
- Unité (C) de stockage et de convoyage par vis du ciment,
- Unité (D) de dosage de ciment,
- Unité (E) de malaxage et de chargement des camions toupie.

Le processus de production est piloté par un automate programmable industriel (API) ; celui-ci assure :

- le contrôle des systèmes de pesage des matériaux,
- la mesure de l'humidité des agrégats via des détecteurs d'hygrométrie,
- le dosage d'adduction d'eau en fonction du niveau de fluidité désiré.

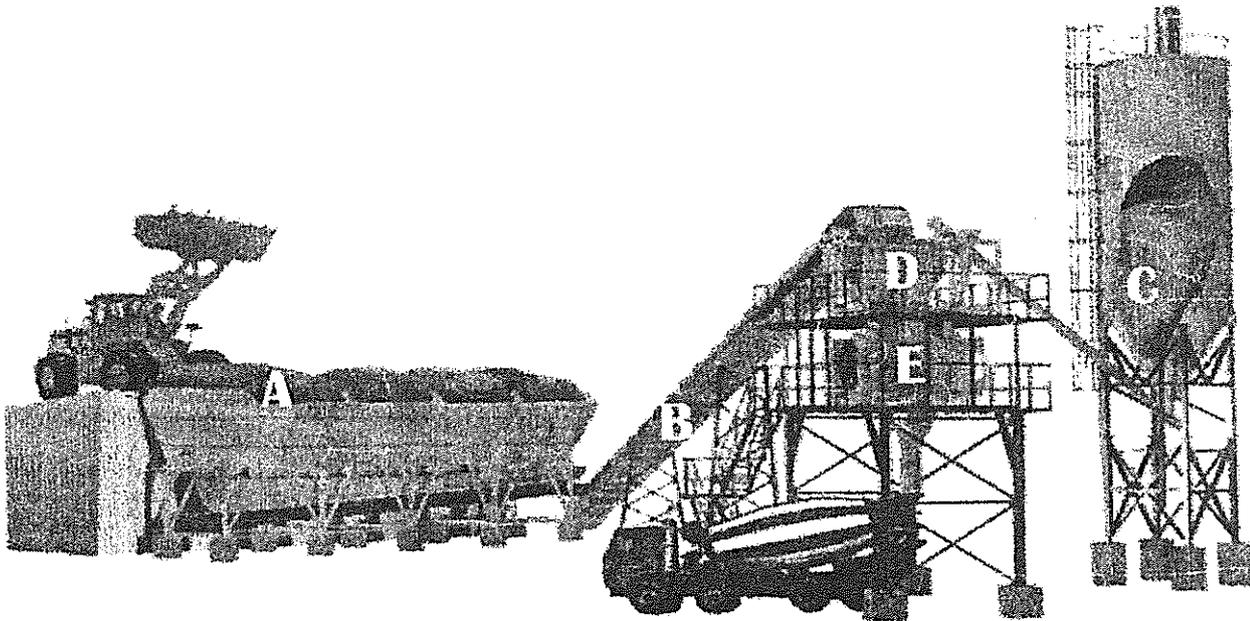


Figure 1 : Schéma descriptif d'une centrale à béton prêt à l'emploi.

## PRESENTATION GENERALE

Le béton est un mélange de plusieurs constituants. Ses caractéristiques sont largement influencées par les proportions des différents éléments. À cela s'ajoute l'effet de la taille moyenne des granulats.

Souvent, le tamisage effectué par les carrières ne répond pas aux exigences de production du béton. Il est ainsi nécessaire qu'un tamisage soit repris au niveau de la centrale à béton (figure 2).

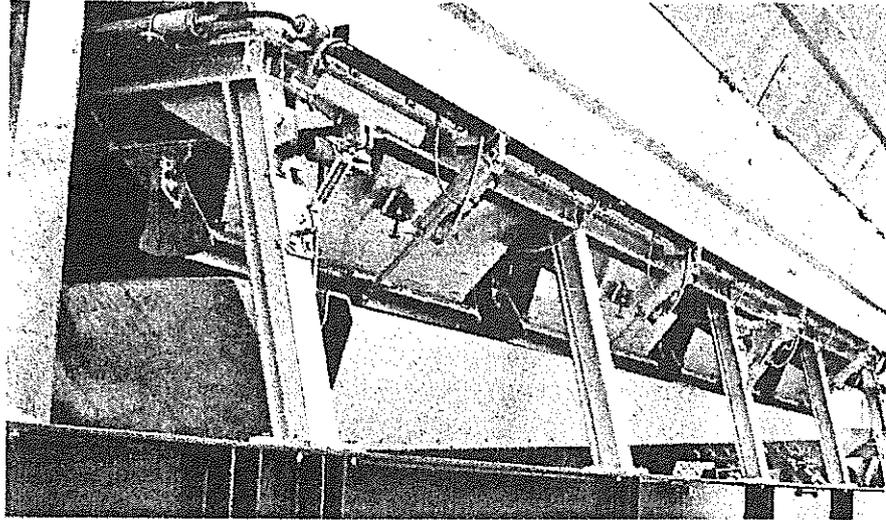


Figure 2 : Unité réelle d'alimentation en granulats (unité A)

Le dispositif de tamisage est placé entre les trémies de stockage des granulats et l'unité de pesage. Il s'agit d'un système d'optimisation de la granulométrie. Ce dispositif est constitué d'un tamis monté sur le socle de trémies utilisant un mécanisme à parallélogramme. Il est mis en vibration par l'intermédiaire d'un excitateur mécanique (ou vibreur) à amplitude réglable (figure 3).

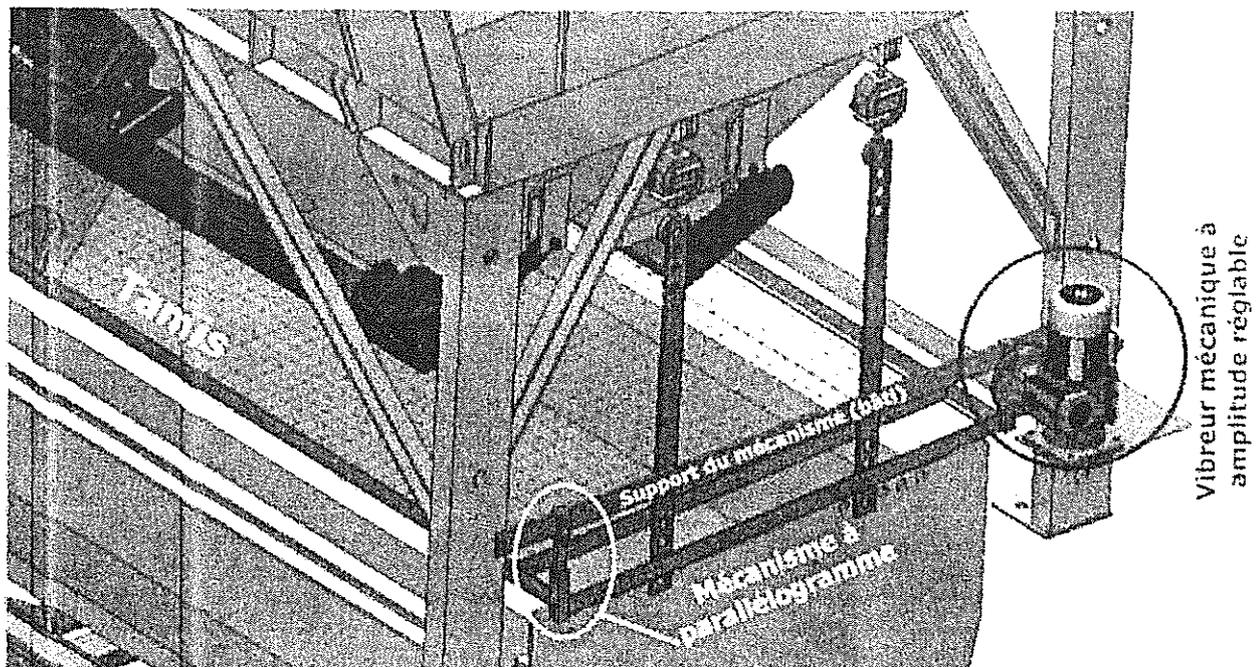


Figure 3 : Dispositif proposé d'optimisation de la granulométrie

Le vibreur représenté par la figure 4 transforme une rotation continue en une rotation alternative.

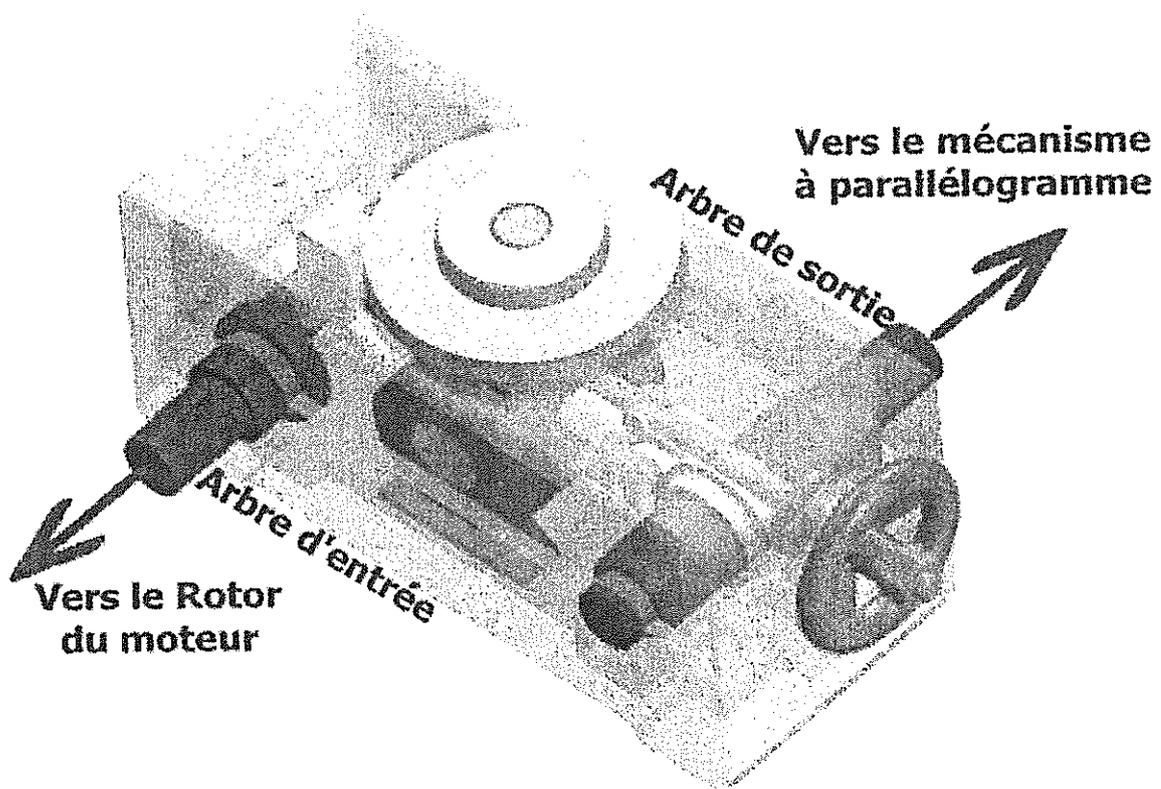


Figure 4 : Excitateur mécanique à amplitude réglable

## PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

Cette partie est dédiée à l'analyse descendante et au dessin de définition de la noix en acier (pièce de l'excitateur). Le travail demandé est explicité dans les pages 1/14 et 2/14 du dossier document réponses.

## PARTIE B : MÉCANIQUE DES SOLIDES INDÉFORMABLES

L'étude mécanique porte sur le mécanisme d'optimisation de la granulométrie (MOG). On s'intéresse particulièrement au dispositif de réglage de l'amplitude de vibration et à la mise en équation relative au fonctionnement normal du dispositif de tamisage de la figure 3.

### B.1- ETUDE DE L'EXCITATEUR MECANIQUE

#### Schéma cinématique et repérage

La figure B.1 représente le schéma cinématique minimal de l'excitateur mécanique, ses principaux composants sont :

- Le bâti (0), lié au repère  $\mathcal{R}_0(O, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$  supposé galiléen.
- La manivelle (1), liée au repère  $\mathcal{R}_1(O, \bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_0)$ , est en liaison pivot d'axe  $(O, \bar{z}_0)$  avec le bâti (0). Son mouvement de rotation est paramétré par l'angle  $\alpha = (\bar{x}_0, \bar{x}_1) = (\bar{y}_0, \bar{y}_1)$

- La bielle (2), liée au repère  $\mathcal{R}_2(A, \bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_0)$ , est en liaison pivot d'axe  $(A, \bar{z}_0)$  avec la manivelle (1). Son mouvement de rotation est paramétré par l'angle  $\theta = (\bar{x}_0, \bar{x}_2) = (\bar{y}_0, \bar{y}_2)$ .
- Le balancier (3), lié au repère  $\mathcal{R}_3(C, \bar{x}_3, \bar{y}_3, \bar{z}_0)$ , est en liaison pivot glissant d'axe  $(B, \bar{x}_2)$  avec la bielle (2).
- Le solide (4), lié au repère  $\mathcal{R}_4(D, \bar{x}_4, \bar{y}_4, \bar{z}_0)$ , est en liaison pivot d'axe  $(D, \bar{z}_0)$  avec le bâti (0). Il est également en liaison pivot d'axe  $(C, \bar{z}_0)$  avec le balancier (3). Son mouvement de rotation est paramétré par l'angle  $\varphi = (\bar{x}_0, \bar{x}_4) = (\bar{y}_0, \bar{y}_4)$ .
- La rotule (5), liée au repère  $\mathcal{R}_5(H, \bar{x}_5, \bar{y}_5, \bar{z}_5)$ , est en liaison pivot glissant d'axe  $(H, \bar{x}_2)$  avec le balancier (3).
- Le volant (6), lié au repère  $\mathcal{R}_6(F, \bar{x}_6, \bar{y}_6, \bar{z}_6)$ , est en liaison pivot d'axe  $(F, \bar{x}_2)$  avec le bâti (0). Son mouvement de rotation est paramétré par l'angle  $\psi = (\bar{y}_0, \bar{y}_6) = (\bar{z}_0, \bar{z}_6)$ .
- La noix (7), liée au repère  $\mathcal{R}_7(E, \bar{x}_7, \bar{y}_7, \bar{z}_7)$ , est en liaison glissière d'axe  $(K, \bar{x}_0)$  avec le bâti (0). Elle est également en liaison hélicoïdale à filetage à droite d'axe  $(E, \bar{x}_0)$  avec le volant (6). Elle est aussi en liaison rotule de centre H avec la rotule (5).

**Paramétrage du mécanisme**

Les paramètres de position sont définis par  $\alpha, \theta, \varphi, \psi, \lambda$  et  $\mu$ , variables en fonction du temps. Les représentations planes des rotations sont définies dans la figure B.2.

Les données géométriques du mécanisme sont exprimées par les relations vectorielles :

$$\overline{OA} = r_1 \bar{x}_1 ; \overline{AB} = \lambda \bar{x}_2 ; \overline{BH} = \mu \bar{x}_2 ; \overline{BC} = L_3 \bar{x}_2 ; \overline{CD} = r_4 \bar{x}_1 ; \overline{OD} = L_0 \bar{x}_0 ; \overline{EF} = \overline{HD} = x \bar{x}_0 ;$$

où  $x$  est un paramètre de réglage,  $r_1, r_4, L_0$  et  $L_3$  sont des caractéristiques géométriques du mécanisme (constantes positives).

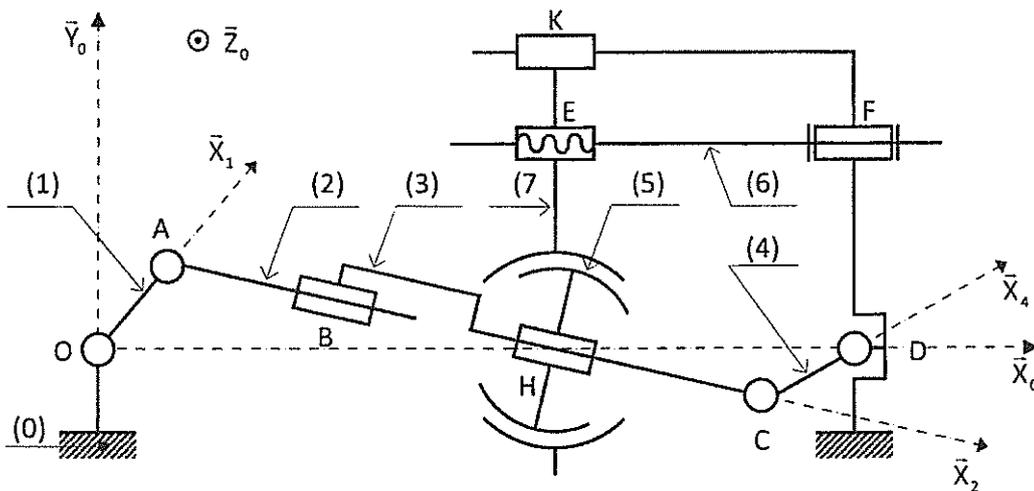


Figure B.1 : Schéma cinématique minimal de l'excitateur

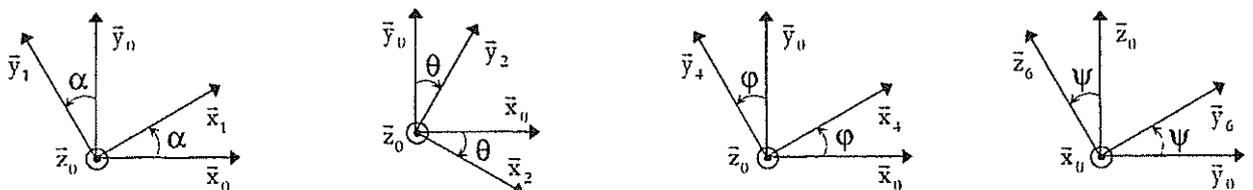


Figure B.2 : Représentation plane des rotations

## Fonctionnement du vibreur

La manivelle (1) est entraînée en rotation à vitesse angulaire constante  $\dot{\alpha} = \omega$ . Elle transmet le mouvement, au point A, à la bielle (2). Le balancier (3) reçoit le mouvement et le transmet en C au solide (4) qui se met en rotation alternative autour de l'axe  $(D, \bar{z}_0)$ . La position réglable du point H est maintenue constamment sur l'axe  $(O, \bar{x}_0)$ . Celle-ci affecte l'amplitude du mouvement de (4).

*Les questions relatives à la partie B.1 sont explicitées dans le document réponses (page 3/14)*

## B.2- ÉTUDE DU DISPOSITIF DE TAMISAGE

### Schéma cinématique

À l'issue de l'étude menée en B.1, des simplifications sont apportées au schéma cinématique du vibreur. Dans cette partie, la position du point H est définitivement fixée, elle est tel que  $\overline{HD} = d \bar{x}_0$  ( $d$  est une constante positive). On se propose d'étudier le dispositif complet de tamisage (vibreur + parallélogramme + tamis) (figure B.3). Il est constitué de l'ensemble  $\{S\}$  définie par  $\{S\} = \{1, 2, 3, 4, 8, 9, 10\}$  ;

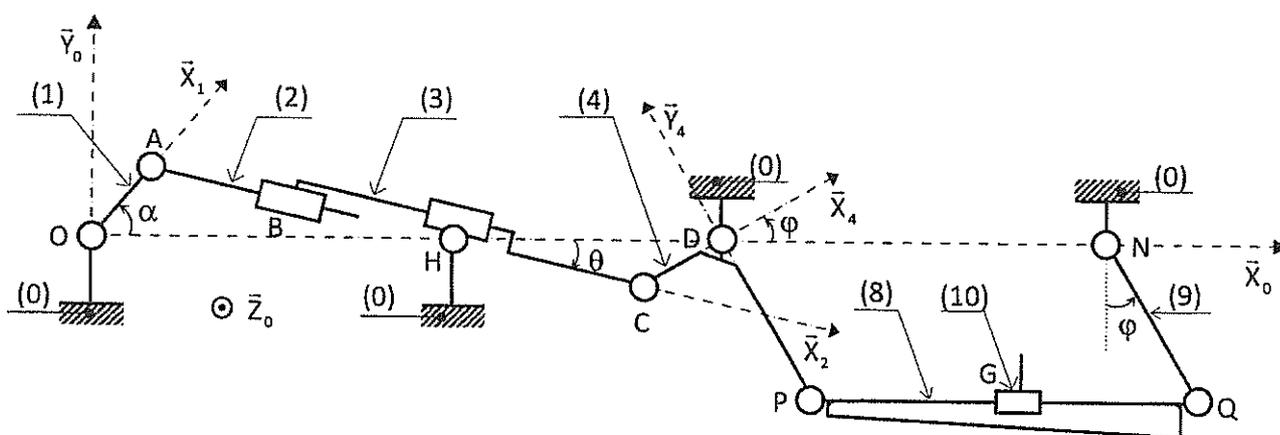


Figure B.3 : Schéma cinématique minimal du dispositif complet de tamisage

Le tamisage est assuré par la mise en vibration du mécanisme à parallélogramme de sommets D, P, Q et N. Ils sont tels que :  $DP = NQ = L_4$  et  $DN = PQ$ . Le tamis est solidaire de la traverse (8). Celle-ci est articulée en P et Q aux solides (4) et (9). Les points D et N sont les articulations du parallélogramme avec le bâti (0).

### Hypothèses

On se propose de déterminer le couple moteur nécessaire pour un fonctionnement en régime normal de tamisage. Pour faciliter l'étude, les hypothèses suivantes seront admises:

- Sauf indication contraire, toutes les liaisons sont supposées parfaites,
- La charge en granulats (10) est assimilée à une masse ponctuelle  $M$  concentrée au centre d'inertie  $G$  pouvant glisser le long de la traverse (8). La position de son centre d'inertie est définie par :  $\overline{PG} = \eta \bar{x}_0$ .
- L'importance de  $M$  devant les masses des autres composants du système de tamisage permet de négliger toute autre masse des composants du système  $\{S\}$  par rapport à celle de (10).
- Le moteur exerce sur la manivelle (1) un couple moteur :  $\bar{C}_m = C_m \bar{z}_0$ ,
- Le champ de pesanteur est défini par :  $\bar{g} = -g \bar{y}_0$ ,

*Les questions relatives à la partie B.2 sont explicitées dans le document réponses (pages 4/14- 8/14)*

## PARTIE C : AUTOMATIQUE

### C.1- Commande séquentielle d'une centrale à béton

L'objectif de cette étude consiste à établir une commande séquentielle de la centrale à béton schématisée par la figure C.1. Ce système permet d'obtenir une quantité (de 1 à 5 m<sup>3</sup>) de béton en un ou plusieurs cycles de fabrication de capacité maximale 1 m<sup>3</sup>. Le béton est obtenu en mélangeant 4 agrégats de grosseurs différentes (de A<sub>1</sub> à A<sub>4</sub>), du ciment choisi parmi 2 qualités différentes (C<sub>1</sub> ou C<sub>2</sub>) et de l'eau. L'alimentation en agrégats est effectuée par ouverture de trappes bistables VA<sub>1</sub>, VA<sub>2</sub>, VA<sub>3</sub> et VA<sub>4</sub> (ouverture VA<sub>i</sub><sup>+</sup> = 1, Fermeture VA<sub>i</sub><sup>-</sup> = 1 avec i = 1, 2, 3 ou 4); alors que l'alimentation en ciments se fait par ouverture de trappes bistables VC<sub>1</sub> ou VC<sub>2</sub> (ouverture VC<sub>i</sub><sup>+</sup> = 1, Fermeture VC<sub>i</sub><sup>-</sup> = 1 avec i = 1, ou 2), et l'alimentation en eau est obtenue par ouverture d'une vanne monostable VE (ouverture VE = 1, Fermeture VE = 0). Pour chaque cycle de fabrication, le fonctionnement est le suivant :

#### Dosage pondéral

Les agrégats sont d'abord pesés successivement dans une même trémie peseuse. Chaque qualité d'agrégat correspond à un capteur différent sur le cadran de la bascule (A<sub>1</sub> dosé jusqu'à ce que l'aiguille atteigne le capteur a<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> dosé jusqu'à ce que l'aiguille atteigne le repère a<sub>2</sub>, etc...). Lorsque l'aiguille atteint le capteur a<sub>i</sub>, on met en marche le tapis transporteur d'agrégats TPA (KMA = 1) et on ouvre la vanne monostable des agrégats VA. Lorsque la trémie peseuse d'agrégats est vide (aiguille au capteur a<sub>0</sub>), on attend 3 secondes pour fermer la vanne VA et 10 secondes pour arrêter le tapis TPA : les agrégats sont alors dans le malaxeur.

#### Alimentation en ciment

La séquence "ciment" commence 7 secondes après l'ouverture de la vanne des agrégats VA, par l'ouverture de la trappe du ciment choisi (VC<sub>1</sub> ou VC<sub>2</sub>) au-dessus de la trémie peseuse de ciment, jusqu'à ce que l'aiguille atteigne les capteurs correspondants (soit c<sub>1</sub>, soit c<sub>2</sub>). A ce moment, la trappe d'alimentation se ferme, le tapis transporteur de ciment se met en marche TPC (KMC = 1) et la vanne monostable VC du ciment s'ouvre (VC=1).

Lorsque l'aiguille arrive au capteur c<sub>0</sub>, VC se ferme puis TPC s'arrête après une temporisation de 3 secondes : le ciment se trouve ainsi dans le malaxeur.

#### Alimentation en eau et malaxage

Le malaxeur, entraîné par un moteur est mis en marche (KMX = 1) au même moment que le tapis transporteur d'agrégats TPA et ne s'arrête qu'en fin de cycle. Il reçoit d'abord les agrégats et le ciment puis, 10 secondes après l'arrivée du ciment, la vanne d'eau VE s'ouvre (VE=1). L'ouverture de VE déclenche un compteur d'eau CE à présélection, qui délivre un signal s lorsque la quantité voulue d'eau s'est écoulée. Le malaxage doit durer 60 secondes après le début de l'arrivée d'eau. C'est alors que la vanne bistable de vidange VID s'ouvre pendant 10 secondes puis elle se ferme.

#### Conditions initiales

Préalablement à la mise en marche, l'opérateur doit effectuer manuellement les opérations suivantes :

- Choisir la qualité de ciment voulue, sur un sélecteur à 2 positions (q<sub>1</sub> ou q<sub>2</sub>) ;
- Mettre les capteurs de pesée sur les trémies aux positions souhaitées (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub> ou a<sub>4</sub>) pour les agrégats, (c<sub>1</sub> ou c<sub>2</sub>) pour le ciment ;
- Pré positionner le compteur d'eau CE à la position voulue. Le lancement de la production s'effectue en appuyant sur un bouton poussoir m.

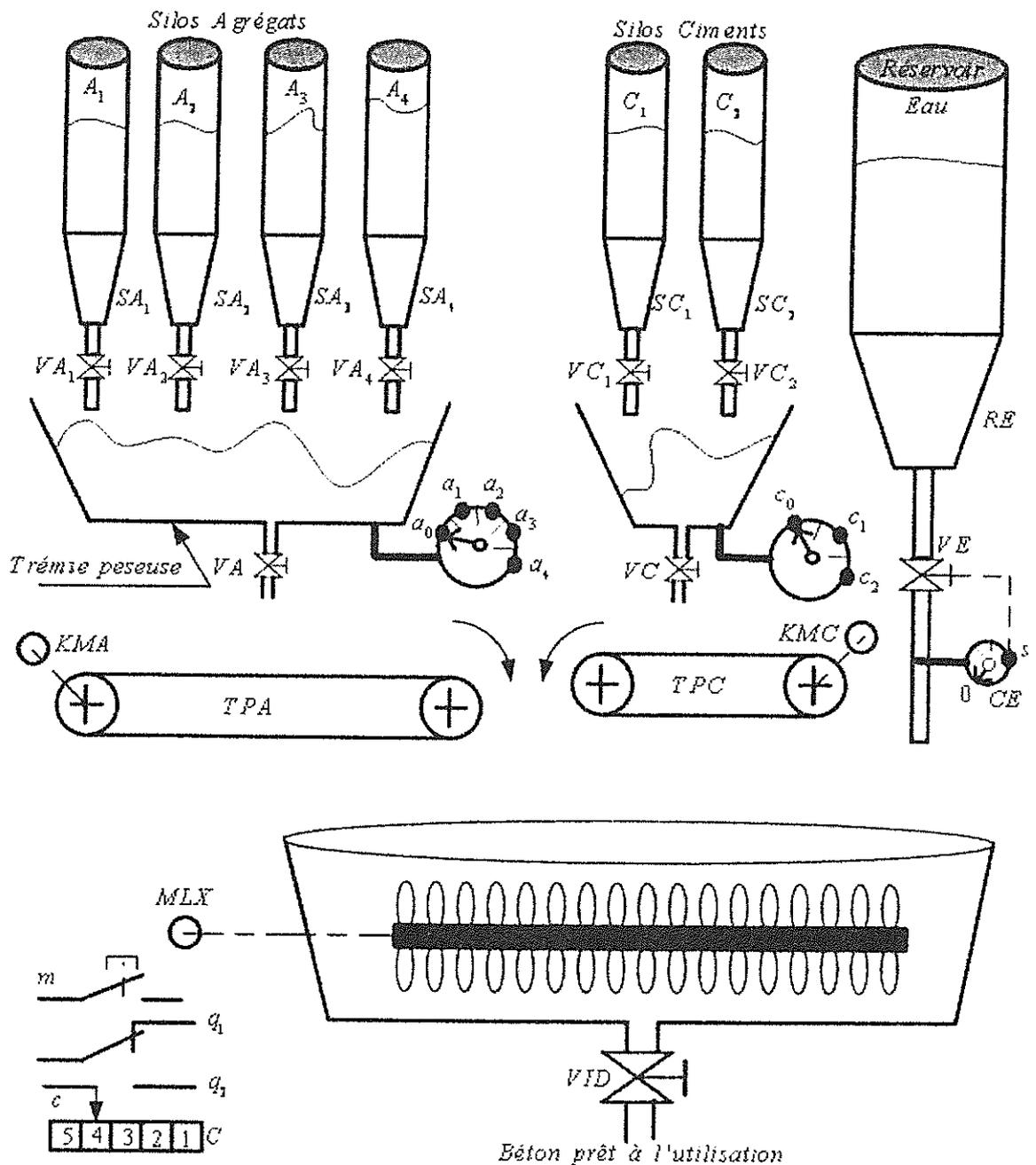


Figure C.1 : Schéma synoptique de la centrale à béton

### Fin de préparation du béton

A la fin de la séquence "ciment" de chaque cycle, le compteur de cycle C est décrémenté (diminué d'une unité). Si son contenu est différent de 0 (variable  $c = 1$ ) en fin de cycle, un nouveau cycle débute ; si son contenu est égal à 0 (variable  $c=0$ ) en fin de cycle, la production est terminée.

Les affectations des entrées/sorties sont données dans les tableaux C.1 et C.2.

Tableau C.1 : Les entrées

$a_1, a_2, a_3$ & $a_4$	Capteurs contrôlant le poids des agrégats contenus dans les Silos $SA_1, SA_2, SA_3$ & $SA_4$
$a_0$	Capteur signalant que la trémie agrégats est vide
$c_1$ et $c_2$	Capteurs contrôlant le poids des ciments contenus dans les Silos $SC_1$ & $SC_2$
$c_0$	Capteur signalant que la trémie ciments est vide
$s$	Capteur signalant que la quantité d'eau voulue est écoulée
$m$	Bouton poussoir départ cycle
$q_1$ & $q_2$	Sélecteur qualité ciment ; $q_1$ pour $C_1$ et $q_2$ pour $C_2$
$c$	Capteur signalant le contenu du compteur cycle C

Tableau C.2 : Les sorties

$VA_1^+, VA_1^-$	Ouverture et fermeture trappe bistable $VA_1$
$VA_2^+, VA_2^-$	Ouverture et fermeture trappe bistable $VA_2$
$VA_3^+, VA_3^-$	Ouverture et fermeture trappe bistable $VA_3$
$VA_4^+, VA_4^-$	Ouverture et fermeture trappe bistable $VA_4$
$VC_1^+, VC_1^-$	Ouverture et fermeture trappe bistable $VC_1$
$VC_2^+, VC_2^-$	Ouverture et fermeture trappe bistable $VC_2$
VC	Electrovanne d'ouverture de la trémie ciment
VE	Electrovanne d'ouverture du réservoir eau
VA	Electrovanne d'ouverture de la trémie agrégats
$VID^+, VID^-$	Ouverture et fermeture électrovanne d'évacuation du béton après malaxage
KMA	Commande du moteur tapis agrégats TPA
KMC	Commande du moteur tapis ciments TPC
KMX	Commande du moteur du malaxeur

## C.2- Asservissement du débit massique d'alimentation en agrégats

Afin d'améliorer l'opération de tamisage, on se propose de faire la synthèse de l'asservissement de débit  $d(t)$  d'alimentation en agrégats. Le schéma technologique d'un tel système est illustré à la figure (C.2).

*Les questions relatives à la partie C.1 sont explicitées dans le document réponses (pages 9/14- 11/14)*

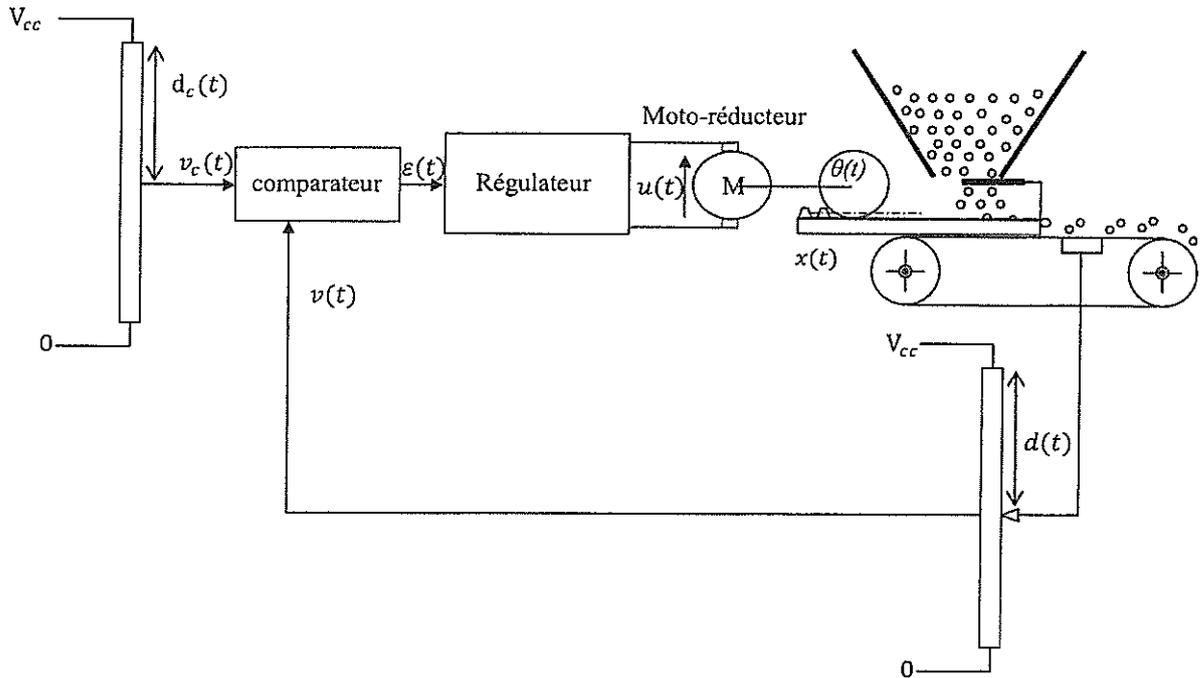


Figure C.2 : Schéma technologique d'asservissement du débit

- Le débit désiré  $d_c(t)$  est fixé au moyen d'un dispositif couplé au curseur d'un potentiomètre générant une tension :  $v_c(t) = k_1 d_c(t)$  ;
- La mesure du débit  $d(t)$  est réalisée aussi au moyen du même dispositif générant la tension  $v(t)$  ;
- Le signal d'erreur  $\epsilon(t) = v_c(t) - v(t)$  est l'entrée du régulateur  $R(p)$  qui lui-même délivre la tension  $u(t)$  en vue d'alimenter un moteur à courant continu commandé par l'induit ;
- Le débit est contrôlé par l'ouverture de la trémie  $d(t) = k_3 x(t)$  avec :  $x(t) = k_2(t) \theta(t)$ , où  $\theta(t)$  représente la position angulaire de l'arbre de sortie du moto-réducteur qui est couplé au système pignon crémaillère.

La fonction de transfert du moto réducteur  $H(p) = \frac{\theta(p)}{U(p)}$  est la mise en cascade de deux fonctions de transfert  $H_1(p)$  et  $H_2(p)$  comme illustre la figure C.3.

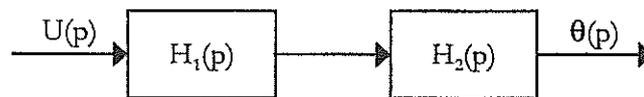
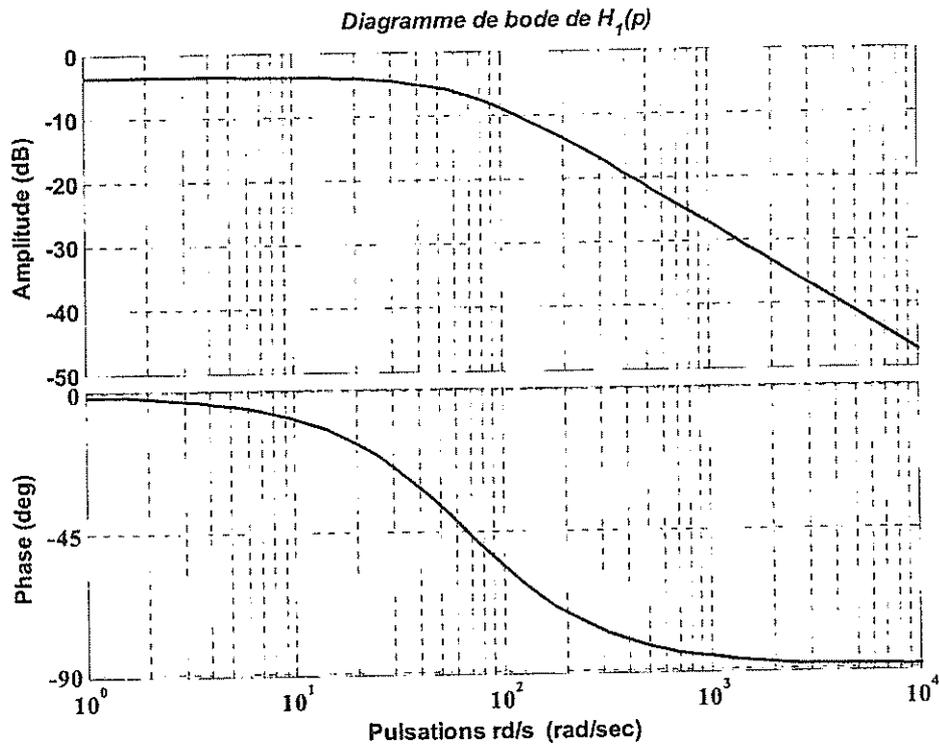


Figure C.3 : Schéma fonctionnel du moto réducteur

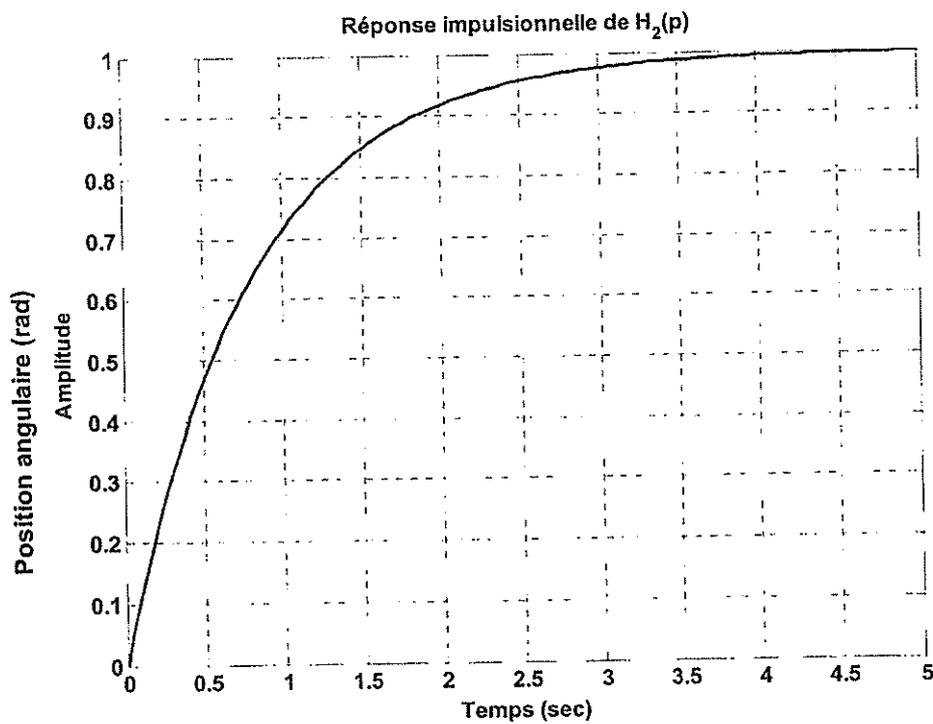
Le diagramme de Bode de  $H_1(p)$  est représenté par la figure C.4.

**Les questions relatives à la partie C.2 sont explicitées dans le document réponses (pages 11/14- 14/14)**

Figure C.4 : Diagramme de Bode de  $H_1(p)$ 

La réponse impulsionnelle de  $H_2(p)$ , représentée par la figure C.5, est décrite par l'expression :

$$\theta(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau_m}} \quad \text{pour } t > 0$$

Figure C.5 : Réponse impulsionnelle de  $H_2(p)$ .