

CHAPITRE 1

MODELISATION MULTIPHYSIQUE

Mise à l'eau d'un robot sous-marin

Concours Centrale – MP 2019

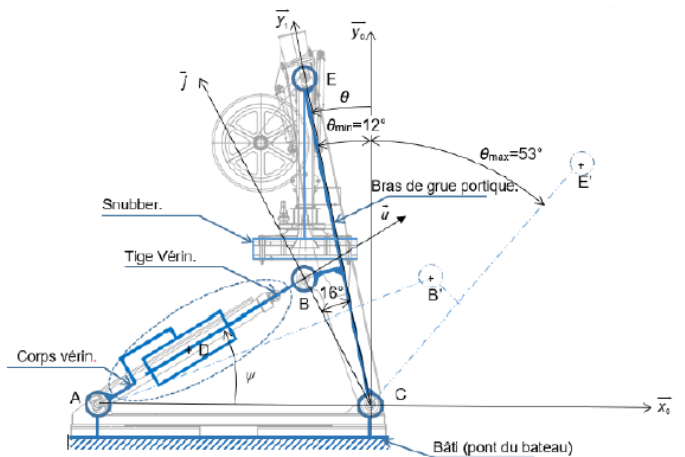
EXERCICE 1



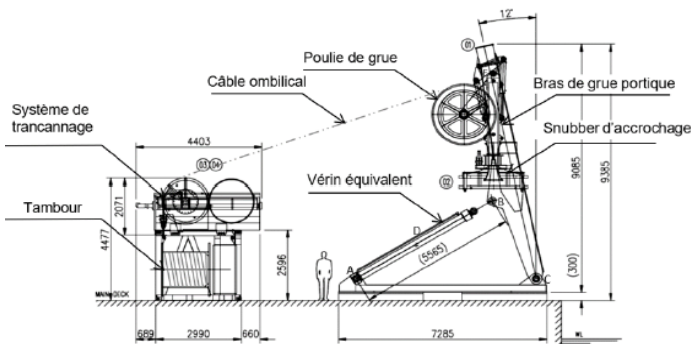
Pour réaliser l'ensouillage sous-marin de câbles, ceux-ci sont déposés sur le fond marin par un navire câblé. Le robot sous-marin ROV (Remotely Operated Vehicle) est déposé sur le fond marin par un bateau support et ensouille le câble provenant du navire câblé après l'avoir détecté et s'être aligné dans l'axe de celui-ci.

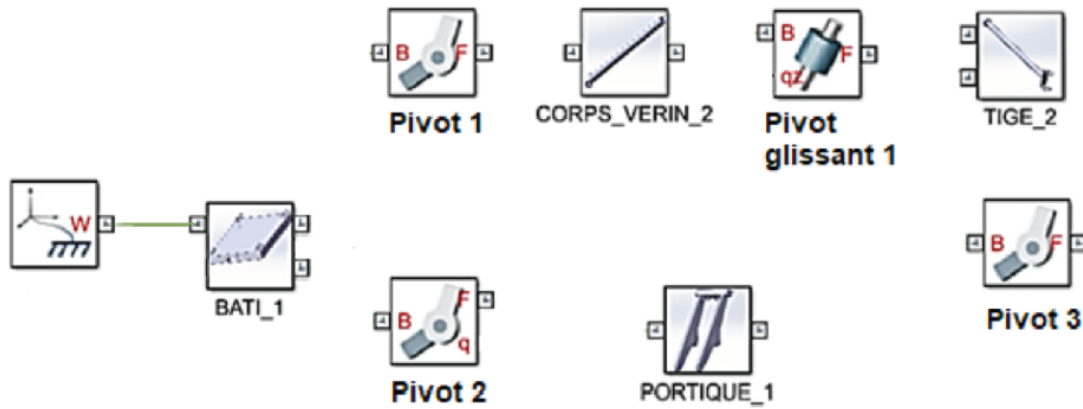
Pour transférer le ROV du pont du bateau support jusqu'à l'aplomb de la surface d'immersion une grue portique est utilisée. La grue portique est actionnée par un ensemble de deux vérins hydrauliques modélisés en un seul vérin équivalent pour cette étude.

Lors de la descente du ROV dans la mer, il est suspendu à un câble ombilical. Un bon équilibre hydrostatique est nécessaire pour assurer l'horizontalité du ROV pendant la descente.



**Question 1** À partir des figures précédentes, relier les composants du modèle de simulation multiphysique de la grue portique. Quel(s) ensemble(s) n'ont pas été modélisés ?





## EXERCICE 2



### La Seine Musicale

Concours Centrale – MP 2020

#### Savoirs et compétences :



La Seine Musicale est un équipement à vocation musicale à fort rayonnement culturel, dont l'objet est de créer ou d'aménager des espaces pour des concerts, des expositions, des installations permanentes ou provisoires.

L'un des défis architecturaux de ce projet consiste à mettre en mouvement la voile, équipée de 470 panneaux photovoltaïques, autour de l'auditorium, tout en garantissant une acoustique exceptionnelle.

Les deux demi-voiles sont mises en mouvement de manière indépendante par des chariots motorisés, ainsi qu'une couronne motorisée déplaçant chacun des sommets des demi-voiles par l'intermédiaire de bielles.

Chaque chariot (central et latéral) se déplace grâce à quatre galets, appelés galets de roulement, qui roulent sur les deux rails circulaires concentriques de la voie médiane de roulement et grâce à quatre autres galets de guidage qui roulent sur les côtés des deux rails. Chacun des deux chariots centraux est motorisé à l'aide de deux motoréducteurs qui entraînent chacun en rotation deux des quatre galets de roulement. Afin d'optimiser son rendement énergétique, cette voile se déplace chaque jour toutes les 15 minutes pour suivre le soleil du garage Est au garage Ouest.

Afin d'effectuer un premier dimensionnement en phase d'avant-projet des solutions techniques choisies, un modèle multiphysique simple de la chaîne de traction d'un chariot motorisé est réalisé (Figure 2). **On se place dans le cas le plus défavorable avec un seul motoréducteur fonctionnel qui entraîne deux galets de roulement (roue).**

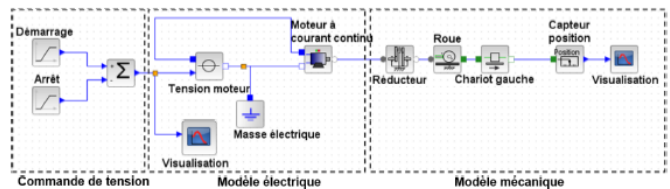


FIGURE 2 – Modèle multiphysique du déplacement d'une demi-voile

- Le modèle multiphysique est constitué de trois parties :
- commande en tension qui résulte de la superposition de deux rampes pour générer la loi de vitesse trapézoïdale;
  - modèle électrique constitué d'un moteur à courant continu alimenté;

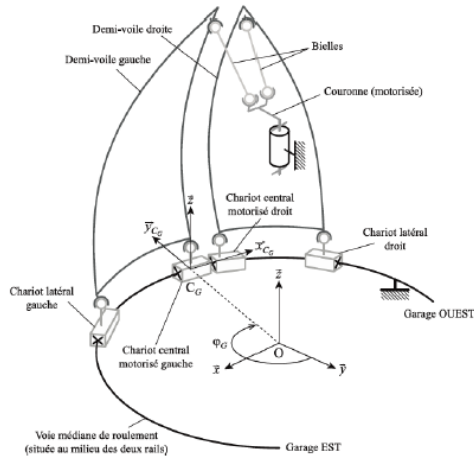


FIGURE 1 – Schéma d'architecture de la voile solaire

- modèle mécanique constitué d'un réducteur, d'une roue de chariot, d'une masse mobile de la demi-voile et d'un capteur de position.

Lors de son déplacement, il peut arriver que la voile soit soumise à l'effet du vent. Il est donc important de le prendre en compte dans le modèle pour évaluer son impact sur le déplacement. Par ailleurs, afin d'assurer une durée de vie du moteur conforme à son mode de fonctionnement, il est important de pouvoir estimer la consommation électrique du moteur en fonctionnement.

Le modèle Figure 2 a donc été enrichi de nouveaux blocs, à savoir : un capteur de courant, un capteur de tension et l'effort extérieur lié au vent (échelon).

**Question 1**

Sur la figure suivante, compléter les liens du modèle proposé pour prendre en compte les deux capteurs.

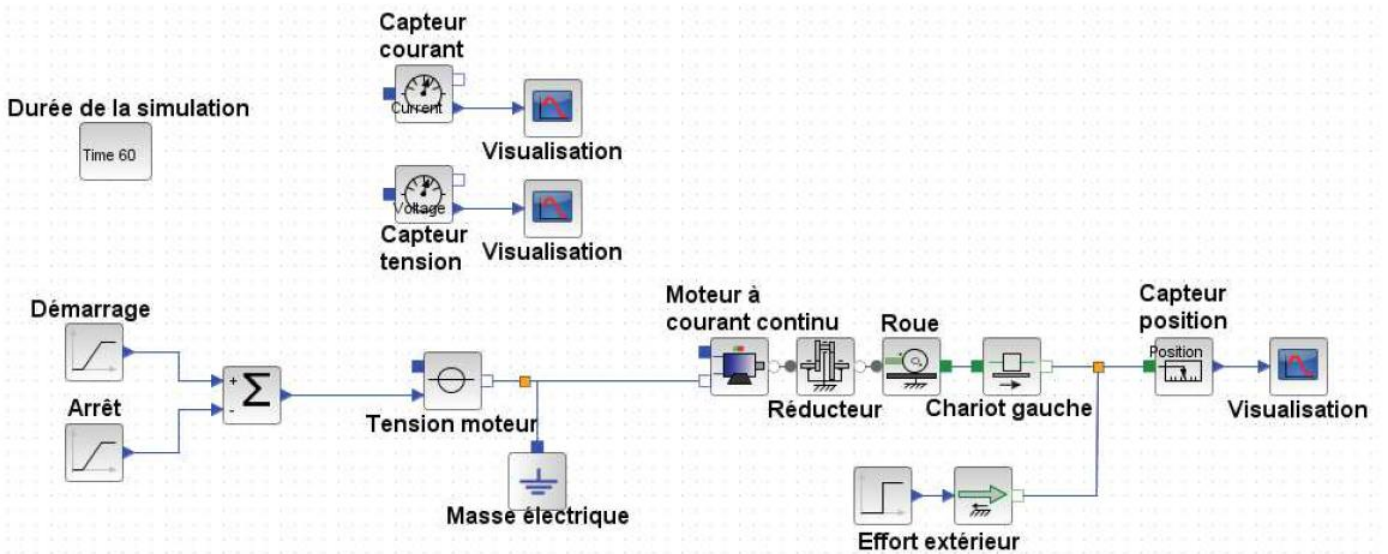


FIGURE 3 – Modèle multiphysique du déplacement d'une demi-voile



## Direction automatique découplée

Banque PT – SI A 2017

### EXERCICE 3



Depuis maintenant de nombreuses années, les commandes de vol d'avions sont passées d'une technologie purement mécanique à la technologie par fil (Fly by Wire). Le secteur automobile suit cette tendance qui présente de nombreux avantages. C'est le système de direction par fil (Steer by Wire), encore nommé direction découplée, qui fait l'objet de l'étude proposée.

La Figure 4 donne une vue de cette unité sous la forme d'une maquette numérique à laquelle est associé le schéma cinématique qui servira de base à l'étude mécanique.

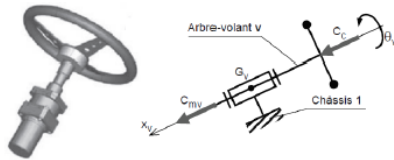


FIGURE 4 – Unité de pilotage (chaîne d'énergie) et schéma cinématique

L'unité de pilotage est constituée d'une chaîne d'énergie chargée de solliciter le volant par un couple  $C_{mv} \vec{x}_v$  qui résiste à l'action du conducteur  $C_c \vec{x}_v$  quand celui-ci cherche à tourner le volant.

En effet, la simple dynamique du système mécanique de l'unité de pilotage ne donnerait pas au conducteur la sensation de manier la direction d'une automobile. La composante  $C_{mv}$  est donc élaborée pour que la dynamique du volant en termes d'inertie et de raideur soit équivalente

à celle d'une direction conventionnelle optimisée selon le type de conduite visée.

La composante  $C_{mv}$  est élaborée à partir de la consigne d'angle du volant  $C_{v\_ref}$ , transmise par le générateur de consigne intégré au contrôleur de modèles, et de la composante  $C_c$  du couple conducteur.

Le modèle de la structure sous la forme d'un schéma bloc décrivant le comportement asservi de cette unité est donné Figure 5. On précise que la variable d'entrée est  $\theta_{v\_ref}(p)$ , que la variable de sortie est  $\theta_v(p)$  et que la variable  $C_c(p)$  est considérée comme une perturbation. Un signal de commande  $U_{mv}(p)$  pilote la motorisation.

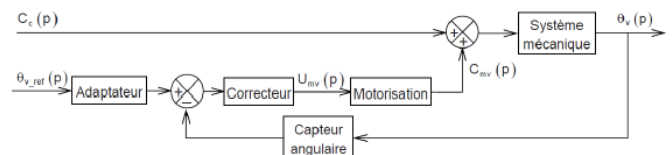
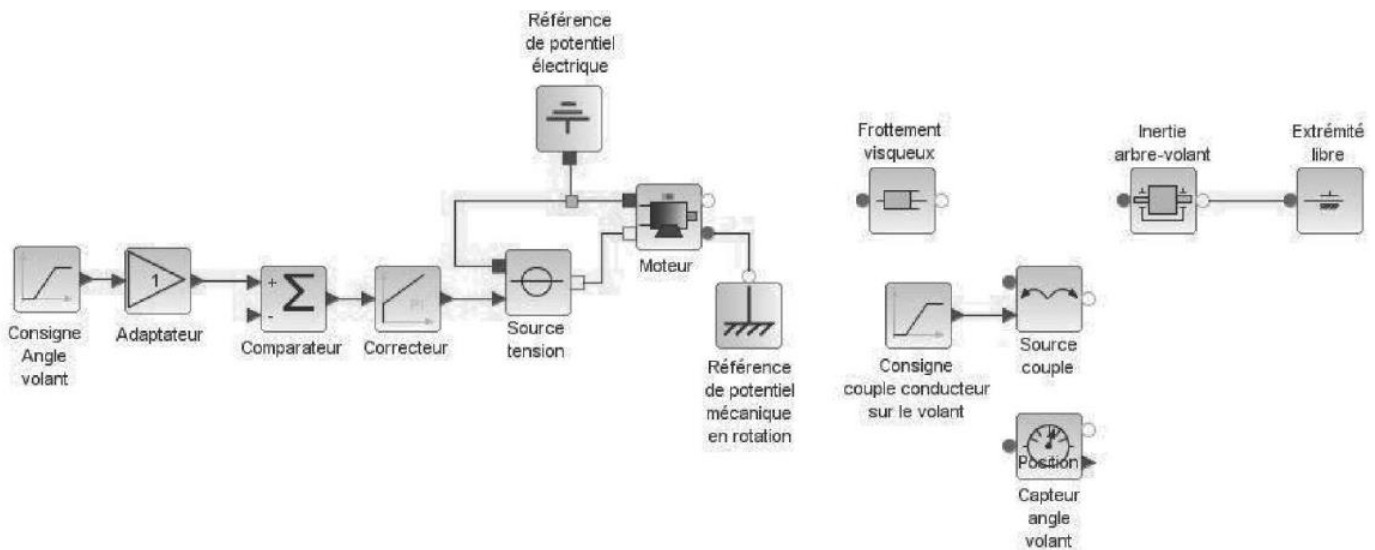


FIGURE 5 – Unité de pilotage (chaîne d'énergie) et schéma cinématique

Un modèle acausal de cette structure dont certains composants ne sont pas reliés aux autres, est donné sur le cahier réponses.

**Question 1** Compléter ce modèle en traçant les liens manquants qui donneraient un modèle équivalent au schéma bloc de la Figure 5.



## EXERCICE 4

### MODELISATION HYDRAULIQUE ET PNEUMATIQUE

#### Véhicule à trois roues Clever

Banque PT 2013 – SIA.

On s'intéresse au véhicule à 3 roues Clever.



Le groupe motopropulseur est placé à l'arrière du véhicule. À l'avant, l'habitacle repose sur une roue de moto et pivote par rapport au bloc arrière autour d'une liaison pilotée angulairement par le biais de deux vérins hydrauliques. L'inclinaison est contrôlée par un ordinateur de bord en fonction de l'angle au volant et de la vitesse.



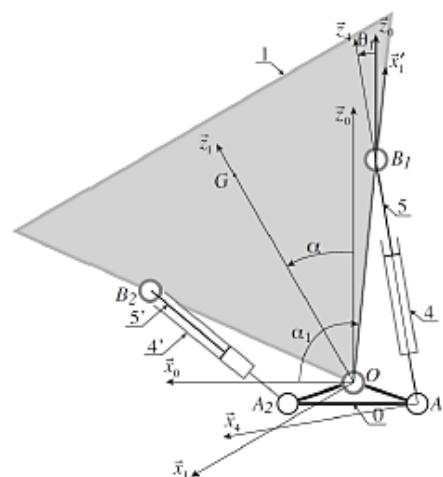
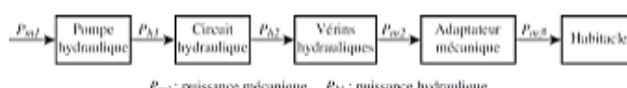
Le système d'inclinaison de l'habitacle est assuré par un système constitué :

- d'un calculateur qui détermine le mouvement et la position à donner à l'habitacle en fonction des conditions d'utilisation;
- d'un système hydro-mécanique de transmission de puissance et d'adaptation de mouvement;
- d'un système de contrôle de l'inclinaison de l'habitacle.

La chaîne de transmission de puissance et d'adaptation de mouvement est composée :

- d'une pompe à engrenages actionnée par le moteur à gaz via un système de poulies/courroie;

- d'un circuit hydraulique;
- de 2 vérins hydrauliques simple effet;
- d'un système mécanique d'adaptation de mouvement afin de transformer le mouvement de translation des tiges des vérins en rotation de l'habitacle.



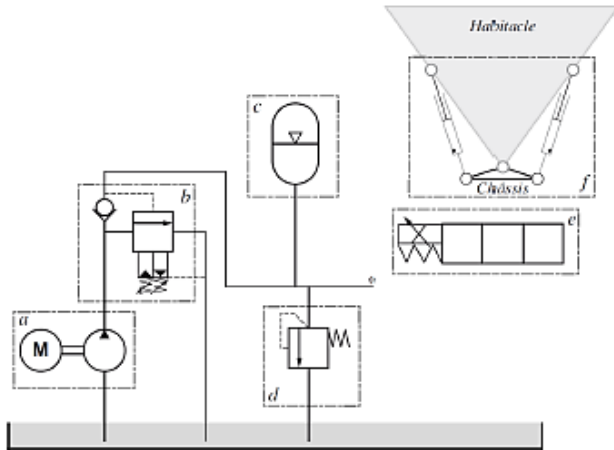
Les deux vérins hydrauliques transforment la puissance hydraulique venant du servo-distributeur afin d'incliner l'habitacle. Ceux-ci sont disposées entre l'habitacle et le châssis du module arrière de propulsion. Le calculateur autorise ou non, l'alimentation en huile de l'un des vérins provoquant la sortie de tige, pendant que l'huile s'évacue de l'autre vérin. Ainsi l'habitacle s'incline du côté opposée au vérin alimenté. Lorsque l'habitacle est en position centrale, les tiges de vérins ont en position médiane.

Le circuit hydraulique est composé de 6 modules :

- une pompe à engrenages entraînée par le moteur à gaz;
- un clapet anti-retour et une valve de décharge tarée pour s'enclencher à 160 bar et se remettre en position fermée à 100 bar;
- un accumulateur oléopneumatique de volume nominal 1.4 L;
- un limiteur de pression;
- un servo-distributeur à effet proportionnel 4/3 à centre fermé;

- deux vérins simple effet, de diamètre 32 mm pour chaque piston et de 200 mm de course.

**Question 1** Compléter le câblage du circuit hydraulique à partir du signe « \* », ainsi que le schéma du servo-distributeur.



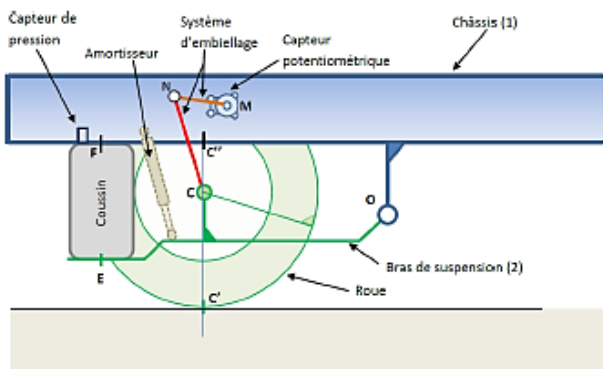
Au démarrage du véhicule, la valve de décharge du module (b) est fermée. Le distributeur à effet proportionnel (e) est en position médiane, les vérins sont donc immobiles. La commande des vérins est initialement bloquée par une temporisation.

**Question 2** En considérant les conditions initiales évoquées, expliquer, en commençant à l'instant de démarrage de la pompe, le comportement du circuit hydraulique en précisant clairement les différentes phases de fonctionnement. Quel est l'utilité de la temporisation ? On souhaite remplacer cette temporisation par un capteur. Préciser la grandeur qu'il devra mesurer. Donner un avantage et un inconvénient du remplacement de la temporisation par ce capteur.

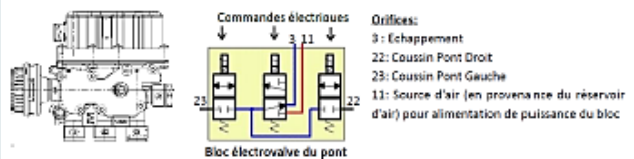
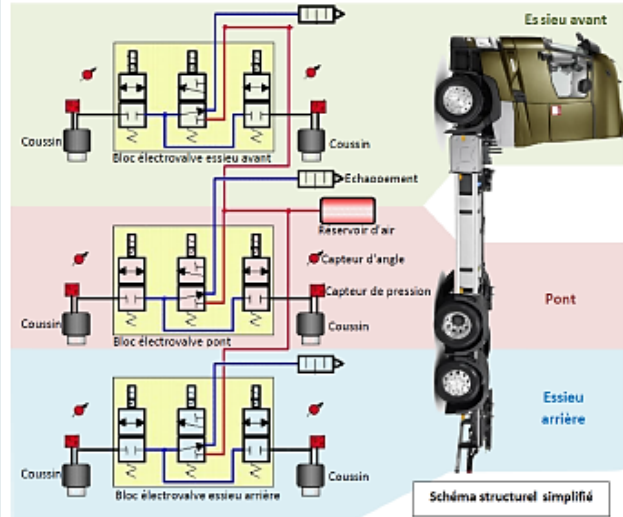
**Suspension pneumatique de véhicule de transport routier**

X-ENS PSI 2016.

La suspension assure la liaison élastique entre le châssis et les essieux. Elle permet principalement d'atténuer les accélérations verticales dues aux variations de profil de la chaussée, contribuant ainsi à l'amélioration du confort et à une meilleure tenue de route.



Chaque roue possède une suspension pneumatique sur coussin pilotée par des électrovannes, en fonction de données mesurées par des capteurs de pression et des capteurs de position. Un calculateur envoie des commandes électriques aux électrovannes en fonction des besoins.



Lorsque le niveau mesuré est inférieur à la valeur de consigne (niveau du châssis par rapport au sol), l'électrovalve est commandée de manière à provoquer le gonflage des coussins. Lorsque le niveau a dépassé la consigne, on commande la vidange des coussins.

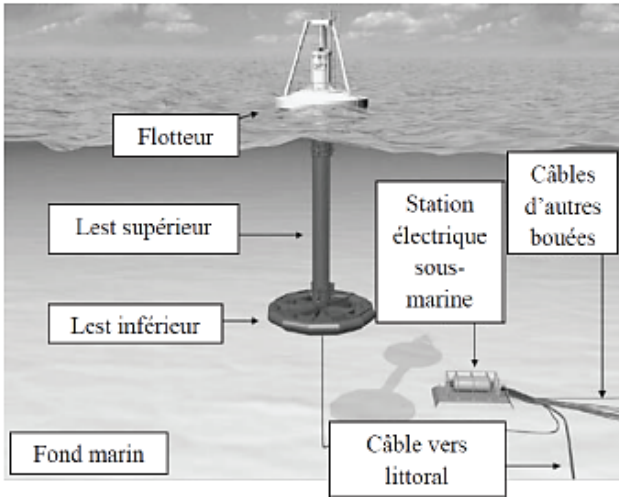
**Question 1** Représenter les trois distributeurs dans la situation de gonflage, puis dans la situation de vidange des coussins.

**Bouée houlomotrice**

CCP PSI 2016.

L'énergie produite à partir de la houle est appelée houlomotrice (ou énergie des vagues). Cette énergie est le plus souvent transformée en énergie électrique.





Le système de conversion d'énergie est schématisé sur la figure suivante.

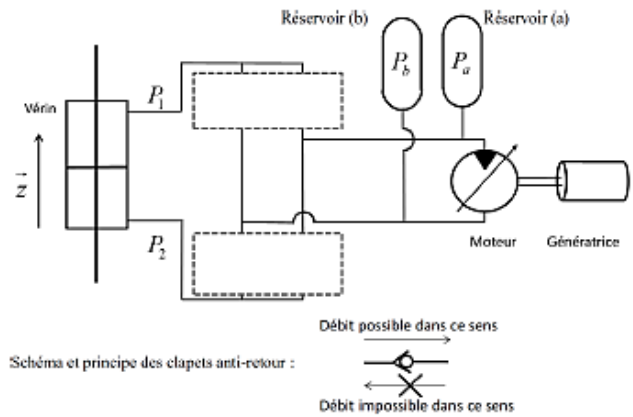
Le vérin hydraulique est entraîné par le mouvement relatif de translation entre le flotteur et le lest. La translation du piston par rapport au cylindre du vérin est donc également paramétrée par le déplacement  $z(t)$  par rapport à la position d'équilibre. La section utile du piston est notée  $S_p$ . Les pressions dans les chambres supérieure et inférieure du vérin sont notées respectivement  $P_1$  et  $P_2$ .

Un réservoir accumulateur haute pression (a) et un réservoir accumulateur basse pression (b) permettent de maintenir les pressions  $P_a$  (pression d'admission du

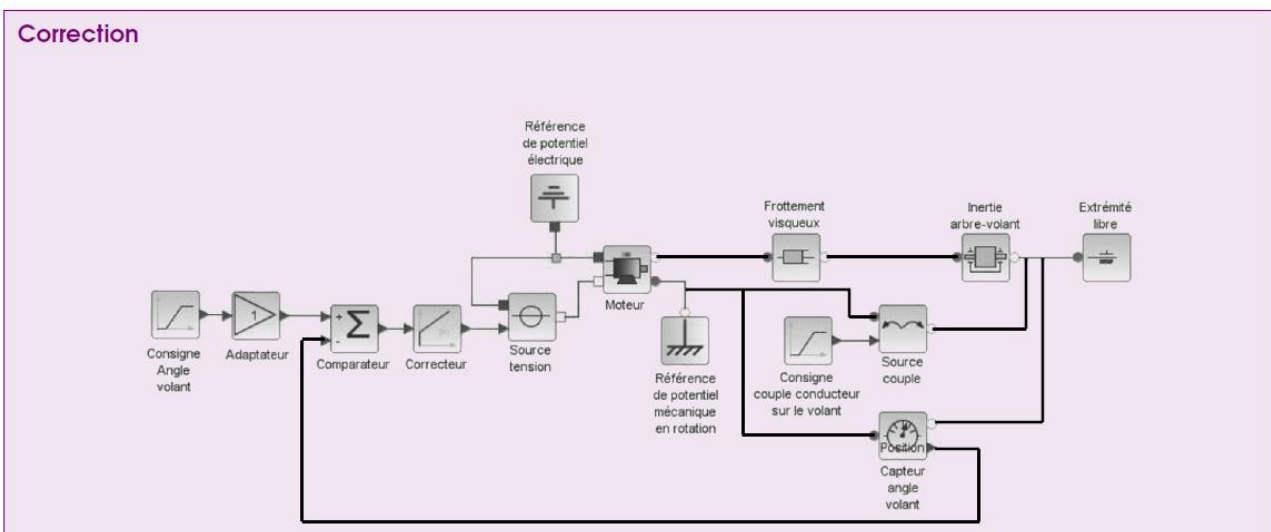
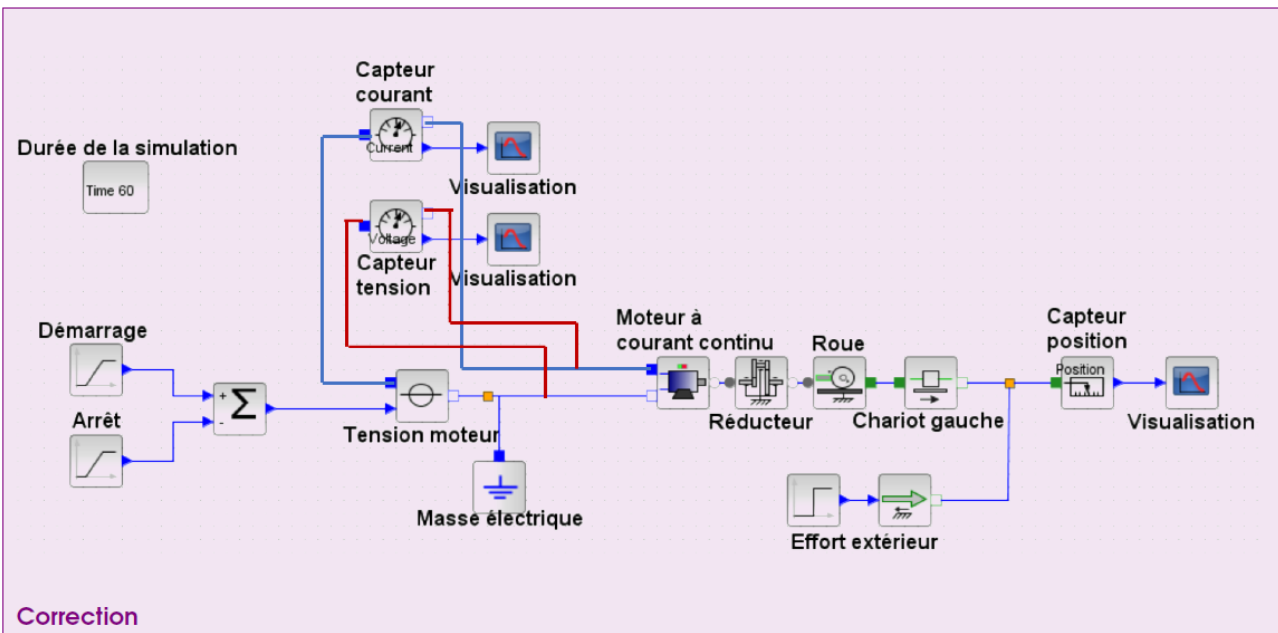
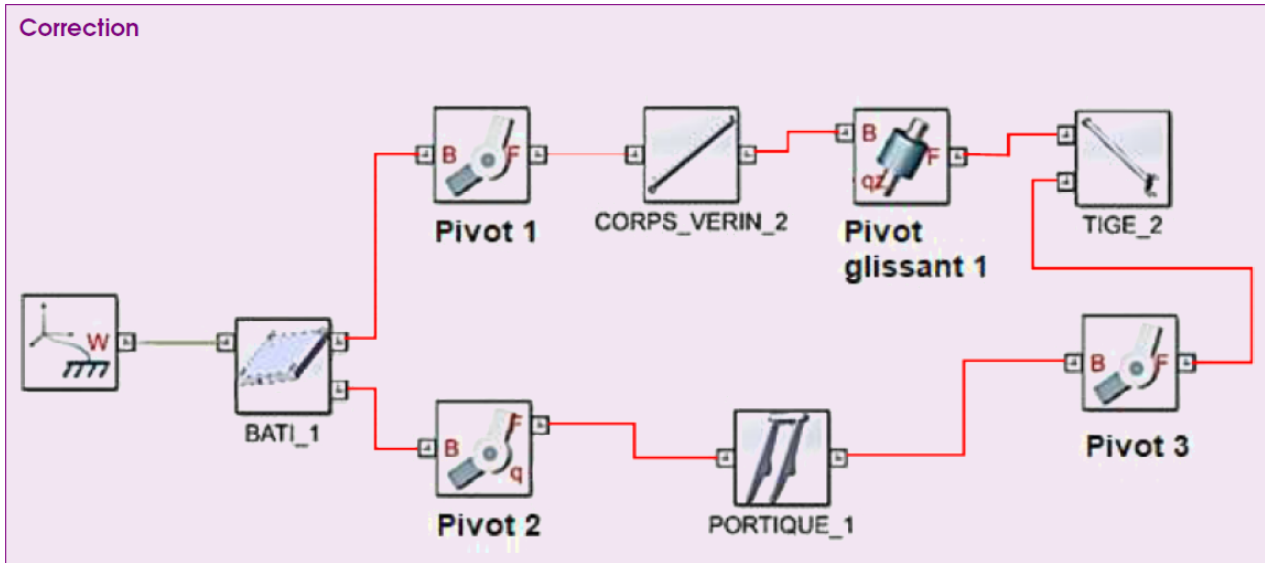
moteur hydraulique) et  $P_b$  (pression de refoulement du moteur hydraulique) quasi-constantes en régime établi.

Un ensemble de clapets anti-retour permet de générer un débit volumique unidirectionnel  $Q_m(t)$  vers le moteur hydraulique, quel que soit le sens de déplacement du piston. Les pertes induites par ce circuit redresseur seront négligées. On pourra alors considérer en régime établi, et en première approximation, les relations suivantes entre les pressions dans les réservoirs et dans les chambres du vérin :  $P_a = \max(P_1, P_2)$  et  $P_b = \min(P_1, P_2)$ .

**Question 1** Compléter les zones en pointillés du schéma hydraulique en dessinant les clapets anti-retour conformément à la description précédente.



**CORRIGE**



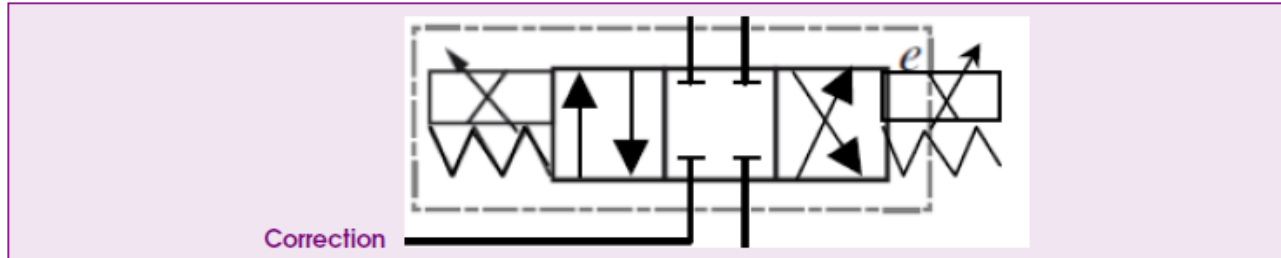


Véhicule à trois roues Clever

Banque PT 2013 – SIA.

On s'intéresse au véhicule à 3 roues Clever.

**Question 1** Compléter le câblage du circuit hydraulique à partir du signe « \* », ainsi que le schéma du servo-distributeur.



Au démarrage du véhicule, la valve de décharge du module (b) est fermée. Le distributeur à effet proportionnel(e) est en position médiane, les vérins sont donc immobiles. La commande des vérins est initialement bloquée par une temporisation.

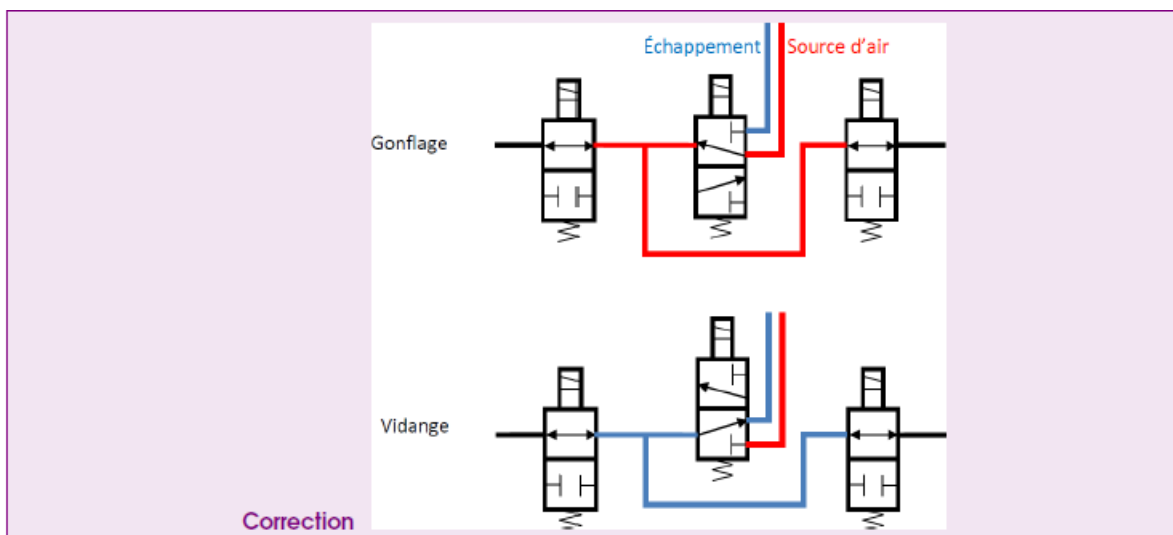
**Question 2** En considérant les conditions initiales évoquées, expliquer, en commençant à l'instant de démarrage de la pompe, le comportement du circuit hydraulique en précisant clairement les différentes phases de fonctionnement. Quel est l'utilité de la temporisation ? On souhaite remplacer cette temporisation par un capteur. Préciser la grandeur qu'il devra mesurer. Donner un avantage et un inconvénient du remplacement de la temporisation par ce capteur.

**Correction** Démarrage de la pompe et montée en pression du circuit avec remplissage de l'accumulateur (c).  
 À la fin de la temporisation le distributeur peut être commandé et ainsi alimenter les vérins.  
 Si la pression augmente trop, alors le limiteur de pression (d) renvoie une partie du fluide vers le réservoir et si c'est insuffisant alors (b) permet une décharge du circuit (ouverture vers le réservoir jusqu'à atteindre un niveau bas réglé).  
 La temporisation permet d'attendre qu'un niveau de pression suffisant dans le circuit soit atteint.  
 Pour remplacer la temporisation on peut mesurer la pression dans le circuit ou plus simplement détecter le niveau de pression satisfaisant pour le fonctionnement à l'aide d'un pressostat.  
 La solution utilisant un capteur de pression est plus sûre que la temporisation qui pourrait autoriser la commande du distributeur alors que la pression dans le circuit est encore insuffisante.  
 (UPSTI).

Suspension pneumatique de véhicule de transport routier

X-ENS PSI 2016.

**Question 1** Représenter les trois distributeurs dans la situation de gonflage, puis dans la situation de vidange des coussins.



## Bouée houlomotrice

CCP PSI 2016.

**Question 1** Compléter les zones en pointillés du schéma hydraulique en dessinant les clapets anti-retour conformément à la description précédente.

