Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

Brevet de technicien supérieur

Conception et réalisation de systèmes automatiques

SESSION 2016

SUJET

ÉPREUVE E4 – CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UN SYSTÈME AUTOMATIQUE

Durée : 4 h 30

Coefficient : 3

Matériel autorisé :

- toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186, 16/11/1999) ;
- aucun document n'est autorisé.

Dès que le sujet est remis, s'assurer qu'il est complet.
Le sujet se compose de 21 pages, numérotées de 1 à 21.

Présentation générale	**(feuilles blanches)**	pages 2 à 4
Travail demandé	**(feuilles jaunes)**	pages 5 à 11
Documents ressources	**(feuilles vertes)**	pages 12 à 18
Documents réponses	**(feuilles bleues)**	pages 19 à 21

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

REQUILLEUR DE BOWLING

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1. Introduction

La fédération française de bowling et de sport de quilles dénombre plus de 170 installations de bowling homologuées et un très grand nombre de licenciés.

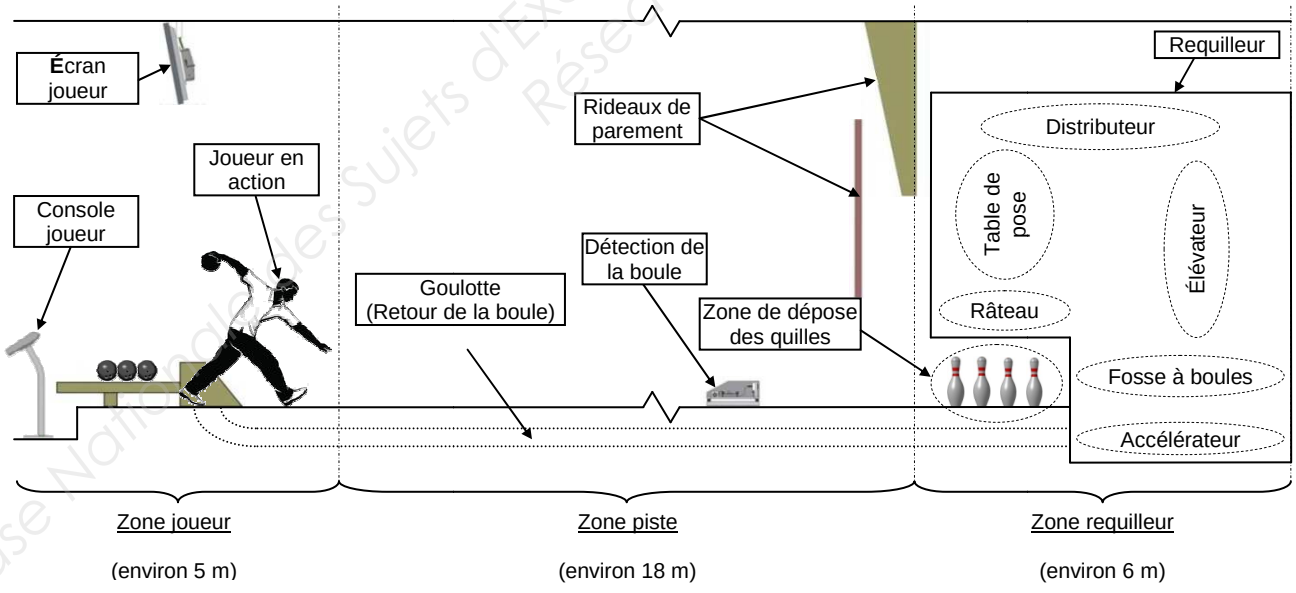


2. Principe

Le bowling est un jeu d'adresse qui consiste à renverser 10 quilles en faisant rouler une boule sur une piste. Chaque partie comprend 10 séquences de jeu. Pour chaque séquence, le joueur dispose au maximum de 2 lancers pour renverser la totalité des quilles.
S'il renverse les 10 quilles lors de son premier essai, il effectue un « strike » et il n'y a pas de deuxième lancer.
S'il ne renverse pas les 10 quilles lors de son premier essai, après enlèvement des quilles tombées, le joueur lance sa deuxième boule afin de renverser celles restant debout. En cas de succès, le joueur effectue un « **spare** » ; en cas d'échec, c'est un « **trou** », même s'il n'en reste qu'une debout.

2.1. Description de l'installation

Dans un bowling, les pistes de jeu sont implantées par paire et peuvent varier de 4 à 32 par site, toutes conçues selon le modèle ci-dessous.



Le renvoi de la boule, la mise en place des quilles sur la zone de dépose après chaque lancer et leur détection pour la gestion des scores se font par un système automatique appelé requilleur.

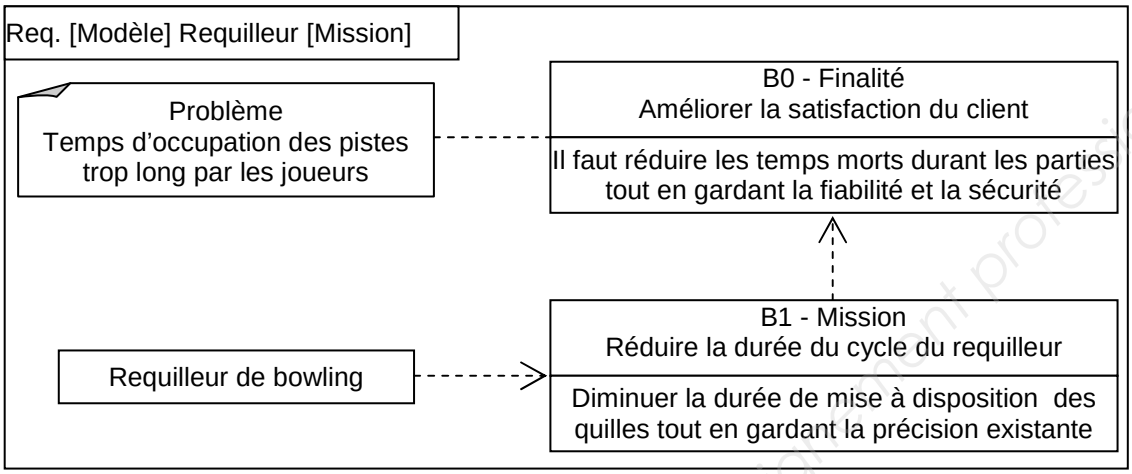
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'Enseignement Professionnel
Réseau Canopé

3. Besoin

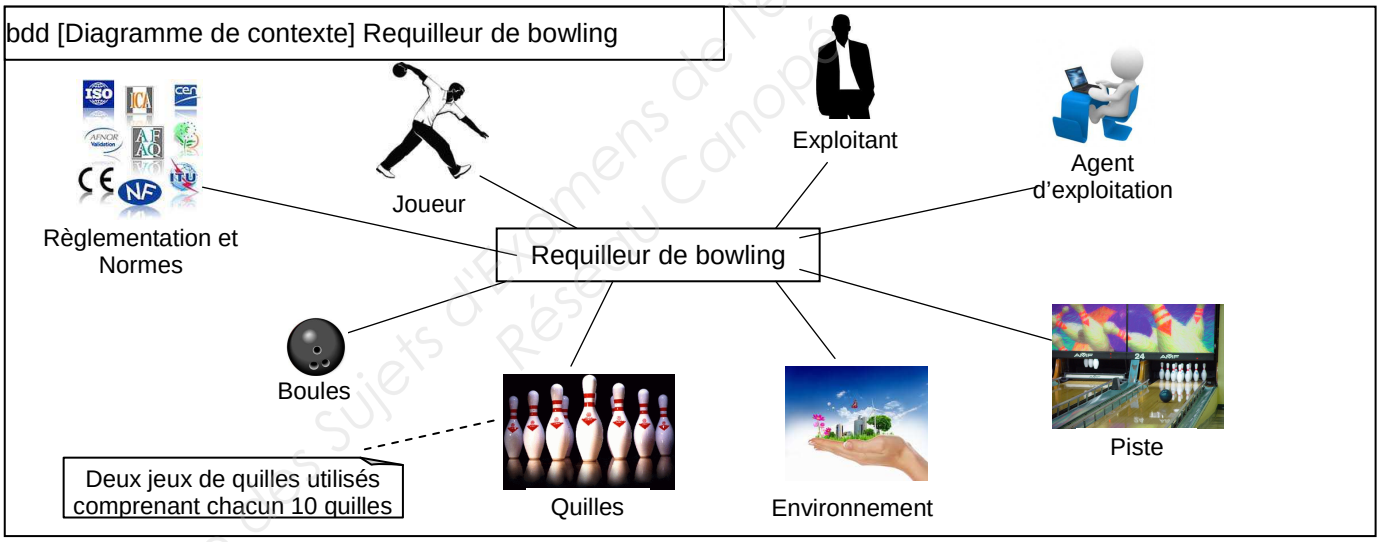
Les exploitants de bowling recherchent en permanence à améliorer la satisfaction des clients. Cela passe par une réduction du temps d'attente des joueurs entre 2 lancers, une information toujours plus attrayante sur les parties en cours et une fiabilisation accrue des installations.

4. Étude

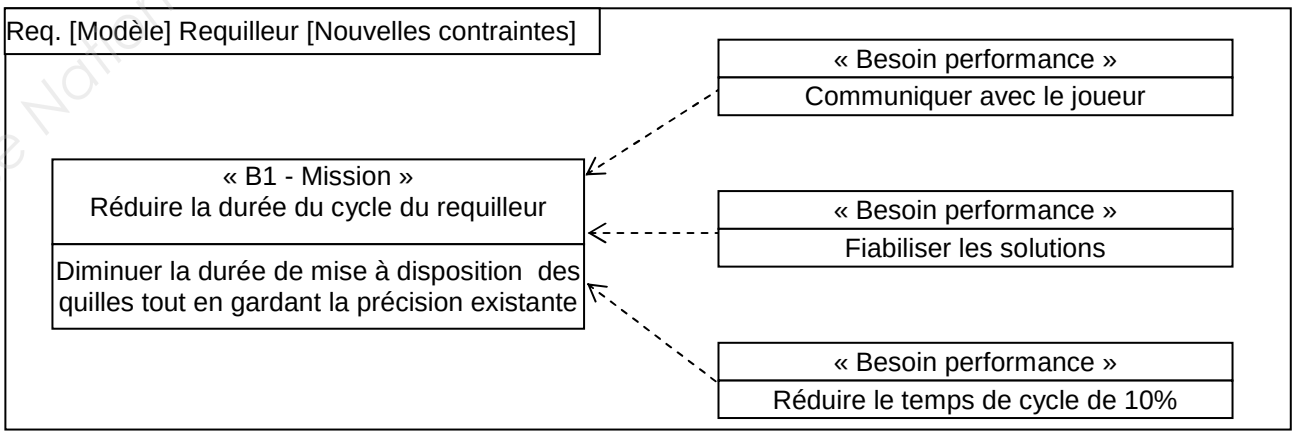
4.1. Mission (norme ISO 15288 - 2002)



4.2. Contexte du requilleur en phase d'exploitation



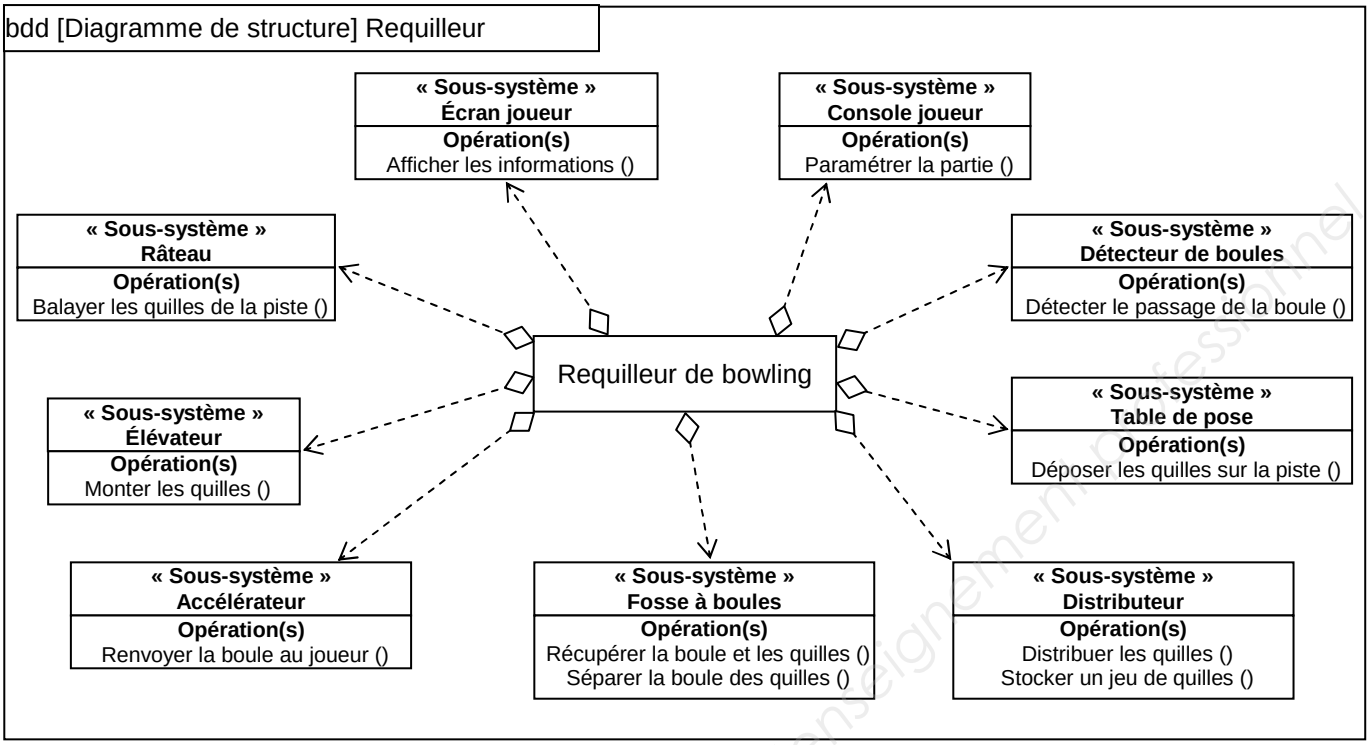
4.3. Nouveaux besoins



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

5. *Architecture du requilleur existant*

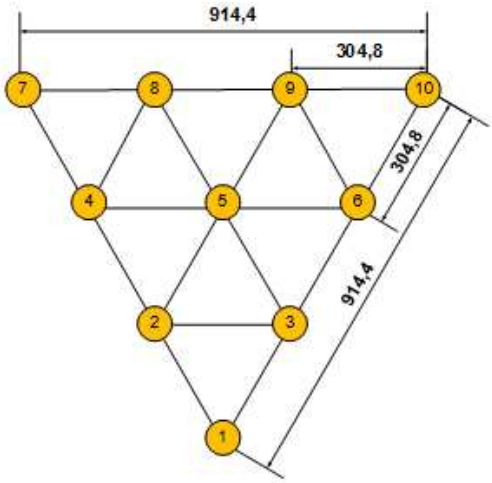
Le diagramme de structure, donné ci-dessous, présente les différents sous-systèmes du requilleur et les opérations associées.



6. *Définition et positionnement des quilles*

Une quille a une masse comprise entre 1,53 kg et 1,64 kg et une hauteur de 381 mm (15 pouces). Elle est en général réalisée en bois d'érable protégé par une couche de nylon.
La quille dont la base fait 57,2 mm (2,25 pouces) de diamètre, bascule si son inclinaison par rapport à la verticale dépasse 9 degrés.
La position des quilles sur la zone de dépose est définie par une réglementation très stricte des fédérations sportives de bowling.
Les quilles sont disposées sur un triangle équilatéral de 914,4 mm (36 pouces) de côté, séparées entre elles de 304,8 mm (12 pouces). Elles sont repérées par un numéro suivant la figure ci-dessous. La base de chaque quille doit se situer dans un cercle de ø 63,5 mm (2,5 pouces), soit une tolérance de position au rayon admise de 3 mm.





Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Définition temporelle du requilleur existant

Afin de réduire le temps d'occupation des pistes par les joueurs, un relevé des durées des opérations sur l'installation existante a été réalisé.

1. Analyse temporelle

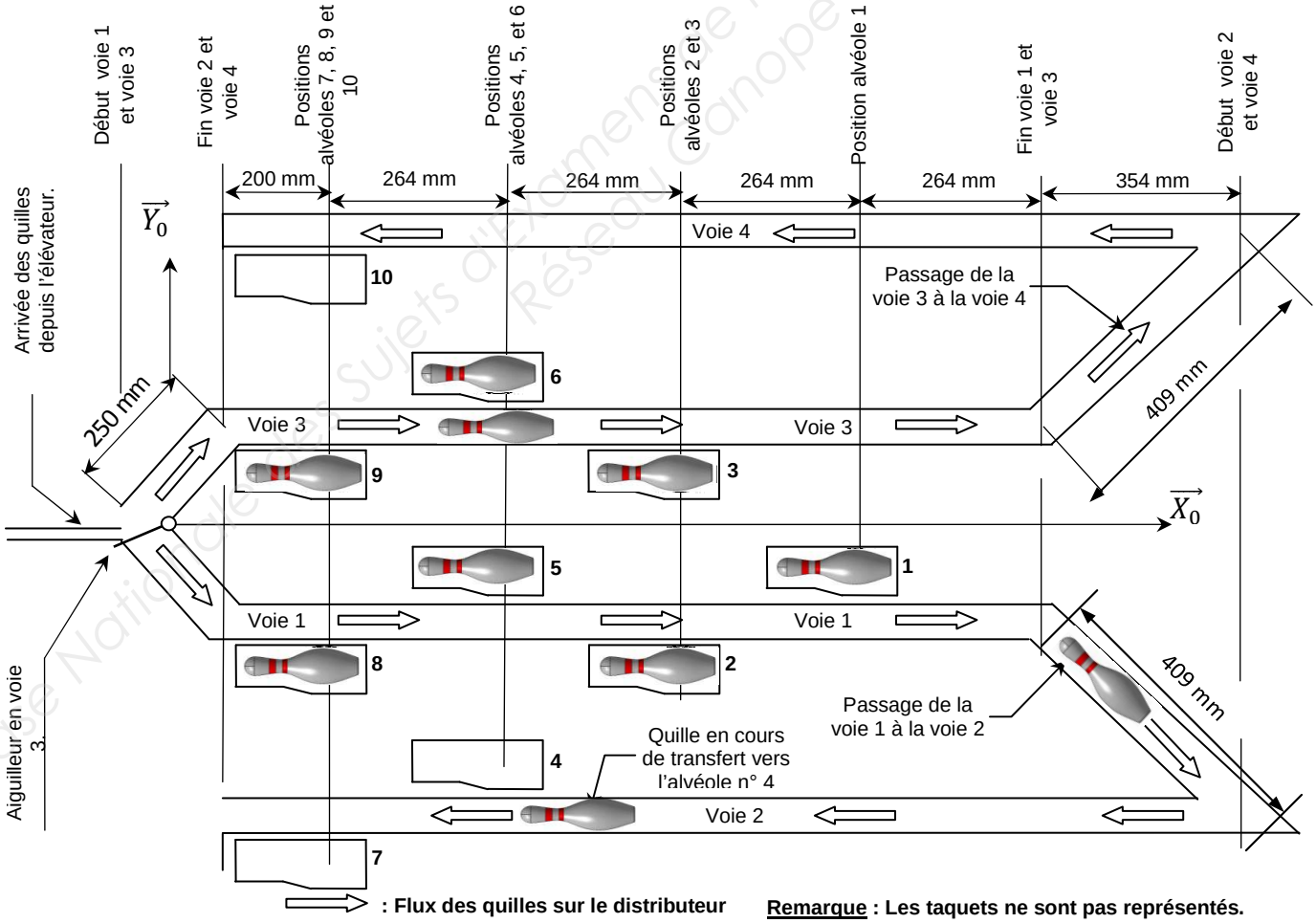
Le document ressource 1 indique la répartition des temps en fonction des différentes opérations à réaliser pour la mise à disposition des quilles suite à un lancer de boules.

Q1. *Identifier l'opération et le sous-système le plus chronophage.*

La suite de l'étude ne portera que sur le fonctionnement du distributeur de quilles.

2. Analyse du processus existant

Les quilles renversées arrivent en vrac dans la fosse à boules. Un élévateur vertical monte ces quilles une par une jusqu'à l'entrée du distributeur de quilles présenté sur la figure ci-dessous. Le distributeur déplace les quilles horizontalement, dans le plan $\{\overrightarrow{X_0},\overrightarrow{Y_0}\}$, jusqu'à ce qu'elles arrivent dans les 10 alvéoles (repérées de 1 à 10) en attente de transfert sur la table de pose. À chaque alvéole est associé un taquet qui, lorsqu'il n'est pas escamoté, fait tomber la quille dans l'alvéole. Au début du remplissage, les alvéoles sont vides et les taquets sont non escamotés.
Un aiguilleur dirige les quilles vers la voie 1 ou la voie 3. La chute de la quille dans son alvéole provoque mécaniquement l'escamotage du taquet associé libérant ainsi la voie pour la quille suivante. En bout des voies 1 et 3, les quilles sont dirigées vers les voies 2 et 4.



: Flux des quilles sur le distributeur **Remarque : Les taquets ne sont pas représentés.**

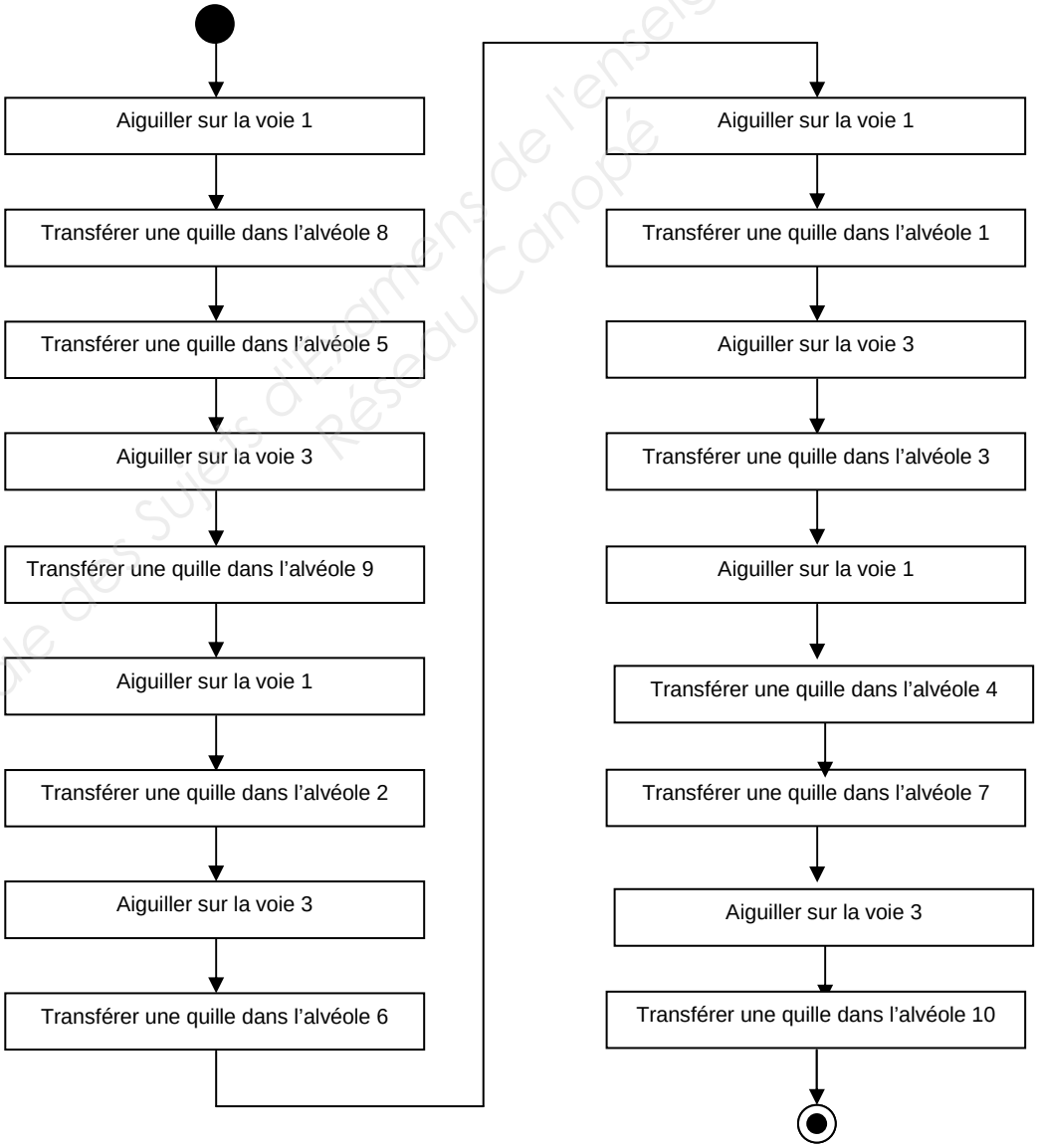
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Pour apporter une quille dans une alvéole à partir de la zone de sortie de l'élévateur, plusieurs procédés élémentaires, listés ci-dessous, sont mis en œuvre :

- Transférer une quille dans l'alvéole 1
- Transférer une quille dans l'alvéole 2
- Transférer une quille dans l'alvéole 3
- Transférer une quille dans l'alvéole 4
- Transférer une quille dans l'alvéole 5
- Transférer une quille dans l'alvéole 6
- Transférer une quille dans l'alvéole 7
- Transférer une quille dans l'alvéole 8
- Transférer une quille dans l'alvéole 9
- Transférer une quille dans l'alvéole 10
- Aiguiller sur la voie 1
- Aiguiller sur la voie 3

À partir de cette liste de procédés, il est possible d'imaginer différents processus permettant de réaliser le remplissage des 10 alvéoles pour un jeu de quilles. Le processus actuel de remplissage, nommé « processus 1 », est modélisé ci-dessous :

Processus 1



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Q2. *En utilisant les procédés élémentaires listés en page 5, proposer un autre processus possible pour le distributeur existant.*

3. Calcul du temps de cycle du « processus 1 »

Il est nécessaire de définir plus précisément la durée des différentes opérations décrites par le « processus 1 ».

Sur le document réponse page 19, le synoptique des mouvements nécessaires pour réaliser ce processus est ébauché. Ces mouvements seront répertoriés et caractérisés dans le tableau défini sur le document réponse.

La vitesse moyenne retenue pour les déplacements sur les différentes voies est de 0,5 m/s.
La durée de basculement d'une quille dans une alvéole est estimée à 0,1 s.
Le mouvement de l'aiguillage se fait en temps masqué.
La cadence d'arrivée des quilles est d'une quille par seconde.
La distance pour passer de la voie 1 à la voie 2 ou de la voie 3 à la voie 4 est de 409 mm.

Q3. *Compléter, sur le document réponse page 19, le synoptique montrant les différents flux de transfert des quilles dans les alvéoles, ainsi que les 2 premières colonnes du tableau pour le « processus 1 ». Les tracés seront faits à main levée et le plus clairement possible.*

Q4. *Sur le document réponse page 19, compléter les 2 dernières colonnes du tableau avec les valeurs des courses et des durées des mouvements de transfert.*

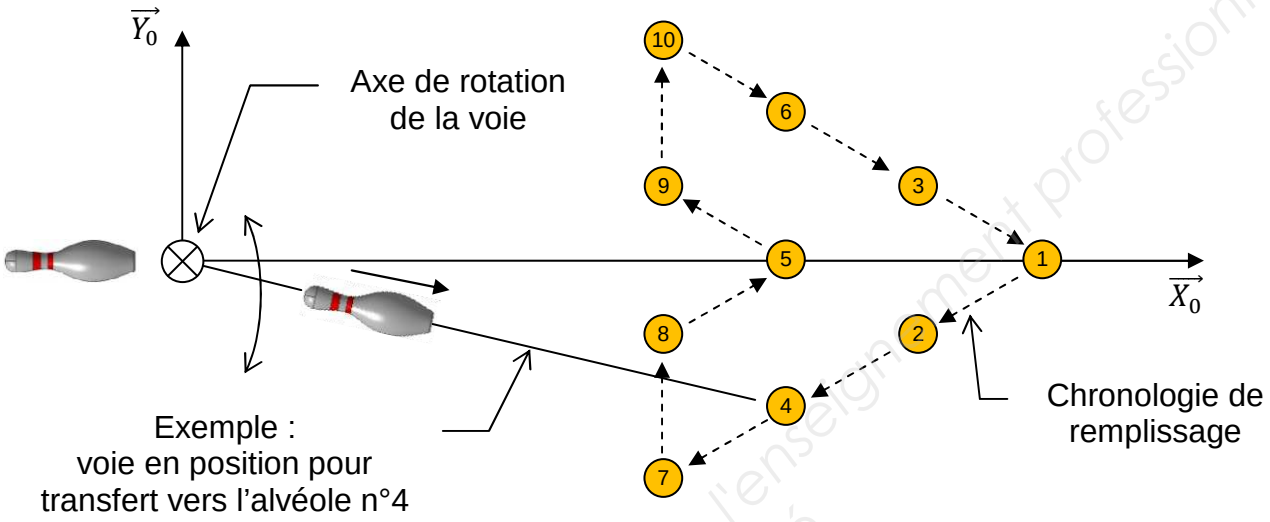
Q5. *Sur le document réponse page 20, compléter le diagramme de Gantt du « processus 1 » en tenant compte du cadencement donné.*

Q6. *En conservant l'architecture actuelle du distributeur, lister des solutions techniques permettant de diminuer la durée du remplissage des 10 alvéoles.*

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Nouvelle architecture du distributeur

Pour simplifier le dispositif de distribution des quilles dans les alvéoles, un système combinant un mouvement de rotation et un mouvement de translation est envisagé. Ce système comporte une voie unique pour alimenter les 10 alvéoles. La voie pivote et s'adapte en longueur pour atteindre l'alvéole selon la chronologie de remplissage proposée sur le schéma ci-dessous. L'axe de rotation de la voie est porté par l'axe $\overrightarrow{Z_0}$. Cette solution sera nommée « processus 2 ».



Exigences techniques :

- la vitesse maxi de déplacement de la quille sur la voie est de 0,5 m/s ;
- la vitesse moyenne ω de rotation de la voie est de 0,27 rad/s ;
- les mouvements de rotation et de translation de la voie peuvent être combinés ;
- la cadence d'arrivée en fin de voie est d'une quille par seconde.

4. Calcul du temps de cycle du « processus 2 »

Q7. *En tenant compte des données, calculer sur une feuille de copie les durées des mouvements de rotation de la voie puis les reporter dans la dernière colonne du tableau sur le document réponse page 21.*

Q8. *À partir du tableau document réponse page 21, vérifier et justifier que le positionnement et l'adaptation de la voie pour passer d'une alvéole à l'autre est compatible avec la cadence de l'arrivée des quilles.*

Q9. *Après avoir calculé la durée d'acheminement de la 1ère quille dans l'alvéole 1, trouver le temps nécessaire pour remplir le distributeur.*

Sachant que la durée du cycle avant étude était de 14,5 s, le gain de temps répond-il au besoin du cahier des charges ?

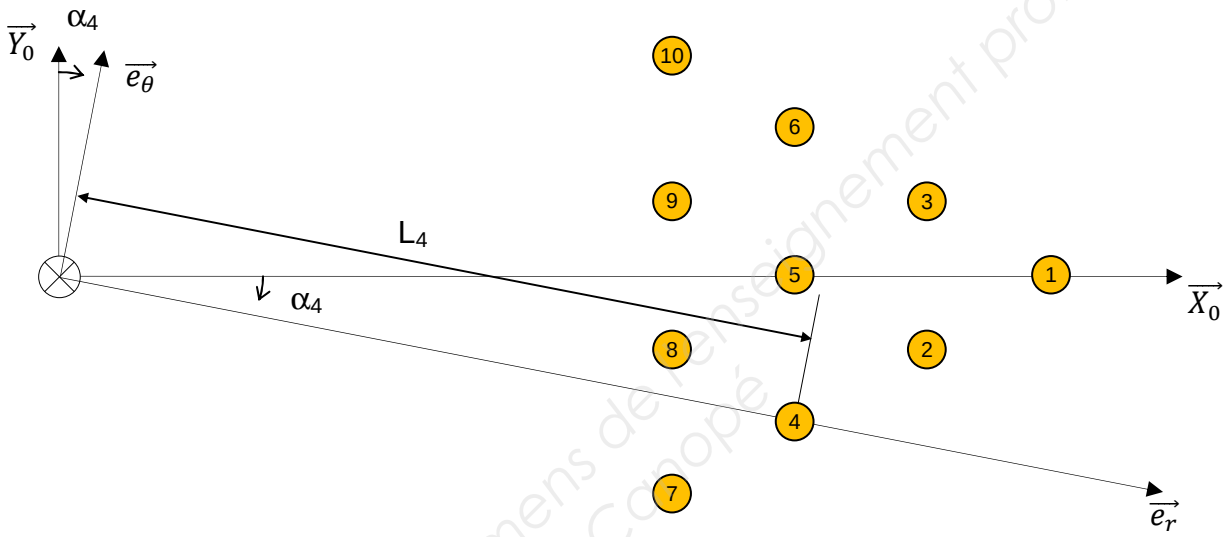
Banque Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

Architecture matérielle du « processus 2 »

Le procédé de récupération des quilles en sortie de l'élévateur et de dépose dans les alvéoles utilisé dans le « processus 2 » est réalisé par un système à 2 axes.
La position d'une alvéole est définie par :

- une longueur associée L_i ;
- un angle associé α_i.

Exemple, pour l'alvéole n°4 : L_4 = 1425,05 mm et α_4 = -12,35° (voir document réponse page 20).



5. Architecture matérielle – Étude des paramètres influents

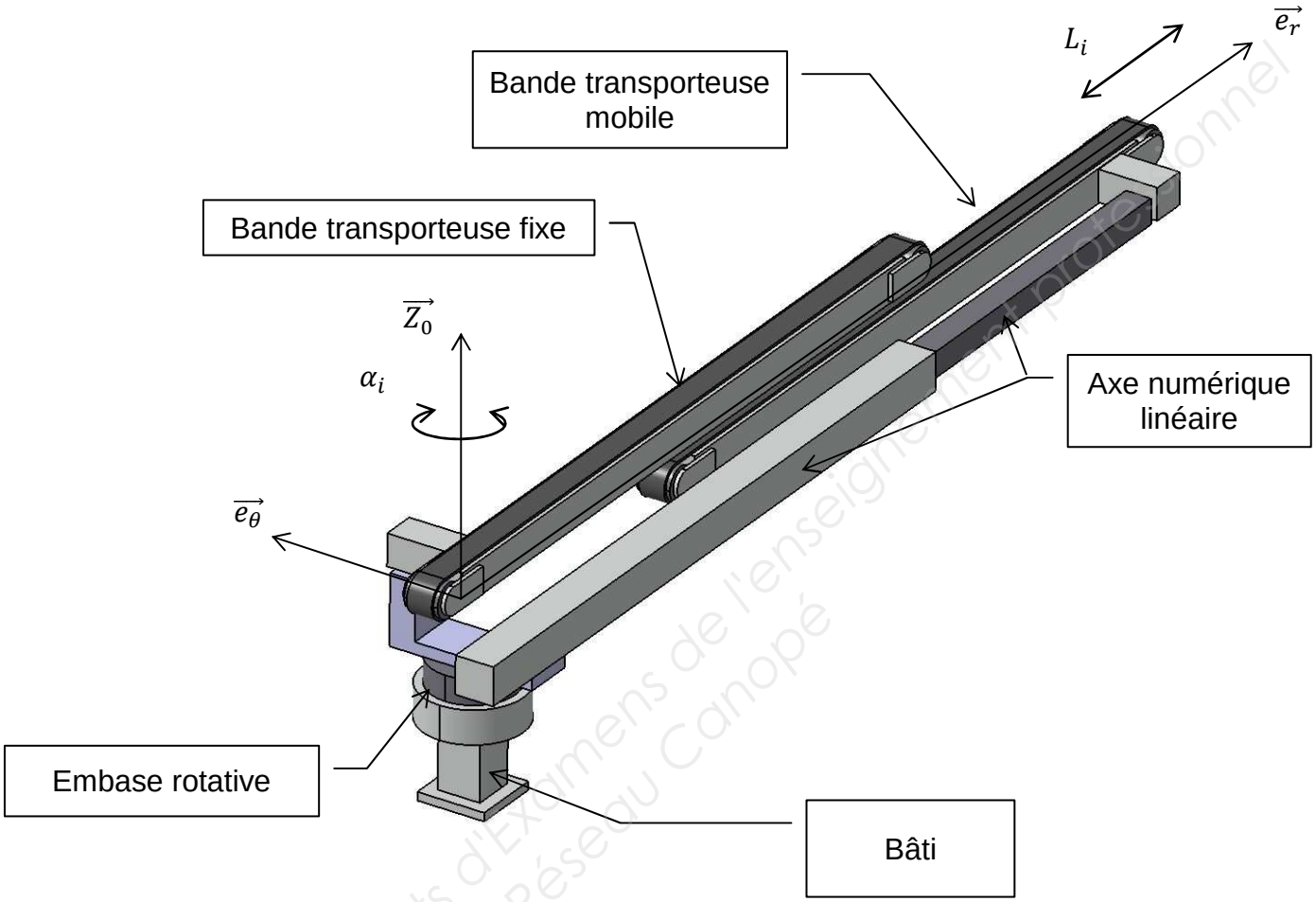
Q10. *Déterminer les limites de l'amplitude du mouvement angulaire et les limites de l'amplitude du mouvement linéaire en utilisant le document réponse page 21.*

Q11. *La précision de la position d'arrêt souhaitée pour l'axe linéaire doit être de ± 1 mm. Quelles indications sur les documents ressources pages 13 à 16 permettent de vérifier cette contrainte et de valider l'amplitude du mouvement linéaire ?*

Base Nationale de sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

6. Choix du type de technologie pour l'axe linéaire

L'architecture envisagée du système combinant un mouvement de rotation et un mouvement de translation pour la dépose des quilles dans les alvéoles, est détaillée sur la figure ci-dessous. Il se compose d'une embase rotative, de bandes transporteuses et d'un axe numérique.



Parmi les 4 technologies proposées sur les documents ressources pages 13 à 16, un choix technologique est à effectuer pour l'axe numérique linéaire.

Les contraintes, pour le choix de cet axe numérique sont les suivantes :

- masse totale à déplacer (bande transporteuse + quille) : 8 kg ;
- nombre de positions à atteindre : 6 ;
- course utile : 800 mm ;
- vitesse maxi : 1000 mm/s ;
- accélération/décélération maxi : 10 m/s² ;
- précision de positionnement : ± 1 mm ;
- type porte-à-faux.

Q12. *Choisir une des 4 solutions. Justifier ce choix.*

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

7. Choix d'une configuration matérielle pour la partie commande

L'architecture de commande retenue pour l'ensemble des axes linéaires est disponible sur les documents ressources pages 17 et 18.

Elle se compose :

- d'un automate programmable (API) intégrant des ports de communication pour gérer le contrôle des différents axes linéaires ;
- d'un écran tactile de 7,5 " assurant l'interface homme machine (IHM) ;
- d'un ordinateur connectable à tout moment via un réseau internet.

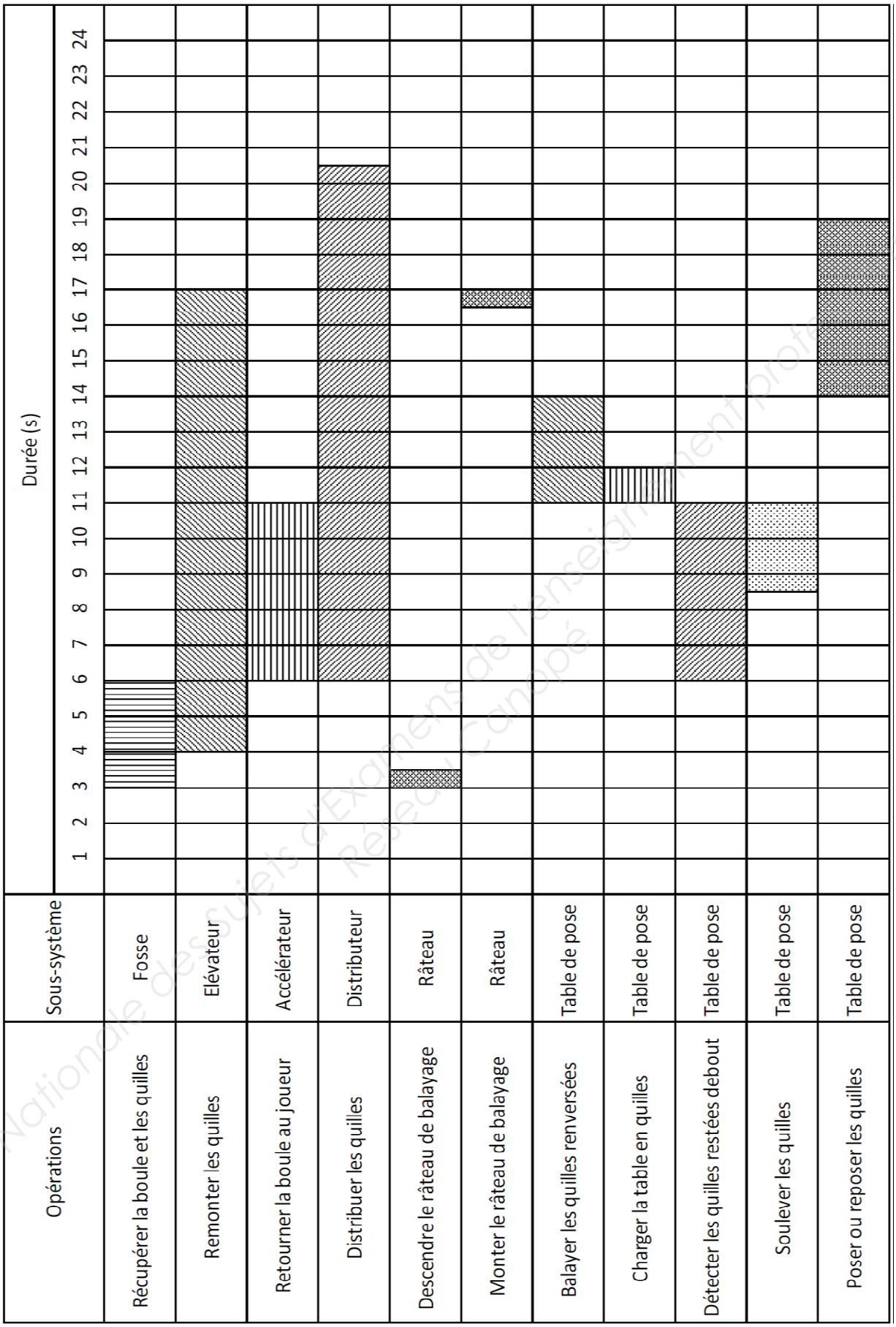
Chaque axe sera piloté par un contrôleur d'axe Festo CMMP-AS-M3.

Q13. *En utilisant les documents ressources, calculer les coûts associés aux 3 solutions fournisseurs pour un bowling de 4 pistes et pour un bowling de 32 pistes.*

Q14. *Choisir et justifier la solution retenue pour la configuration matérielle pour 4 pistes et pour 32 pistes.*

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Processus 1 - Diagramme de Gantt

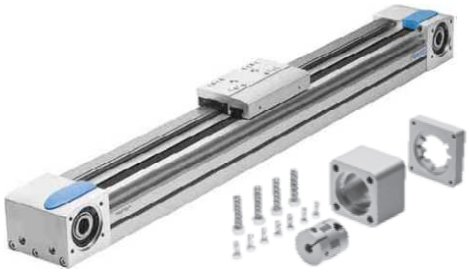


Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Chiffrage matériels FESTO

Solution n° 1 : axe électrique à chariots mobiles, type portique

Aperçu du dispositif



Axe :
EGC-80-800-TB-KF-0H-GV
Kit axial :
EAMM-A-L48-80P



Moteur :
EMME-AS-80-M-LS-AM
Réducteur :
Aucun



Contrôleur :
CMMP-AS-C5-3A-M3

Caractéristiques techniques du dispositif :

- technologie axe : courroie crantée ;
- type de moteur : servomoteur de type AC ;
- position de montage de l'axe : horizontal ;
- précision répétitive : $\pm$ 0,08 mm ;
- vitesse de déplacement maxi : 3,26 m/s ;
- guidage à circulation de billes ;
- température ambiante maximale : 60 °C ;
- course possible : 8500 mm ;
- masse déplacée maximale : 40 kg ;
- accélération / décélération maxi : 21 m/s².

Chiffrage du dispositif

	Spécificités	Ref. FESTO	Coût (€ HT)
Axe (EGC-80-800-TB-KF-0H-GV)	800 mm	556814	1475,29
Kit axial (EAMM-A-L48-80P)		2042616	236,90
Moteur (EMME-AS-80-M-LS-AM)		2093169	985,50
Contrôleur (CMMP-AS-C5-3A-M3)		1501326	1391,55
Coût total (H.T.) (Hors accessoires, capteurs et câbles de raccordement)			**4089,24**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

Chiffrage matériels FESTO

Solution n° 2 : axe électrique à bras mobiles, type porte-à-faux

Aperçu du dispositif



Axe :
EGSL-BS-75-300-20P
Kit axial :
EAMM-A-D60-60G



Moteur :
EMMS-AS-55-S-LS-TS
Réducteur :
EMGA-60-P-G3-SAS-55



Contrôleur :
CMMS-AS-C4-3A-G2

Caractéristiques techniques du dispositif

- technologie axe : vis à billes ;
- type de moteur : servomoteur de type AC ;
- position de montage de l'axe : horizontal ;
- précision répétitive : $\pm$ 0,015 mm ;
- vitesse de déplacement maxi : 0,394 m/s ;
- guidage à circulation de billes ;
- température ambiante maximale : 60 °C ;
- course possible : 300 mm ;
- masse déplacée maximale : 14 kg ;
- accélération / décélération maxi : 13 m/s².

Chiffrage du dispositif

	Spécificités	Ref. FESTO	Coût (€ HT)
Axe (EGSL-BS-75-300-20P)	300 mm	559342	1512,40
Kit axial (EAMM-A-D60-60G)		560283	235,29
Moteur (EMMS-AS-55-S-LS-TS)		1569736	814,06
Réducteur (EMGA-60-P-G3-SAS-55)	k = 3:1	552188	367,63
Contrôleur (CMMS-AS-C4-3A-G2)		572986	972,46
Coût total (H.T.) (Hors accessoires, capteurs et câbles de raccordement)			**3901,84**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Chiffrage matériels FESTO

Solution n° 3 : axe électrique à bras mobile, type porte-à-faux

Aperçu du dispositif

		
Axe : DGEA-40-800-ZR-GVL	Moteur : EMME-AS-100-S-HS-AM	Contrôleur : CMMP-AS-C5-3A-M3

Caractéristiques techniques du dispositif

- technologie axe : courroie crantée ;
- type de moteur : servomoteur de type AC ;
- position de montage de l'axe : horizontal ;
- précision répétitive : $\pm$ 0,1 mm ;
- vitesse de déplacement maxi : 1,5 m/s ;
- guidage à circulation de billes ;
- température ambiante maximale : 60 °C ;
- course possible : 3000 mm ;
- masse déplacée maximale : 50 kg ;
- accélération / décélération maxi : 18 m/s².

Chiffrage du dispositif

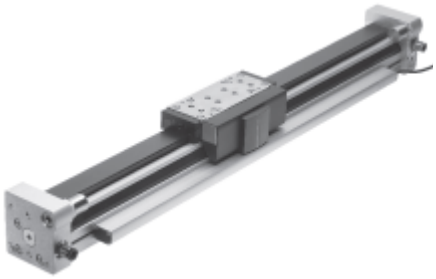
	Spécificités	Ref. FESTO	Coût (€ HT)
Axe (DGEA-40-800-ZR-GVL)	800 mm	195613	1791,66
Moteur (EMME-AS-100-S-HS-AM)		2103468	989,00
Contrôleur (CMMP-AS-C5-3A-M3)		1501326	1391,55
Coût total (H.T.) (Hors accessoires, capteurs et câbles de raccordement)			**4172,21**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Chiffrage matériels FESTO

Solution n° 4 : Axe pneumatique proportionnel à chariots mobiles, type portique

Aperçu du dispositif



Vérin linéaire :
DGCI-25-850-KF



Distributeur proportionnel :
VPWP-6-L-5-Q8-10-E-F



Contrôleur :
CPX-CMAX-C1-1

Caractéristiques techniques du dispositif

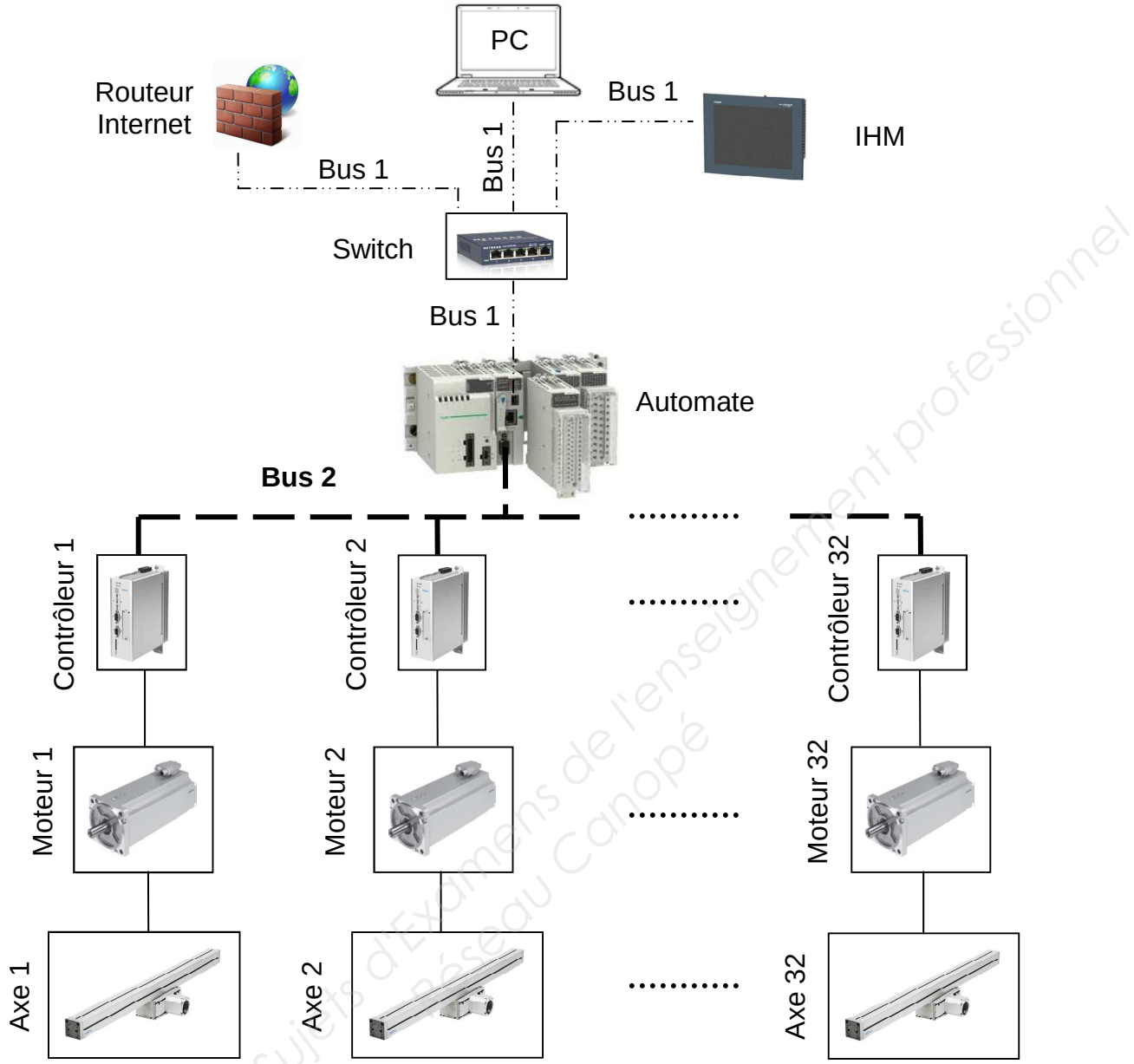
- diamètre de piston : 25 mm ;
- pression de service : de 2 à 8 bars ;
- guidage : recirculation de billes ;
- précision répétitive : $\pm$ 0,1 mm ;
- vitesse de déplacement maxi : 5 m/s ;
- guidage à circulation de billes ;
- température ambiante maximale : 60 °C ;
- course possible : 2000 mm ;
- masse déplacée maximale : 30 kg ;
- mesure : sans contact et intégrée.

Chiffrage du dispositif

	Spécificités	Ref. FESTO	Coût (€ HT)
Vérin linéaire (DGCI-25-850-KF)	850 mm	544426	1930,65
Distributeur proportionnel (VPWP-6-L-5-Q8-10-E-F)		550171	657,00
Contrôleur (CPX-CMAX-C1-1)		548932	688,60
Coût total (H.T.) (Hors accessoires, capteurs et câbles de raccordement)			**3276,25**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Documentation FESTO - Contrôleur CMMP-AS-M3



3 tarifs fournisseurs de matériels sont envisagés :

FESTO : Bus 1 : Ethernet TCP/IP et Bus 2 : EtherCat

API CECX-X-M1 Ethernet TCP/IP et EtherCat	coût : 2530,39 € H.T.
IHM CDPX-X-A-W-7 (Ethernet - 7,5'' couleur)	coût : 1144,25 € H.T.
Switch Ethernet - 5 ports	coût : 115,69 € H.T.

SCHNEIDER ELECTRIC : Bus 1 : Ethernet TCP/IP et Bus 2 : CANopen

API M340 MODbus Ethernet TCP/IP et CANopen	coût : 2135,68 € H.T.
IHM GTO5310 (Ethernet - 7,5'' couleur)	coût : 710,05 € H.T.
Switch Ethernet - 5 ports	coût : 113,18 € H.T.

SIEMENS : Bus 1 : PROFINET (TCP/IP) et Bus 2: PROFIBUS-DP

API SIMATIC S7-1500 PROFINET TCP/IP et PROFIBUS-DP	coût : 1737,18 € H.T.
IHM SIMATIC TP 700 (PROFINET - 7,5'' couleur)	coût : 647,34 € H.T.
Switch Ethernet - 5 ports	coût : 284,14 € H.T.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Documentation FESTO - Contrôleur CMMP-AS-M3

Performances

Compacité

- Encombrement minimisé
- Intégration complète de l'ensemble des composants du contrôleur et du bloc d'alimentation, notamment les interfaces USB, Ethernet et CANopen
- Hâcheur de freinage intégré
- Filtre CEM intégré
- Pilotage automatique du frein de maintien
- Conforme aux normes CE et EN sans modification extérieure (jusque 25 m de câble moteur)

Commande du mouvement

- Interprétation des valeurs de codeurs numériques mono-tour ou multi-tours (EnDat/HIPERFACE)
- Asservissement de la position, du couple, de la vitesse
- Positionnement rapide (trapéziforme) ou sans à-coups (en S)
- Mouvements relatifs ou absolus
- Positionnement point par point, avec et sans lissage de la vitesse
- Synchronisation extérieure
- Fonctions de cames électroniques
- 255 blocs d'avance
- Méthodes de prise de référence diverses

Interfaces de bus de terrain

Intégrée :

CANopen

En option :

PROFIBUS, DeviceNet, EtherCAT

Pas sur CMMP-AS-C20 :

PROFINET, EtherNet/IP

Entrée-sortie

- E/S librement programmable
- Entrée analogique 16 bits haute résolution
- Mode d'apprentissage de position
- Couplage simple à l'automate maître via bus de terrain ou E/S
- Mode synchrone
- Mode maître/esclave
- E/S supplémentaires avec la carte enfichable CAMC-D-8E8A

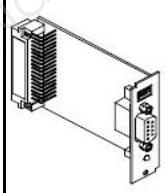
Commande de séquences intégrée

- Séquences de positions sans automate superviseur
- Séquences linéaires ou cycliques
- Délais réglables
- Dérivations et positions d'attente dans la séquence possibles
- Réinitialisation du cycle possible pendant le mouvement

Modules fonctionnels pour la programmation d'API

Logiciel de programmation	Fabricants de commandes	Interfaces					
		CANopen	PROFIBUS DP	DeviceNet	EtherCAT	EtherNet/IP	PROFINET RT
CoDeSys	Festo	■	■	■	■	■	■
	Beckhoff						
	Schneider						
RSLogix5000	Rockwell Automation	—	—	■	—	■	—
étape 7	Siemens	—	■	—	—	—	■

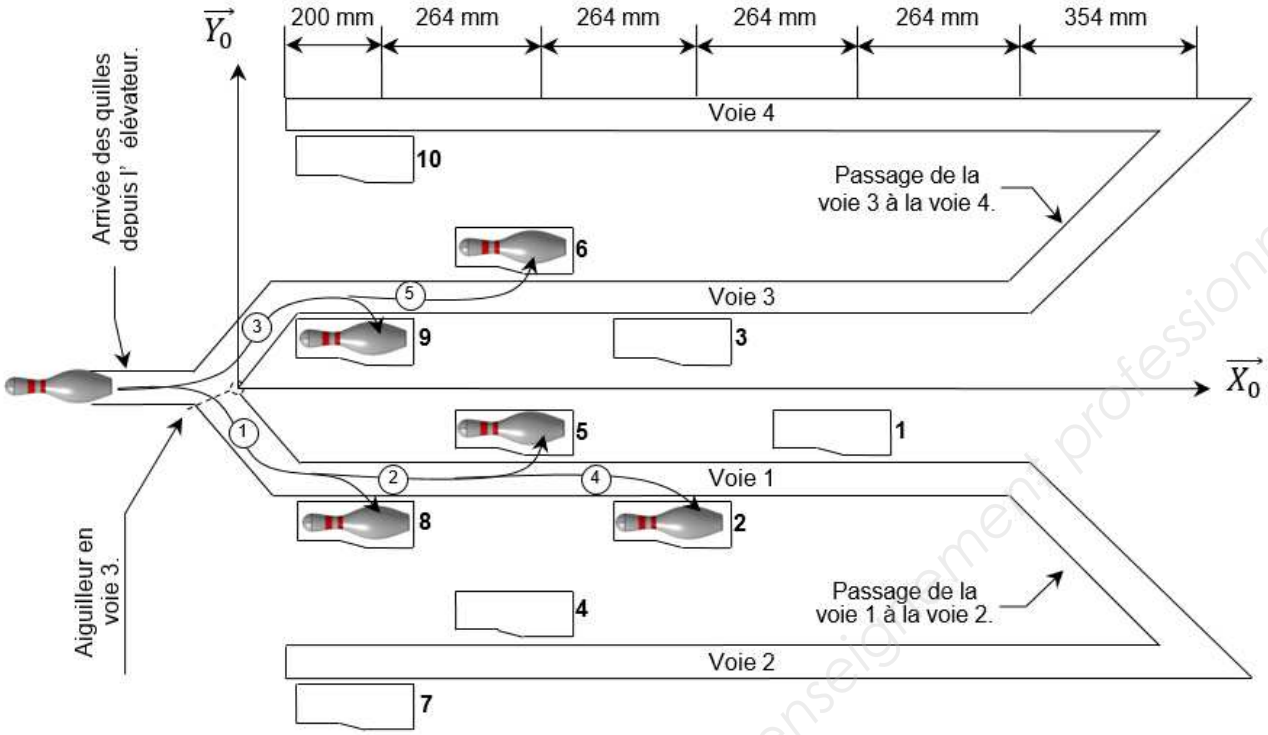
Accessoires - Cartes enfichables pour coupleur de bus de terrain



Description	Référence	Type	Prix unitaire (€ HT)
pour PROFISBUS DP	547450	CAMC-PB	284,63 €
pour PROFINET RT	1911916	CAMC-F-PN	276,00 €
pour DeviceNet	547451	CAMC-DN	320,19 €
pour EtherCat	567856	CAMC-EC	284,63 €
pour EtherNet/IP	1911917	CAMC-F-EP	276,00 €

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Q3 : Synoptique - Flux de produit

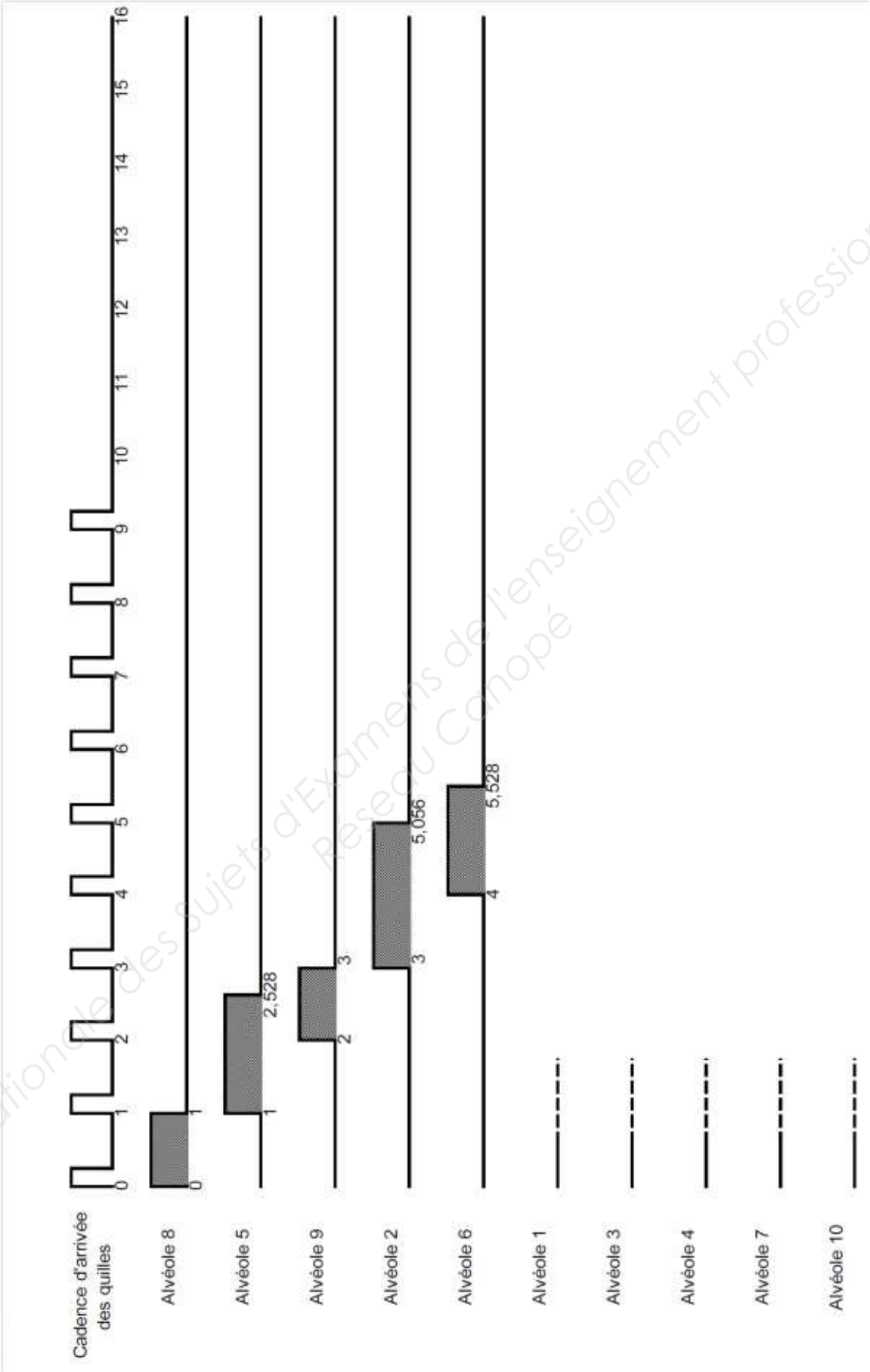


Q4 :

Question Q3		***Question Q4***	
Actions	**Ensemble concerné**	**Courses (mm)**	**Durées (s)**
1 Transfert	Voie {1}	450	0,9
Basculement	Alvéole 8		0,1
2 Transfert	Voie {1}	714	1,428
Basculement	Alvéole 5		0,1
3 Transfert	Voie {3}	450	0,9
Basculement	Alvéole 9		0,1
4 Transfert	Voie {1}	978	1,956
Basculement	Alvéole 2		0,1
5 Transfert	Voie {3}	714	1,428
Basculement	Alvéole 6		0,1

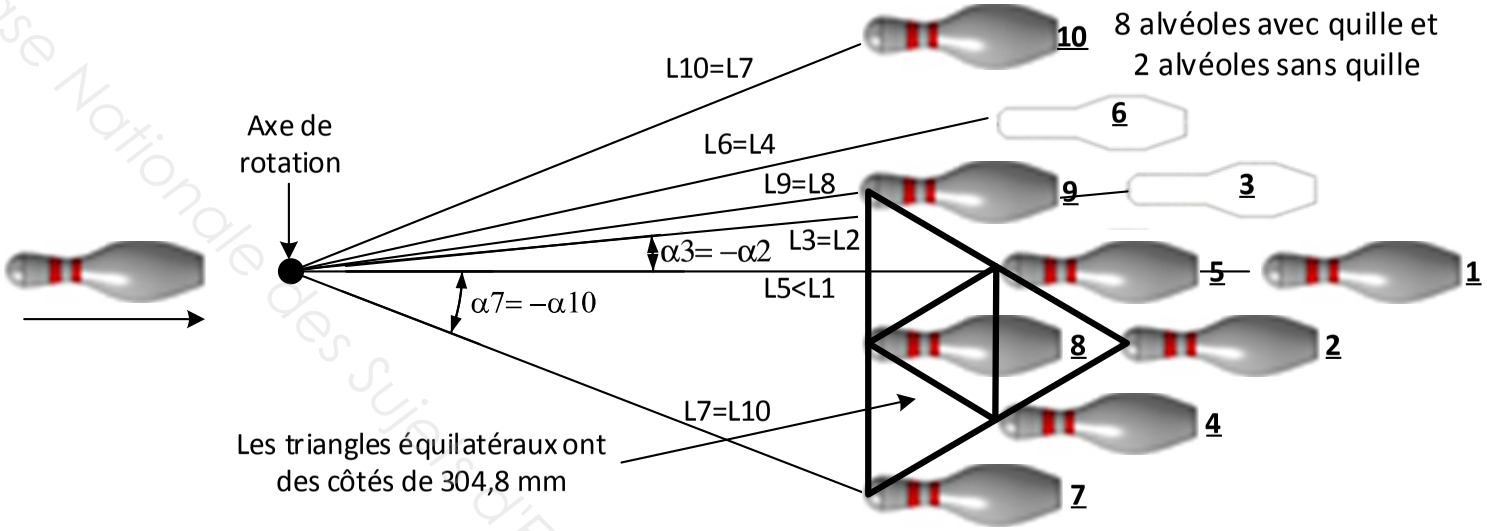
Base Nationale des Sujets d'examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Q 5 :



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Q 7. :



N° Alvéole à atteindre	Position suivant X0	Position suivant Y0	Longueur associée	Angle associé	Variation linéaire pour atteindre l'alvéole		Variation angulaire pour atteindre l'alvéole		Durée adaptation linéaire	Durée adaptation angulaire
	X (mm)	Y (mm)	L (mm)	α (°)	ΔL i-j (mm)		Δα i-j (°)		TΔL (s)	TΔα (s)
1	1920,00	0,00	1920,00	0,00	ΔL 3-1	256,97	Δα 3-1	-5,26	0,857	
2	1656,04	-152,40	1663,03	-5,26	ΔL 1-2	-256,97	Δα 1-2	-5,26	0,857	
4	1392,07	-304,80	1425,05	-12,35	ΔL 2-4	-237,98	Δα 2-4	-7,09	0,793	
7	1128,11	-457,20	1217,23	-22,06	ΔL 4-7	-207,82	Δα 4-7	-9,71	0,693	
8	1128,11	-152,40	1138,35	-7,69	ΔL 7-8	-78,88	Δα 7-8	14,37	0,263	
5	1392,07	0,00	1392,07	0,00	ΔL 8-5	253,72	Δα 8-5	7,69	0,846	
9	1128,11	152,40	1138,35	7,69	ΔL 5-9	-253,72	Δα 5-9	7,69	0,846	
10	1128,11	457,20	1217,23	22,06	ΔL 9-10	78,88	Δα 9-10	14,37	0,263	
6	1392,07	304,80	1425,05	12,35	ΔL 10-6	207,82	Δα 10-6	-9,71	0,693	
3	1656,04	152,40	1663,03	5,26	ΔL 6-3	237,98	Δα 6-3	-7,09	0,793	

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé - Ministère de l'Éducation nationale

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.