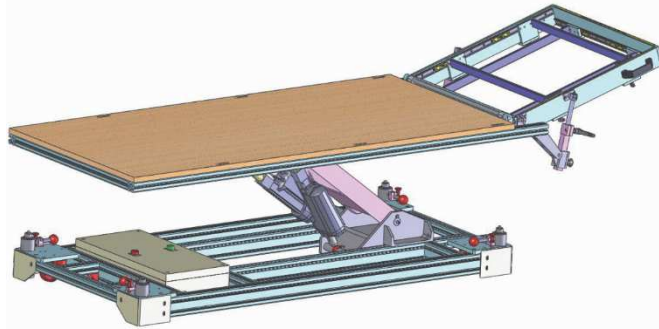


BAC S session 2017
METROPOLE
ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
 Eléments de corrigé Vincent CROS Juin 2017

Système tangible déployable et reconfigurable actif



Introduction :

L'étude s'intéresse à un projet de **Plateau d'Intégration Virtuelle Produit/Process (PIVIPP)**, une collaboration, entre Airbus Group SAS, l'Institut de Recherche Technologique Jules Verne et le CNRS, a permis de créer en 2016 un « système tangible déployable et reconfigurable actif » qui dans les conditions réelles n'est pas présente, sert à mettre l'opérateur dans une position identique à celle qu'il aurait en situation de travail.

Le système répond aux besoins :

- De tester virtuellement l'ergonomie et l'accessibilité des zones de travail en phase d'avant-projet ;
- De visualiser la faisabilité technique d'une modification ;
- De former les techniciens sur des modes opératoires afin de limiter les troubles musculosquelettiques.

L'entreprise a l'intention de lancer la réalisation d'une petite série de tables afin d'assurer la formation de techniciens de maintenance des avions sur différents sites. Il est donc nécessaire de vérifier au préalable les performances du prototype de table au regard des spécifications du cahier des charges. L'objectif du sujet est de vérifier plus spécifiquement le respect des critères du cahier des charges (CDC) concernant :

- La précision sur la hauteur de la table ;
- La sécurité lors des déplacements de la table ;
- La position de l'opérateur dans la scène virtuelle.

Pour valider le passage à une petite série l'étude se décompose en 5 étapes :

- Etape 1 : Etudier un point de l'analyse fonctionnelle du système,
- Etape 2 : Etudier le positionnement de la table,
- Etape 3 : Vérifier que le déplacement de la table s'effectue en toute sécurité,
- Etape 4 : Etudier le procédé de capture de mouvement
- Etape 5 : Elaborer une conclusion sur la problématique du sujet.

Pour aborder ce sujet voici un extrait du cahier des charges :

fonction / contrainte	énoncé	critère	niveau	flexibilité
F1	commander la position de la table	hauteur	de 250 mm à 600 mm	± 5 mm
		inclinaison	de -20° à +20°	± 0,5°
		temps de déplacement	30 s	maximale
F2	bloquer le mouvement de la table si une personne est dessus	masse limite détectée	10 kg	maximale
C1	respecter la norme NF EN 117661 et limiter les conséquences d'une chute	hauteur de la table	600 mm	maximale
C2	résister aux poids de deux personnes (1 800 N)	résistance des organes et pièces mécaniques	coefficient de sécurité S = 1,2	minimale
C3	rendre le mouvement de la table irréversible en cas de coupure de l'alimentation électrique	mouvement sous une charge de 1 000 N alimentation coupée	aucun mouvement	aucune

Etape 1

Etudier un point de l'analyse fonctionnelle du système.

Objectif de cette partie : **décrire** la structure fonctionnelle du système.

Le document technique DT1 décrit l'architecture du système avec ses différents éléments. La structure fonctionnelle est partiellement définie sur le document réponse DR1. Les composants suivants restent à placer : module pont en H, alimentation stabilisée 36 Vcc, ordinateur, potentiomètres indiquant la position des vérins, moteur à courant continu et réducteur. Les vérins électriques sont en effet composés d'un moteur à courant continu, d'un réducteur et d'une transmission vis-écrou.

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 repérées dans la chaîne d'énergie.

Pour compléter ce document il suffit de reprendre les éléments du sujet à savoir :

L'alimentation stabilisée 36 Vcc : elle permet d'adapter l'énergie fournie par le réseau EDF pour la transmettre au module pont en H,

Le module pont en H : il permet d'agir sur la forme de l'énergie électrique absorbée par le moteur à courant continu,

L'ordinateur : il permet de développer le système de contrôle commande qui pilotera la table,

Les potentiomètres indiquant la position des vérins : ces capteurs vont permettre d'informer le système de contrôle commande de la position de la table,

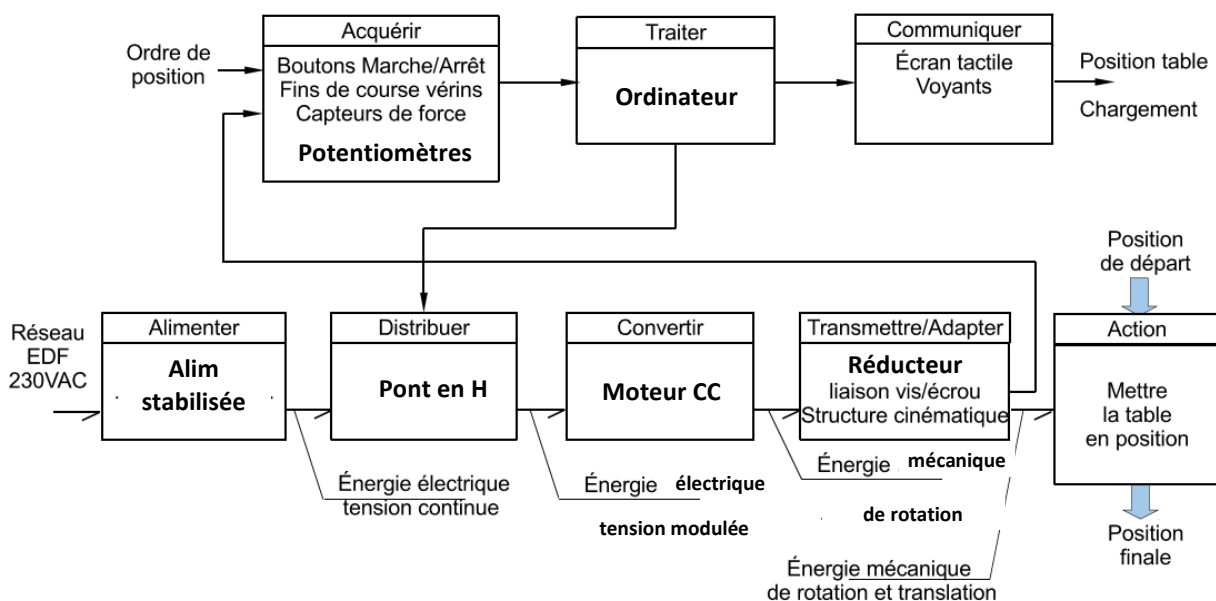
Les éléments qui composent les vérins électriques qui sont :

Un moteur à courant continu : il va permettre de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation,

Un réducteur : qui va permettre d'adapter l'énergie mécanique fournie par le moteur pour la transmettre au système vis-écrou.

Une transmission vis-écrou : qui va permettre de transformer le mouvement de rotation en un mouvement de translation.

D'où la proposition suivante :



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 les informations entre les modules 6 et l'ordinateur. Préciser la nature de ces informations.

Les capteurs de force utilisent des transducteurs qui transforment la grandeur mécanique non exploitable en une grandeur exploitable en volt, ces grandeurs sont **de nature analogique**.

Les modules 6 intègrent des convertisseurs analogique-numérique, ces données sont transmises au module coupleur1 par le bus EtherCAT qui les mets en forme pour les transmettre à l'ordinateur via le réseau Ethernet, ici toutes les informations sont **de nature numérique**.

Etape 2 Etudier le positionnement de la table

Objectif de cette partie : **valider** les solutions techniques qui permettent de commander la position de la table.

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

L'analyse des différents documents permet de définir les mouvements nécessaires au déplacement de la table de la manière suivante :

L'ensemble du mécanisme est composé de 6 éléments définis de la manière suivante :

- La chape et des châssis du bâti repéré **(0)**
- Un vérin d'inclinaison qui se décompose en un corps **(1)** et un tige **(2)**,
- Un vérin de levage qui se décompose en un corps **(3)** et une tige **(4)**,
- La bielle **(5)**,
- Un axe **(6)**,
- La chape et les châssis de la table **(7)**.

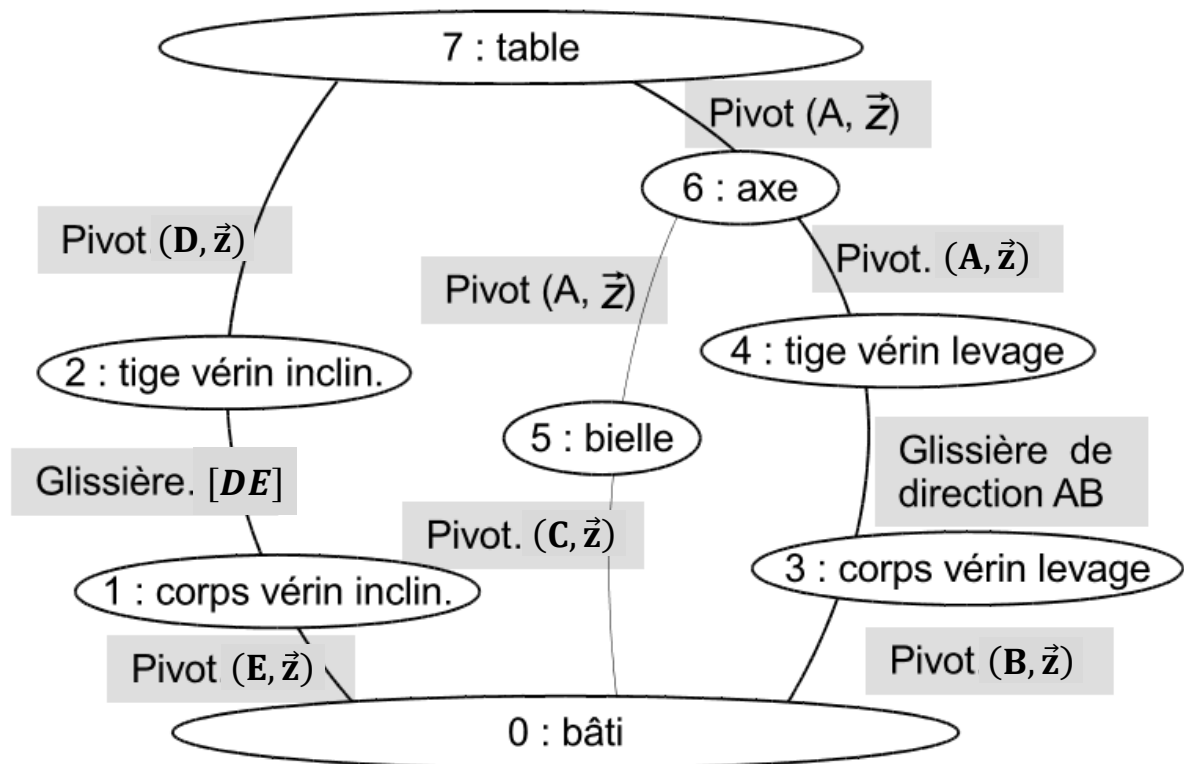
Pour les 2 vérins, la tige doit avoir un mouvement rectiligne par rapport au corps, ce mouvement sera porté par l'axe du vérin, cette liaison pourra être réalisée soit par **une glissière**, soit par un **pivot glissant**, soit par une **liaison hélicoïdale**. Pour le vérin d'inclinaison l'axe du déplacement correspond au segment [DE], pour le vérin de levage au segment [AB].

La bielle doit avoir un mouvement de rotation autour du point C par rapport au bâti et autour du point A par rapport à la table, il faudra implanter des liaisons pivots d'axe z, en **C 5/0** et en **A 5/7**.

Les deux vérins doivent eux aussi avoir un mouvement de rotation par rapport au châssis et à la table, il faudra implanter des liaisons pivots d'axe z, pour le vérin d'inclinaison en **E 1/0** et en **D 2/7**, pour le vérin de levage en **B 3/0** et en **A 4/6**.

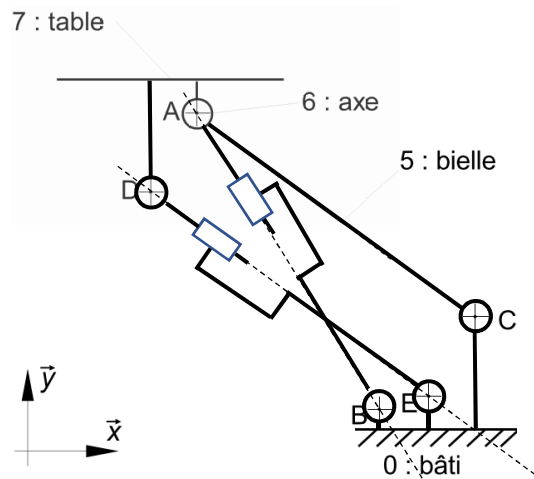
L'axe doit avoir un mouvement de rotation par rapport à la table, donc là encore il faut implanter une liaison pivot d'axe z en **A 6/7**.

D'où le graphe des liaisons suivant :



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

Voici le schéma cinématique :



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] est un parallélogramme déformable, son rôle est de maintenir l'orientation horizontale de la table lorsque le vérin de levage joue son rôle. Pour que cette opération soit possible il faut que le segment [DE] reste constant et égal au segment [AC] soit 580 mm quelle que soit la valeur du segment [AB].

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.

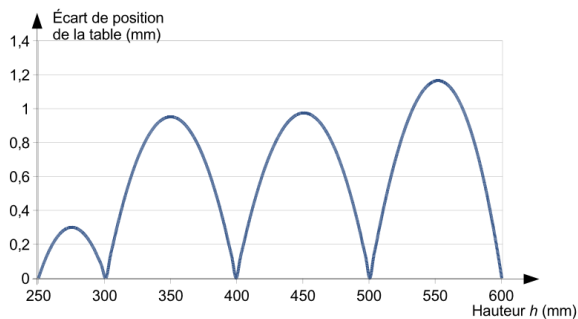


Figure 9 : écart entre les positions obtenues avec tableau de cinq valeurs et les positions obtenues avec la relation $\Delta AB = (0,2645 + 0,00032 \cdot h) \cdot \Delta h$

On constate que l'écart absolu le plus grand est d'environ 1,2 mm pour une hauteur h de 550 mm, le critère retenu dans le CDC est de ± 5 mm donc le système respecte le CDC.

Q7. À partir de la figure 10, **vérifier** que la précision mesurée sur 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.

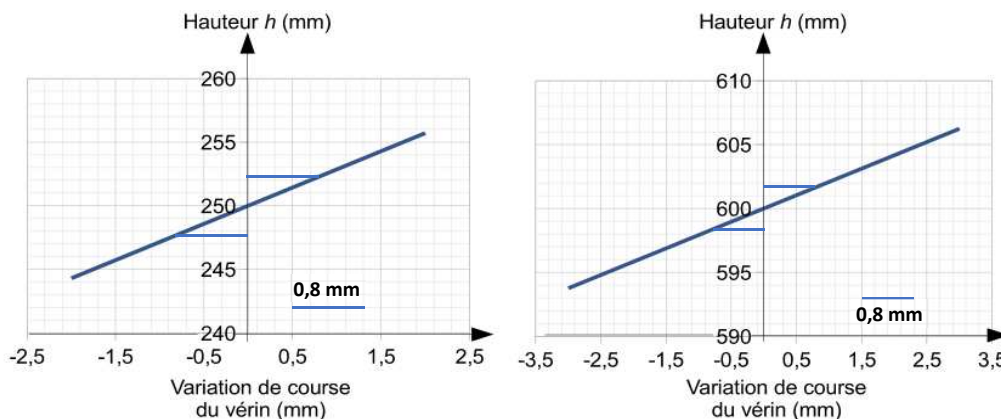


Figure 10 : erreur de positionnement de la table

On positionne de part et d'autre du point central les valeurs de 0,8 mm et on lit l'évolution de la hauteur h.

Pour une hauteur de 250 mm l'écart est d'environ plus ou moins **2,2 mm**.

Pour une hauteur de 600 mm l'écart est d'environ plus ou moins **1,8 mm**

On respecte à nouveau le CDC de ± 5 mm.

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

Le système de conversion a une résolution de 15 bits, dans ces conditions la valeur du plus petit déplacement est de :

$$\frac{150}{2^{15}} = \frac{150}{32768} = 4,58 \mu\text{m}$$

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

Les valeurs déterminées précédemment permettent de confirmer que le système respecte le CDC.

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

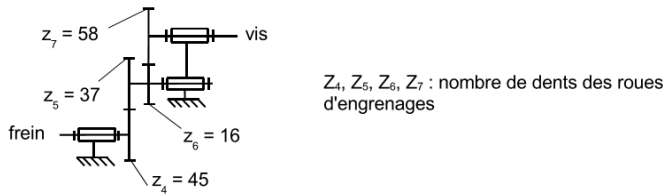


Figure 14 : détail du réducteur à train simple

La modélisation de cette partie dans le modèle multi-physique se présente ainsi :

Paramétrage du réducteur 2 :	
ω_1	ω_2
$\omega_1 = K \cdot \omega_2$	ω_2
	K : rapport de transmission (Gear ratio)
Parameters	
Gear ratio:	<input type="text"/>

Comme l'entrée s'effectue au niveau du frein et que la sortie s'effectue au niveau de la vis, alors les roues menantes sont les roues 4 et 6, les roues menées sont les roues 5 et 7 dans ces conditions le rapport K s'exprime de la manière suivante :

$$K = \frac{\prod \text{des roues menées}}{\prod \text{des roues menantes}} = \frac{Z_5 \cdot Z_7}{Z_2 \cdot Z_4} = \frac{37 \cdot 58}{45 \cdot 16} = 2,98$$

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.

Les courbes, figure 15, ont été obtenues dans ce cas de simulation, pour une commande de levage de la table (non chargée) de 250 à 280 mm, à pleine tension dès $t = 0$ s.

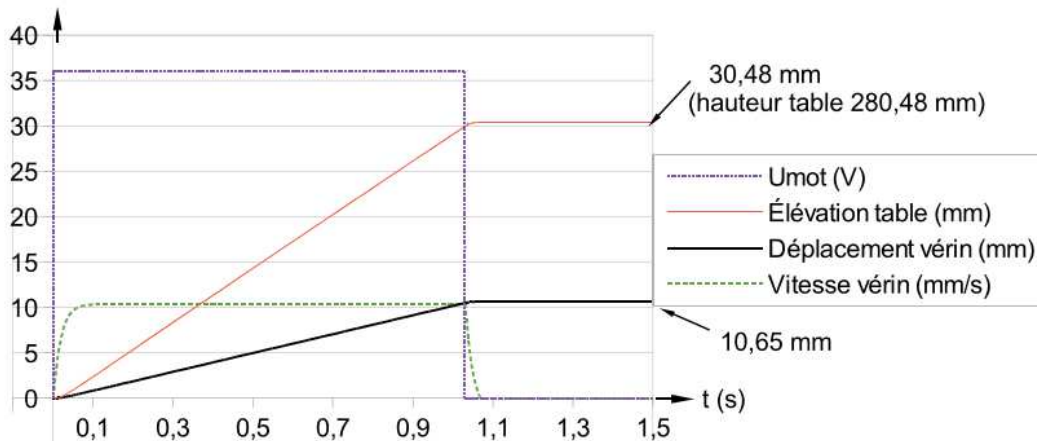


Figure 15 : simulation multi-physique d'un déplacement

On constate que pour une consigne de déplacement de 280 mm, la position de la table relevée est de **280,48 mm** soit un écart de **0,48 mm**, conclusion là encore le CDC est respecté.

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.

Le déplacement du vérin a été mesuré et comparé avec celui obtenu par la simulation précédente (figure 16).

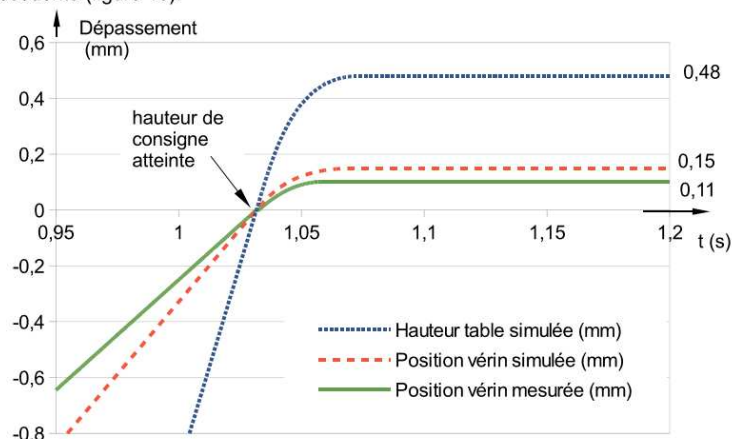


Figure 16 : courbes de la fin du déplacement obtenue par simulation et mesurée

Si on suppose que le processus d'arrêt débute lorsque la hauteur de consigne est atteinte alors :

- La position réelle du vérin est dépassée de **0,11 mm**,
- La position simulée du vérin est dépassée de **0,15 mm**,
- La position de la table est dépassée de **0,48 mm**.

On constate que dans le cas des relevés réels l'arrêt est plus court que dans la situation simulée, il semble que l'action du frein dans la situation simulée est mal interprétée mais l'écart reste assez faible.

L'analyse de cet écart permet de proposer d'augmenter le couple de freinage pour se rapprocher du réel.

On devrait dans ce cas constater que l'arrêt de la table s'effectue plus rapidement et par conséquent que l'erreur de position diminue.

Etape n°3

Vérifier que le déplacement de la table s'effectue en toute sécurité

Objectif de cette partie : **déterminer** les forces motrices nécessaires pour mettre en mouvement la table.

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.

On isole la table, dans ce cas on peut faire l'inventaire suivant :

Actions à distances :

L'effet de la pesanteur qui s'applique au centre de gravité G de la table :

$$\{\tau_{\text{pesanteur} \rightarrow 7}\} =_G \left\{ \begin{array}{c} \vec{P} \\ \vec{M}_{G, \text{pesanteur} \rightarrow 7} \end{array} \right\} =_G \left\{ \begin{array}{c} -m \cdot \vec{g} \\ \vec{0} \end{array} \right\}$$

Actions de contact :

En D : action du vérin d'inclinaison sur la table :

$$\{\tau_{2 \rightarrow 7}\} =_D \left\{ \begin{array}{c} \vec{D}_{2 \rightarrow 7} \\ \vec{M}_{D, 2 \rightarrow 7} \end{array} \right\} =_D \left\{ \begin{array}{c} D_x \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}$$

En A : action de l'axe sur la table :

$$\{\tau_{6 \rightarrow 7}\} =_A \left\{ \begin{array}{c} \vec{A}_{6 \rightarrow 7} \\ \vec{M}_{A, 6 \rightarrow 7} \end{array} \right\} =_D \left\{ \begin{array}{c} A_x \vec{x} + A_y \vec{y} \\ \vec{0} \end{array} \right\}$$

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.

En fait ici on néglige les effets dynamiques, donc l'expression du PFD est équivalent au PFS qui ne s'applique qu'au système isolé ici la table et s'exprime de la manière suivante :

$$\{\tau_{\text{des actions extérieures} \rightarrow 7}\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

Ceci se traduit vectoriellement de la manière suivante :

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

Et

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

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.

Pour répondre on utilise l'équation de moment exprimé en A :

Les coordonnées géométriques des liaisons dans la position de l'étude sont données ci-contre.

	positions en mm	
	x	y
A	80	135
D	0	0
G	274	163

Figure 17 : coordonnées géométriques des liaisons

$$\vec{M}_{A, \text{pesenteur} \rightarrow 7} = \overrightarrow{AG}_A \vec{P} =_A \begin{bmatrix} 0,274 - 0,080 & 0 \\ 0,163 - 0,135 & -9,81 \cdot 68 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} =_A \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -129,41 \end{bmatrix}$$

$$\vec{M}_{A, 2 \rightarrow 7} = \overrightarrow{AD}_A \vec{D}_{2 \rightarrow 7} =_A \begin{bmatrix} -0,080 & D_x \\ -0,135 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} =_A \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ +0,135 \cdot D_x \end{bmatrix}$$

Conclusion :

$$-129,41 + +0,135 \cdot D_x = 0 \text{ donc } D_x = \frac{129,41}{0,135} = 958,6 \text{ N}$$

Et donc :

$$\{\tau_{2 \rightarrow 7}\} =_D \begin{Bmatrix} 958,6 \vec{x} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

Si on isole le vérin d'inclinaison alors :

$$\{\tau_{7 \rightarrow 2}\} =_D \begin{Bmatrix} -958,6 \vec{x} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

Dans cette situation, le vérin d'inclinaison est sollicité **en traction** car la composante sur \vec{x} est négative.

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).

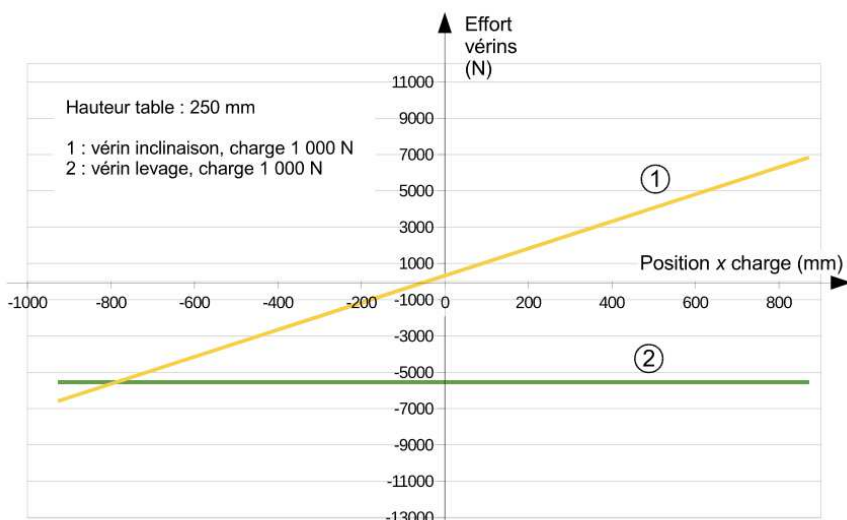


Figure 19 : chargement des vérins - table horizontale

La charge maximale est de 1000 N, le relevé figure 19 nous permet de déterminer les valeurs relatives aux deux positions extrêmes pour les deux vérins de manière graphique :

➤ Pour $x = 872 \text{ mm}$:

On relève pour le vérin d'inclinaison un peu plus de 7000 N et pour le vérin de levage - 5500 N.

➤ Pour $x = -927 \text{ mm}$:

On relève pour le vérin d'inclinaison un peu plus de - 6500 N et pour le vérin de levage - 5500 N.

Le concepteur de la table a choisi pour les deux vérins le modèle 36080CH de la marque LINAK dans la gamme LA36.

Référence produit	Effort en traction / compression maximal (N)	Auto-maintien minimal en traction / compression (N)	Pas de vis (mm)	Vitesse moyenne (mm/s) suivant effort		Course standard (pas de 50 mm)	Intensité moyenne (A) suivant effort	
				0 N	Max		0 N	Maxi
36080CH	10 000	13 000	8	11	7	100 – 999	2	8
36120CF	2 600	3 400	12	41	33,5			
36120CG	4 500	5 800	12	23,3	19,1			
36120CH	6 800	8 800	12	15,7	12,8			
36200CF	1 700	2 200	20	68	52			
36200CE	500	1 000	20	160	135			

La colonne « Auto-maintien » indique la charge maximale que le vérin pourra stopper en cas de coupure d'alimentation électrique (seuil de réversibilité). Si l'effort est plus important, le freinage interne au vérin ne suffit pas à bloquer l'entraînement du moteur par l'effort sur le vérin.

Figure 20 : caractéristiques des vérins LINAK de la gamme LA36 (alimentation 36 Vcc)

Le vérin retenu a pour référence 36080CH on constate que la valeur de l'effort en traction/compression maximal est de 10000 N et que l'auto-maintien minimal en traction est de 13000 N, ces valeurs sont supérieures aux valeurs trouvées donc le CDC est respecté.

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

Compte tenu de l'étude effectuée à la question Q16, les vérins sont capables de mouvoir la table en termes d'efforts, pour confirmer la validité du choix il faudrait vérifier les courses que chaque vérin doit effectuer pour les comparer aux courses proposées allant de 100 à 999 mm.

Etape 4

Etudier le procédé de capture de mouvement

Objectif de cette partie : **vérifier** la capacité du système de capture optique à vérifier la précision de la position de la table.

Nécessité du filtrage

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.

Les caméras sont équipées de 8 LED qui émettent un rayonnement infrarouge de longueur d'onde 850 nm, des marqueurs disposés judicieusement permettent de réfléchir le rayonnement infrarouge vers les caméras.

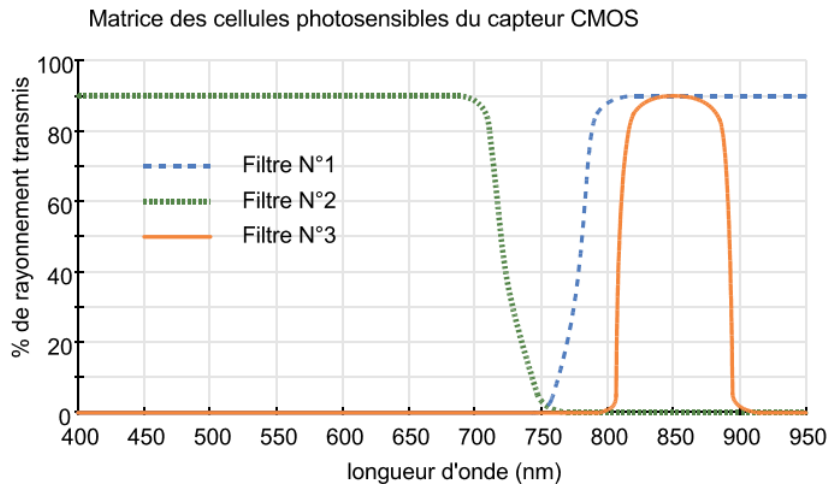


Figure 27 : filtres optiques

Si on souhaite ne relever que les rayonnements autour de 850 nm, on voit que le filtre n°3 est un filtre sélectif qui privilégie les longueurs d'onde comprises entre 800 et 900 nm, de cette manière il est probable que le système sera plus insensible aux rayonnements infrarouges parasites entre autre ceux émis par le corps humain.

Le fait que la table absorbe les rayonnements infrarouges devrait permettre d'améliorer l'action des marqueurs.

Justification du besoin d'un traitement des images intégré aux caméras

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.

1 pixel est composé de 6 cellules photosensibles. Le capteur CMOS est composé d'une surface rectangulaire de 1024 Px par 1280 Px donc un total de 1310720 Px, chaque pixel est codé sur 1 octet donc l'image sera codée sur 1310720 octets, la caméra fait 150 acquisitions par seconde donc pour une caméra il faudra un débit de 1310720×150 octets par seconde soit **196608000 octets/s**, et donc pour 50 caméras un débit de 196608000×50 octets par seconde soit **9830400000 octets/s**, comme un octet est composé de 8 bits, il faudrait un débit de 9830400000×8 bits par seconde soit **78643200000 bits/s soit environ 80 Gbits/s**, or le réseau Ethernet gère un débit maximum de **1 Gbits/s**, la solution consiste à traiter l'image au niveau de la caméra et de ne transmettre que le résultat en respectant le débit de transfert sur le réseau Ethernet.

Obtention de la position des marqueurs par traitement des images

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

Un blob est composé d'une matrice $G(u,v)$ avec 6 valeurs pour u et 6 pour v , si on affecte à la variable N le seuil de luminosité choisi on peut compléter l'algorithme de la manière suivante :

```

1  DÉBUT
   affecter N à seuil de luminosité
   POUR u ALLANT_DE 1 À 6 .....
     POUR v ALLANT_DE 1 À 6 .
       SI  $G(u,v) \geq N$  .....
         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, 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.

seuil de luminosité	nombre de pixels par blob	coordonnées du centre de l'image marqueur m1 dans R_i		écarts (en pixels)	
		calculées $(u_b; v_b)$	théoriques $(u; v)$	de position	absolu
255	3	(523,50 ; 497,50)	(523,10 ; 497,66)	(0,40 ; -0,16)	0,43
200	6	(523,00 ; 497,83)		(-0,10 ; 0,18)	0,20
128	10	(523,00 ; 497,70)		(-0,10 ; 0,04)	0,11
64	12	(523,33 ; 497,58)		(0,24 ; -0,07)	0,25
32	18	(523,17 ; 498,00)		(0,07 ; 0,34)	0,35

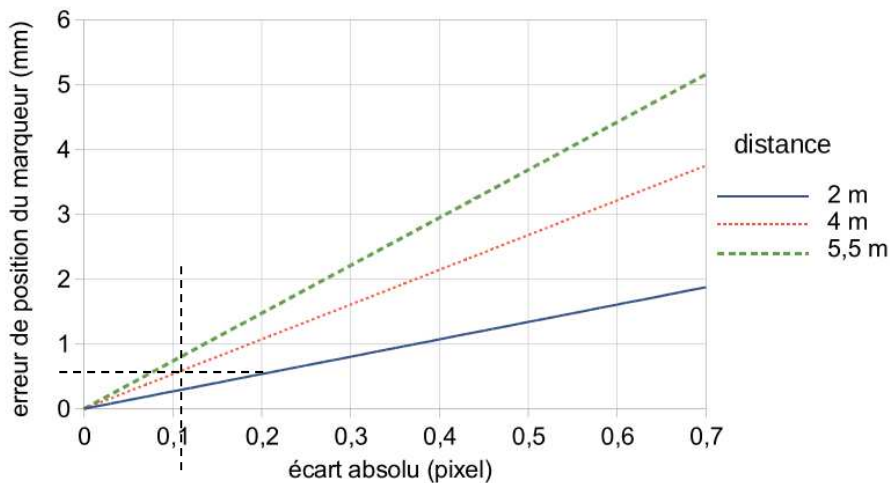
Figure 25 : précision de la position de l'image du marqueur m1 en fonction du seuil de luminosité

On remarque que lorsque le seuil de luminosité **diminue** le nombre de pixels par blob **augmente**. Par ailleurs lorsque le seuil de luminosité **diminue de 255 à 128** l'erreur absolue **diminue** puis de **128 à 32** **réaugmente**. Pour **minimiser l'erreur absolue** il faut choisir le seuil de luminosité de **128** dans ce cas le nombre de pixels par blob sera de **10** et l'erreur absolue sera de **0,11**.

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 une sensibilité de 128 l'erreur absolue est de 0.11, avec une distance de 4 m, on peut exploiter le graphe de la manière suivante :

Le graphe (figure 26) donne l'erreur de position d'un marqueur de la table en fonction de sa distance à la caméra et de l'écart absolu de localisation dans le plan image.



On relève que l'erreur de position est de l'ordre de **0,6 mm**, valeur largement inférieure au CDC, donc on peut valider ce processus de traitement de l'image.

Etape 5

Elaborer une conclusion sur la problématique du sujet.

Objectif de cette partie : **proposer** une synthèse de l'étude réalisée.

Q23. En reprenant les éléments étudiés dans le sujet, **déterminer** si le « système tangible déployable et reconfigurable actif » répond aux critères du cahier des charges concernant la précision sur la hauteur de la table, la sécurité lors des déplacements de la table et la position de l'opérateur dans la scène virtuelle.

L'ensemble du travail effectué et les conclusions développées permettent de valider la capacité du système non seulement au niveau du positionnement de la table mais aussi sur le traitement de l'analyse du comportement de l'utilisateur qui évolue dans une situation de réalité augmentée notamment grâce à l'emploi des caméras associées au traitement de l'image.

En conclusion le déploiement peut être envisagé.