

SESSION 2009

**CONCOURS INTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS
ET CONCOURS D'ACCÈS A L'ÉCHELLE DE RÉMUNÉRATION**

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

ÉPREUVE PORTANT SUR UN PROBLÈME D'AUTOMATISATION

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Ce document comporte :

- *Présentation du sujet et travail demandé : pages 1 à 18*
- *Annexes : pages 19 à 30*

Le candidat traitera chacune des parties (partie A, partie B, partie C et D) sur des copies séparées en indiquant sur chacune d'entre elles le repère de la partie traitée.

UNITE DE BOBINAGE DE FILS DE VERRE

CONTEXTE DE L'ETUDE

Breveté en 1930, le fil de verre ou fibre de verre a connu récemment un très fort développement en raison de ses propriétés mécaniques et optiques. Il est aujourd'hui présent, sous diverses formes, dans de très nombreux produits : fils simples ou mêlés à des plastiques, voiles non tissés pour les chapes bitumineuses, grilles pour renforcer les ciments, tissus pour les avions.

L'utilisation du fil de verre permet, pour un prix compétitif, d'améliorer les performances des produits tout en apportant des réductions de poids. En complément de ses qualités mécaniques, le fil de verre se caractérise par son incombustibilité, sa résistance aux agents chimiques, sa faible conductivité thermique, sa stabilité dimensionnelle, et sa perméabilité diélectrique. A titre d'exemple, pour un filament de $2,5 \text{ g.cm}^{-3}$, la contrainte à la rupture en traction peut atteindre 4400 MPa.

Utilisé dans de nombreux domaines allant du génie civil jusqu'à l'électronique, le fil de verre est commercialisé sous la forme de bobines. Ses bobines sont obtenues par enroulement du fil en pelote cylindrique autour d'une manchette (Figure 1).

L'étude proposée dans le sujet porte sur une unité de bobinage de fil de verre destiné au renfort de matériaux composites.

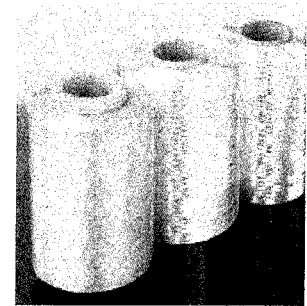


Figure 1 : Exemple de pelotes de fil de verre avec leurs manchettes (bobines).

PROCEDE DE FABRICATION

Le procédé de fabrication du fil de verre comporte 6 étapes :

Composition du mélange

Les principaux composés de base du fil de verre sont la silice, la chaux, l'alumine, la magnésie, et l'oxyde de bore. C'est l'assemblage de ces composants dans des proportions parfaitement définies qui donne au fil de verre une partie de ses propriétés recherchées.

Affinage à 1500 °C

Le mélange obtenu est chauffé jusqu'à une température de 1500 °C pour le rendre parfaitement homogène et sans trace d'impuretés. A cette température, la masse en fusion est sous forme liquide et totalement transparente.

Etirage et fibrage

Le verre en fusion passe par une filière en platine percée de trous de 1 à 2 millimètres de diamètre, puis il est étiré à grande vitesse pour être transformé en filaments de 5 à 13 micromètres de diamètre.

Ensimage

A la sortie de la filière, les filaments reçoivent un revêtement de surface protecteur, l'ensimage, qui a pour but :

- d'agglomérer entre eux les filaments d'un même fil,
- de les revêtir d'une pellicule lubrifiante,
- de favoriser la liaison entre le verre et les résines synthétiques pour la fabrication des plastiques armés.

Cet ensimage est déposé par passage de la nappe de filaments sur un organe ensimeur placé entre la filière et la broche sur laquelle s'enroule le fil sans torsion.

Bobinage

Une fois les filaments ensimés, ceux-ci sont assemblés afin de composer le fil de verre souhaité. Cet assemblage des filaments est réalisé conjointement à un étirage mécanique. Le fil ainsi constitué est alors enroulé à grande vitesse sur une manchette entraînée par le mandrin d'un bobinoir.

Séchage

Les fils sont séchés à des températures de 600 à 700°C. Après cette opération, le fil de verre possède toutes les caractéristiques recherchées.

BOBINE DE FIL DE VERRE

La masse d'une pelote de fil de verre varie entre 9 et 33 kg, son diamètre maximum est de 330 mm. Lors du bobinage, le fil est enroulé autour d'une manchette aux caractéristiques suivantes :

- diamètre intérieur 162 mm ;
- diamètre extérieur 168 mm ;
- masse : 0,8 kg ;
- longueur : 330 mm.

Cette manchette réutilisable assure plusieurs fonctions :

- l'entraînement du fil en rotation lors du bobinage en évitant les dévidages intempestifs grâce à des velcros,
- la protection du fil bobiné et des différents supports lors des opérations de manutention,
- le maintien de la rigidité de la pelote de fil lors de son séchage.

UNITE DE BOBINAGE

L'unité de bobinage est composée de deux lignes placées symétriquement par rapport au système d'évacuation des bobines. Chaque ligne est constituée de deux groupes de 12 bobinoirs comportant chacun une broche. Chaque broche permet le bobinage simultané de deux pelotes de fil.

Le système d'évacuation, commun aux deux lignes, est constitué d'un rail sur lequel circulent des chariots automoteurs. Entre chaque ligne de bobinage et le système d'évacuation des bobines, circulent trois robots de manutention. Sur la vue d'ensemble de la Figure 3, une seule ligne est représentée.

La mission de chaque robot consiste à échanger les deux manchettes amenées par un chariot automoteur avec les deux bobines réalisées simultanément sur une même broche d'un bobinoir. Une fois cette opération réalisée, le chariot automoteur transporte les bobines vers l'installation de séchage.

Fonctionnement

Lorsqu'un bobinoir a terminé le bobinage de deux bobines, une information est envoyée à la commande de l'unité. Un robot choisi par la commande se positionne alors face à ce bobinoir afin de décharger les deux bobines réalisées (translation selon l'axe $\overline{X_{Ri}}$, Figure 2). Dès que le robot est positionné, un chariot automoteur est appelé pour apporter deux manchettes au robot.

Les robots sont équipés de deux coulisseaux mobiles indépendants supportant chacune deux mandrins. Chaque coulisseau peut se déplacer en translation selon l'axe $\overline{Y_{Ri}}$ et chaque mandrin est mobile en translation sur le coulisseau selon l'axe $\overline{Z_{Ri}}$. Cet équipement permet de réaliser les opérations de chargement-déchargement des bobines et des manchettes en temps masqué.

Lorsque les manchettes et les bobines ont été déchargées respectivement du chariot automoteur et du bobinoir, le robot fait un demi-tour autour de l'axe $\overline{Y_{Ri}}$. Les bobines peuvent alors être chargées sur le chariot automoteur et les manchettes sur le bobinoir ; le robot est alors disponible pour un autre bobinoir. Le chariot automoteur transfère les deux bobines vers l'installation de séchage et le bobinoir commence un nouveau bobinage.

L'utilisation de trois robots, R1, R2 et R3, permet de répartir les charges de travail (Figure 3). Des zones de maintenance sont prévues pour effectuer des opérations de maintenance sur les robots.

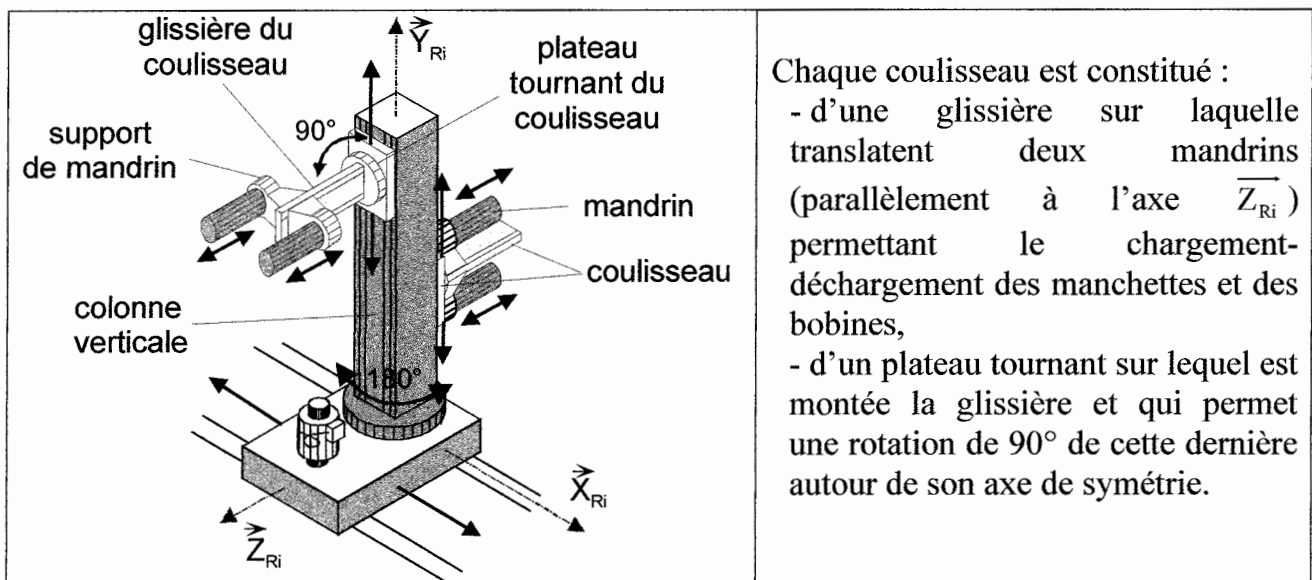


Figure 2 : Robot équipé de deux coulisseaux mobiles munis chacun de deux mandrins mobiles.

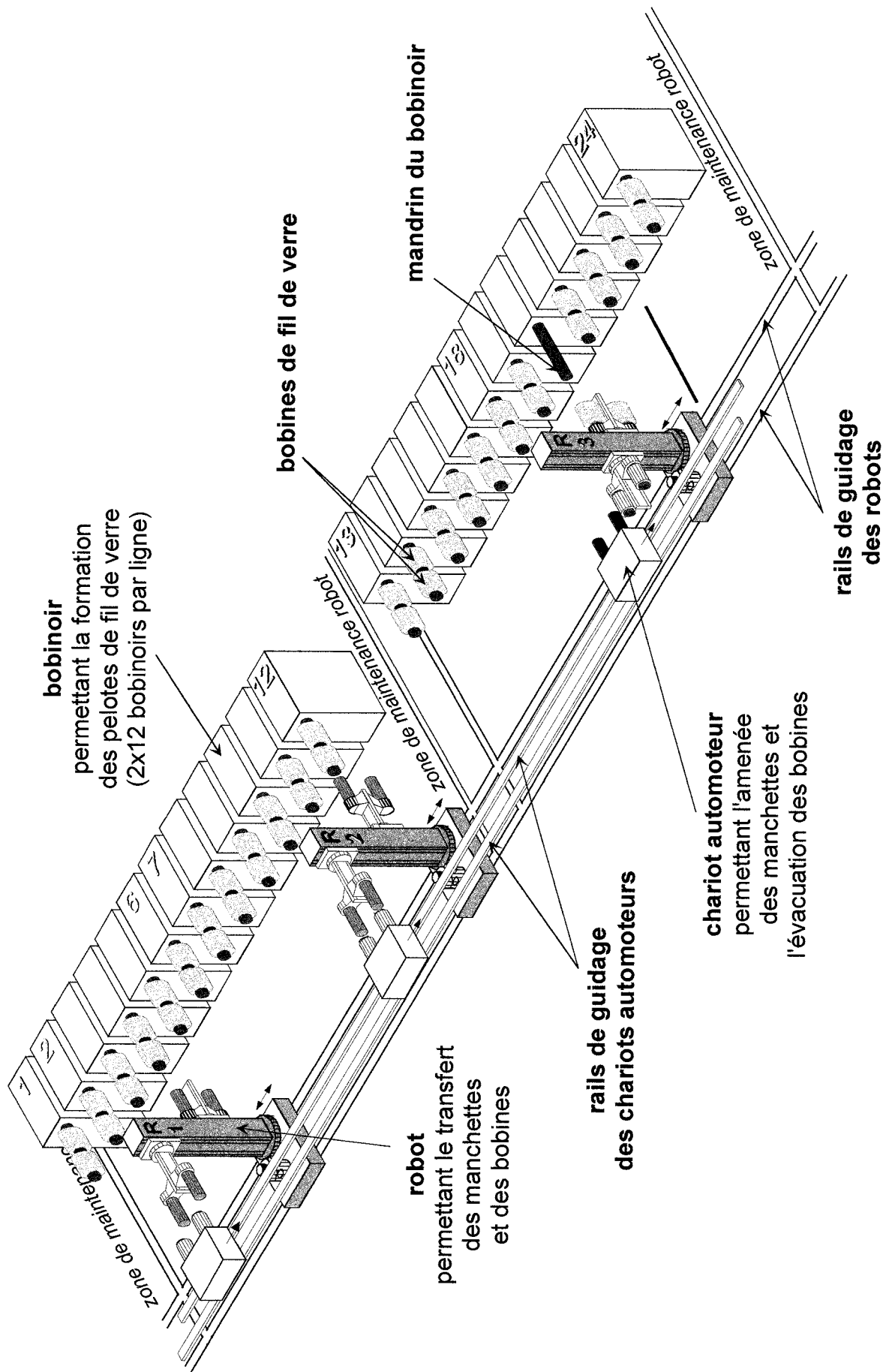


Figure 3 : Schéma simplifié de l'unité de bobinage.

TRAVAIL DEMANDE

Remarques importantes :

1. Le sujet comporte quatre parties indépendantes, elles mêmes constituées de nombreuses questions qui peuvent être traitées séparément :

- La partie A est consacrée à l'étude d'une partie du comportement séquentielle du système. Il s'agit d'aborder l'étude du fonctionnement d'un robot et de la gestion des transferts de manchettes et de bobines entre un robot, les bobinoirs et les chariots automoteurs (**durée conseillée : 2h15**).
- La partie B concerne la validation de choix technologiques : le vérin de rotation d'un coulisseau et le moteur d'entraînement de la vis à billes (**durée conseillée : 1h30**).
- La partie C a pour objet l'étude de l'asservissement du mouvement de translation verticale d'un coulisseau de robot (**durée conseillée : 0h45**).
- La partie D porte sur l'élaboration d'une séquence pédagogique concernant l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des circuits de sécurité câblés. Cette partie pédagogique, d'une grande importance dans l'épreuve, mérite qu'on lui consacre une attention particulière (**durée conseillée : 1h30**). L'objectif est de démontrer une capacité d'analyse de connaissances scientifiques et (ou) technologiques attachées à des contenus, puis à les organiser et à les transmettre au travers d'une séquence d'enseignement à un niveau donné.

2. Chaque partie sera traitée sur des copies séparées.

3. Tous les développements de calculs seront réalisés sous forme littérale avant de passer à l'application numérique. Les résultats seront encadrés sur la copie.

4. Le candidat pourra préciser toute hypothèse qu'il jugera utile dans le cadre de ses réponses.

Partie A :

ETUDE DE LA COMMANDE SEQUENTIELLE

La partie A comporte quatre sous parties : A1, A2, A3 et A4.

Les sous-parties A1 et A2 sont consacrées à l'étude du comportement d'un bobinoir et d'un robot lorsque la production est établie. Le cycle de préparation nécessaire pour approvisionner les bobinoirs avec les premières manchettes sort du cadre de cette étude.

La sous-partie A3 porte sur la gestion de l'appel des robots et de leur positionnement en vis-à-vis des mandrins de bobinoirs à décharger.

L'étude de modes de marche et d'arrêt d'un bobinoir fait l'objet de la sous-partie A4.

La structure fonctionnelle de la commande de l'unité est la suivante :

- une commande par bobinoir : gestion du cycle d'un bobinoir,
- une commande par robot : chargement-déchargement des bobines et des manchettes sur les bobinoirs et les chariots automoteurs,
- une commande de gestion des appels robots (gestion des priorités d'appels, translation des robots sur leurs rails de guidage pour atteindre un bobinoir).

A1 – CYCLE D'UN BOBINOIR

Condition de démarrage du cycle d'un bobinoir

Dans cette partie, la situation de départ considérée est la configuration où deux manchettes sont prêtes à être chargées sur le mandrin d'un bobinoir. Dans cette configuration, un mandrin du robot est positionné en vis-à-vis du mandrin du bobinoir à décharger.

Compte tenu des contraintes du cycle du robot, le chargement de la première manchette se fait soit à l'aide du mandrin M1, soit à l'aide du mandrin M3 (Annexe 1).

Chaque mandrin du robot ne pouvant accueillir qu'une seule manchette à la fois, une translation verticale du coulisseau est donc nécessaire pour charger la deuxième manchette.

Le chargement de la deuxième manchette sur le bobinoir se fait donc soit à partir du mandrin M2, soit à partir du mandrin M4.

Pour permettre le transfert de la manchette du mandrin du robot au mandrin du bobinoir, chaque mandrin du coulisseau doit se déplacer horizontalement pour être positionné à proximité du mandrin du bobinoir à charger.

Une fourchette coulissant sur le mandrin du robot assure le transfert de la manchette sur le mandrin du bobinoir. Un capteur monté dans cette fourchette permet de détecter la fin du mouvement de translation.

Afin de s'assurer de la présence des deux manchettes avant de commencer le cycle de bobinage, une information « manchettes présentes » (mp) est utilisée. Cette information est vraie dès que la deuxième manchette a été chargée par le robot sur le bobinoir. L'information mp devient fausse dès que le bobinoir a transféré la deuxième bobine sur un robot.

Question A1.1 :

- *Elaborer un logigramme ou proposer une équation logique décrivant comment est générée l'information mp à partir des entrées données annexe 1.*

Cycle d'un bobinoir

A la fin d'une opération de bobinage, lorsque la masse des pelotes réalisées est supérieure ou égale à 42 kg, un robot est appelé pour décharger les bobines. Le robot appelé se positionne au droit du mandrin du bobinoir à décharger, puis le mandrin en vis-à-vis du mandrin du bobinoir est avancé pour le déchargement de la première bobine. Une autorisation est alors générée par la commande du robot (entrée $adb1_{Ri}$ annexe 2). Cette autorisation permet au poussoir monté sur le bobinoir de décharger la première bobine sur le mandrin du robot.

Après chargement de la première bobine puis positionnement du deuxième mandrin du robot, l'autorisation de décharger la deuxième bobine est donnée ($adb2_{Ri}$).

Lorsque les deux bobines et les deux manchettes ont été déchargées, et après que les coulisseaux soient revenus dans des positions respectives imposées par le cycle du robot, celui-ci peut pivoter de 180° autour de son axe $\overline{Y_{Ri}}$.

Le pivotement effectué, le robot charge successivement chacune des deux manchettes sur le mandrin du bobinoir (et simultanément les deux bobines sur le chariot automoteur).

Lorsque les deux manchettes ont été chargées sur le bobinoir, un mécanisme inclus dans le mandrin permet d'effectuer un bridage de celles-ci et un nouveau cycle du bobinoir peut alors commencer. Durant l'opération de bobinage le fil de verre peut casser. Dans ce cas, si la masse des pelotes réalisées est inférieure à 42 kg, le bobinoir est considéré en défaut ($DB := 1$) et il doit être déchargé manuellement. L'exploitation de la variable DB et le passage en mode manuel sont hors du domaine d'étude de cette sous-partie A1.

Question A1.2 :

- Décrire les échanges d'information entre la commande du robot et la commande du bobinoir (annexe 2). La frontière de description du comportement de chacune des commandes sera modélisée par un rectangle, chaque échange d'information sera décrit par une flèche portant le nom de l'information transmise.
- Elaborer un grafcet GB décrivant le cycle du bobinoir en utilisant uniquement les entrées-sorties identifiées annexe 2.

A2 - CYCLE DE CHARGEMENT-DECHARGEMENT D'UN ROBOT

Coordination des tâches de chargement-déchargement

Un robot Ri étant à l'arrêt au droit du mandrin d'un bobinoir à décharger, le lancement de son cycle de chargement-déchargement et l'appel d'un chariot automoteur sont effectués dès que la variable logique « ac_{Ri} » passe à l'état 1 (Annexe 3). L'affectation de cette variable (à l'état 1 ou 0) est réalisée par la commande de gestion des appels robots et non par la commande du robot.

Une analyse préliminaire a permis d'établir un découpage fonctionnel du cycle d'un robot Ri en 5 tâches :

- T1 : déchargement de deux bobines réalisées par un bobinoir,
- T2 : déchargement de deux manchettes d'un chariot automoteur,
- T3 : pivotement du robot d'un demi-tour autour de l'axe $\overline{Y_{Ri}}$,
- T4 : chargement de deux bobines sur un chariot automoteur,
- T5 : chargement de deux manchettes sur un bobinoir.

Le cycle du robot débute par le déchargement des deux bobines réalisées sur le bobinoir. Les mandrins montés sur le deuxième coulisseau permettent de décharger les manchettes du chariot automoteur. Ce déchargement débute dès que le chariot automoteur appelé en a donné l'autorisation ($adm_{Ri}=1$).

Lorsque les déchargements sont réalisés, le robot pivote de 180° autour de l'axe $\overrightarrow{Y_{Ri}}$ afin de pouvoir charger les deux manchettes sur le bobinoir et charger les deux bobines sur le chariot automoteur.

Les autorisations de débiter le cycle de bobinage et de départ du chariot automoteur sont générées par ces deux dernières tâches.

Question A2.1 :

A l'aide des annexes 3 et 4 :

- élaborer le grafct de coordination des tâches GCRi décrivant le cycle de chargement-déchargement d'un robot Ri avec une contrainte d'optimisation du temps de cycle.

Le cahier des charges précise que le cycle de chargement-déchargement doit être réalisé dans un temps inférieur à 30 s. Les durées des tâches sont notées dT1, dT2, dT3, dT4, dT5. Le temps d'attente de l'autorisation générée par le chariot automoteur est notée dAtt.

Question A2.2 :

- Exprimer sous la forme d'une inéquation la conséquence de cette contrainte de temps sur les durées des 5 tâches et sur le temps d'attente du chariot automoteur.

Tâche de déchargement de deux manchettes d'un chariot automoteur

L'exécution de la tâche T2 de déchargement des deux manchettes du chariot automoteur débute dès que le grafct de coordination des tâches de chargement-déchargement GCRi en a donné l'autorisation (aut_T2_{Ri}). La tâche T2 peut débiter alors que le coulisseau C1 fait face à un bobinoir (C1 face bobinoir, annexe 5) ou alors que le coulisseau C2 fait face à un bobinoir (C2 face bobinoir).

Au début de la tâche, le coulisseau est translaté verticalement jusqu'à la position ha sur l'axe $\overrightarrow{Y_{Ri}}$, puis la glissière du coulisseau tourne de $+90^\circ$ autour de son axe de symétrie pour permettre aux mandrins du robot de se trouver en vis-à-vis des mandrins du chariot automoteur (annexe 6). Le déchargement des manchettes peut alors débiter dès que les mandrins du robot ont été avancés. A la fin du déchargement et du recul des mandrins, la glissière du coulisseau tourne de -90° autour de son axe de symétrie avant de descendre à la position hr.

Question A2.3 :

- A l'aide de l'annexe 5, construire partiellement le grafct de la tâche T2 (GT2) dans un souci d'optimisation du temps nécessaire à l'exécution de la tâche. La description comportementale demandée commence à l'étape initiale et se termine lorsque les deux mandrins d'un coulisseau sont avancés.

A3 – GESTION DES APPELS DES ROBOTS

La ligne de bobinoirs est composée de 2x12 bobinoirs. Chaque bobinoir est identifié par un nombre décimal (Figure 3). En fonctionnement normal, le robot R1 dessert les bobinoirs 1 à 8, le robot R2 les bobinoirs 9 à 16, le robot R3 les bobinoirs 17 à 24.

La priorité est donnée au premier bobinoir ayant fini le bobinage. La commande de la gestion des appels robots affecte alors un mot RiDj à une valeur correspondant au nombre décimal associé au bobinoir prioritaire (destination du robot Ri).

Lorsque le robot se rend à cette destination ou lorsqu'il exécute un cycle de chargement-déchargement, d'autres bobinoirs peuvent terminer leur cycle de bobinage. Il est donc nécessaire de mémoriser les demandes dans l'ordre dans lequel elles apparaissent pour chacun des robots Ri (Figure 4).

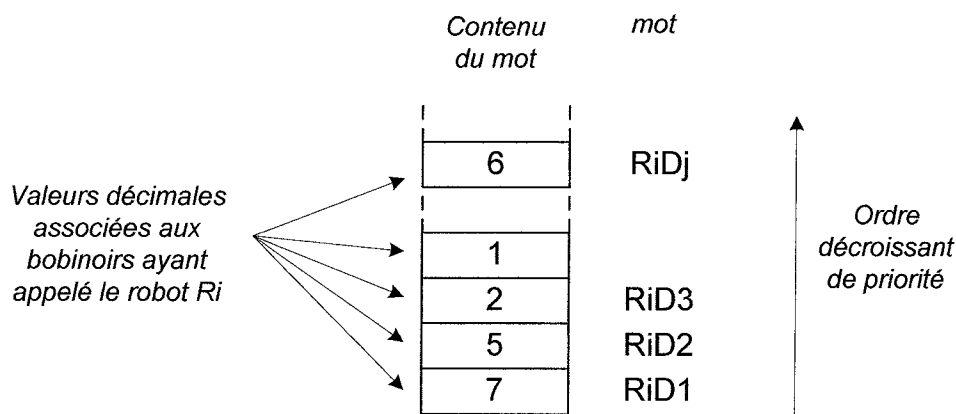


Figure 4 : Pile de mots mémorisant les demandes des bobinoirs.

Question A3.1 :

- En considérant le cas où un robot est en panne, quelle doit être la taille de la pile de mots à utiliser ? Justifier.
- Quel est le contenu de la pile en l'absence de demande de bobinoir ?

A la fin du cycle de chargement-déchargement du robot Ri positionné face au bobinoir identifié par le contenu du mot RiD1, une information logique « fc_{Ri} » est générée. La destination suivante peut alors être prise en compte. Pour cela, la file d'attente illustrée Figure 4 est dépilée d'un mot.

Question A3.2 :

- Décrire à l'aide d'un algorithme la succession des opérations effectuées sur l'ensemble des mots RiDj à l'apparition de l'information fc_{Ri} .

L'information « robot Ri en position de chargement-déchargement face à un bobinoir j » est obtenue grâce à un détecteur bj. Il y a donc autant de détecteurs bj que de bobinoirs à desservir. Dès qu'un détecteur bj génère une information logique vraie ($b_j=1$), la valeur « j » est attribuée à un mot « POS ».

L'affectation de la variable RiX+ à la valeur 1 permet à la commande de provoquer le déplacement du robot sur ses rails de guidage dans le sens croissant des numéros de bobinoirs. L'affectation de la variable RiX+ à la valeur 0 stoppe le mouvement du robot dans le sens croissant.

L'affectation de la variable RiX- à la valeur 1 permet à la commande de provoquer le déplacement du robot sur ses rails de guidage dans le sens décroissant des numéros de bobinoirs. L'affectation de la variable RiX- à la valeur 0 stoppe le mouvement du robot dans le sens décroissant.

Au cours du déplacement du robot Ri sur ses rails de guidage, dès que le contenu du mot POS est égal au contenu du mot RiDI (destination), le robot s'arrête.

La situation où un seul bobinoir est en fonctionnement n'est pas prise en compte dans l'étude.

Question A3.3 :

- Le robot étant en déplacement le long des bobinoirs, élaborer un algorithme décrivant l'affectation du mot POS selon la position du robot en cours (bj) et l'arrêt du robot lorsque la destination est atteinte.

Question A3.4 :

- Elaborer l'algorithme complet décrivant :

- + la commande de déplacement du robot selon la destination à atteindre,*
- + l'arrêt du robot lorsqu'il a atteint la destination,*
- + le déclenchement du cycle de chargement-déchargement (variable ac_{Ri} affectée à la valeur 1),*
- + les opérations permettant de lire la destination suivante dès l'apparition de l'information fc_{Ri} .*

A4 - MODES DE MARCHE ET D'ARRET D'UN BOBINOIR

L'extrait de Gemma d'un bobinoir fourni en annexe 7 précise les modes de marche et d'arrêt d'un bobinoir. Le cycle d'un bobinoir débute si le mode « auto » a été sélectionné et si deux manchettes sont présentes sur son mandrin (mp). Une action sur l'arrêt d'urgence provoque l'arrêt de l'unité de bobinage (et donc celle du bobinoir), l'initialisation de sa commande (notamment du grafcet GB) et la mise hors énergie de la partie opérative. Un passage par le mode manuel est alors nécessaire pour pouvoir agir sur les différents actionneurs du bobinoir afin de revenir dans une configuration permettant une reprise du cycle automatique.

L'opérateur dispose d'un bouton poussoir « init » lui permettant d'évacuer les bobines (de masse non-conforme ou après un arrêt d'urgence) sur un robot, il peut également le faire en mode manuel.

Question A4.1 :

- Elaborer un grafcet de conduite GCB en respectant les contraintes exprimées dans l'extrait de Gemma fourni annexe 7.

Partie B : VALIDATION DE CHOIX TECHNOLOGIQUES

Cette partie porte sur la validation du choix de l'actionneur pneumatique permettant la rotation de 90° de la glissière d'un coulisseau et la validation du choix du moteur permettant la translation verticale d'un coulisseau d'un robot de chargement-déchargement (Figure 2 de la présentation générale).

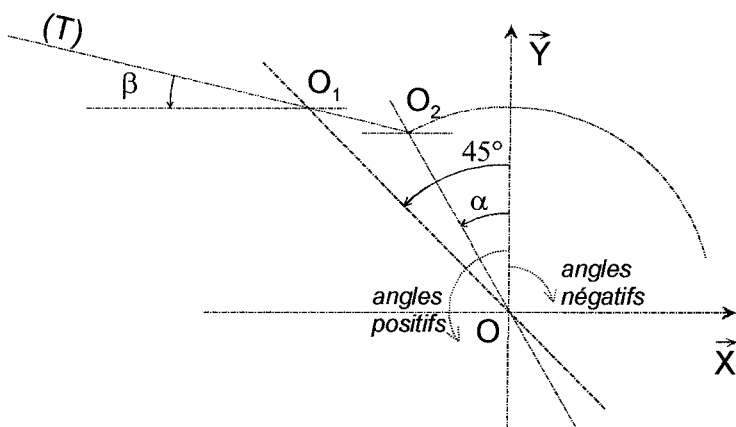
B1 – VALIDATION DU CHOIX DU VERIN DE ROTATION DU COULISSEAU

L'annexe 8 montre l'implantation du vérin pneumatique permettant la rotation de la glissière d'un coulisseau. Dans la configuration où la glissière du coulisseau est horizontale, la tige du vérin est rentrée. Pour pouvoir charger ou décharger un chariot automoteur, la glissière du coulisseau doit être tournée en position verticale, ce qui correspond à une rotation de 90° .

Soit un repère orthonormé $R_c = (O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$ attaché à la glissière du coulisseau tel que :

- l'axe \vec{Z} est l'axe de symétrie du coulisseau,
- l'axe \vec{Y} , perpendiculaire à l'axe \vec{Z} , coupe les axes de symétrie des mandrins.

Lorsque la tige du vérin sort, le corps du vérin tourne dans le plan (\vec{X}, \vec{Y}) autour d'un point O_1 fixe par rapport au repère R_c . Durant cette phase, le point O_2 suit une trajectoire circulaire.



$$OO_1 = 192 \text{ mm}$$

$$OO_2 = 135 \text{ mm}$$

(T) : axe de la tige du vérin

L'angle α est égal à $+30^\circ$ lorsque la glissière du coulisseau est horizontale.
L'angle α est égal à -60° lorsque la glissière du coulisseau est verticale.

Question B1.1 :

- Calculer la course minimale du vérin permettant d'obtenir une rotation de 90° de la glissière du coulisseau.
- La course du vérin standard retenu est de 210 mm, comment peut-on réaliser l'arrêt en rotation de la glissière du coulisseau à $\alpha = 30^\circ$ et à $\alpha = -60^\circ$?
- Pour limiter l'encombrement, le concepteur a choisi des détecteurs de fin de course fixés sur le corps de vérin. Après avoir précisé de quel type de détecteurs il peut s'agir, rappeler succinctement leur principe de fonctionnement.

F est la valeur de l'effort de direction (T) fourni par le vérin durant la rentrée de sa tige. Cette valeur est considérée constante durant toute la course.

Question B1.2 :

- Exprimer le couple C transmis par le vérin à la glissière du coulisseau en fonction de : OO_1, F, β , ou en fonction de : OO_2, F, α, β .
- Donner la relation $\beta = f(\alpha)$ pour $-60^\circ \leq \alpha \leq +30^\circ$.
- Exprimer C en fonction de : OO_1, OO_2, F et α . Donner l'allure de la courbe $C = g(\alpha)$.
- Dans le cas où une seule bobine est chargée et où la glissière du coulisseau doit tourner de 90° , le couple maximal à fournir par le vérin pour l'entraîner est de 180 N.m. L'effort F de 2000 N (sous une pression relative de 6 bar) généré par le vérin est-il alors suffisant ?

B2 - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES CINEMATQUES ET DYNAMIQUES DE LA TRANSLATION VERTICALE D'UN COULISSEAU

Le robot de chargement-déchargement comporte deux coulisseaux indépendants (Figure 2 de la présentation générale).

Chaque coulisseau est entraîné grâce à une vis à billes située dans la colonne verticale du robot et peut translater verticalement (axe $\overline{Y_{Ri}}$) le long de la colonne verticale constituant l'ossature du robot de chargement-déchargement.

Cette translation verticale permet d'atteindre les différentes altitudes de travail. La position la plus haute de l'axe de symétrie d'un coulisseau correspond au point de dépôt des bobines sur le chariot automoteur ($h_a = 2360$ mm).

La permutation des coulisseaux réalisée par la rotation du robot autour de son axe vertical d'un angle de 180° est faite à une altitude de h_r de 1330 mm. D'autres altitudes de travail sont utilisées pour le chargement-déchargement du mandrin de chaque bobinoir.

La vis à billes de pas p est entraînée par un moteur électrique et par l'intermédiaire d'une transmission par chaîne dont les pignons moteur et récepteur comportent respectivement Z_m et Z_v dents (Figure 5).

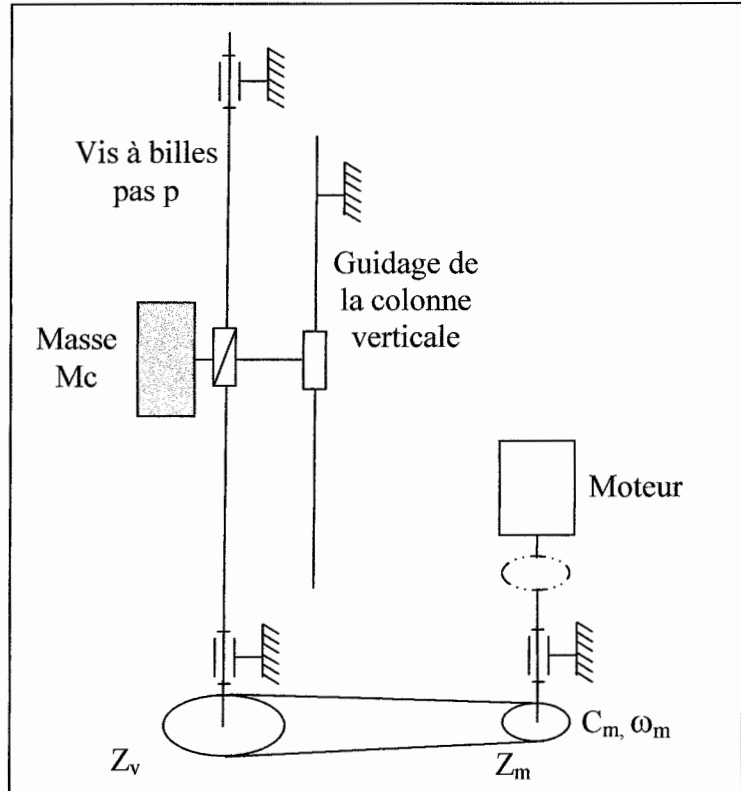


Figure 5 : Chaîne cinématique simplifiée.

Notations retenues :

- C_m : Couple électromécanique moteur
- ω_m : Vitesse angulaire de l'arbre moteur
- J_m : Inertie de l'arbre moteur
- Z_m : Nombre de dents du pignon moteur
- Z_v : Nombre de dents du pignon récepteur monté à l'extrémité de la vis à billes
- J_r : Inertie de la transmission à chaîne (roues dentées et chaîne) ramenée à l'arbre moteur
- ω_v : Vitesse angulaire de la vis à billes
- J_v : Inertie de la vis à billes
- p : Pas de la vis à billes
- M_c : Masse du coulisseau et des deux mandrins avec leurs supports
- m_b : Masse d'une bobine
- V_c : Vitesse de translation verticale du coulisseau
- Γ_c : Accélération du coulisseau lors d'une translation verticale

Hypothèses retenues :

- Les solides sont considérés comme indéformables.
- L'ensemble mécanique est idéalisé : les efforts dus aux frottements secs et visqueux sont négligés, les liaisons sont considérées comme parfaites.

Lors du fonctionnement du robot, les contraintes mécaniques et cinématiques sont maximales lors du déplacement du coulisseau de l'altitude de rotation du robot autour de son axe vertical vers l'altitude de dépose des bobines sur le chariot automoteur. C'est dans cette configuration de mouvement, où deux bobines sont chargées sur les mandrins du robot, que sera effectuée toute cette étude.

Question B2.1 :

- Donner l'expression littérale du moment d'inertie total équivalent J_{Teq} ramené à l'arbre moteur dans le cas d'une translation verticale du coulisseau.

La loi de mouvement désirée pour le coulisseau est une loi de vitesse en trapèze.

Soient :

Γ_{cMax} et V_{cMax} l'accélération et la vitesse maximales autorisées pour le coulisseau,

X_c la longueur de cette course et T_c le temps imparti pour ce déplacement.

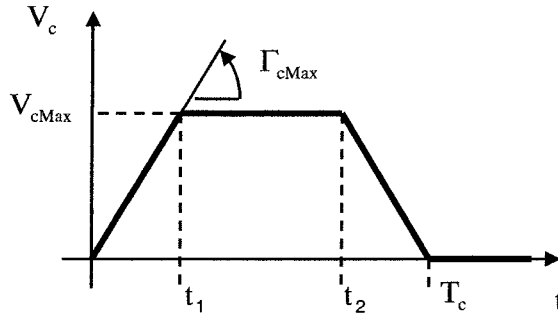


Figure 6 : Loi de vitesse du coulisseau.

Question B2.2 :

- Donner la valeur minimale de la course du coulisseau X_{cMin} pour que celui-ci puisse atteindre la vitesse maximale autorisée.

Question B2.3 :

- Exprimer T_c en fonction de : Γ_{cMax} , V_{cMax} et X_c .
 - Donner l'expression littérale de la vitesse en fonction du temps t durant les trois phases du déplacement ($t \leq t_1$, $t_1 < t \leq t_2$, $t_2 < t \leq t_3$).

Validation du choix du moteur d'entraînement d'un coulisseau

Le moteur retenu pour l'entraînement d'un coulisseau en translation verticale est un moteur synchrone à courant triphasé et à aimants permanents (servomoteurs triphasés).

Question B2.4 :

- Justifier succinctement l'intérêt de l'utilisation d'un servomoteur dans ce type d'application.

Question B2.5 :

- A partir des hypothèses formulées, donner l'expression littérale du couple moteur C_m à fournir en fonction de J_{Teq} et de Γ_{cMax} pour les trois phases du mouvement ($t \leq t_1$, $t_1 < t \leq t_2$, $t_2 < t \leq t_3$).

Question B2.6 :

- Déterminer le point de fonctionnement pour lequel la puissance consommée par le moteur est maximale.
 - Donner la valeur de la puissance maximale du moteur : P_{mMax} .

Les constructeurs de moteurs préconisent d'utiliser la même durée pour chacune des phases : accélération, vitesse constante et décélération.

Question B2.7 :

- Quel avantage apporte cette préconisation ?
- Donner l'expression littérale de V_{cMax} et de Γ_{cMax} en fonction de X_c et T_c dans cette configuration.

Question B2.8 :

- Déterminer la valeur du couple moteur nécessaire pour les trois phases du mouvement.
- Le moteur retenu pour l'entraînement du coulisseau délivre un couple nominal C_{mn} de 6 N.m et autorise un couple de démarrage C_{md} de 9 N.m. Conclure sur le choix de cette solution.

Valeurs numériques :

$$J_{Tcq} = 58 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$Z_m = 26 \quad Z_v = 40 \quad p = 20\text{mm}$$

$$M_c = 150\text{kg} \quad M_c = 33\text{kg} \quad T_c = 2\text{s}$$

Partie C : ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT DE LA TRANSLATION VERTICALE D'UN COULISSEAU DE ROBOT

C1 – MODELISATION DE L'ASSERVISSEMENT

La translation verticale d'un coulisseau est assurée par un moteur synchrone à courant triphasé et aimants permanents (servomoteurs triphasés). Le comportement électrique d'un moteur synchrone est généralement décrit à l'aide d'un modèle de Park pour tenir compte des caractéristiques précises de son alimentation.

Pour ce type de moteur, les constructeurs proposent également une modélisation équivalente de type « Moteur à courant continu » permettant de décrire leur fonctionnement d'une manière approchée. La suite de cette étude sera conduite avec cette approche.

La modélisation par schéma-bloc d'un moteur à courant continu sous charge est représentée ci-dessous :

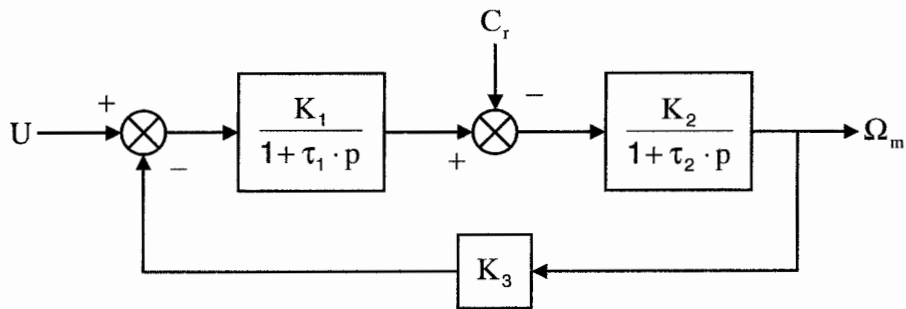


Figure 2 : Schéma bloc équivalent du moteur d'entraînement d'un coulisseau.

Ce schéma-bloc est obtenu à partir du modèle électrique et mécanique du moteur suivant :

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + e(t)$$

$$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t)$$

$$C_m(t) = K_t \cdot i(t)$$

$$J_{Teq} \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f_{eq} \cdot \omega_m(t)$$

Question C1.1 :

- Donner l'expression littérale des grandeurs : K_1 , τ_1 , K_2 , τ_2 et K_3 .
- Préciser ce que représente la grandeur C_r dans le cas du système étudié.

Question C1.2 :

- Préciser succinctement à quoi correspond la boucle de retour présente sur ce modèle.

Question C1.3 :

- Donner l'expression littérale de $\Omega_m(p)$ en fonction de : $U(p)$, $C_r(p)$ et des grandeurs K_1 , τ_1 , K_2 , τ_2 et K_3 .

Le capteur de position est situé sur l'axe moteur et il est modélisé par un gain pur de valeur K_p . La consigne de position du coulisseau et le gain du variateur de vitesse sont notés respectivement : $P(p)$ et K_v .

Question C1.4 :

- Compléter le modèle proposé pour faire apparaître l'asservissement de position du coulisseau.

Partie D : APPLICATION PEDAGOGIQUE

La sécurité des exploitants de systèmes automatiques et les contraintes de disponibilité des installations sont des préoccupations constantes dans les entreprises. L'enseignement de l'automatique en BTS mécanique et automatismes industriels (BTS MAI) intègre cette préoccupation de sûreté de fonctionnement. Un extrait du programme visé est donné annexe 9.

Plusieurs techniques sont employées pour améliorer la sûreté de fonctionnement : empêcher la présence de personnes dans la zone à risques, ou réaliser des fonctions de sécurité fiables et sûres. Les fonctions de sécurité sont destinées à assurer la surveillance, la commande, l'arrêt de fonctionnement ou la séparation des sources d'énergie. Les fonctions essentielles concernent l'arrêt d'urgence, les dispositifs de verrouillage (ou d'inter-verrouillage), les commandes bi-manuelles et les barrières immatérielles. La norme EN 954-1 aide le concepteur à choisir un système de commande sûr et un niveau de sécurité adapté (annexe 10).

Question D1 :

Proposer une séquence pédagogique portant sur l'amélioration de la sûreté de fonctionnement des chaînes de sécurité câblées utilisant des éléments électromécaniques.

Préciser : les pré-requis nécessaires pour aborder cette séquence, le nombre de séances prévues et leurs contenus respectifs, l'organisation temporelle, les objectifs opérationnels visés, les situations d'apprentissage (cours, travail dirigé, travail pratique) envisagées.

Quelques solutions d'amélioration de la sûreté de chaînes de sécurité câblées sont illustrées annexes 11 et 12.

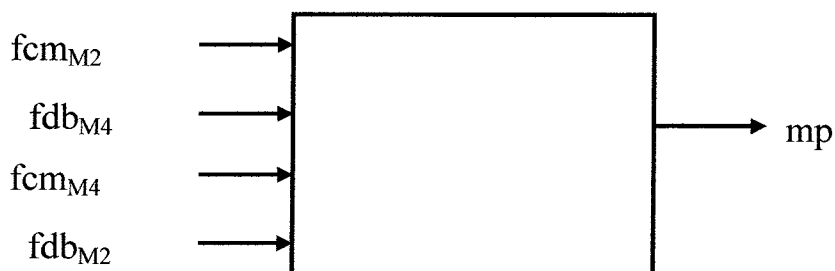
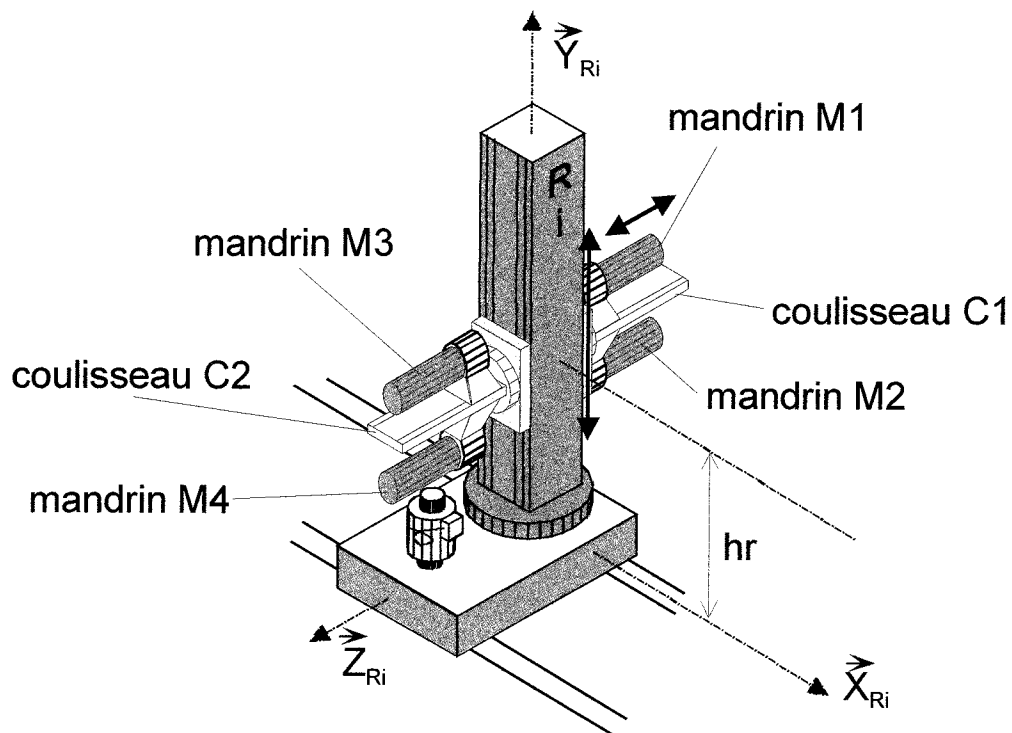
Une séance de synthèse est prévue à la fin de cette séquence. Cette séance porte sur les techniques d'amélioration de la sûreté de fonctionnement des circuits de sécurité.

Question D2 :

Elaborer une fiche de synthèse permettant aux élèves de consigner sur une page les notions importantes à retenir : structure type d'un circuit de sécurité en fonction de la catégorie du système de commande requise, redondance.

ROBOT BOBINOIR

Annexe 1

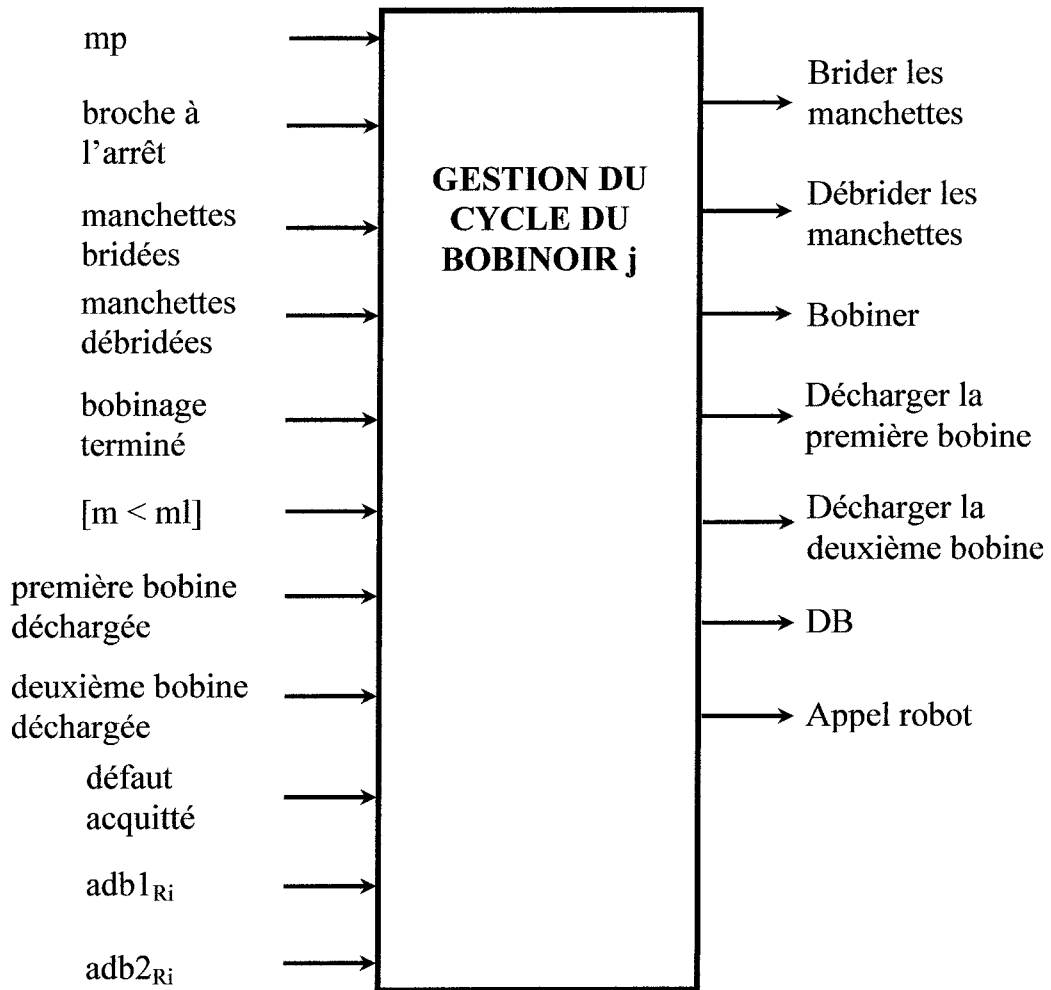


entrées	
$f_{cm_{M2}}$	Fin de chargement de la deuxième manchette à partir du mandrin M2 (sur le mandrin d'un bobinoir)
$f_{db_{M4}}$	Fin de déchargement de la deuxième bobine (réalisée par le bobinoir) sur le mandrin M4
$f_{cm_{M4}}$	Fin de chargement de la deuxième manchette à partir du mandrin M4 (sur le mandrin d'un bobinoir)
$f_{db_{M2}}$	Fin de déchargement de la deuxième bobine (réalisée par le bobinoir) sur le mandrin M2

sortie	
mp	manchettes présentes

BOITE FONCTIONNELLE DE CARACTERISATION DES E-S DE LA COMMANDE D'UN BOBINOIR

Annexe 2



mp : manchettes présentes

m : masse de l'ensemble des deux pelotes

ml : masse m en dessous de laquelle une opération manuelle est requise pour décharger les bobines

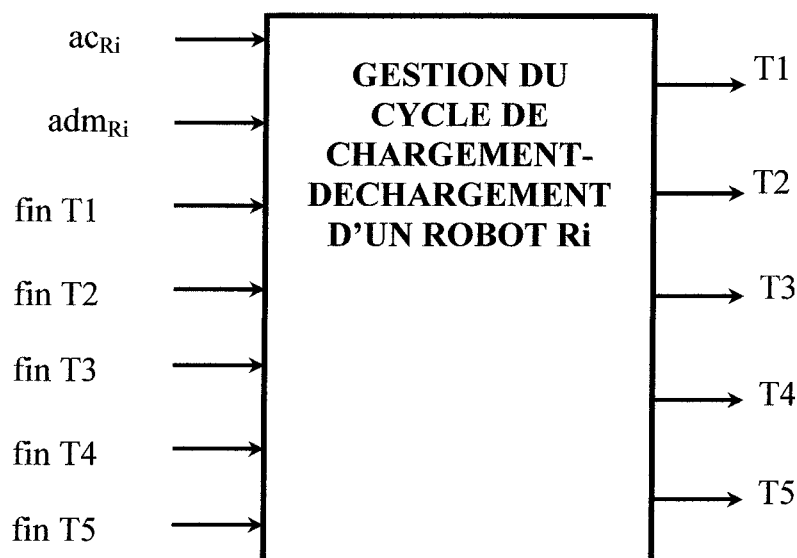
adb1_{Ri} : autorisation donnée par le robot pour recevoir la première bobine

adb2_{Ri} : autorisation donnée par le robot pour recevoir la deuxième bobine

DB : variable affectée à la valeur 1 si le bobinoir est en défaut (la masse des pelotes est inférieure à 42 kg). DB est affectée à la valeur 0 lorsque le défaut a été acquitté par l'opérateur (défaut acquitté), un nouveau cycle automatique est alors possible.

BOITE FONCTIONNELLE DE CARACTERISATION DES E-S DE LA COMMANDE D'UN ROBOT

Annexe 3

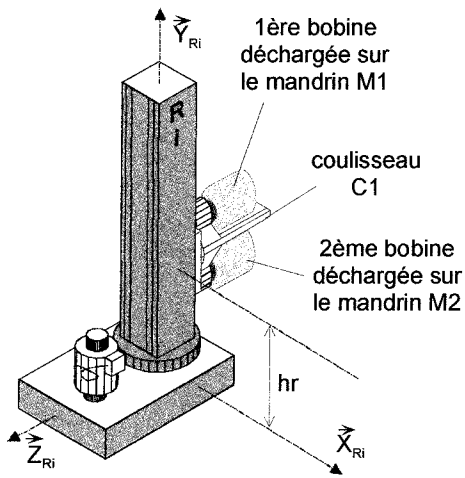


Entrée	Voir illustration annexe 4
ac_{Ri}	Autorisation de débiter le cycle du robot Ri (et appel d'un chariot automoteur)
adm_{Ri}	Autorisation de décharger les deux manchettes d'un chariot automoteur
fin T1	Fin de la tâche de déchargement de deux bobines réalisées par un bobinoir
fin T2	Fin de la tâche de déchargement de deux manchettes d'un chariot automoteur
fin T3	Fin de la tâche de pivotement du robot d'un demi-tour autour de l'axe \overrightarrow{Y}_{Ri}
fin T4	Fin de la tâche de chargement de deux bobines sur un chariot automoteur
fin T5	Fin de la tâche de chargement de deux manchettes sur un bobinoir

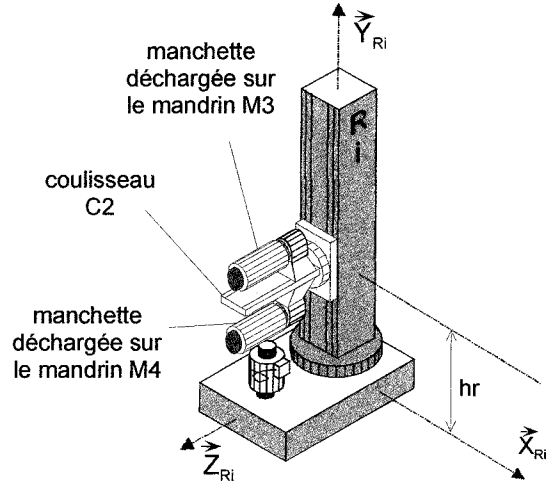
ILLUSTRATION DES POSITIONS DES MANDRINS EN FIN DE TACHES

Cas où le cycle du robot débute alors que M1 est positionné en vis-à-vis du mandrin d'un bobinoir

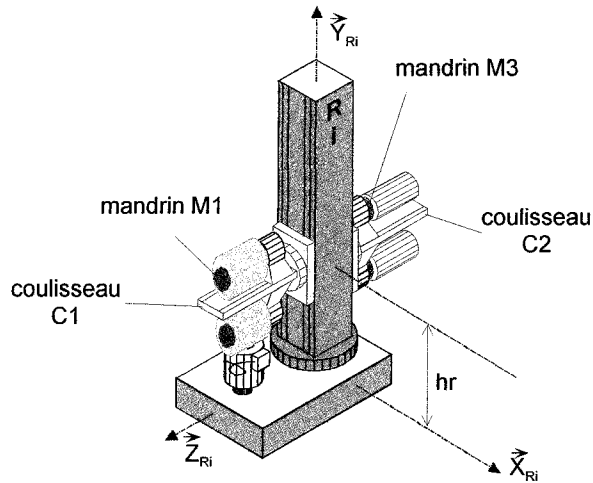
Annexe 4



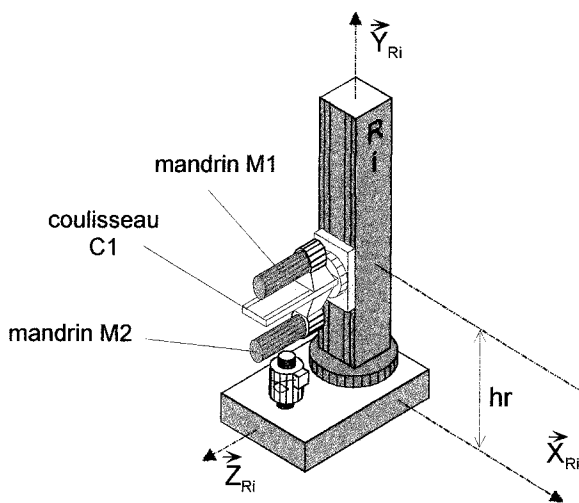
fin T1



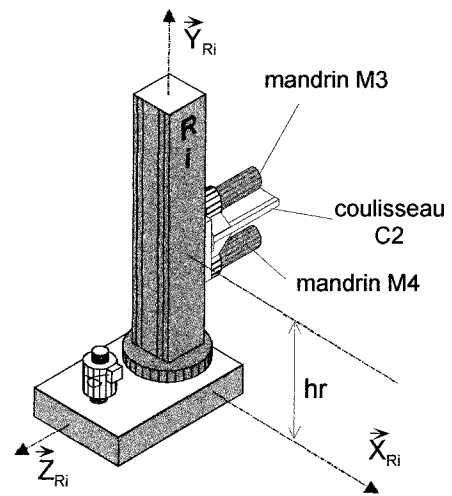
fin T2



fin T3



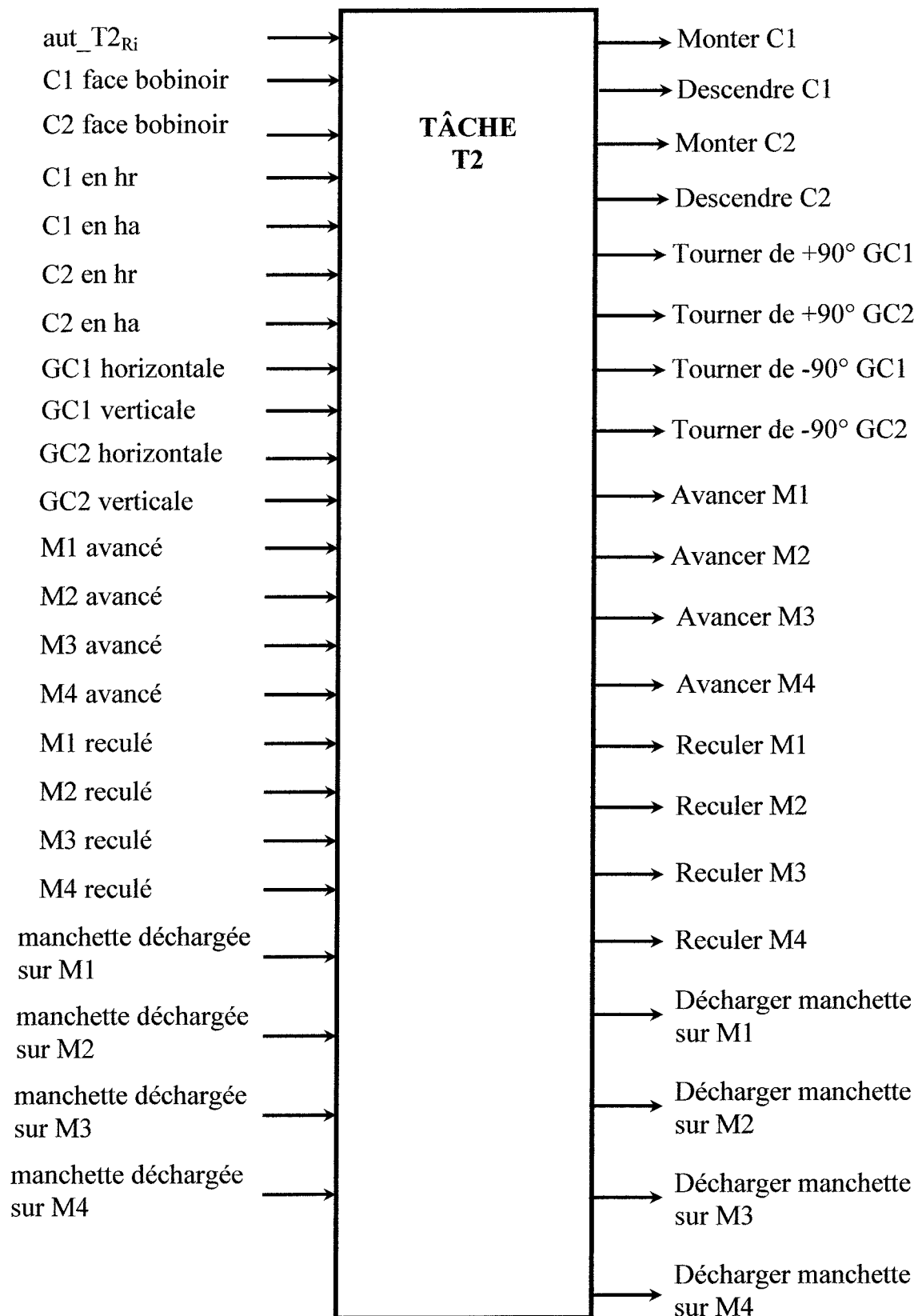
fin T4



fin T5

BOITE FONCTIONNELLE DE CARACTERISATION DES E-S DE LA TACHE T2

Annexe 5

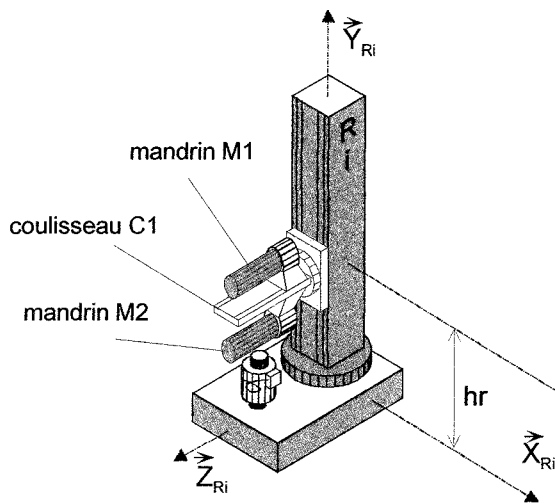


GC1 et GC2 : glissière du coulisseau C1 et glissière du coulisseau C2

ILLUSTRATION DE CONFIGURATIONS DURANT LA TACHE T2

Cas où la tâche T2 débute alors que le coulisseau C2 (non représenté) fait face à un bobinoir (information : C2 face bobinoir).

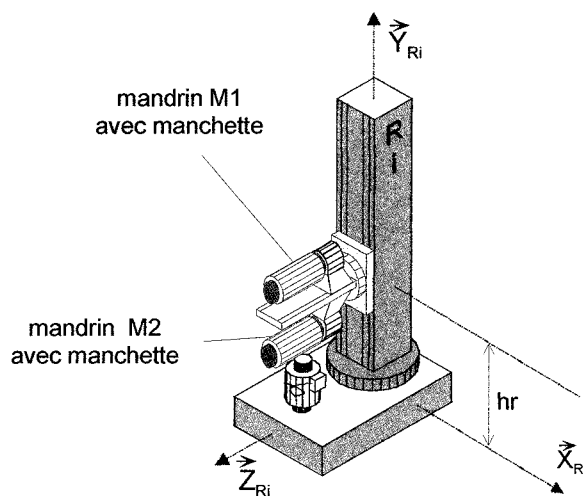
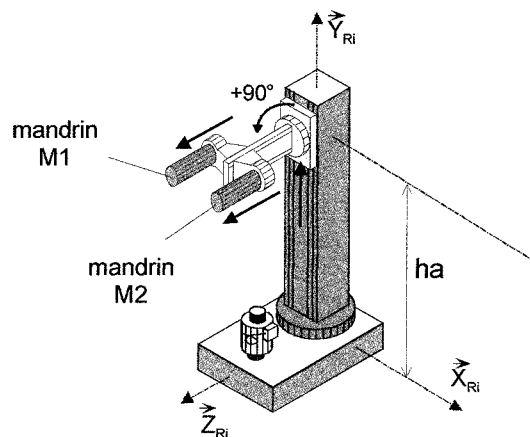
Annexe 6



configuration au début de la tâche T2
GC1 horizontale

GC1 : glissière du coulisseau C1

configuration avant déchargement des manchettes d'un chariot automoteur GC1 verticale

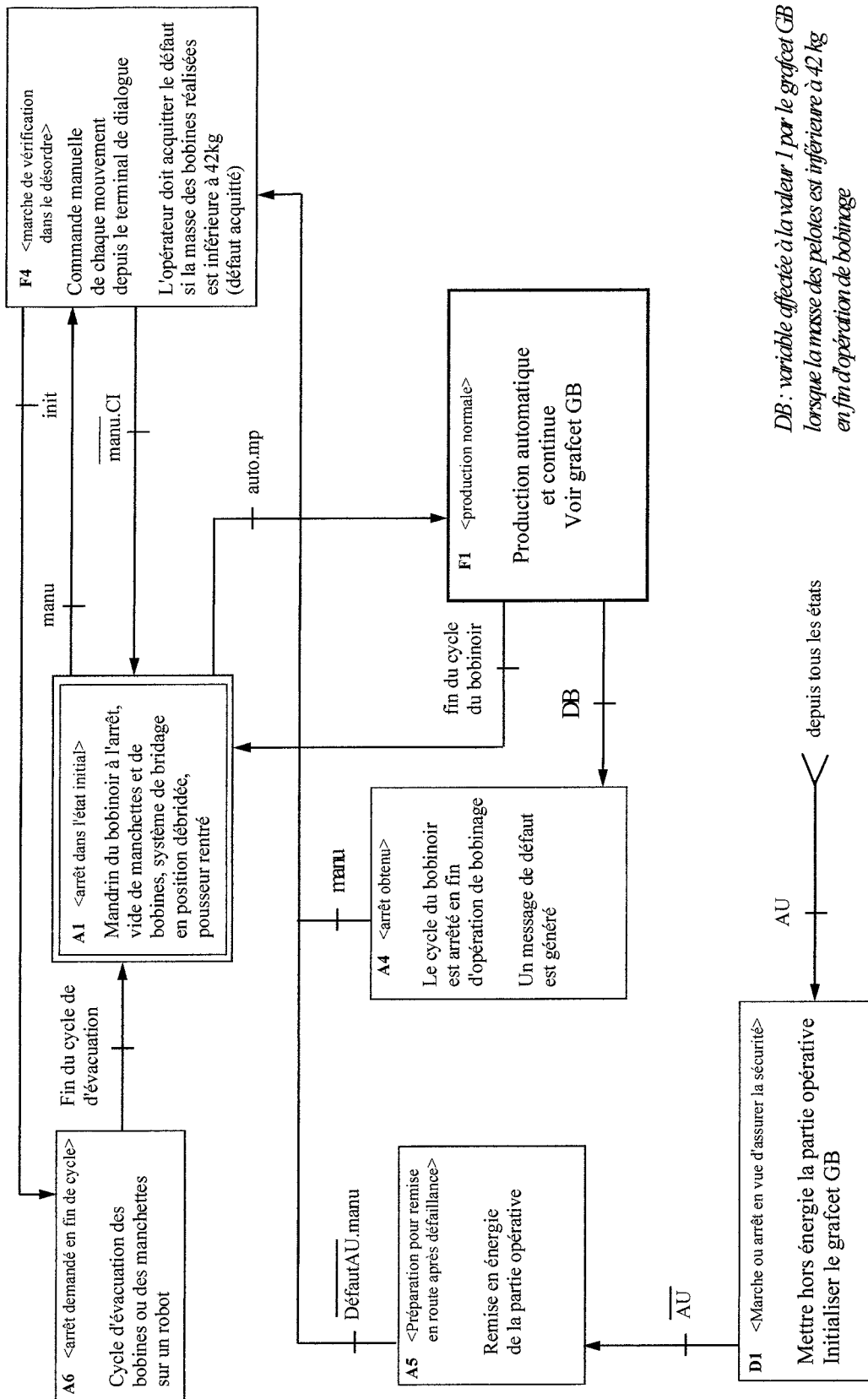


fin T2

configuration à la fin de la tâche T2
GC1 horizontale

EXTRAIT DE GEMMA D'UN BOBINOIR

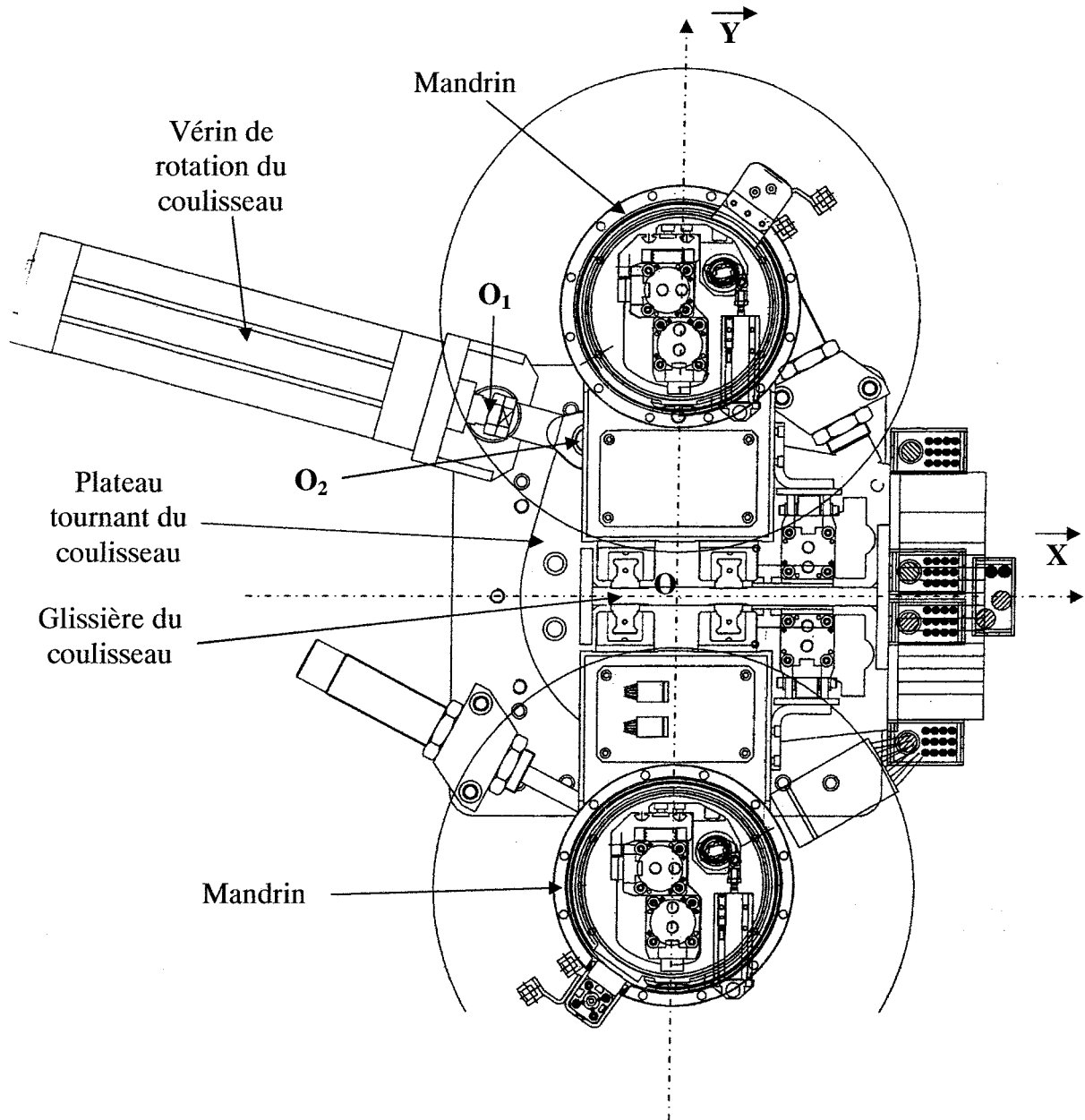
Annexe 7



EXTRAIT DE GEMMA D'UN BOBINOIR

ROTATION DE LA GLISSIERE DU COULISSEAU

Annexe 8



EXTRAITS DU REFERENTIEL DU BTS MAI

Annexe 9

Compétence unitaire	Conditions de réalisation	Critère(s) et niveau(x) de performance
CP412 Proposer une organisation des modes de production et d'exploitation	Ensemble des éléments de CP41, et plus précisément : - l'architecture fonctionnelle du SEF ; la liste et la description des modes de production et d'exploitation ; - un ou plusieurs critères (d'exploitation, de sûreté de fonctionnement, de maintenabilité, ...)	<ul style="list-style-type: none"> Description de la coordination et des conditions d'enchaînement entre modes (par Gemma ou autre formalisme adapté) : <i>cohérence vis-à-vis des critères imposés, respect du formalisme de description.</i> Expression des besoins techniques associés : <i>aucun point-clé omis.</i>

Contenus associés

Fonctions de commande d'un système automatisé

	Niv.*
• Fonction principale : <i>Sûreté de fonctionnement</i> (voir aussi CP32) :	
- sûreté de commande des installations industrielles : sûreté des fonctions de sécurité, disponibilité ;	1
- modes de défaillance génériques (démarrage ou arrêt intempestif ; non démarrage ou non-arrêt, dysfonctionnement) ;	1
- normes relatives à la sécurité des machines : EN 292 et satellites (notamment EN 60 204-1 : Equipements électriques des machines ; EN 418 : Equipement d'arrêt d'urgence ; EN 894-3 : Conception des indicateurs et organes de sécurité ; EN 954-1 : Conception des systèmes de commande en relation avec la sécurité ; EN 1037 : Consignation – Prévention de la mise en marche intempestive ; EN 1050 : Appréciation du risque ; EN 1088 : Dispositifs de verrouillage et d'inter-verrouillage ; etc.. .)	2
- principes d'obtention de la sûreté de commande :	
- séparation fonctionnelle, redondance, comportement orienté (vers la marche ou vers l'arrêt),	2
- fiabilité (MTTF) et qualité, surveillance et autocontrôle, maintenabilité (MTTR) et interchangeabilité ;	1
- principaux moyens techniques d'obtention de la sécurité : E-S de sécurité, constituants redondants, ...	2

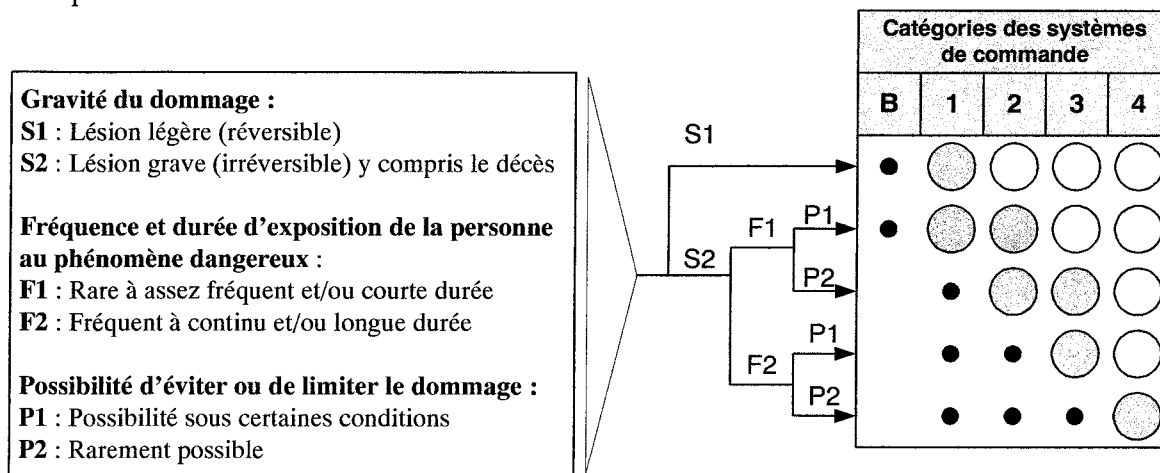
*Les contenus de niveau 2 sont ceux dont une maîtrise plus ou moins grande est exigible lors de la certification. Les contenus de niveau 1 sont des contenus dont la maîtrise partielle participe bien à la compétence professionnelle, et qu'il convient donc d'aborder en cours de formation, mais qui ne peuvent être exigés pour tous les étudiants en fin de formation.

Compétence unitaire	Conditions de réalisation	Critère(s) et niveau(x) de performance
CP55 Effectuer les tests statiques et dynamiques de mise au point ou d'intégration de tout ou partie du système automatisé	Un dossier d'intégration d'un sous-système est fourni, comportant : - les plans d'ensemble et d'implantation de la PO ; - les schémas et programmes de la PC, parfaitement documentés ; - la définition des procédures d'intégration et d'essais ; - les cahiers de tests d'intégration du sous-système ; - tout ou partie du cahier de recette du sous-système. Sont fournis : - le sous-système à tester, en état ; - l'ensemble des moyens de tests et d'essais, l'ensemble des moyens de mesure requis.	<ul style="list-style-type: none"> Validation partielle ou globale de la PO : <i>les éventuelles non-conformités et demande(s) de mise en conformité sont consignées.</i> Validation des ensembles de contrôle-commande : <i>les éventuelles non-conformités sont consignées, des propositions de mise en conformité sont formulées, les demande(s) de mise en conformité sont rédigées.</i> Validation de la capacité du procédé de commande (simulation de la PO) : <i>le procédé est validé ou les écarts identifiés et consignés.</i> Validation des procédures de sûreté : <i>les défauts de sûreté sont identifiés, toutes les demandes de mise en conformité sont rédigées.</i> Mise à jour et/ou en conformité des dossiers d'intégration et d'exploitation-maintenance. Procès verbaux de revue de faisabilité opérationnelle et de recette. Sous-système en état de produire.

RECHERCHE D'UNE CATEGORIE DE SYSTEME DE COMMANDE

Annexe 10

En fonction de l'indice de risque associé à chaque fonction de sécurité, la norme EN 954-1 fournit au concepteur, au travers d'un outil graphique, la catégorie du système de commande que le concepteur doit utiliser.

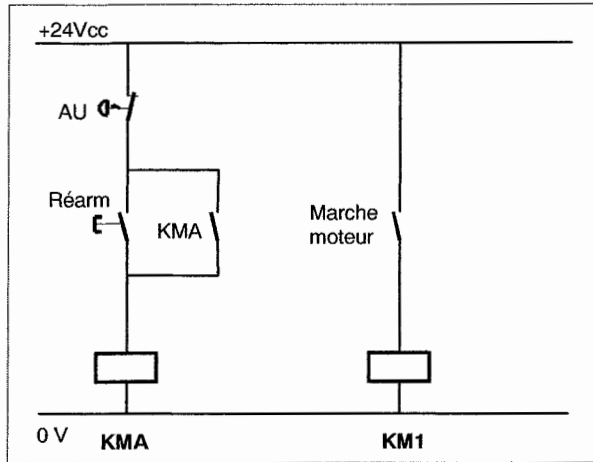


Catégorie	Base principale de la sécurité	Exigence du système de commande	Comportement en cas de défaut
B			
1	Par sélection des composants conformes aux normes pertinentes	Utilisation de constituants et de principes éprouvés	Perte possible de la fonction de sécurité
2	Par la structure des circuits de sécurité	Test par cycle. La périodicité du test doit être adaptée à la machine et à son application	Défaut détecté à chaque test
3	Par la structure des circuits de sécurité	Un défaut unique ne doit pas conduire à la perte de la fonction de sécurité. Ce défaut doit être si possible détecté	Fonction de sécurité garantie, sauf en cas d'accumulation de défauts
4	Par la structure des circuits de sécurité	Un défaut unique (ou une accumulation de défauts) ne doit pas conduire à la perte de la fonction de sécurité. Ce défaut doit être détecté dès (ou avant) la prochaine sollicitation de la fonction de sécurité	Fonction de sécurité toujours garantie

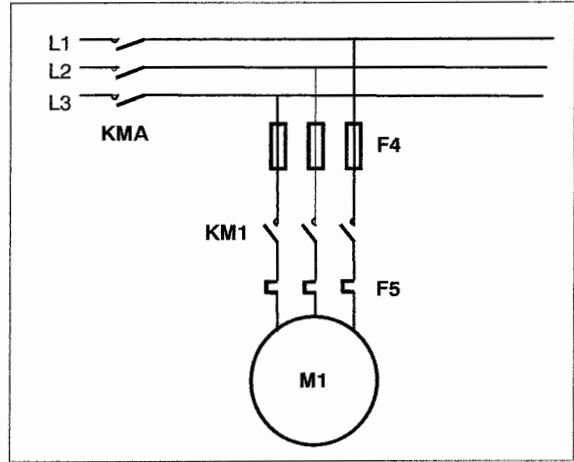
EVOLUTION DE LA CHAINE DE SECURITE CABLEE

Annexe 11

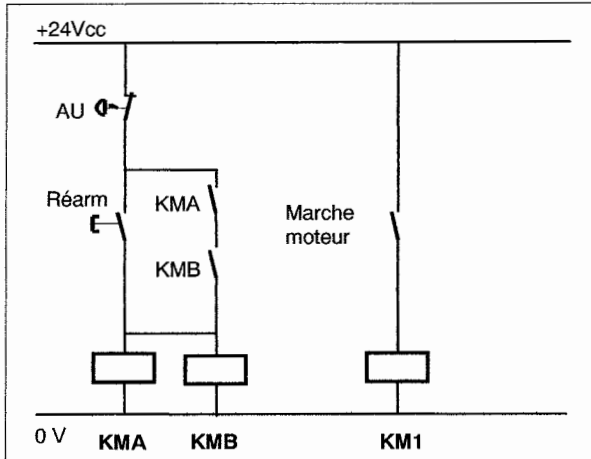
Circuit de commande conventionnel



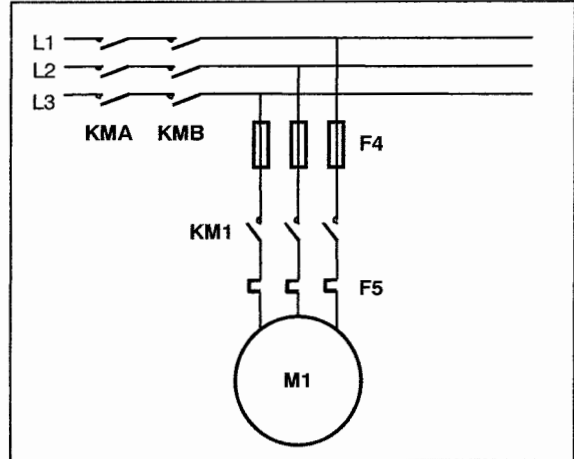
Circuit de puissance



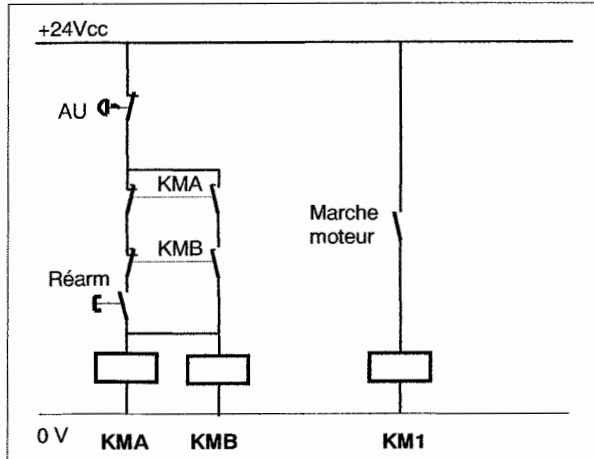
Circuit de commande avec redondance des sorties



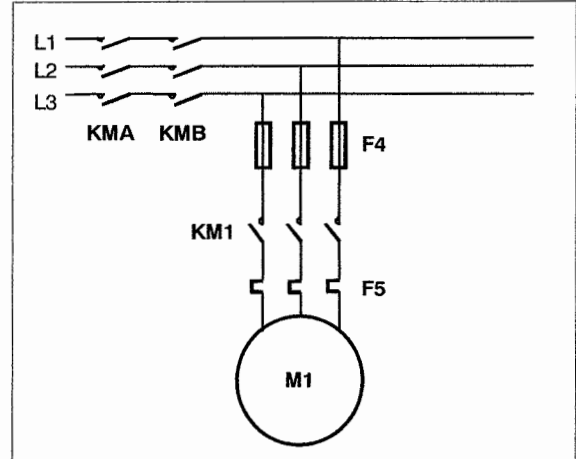
Circuit de puissance



Circuit de commande avec redondance et autocontrôle



Circuit de puissance



UTILISATION D'UN MODULE DE SECURITE

Annexe 12

