

Cycle 4 – Modélisation des solides et liaisons d'un système complexe

TD1 – Radar météorologique

À l'issue de ce TD, vous devez être capables de :

- Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable
- Associer un repère à un solide
- Identifier les degrés de liberté d'un solide par rapport à un autre solide
- Réaliser un schéma cinématique

Le radar météorologique est un outil d'aide à l'analyse et à l'observation des masses nuageuses. Il offre une large couverture spatiale et des mesures à haute résolution spatiotemporelle des champs de pluie en temps réel. Son utilisation s'est fortement développée dans les années qui suivirent la fin de la seconde guerre mondiale. Depuis, leur utilisation étant particulièrement intéressante pour les mesures hydrologiques, leur technique n'a cessé d'évoluer. Avec la constitution du réseau NEXRAD, en 1998, sur le continent Nord-Américain fort de ses 160 radars et du réseau ARAMIS de Météo France avec ses 14 radars, de gros efforts sont menés pour améliorer les techniques d'estimation et de prévision à courte échéance des pluies par radar.

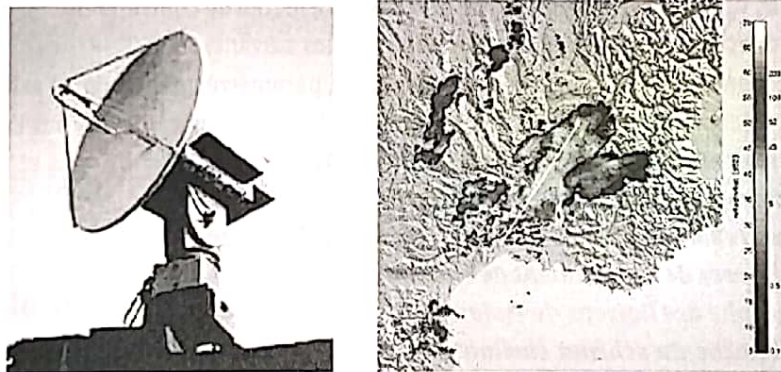


Fig. 1 : photographie du radar bande X à gauche et cartographie des zones nuageuses réalisée par le radar dans le sud de la France à droite.

1. Principe de fonctionnement

À intervalles de temps réguliers, le radar émet dans l'atmosphère des ondes électromagnétiques de forte puissance, de durée très brève et de fréquence très élevée. L'énergie contenue dans cette onde est concentrée par une antenne directive. Toutes les cibles qui se trouvent à l'intérieur du faisceau interceptent une partie de l'onde émise. Cette puissance incidente est alors en partie absorbée par la cible, et rayonne dans toutes les directions. La fraction du signal qui retourne vers l'antenne est le signal utile à la détection.

Sur quelques centaines de kilomètres, on admet que l'onde se propage en ligne droite à la vitesse constante de la lumière ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$). L'orientation de l'antenne et le temps écoulé entre l'émission de l'onde et le retour de la puissance réfléchie permettent de localiser la cible en direction et distance.

L'antenne balaye l'atmosphère suivant deux axes de rotation : une rotation d'axe verticale permet de définir la position "azimut" et une rotation d'axe horizontal qui règle la position "site".
 Le radar se compose de deux parties. Le premier ensemble, implanté à l'extérieur, est constitué de l'émetteur/récepteur hyperfréquence et du piédestal positionneur : il fera l'objet de ce TD. Le second élément est l'ensemble de calcul et de pilotage.

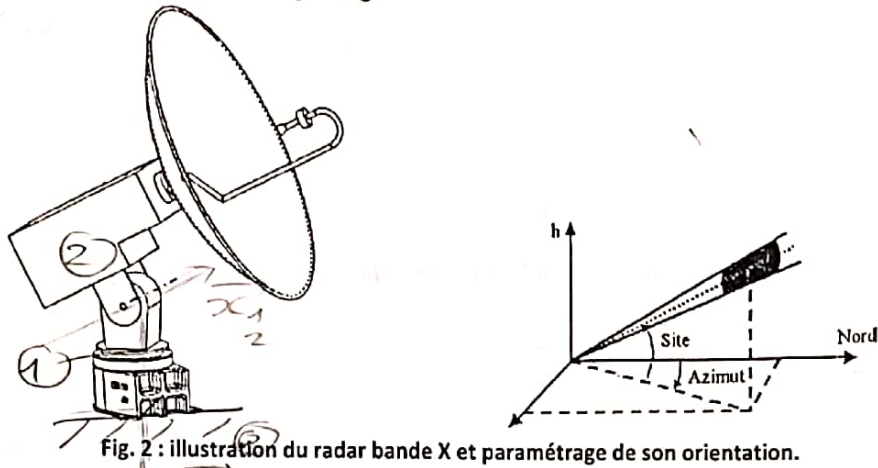


Fig. 2 : illustration du radar bande X et paramétrage de son orientation.

2. Étude de la fonction « Suivi de pilotage du site »

Pour simplifier l'étude, le radar est modélisé par trois éléments :

- le piédestal 0, associé au repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$;
- l'arbre 1 de rotation azimut, associé au repère $R_1(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$;
- l'émetteur-récepteur noté 2, associé au repère $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$: il comprend la parabole fixée sur l'axe (B, \vec{y}_2) . Une masse 3 fixée sur 2 en B assure le rôle de contrepoids.

Les mouvements relatifs entre les éléments du radar sont les suivants :

- l'arbre 1 est en rotation par rapport au piédestal 0, paramétrée par l'angle d'azimut α ;
- l'émetteur-récepteur 2 est en rotation par rapport à l'arbre 1, paramétrée par l'angle de site β .

La géométrie du radar est donnée par : $OA = h$ tel que (OA) verticale, $AC = CP = a$, et $BC = b$.

Qu. 1 : donner les propriétés des repères utilisés.

Qu. 2 : proposer un repérage et paramétrage des éléments composant le radar.

Qu. 3 : tracer les figures de changement de bases correspondantes.

Qu. 4 : tracer le graphe des liaisons du radar.

Qu. 5 : tracer l'ébauche du schéma cinématique du radar. Vous ferez uniquement apparaître les axes de rotation et les points introduits précédemment.

Qu. 6 : après avoir recopié cette ébauche, tracer le schéma cinématique du radar.

3. Étude de la commande du site

La structure de commande du site est décrite par le schéma bloc fonctionnel de la figure 3.

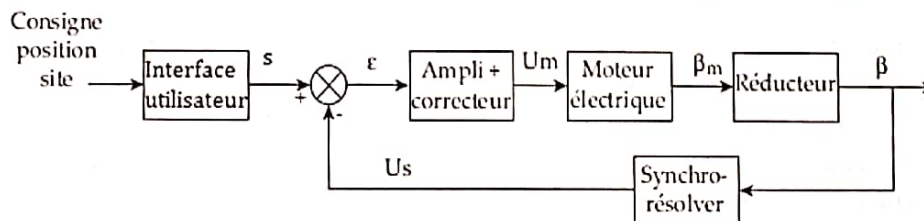


Fig. 3 : schéma bloc fonctionnel de l'asservissement en position du radar

Qu. 7 : pour le motoréducteur utilisé dans cette chaîne fonctionnelle, de quel type d'asservissement s'agit-il ? (justifier la réponse en donnant la grandeur mesurée par le synchro-résolver)

Les différents éléments de la chaîne fonctionnelle sont définis de la manière suivante :

- l'ampli-correcteur est un gain pur de valeur : $K_a = 2$ (grandeur sans dimension)
- le réducteur est un gain pur de valeur : $K_r = 1/20$ (grandeur sans dimension)
- le synchro-résolver est un gain pur de valeur : $K_s = 10 \text{ V/rad}$
- le moteur, d'entrée $u_m(t)$ et de sortie $\dot{\beta}_m(t)$, se comporte comme un système d'ordre 1 de constante de temps τ et de gain K_m .

Qu. 8 : tracer le schéma bloc opérationnel de cet asservissement.

a) Étude du moteur seul

Qu. 9 : déterminer la réponse indicielle $\dot{\beta}_m(t)$ du moteur à une entrée en tension $u_m(t)$ de la forme d'un échelon de hauteur $u_0 = 10 \text{ V}$, en fonction de K_m et τ .

Le tracé de cette réponse indicielle a été mesuré sur un intervalle de temps de 0.1 s (figure 4).

Qu. 10 : à partir de ce tracé, donner les valeurs des caractéristiques K_m et τ du moteur. Quelle est alors le temps de réponse à 5% de ce système ($t_{r5\%}$) ?

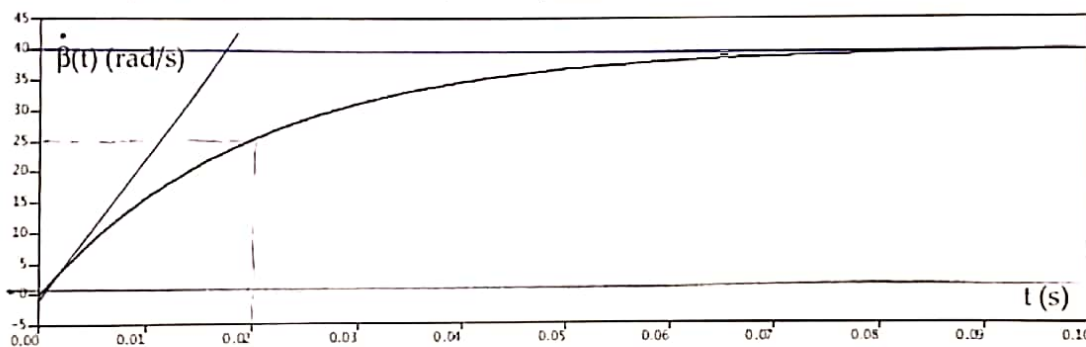


Fig. 4 : réponse du moteur soumis à un échelon de tension de 10 V

b) Étude du système en boucle fermée

Qu. 11 : donner la fonction de transfert en boucle fermée $H_{BF}(p)$ de l'asservissement.

Qu. 12 : après déterminé les paramètres caractéristiques de $H_{BF}(p)$, tracer l'allure de la réponse $\beta(t)$ à une consigne $\beta_c(t)$ en échelon.

Qu. 13 : après avoir calculé les pôles de $H_{BF}(p)$, donner une expression simplifiée de $H_{BF}(p)$.

Qu. 14 : tracer sur le même graphique que Qu. 12 l'allure de la réponse approchée $\beta_{app}(t)$ de $\beta(t)$ à une consigne $\beta_c(t)$ en échelon.