

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2017

Corrigé

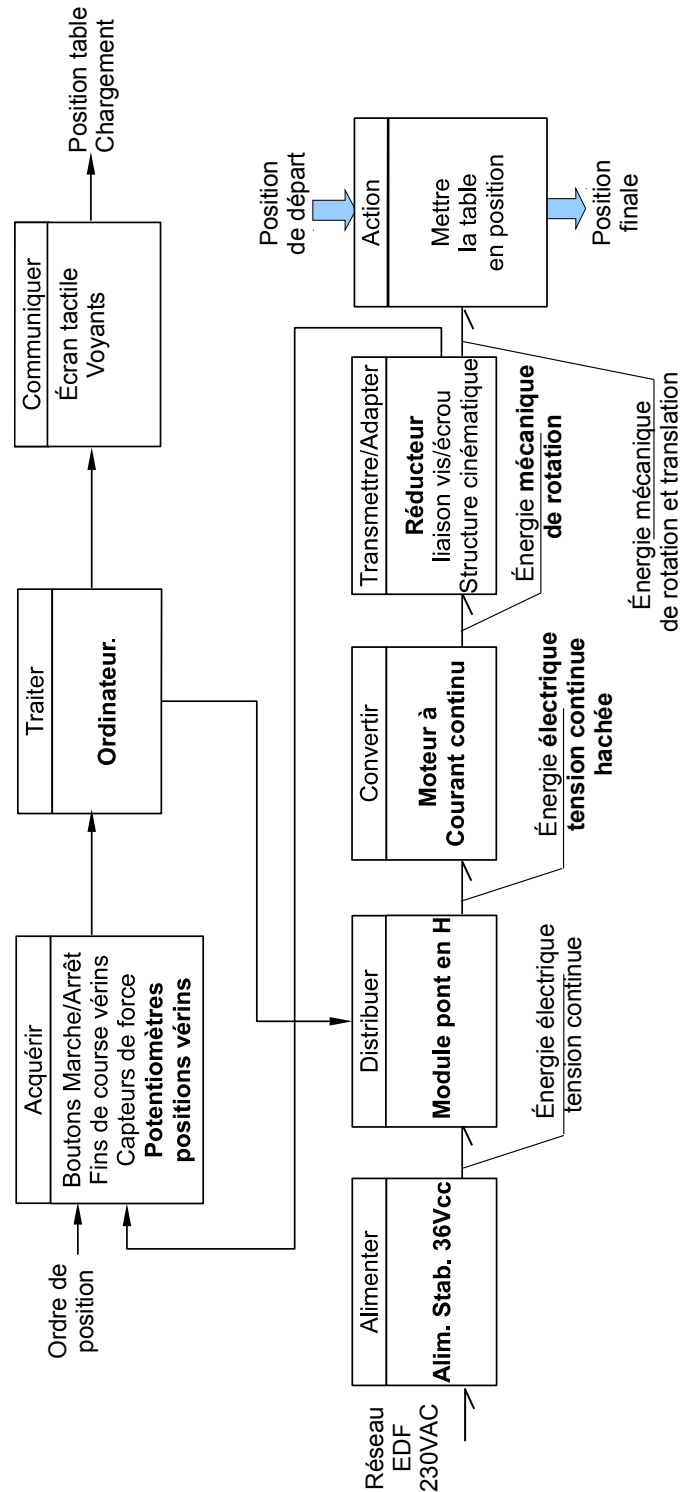
Ce corrigé comporte 10 pages numérotées de 1 sur 10 à 10 sur 10.

Systeme tangible deployable et reconfigurable actif

2. Analyse fonctionnelle du système

Q1. Sur le document réponse DR1, **compléter** le diagramme de la structure fonctionnelle du système en plaçant les composants manquants. **Indiquer** la nature des énergies qui sont repérées.

Document réponse DR1.



Q2. Définir la nature des informations (analogique ou numérique) échangées entre les capteurs de force et les modules repérés 6 dans le document technique DT1. Expliquer par quel(s) support(s) sont transmises ces informations entre les modules 6 et l'ordinateur. Préciser la nature de ces informations.

Les capteurs de forces transmettent un signal analogique image de l'effort mesuré.

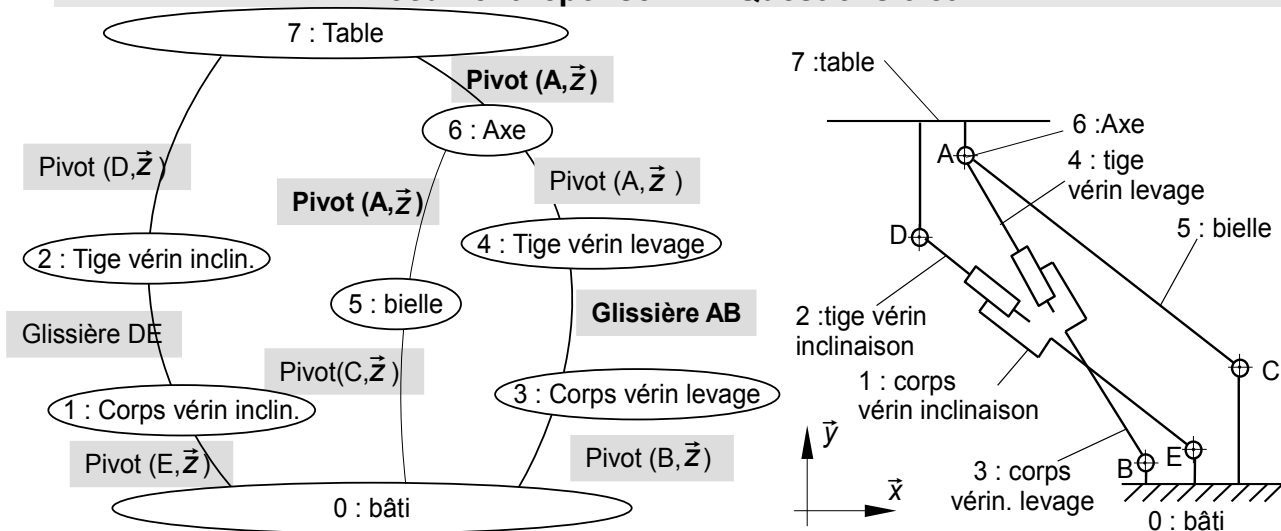
Les informations sont transmises sous forme numérique par l'intermédiaire du bus EtherCat entre les modules 6 et 1 puis par le bus Ethernet entre le module 1 et l'ordinateur.

3. Positionnement de la table

Q3. Sur le document réponse DR2, compléter le graphe des liaisons en précisant les caractéristiques de ces liaisons (axes, directions, normales).

Q4. Sur le document réponse DR2, représenter le schéma de la modélisation cinématique et repérer les éléments tracés par leur numéro de nomenclature ou leur nom.

Document réponse DR2. Questions 3 et 4



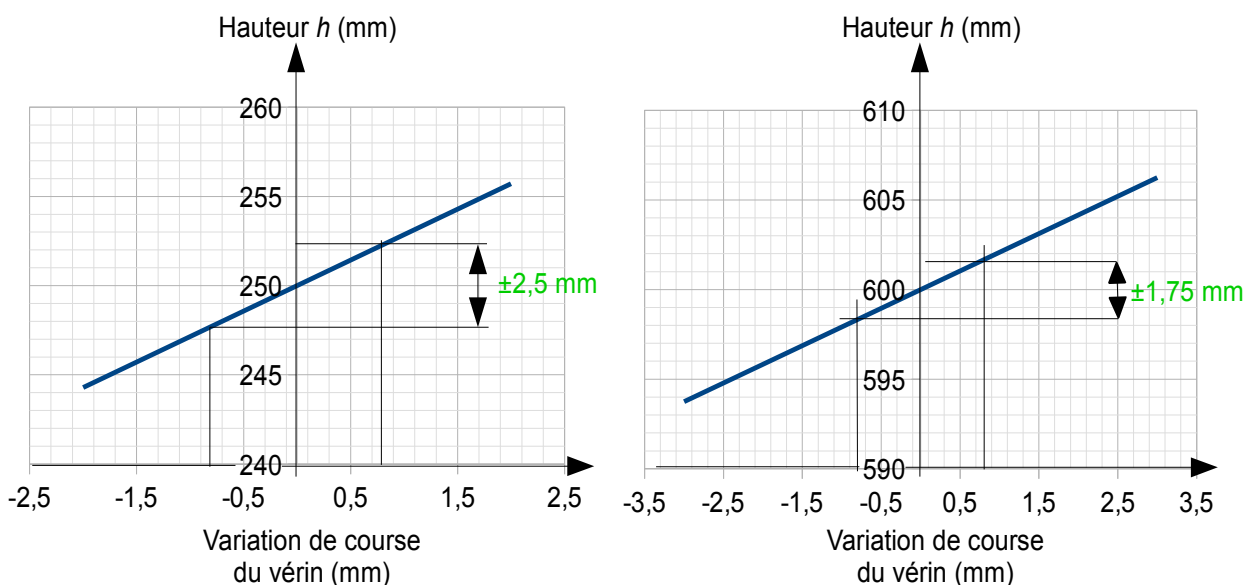
Q5. Lorsque la table est horizontale, la distance ED (vérin d'inclinaison) est égale à 580 mm. Expliquer la particularité de la géométrie des points ADEC présentée figure 6, et en déduire comment les deux vérins doivent être manœuvrés pour changer la hauteur de la table sans changer son inclinaison.

Dans cette configuration, le quadrilatère ADEC forme un parallélogramme déformable. La distance DE du vérin d'inclinaison doit rester constante (vérin d'inclinaison fixe). Le vérin de levage (distance AB) peut varier pour faire lever la table, sans conséquences pour son inclinaison.

Q6. Justifier, à partir de l'analyse des écarts de la figure 9, que la solution choisie par le constructeur doit permettre de respecter le cahier des charges.

Sur la figure 9, on observe que les écarts de position de la table entre la loi de commande programmée et la simulation reste toujours inférieure à 1,2 mm. La commande programmée satisfait donc à l'exigence de positionnement du cahier des charges qui est de $\pm 5\text{mm}$.

Q7. A partir de la figure 10, **vérifier** que la précision mesurée sur la commande de la course du vérin de levage permet de prédire que la précision sur la hauteur de la table, imposée dans le cahier des charges, sera respectée.



Pour $h_{\text{mini}}=250\text{mm}$, l'écart de positionnement de h relevé est :

$$\Delta AB = \pm 2,5 \text{ mm}$$

et pour $h_{\text{maxi}}=600\text{mm}$,

$$\Delta AB = \pm 1,75 \text{ mm}$$

L'erreur de positionnement maximum autorisée pour la table est fixée par le cahier des charges à $\pm 5\text{ mm}$.

La précision sur la course du vérin est donc suffisante pour assurer le positionnement de la table relativement au cahier des charges.

Q8. Déterminer le plus petit déplacement des vérins mesurable par cette chaîne d'acquisition.

Solution1 :

Les potentiomètres sont alimentés en (0V – 10V) échantillonnés sur 15 bits pour un déplacement de 150mm d'où le plus petit déplacement mesurable :

$$e_d = \frac{150}{2^{15}} = 0,00458 \text{ mm}$$

Solution 2 :

Le module échantillonne 2^{16} valeurs signées (de -32768 à +32767) pour une tension de (-10V à +10V) donc l'échelon de tension est de : $e_U = \frac{20}{65536} = 0,30517 \text{ mV}$, cela

correspond à un échelon de déplacement de $e_d = 150 \cdot \frac{0,00030517}{10} = 0,00458 \text{ mm}$

Q9. Conclure sur la capacité du système à positionner la hauteur de la table avec la précision indiquée dans le cahier des charges.

La capacité de mesure de la chaîne d'acquisition ainsi que la précision de positionnement des vérins permettent de positionner la hauteur de la table avec une précision suffisante.

Q10. Déterminer la valeur de K à saisir dans le modèle multi-physique.

Le rapport de transmission entre le frein et la vis est de

$$r = \frac{1}{k} = \frac{\omega_{vis}}{\omega_{frein}} = \frac{Z_4 \cdot Z_6}{Z_5 \cdot Z_7} = \frac{45 \cdot 16}{37 \cdot 58} = \frac{1}{2,98} \text{ . Soit } K = 2,98.$$

Q11. Analyser l'écart sur la précision de la hauteur de table obtenue par simulation à partir du modèle multi-physique et celle spécifiée dans le cahier des charges. **Déterminer** si la commande d'arrêt, lorsque la position est atteinte, suffit pour respecter le cahier des charges.

Pour une consigne de 280 mm, la hauteur atteinte est de 280,48 mm, soit un écart de 0,48 mm.

La tolérance de position est de ± 5 mm en hauteur. Ce mode de commande donne une précision de positionnement acceptable au regard du cahier des charges.

Q12. Relever l'écart entre les résultats de position du vérin obtenus par simulation et ceux obtenus par mesure. **Proposer** une modification à apporter sur le modèle multi-physique au niveau du couple de freinage du frein pour réduire cet écart. **Indiquer** l'influence de cette modification sur le déplacement simulé de la table.

On note un arrêt plus rapide et plus court (0,11 mm au lieu de 0,15 mm) que sur la simulation. L'action réelle du frein semble plus importante que celle modélisée. Le couple de freinage pourrait être augmenté. Le déplacement simulé de la table sera donc plus

court (meilleure précision de positionnement).

4. Déplacer la table en toute sécurité

Q13. Réaliser l'inventaire complet des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur la table. **Présenter** ces actions mécaniques avec le même formalisme que celui utilisé ci-dessus.

La table est soumise à 3 actions extérieures :

- son poids (action connue)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Poids}_{\text{Pesanteur} \rightarrow 7} \\ \vec{P}_{\text{Pesanteur} \rightarrow 7} \\ \vec{M}_{G, \text{Terre} \rightarrow 6} \end{array} \right\}_G = \left\{ \begin{array}{l} -m \cdot g \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_G$$

- l'action du vérin d'inclinaison sur la table en D, de direction connue (ED)

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{D}_{2 \rightarrow 7} \\ \vec{M}_{D, 2 \rightarrow 7} \end{array} \right\}_D = \left\{ \begin{array}{l} F_D \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_D$$

- et l'action inconnue de l'axe sur la table par la liaison pivot en A d'axe z.

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{A}_{6 \rightarrow 7} \\ \vec{M}_{A, 6 \rightarrow 7} \end{array} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} X_A \cdot \vec{x} + Y_A \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_A$$

Q14. Exprimer le principe fondamental de la dynamique appliqué à la table au point A. **En déduire** les équations vectorielles d'équilibre de la table.

Si les effets dynamiques sont négligeables, nous pouvons exprimer le principe fondamental de la dynamique appliqué à la table ainsi :

$$\left\{ \text{Poids}_{\text{Pesanteur} \rightarrow 7} \right\} + \left\{ D_{2 \rightarrow 7} \right\} + \left\{ A_{6 \rightarrow 7} \right\} = \{ 0 \}$$

Les 2 équations vectorielles obtenues sont les suivantes :

$$\vec{P}_{\text{Pesanteur} \rightarrow 7} + \vec{D}_{2 \rightarrow 7} + \vec{A}_{6 \rightarrow 7} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{A, \text{Pesanteur} \rightarrow 7} + \vec{M}_{A, 2 \rightarrow 7} + \vec{M}_{A, 6 \rightarrow 7} = \vec{0}$$

Q15. La table étant supposée à l'équilibre, **déterminer** l'action exercée par le vérin d'inclinaison. **Indiquer** comment est sollicité le vérin (traction ou compression) dans ce cas de chargement.

Les moments des actions ramenées en A donnent :

$$\vec{M}_{A, \text{Pesanteur} \rightarrow 7} = -0,194 \cdot m \cdot g \cdot \vec{z} \quad \text{et} \quad \vec{M}_{A, 2 \rightarrow 7} = 135 \cdot F_D \cdot \vec{z}$$

Les équations d'équilibre obtenues par projection sur $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ sont les suivantes :

Équations d'équilibres des forces :

$$\begin{aligned} X_A + F_D \cdot \cos(\theta) &= 0 \\ -m \cdot g + Y_A + F_D \cdot \sin(\theta) &= 0 \\ Z_A &= 0 \end{aligned}$$

Équations d'équilibre des moments :

$$\begin{aligned} L_A &= 0 \\ M_A &= 0 \\ -0,194 \cdot m \cdot g + 0,135 \cdot F_D &= 0 \end{aligned}$$

La résolution de ces équations nous donne :

$$F_D = \frac{0,194 \cdot m \cdot g}{0,135} = \frac{0,194 \cdot 68 \cdot 9,81}{0,135} = 965,58 \text{ N}$$

$$\text{Soit } \left\{ \mathcal{D}_{2 \rightarrow 7} \right\}_D = \left\{ \begin{array}{l} \vec{D}_{2 \rightarrow 7} = 965,58 \cdot \vec{x} \\ \vec{M}_{D,2 \rightarrow 7} = \vec{0} \end{array} \right.$$

Pour produire cette action sur la table, le vérin d'inclinaison est donc sollicité en traction.

Q16. Vérifier que le vérin d'inclinaison supporte la charge maximale qui peut lui être appliquée et qu'il satisfait aux critères d'irréversibilité en cas de coupure de l'alimentation électrique (contrainte C3 du cahier des charges).

Pour 1000N sur la table le vérin d'inclinaison supporte un effort maximum proche de 6500N ce qui est bien inférieur aux 13000 N de la limite de réversibilité.

Le vérin 36080CH permet de répondre aux critères du cahier des charges.

Q17. Conclure sur la capacité des vérins à mouvoir la table.

Le vérin est largement capable de déplacer la table puisque sa capacité de déplacement en charge est de 10000N, ce qui est au dessus des besoins de la table.

5. Capture de mouvement

Q18. À partir des caractéristiques techniques de la caméra (voir DT2), **justifier** l'intérêt d'utiliser le filtre N°3 (défini figure 27 du document technique DT2) et un revêtement de la table qui absorbe les rayonnements infrarouges.

Le filtre N°3 (passe bande) limite la bande de sensibilité optique du capteur CMOS à celle correspondant à la longueur d'onde des LEDs infrarouges (850 nm) et supprime la lumière visible. Les traitements de surface de la structure empêchent les réflexions parasites qui pourraient donner de faux marqueurs et perturber le logiciel de capture de mouvement.

Q19. En utilisant les caractéristiques des caméras définies sur le document technique DT2, **calculer** le nombre d'octets nécessaire pour coder une image. Puis **calculer** le débit maximal qui transiterait en entrée du contrôleur si celui-ci gérait 50 caméras. **Justifier** pourquoi il a été choisi d'utiliser des caméras intégrant un traitement des images.

Il y a 1 310 720 pixels (1280*1024) et autant d'octets pour définir une image.

Pour 50 caméras à 150 images/s, le débit théorique en entrée du contrôleur s'élèverait à 9,83 Go/s

Le protocole Ethernet 1Gbit/s reste insuffisant pour transmettre ces données et ces dernières dépassent largement les capacités de traitement du contrôleur. Il est donc pertinent de distribuer le traitement en local et de ne transmettre au contrôleur que les coordonnées des points observés sur chaque image. Le contrôleur se charge de la reconstruction spatiale.

Q20. Compléter, sur le document DR3, l'algorithme qui permet de filtrer les blobs en fonction du seuil de luminosité.

Document réponse DR3.

Q20. Compléter l'algorithme de filtrage des blobs.

```

1  DEBUT
   affecter N à seuil de luminosité
   POUR u ALLANT_DE ...0.. À ...1279.....
       POUR v ALLANT_DE 0.. À ...1023..
           SI  $G(u,v) \geq \textit{seuil}$ .....
               ALORS
                   affecter à Masque (u,v) la valeur 1....
               SINON
                   affecter à Masque (u,v) la valeur 0....
           FIN SI
       FIN POUR
   FIN POUR
FIN

```

avec $G_{(u,v)}$ niveau de gris codé sur 8 bits d'un pixel de coordonnées (u, v) dans R_i .
Masque (u,v) peut prendre les valeurs 1 ou 0.

Q21. À partir du tableau de la figure 25, **déterminer** comment évolue la précision

lorsque l'on abaisse le seuil de luminosité. Compte tenu des avantages et inconvénients à baisser le seuil de luminosité, **justifier** le réglage à appliquer.

L'abaissement du seuil améliore la précision tant que le nombre de pixels parasites n'est pas trop important. A partir d'un seuil de 64, on remarque dans l'exemple proposé que la précision diminue.

Le seuil de 128 est un compromis entre précision et sensibilité de détection

Q22. Relever l'erreur maximale de position du marqueur m1 de la table placé à 4 mètres de la caméra pour un seuil de luminosité fixé à 128. **Conclure** sur la capacité du système optique, pour ce seuil de luminosité, à vérifier le bon positionnement de la table avec une précision de ± 5 mm (fonction F1 du cahier des charges).

Pour un seuil de 128, l'écart de position du marqueur est de 0,11 pixel, soit pour un marqueur situé à 4 mètres une erreur de 0,5 mm sur la position du marqueur.

Le système de tracking ART a une précision 10 fois supérieure à la précision de positionnement requise par le cahier des charges, il peut donc être utilisé pour mesurer la position de la table.

6. Conclusion sur la problématique du sujet

Q23. En reprenant les éléments étudiés dans le sujet, **déterminer** si le « système tangible déployable et reconfigurable actif » répond au cahier des charges.

La commande permet d'arrêter le vérin avec un dépassement réel de 0,5 mm de la hauteur, donc en dessous de l'écart de 5 mm du cahier des charges.

Les vérins sont capables de supporter les charges induites par le fonctionnement et de mettre en mouvement la table.

Le système de capture optique permet de mesurer la position avec une précision de 0,5 mm ce qui permet une bonne corrélation entre le système réel et la simulation virtuelle.

Le système répond donc bien aux attentes du client.