

## 1. PRESENTATION DE L'ETUDE

### 1.1.1. Analyse fonctionnelle

→ Question 1A : A partir de la présentation du système et du diagramme Gantt décrivant un premier lancer (DT6), déterminer la durée d'attente maximum nécessaire entre deux lancers successifs. En déduire le "temps machine" d'une partie (hors influence du joueur).

*Début de lancer à 3 secondes,*

*fin de lancer à 19 secondes → temps machine de 16 Secondes*

→ Question 1B : En cas de Strike, combien de temps gagne-t-on sur une séquence ?

*En cas de strike une seule boule est lancée pour une séquence, on gagne donc (le temps du lancer) + descente râteau + attente 3s + détection quille + balayage + dépose nouvelles quilles + relevage du râteau = (3 secondes lancer) + 16 secondes = 19 secondes par séquence*

→ Question 1C : Si, après un premier lancer, la boule ne renverse aucune quille ou seulement la quille 7 ou 10, le concepteur a prévu de supprimer l'étape de balayage. Justifiez ce choix.

*Si aucune quille n'est tombée, il n'y a pas de quille renversée sur le pindeck. Si seule la quille 7 ou 10 est renversée elle est obligatoirement dans la fosse à boules car elle est située à l'arrière ( le cas de renverser la quilles 8 ou 9 seule est impossible! ). Il faut éviter de perdre du temps à soulever et balayer .*

→ Question 1D : Dans le cas d'une durée de lancer de boule de 3 s, déterminer la vitesse moyenne du centre de gravité G de la boule (on négligera la résistance de l'air et le frottement de la boule sur la piste).

*Vitesse = longueur piste / temps = 19,29 / 3 = 6,06 secondes*

→ Question 1E : Lorsque la boule est dans les 12 premiers mètres, représenter sur le document réponse DRI, les vitesses en G, A et B de la boule par rapport à la piste.

*Dans cette zone, la boule glisse sur le sol s'il n'y a pas d'effet → il y a une translation rectiligne uniforme → les vitesses en G, A et B sont égales*

→ Question 1F : Depuis l'ordinateur central, le responsable de l'accueil autorise un nouveau joueur à effectuer une partie sur la piste 4. Expliquer sous quelles formes l'information va être transmise jusqu'à la machine à requiller (Vous préciserez également les médias et les éléments mis en jeux). (DT4 et DT5).

→ Question 1G : Le Bowling est composé de 20 pistes. Enumérer le matériel électronique et informatique nécessaire au fonctionnement de ce Bowling.

### Organisation fonctionnelle partielle de la table de pose :

→ Question 1H : Sur votre copie, définir le type et la nature des énergies aux points 2, 3, 4, 5 6 et 7 des chaînes d'énergies (DT7 et DT8).

*2 Energie électrique 400V triphasé*

*3 Energie électrique 400V triphasé distribuée*

*4 Energie mécanique de rotation ( couple)*

*5 Energie électrique 24V*

*6 Energie mécanique de translation ( Force)*

### 2. SITUATION D'ETUDE N°1 : OPTIMISATION DE LA POSE DES QUILLES

→ Question 2A : A partir de la description ci-dessus, compléter les chronogrammes Moteur table de pose et Solénoïde limiteur de course du document réponse DR1.

→ Question 2B : Calculer la vitesse moyenne de descente et de montée de la table de pose afin de respecter le temps imposé.

*$V_{\text{moy}} = 1 \text{ aller et retour en 5 secondes} = (0,572 \times 2) / 5 = 0,229 \text{ m/s}$*

→ Question 2C : Montrer pourquoi la vitesse de la table n'est pas uniforme alors que son moteur d'entraînement a une fréquence de rotation fixe. Compléter le document réponse DR2 en précisant la position de la bielle de commande lorsque la table de pose est en vitesse maximale.

*La vitesse du moteur est constante mais la vitesse la direction de la chaîne varie en fonction de la position du bras. La vitesse est maxi si le bras est perpendiculaire à la direction de la chaîne →  $v_{\text{maxi}} = \omega \times \text{longueur bras} \times \sin 90^\circ$*

→ Question 2D : Calculer la puissance utile maximale nécessaire pour remonter la table à la vitesse imposée.

*Puissance maxi  $P = F \times V$*

*Poids maxi avec 10 quilles de masse 1,5 kg + masse table 30 kg à la vitesse maxi*

*$P = (10 \times 1,5) + 30) \times 9,81 \times 0,275 = 121,3 \text{ watts}$*

→ Question 2E : Vérifier si le moteur choisi par le constructeur permet bien d'entraîner la table de pose.

*Moteur de 0,18 kW > 0,121kW compatible si le rendement du système reste supérieur à 0,6.*

→ Question 2F : A partir de l'analyse du schéma structurel de la carte de puissance de la table (DT7), montrer comment est obtenue la commande des deux sens de rotation du moteur (**Mtable**). Préciser les ordres provenant de la carte de commande et les composants mis en jeu pour les deux sens de rotation.

→ Question 2G : A partir de l'analyse du DT10, indiquer l'état des capteurs Cq1 à Cq10 au début de la descente de la table et lors de sa remontée pendant la phase de détection.

→ Question 2H : A partir de l'analyse de ce schéma et des documents constructeurs des circuits intégrés (DT9), décrire l'évolution des ports P1 et P3 du micro contrôleur lors de la lecture des capteurs Cq1 à Cq8.

→ Question 2I : Sur le document réponse DR2, représenter les leviers et compléter la roue de commande lorsque que la pince est en position fermée. Mesurer dans cette position l'angle effectué par la roue de commande.

*Sur le document réponse, on mesure un angle  $\beta$  = de 66,5 degrés (environ 70 degrés)*

→ Question 2J : À partir des caractéristiques de la chaîne d'énergie de la commande des ciseaux de spotting, déterminer le temps mis par la pince pour se trouver en position de préhension. Comparer ce temps avec celui de la commande de fermeture.

*L'angle  $\beta$  correspond à la rotation de la roue de commande pour fermer la pince, il est le même que celui effectué par la roue d'entraînement. (roues de même nombre de dents et de même module). La fréquence de rotation du moteur est de 1370 tr/min et la réduction du réducteur de 85 .*

*Nr à la sortie réducteur est de  $1370 / 85 = 16,12$  tr/s soit  $16,12 / 60 = 0,268$  tr/s*

*Donc le temps de fermeture est de  $t = \beta / 360 \times Nr = 66,5 / 360 \times 0,268 = 0,7$  s*

→ Question 2K : Justifier la différence de temps. Quel est l'élément de la chaîne d'énergie qui permet cet écart ?

*Afin de s'assurer d'un bon maintien de la quille, le temps de commande de fermeture doit être supérieur au temps nécessaire à la fermeture réelle de la pince. Dans ce cas un limiteur de couple (ou embrayage automatique commandé par le couple) permettra d'éviter la détérioration des éléments de la transmission.*

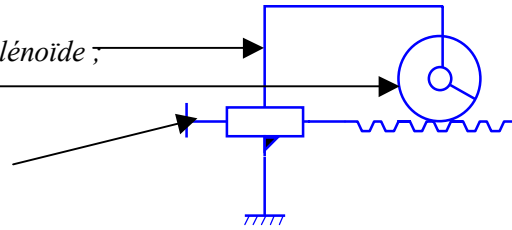
→ Question 2L : A partir de l'analyse du schéma structurel partiel carte commande (Entrées –Sorties) et des documents constructeurs des circuits intégrés (DT8 et DT9), décrire l'évolution du port P3 lorsque le micro contrôleur va piloter le solénoïde (Scis) de la commande de fermeture et d'ouverture des ciseaux de spotting.

→ Question 2M : Préciser la fonction du composant U9 et son rôle au sein du système.

→ Question 2N : A partir des questions 2L et 2M, rédiger l'algorithme de pilotage d' un cycle de fermeture et d'ouverture des ciseaux de spotting.

→ Question 2O : Faire un schéma cinématique en représentant les liaisons entre les sous ensembles cinématiquement équivalents suivants :

- Le support de quille avec le support de solénoïde ;
- Le doigt de maintien avec son pignon ;
- Le noyau du solénoïde avec sa crémaillère.



→ Question 2P : Déterminer la valeur de la course  $C$  du solénoïde qui permet le pivotement correct des doigts ?

$$\text{Course } C = R \theta = (D_p / 2) \times \theta = (22,5 / 2) \times 60 / 180 = 12 \text{ mm}$$

### 2.1.1. Chargement de la table en nouvelles quilles

→ Question 2Q : Montrer pourquoi les poids  $P_{sc}$  des supports de quille chargés peuvent être négligés pour déterminer l'action du distributeur sur la table.

*Lorsque les quilles ont basculées le centre de gravité de l'ensemble reste à la verticale du centre des liaisons pivots qui encaissent alors tout le poids. Ce poids n'intervient donc pas dans la valeur de l'action exercée par la table pour faire basculer l'ensemble des quilles.*

→ Question 2R : Dans la position verticale, déterminer l'action  $D$  du distributeur 5 sur le levier 16, pour cela :

- Isoler la barre 11 et faire l'inventaire des actions mécaniques qui s'exercent sur elle. Appliquer le principe fondamental de la statique. Que peut on conclure sur la direction de ces actions ?

*Solide soumis à deux actions du type force est en équilibre si :*

*ces forces ont même direction, même intensité mais de sens opposé. (Direction TH)*

- Déterminer l'action du ressort 20 sur le levier 10 et la représenter sur le document réponse DR3.

$$\text{Force } F = K.x = K(\text{Longueur verticale} - \text{longueur initiale}) = 1 \times (238 - 150) = 88 \text{ N}$$

- Isoler le levier 10 et faire l'inventaire des actions mécaniques qui s'exercent sur lui. Appliquer le principe fondamental de la statique. Résoudre graphiquement sur le document réponse DR3 afin de déterminer les actions qui s'exercent sur lui.

*Le solide 10 est en équilibre par à trois actions coplanaires de type force dont deux sont concourantes en I si*

*Les trois forces sont concourantes au même point I*

*La somme vectorielle des 3 forces est nulle ( Dynamique fermé)*

*Résultats: intensité  $H_{11 \rightarrow 10} = 56 \text{ N}$*

- Isoler la barre 15. A partir de l'équation du moment au point N, déterminer l'action de 13 sur 15 qui s'exerce au point R

*Equation de moment en N*

$$S_{12 \rightarrow 15} \times 125 \sin \varphi + R_{13 \rightarrow 15} \times 135 \sin \varphi = 0 \text{ donc } R_{13 \rightarrow 15} = (56 \times 125) / 135 = 51,8 \text{ N}$$

- Isoler la barre 12. Que peut on conclure sur la direction des actions qui s'exercent sur ces barres ?

*Solide soumis à deux forces en équilibre donc opposées (direction ST).*

- Isoler le levier 16 et faire l'inventaire des actions mécaniques qui s'exercent sur lui. Appliquer le principe fondamental de la statique et résoudre graphiquement afin de déterminer l'action de 5 sur 15 qui s'exerce au point K.

*Solide soumis à trois actions coplanaires de type force deux sont concourantes en I est en équilibre si :*

*Les trois forces sont concourantes au même point J*

*La somme vectorielle des 3 forces est nulle ( Dynamique fermé)*

*Résultats: intensité de  $K_{5 \rightarrow 16} = 38 \text{ N}$*

→ Question 2S : Dans la position horizontale, déterminer l'action du distributeur 5 sur le levier 16 en utilisant la même démarche que pour la position verticale.

*Résultats : Force ressort =  $1 \times (308-150) = 158 \text{ N}$  . intensité de  $K_{5 \rightarrow 16} = 12 \text{ N}$*

→ Question 2T : Montrer que dans le cas le plus défavorable, la puissance supplémentaire exercée par le moteur de table pour basculer les quilles reste compatible avec celle calculée à la question 2D.

*En plus de soulever la masse de table et des 10 quilles le moteur doit vaincre la composante verticale de l'effort  $K_{5 \rightarrow 16}$  dans le cas le, plus défavorable, c'est dire les quilles verticales. La puissance nécessaire devient alors :*

*$P = (\text{poids}_{\text{table} + \text{quilles}} + K_{5 \rightarrow 16}) = (45 \times 9,81 + 38) \times 0,275 = 131 \text{ watts}$*

*Le moteur de  $0,18 \text{ kW} > 0,131 \text{ kW}$  reste compatible.*

→ Question 2U : A partir de l'analyse du schéma structurel partiel de la console joueur (DT13), expliquer le principe de lecture du clavier par le micro-contrôleur.

→ Question 2V : Déterminer les valeurs des ports P0 et P2 en hexadécimal lorsque le micro-contrôleur détecte l'appui sur la touche 7.

→ Question 2W : A partir de la table de codage ASCII (DT12), exprimer en hexadécimal l'octet correspondant au chiffre 7 que doit envoyer le micro contrôleur à l'électronique de gestion.

→ Question 2X : Compléter sur le DR7 la trame émise par le micro contrôleur ainsi que celle sortant du terminal de communication en respectant les caractéristiques de la liaison série (DT13). Calculer la durée de transmission d'un bit et de la trame envoyée par le terminal de communication.

### 3. SITUATION D'ETUDE N°2 : EVACUATION DES QUILLES TOMBEES ET RESTEES SUR LE PIN DECK APRES UN LANCER DE BOULE

→ Question 3A : Proposer un schéma cinématique de l'ensemble de la transmission entre le moteur frein et l'arbre de commande.

→ Question 3B : A partir de la fréquence de rotation nominale du moteur, déterminer la fréquence de rotation de l'arbre de commande.

Fréquence de rotation arbre commande

$$N_a = (N_{\text{moteur}} \times D_m \times Z_p \times Z_{pc}) / (D_R \times Z_r \times Z_{pr})$$

$$N_a = (1370 \times 60 \times 12 \times 12^\circ / (232 \times 64 \times 39))$$

$$= 20,44 \text{ tr/min}$$

→ Question 3C : Déterminer le temps minimum d'un cycle de balayage en prenant pour hypothèse la vitesse uniforme du moteur à sa valeur nominale. Comparer le résultat au temps défini dans le diagramme Gantt du DT6.

$$\text{Temps minimum 1 tour en } 60 / 20,4 = 2,93 \text{ s}$$

On a supposé une vitesse constante, en réalité avec le démarrage et l'arrêt on retrouve le temps de 3s du Gantt.

→ Question 3D : Pour la position donnée sur la figure du document réponse DR4 et en prenant une fréquence de rotation de l'arbre de commande de 20,56 tr/min, déterminer la vitesse de balayage du râteau. Pour cela :

- Préciser la nature du mouvement 21/20 et déterminer la vitesse  $\vec{V}_{M,21/20}$  du point M appartenant à 21 par rapport à 20.

$$\text{Mouvement de rotation de centre B } V_{M,21/20} = \omega \times BM = (20,56 \times 0,16 \times \pi) / 60$$

$$= 0,344 \text{ m/s}$$

- Représenter sur cette figure cette vitesse.  $\vec{V}_{M,21/20}$ .

Direction perpendiculaire à BM et de sens vers la gauche

- Que peut-on dire de la vitesse  $\vec{V}_{M,22/20}$  ?

$$\vec{V}_{M,21/20} = \vec{V}_{M,22/20} \text{ car M est le centre de la rotation de 21/22}$$

- Préciser la nature du mouvement de 23/20. En déduire la direction des vitesses  $\vec{V}_{N,23/20}$  et  $\vec{V}_{N,22/20}$ .

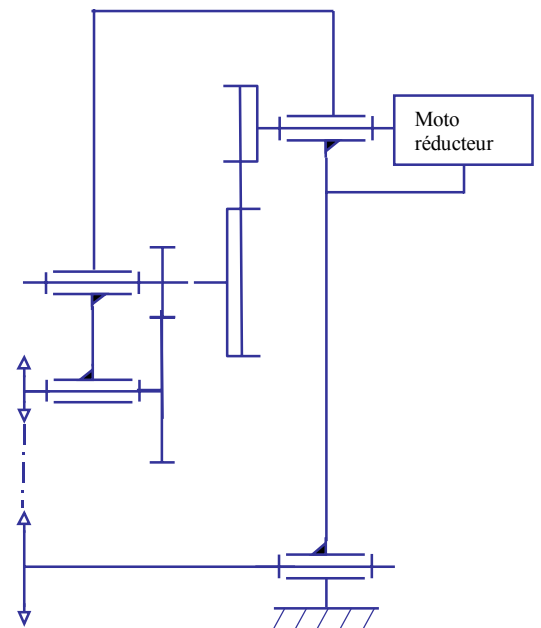
23/20 est en mouvement de rotation de centre A. La direction de  $\vec{V}_{N,23/20}$  est perpendiculaire à AN

$$\vec{V}_{N,23/20} = \text{car N est le centre de la rotation de 23/22}$$

- En utilisant les lois de la cinématique des solides en mouvements plans, déterminer graphiquement la vitesse.  $\vec{V}_{M,22/20}$

Le mouvement de 22/20 étant en mouvement plan, on utilise le théorème de l'équiprojectivité des vecteurs vitesse  $\vec{V}_{N,22/20}$ ,  $\vec{V}_{N,23/20}$

$$\vec{V}_{N,22/20} \times \overrightarrow{MN} = \vec{V}_{N,23/20} \times \overrightarrow{MN}$$



- En déduire graphiquement les vitesses et  $\vec{V}_{C,24/20}$

$$\vec{V}_{C,23/20} = \vec{V}_{N,23/20} \times (AC/AN)$$

$$\vec{V}_{C,23/20} = \text{car } C \text{ centre de la rotation de } 23/24$$

- $\vec{V}_{C,23/20}$  Préciser la nature du mouvement de 25/20 et tracer la direction de la vitesse  $\vec{V}_{D,25/20}$ .

### *Mouvement de translation rectiligne de direction horizontale*

- Déterminer graphiquement la vitesse.  $\vec{V}_{D,25/20}$

*Le mouvement de 24/20 étant en mouvement plan, on utilise le théorème de l'équiprojectivité des vecteurs vitesse,  $\vec{V}_{C,24/20}$  et  $\vec{V}_{D,24/20}$*

$$\vec{V}_{D,24/20} = \vec{V}_{D,25/20} \text{ car } D \text{ centre rotation de } 24/25$$

$$\|\vec{V}_{D,25/20}\| = 1,36 \text{ m/s}$$

- En déduire la vitesse de balayage  $\vec{V}_{P,25/20}$ .

$$\vec{V}_{D,25/20} = \vec{V}_{P,25/20} \text{ car } 25/20 \text{ est un mouvement de translation}$$

$$\|\vec{V}_{P,25/20}\| = 1,36 \text{ m/s}$$

On donne le résultat d'une simulation (DR5) définissant la position, la vitesse et l'accélération d'un point P appartenant au râteau 25 par rapport au rail de guidage du bâti 20.

→ Question 3E : Reporter sur ce graphe la vitesse déterminée à la question 3D et en déduire la position du râteau. Correspond t-elle à la position représentée sur le schéma du document réponse DR4 ?

*1,36 m/s pour  $t = 7s$  ou  $1s$ .*

*La bielle 21 met 3 s pour faire un tour donc 1s pour faire 1/3 tour ou  $120^\circ$  pour 0,7s.; ce qui correspond à la position représentée sur le schéma DR4.*

→ Question 3F : Indiquer sur le graphe du document réponse DR5 les positions du râteau pour sa vitesse maximale et pour son accélération maximale.

*Accélération maxi dans la phase de retour du râteau à  $t = 1,8 s$*

*V maxi dans la phase de retour du râteau à  $t = 1,9 s$*

→ Question 3G : A partir de l'analyse de ce graphe, comparer les évolutions de la vitesse et de l'accélération pour les phases de balayage et de retour du râteau.

*Dans la phase balayage la vitesse est plus uniforme, la variation de vitesse reste faible. Au retour du râteau il y a une forte accélération et la vitesse du râteau atteint sa valeur maximale.*

Une inversion du sens de rotation du moteur du râteau a pour conséquence de permuter les phases de balayage et de retour du chariot.

→ Question 3H : Le critère C3 est-il, pour cette situation, respecté ? Justifier la réponse en analysant également le document réponse DR5.

*Dans la phase de balayage il n'y a pas de fortes accélérations et donc pas de chocs violents sur les quilles ce qui permet de respecter le critère C3 "Eviter la dégradation*

*des quilles". Pour le retour du chariot il y a de fortes accélérations mais il n'y a pas de quilles en contact avec le râteau ce n'est donc pas un problème.*

Une fois le balayage effectué, le chariot du râteau doit être maintenu descendu vers l'avant afin de protéger la table de pose d'une arrivée prématurée d'une autre boule. Pour cela, le moteur du râteau est équipé d'un frein électromagnétique 24V-DC (voir figure 12).

➔ *Question 3I : A partir de l'analyse du schéma électrique de la figure 12, expliquer comment la commande du freinage est obtenue. (Préciser s'il s'agit d'un frein à rupture de courant ou d'un frein à établissement de courant).*



L'alimentation de la bobine du frein électromagnétique en tension alternative ne permet pas d'obtenir un temps de réponse de freinage optimal. Une autre tension a donc été choisie par le constructeur.

→ Question 3J : Décrire, à partir de la figure 12, la solution retenue et compléter les chronogrammes du document réponse DR5. Déterminer les valeurs des grandeurs caractéristiques du signal V2.

#### 4. SITUATION D'ETUDE N°3 : AMELIORATION DE L'ACCELERATEUR DE BOULES

→ Question 4A : A partir des caractéristiques du moteur de l'accélérateur de boules, déterminer la vitesse de translation de la courroie d'entraînement.

*N moteur 1188 tr /min D = 150 mm*

*Vitesse de la courroie  $V = (D)/2 \times \omega = (150/2) \times (\pi \times 1188) / 30 = 9,3 \text{ m/s}$*

→ Question 4B : Lorsque la boule arrive à la sortie de l'accélérateur en W, il n'y a plus de glissement entre la courroie et la boule. Quelle est alors la vitesse du point A appartenant à la boule par rapport au rail de guidage?

*$V_{A,boule/sol} = V_{courroie/sol} = 9,3 \text{ m/s}$*

*Roulement sans glissement en C donc*

*Graphiquement sur DR  $V_{G,boule/sol} = 9,3 \times 17 / (17 + 18) = 4,5 \text{ m/s}$*

→ Question 4C : On suppose un roulement sans glissement de la boule par rapport au rail de guidage autour d'un axe passant par C. Sur la figure du document réponse DR6, déterminer graphiquement la vitesse du point G appartenant à la boule par rapport au rail de guidage. En déduire le temps de retour de la boule sous la piste (on négligera la résistance de l'air et la résistance au roulement).

*Temps de retour  $T_r = \text{Longueur piste} / \text{vitesse} = 24 / 4,5 = 5,3 \text{ s}$*

→ Question 4D : Déterminer l'accélération du point G de la boule au point W et le temps nécessaire pour atteindre la vitesse déterminée à la question 4A. Si les conditions de roulement sans glissement en C sont remplies, la relation entre l'accélération du point A de la boule et l'effort tangent  $\vec{T}_A$  exercé par la courroie sur la boule au point A est proche de la relation :  $\vec{T}_A = (7/10) M \vec{A}_{G,boule/rail}$ .

*Avec M : masse de la boule et  $A_{G,boule/rail}$  : accélération du point G de la boule par rapport au rail.*

Dès que la boule a atteint la vitesse de lancement, justifier (sans calcul) pourquoi le couple fourni par le moteur retrouve sa valeur initiale à vide. Avec une boule plus légère et pour une même valeur de tension de la courroie, préciser l'évolution de la durée du lancement.

#### *Mouvement de translation Rectiligne Uniformément Varié.*

*$a = \text{cte}$*

*$v = at + v_0$*

*$x = 1/2 a t^2 + v_0 t + x_0$*

*conditions  $t = 0 \rightarrow \quad x = 0 \quad v = 0,5$   
 $t = t_1 \rightarrow \quad x = 1,1 \quad v = 4,5$*

*d'où  $v_0 = 0,5$  et  $x_0 = 0$*

*$a = (v - v_0) / t = (4,5 - 0,5) / 0,515 = 7,8 \text{ m/s}^2$*

*$t = 2x / v = 2 \times 1,1 / 4,5 = 0,49 \text{ s}$*

*Lorsque la boule atteint sa vitesse de lancement  $\vec{A}_{G,boule/rail}$  est nulle = 0*

*l'effort tangent exercé par la courroie devient nul; Le couple fourni par moteur est celui de l'entraînement de la courroie lorsqu'il n'y a plus de boule (Couple à vide).*

#### 4.1. OPTIMISATION DE L'EFFORT APPLIQUE A LA BOULE PENDANT SON ACCELERATION.

→ Question 4E : Proposer un croquis à main levée sur le document réponse DR6 définissant un dispositif de réglage de la longueur de la barre. Cette modification pourra être envisagée soit au niveau de la fixation de la barre avec l'équerre du bâti, soit sur la barre elle-même.

Voir DR6

#### 4.2. COMMANDE D'ARRET D'URGENCE DU MOTEUR D'ACCELERATEUR DE BOULES.

→ Question 4F : A partir de l'analyse de la mesure du courant ci-contre, mesurer la durée d'accélération de la boule. Comparer le résultat avec celui calculé à la question 4D.

→ Question 4G : Comment va évoluer ce signal lorsqu'une boule reste bloquée dans l'accélérateur.

→ Question 4H : A partir de l'analyse des chronogrammes du DT14, compléter la liaison entre les fonctions "compter" et "communiquer" sur le document réponse DR7.

### 5. SYNTHESE DU SUJET

→ Décrire en quelques lignes le comportement de la machine à requiller pour la situation suivante :

- 1<sup>er</sup> lancer : les quilles 1, 2, 3, 4, 5, 8 et 9 sont renversées ;
- 2<sup>ème</sup> lancer : les quilles 6 et 10 sont renversées.

