

Thème 5 : TD systèmes séquentiels

TD1 : Automate d'exploration de l'hémostase

1 Présentation

La société Stago est un laboratoire pharmaceutique de l'industrie du Diagnostic In Vitro (DIV) entièrement dédiée à l'exploration de l'hémostase et de la thrombose.

L'hémostase est le processus physiologique qui permet d'interrompre le saignement pour éviter l'hémorragie.

L'objet de cette étude, le STA Compact (figure 1), est un automate de laboratoire destiné à l'analyse de l'hémostase. La figures 2 précise les fonctions du STA Compact.



Figure 1 : STA compact

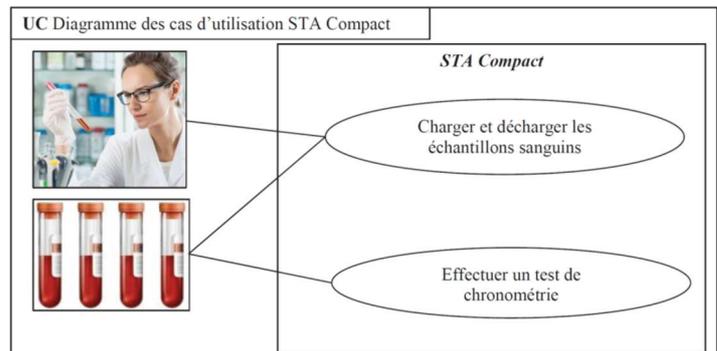


Figure 2 : Cas d'utilisation du STA Compact

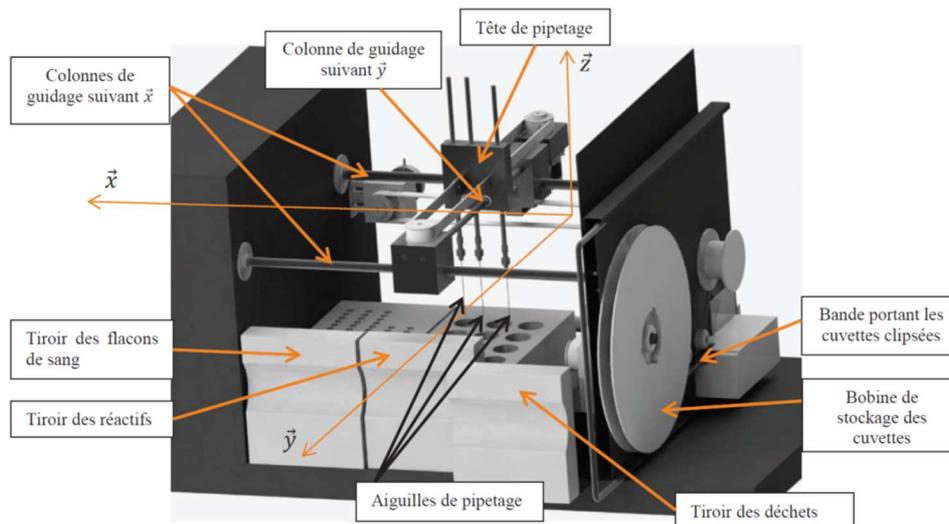


Figure 3 : Structure interne du STA Compact

Le STA Compact permet de réaliser, entre autre, des tests de chronométrie afin de mesurer un temps de coagulation. Le principe du test de chronométrie est le suivant :

- une dose de réactif est mélangée à une dose de plasma sanguin précédemment étuvée dans une cuvette contenant une bille ;
- l'ensemble est chauffé alors qu'une bille est mise en oscillation dans le mélange par un champ magnétique ;
- on mesure l'amplitude de l'oscillation qui diminue sensiblement lors d'une variation de viscosité du mélange sang-réactif ;
- le temps écoulé jusqu'à la diminution des oscillations donne le temps de coagulation.

L'objectif est valider la précision de positionnement des seringues suivant l'axe \vec{z}_0 , qui doit être inférieure à 1 mm.

2 Précision du volume prélevé

Lorsque la tête de pipetage a atteint la position souhaitée, définie par les coordonnées X_M et Y_M , l'aiguille de la seringue est plongée dans le liquide à prélever. La hauteur immergée de l'aiguille, Z_v , définit la quantité de produit qui sera aspirée (figure 4).

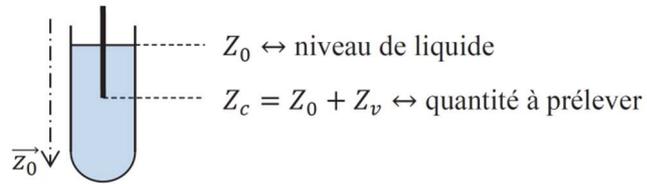


Figure 4 : Flacon et seringue

Chaque flacon n'étant pas rempli de la même façon, le niveau n'est donc pas connu précisément.

Un capteur capacitif détecte au fur et à mesure de la descente de l'aiguille la présence de liquide. Il délivre une information binaire (notée Niv). Lorsque l'aiguille est en contact avec le liquide, $Niv = 1$ et lorsque l'aiguille est en contact avec l'air $Niv = 0$. Le niveau est donc détecté lors des changements d'état de la variable Niv .

Un codeur incrémental, donnant 2 000 impulsions par tour de l'axe moteur, indique la position de l'aiguille par la variable Z_{cap} (position mesurée en mm).

La période d'échantillonnage de cette information est $Te = 10 \text{ ms}$.

Le moteur est mis en marche avec l'ordre de mise en marche noté V_d . La variable Z_c représente la consigne de position de la seringue ;

En début de descente, le niveau est inconnu, la consigne de position initiale Z_m est imposée : $Z_c = Z_m$ (Z_m correspond au fond du flacon). La seringue descend (V_d est assigné à 1).

La suite du cycle de cette opération est décrit par le diagramme d'états figure 5 du document réponse.

Le mouvement vertical de la seringue est obtenu par :

- Un moteur de vitesse maximale de rotation supposée égale à la vitesse nominale : $N_{maxi} = 3670 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$;
- Un réducteur de rapport de réduction $k_r = \frac{\omega_r}{\omega_m} = \frac{1}{19,2}$ ou ω_m et ω_r sont les vitesses de rotation en sortie moteur et réducteur ;

système pignon-crémaillère, dont le rayon du pignon est $R_p = 10 \text{ mm}$.

Question 1 : Déterminer la vitesse de déplacement de la seringue lorsque le moteur est à vitesse nominale.

Pour la suite, les phases d'accélération et de décélération du moteur sont négligées. Le temps d'aspiration du fluide est supposé égal à 80 millisecondes. On suppose que le flacon contient du liquide.

Question 2 : Compléter le chronogramme présent sur le document réponse, en prenant comme valeurs numériques : $Z_v = 10 \text{ mm}$

Question 3 : Calculer les erreurs de mesure de Z_0 dues à l'échantillonnage d'une part et à la conversion analogique numérique du codeur incrémental d'autre part. En déduire l'erreur maximale de position notée ΔZ_{mes} . Cette erreur est-elle compatible avec le cahier des charges ?

Pour pallier ce défaut de mesure, le constructeur met en place une nouvelle procédure en utilisant deux vitesses de rotation pour le moteur. Elles correspondent à une vitesse lente de la tête de pipetage ($-V_l$ en montée, $+V_l$ en descente) et une vitesse rapide ($-V_r$ en montée, $+V_r$ en descente), ces valeurs seront affectées à la variable V :

- La descente hors liquide est réalisée à vitesse rapide, la consigne initiale de position $Z_c = Z_m$ reste inchangée ;
- lors de la détection de niveau, la position correspondante Z_0 est détectée et mémorisée (valeur en réalité peu précise et dans le fluide à cause de l'erreur liée à l'échantillonnage du codeur incrémental), puis la tête remonte d'une valeur ΔZ_{mes} à vitesse lente.
- au cours de cette montée à vitesse lente, lorsque le niveau est de nouveau détecté, le système mémorise la nouvelle position Z_0 (plus précise) donnée par le codeur, la consigne de position est alors modifiée à la valeur $Z_c = Z_0 + Z_v$ où Z_v est la hauteur définie précédemment correspondant au volume à prélever et l'aiguille descend à vitesse lente.
- l'aiguille s'arrête lorsqu'elle atteint la hauteur souhaitée, l'aspiration du sang peut ensuite commencer jusqu'à détection du niveau.

Question 4 : Sur le diagramme d'états « nouvelle procédure », compléter les états « Descente lente » et « Remontée lente » ainsi que les transitions permettant d'arriver dans ces états, afin de tenir compte de la nouvelle procédure.

À vitesse lente, la vitesse de rotation du moteur est $N_{lent} = 1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. Le diamètre du flacon est $D_f = 15 \text{ mm}$.

Question 5 : Calculer la nouvelle erreur maximale de position $\Delta Z'_{mes}$ avec l'application de cette nouvelle procédure. Donner l'erreur de volume correspondante.

3 Document réponse

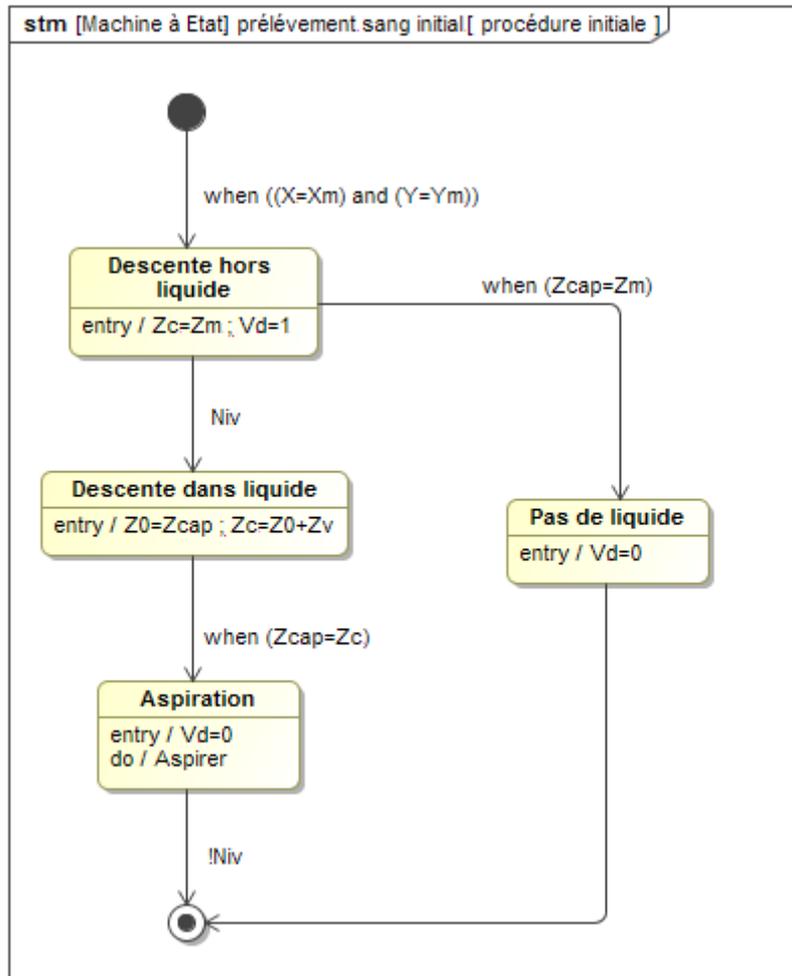
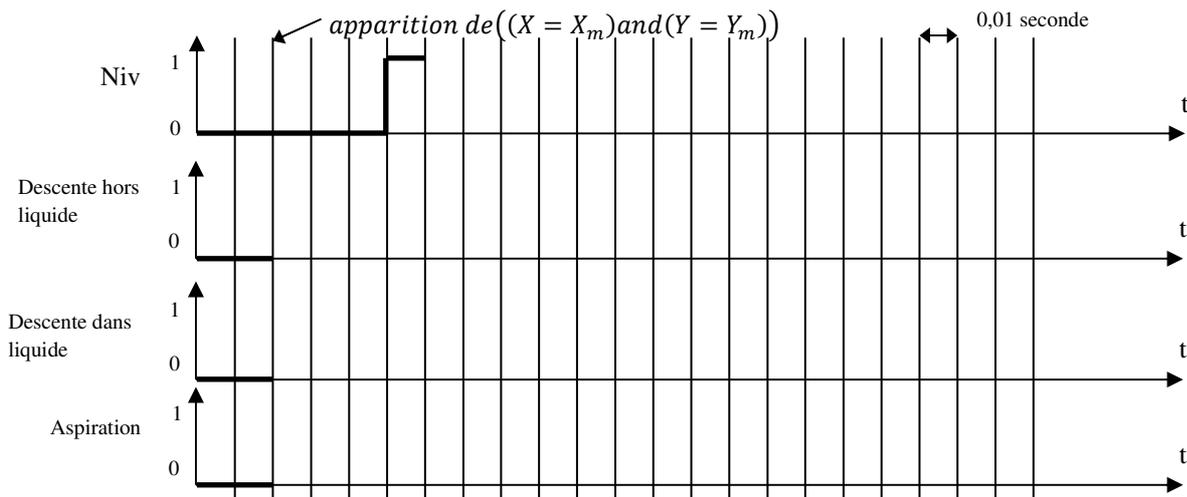


Figure 5 : Diagramme d'états (procédure initiale)

Question 2 :



Question 4 :

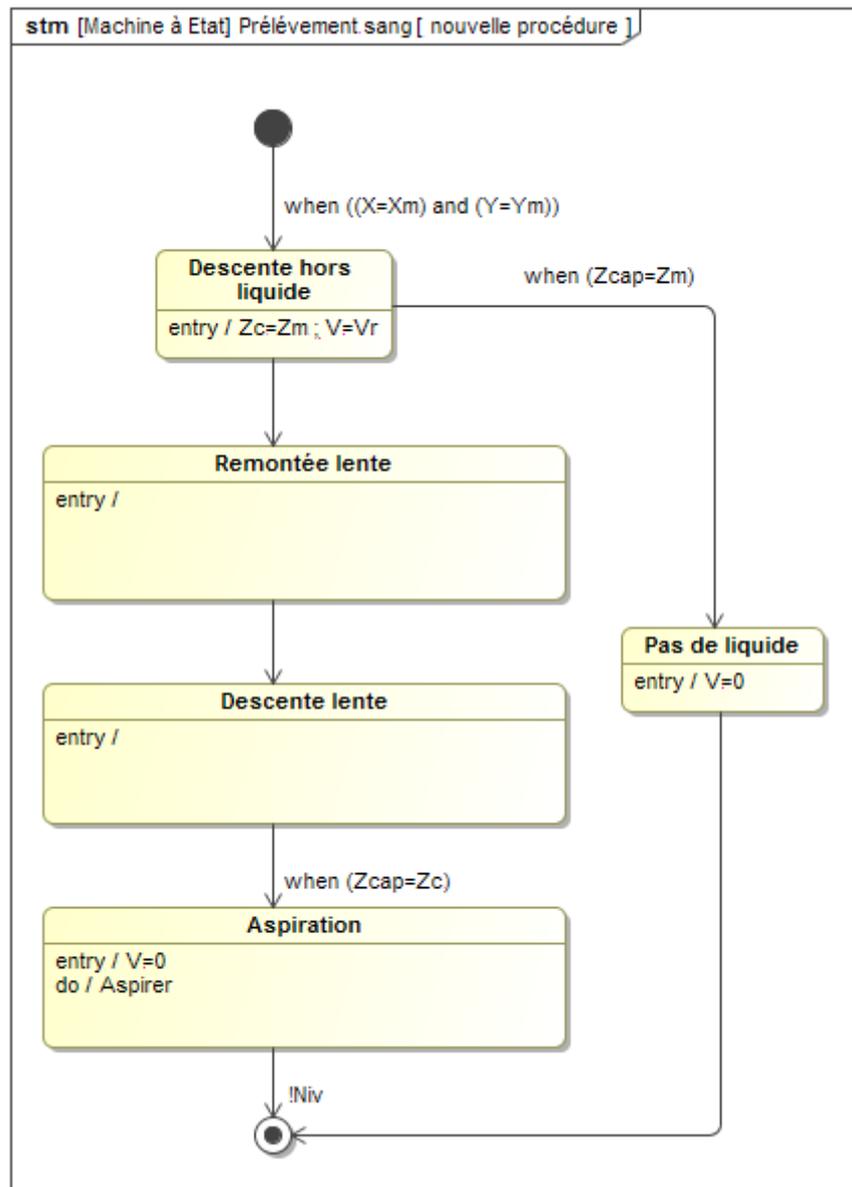


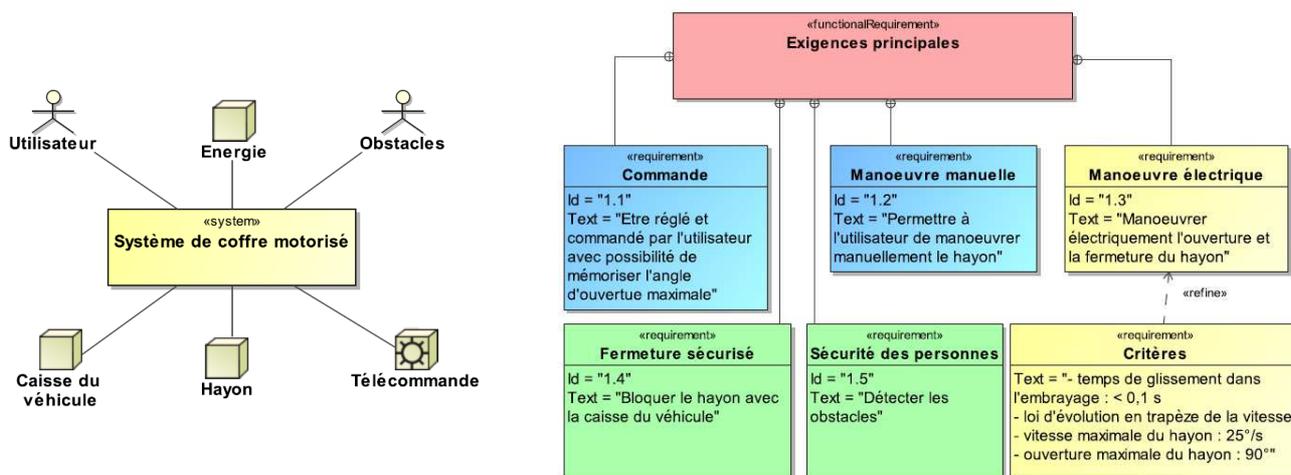
Figure 6 : Diagramme d'états (nouvelle procédure)

TD2 : Système de coffre motorisé

Depuis 2005 déjà, un coffre motorisé est proposé en option sur l'Audi A6 (photographie 1). Ce système développé par la société Valéo été récompensé en 2002 par le prix de l'innovation électronique automobile EPCOS/SIA dans la catégorie « Vie à bord, confort, habitacle ». La motorisation du hayon permet l'ouverture ou la fermeture automatique du coffre. L'ouverture s'effectue soit à l'aide de la télécommande, soit par action sur une touche située à proximité du conducteur, soit par action sur une touche située sur la poignée du hayon. La fermeture s'effectue par action sur une touche située sur la face interne du hayon. L'utilisateur a la possibilité de programmer l'angle d'ouverture du hayon pour éviter par exemple qu'il ne heurte le plafond du garage. L'utilisateur conserve naturellement la possibilité de manoeuvrer manuellement le hayon. Ce système dispose également de détecteurs d'obstacles. En position fermée, le système doit assurer le blocage du hayon avec la caisse du véhicule. Une expression partielle des besoins durant la phase d'utilisation est donnée par le diagramme d'exigences partiel :



Photographie 1 - Audi A6 Avant avec coffre motorisé (source Audi).

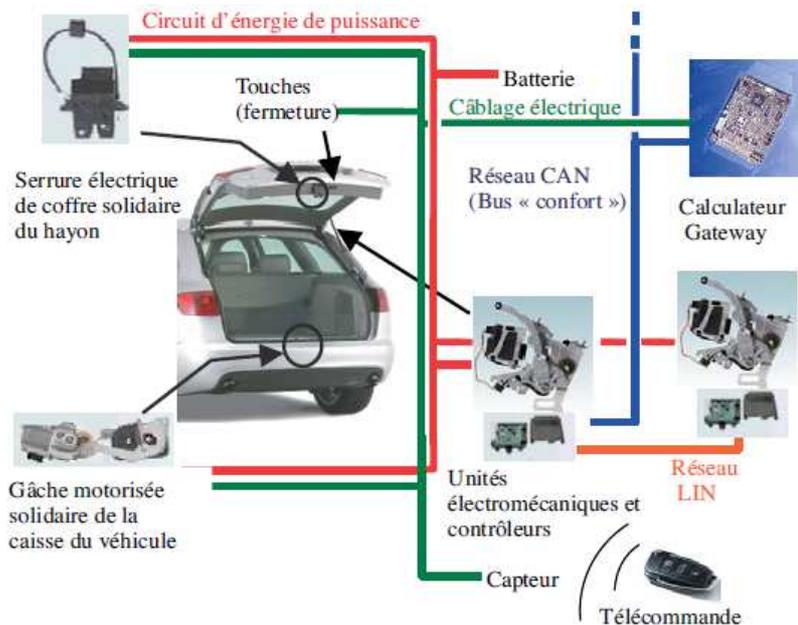


Présentation du système

Le schéma d'implantation du système est décrit sur la figure ci-dessous. Ce système se compose :

- de deux **unités électromécaniques** (une sur chaque face latérale du hayon) permettant de manoeuvrer électriquement le hayon et renseignant les contrôleurs sur la position du hayon et sur la présence éventuelle d'obstacles ;
- de deux **contrôleurs** (un par unité électromécanique) pilotant les moteurs électriques des unités en fonction des lois de commande en vitesse. Les deux contrôleurs sont reliés entre eux par un réseau LIN et seul le contrôleur maître communique avec le calculateur Gateway par le bus « confort » ;
- d'un **calculateur Gateway** gérant l'ensemble des composants (contrôleur maître, serrure électrique, gâche motorisée) du système de coffre motorisé en fonction des consignes de l'utilisateur et de la situation de la partie opérative ;

- d'une **serrure électrique**, solidaire du hayon, permettant en position fermée de verrouiller le hayon avec la gâche ;
- d'une **gâche motorisée**, solidaire de la caisse du véhicule, permettant en position fermée de plaquer le hayon contre la caisse en tirant la serrure.



Validation partielle de l'exigence id1.1

L'objectif est de vérifier la coordination des activités en fonctionnement normal ainsi que le réglage de l'ouverture maximale du hayon.

Le contrôleur commande le moteur et l'embrayage de l'unité électromécanique en fonction des informations provenant essentiellement du calculateur Gateway. Le diagramme d'états partiel qui décrit le fonctionnement normal est codé et implémenté dans le contrôleur maître. Il est donné au bas de cette page.

Description des entrées du diagramme d'états

- des capteurs angulaires à effet Hall permettent de mesurer la position angulaire γ du hayon.
- le calculateur Gateway délivre les informations binaires :
 - $t_o = 1$ si une pression est exercée sur l'une des touches d'ouverture automatique ;
 - $t_f = 1$ si une pression est exercée sur la touche de fermeture située sur la face interne du hayon ;
 - $p = 1$ si l'utilisateur agit directement sur la poignée du hayon.

Description des activités du diagramme d'états

L'ouverture et la fermeture automatique du hayon sont réalisées par un moteur électrique M à courant continu et à aimants permanents alimenté par un hacheur quatre quadrants [(M +): ouvrir le hayon ; (M -) : fermer le hayon].

La modulation du couple transmissible par l'embrayage s'obtient en modifiant la pression de contact sur la garniture du disque d'embrayage. Cette pression est fonction de l'intensité du champ magnétique résultant d'un aimant permanent et d'un électro-aimant (E). En phase d'ouverture automatique, le champ magnétique de l'électroaimant ($E+$) vient s'ajouter à celui de l'aimant permanent, alors qu'en phase de fermeture automatique, l'électroaimant n'est pas alimenté. Dans le cas d'une manoeuvre manuelle du hayon, le moteur est désaccouplé grâce au champ magnétique de l'électroaimant ($E-$) qui s'oppose à celui de l'aimant permanent. Les positions limites basse et haute du hayon valent respectivement $\gamma = 0^\circ$ (coffre fermé) et $\gamma = \gamma_{MAXI}$ (coffre ouvert).

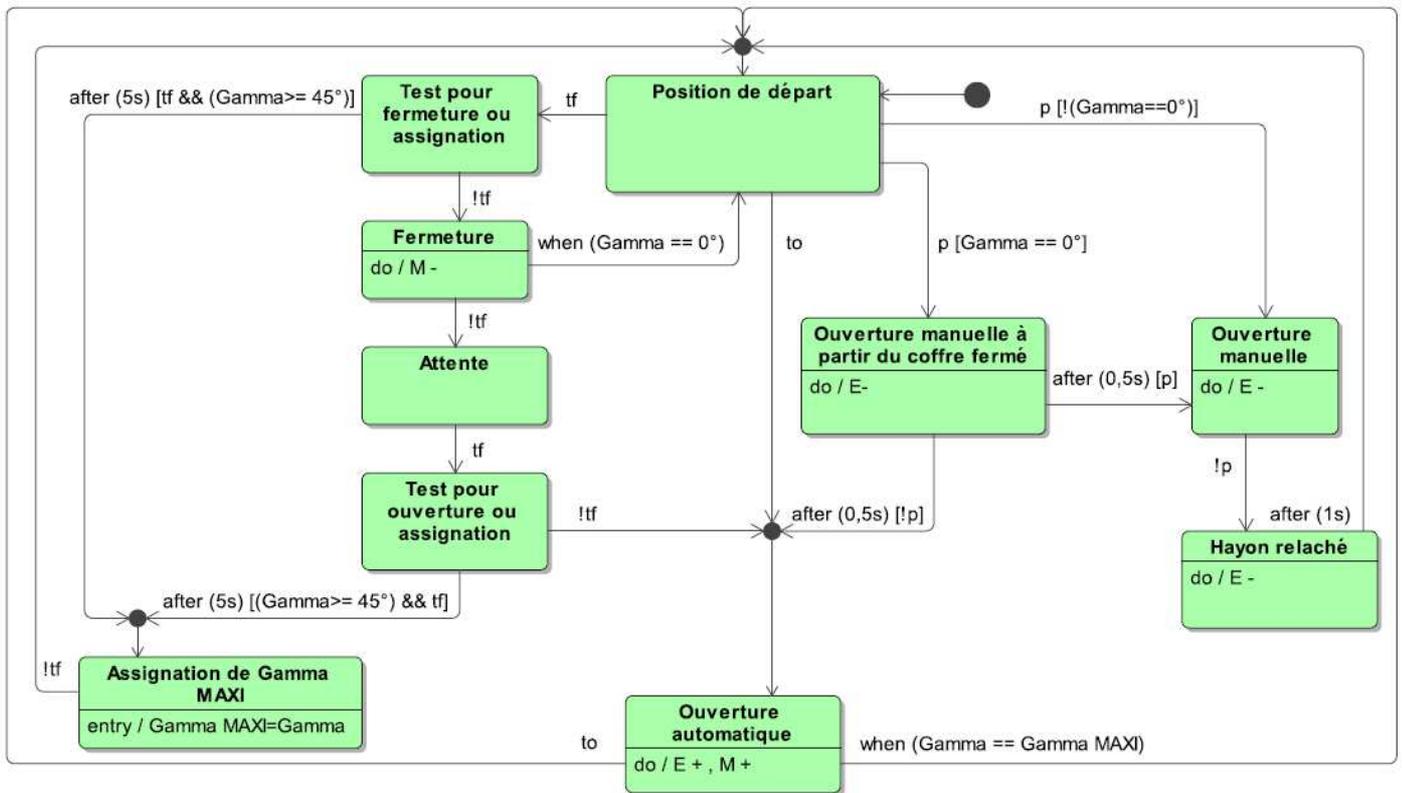
On suppose qu'en mode automatique la vitesse de $20^\circ/s$ en ouverture ou en fermeture du hayon est atteinte instantanément.

Question 1 - Sur le document réponse, compléter le chronogramme d'évolution du diagramme d'états partiel de fonctionnement normal sachant qu'à l'instant initial, le coffre est fermé et que la valeur préprogrammée de γ_{MAXI} est de 90° .

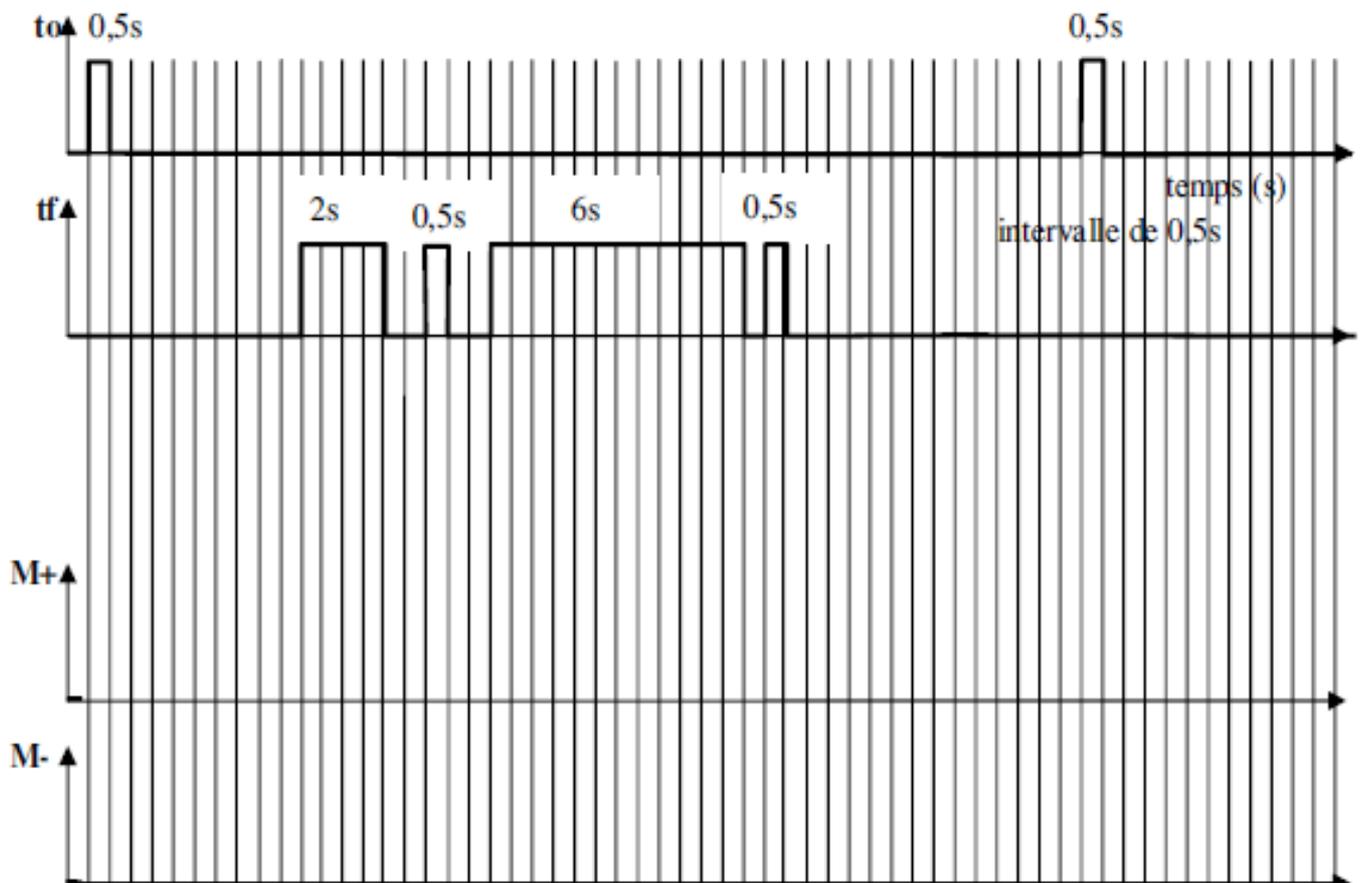
Le chronogramme précédent laisse apparaître que l'utilisateur a modifié la valeur γ_{MAXI} .

Question 2 - Quelle est la nouvelle valeur de γ_{MAXI} ?

Question 3 - Comment l'utilisateur doit-il procéder afin d'augmenter γ_{MAXI} ?



□ Chronogramme d'évolution



TD3 : Système d'ouverture de porte de TGV

Etude de la commande de la porte en mode dégradé

L'objectif est d'établir le diagramme d'états qui modélise le comportement du cycle ouverture/fermeture avec surveillance du courant moteur.

Objet de l'étude

Le transport ferroviaire, concurrencé par la voiture sur les courtes et moyennes distances et par l'avion sur les longues distances, a dû trouver des solutions adaptées pour continuer à croître. Avec le développement du train à grande vitesse, les caractéristiques du marché du transport ferroviaire de voyageurs se sont rapprochées de celles du transport aérien.



Les performances du TGV (vitesse, confort, proximité des gares) ont conduit à un essor important du trafic de voyageurs. Les opérateurs ferroviaires ont dû par conséquent adapter le cahier des charges de leurs équipements pour faire face à cette demande accrue. Le matériel voyageur a ainsi subi une évolution et une modernisation sans précédent depuis plusieurs années.

Nous nous intéresserons dans le cadre de ce travail au système « porte ».

Orientation de l'étude

Au cours de son cycle de vie, de sa conception à son recyclage, les conditions de fonctionnement du système d'ouverture fermeture évoluent, influençant notablement ses performances. Une observation continue de certains paramètres vitaux est indispensable au bon fonctionnement de ce système. Cette surveillance poursuit un double objectif :

- A court terme, celui de maintenir des performances compatibles avec celles définies par le cahier des charges ;
- A plus long terme, celui de planifier des opérations de maintenance corrective afin de pallier tout risque de défaillance.

Présentation du système

La figure 1 montre l'interface assurant, à partir des informations délivrées par l'unité centrale de commande, la fermeture hermétique et le verrouillage de la porte. L'ordre de fermeture de la porte est donné soit par appui sur le bouton situé sur la porte soit via un ordre fourni par le conducteur depuis son pupitre. L'information est traitée par l'unité centrale qui pilote un moteur électrique permettant, dans un premier temps, de fermer la porte grâce à un mécanisme pignon-crémaillère puis, dans un deuxième temps, lorsque la position de fermeture est détectée, de verrouiller la porte. La détection de la position fermée enclenche également le gonflage des joints assurant l'herméticité de la fermeture. L'information de fin d'opération est transmise au conducteur sur son pupitre.

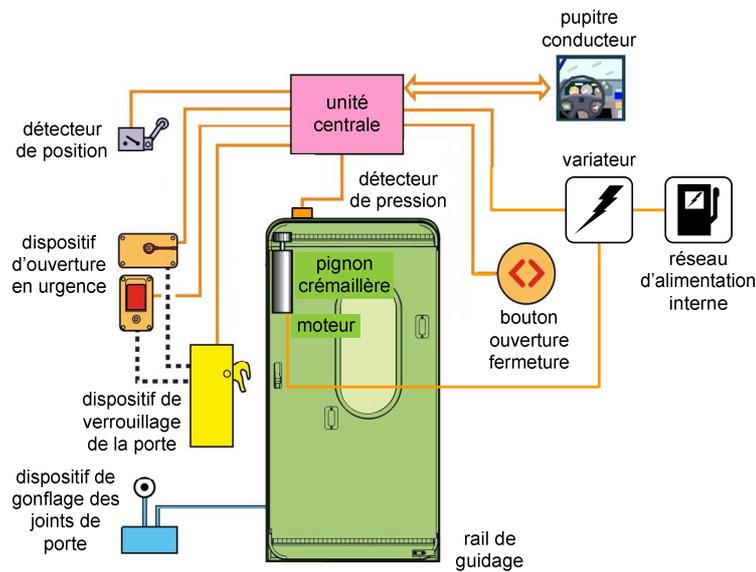


Fig. 1 : interface fonctionnelle du système porte

Etude de la commande de la porte en mode dégradé

Lors de la présence d'un obstacle entre la porte et la cloison, le courant d'alimentation du moteur électrique augmente. La mesure de ce courant moteur $i_m(t)$ est nécessaire à la construction de l'estimation du couple résistant $C_r(t)$ agissant sur le moteur. Cette information est donc utilisée comme paramètre de sécurité lors des manœuvres de la porte, principalement pour la détection d'un obstacle en phase de fermeture (cf. figure 2).

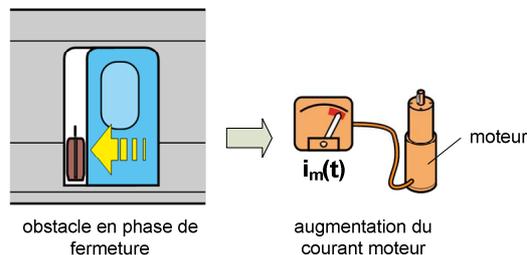


Fig. 2 : principe de protection en phase de fermeture

Le tableau ci-dessous définit les entrées-sorties du sous-ensemble « Système d'ouverture de porte » relatif aux modes d'ouverture et de fermeture :

Variables associées aux événements		Activités	
dou	Demande ouverture	OP	Ouvrir la porte
dfe	Demande fermeture	FP	Fermer la porte
pou	Porte ouverte	VP	Verrouiller la porte
pfe	Porte fermée	DVP	Déverrouiller la porte
pve	Porte verrouillée		
pde	Porte déverrouillée		

❑ Comportement du bloc <Sous-ensemble Porte> en fonctionnement normal seul.

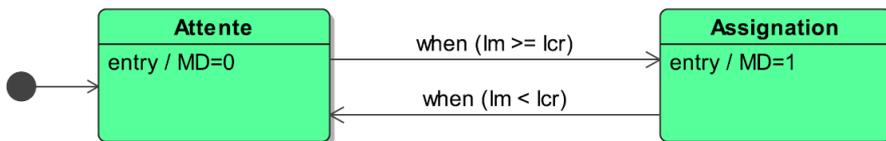
Ce bloc peut prendre successivement les cinq états suivants :

- Etat 1 : Porte fermée et verrouillée (avec activité sur événement : *Déverrouiller la porte*)
- Etat 2 : Ouverture (avec activité d'état : *Ouvrir la porte*)
- Etat 3 : Attente porte ouverte
- Etat 4 : Fermeture (avec activité d'état : *Fermer la porte*)
- Etat 5 : Verrouillage (avec activité d'état : *Verrouiller la porte*)

Question 1 : A partir de la description donnée et en utilisant les notations pour les variables et activités du tableau, élaborer un diagramme d'états du bloc <Sous-ensemble porte> qui décrit son comportement lors d'un cycle d'ouverte/fermeture sans tenir compte de la surveillance du courant de l'actionneur électrique.

❑ Comportement du bloc <Sous-ensemble Porte> en fonctionnement normal et en mode dégradé.

La surveillance du courant moteur par le bloc <Partie commande> nécessite l'utilisation d'une variable interne notée MD. Cette variable prend la valeur 1 lorsque le courant moteur devient supérieur à une valeur limite : $I_m \geq I_{cr}$ et prend la valeur 0 lorsque le courant $I_m < I_{cr}$. Le diagramme d'états ci-dessous précise l'assignation de la variable MD :



Pendant la fermeture, dès lors que cette valeur limite du courant I_{cr} est atteinte et dépassée durant plus de 0,6 s, le mouvement de fermeture doit s'interrompre et la porte doit se ré-ouvrir complètement.

Au bout de trois tentatives successives infructueuses de fermeture liées à la présence d'un obstacle, la porte doit rester en position ouverte. Une alarme lumineuse AL clignote alors sur le pupitre de commande informant le conducteur du dysfonctionnement.

Le cycle normal de fermeture ne peut reprendre qu'après acquittement de l'alarme par l'action d'un contrôleur sur un bouton poussoir sécurisé (noté : acquit) placé à proximité de la porte indiquant que l'obstacle a bien été retiré de la zone de manœuvre.

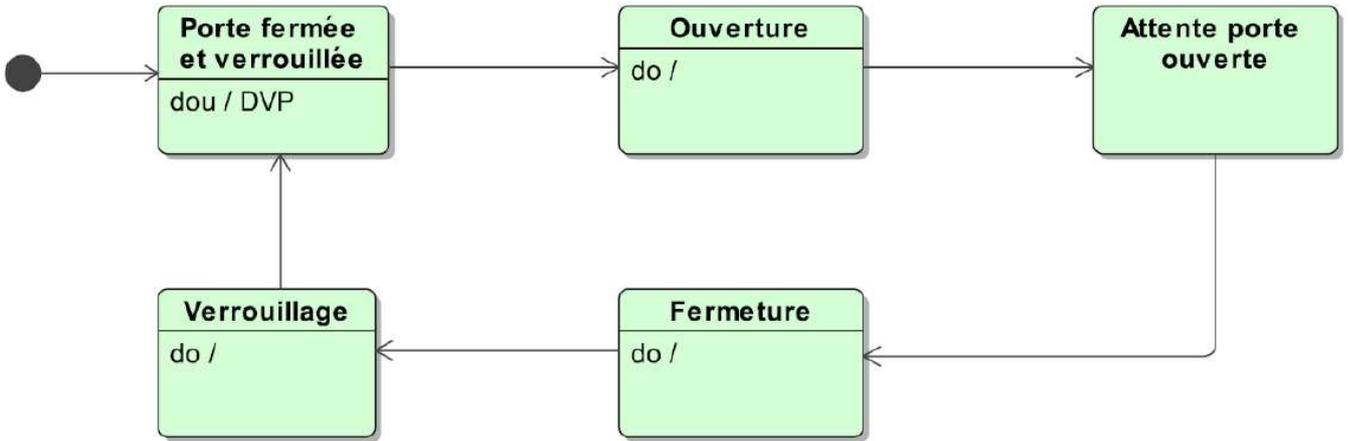
Variables supplémentaires		Activité supplémentaire	
MD	Mode dégradé	AL	Alarme lumineuse
C	Compteur des tentatives		
acquit	Bouton d'acquiescement		

Question 2 : Compléter le diagramme d'états en ajoutant les états et les transitions nécessaires à la description du comportement de la porte en mode dégradé.

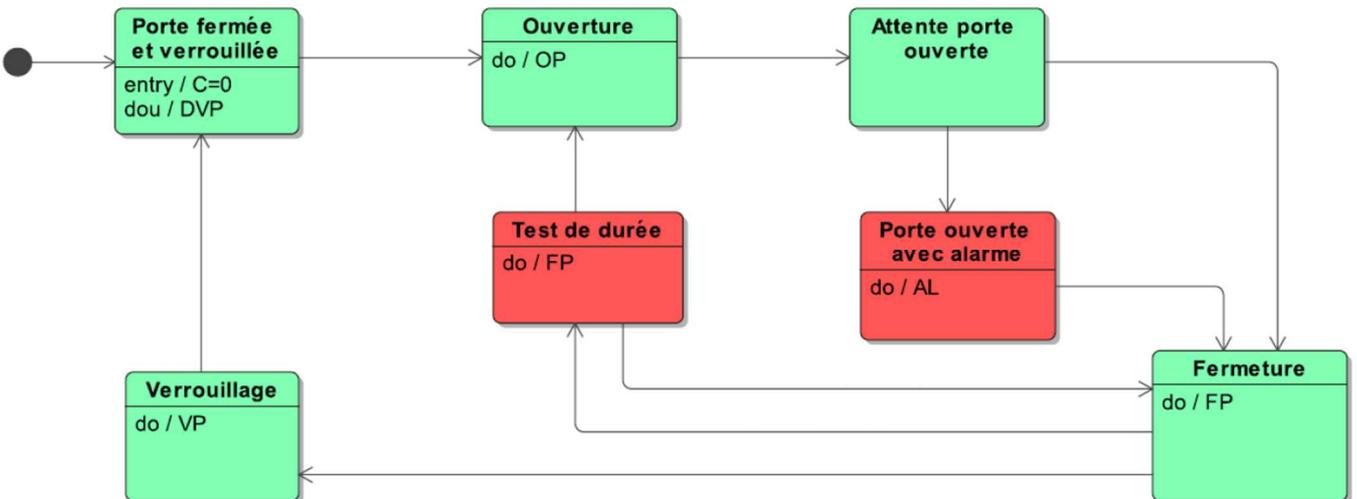
Remarque : il conviendrait, pour avoir une description complète du comportement du système porte dans tous ces modes de fonctionnement, d'élaborer les diagrammes d'activités détaillant les activités complexes présentes dans le diagramme d'états.

Porte de TGV – Document réponse

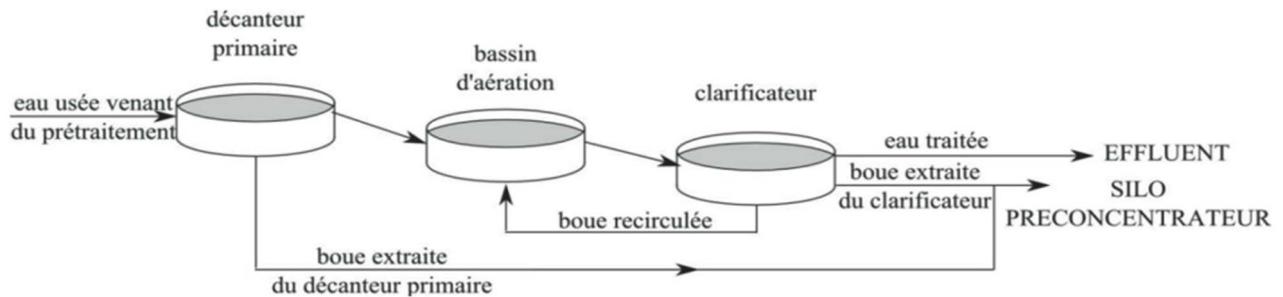
Question 1



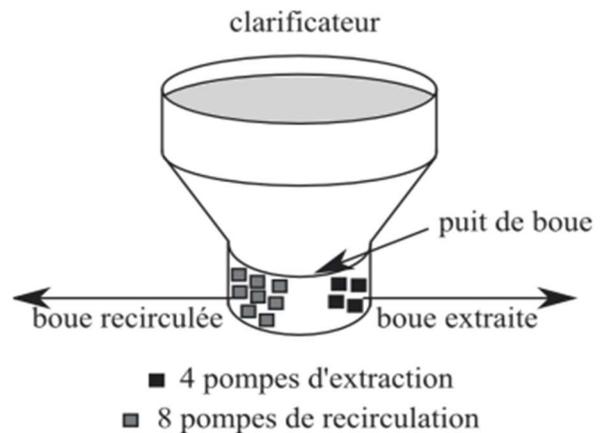
Question 2



TD4 : Station d'épuration



Après le passage dans le bassin de décantation primaire, les eaux passent dans le bassin d'aération où de l'air sous pression est injecté. L'oxygène de l'air permet aux bactéries contenues dans les boues de se développer en se nourrissant des matières organiques dissoutes. Le produit séjourne ensuite dans le clarificateur. Les bactéries tombent au fond du bassin et forment des boues. Un racleur (non représenté sur la figure) achemine ces boues vers le centre du clarificateur qui dispose d'un creux appelé « puits de boue ».



Ce « puits de boue » est équipé de 8 pompes immergées (dont 2 de secours) destinées à la recirculation des boues vers le bassin d'aération. Il est également équipé de 4 pompes immergées (dont 2 de secours) pour l'extraction des boues en excès vers le silo pré-concentrateur. Les pompes destinées à la recirculation ont un débit de 214 m³/h chacune, les pompes destinées à l'extraction ont un débit de 34 m³/h chacune.

On supposera que dans la phase de vie «fonctionnement journalier sans intempérie exceptionnelle», les pompes de secours ne fonctionnent pas.

Le cahier des charges impose un débit recirculation moyen horaire 320 m³/h ± 10 % et un débit d'extraction moyen horaire 11 m³/h ± 10 %.

Gestion de l'extraction du clarificateur

Pour pouvoir valider le débit des pompes, il faut en connaître la durée de fonctionnement moyenne horaire. Pour cela, il faudra calculer le temps de fonctionnement sur un cycle de « recirculation – extraction ». Le cycle de « recirculation – extraction » commence dès la mise en fonctionnement du système (dcy) et peut être interrompu avec la demande de fin de cycle (fcy).

Les durées des actions d'ouverture et de fermeture des vannes et de mises en rotation des différents éléments sont négligeables devant les temporisations.

1. Compléter le chronogramme du document réponse pour la durée d'un cycle « recirculation – extraction » et indiquer cette durée.
2. Dédire des chronogrammes la durée horaire moyenne de fonctionnement des pompes de recirculation et d'extraction. Connaissant le nombre et le débit des pompes, en déduire le débit moyen de recirculation et d'extraction et vérifier le cahier des charges.

