REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et des Technologies de l'Information et de la Communication

Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2014

الجمهورية التونسية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
و تكنولوجيا المعلومات و الاتصال

المناظرات الوطنية للدخول
إلى مراحل تكوين المهندسين
دورة 2014

Concours Mathématiques - Physique & Physique - Chimie

Épreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Date : Vendredi 06 Juin 2014	Heure : 8 Heures	Durée : 3 Heures
Barème : Partie A : 3 points	Partie B : 10 points	Partie C : 7 points

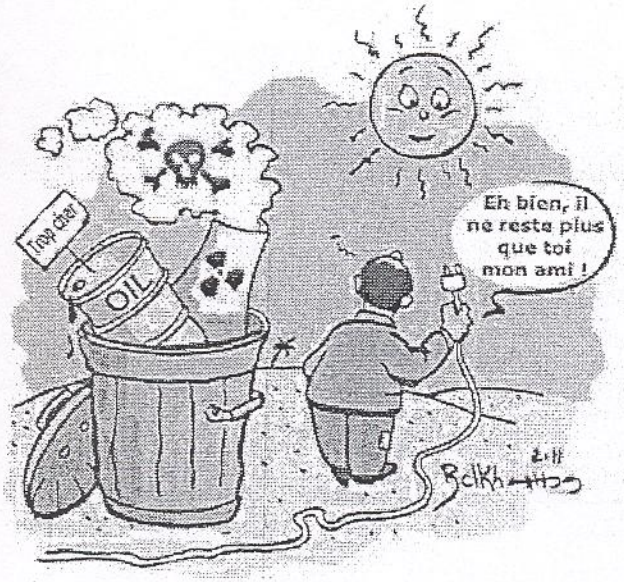
- L'épreuve comporte trois parties :

  A- Technologie de conception
  B- Mécanique des solides indéformables
  C- Automatique

- Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte deux dossiers :

  1- Présentation, Données et Hypothèses
  2- 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

Ce dossier comporte 8 pages numérotées de 1 à 8

- Présentation : Page 1 ;
- Données et hypothèses Partie A : Page 2 ;
- Données et hypothèses Partie B : Page 2 à 4 ;
- Données et hypothèses Partie C : Page 5 à 8 ;

SYSTEME TRAQUEUR DU SOLEIL

MISE EN SITUATION

En plus de leurs impacts négatifs sur l'environnement, les énergies fossiles s'épuisent. Elles doivent être abandonnées progressivement. L'avenir appartient, sans le moindre doute, aux énergies alternatives renouvelables. Parmi toute la diversité, l'énergie solaire fait rêver grand monde. Propre, moins aléatoire et plus facile à capter que l'énergie éolienne, elle durera autant que durera la planète. Une attention particulière est attirée au solaire thermodynamique. Dans ce secteur, l'énergie solaire est transformée en énergie électrique à l'aide de centrales thermodynamiques ou centrales CSP (*Concentrate Solar Power* : Figure 1).

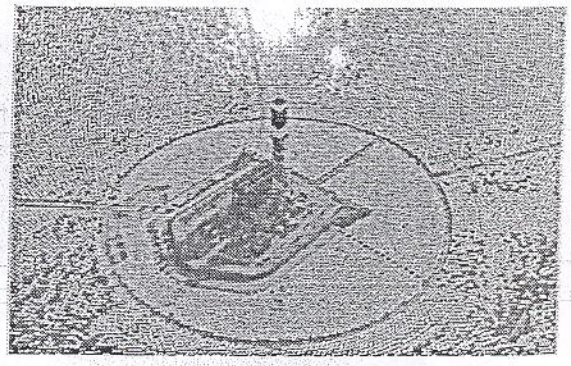


Figure 1 : Centrale thermodynamique (ou centrale CSP).

La concentration du rayonnement solaire permet d'atteindre localement des températures élevées. Elles permettent de chauffer un fluide caloporteur. La chaleur emmagasinée est ensuite convertie en vecteurs énergétiques comme l'électricité, l'hydrogène, ou encore utilisée directement dans des procédés industriels. Le principe de concentration est réalisé par une centrale CSP dite « à tour » (figure 2) pour laquelle une multitude de miroirs orientables, appelés héliostats, concentrent l'énergie solaire sur une chaudière unique située sur une tour. Cela rend possible le réchauffement de fluides caloporteurs, en général de l'huile ou des sels fondus, dans une gamme de température allant de 250 à 2000°C avec un rendement supérieur à 70%.

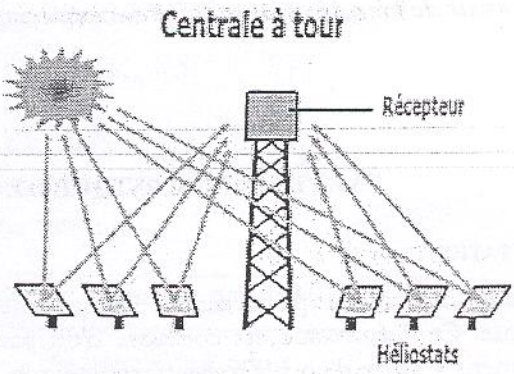


Figure 2 : Centrale CSP à tour.

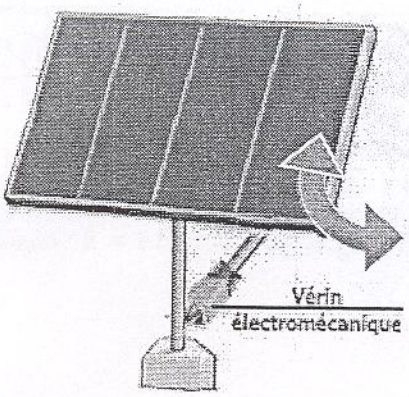


Figure 3 : héliostat avec système de poursuite solaire.

Afin d'augmenter la productivité, le traqueur solaire permet d'orienter des panneaux solaires à l'aide d'un vérin électromécanique (figure 3). En effet, la position du soleil varie constamment, à la fois pendant la journée, mais aussi pendant les différentes périodes de l'année. Le traqueur permet ainsi de placer au mieux le panneau par rapport au positionnement du soleil.

Etant donné que la disposition des héliostats autour de la tour est circulaire, le suivi azimutal n'est pas indispensable. On se satisfait alors de traqueurs mono axiaux. A mesure de l'avancée de la journée (du matin au soir), chacun de ces traqueurs permet le suivi du soleil seulement en élévation.

PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

Cette partie est dédiée à :

- L'analyse fonctionnelle du mécanisme traqueur du soleil ;
- L'étude graphique d'une chape du vérin représentée par la figure A.1 (deux vues en perspective.).

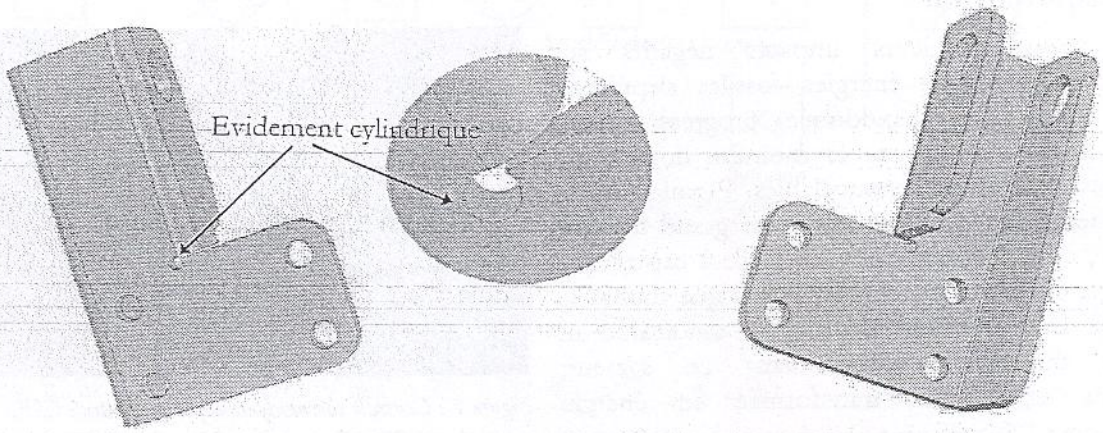


Figure A.1 : Vues en perspective de la chape.

Le travail demandé est explicité dans les pages 1/18 et 2/18 du dossier document réponses.

PARTIE B : MÉCANIQUE DES SOLIDES INDÉFORMABLES

PRESENTATION

L'étude mécanique porte sur le mécanisme traqueur du soleil dans une phase d'élévation croissante. Ce mécanisme est composé d'un panneau articulé à un support vertical. Il est mis en mouvement à l'aide d'un vérin électromécanique. L'oscillation de la tige entre les positions extrêmes (complètement sortie et complètement rentrée) permet de varier l'élévation du panneau en fonction de celle du soleil dans le ciel (figure B.1).

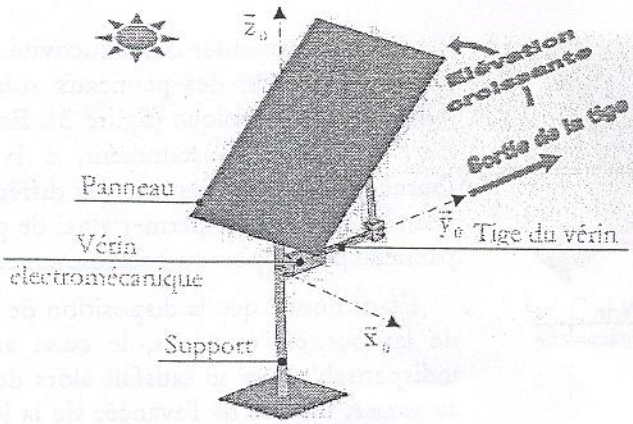


Figure B.1 : Phase d'élévation croissante du mécanisme traqueur du soleil.

SCHEMA CINEMATIQUE ET REPERAGE

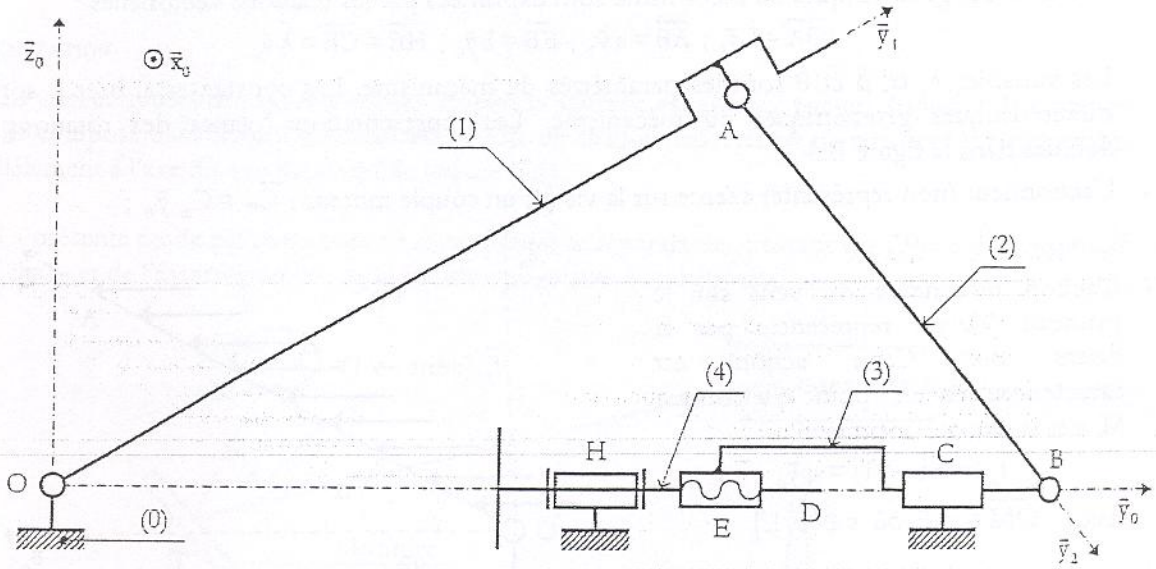


Figure B.2 : Schéma cinématique minimal du mécanisme.

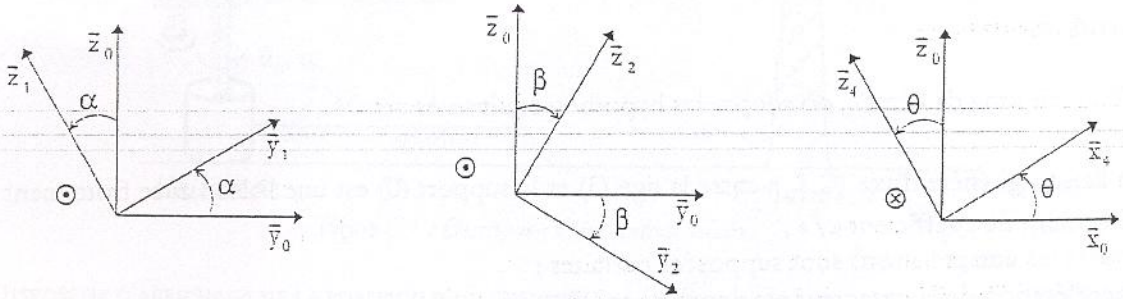


Figure B.3.a : Mouvement du panneau (1) par rapport au support (0).

Figure B.3.b : Mouvement de la bielle (2) par rapport au support (0).

Figure B.3.c : Mouvement de la vis (4) par rapport au support (0).

Figure B.3 : Orientation des bases mobiles par rapport à la base liée au support (0).

La figure B.2 représente le schéma cinématique minimal du mécanisme d'orientation. Les principaux éléments constituant ce mécanisme sont :

- Support (0) auquel est lié le repère $\mathcal{R}_0(O, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$ supposé galiléen (fixe ou absolu).
- Panneau (1), lié au repère $\mathcal{R}_1(O, \bar{x}_0, \bar{y}_1, \bar{z}_1)$, est en liaison pivot d'axe $(O, \bar{x}_0)$ avec le support (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\alpha = (\bar{y}_0, \bar{y}_1) = (\bar{z}_0, \bar{z}_1)$ (figure B.3.a).
- Bielle (2), liée au repère $\mathcal{R}_2(A, \bar{x}_0, \bar{y}_2, \bar{z}_2)$, est en liaison pivot d'axe $(A, \bar{x}_0)$ avec le panneau (1). Son mouvement est paramétré par l'angle $\beta = (\bar{y}_0, \bar{y}_2) = (\bar{z}_0, \bar{z}_2)$ (figure B.3.b).
- Tige du vérin (3), liée au repère $\mathcal{R}_3(B, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$, est en liaison glissière d'axe $(C, \bar{y}_0)$ avec le support (0). Elle est également en liaison pivot d'axe $(B, \bar{x}_0)$ avec la bielle (2).
- Vis (4), liée au repère $\mathcal{R}_4(D, \bar{x}_4, \bar{y}_0, \bar{z}_4)$, est en liaison hélicoïdale à droite d'axe $(E, \bar{y}_0)$ avec la tige (3). Elle est également en liaison pivot d'axe $(H, \bar{y}_0)$ avec le support (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\theta = (\bar{x}_0, \bar{x}_4) = (\bar{z}_0, \bar{z}_4)$ (figure B.3.c).

DONNEES ET CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU MECANISME

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

$$\overline{OA} = L\,\bar{y}_1 \;;\; \overline{AB} = a\,\bar{y}_2 \;;\; \overline{EB} = b\,\bar{y}_0 \;;\; \overline{HE} = \overline{CB} = \lambda\,\bar{y}_0$$

  Les variables λ, α, β et θ sont les paramètres du mécanisme. Les constantes a, b et L sont des caractéristiques géométriques du mécanisme. Les représentations planes des rotations sont définies dans la figure B.3.

- L'actionneur (non représenté) exerce sur la vis (4) un couple moteur : $\overline{C}_m = C_m\,\bar{y}_0$;

- L'action mécanique du vent sur le panneau (1) est représentée par la figure B.4. Cette action est caractérisée, en un point quelconque M, par la densité linéique :

$$\bar{f}_M(\text{vent} \rightarrow 1) = q\,\bar{y}_0$$

  Avec : $\overline{OM} = y\,\bar{y}_1$ où $y \in [0, L]$

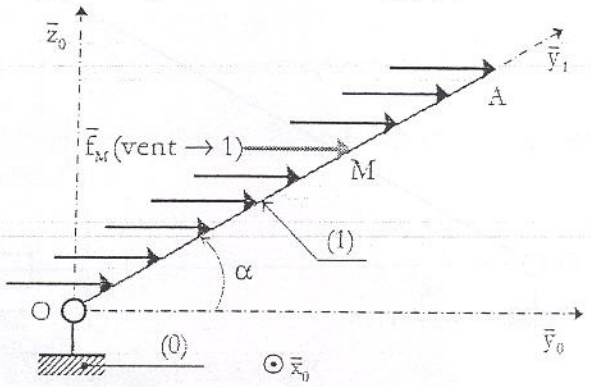


Figure B.4 : Répartition linéique de l'action du vent sur le panneau (1).

HYPOTHESES

Tout au long de l'étude, on adopte les hypothèses suivantes :

- La liaison glissière d'axe $(C, \bar{y}_0)$ entre la tige (3) et le support (0) est une liaison avec frottement de glissement de coefficient « *f* » ;
- Toutes les autres liaisons sont supposées parfaites ;
- L'accélération de la pesanteur est donnée par : $\bar{g} = -g\,\bar{z}_0$;
- Les masses de la bielle (2) et de la vis (4) sont négligées ;
- La tige (3) est de masse M et de centre d'inertie G_3 situé sur l'axe $(C, \bar{y}_0)$;
- L'action de la pesanteur sur la tige (3) est supposée négligeable devant les autres actions mécaniques ;
- Le torseur d'actions mécaniques transmissibles au niveau de la liaison, de centre C_{ij}, entre deux solides (i) et (j) avec i<j, s'écrit (sans tenir compte des degrés de liberté de la liaison) :

$$\{\tau(i \rightarrow j)\}_{C_{ij}} = \begin{Bmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{Bmatrix}^{\mathcal{R}_0}_{C_{ij}}$$

- On désigne par {S} l'ensemble des solides {S} = {1, 2, 3, 4}.

Le travail demandé est explicité dans les pages 3/18 et 10/18 du dossier document réponses.

PARTIE C : AUTOMATIQUE

PRESENTATION

La concentration des rayons solaires durant la journée est assurée par un dispositif de captation mobile composé d'un champ d'héliostats. Le rôle de chaque héliostat est de renvoyer le rayonnement parallèlement à l'axe de son paraboloïde (figure C.1).

La présente étude est composée de deux parties indépendantes portant sur l'étude d'un dispositif d'affichage et de l'asservissement de la position angulaire d'un héliostat.

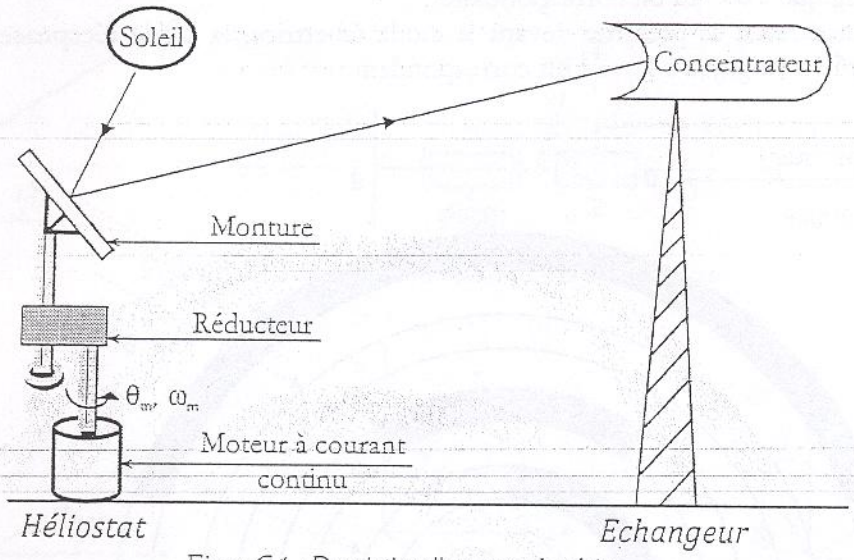


Figure C.1 : Description d'une centrale solaire.

C.1- DISPOSITIF D'AFFICHAGE DE LA POSITION D'UN HELIOSTAT

Le fonctionnement de la centrale solaire est supervisé à partir d'une salle de contrôle à distance. Cette approche conduit à visualiser, en temps réel, l'orientation de l'héliostat détectée par un capteur optique (figure C.2).

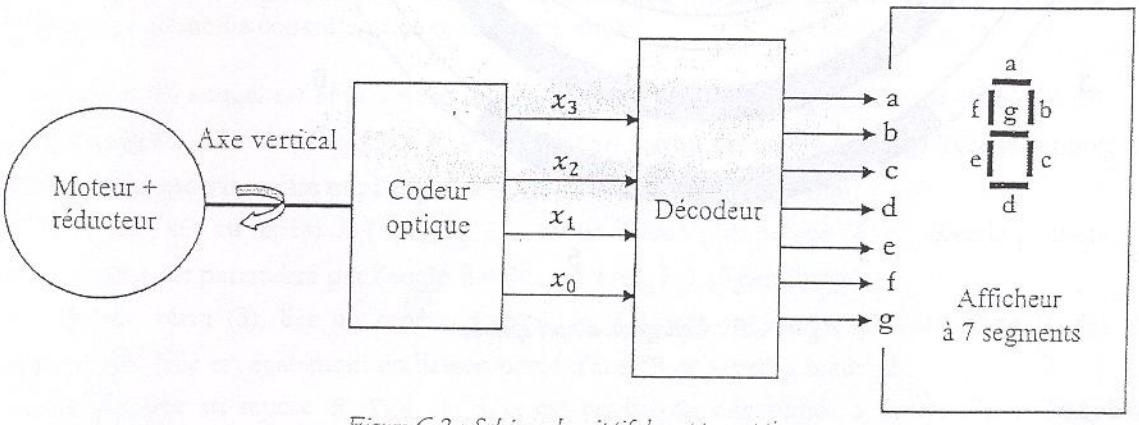


Figure C.2 : Schéma descriptif du capteur optique.

C.1.1- Principe du capteur optique

Le codeur optique est formé d'un disque rotatif couplé à l'arbre du moteur d'entraînement de la monture de l'héliostat. Le disque rotatif (figure C.3), partagé en dix positions repérées par les chiffres (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), comporte 4 pistes correspondantes aux 4 bits $(x_3x_2x_1x_0)$. Chaque piste a son propre système de lecture (diode émettrice et diode réceptrice) et elle est composée d'une alternance de zones opaques et transparentes. La piste centrale correspond au bit du poids le plus fort et la piste la plus éloignée du centre est celle du poids le plus faible.

Pour chaque piste :

- Si la zone opaque se présente devant la diode émettrice, la diode réceptrice est éteinte et permet d'affecter l'état logique « 0 » au bit correspondant.
- Si la zone transparente se présente devant la diode émettrice, la diode réceptrice est allumée et permet d'affecter l'état logique « 1 » au bit correspondant.

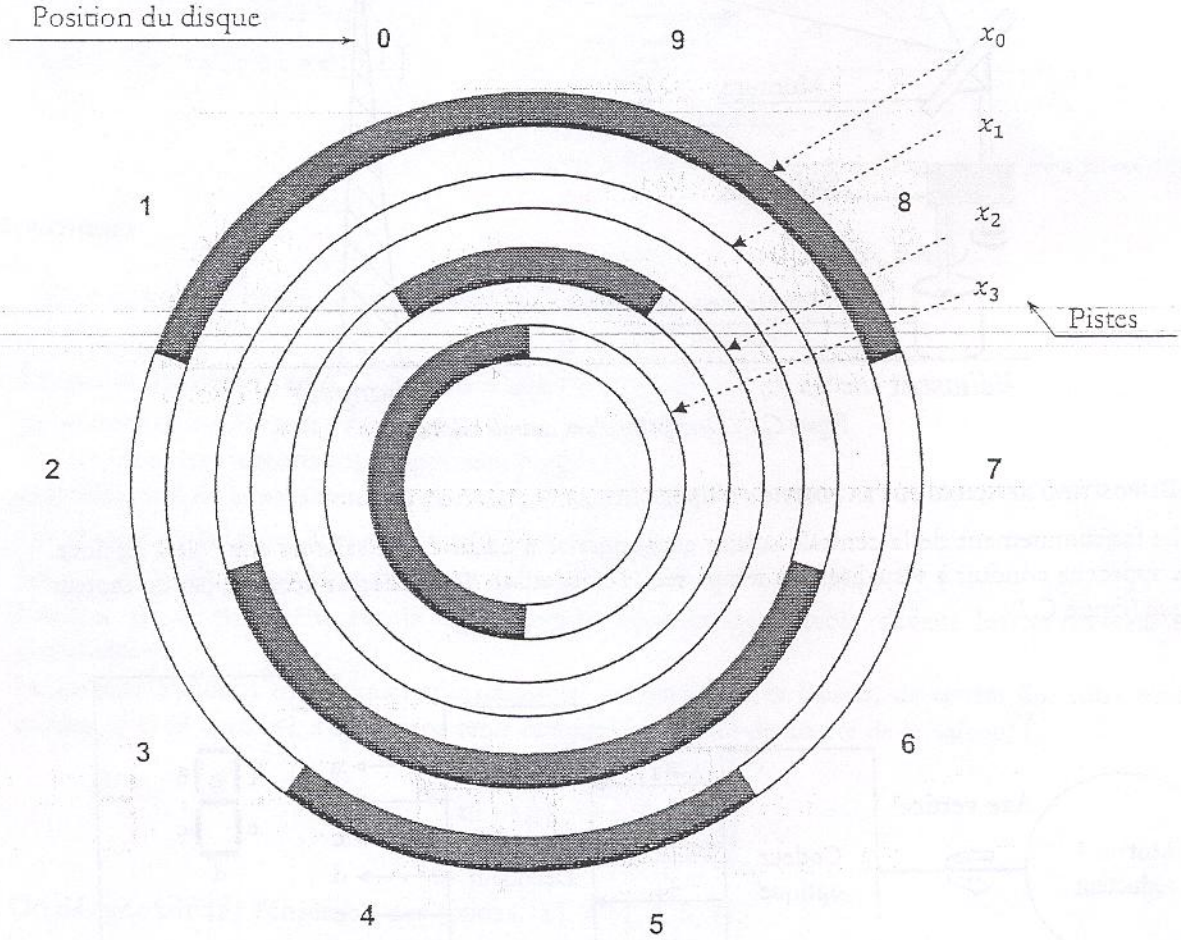


Figure C.3 : Codage du disque optique.

C.1.2- Décodeur

Le décodeur reçoit les 4 bits $(x_3x_2x_1x_0)$ et délivre les sept sorties (a, b, c, d, e, *f* et g) relatives aux sept diodes électroluminescentes (appelées LED) d'un afficheur à sept segments. Cet afficheur permet la visualisation des dix positions du disque rotatif conformément au tableau de la figure C.4.

Position	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Etats des LED de l'afficheur										

Figure C.4 : Affichages des 10 positions (LED éteinte LED allumée).

C.2- ASSERVISSEMENT DE POSITION DE LA MONTURE D'UN HELIOSTAT

Afin d'évaluer l'effet de la correction, nous allons déterminer les caractéristiques d'un asservissement de position de l'orientation de la monture d'un héliostat avec et sans correction tachymétrique. L'élévation selon l'axe vertical de l'héliostat est assurée par un moteur à courant continu.

C.2.1- Modélisation du moteur

Le fonctionnement du moteur électrique utilisé est décrit par les équations suivantes :

$$u(t) = R\, i(t) + e(t) \qquad (1)$$

$$e(t) = K_e\, \omega_m(t) \qquad (2)$$

$$C_m(t) = K_c\, i(t) \qquad (3)$$

$$J \frac{d\,\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) \qquad (4)$$

Ce moteur est caractérisé par les variables et les paramètres suivants :

Liste des variables	
$u(t)$	Tension de commande du moteur
$i(t)$	Courant d'induit
$e(t)$	Force contre électromotrice (f.c.é.m.)
$\omega_m(t)$	Vitesse angulaire de l'arbre du moteur
$C_m(t)$	Couple moteur

Liste des paramètres	
R	Résistance de l'induit
J	Inertie globale sur l'arbre du moteur
K_c	Coefficient du couple moteur
K_e	Coefficient de la f.c.é.m.

La transformée de Laplace ($\mathcal{L}$) d'une fonction $f(t)$ est notée par $F(p)$ tel que : $F(p) = \mathcal{L}[f(t)]$.

On donne : $R = 1\ \Omega$; $J = 4\ 10^{-6}$ Kg.m² ; $K_c = 0.02$ Nm/A ; $K_e = 0.02$ V/rad.s^{-1}.

C.2.2- Asservissement de position de la monture de l'héliostat

On se propose d'asservir la position de la monture de l'héliostat conformément au schéma représenté par la figure C.4 :

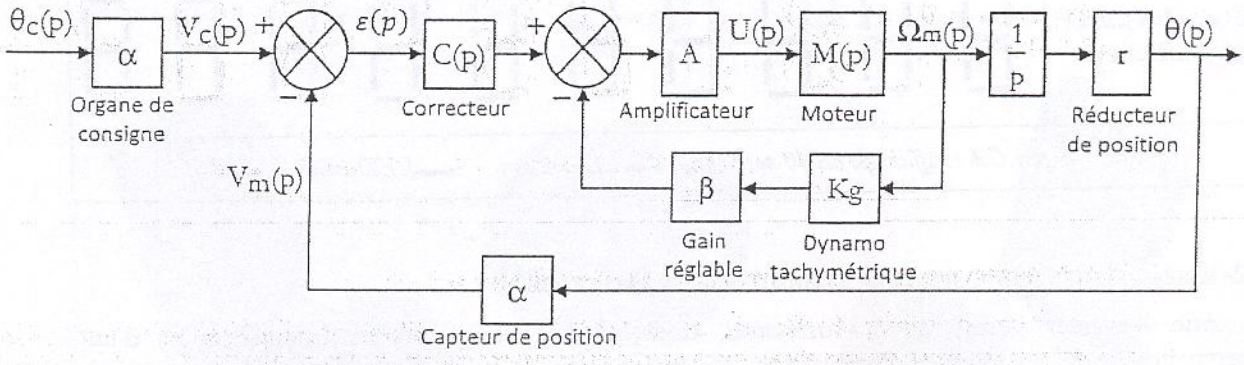


Figure C.4 : Schéma-bloc de l'asservissement de position de la monture de l'héliostat.

On prend pour la suite : $\alpha = 0{,}1$ V.rad^{-1} ; Kg = 0,1 V.s.rad^{-1} ; r = 1/50.

Le travail demandé est explicité dans les pages 11/18 et 18/18 du dossier document réponses.