



Épreuve de Sciences de l'ingénieur Série S

Annales « zéro » : éléments de corrigé

Partie écrite ; durée : 4 heures - coefficient : 4

Session 2003 : première année d'application des nouvelles modalités de l'épreuve (BO n° 27 du 4 juillet 2002) découlant de la réforme de son programme d'enseignement.

Éléments de corrigé Sujet 1 Positionneur multi-satellites d'antenne

Avertissement : Les sujets proposés ne sont pas représentatifs de l'ensemble des possibilités offertes par les programmes et la définition des épreuves de sciences de l'ingénieur. Ils ne constituent donc pas une liste fermée de ces possibilités. Aussi doivent-ils être considérés non comme des modèles mais comme "des exemples possibles" conçus à la suite de réflexions conduites à partir du programme de SI dans sa globalité.

Le présent document figure sur un CD-ROM diffusé auprès des IA-IPR concernés. Chaque professeur chargé d'enseigner les sciences de l'ingénieur peut s'adresser à l'inspecteur de son académie pour en obtenir une copie. Ce CD-ROM contient la version Word des différents exemples de sujets et de leur corrigé, des modélisations 3D et des documents complémentaires.

POSITIONNEUR MULTI-SATELLITES D'ANTENNE

Éléments de corrigé

A- PRESENTATION

A-1 Cahier des charges fonctionnel

A-2 Analyse fonctionnelle interne du positionneur

Question 1a : Indiquer les solutions constructives associées aux fonctions techniques, FT121, FT122, FT123, FT131 et FT132. Donner leur dénomination avec le plus de précision possible.

	Solution technique
FT121 : Commander le mouvement	Carte de commande
FT122 : Convertir l'énergie	Moteur
FT123 : Transmettre le mouvement	Réducteurs 1 (5 étages //) et 2 (roue / vis)
FT131 : Déterminer l'angle d'azimut	Capteur (2 cellules à effet Hall + aimant)
FT132 : Acquérir les fins de course et position zéro	3 contacts ILS + 5 aimants

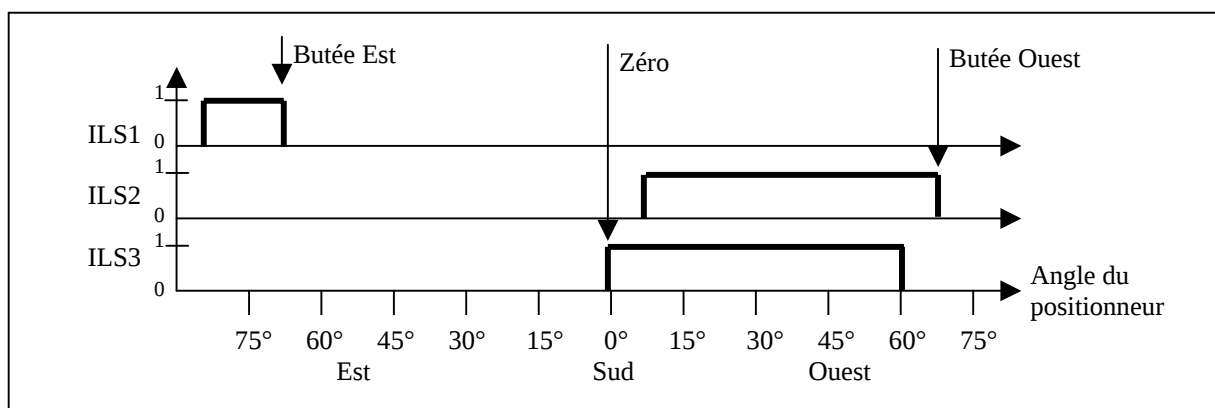
Question 2a Déterminer le nombre minimum de bits que devra comporter chaque code, sachant que l'angle de rotation varie de -50 à $+50$ degrés et que l'écart admissible entre position réelle et position commandée (résolution) est de $0,1^\circ$.

Résolution du codage : $2 \times 50 / 0,1 = 1000$ points $< 2^{10}$ ($=1024$)

10 bits sont donc nécessaires pour assurer la résolution demandée.

A-3 Etude des fins de course

Question 3a : Compléter en reproduisant le tracé de la **figure 8**, l'état des 3 contacts ILS1, 2 et 3 en fonction de la position angulaire de l'arbre de sortie du positionneur, dans l'hypothèse où l'état d'un contact ILS est à 1 s'il se trouve dans la zone d'action d'un aimant.



Question 4a : Indiquer les évènements (front montant ou descendant de $ILSi$: $\uparrow ILSi$ ou $\downarrow ILSi$) qui permettent de repérer les positions « Butée Ouest », « Butée Est » et « Position zéro ». Le critère angle de rotation de la fonction FS1 est-il vérifié ?

« Butée Est » = $\uparrow ILS1$ (lorsque le positionneur tourne vers l'est)

« Butée Ouest » = $\downarrow ILS2$ (lorsque le positionneur tourne vers l'ouest) ou $\downarrow ILS2.ILS3$

« Position zéro » = $(\uparrow ILS3 + \downarrow ILS3).ILS2$ (équation indépendante du sens de rotation du moteur)

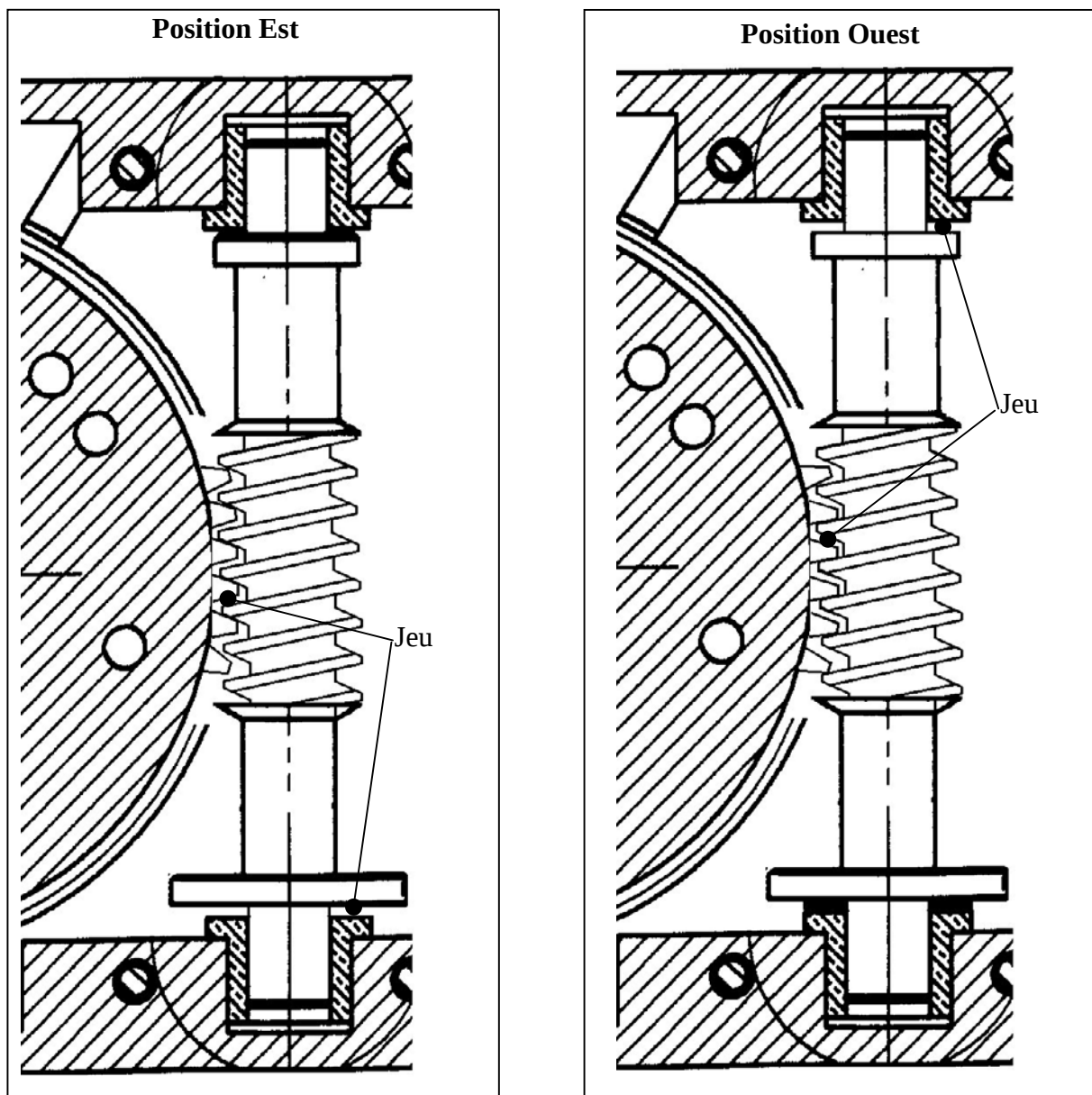
Le critère « angle de rotation : ± 50 deg » de la fonction FS1 est bien vérifié (butée à 67,5 deg environ)

B- ORIENTER L'ANTENNE

B-1 Analyse sur l'axe d'azimut

B-1-1 Les jeux de la transmission

Question 1b Représenter à main levée, selon la vue en coupe AA, sur la feuille de copie, le secteur denté (avec quelques dents), la vis-sans-fin (avec la section du filet), les coussinets et le carter. Il s'agira de montrer les jeux de façon exagérée, et les surfaces qui viennent en contact, sur deux figures différentes : une pour le cas « Position Est », une autre pour le cas « Position Ouest ».



Question 2b En supposant que le technicien installateur du positionneur a effectué son réglage initial sur un satellite situé à l'ouest :

- préciser dans quel cas d'utilisation, les jeux évoqués ci-dessus peuvent être néfastes ;
- calculer dans ce cas l'influence de chacun de ces jeux sur la précision du positionnement de l'antenne.

Dans ce cas, les jeux évoqués auront un effet néfaste lorsque le positionneur vise un satellite orienté à l'EST.

Impact du jeu entre les dents de la roue et le filet de la vis :

$$\Delta\theta_A = \frac{\text{Jeu}}{R_p \text{ roue}} = \frac{0,05}{36} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 0,08 \text{ degrés}$$

Erreur compatible avec l'objectif de précision de 0,1 degrés.

Impact du jeu axial de la vis par rapport au carter :

$$\Delta\theta_A = \frac{\text{Jeu}}{R_p \text{ roue}} = \frac{0,5}{36} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ rad} = 0,8 \text{ degrés}$$

Erreur totalement incompatible avec l'objectif de précision de 0,1 degrés.

Question 3b Proposer une (ou plusieurs) solution(s) constructive(s) pour réduire le jeu axial dans le positionnement de la vis par rapport au carter (tout en conservant la solution de guidage en rotation avec paliers lisses).

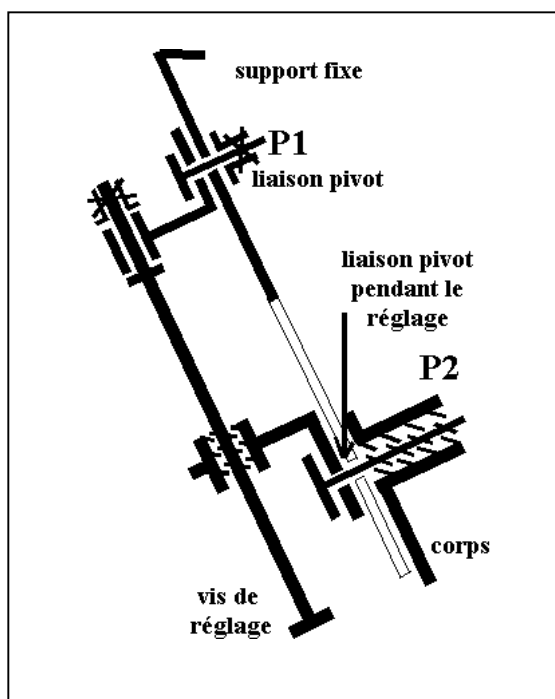
Une solution consiste à intercaler une cale de réglage entre le coussinet 3 (ou 3bis) et l'axe de la vis (2) pour rattraper le jeu axial (détail D ou E de l'annexe 1).

B-1-2 Résolution du capteur de position

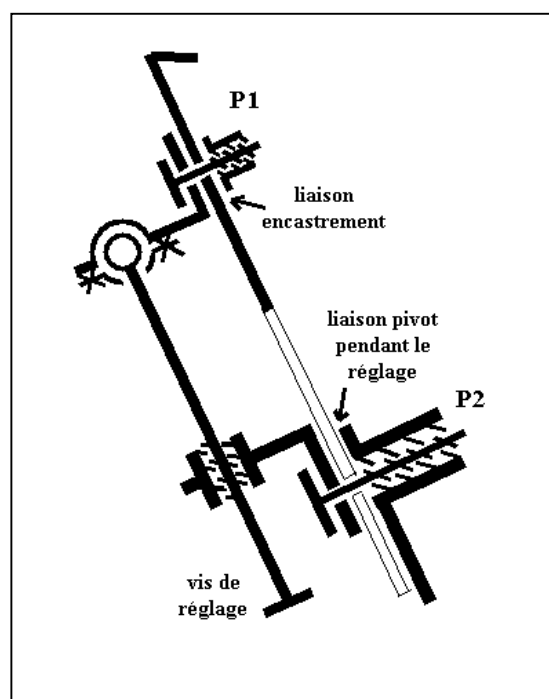
B-2 Etude d'une amélioration sur l'axe d'élévation

Question 4b Réaliser sur la copie, à partir des données de la **figure 14**, en proposant sous forme de **schéma technologique à main levée**, en vue plane (coupe CC), une solution qui répond au cahier des charges

Solution 1



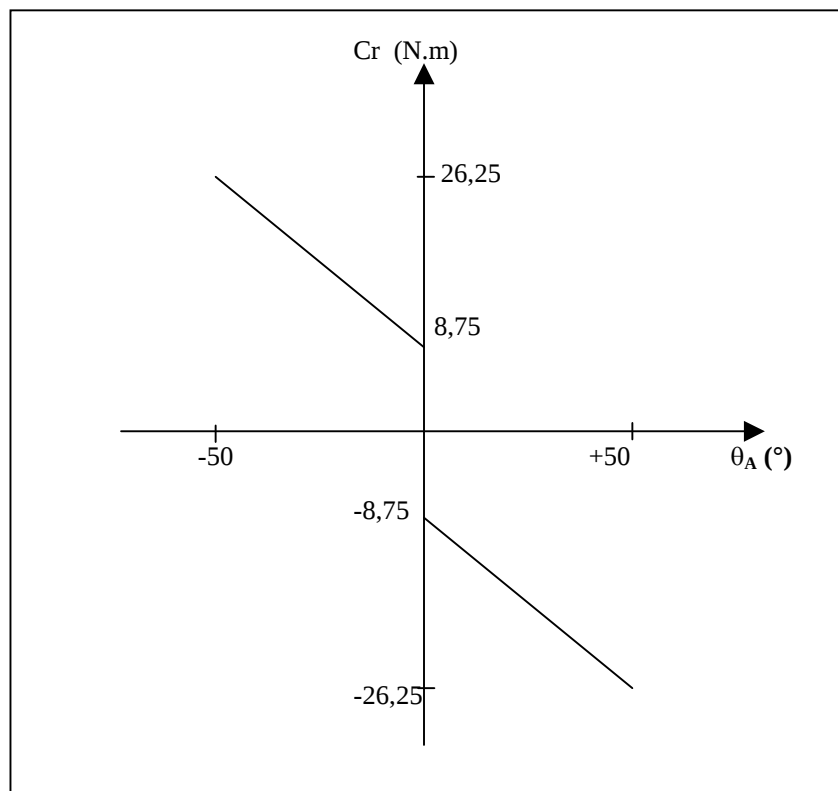
Solution 2



C- TRANSFORMER ET DISTRIBUER L'ENERGIE

C-1 Choix du moteur

Question 1c Tracer sur la copie, le graphe qui représente la loi d'évolution " $C_{\text{ressort}} = f(\theta_A)$ " du couple " C_{ressort} " exercé par le ressort sur le secteur, en fonction de la position angulaire θ_A .



Question 2c Isoler l'arbre de sortie du positionneur et **faire l'inventaire** des actions appliquées ; **Donner** la relation qui permet d'exprimer la valeur maximale du couple " C_A ", en fonction de " C_{ressort} " de Kx , et de V .

Le candidat **précisera** le principe utilisé et le théorème traduisant ce principe ; pour cela, il pourra utiliser le repérage proposé **figure 10-e**.

Calculer la valeur numérique de " C_A " maxi, pour $V=80 \text{ Km/h}$.

On isole l'arbre de sortie du positionneur ; les actions appliquées sont :

- l'action du ressort (moment d'axe Oz connu) ;
- l'action du vent (résultante inconnue ; composante du moment selon l'axe Oz calculable : KxV) ;
- l'action du corps sur l'arbre de sortie (liaison pivot d'axe Oz, frottements négligés) ;
- l'action de la vis sur le secteur denté (composante du moment selon l'axe Oz calculable).

On applique le principe fondamental de la statique et on utilise le théorème du moment autour de l'axe Oz (avec le signe du moment dû au vent qui conduit à un couple C_A maximal) :

$$C_A - C_{\text{ressort}} - C_{\text{vent}} = 0, \quad \text{donc : } C_A = C_{\text{ressort}} + Kx \cdot V$$

$$\text{soit } C_{A \text{ maxi}} = |C_{\text{ressort}}|_{\text{maxi}} + Kx \cdot V = 26,25 + 0,24 \cdot 80 = 45,45 \text{ Nm}$$

Question 3c Déterminer l'expression analytique puis la valeur numérique du rapport C_M / C_A .
En déduire la valeur de l'intensité du courant moteur "I" lorsque s'exerce C_A maxi.
Vérifier dans ces conditions que le moteur peut mouvoir l'antenne sous l'action d'un vent de 80 Km/h, conformément au critère associé à la fonction de service FS4.

En tenant compte des rendements η_1 et η_2 des réducteurs 1 et 2, on a : $C_A \omega_A = \eta_1 \eta_2 C_M \omega_M$

$$\text{Soit } \frac{C_M}{C_A} = \frac{1}{\eta_1 \eta_2} \frac{\omega_A}{\omega_M} = \frac{1}{\eta_1 \eta_2} \frac{1}{R1 R2}$$

$$I = \frac{C_M}{K_c} = \frac{C_A}{\eta_1 \eta_2 R1 R2 K_c} \quad \text{Application numérique : } I_{\max} = \frac{45,45}{0,8 \cdot 0,7 \cdot 324 \cdot 72 \cdot 11 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} = 0,297 \text{ A}$$

Cette valeur est proche du courant nominal du moteur, donc le moteur pourra bien déplacer l'antenne sous l'action d'un vent de 80 Km/h.

Question 4c Le réducteur 2 (à roue et vis-sans-fin) est irréversible ; expliquer l'avantage principal que procure cette irréversibilité, dans l'utilisation du moteur, lorsque l'antenne est positionnée en visée fixe sur un satellite, et soumise à un vent important.

Grace à l'irréversibilité du réducteur roue et vis-sans-fin, l'antenne restera dans sa position quelque soit l'effort extérieur exercé sur la roue et sur l'antenne, en particulier quelque soit l'effort exercé par le vent. C'est pourquoi le constructeur annonce (fonction de service FS4) que le positionneur peut supporter un vent de 130 Km/h à l'arrêt, alors qu'il ne peut entraîner l'antenne que lorsque le vent est de 80 km/h maximum.

Parmi les limites technologiques qui imposent un vent maximum à l'arrêt de 130 km/h, on peut citer :

- flexion du mât support,
- vibrations sous l'effet du vent,
- déformation de l'antenne et du bras support de la tête de réception.

C-2 commande du moteur

Question 5c : A partir du tableau de fonctionnement figure 20 extrait de la documentation de ce circuit, indiquer la fonction ("Marche/Arrêt" ou "sens") réalisée par les entrées I_0 et I_1 .

I_0 commande le sens et I_1 commande M/A.

Question 6c : Donner les mots binaires de commande " $I_1 I_0$ " à fournir pour commander les ordres :

- déplacement vers l'Ouest ;
- déplacement vers l'Est ;
- arrêt.

Dépl. Vers l'Ouest: $I_1 I_0 = 10$

Dépl. Vers l'Est: $I_1 I_0 = 11$

Arrêt: $I_1 I_0 = 00$ ou bien 01

Question 7c : Définir le traitement que devra effectuer le microcontrôleur sur les entrées/sorties PA0 / PA1 / PC0 / PC1 pour stopper le moteur. Pour cela, définir les expressions en italique de l'élément d'algorithme donné ci-dessous (on pourra utiliser si besoin, les opérateurs logiques : ET, OU, NON).

SI PA0=1 OU PA1=1
ALORS PC0=0 ET PC1=0
FIN SI

D- DECODER LES ORDRES RECUS DU RECEPTEUR

D-1 Description du protocole DiSEqC (Digital Satellite Equipment Control) :

Question 1d : Déterminer la durée maximale de transmission d'une trame.

En déduire le débit maximum d'information transmissible en bits par seconde.

durée maximale de transmission d'une trame : $(9 \text{ bits} \times 4 \text{ mots} \times 1,5 \text{ ms}) + 6 \text{ ms}$ (silence) soit 60 ms

débit maximum d'information transmissible : 36 bits en 60 ms, soit **600 bits par seconde**.

D-2 Vérification de la qualité de la transmission

Question 2d : Développer sous forme canonique l'opérateur OU exclusif à 3 variables :

$S = a \oplus b \oplus c$.

$$S = a \oplus b \oplus c = a \oplus (\bar{b}c + b\bar{c}) = \bar{a}(\bar{b}c + b\bar{c}) + a(\bar{b}c + b\bar{c}) = \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}b\bar{c} + a(\bar{b}c + b\bar{c})$$

$$S = \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}b\bar{c} + abc + ab\bar{c}$$

Question 3d : Représenter dans un tableau de Karnaugh, l'état de la variable S en fonction de l'état des variables a, b, c, et montrer qu'un nombre impair de variable a, b, c à 1 conduit à $S = 1$ et qu'un nombre pair conduit à $S = 0$.

Tableau de Karnaugh de la variable S :

c	ab	00	01	11	10
0		0	1	0	1
1		1	0	1	0

On constate effectivement dans le tableau précédent que :

lorsque une seule des variables a, b ou c (3 cases rouges) est égale à 1, la somme S est égale à 1, lorsque les trois variables a, b et c sont égales à 1 (case bleue), la somme S est égale à 1.

lorsque deux variables seulement sont égales à 1 (3 cases vertes), la somme S est égale à 0, lorsque aucune des variables n'est égale à 1 ($a=b=c=0$), la somme S est égale à 0.

Question 4d : En déduire l'équation logique de la variable V définissant l'intégrité de la transmission de l'octet ($V=1$ si transmission correcte, $V=0$ sinon) en fonction de P et b_i ($i = 0$ à 7), en utilisant l'opérateur OU exclusif uniquement.

$$V = b_0 \oplus b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_5 \oplus b_6 \oplus b_7 \oplus P$$

Exemple de 2 trames transmises au positionneur :

	Octet n°1	P	Octet n°2	P	Octet n°3	P	Octet n°4	P
Code binaire + Parité :	1110 0000	0	0011 0001	0	0110 1001	1	0001 0100	1
Code binaire + Parité :	1110 0000	0	0011 0001	0	0110 0000	1		

Question 5d : Convertir le code binaire de chaque octet en code Hédadécimal, puis déterminer les ordres transmis au positionneur par la succession des 2 trames données dans l'exemple.

Le bit de parité est bien vérifié pour chaque code ; on a bien un nombre impair de 1 dans chaque mot de 9 bits.

Conversion binaire → Hédadécimal :

1110 0000 → **E0** 0011 0001 → **31** 0110 1001 → **69** 0001 0100 → **14**
 1110 0000 → **E0** 0011 0001 → **31** 0110 0000 → **60**

Décodage des ordres transmis :

E0 31 69 14 : Faire tourner le positionneur vers l'Ouest pendant 20 secondes (14 en hédadécimal soit 16 + 4 = 20 secondes)

E0 31 60 : Arrêter le positionneur

D-3 Impact du temps de transmission des données sur la précision du positionneur

Question 6d : Déterminer l'angle parcouru par le positionneur entre l'instant de début de réception de l'ordre d'arrêt et l'arrêt effectif du positionneur, lorsque le mouvement s'effectue à la vitesse maximale de 2 degrés par seconde.

Temps écoulé entre le début et la fin de réception de l'ordre d'arrêt : 9 bits × 3 mots × 1,5ms = 40,5 ms
 Temps d'arrêt du moteur : 150 ms

Angle parcouru par le positionneur à vitesse maximale (2 °/s) :

$$\Delta\theta = \omega_{\max} \cdot \Delta t = 2 \times 190,5 \times 10^{-3} = 0,39 \text{ degrés}$$

Question 7d : Comparer cette valeur avec la précision de positionnement souhaitée pour la Fonction FS1.

Cet angle de 0,39 degrés est supérieur à la précision de positionnement requise de 0,1 degrés. Cependant il correspond à une hypothèse très pessimiste où le moteur continue à tourner à vitesse maximale y compris pendant l'arrêt.

On peut classer les 2 critères étudiés intervenant sur la précision du positionneur par ordre croissant :
 - temps de transmission des données et temps d'arrêt du moteur : influence assez grande 0,39 degrés ; le temps de transmission des données seul conduit à une erreur de 0,08 degrés de l'ordre de grandeur de la précision requise 0,1 degrés ; l'influence du temps d'arrêt du moteur est ici surestimé.
 - jeux dans la transmission : influence très grande, 0,8 degrés environ, si le jeu axial de la vis n'est pas rattrappé. Cette contribution sera réduite en introduisant une cale de réglage pour rattraper le jeu axial de la vis (cf Question 3b).

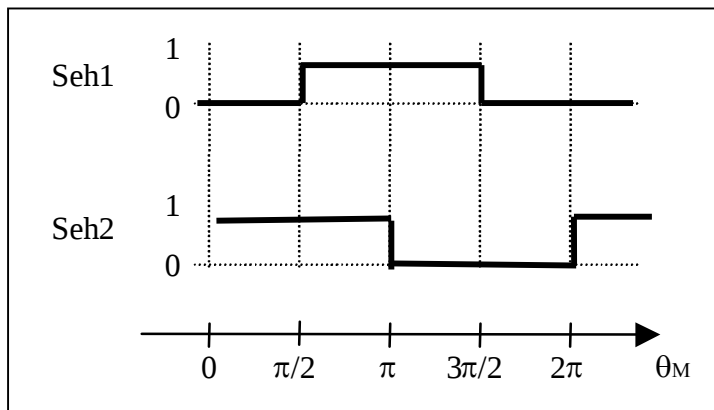
ETUDE COMPLEMENTAIRE (en dehors du temps imparti pour l'épreuve)

B-1-2 Résolution du capteur de position

Question 3-1b Déterminer l'expression analytique puis la valeur numérique du rapport θ_M / θ_A .

$$\theta_M / \theta_A = R1.R2 = 23328$$

Question 3-2b Reproduire et compléter le chronogramme de la figure 123, en montrant l'évolution des signaux Seh1 et Seh2 délivrés par les deux cellules.



Question 3-3b Dédire de l'étude précédente la valeur numérique $\Delta\theta_M$ de l'écart maximal sur le positionnement du rotor du moteur.

En déduire la valeur numérique $\Delta\theta_A$ de l'écart sur le positionnement de l'antenne.

La solution technique choisie pour le positionnement en azimuth est-elle alors validée (par rapport à la contrainte d'écart de 0,1 degré spécifiée dans le cahier des charges), si l'on ne prend en compte que la résolution du capteur ?

On a 4 incréments / tour : $\Delta\theta_M = 90$ degrés et $\Delta\theta_A = \frac{\Delta\theta_M}{R1.R2} = 0,004$ degrés environ.

Précision très largement suffisante. Cette contribution est totalement négligeable devant l'impact du temps de transmission et l'influence des jeux dans le réducteur roue et vis-sans-fin.