

MACHINE DE BOWLING A REQUILLER.

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1. INTRODUCTION

Le bowling est arrivé en France à la fin des années 1950, alors qu'il était apparu aux Etats-Unis dans les années 1880.

En 1972, il existait 35 bowlings dans l'hexagone et la fédération **FFBSQ** (Fédération Française de Bowling et de Sport de Quilles) regroupait près de 4000 licenciés.

Aujourd'hui, elle dénombre plus de 170 bowlings homologués, chiffre en constante progression et plus de 14000 licenciés.

En effet, l'aménagement du temps de travail au sein de notre société a favorisé le développement des activités sportives et de loisirs. Cette évolution sociétale a permis l'émergence de nouveaux secteurs d'investissements financiers.

Des installations fiables, de haute technicité, autorisent une exploitation optimale.

Les pistes sont implantées par paire, pour un équipement variant de 4 et 32 pistes par bowling.



Vue 1 : Installation de bowling – Photo Eurobowl St Herblain

1.2. PRINCIPE

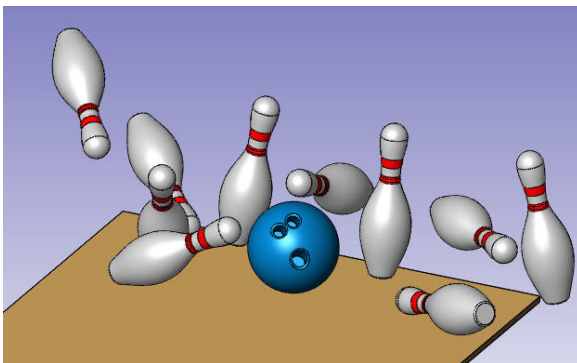


Figure 1 : Strike !

(*) A la dixième séquence, possibilité d'une troisième boule.

Le bowling est un jeu sportif d'adresse qui consiste à renverser 10 quilles de 1,5 Kg en faisant rouler une boule d'une masse de 2,7 à 7 Kg sur une piste de presque 20 m de long.

Chaque partie comprend 10 reprises ou séquences. Pour chaque séquence, le joueur dispose d'un maximum* de 2 boules pour renverser la totalité des quilles.

S'il renverse les 10 quilles à sa première tentative, c'est un "**Strike**" et il n'y a pas de deuxième lancer.

Au cas où des quilles resteraient en place sur la piste, le joueur lance sa deuxième boule, afin de les chambouler. En cas de succès, c'est un "**Spare**", en cas d'échec, c'est un "**Trou**", même s'il n'en reste qu'une...

1.3. EXPRESSION DU BESOIN

La mise en place des quilles sur la piste après chaque lancer et leur détection pour la gestion des scores se font automatiquement par **une machine à requiller**, objet de notre étude. Les attentes des acquéreurs d'équipements de bowling sont fortes en terme d'action et de service, ainsi que le précisent les contraintes suivantes.

Dans un souci de rentabilité :

- C1. Minimiser le temps de rechargement en quilles entre chaque lancer.
- C2. Avoir une grande fiabilité, le minimum d'arrêts possible et d'appels pour interventions (3000 reprises sans arrêt) et peu de remplacement de pièces d'usure.
- C3. Eviter la dégradation des quilles et des boules.
- C4. Limiter la consommation d'énergie particulièrement en attente de jeu.

Dans un souci d'information et de satisfaction de l'utilisateur :

- C5. Ne pas commettre d'erreur de détection de quilles et ce, même sous un éclairage en lumière noire.
- C6. Respecter le règlement des fédérations de bowling pour permettre les compétitions (comme la précision du positionnement des quilles).

1.4. DESCRIPTION

1.4.1. Positionnement des quilles

La position des quilles sur le pindeck (pont des quilles) est définie par une réglementation très stricte des fédérations sportives de bowling (FIQ/WTBA). Toutes les mesures sont exprimées en mesures anglo-saxonnes, cependant par souci de compréhension, elles seront exprimées dans le sujet en mesures métriques.

Les quilles sont disposées sur un triangle équilatéral de 91,2 cm de coté, séparées entre elles de 30,4 cm. Elles sont repérées par un numéro suivant la figure ci-dessous. La tolérance admise de positionnement d'une quille est de 3 mm.

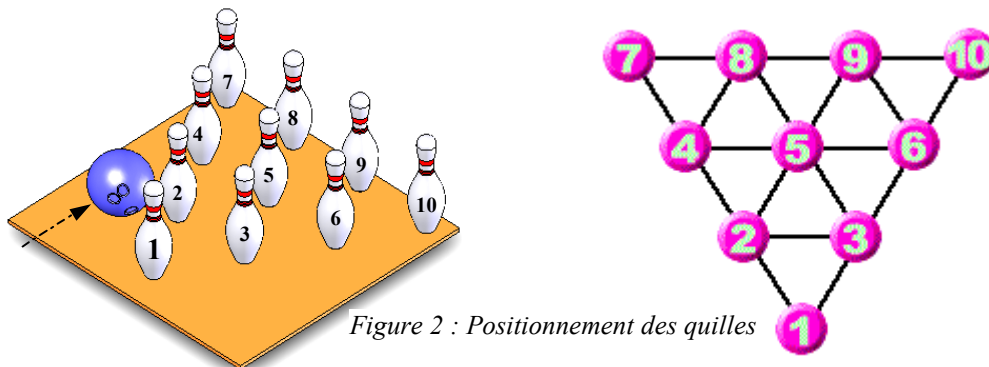


Figure 2 : Positionnement des quilles

La piste, en bois d'érable ou en matière synthétique, est large de 106 cm et longue de 24,04 m. Elle se compose de 3 parties distinctes :

- La zone d'élan ou d'approche qui mesure 4,87 m ;
- La zone de lâcher et de roulement de la boule qui mesure 18,29 m ;
- La zone de pont des quilles qui mesure 0,88 m.

Cette piste est soigneusement entretenue de manière à ce qu'elle reste le plus parfaitement plane. Elle est recouverte d'un vernis qui la protège de l'usure provoquée par le roulement des boules. De plus, un lubrifiant (huile) est appliqué sur ce vernis sur les 12 premiers mètres. Dans cette zone, le frottement entre la boule et le sol est très faible, la boule glisse plus qu'elle ne roule.

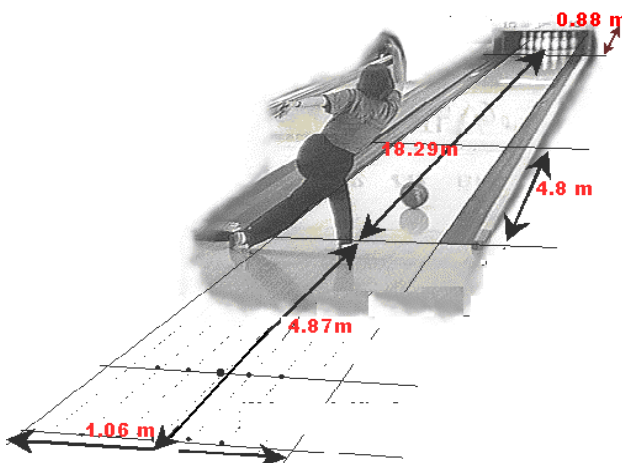


Figure 3 : Composition d'une piste

1.4.2. Machine à requiller

Les machines à requiller permettent d'une part de :

- Récupérer les quilles ;
- Repositionner les quilles sur le pindeck ;
- Renvoyer la boule au joueur.

D'autre part, celles de dernière génération transmettent des informations à un système informatique de gestion pour :

- Comptabiliser les points ;
- Afficher les scores.

Ces machines à requiller sont constituées de 6 sous-ensembles structuraux pilotés par une unité de commande et de gestion.

1.4.2.1. Sous ensembles structuraux (DT1.1, DT1.2, DT2, DT3)

Ces 6 sous-ensembles structuraux sont :

- La fosse à boules qui récupère et sépare les quilles et la boule après un lancer ;
- L'accélérateur de boules qui renvoie la boule au joueur ;
- L'élévateur de quilles qui remonte les quilles dans la partie supérieure de la machine ;
- Le distributeur de quilles qui stocke un jeu de quilles avant d'être posé ;
- La table de pose des quilles qui stocke un autre jeu de quilles et le pose sur le pindeck ;
- Le chariot du râteau qui balaye les quilles tombées sur le pindeck.

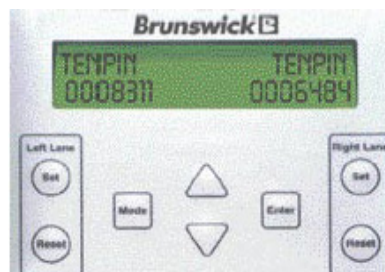
1.4.2.2. Sous-ensemble de commande et de gestion (DT4, DT5)

Il se compose des éléments suivants :

- Une carte électronique à micro-contrôleur reçoit des informations des capteurs, génère des ordres ;
- Une carte électronique de puissance distribue l'énergie aux différents sous-ensembles structuraux en fonction des ordres reçus ;
- Un pupitre de commande composé d'un afficheur LCD et de boutons poussoirs permet d'établir un dialogue avec le personnel d'entretien afin d'optimiser les délais d'intervention sur les machines.



Vue 2 : Pistes de bowling

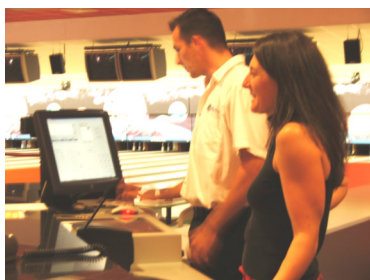


Vue 3 : Pupitre de commande

Ce sous-ensemble de commande et de gestion, composé de deux cartes électroniques et de son pupitre, contrôle deux pistes de bowling accolées. Par ailleurs, cette unité est raccordée par un bus de terrain (NEXGEN) à une informatique de gestion (Framework).

Cette informatique ou Framework comptabilise les points et affiche les scores d'un ensemble de huit pistes de bowling au maximum.

Un ordinateur central (PC office), situé à la caisse, et un ordinateur de maintenance (PC maintenance), situé dans le local technique, sont connectés par réseau intranet aux informatiques de gestion et permettent l'activation et le paramétrage de toutes les pistes. Un ordinateur distant (PC manager) peut se connecter au système par un réseau Ethernet.



Vue 4 : PC office



Vue 5 : Terminal de communication

De plus, chaque piste est équipée d'un terminal de communication. Celui-ci permet à l'utilisateur de piloter la machine à requiller en totale autonomie. Ce dispositif n'est utilisé que pour certaines compétitions ou pour des entraînements spécifiques liés à des configurations particulières de quilles.

1.4.3. Description temporelle d'une séquence

Une séquence s'initialise à la détection de la première boule sur l'entrée de la machine à requiller. Dès lors, l'élévateur de quilles, le distributeur de quilles et l'accélérateur de boules se mettent en action. La porte à boules se verrouille pendant 3 secondes. Ensuite le râteau, libéré, descend sous l'action de son poids propre.

Les mouvements de la table de pose peuvent se décomposer en 3 cycles. Chaque cycle se décomposant en plusieurs situations de fonctionnement qui dépendent du résultat du premier lancer :

Les symboles①, ②, etc indiquent l'ordre chronologique des situations de fonctionnement.

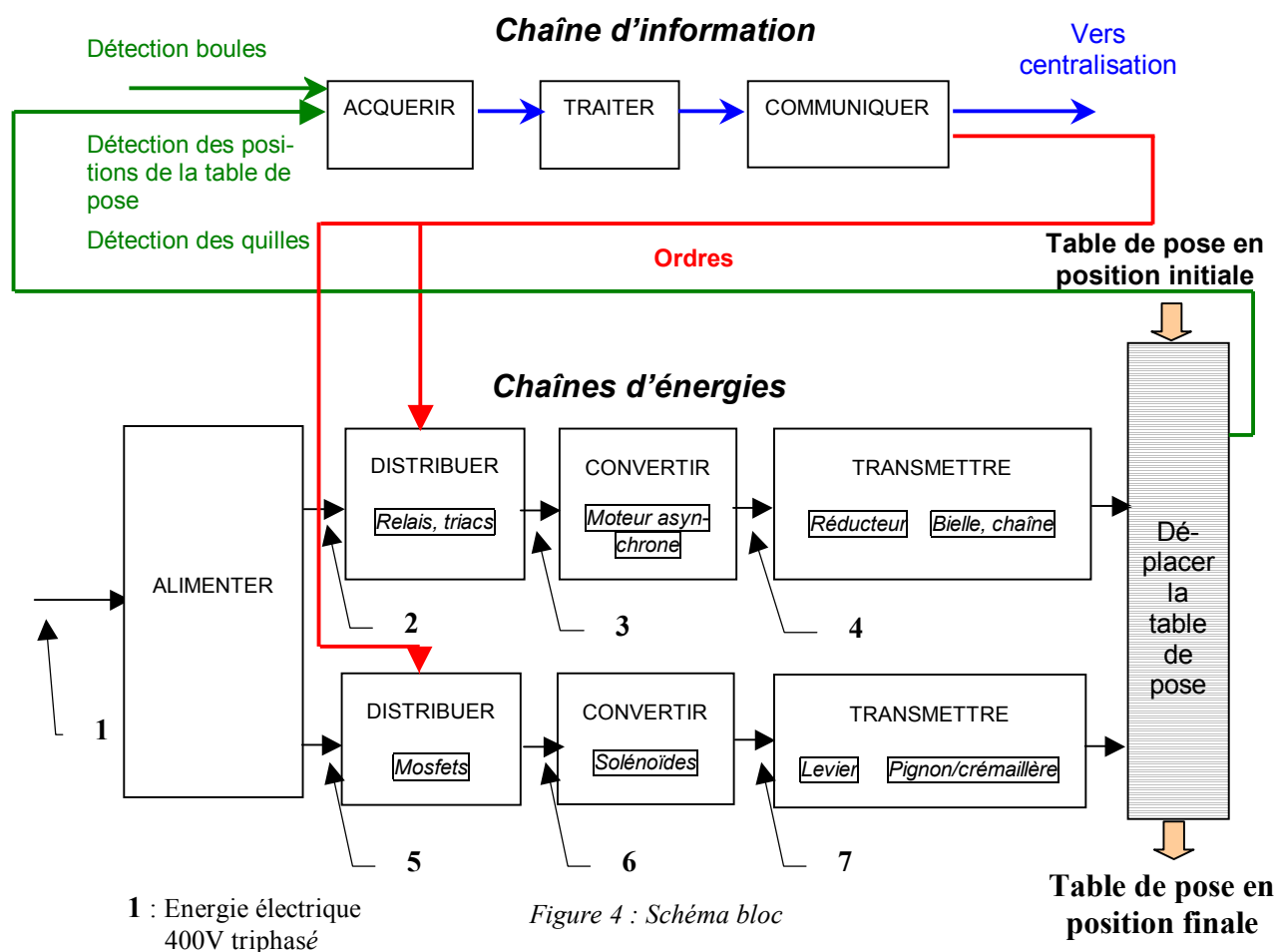
Cycles de la table	Situations de fonctionnement	Strike		Spare ou trou	
		1 ^{er} lancer	2 ^{ème} lancer	1 ^{er} lancer	2 ^{ème} lancer
Cycle court	Détection des quilles restées debout.	①		①	⑤
	Soulèvement des quilles.			②	
	Repose des quilles.			④	
Cycle d'attente	Balayage des quilles tombées.	②		③	⑥
Cycle long	Pose d'un nouveau jeu de quilles.	③			⑦

Les mouvements de la table de pose peuvent se décomposer selon trois cycles (DT1.1 et DT1.2)
 Cycle court = Mouvement de descente- montée avec une course courte (vignettes B1à B5)
 Cycle long = Mouvement de descente- montée avec une course longue (vignettes E1à E5)
 Cycle d'attente = Immobilisation de la table en position haute (vignettes A1à A5, C1à C5, D1 à D5)

1.4.4. 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).
- Question 1B : En cas de Strike, combien de temps gagne-t-on sur une 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.
- 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).
- 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.
- 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. SITUATION D'ETUDE N°1 : OPTIMISATION DE LA POSE DES QUILLES

L'objet de cette étude consiste à valider la précision et la rapidité de la pose des quilles (contraintes **C1** et **C2**, voir page 1) en fonction des différentes situations de jeux (Strike, spare, ...).

2.1. DESCRIPTION D'UN CYCLE DE STRIKE (DR1)

Un cycle de Strike comprend trois phases :

Phase de détection :

- Le capteur **A** de la table de pose est activé ;
- La boule est détectée à l'entrée de la machine à requiller par le détecteur d'entrée de boules (**Ceb**). (DT1.1 et DT1.2 vignettes A1 à A5) ;
- Le solénoïde (**Sr**) libère le râteau qui descend sous son propre poids ;
- Le moteur de table (**Mtable**) tourne dans le sens anti-horaire pour permettre à la table d'effectuer un cycle de descente et de remontée sans relever le râteau.

Durant ce cycle :

- La table arrive en butée sur le plateau de limitation de table et active les capteurs (**Cdet**) et **B** qui signalent l'arrivée de la table en position de détection (vignette B5). L'électronique de commande lit l'état des capteurs (**Cq1**, ..., **Cq10**) et trouve qu'il ne reste aucune quille debout ;
- La chaîne de descente de table et le dispositif d'ancrage de la table de pose continuent à descendre jusqu'à ce que le capteur **C** soit activé (vignettes B1, B2 et B4) ;
- La table remonte en position haute, active le capteur **A**, ce qui permet d'arrêter le moteur (**Mtable**) (vignettes C1 à C5).

Phase de balayage :

- Le moteur de râteau (**Mrat**) est alimenté, tirant le râteau vers l'arrière puis vers l'avant pour balayer les quilles tombées sur le pindeck (vignettes D1 à D5) ;
- Lorsque le râteau est complètement en avant, le capteur (**Crb**) détecte cette position et coupe l'alimentation du moteur de râteau.

Phase de pose des quilles :

- Le moteur de table (**Mtable**) tourne dans le sens horaire pour permettre d'effectuer un nouveau cycle de descente et de remontée de la table de pose.

Durant ce cycle :

- Le solénoïde (**Slc**) est alimenté et tire le plateau de limitation de table vers l'arrière (vignette E5). Ceci permet à la table de descendre plus bas (vignettes E2 et E4) et d'autoriser les quilles à se mettre en position verticale (vignette E3) ;
- Lorsque le capteur **C** (vignette E2) est activé, la libération des quilles de la table de pose est autorisée ;
- La table remonte entraînant le relevage du râteau. Elle arrive en position haute, active le capteur **A** (vignettes A1 à A5) ce qui permet d'arrêter le moteur (**Mtable**).

➔ *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.*

On donne les caractéristiques de la table de pose suivantes :

- Masse de la table avec les supports de quilles et les mécanismes associés: **30 Kg**.
- Course maxi : **572 mm** (pose d'un nouveau jeu de quilles).
- Moteur frein de table triphasé ATB BN63 4B/11 : **$P_u = 0,18 \text{ kW}$; $N = 1370 \text{ tr/min}$; $F = 50\text{Hz}$; **Frein : $C = 2,5 \text{ N.m}$** .**
- Vitesse maximale de montée de table : **0,275 m/s**.

☞ *On rappelle que le temps de pose ou de repose des quilles est de 5 secondes (descente + montée) et que la masse d'une quille est de 1,5 Kg.*

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

→ 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.

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

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

→ Question 2F : A partir de l'analyse du schéma structural 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.

2.2. DETECTION ET REPOSE DES QUILLES RESTANTES APRES UNE PREMIERE BOULE

2.2.1. Détection des quilles restantes

La table de pose est composée de 10 postes supports de quille montés sur 4 axes pivotants. Les supports de quilles sont maintenus en position horizontale pendant toute la phase de détection. Dans ce cas, le solénoïde de limitation de course de la table (**Slc**) n'est pas alimenté.

On considère la situation suivante : les supports des quilles 1,4 et 8 sont vides lorsqu'une boule est détectée. Les quilles 3, 5, 6, 9 et 10 sont renversées.

→ 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.

Les capteurs Cq1 à Cq10 ainsi que les commandes des solénoïdes des postes supports de quille ne sont pas directement connectés au micro contrôleur.

(Voir le schéma structural partiel carte commande [Entrées – Sorties] du DT8).

→ 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.

2.2.2. Relevage des quilles restantes

Une fois les quilles restantes sur le pindeck détectées, la table doit les lever afin de laisser passer le râteau pour évacuer les quilles tombées. La prise des quilles est effectuée par les ciseaux de spotting. C'est le moteur de la table de pose (**Mtable**) qui va permettre l'ouverture et la fermeture de ces ciseaux (DT11).

On donne les caractéristiques techniques de la chaîne d'énergie de la commande des ciseaux de spotting :

- Moteur de table triphasé ATB BN63 4B/11 : $P_u = 0,18 \text{ kW}$; $N = 1370 \text{ tr/min}$; $F = 50 \text{ Hz}$
- Train d'engrenages de réduction = **85**
- Pignon d'entraînement crémaillère **$Z = 20 \text{ dents}$; Module $m = 3 \text{ mm}$**
- Roue de commande **$Z = 20 \text{ dents}$; Module $m = 3 \text{ mm}$**
- Temps de commande de fermeture ciseaux = **1 seconde**

→ 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.

→ 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.

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

→ 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.

☞ On précise que :

- La fermeture des ciseaux de spotting débute lorsque le capteur B est activé pendant la phase de rotation dans le sens anti-horaire du moteur de la table de pose ;
- L'ouverture des ciseaux de spotting débute lorsque le capteur D est activé pendant la phase de rotation dans le sens horaire du moteur de la table de pose.

2.2.3. Pose des quilles

Chaque support de quille possède des doigts de maintien de quille commandés par un solénoïde (**Sq**)(DT10). Ils sont maintenus ouverts lorsque le solénoïde est alimenté. Les doigts du support de quille doivent pivoter d'un angle de 60° pour libérer une quille au moment de la pose. A ce moment, les supports de quille sont en position verticale et la table est en position basse.

Caractéristiques du dispositif de commande des doigts du support de quille :

- Pignon de commande : **Diamètre primitif 22,5 mm ; module 1,5 mm ; secteur 6 dents**
- Crémaillère : **14 dents**
- Solénoïde : **24 Volts ; 26 ohms.**

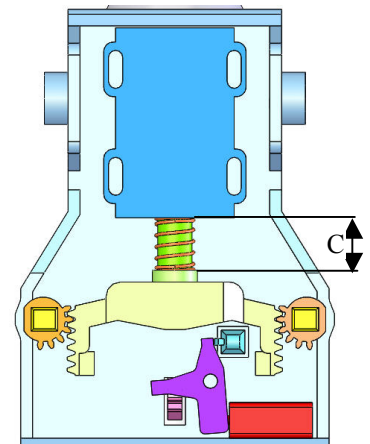


Figure 6 : Dispositif de commande des doigts du support de quille

→ 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 ?

2.2.4. Chargement de la table en nouvelles quilles

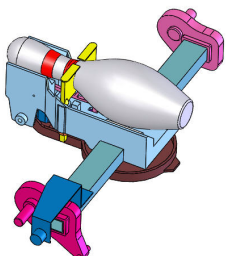


Figure 7 : Quille en position horizontale

Lorsque la table remonte vers le distributeur de quilles, les supports de quille doivent retrouver une position horizontale et les doigts de maintien des supports de quille vides doivent rester ouverts.

Le basculement des barres supports de quille a lieu lorsque le levier de commande des barres vient en contact avec une butée du distributeur.

Un ressort de basculement permet le retour des supports de quille en position verticale.

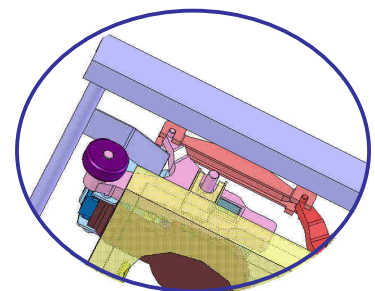


Figure 8 : Levier de commande de barres

Dans l'étude qui va suivre, on va déterminer l'effort nécessaire pour remettre les quilles en position horizontale. Ce qui permettra de déterminer l'effort supplémentaire fourni par le moteur de table.

Hypothèses et données :

- La vitesse de basculement des quilles étant faible, la détermination de cet effort sera abordée par une étude statique ;
- Afin de limiter les efforts de basculement, le centre de gravité de l'ensemble quille et support se trouve très près du centre de rotation de la barre (*Voir figure 9*).
- Le ressort : **Raideur $k = 1 \text{ N/mm}$, longueur initiale = 150 mm**
Longueur du ressort en position horizontale = 308 mm
Longueur du ressort en position verticale = 238 mm
- Les liaisons sont supposées géométriquement parfaites et sans frottement.

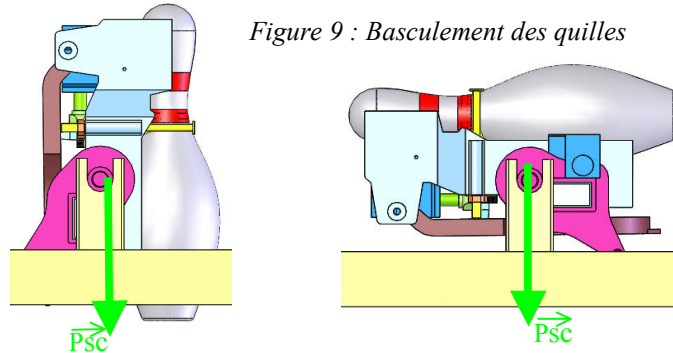


Figure 9 : Basculement des quilles

→ **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.

Ces poids P_{sc} ne seront pas pris en compte pour la suite de l'étude. Vous traiterez la question 2R à partir du document réponse DR3.

→ **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 ?
- Déterminer l'action du ressort 20 sur le levier 10 et la représenter sur le document réponse DR3.
- 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.
- 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.
- Isoler la barre 12. Que peut-on conclure sur la direction des actions qui s'exercent sur ces barres ?
- 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.

→ **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.

→ **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.

2.3. Gestion d'un cycle de pose imposé par le joueur pour un entraînement particulier

Au cours d'un entraînement, le joueur peut décider d'effectuer un lancer avec un placement de quilles particulier. Pour cela, il choisit sur le terminal de communication (**DT12**) les quilles qu'il souhaite positionner sur le pindeck avant le lancer.

→ 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.

On suppose que le joueur décide de s'entraîner en ne posant que la quille n°7.

→ 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

L'objet de cette étude consiste à déterminer comment sont évacuées les quilles tombées et restées sur le pin-deck après un lancer de boule en respectant les contraintes C1 et C3

L'évacuation des quilles tombées et restées sur le pindeck est effectuée par le chariot du râteau (DT3). On donne les caractéristiques de la chaîne d'énergie du chariot du râteau :

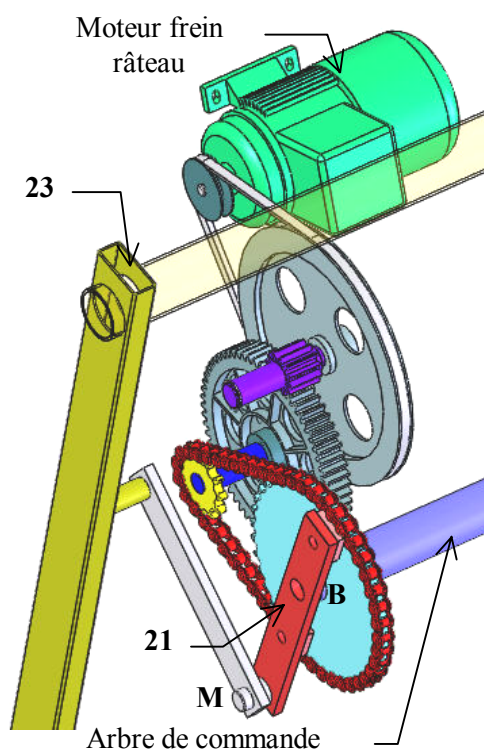


Figure 10 : Transmission de la commande du râteau.

- Moteur frein de râteau triphasé ATB BN63 4B/11 :
 $P_u = 0,18 \text{ kW}$; $N = 1370 \text{ tr/min}$; $F = 50\text{Hz}$;
 $\text{Frein} : 2,5 \text{ N.m}$
- Un système poulie courroie trapézoïdale :
Diamètre poulie moteur $D_m = 60 \text{ mm}$
Diamètre poulie réceptrice $D_r = 232 \text{ mm}$
Courroie = **Z10 x 6 x 875**
- Un système à engrenages parallèles à denture droite:
Pignon **Zp = 12 dents** ; **module = 3 mm**
Roue **Zr = 64 dents**
- Une transmission par chaîne à rouleaux :
Pignon **Zpc = 12 dents**
Roue = **39 dents**
Chaîne: pas **15,8 mm** à **50 maillons**.
- Longueur manivelle **21 BM = 160 mm**

→ 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.

→ 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.

➔ 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.
- Représenter sur cette figure cette vitesse $\vec{V}_{M,21/20}$.
- Que peut-on dire de la vitesse $\vec{V}_{M,22/20}$?
- Préciser la nature du mouvement de 23/20. En déduire la direction des vitesses $\vec{V}_{N,23/20}$ et $\vec{V}_{N,22/20}$.
- En utilisant les lois de la cinématique des solides en mouvements plans, déterminer graphiquement la vitesse $\vec{V}_{N,23/20}$.
- En déduire graphiquement les vitesses $\vec{V}_{C,23/20}$ et $\vec{V}_{C,24/20}$.
- Préciser la nature du mouvement de 25/20 et tracer la direction de la vitesse $\vec{V}_{D,25/20}$.
- Déterminer graphiquement la vitesse $\vec{V}_{D,25/20}$.
- En déduire la vitesse de balayage $\vec{V}_{P,25/20}$.

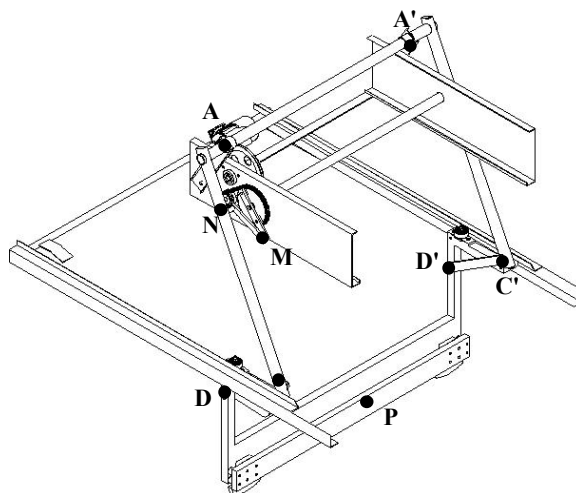


Figure 11 : Chariot du râteau

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 ?

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

➔ 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.

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.

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).

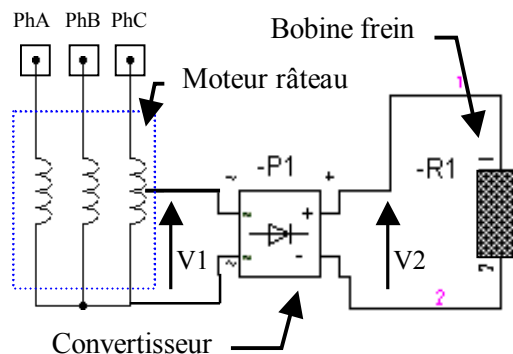


Figure 12 : Alimentation du frein

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

L'objet de cette étude consiste à améliorer le dispositif d'accélérateur de boules suite à un dysfonctionnement en respectant les contraintes **C1** et **C3**. Notamment, lors d'une compétition, une boule restée coincée dans l'accélérateur de boules a été rendue inutilisable par le frottement de la courroie d'entraînement qui a provoqué une usure localisée.

L'accélérateur de boules est entraîné par un moteur asynchrone à rotor extérieur (**DT2**).

On donne les caractéristiques techniques suivantes (figures 13 et 14) :

- Fréquence de rotation du moteur de l'accélérateur de boules : **1188 tr/min**
- Distance parcourue lors du retour de la boule sous la piste
 $L_{sp} = 24 \text{ m}$
- Longueur de la rampe d'accélération sur le rail de guidage
 $L_{rg} = 1,1 \text{ m}$ (La rampe sera considérée comme une ligne rectiligne pour l'étude).
- Diamètre extérieur du rotor du moteur : **150 mm**
- Masse de la boule étudiée : **5 Kg**

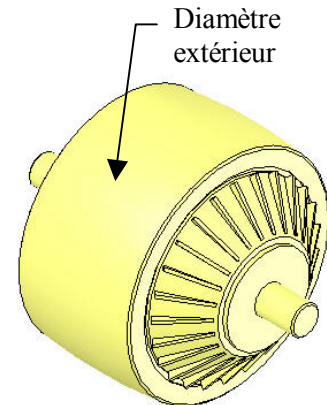


Figure 13 : Moteur de l'accélérateur

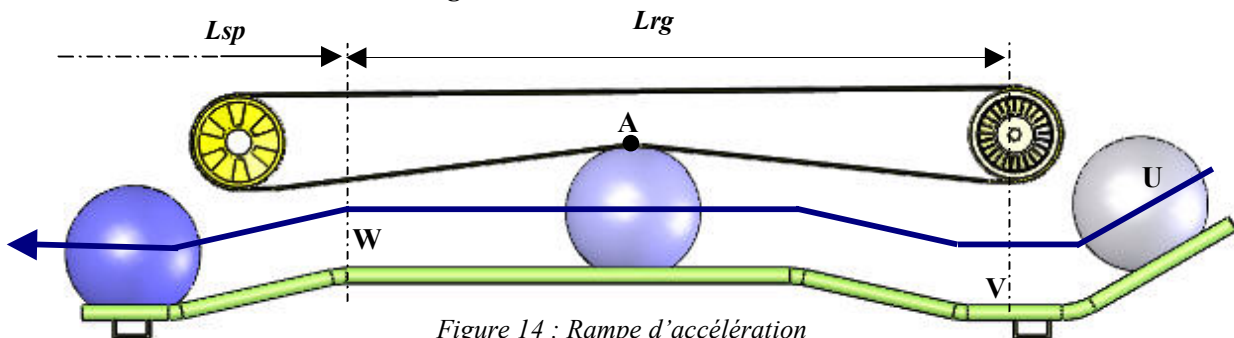


Figure 14 : Rampe d'accélération

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

➔ *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?*

➔ *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).*

La boule entre au contact de la courroie d'entraînement au point V avec une vitesse initiale de 50 cm/s. Le mouvement de la boule entre les points V et W sera supposé comme un mouvement de translation rectiligne uniformément varié.

➔ *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.

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

Pour optimiser plus facilement l'effort presseur de la courroie sur la boule, on veut rajouter un dispositif de réglage de la tension du ressort. Pour cela, on souhaite modifier la barre de tension et son système de fixation (voir figure 15).

→ 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.

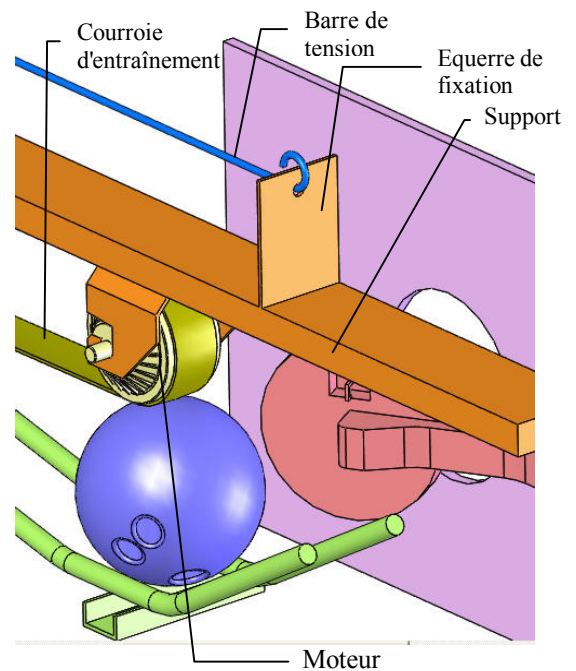


Figure 15 : Lanceur de boules

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

On souhaite améliorer le système en rajoutant une sécurité qui permettra de stopper la commande du moteur d'accélérateur de boules lorsqu'une boule est présente, entre les rails et la courroie, plus longtemps que prévu.

Une mesure du courant d'une phase du moteur de l'accélérateur de boules a été réalisée en utilisant la boule la plus légère (figure 16). Le signal obtenu est de fréquence 50 Hz.

On se propose d'étudier la chaîne d'acquisition et de traitement de ce capteur permettant l'amélioration du système.

→ 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.

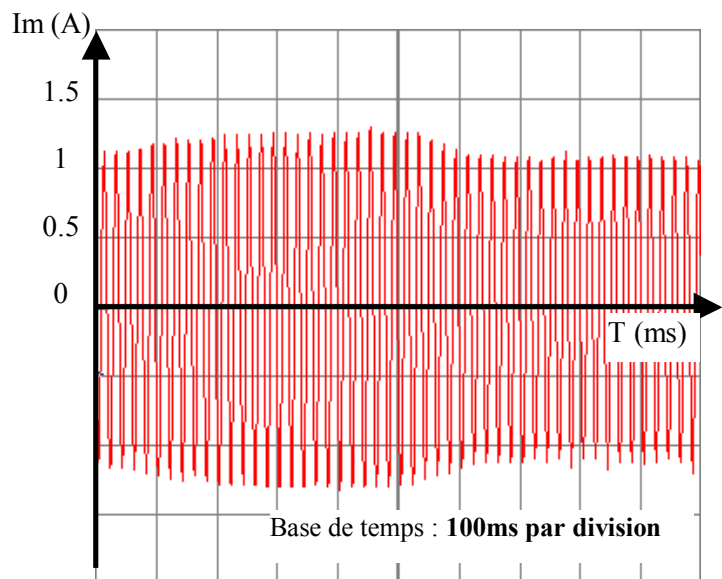


Figure 16 : Courant dans une phase du moteur de l'accélérateur à boules

→ 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^{er} lancer : les quilles 1, 2, 3, 4, 5, 8 et 9 sont renversées ;
- 2^{ème} lancer : les quilles 6 et 10 sont renversées.