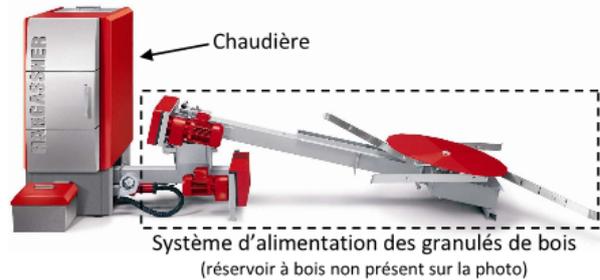


## Ex 1 : Corps de chauffe d'une chaudière à bois déchiqueté (16 points)

On s'intéresse au corps de chauffe situé dans une chaudière à granulé de bois dont on donne une description structurelle ainsi qu'un extrait partiel de cahier des charges.

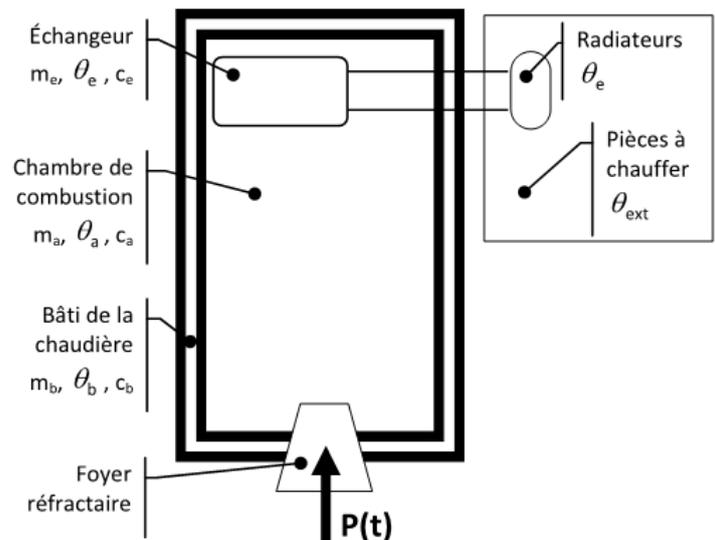


Exigences	Critères	Niveaux
...	...	...
1.1 Le système doit permettre le chauffage de bâtiments à partir de la combustion de granulés de bois.	Température à atteindre dans la pièce à puissance nominale	$25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ pour une puissance calorifique de 10kW
...	Précision température dans l'échangeur	Erreur statique nulle
...	...	...

### Modélisation en SLCI du corps de chauffe de la chaudière

Pour ce modèle, on considère que :

- $p(t)$  la puissance calorifique en Watt fournie par le bois brûlé au niveau du foyer réfractaire.
- L'air situé dans la chambre de combustion permet de monter à la température  $\theta_e(t)$  l'eau située dans l'échangeur.
- Le corps de chauffe est parfaitement isolé de l'extérieur.

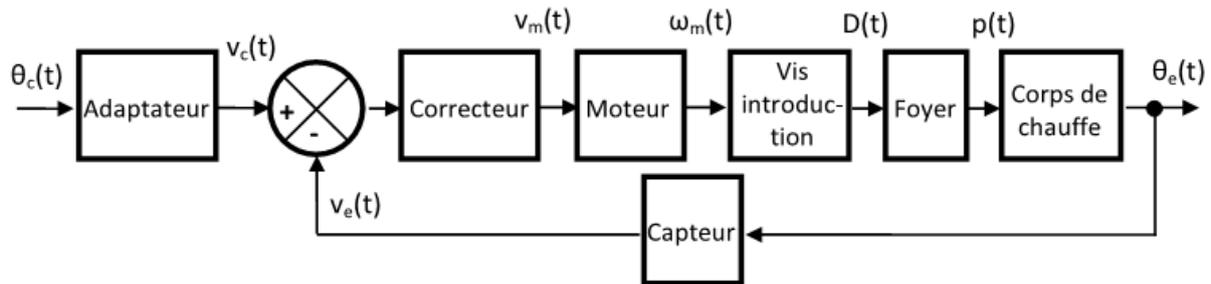


On note :

- $\theta_b(t)$  la température du bâti de la chaudière ;
- $m_b = 200 \text{ kg}$  la masse du bâti à monter en température ;
- $c_b = 500 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  la capacité calorifique massique du bâti ;
- $\theta_a(t)$  la température de l'air dans la chambre de combustion ;
- $m_a = 2 \text{ kg}$  la masse de l'air à monter en température ;
- $c_a = 700 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  la capacité calorifique massique de l'air ;
- $\theta_e(t)$  la température de l'eau dans l'échangeur et les radiateurs ;
- $m_e = 50 \text{ kg}$  la masse de l'eau à monter en température dans l'échangeur ;
- $c_e = 4000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  la capacité calorifique massique de l'eau ;
- $\theta_{ext}(t)$  la température ambiante des pièces à chauffer

### Etude de l'asservissement du corps de chauffe de la chaudière

On s'intéresse à l'asservissement en température du corps de chauffe dont on donne la modélisation en schéma-bloc fonctionnel. Une température de consigne  $\theta_c(t)$  est donnée au système. Un adaptateur convertit celle-ci en une image en tension  $v_c(t)$  telle que  $V_c(p) = K_c * \theta_c(p)$ . Cette tension  $v_c(t)$  est comparée à la tension  $v_e(t)$  fournie par le capteur de gain  $K_e = 0,2 \text{ V/}^\circ\text{C}$  mesurant la température de l'eau  $\theta_e(t)$  au sein de l'échangeur. Cette différence de tension est amplifiée par un correcteur proportionnel  $C(p) = K_{cor}$  qui alimente en tension  $v_m(t)$  le moteur de la vis d'introduction. Le moteur entraîne à la vitesse  $\omega_m(t)$  la vis d'introduction qui fournit un débit massique de bois  $D(t)$ . Ce bois au sein du foyer dégage une puissance de chauffe  $p(t)$ .



Une étude expérimentale sur **l'ensemble moteur, vis d'introduction, foyer et corps de chauffe** a permis de déterminer par identification temporelle la fonction de transfert de cet ensemble. Cette fonction de transfert a pour expression :

$$H_{MC}(p) = \frac{\theta_e(p)}{V_M(p)} = \frac{K_{MC}}{(1 + \tau_A \cdot p)(1 + \tau_B \cdot p)}$$

**Question 1.** Donner l'expression littérale du gain  $G_{dB}(\omega)$  et de la phase  $\varphi(\omega)$  de la fonction de transfert  $H_{MC}(p)$ .

**Question 2.** Déterminer la (ou les) pulsations de cassures  $\omega_{cassure\ i}$  de la fonction de transfert  $H_{MC}(\omega)$ .

**Question 3.** Tracer sur le document réponse 1 le diagramme de Bode asymptotique de la fonction de transfert  $H_{MC}(\omega)$  avec  $K_{MC}=0,3^\circ\text{C/Volt}$ ,  $\tau_A=7000 \text{ s}$  et  $\tau_B=20000 \text{ s}$ .

**Question 4.** Déterminer par calcul la valeur du gain  $G_{dB}(\omega_{cassure\ i})$  et de la phase  $\varphi(\omega_{cassure\ i})$  pour la (ou les) pulsations de cassures  $\omega_{cassure\ i}$  avec  $K_{MC}=0,3^\circ\text{C/Volt}$ ,  $\tau_A=7000 \text{ s}$  et  $\tau_B=20000 \text{ s}$ .

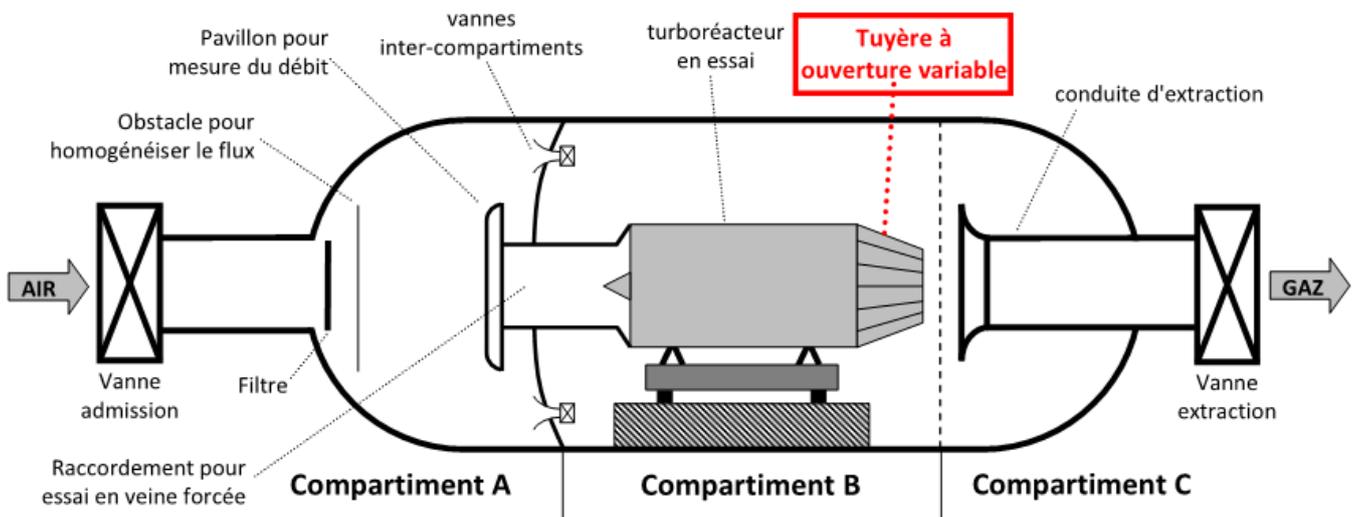
**Question 5.** Tracer sur le document réponse 3 le diagramme de Bode réel de la fonction de transfert  $H_{MC}(\omega)$  avec  $K_{MC}=0,3^\circ\text{C/Volt}$ ,  $\tau_A=7000 \text{ s}$  et  $\tau_B=20000 \text{ s}$ .

## Ex 2 : Tuyère à ouverture variable de turboréacteur (35,75 points)

Les propulseurs utilisés dans les applications militaires ou civiles subissent, avant leur mise en service, des tests de certification visant à contrôler leur bon fonctionnement et le respect des normes de sécurité. Ces tests consistent à simuler au sol les conditions de vol subies par le propulseur et à observer les réactions de celui-ci consécutives à des commandes de pilotage. La DGA dispose dans son centre d'essais de bancs d'essais dédiés à la certification et à la mise au point de différents types de propulseurs d'avions ou de missiles. Le banc d'essais de turboréacteur étudié dans ce sujet est constitué de trois compartiments :

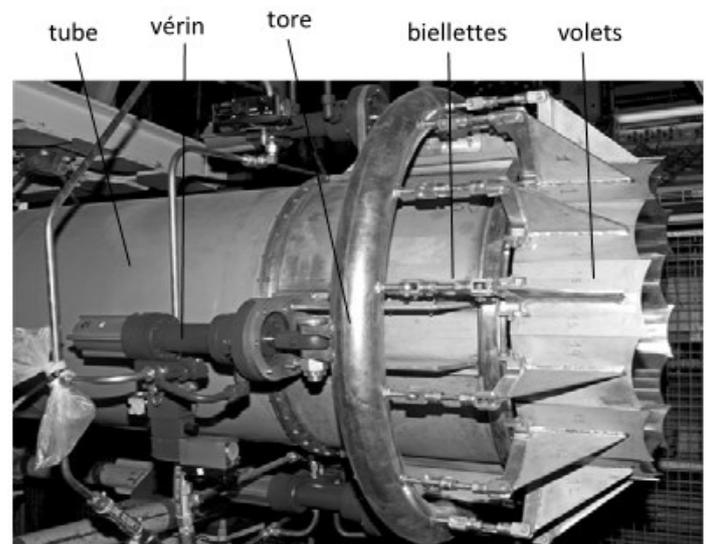


Avion de combat Rafale  
propulsé par deux moteurs Snecma M88



- Le premier compartiment (A) est alimenté par une soufflerie et a pour fonction de conditionner le flux d'air en amont de la turbomachine testée. Il est ainsi possible de contrôler le débit, la température et la pression de l'air en admission.
- Le deuxième compartiment (B) contient le propulseur à tester. Celui-ci est maintenu par une structure porteuse permettant entre autres les mesures des efforts de poussée. Il est séparé du compartiment (A) par une cloison étanche munie d'un orifice permettant le passage de l'air calibré. Le flux d'air peut alors être laissé libre en amont du réacteur ou guidé par un raccordement jusqu'à l'entrée de celui-ci, permettant ainsi des essais dits en "veine forcée".
- Le troisième compartiment (C) permet la collecte et l'évacuation des gaz produits lors de la combustion.

On s'intéresse dans ce sujet à la tuyère à ouverture variable équipant le turboréacteur en essai dans le compartiment B dont on donne une description structurale ainsi qu'un extrait de cahier des charges. La solution technique retenue consiste à disposer seize volets articulés sur la périphérie du tube qui permettent

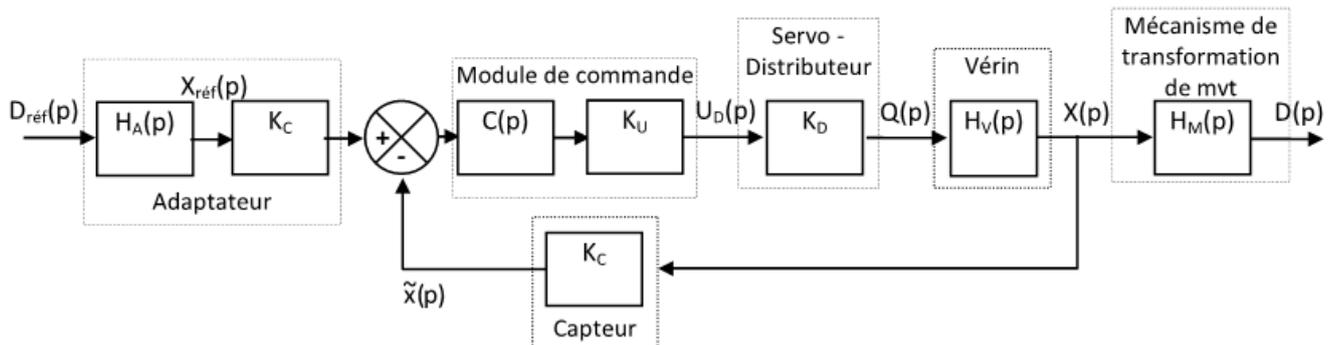


Tuyère à ouverture variable

ainsi de réduire la section de passage du fluide. Ces volets sont mis en mouvement par seize bielles toutes identiques reliées à une pièce de forme torique (tore) elle-même mise en translation par quatre vérins hydrauliques répartis régulièrement autour du tube. Les commandes de ces vérins sont synchronisées et asservies en position.

La consigne d'ouverture de la tuyère est élaborée au niveau de la console de pilotage. Elle est transmise à des des servo-distributeurs hydrauliques à commande électrique associés à chaque vérin. Un contrôle de la position est effectué par un capteur à magnétostriction intégré dans le corps du vérin.

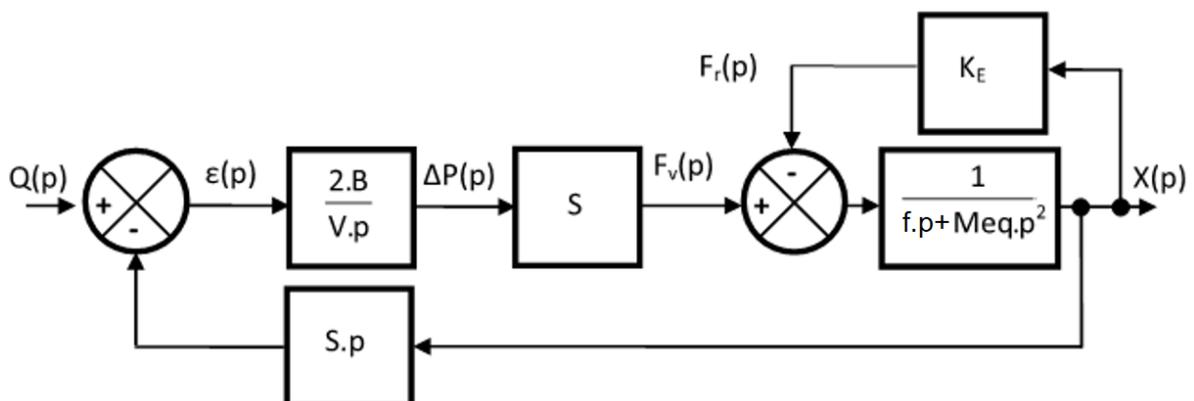
Dans l'ensemble du sujet, on fera l'hypothèse que les chaînes sont parfaitement identiques et que la charge est également répartie sur chacun des 4 vérins ce qui permet de n'étudier qu'une seule des 4 chaînes fonctionnelles constituant le système complet (soit un seul servo-distributeur + un seul vérin).



- $D_{réf}(p)$  : diamètre de consigne de la section d'ouverture de la tuyère
- $X_{réf}(p)$  : déplacement correspondant à la consigne  $D_{réf}(p)$
- $U_D(p)$  : tension de commande du servo-distributeur hydraulique
- $Q(p)$  : débit volumique de commande du vérin
- $X(p)$  : déplacement de la tige du vérin
- $\tilde{x}(t)$  : estimation du déplacement mesuré par le capteur
- $D(p)$  : diamètre de la section d'ouverture de la tuyère
- $H_A(p)$  : fonction de transfert du bloc d'adaptation permettant de traduire la consigne
- $C(p)$  : fonction de transfert du correcteur de la chaîne de commande
- $K_U$  : gain du convertisseur numérique analogique
- $K_D$  : gain du servo-distributeur hydraulique
- $K_C$  : gain du capteur de déplacement
- $H_V(p)$  : fonction de transfert du vérin hydraulique
- $H_M(p)$  : fonction de transfert du mécanisme de transmission de mouvement de la tige jusqu'aux volets

**Modèle de connaissance du vérin**

On donne ci-dessous le schéma-bloc correspond au modèle de connaissance du vérin avec le paramètre  $f$  qui représente les frottements visqueux.



**Question 1.** Donner la fonction de transfert du vérin  $H_v(p) = X(p)/Q(p)$ . Mettre le résultat sous la forme ci-dessous en précisant  $K_v$ ,  $a_1$  et  $a_2$ .

$$H_v(p) = \frac{K_v}{p \cdot (1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2)}$$

**Question 2.** Donner l'expression littérale du gain  $G_{dB}(\omega)$  et de la phase  $\varphi(\omega)$  de la fonction de transfert  $H_v(j\omega)$  en fonction de  $K_v$ ,  $a_1$  et  $a_2$ .

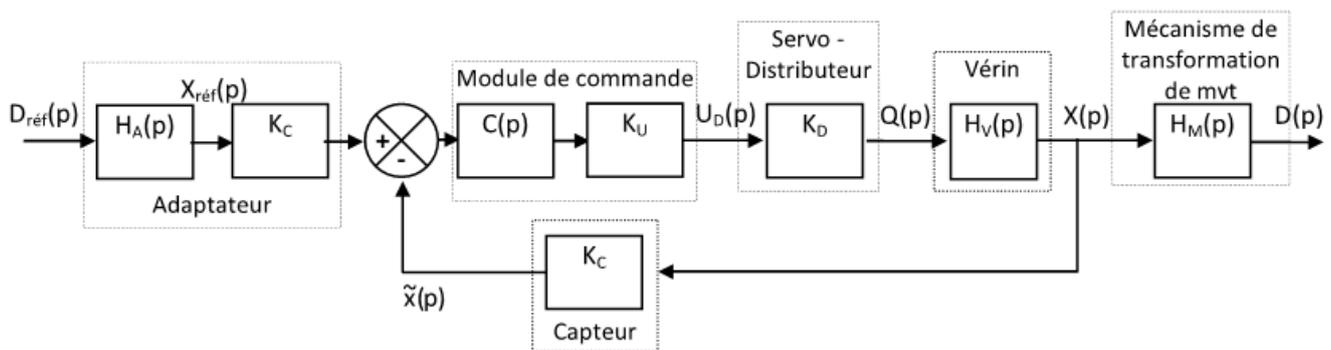
**Question 3.** Déterminer l'expression littérale de la pulsation de cassure  $\omega_{cassure}$  de la fonction de transfert  $H_v(\omega)$ .

**Question 4.** Déterminer la valeur du gain  $G_{dB}(\omega_{cassure})$  et de la phase  $\varphi(\omega_{cassure})$  avec  $K_v=4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ ,  $a_1 = 3 \text{ s}$  et  $a_2=45 \text{ s}^2$ .

**Question 5.** Tracer sur le document réponse 2 le diagramme de Bode **asymptotique et réel** de la fonction de transfert  $H_V(j\omega)$  avec  $K_V=4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ ,  $a_1 = 3 \text{ s}$  et  $a_2=45 \text{ s}^2$ .

### Choix du correcteur de la commande en position du vérin

On ci-dessous la modélisation en schéma-bloc de l'asservissement en position du vérin. On donne sur le document réponse 3 la représentation dans le plan de Bode de la nouvelle fonction de transfert  $H_{EF}(p) = X(p)/X_{ref}(p)$ .



**Question 6.** Proposer à partir de ce tracé, une expression mise sous forme canonique pour la nouvelle fonction de transfert  $H_{EF}(p)$ . On justifiera la réponse en traçant les diagrammes asymptotiques correspondants sur le document réponse 3.

**Question 7.** Déterminer ensuite tous les coefficients sachant que les réglages ont été choisis afin d'obtenir le temps de réponse maximal du vérin (soit avec un coefficient d'amortissement égal à 0,7).

**Question 8.** Donner l'expression littérale du gain  $G_{dB}(\omega)$  et de la phase  $\varphi(\omega)$  de la fonction de transfert  $H_{EF}(\omega)$ .

**Question 9.** En déduire l'expression de  $x(t)$  si l'on réalise un essai avec  $x_{ref}(t) = 2 \sin(20t)$ .

### Ex 3 : Pédale lumineuse KPL 200 (10 points)



PEDALITE est une société anglaise qui a conçu et fabriqué un produit original : une pédale lumineuse. Le principe est simple, performant et très innovant : lors du pédalage, une petite génératrice intégrée dans chaque pédale produit du courant et alimente les éclairages à LED clignotants. Les pédales KPL200 permettent donc d'accroître la visibilité des cyclistes et sont sans entretien.

Pour l'usager de la route - qu'il soit piéton, cycliste ou automobiliste - ces pédales indiquent plus facilement à quelle distance se trouve le cycliste (visible à 1000 mètres de distance en terrain dégagé). Les 3 éclairages sont de couleurs différentes (blanc, orange et rouge) et clignotent alternativement pour augmenter la visibilité. Ainsi, l'éclairage, avec deux pédales, se fait sur 360°. Le cycliste est donc particulièrement visible. Le principe de fonctionnement du système est le suivant :

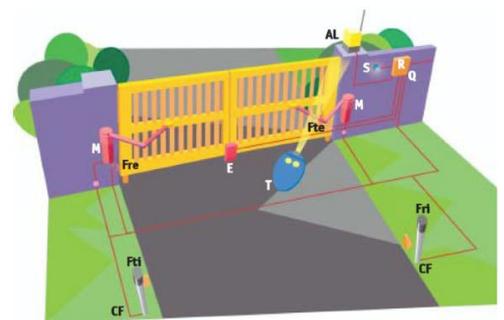
La pédale lumineuse KPL200 utilise la génération d'un courant électrique grâce à l'énergie produite par le cycliste lors du pédalage. Une génératrice logée à l'intérieur du corps de la pédale est entraînée par l'intermédiaire d'un multiplicateur qui augmente la fréquence de rotation du rotor par rapport à celle de l'axe. L'énergie électrique ainsi produite est prise en charge par une carte électronique qui va faire clignoter des diodes électroluminescentes et stocker le surplus d'énergie dans un élément de stockage. Lorsque la pédale n'est plus en mouvement, l'énergie stockée prend le relais pour faire clignoter des diodes électroluminescentes pendant une durée supérieure à 5 minutes.



**Question 1.** A partir de la description du fonctionnement du système, compléter le diagramme d'état fourni document réponse 5.

### Ex 4 : Portail à deux vantaux (15,75 points)

Le portail étudié comprend un petit et un grand vantail (comme celui présent à l'entrée de la salle de TP). Nous étudions un sous-ensemble du système, comportant une **télécommande** pour piloter un cycle d'ouverture / fermeture. Un **capteur de proximité** photo-électrique permet de détecter la présence d'un obstacle. Les **entrées/sorties** de la partie TRAITER de la chaîne d'information sont les suivantes :

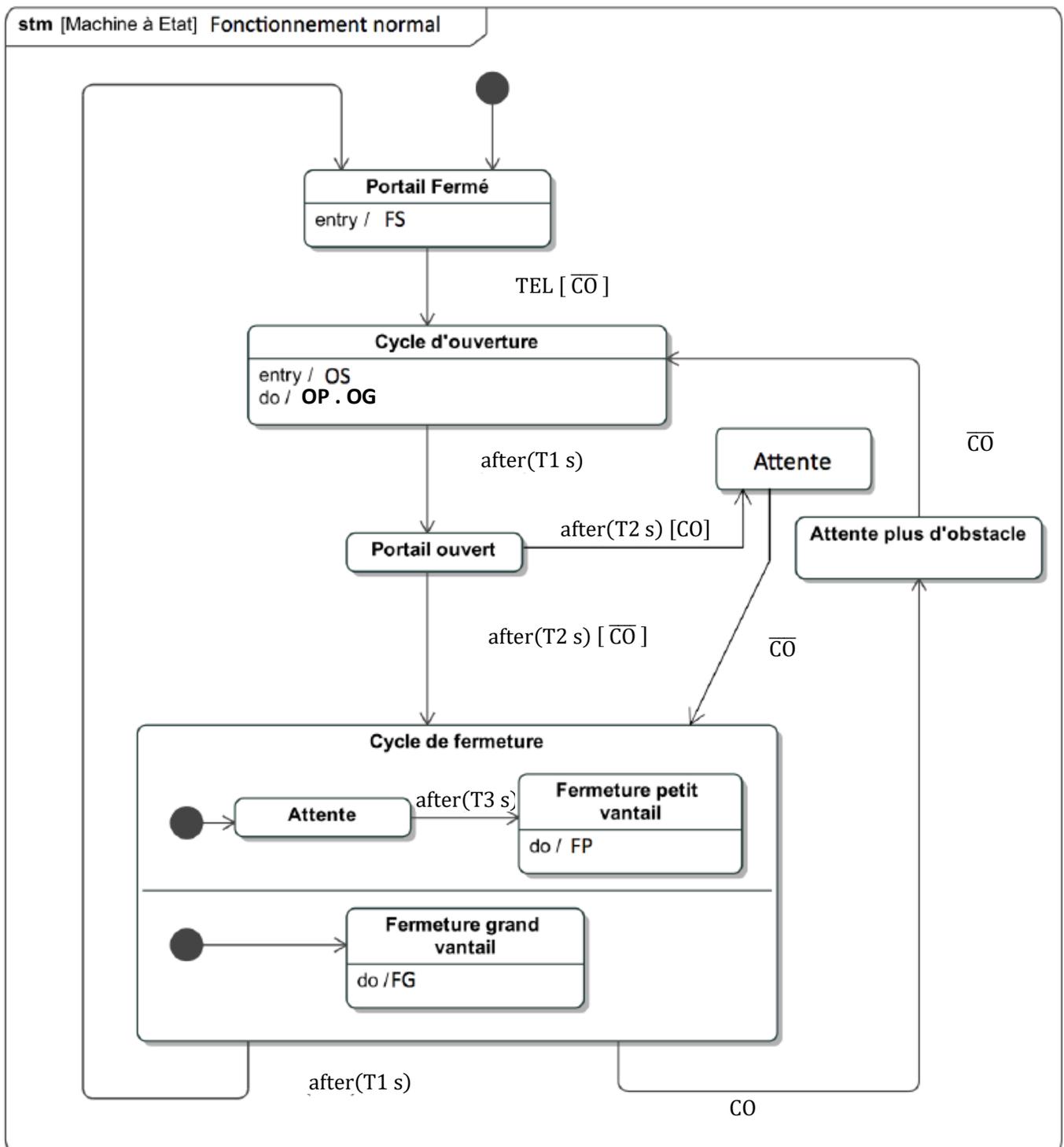


Entrées (IHM et capteur)	Sorties (IMH et préactionneur)
Bouton de la télécommande : TEL=1 si appuyé, =0 sinon	Fermer serrure : FS Ouvrir serrure : OS
Capteur d'obstacle : CO=0 si pas d'obstacle, =1 sinon	Ouvrir petit / grand vantail : OP OG Fermer petit / grand vantail : FP, FG

Les actions de **fermeture** et **d'ouverture** de la **serrure** sont supposées **impulsionnelles**. **T1**, **T2** et **T3** sont des durées réglables (variables définies en pratique par l'intermédiaire de potentiomètre). Les différentes entrées et sorties sont des **grandeurs logiques** (binaires). Le cycle souhaité est le suivant :

- ouverture des deux vantaux, simultanément, pendant une durée T1 ;
- attente d'une durée T2 ;
- s'il n'y a pas d'obstacle : fermeture du grand vantail, et après un temps T3, fermeture du petit vantail.

Un diagramme d'état traduisant le comportement du système est donné ci-dessous :



**Question 1.** Quel est l'état initial ? Quelle est la durée supposée de FS ?

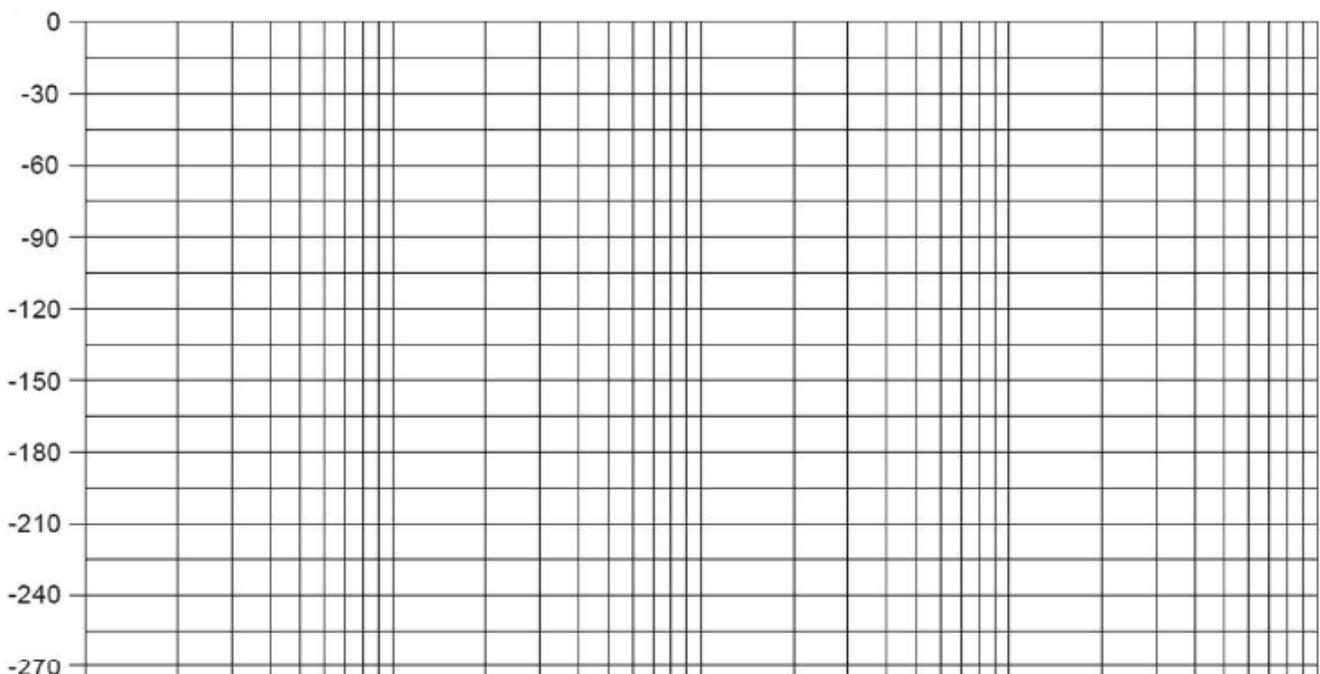
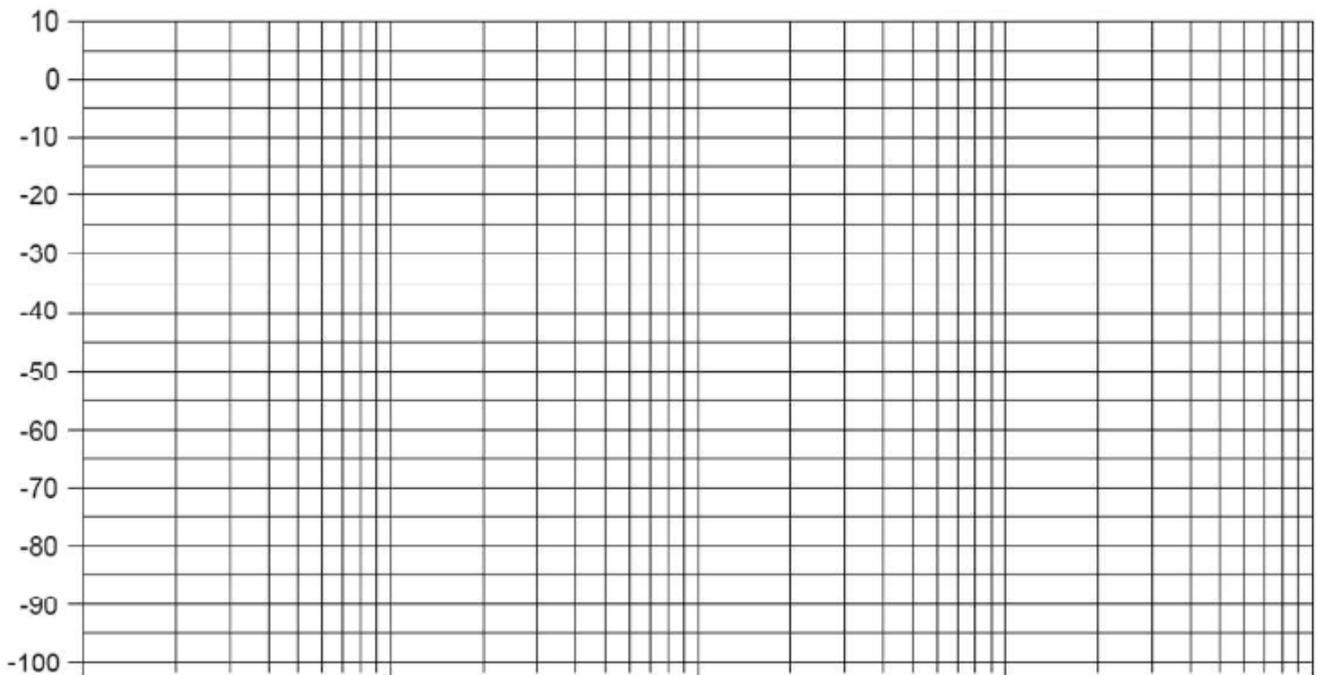
**Question 2.** À partir de l'état "portail fermé", quelles sont les conditions pour activer l'état "cycle de fermeture" ?

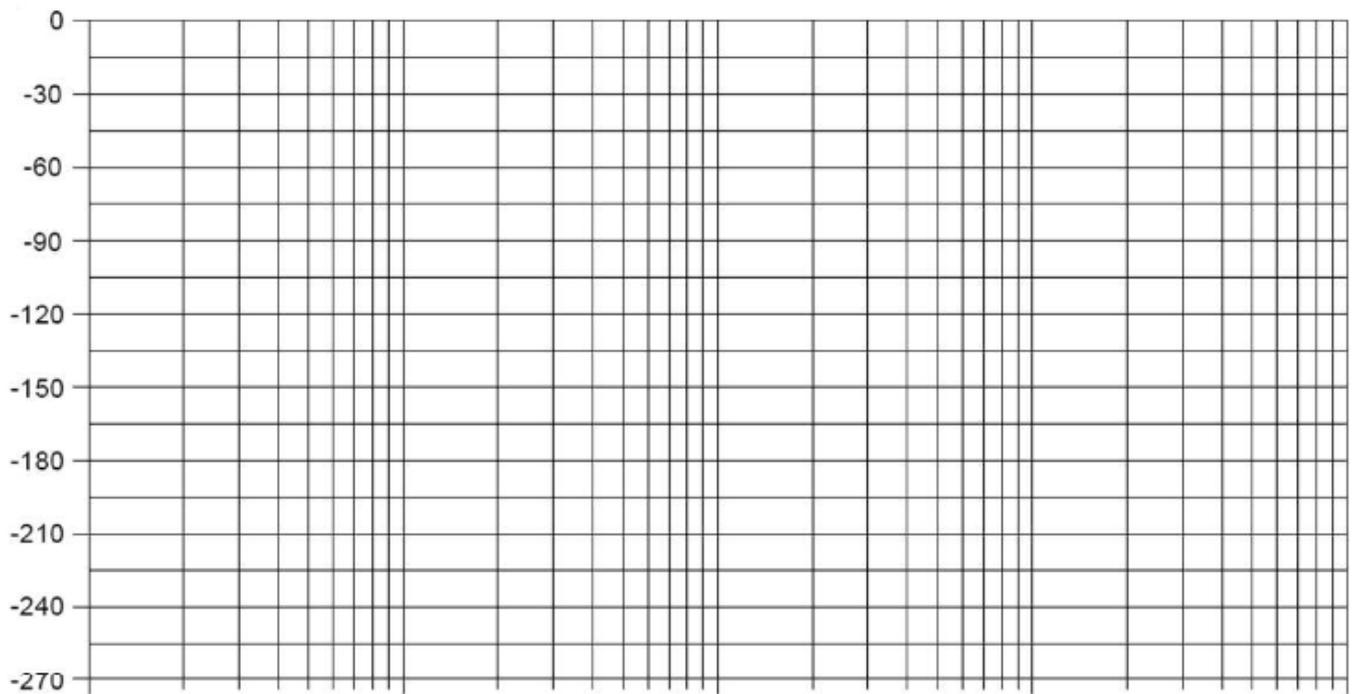
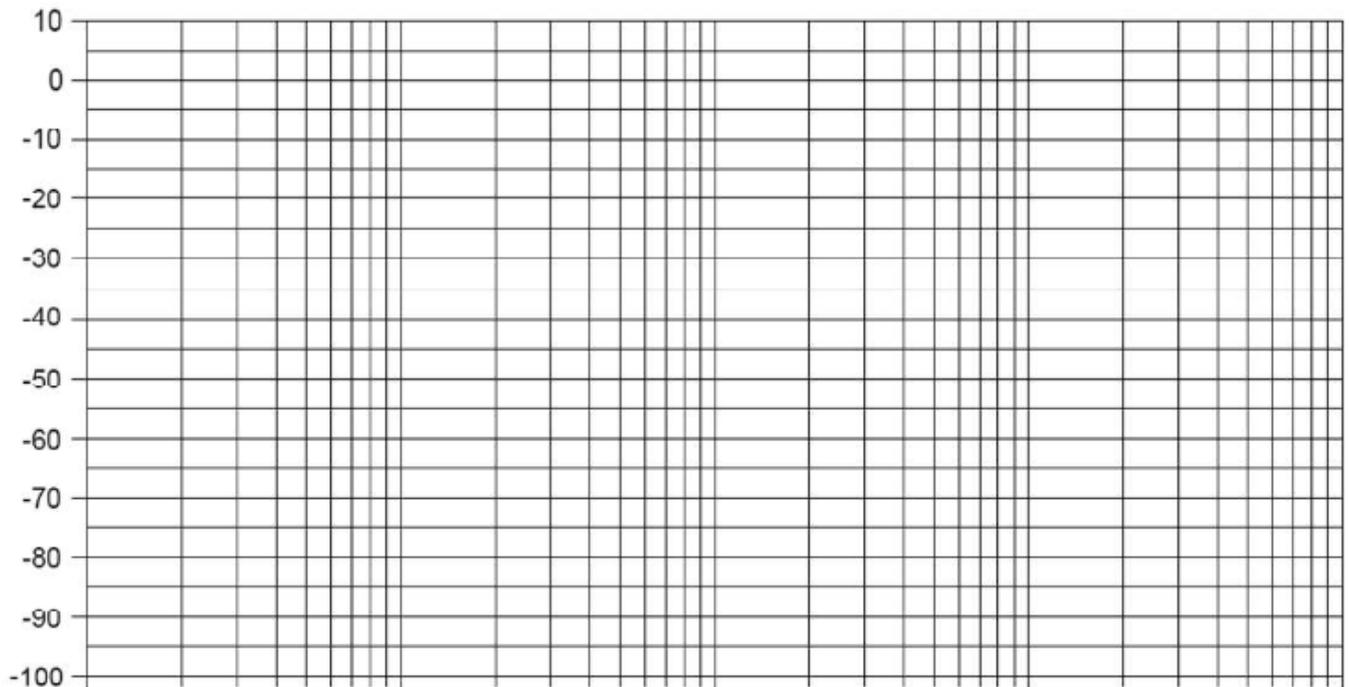
**Question 3.** Représenter l'évolution des variables sur le chronogramme du document réponse 4.

**Question 4.** Représenter, en pointillé, l'évolution des variables sur le chronogramme en ne tenant pas compte de la deuxième détection d'obstacle afin de mettre en évidence la phase de fermeture "normale" du portail.

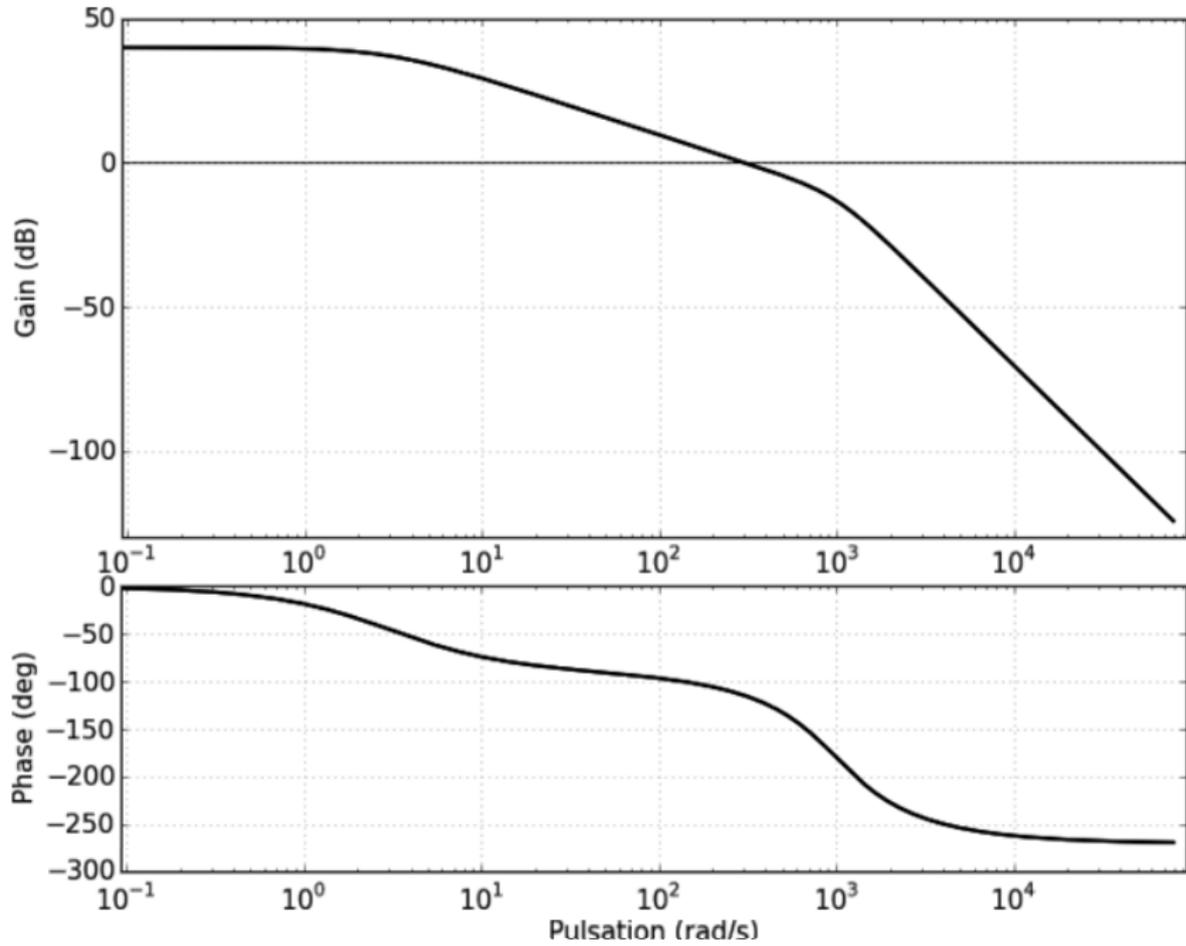
## Documents réponses

**Document réponse 1 :**

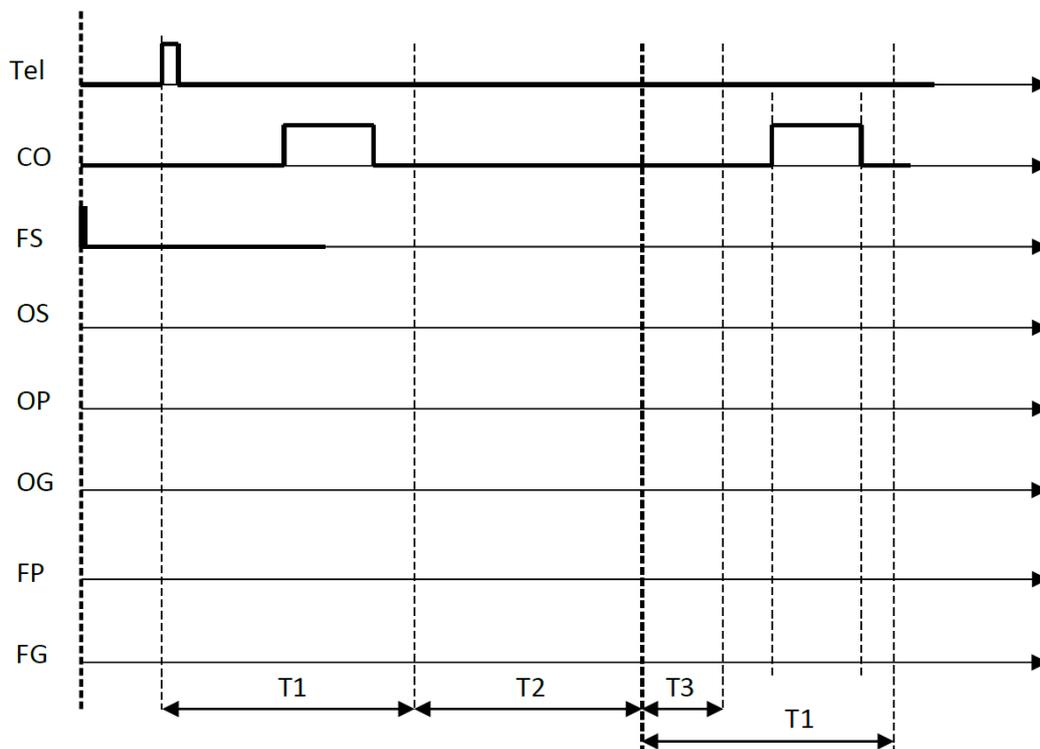


**Document réponse 2 :**

**Document réponse 3 :**



**Document réponse 4 :**



Document réponse 5 :

