

SESSION 2011

---

AGRÉGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER

Section : MÉCANIQUE

ÉPREUVE PORTANT SUR L'ÉTUDE D'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.**

# MACHINE DE CONTRÔLE PAR RAYONS X DES PNEUMATIQUES DE CAMION

## Introduction

Cybernétix est un leader mondial de la robotique, des systèmes complexes et des milieux hostiles. Créée en 1985, la société s'appuie sur plus de 150 ingénieurs et techniciens – avec de fortes compétences dans les domaines de la mécanique, l'électronique, l'automatisme, la vision et l'informatique – pour répondre à la demande de leurs clients.

CyXplus est une filiale du Groupe Cybernétix spécialisée dans le domaine du contrôle non destructif à base de rayons X (RX) des pneumatiques et des produits pharmaceutiques. Son métier : concevoir, réaliser, mettre en service et maintenir en milieu industriel des systèmes à forte valeur ajoutée en contrôle, mesure et automatisation. CyXplus est certifiée ISO 9001-2000.

Les pneus de camion sont faits d'un assemblage précis d'un grand nombre d'éléments : bande de roulement, nappe-carcasse en fibre textile, nappes-sommet en fibre métallique, bande anti-crevaison, flancs, tringles, ... (Voir **Annexe 1**). Dans le processus de fabrication, cet assemblage ne devient parfaitement solidaire qu'après vulcanisation du caoutchouc dans un moule. La qualité de ce produit composite dépend de l'agencement de tous ces composants. Pour cela un contrôle final du pneu est nécessaire. Il est réalisé par rayons X (RX) comme décrit en **annexe 1**. Une source panoramique de rayons X est placée à l'intérieur du pneu et un capteur RX ceinture la section du pneu par l'extérieur. L'image radiographique acquise est convertie en image numérique pour être traitée, analysée et affichée. Un logiciel spécifique d'analyse d'image permet de faire le diagnostic automatique de santé matière (radioscopie) et/ou de contrôle dimensionnel (radiographie).

Le sujet de l'épreuve porte sur la machine automatique de contrôle par rayons X intégrée dans une ligne de fabrication des pneumatiques de camion.

Le procédé de cette machine ainsi que sa vue générale sont donnés en **Annexe 2**.

Cette machine permet de :

- convoyer et pré-centrer le pneu en position couchée pour l'introduire dans une cabine blindée ;
- centrer et entrainer le pneu en rotation autour de son axe vertical de révolution propre, pour effectuer la radiographie de la section sur toute sa périphérie ;
- convoyer le pneu en sortie de cabine pour poursuivre sur la ligne de fabrication ou l'évacuer si besoin.

Ces trois grandes fonctions de la machine sont réalisées par trois modules associés :

- le convoyeur d'entrée (poste 1) ;
- la cabine de contrôle RX (poste 2) ;
- le convoyeur de sortie (poste 3).

# Éléments caractéristiques du système automatique

## LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

- Cadence : 120 pneus par heure ;
- Résolution standard de radiographie : 0,4 mm/pixel ;
- Alimentation électrique: 400 VCA ;
- Alimentation pneumatique : 6-8 bars ;

## LE PRODUIT :

Le produit à contrôler appartient à une gamme de pneus de camion dont les dimensions et masses varient (voir tableau ci-dessous).

	<i>Diamètre extérieur en mm</i>	<i>Diamètre intérieur en mm (montage sur jante)</i>	<i>Largeur en mm</i>	<i>Masse en kg</i>
<i>Du plus petit pneu</i>	700	14"	125	17
<i>Du plus gros pneu</i>	1400	27"	510	160

## L'ÉQUIPEMENT (voir Annexes 2, 3, 4 et 5) :

La machine comporte trois principaux modules, le convoyeur d'entrée, la cabine de contrôle et le convoyeur de sortie. À cela s'ajoute le poste opérateur où se trouve en particulier l'écran de contrôle de haute résolution pour l'analyse manuelle des images radiographiques des pneus (figure 1).

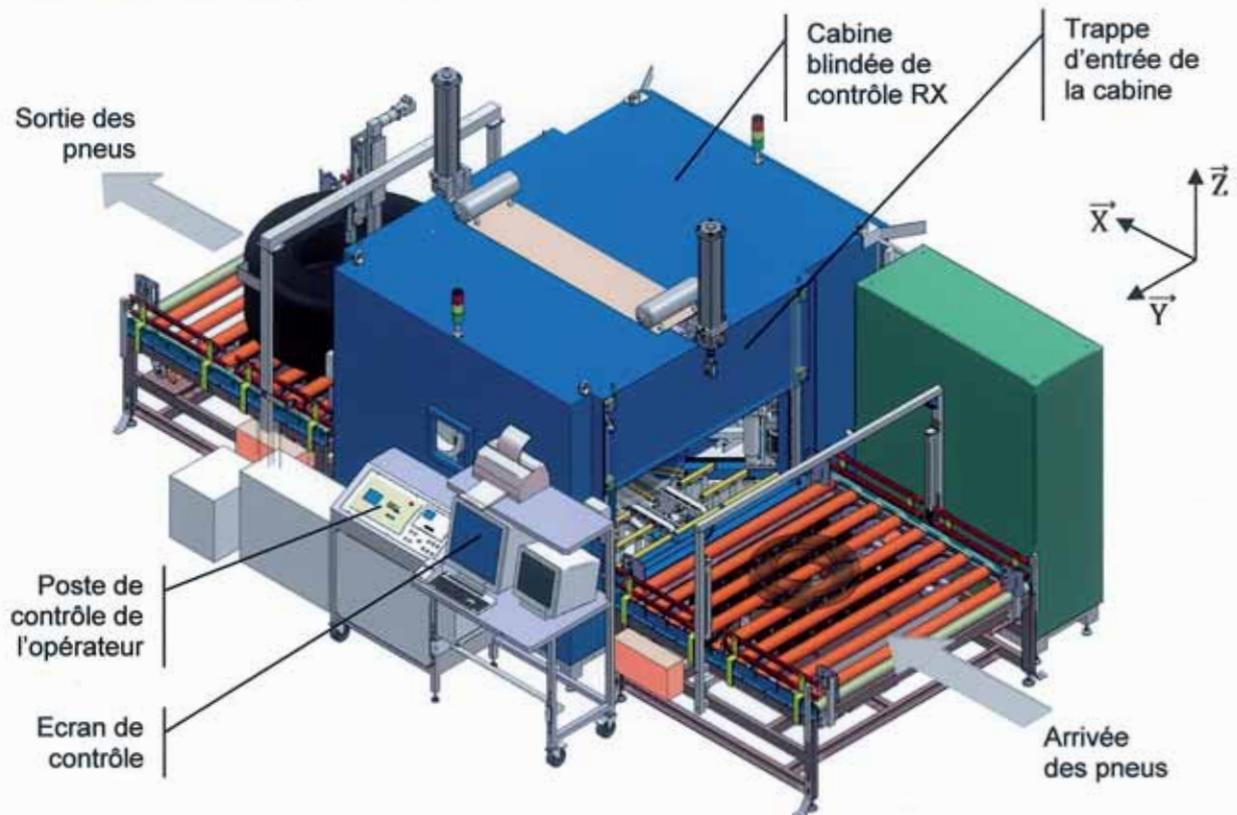


Figure 1 : vue générale extérieure de la machine de contrôle RX de pneu

Le pneu est convoyé sur le poste 1 pour y être centré sur le point repéré O1 de l'**Annexe 3**. Cette opération se fait grâce au convoyeur motorisé CV1 avec le capteur c0, et au translateur TRAN1 avec le capteur c1. Le premier positionne le pneu suivant l'axe  $\vec{X}$  et le deuxième suivant  $\vec{Y}$  (voir **Annexe 4**).

Au poste 2 le pneu qui a été convoyé en O2 est centré précisément grâce aux mouvements radiaux auto-symétriques des 4 galets (Voir **Annexe 3**). Ensuite la source RX se positionne à l'intérieur du pneu avec ses 2 axes motorisés en  $\vec{Y}$  et en  $\vec{Z}$ , pendant que le capteur RX vient ceinturer la section du pneu par l'extérieur en se déplaçant suivant  $\vec{Y}$ . Parmi les 4 galets, un est motorisé pour entraîner le pneu en rotation à vitesse angulaire contrôlée autour de son axe vertical pour radiographier toute la périphérie du pneu (Voir **Annexe 5**).

L'informatique associée traite l'image pour diagnostiquer et contrôler le pneu. Une fois cette opération réalisée, le capteur et la source RX se dégagent pour autoriser la sortie du pneu de la cabine.

Le poste 3 permet soit de transférer le pneu sur la suite de la ligne de fabrication, soit de l'évacuer sur le côté (suivant la direction  $\vec{Y}$ ) dans le cas d'un contrôle négatif.

Le pré-centrage effectué au poste 1 permet de faire les transferts des pneus rapidement du poste 1 au poste 2 et du poste 2 au poste 3. En effet le principe des transferts est de déplacer simultanément les pneus de O1 à O2 et de O2 à O3. Pour cela les convoyeurs CV1, CV2 et CV3 sont totalement synchronisés ; ils ont les mêmes lois de vitesse (accélération, vitesse maximale, décélération et temps de déplacement).

La tâche de transferts des pneus se fait de la manière suivante : dès que les opérations sont terminées aux postes 1, 2 et 3 les convoyeurs CV1, CV2 et CV3 se mettent en mouvement pour transférer simultanément les deux pneus se trouvant en O1 et O2 vers O2 et O3.

Le cycle général de la machine est décrit à l'aide du grafcet de coordination des tâches en **Annexe 6**.

#### Remarque importante :

La machine est capable de s'adapter automatiquement aux différentes tailles des pneus de la gamme définie dans le cahier des charges. A partir d'une reconnaissance de taille ou de référence codée du pneu effectuée au poste 1, le capteur RX – en temps masqué – se positionne verticalement suivant  $\vec{Z}$  et adapte sa course en  $\vec{Y}$ ; et la source RX adapte sa trajectoire de positionnement à l'intérieur du pneu.

Ce positionnement adaptatif du capteur RX et le cycle adaptatif de la source RX ne sont pas abordés dans le sujet. En particulier il n'apparaît pas dans le grafcet (G7\_poste2) de la commande du cycle du poste 2, qui est défini pour une taille donnée de pneu – ici le grand modèle.

# TRAVAIL DEMANDÉ

## Remarques importantes

1- le sujet comporte trois parties **indépendantes** :

- Une validation des choix architecturaux, techniques et technologiques de la machine (durée conseillée : 2 h) ;
- Une étude de la commande asservie de moteur asynchrone (durée conseillée : 2 h) ;
- Une séquence pédagogique dédiée à la méthode d'analyse structurée pour décrire la coordination des tâches de commande (durée conseillée : 2 h.)

**Chacune des trois parties devra impérativement être rédigée sur des copies séparées**

2- Pour chaque question, le candidat peut émettre, s'il le juge nécessaire, des hypothèses complémentaires en les commentant et en les justifiant.

# Partie A : Étude de validation des choix architecturaux, techniques et technologiques

**Rappel : cette partie est à rédiger sur copie(s) séparée(s)**

## A-1) VALIDATION DE L'ARCHITECTURE DE LA MACHINE

L'automatisation ne rend possible le contrôle intégré dans le processus de fabrication – vérification à 100% pour assurer la qualité – qu'à la seule condition qu'il ne grève pas la cadence et donc la productivité.

Le fonctionnement général de la machine est donné par le grafcet de coordination des tâches (G7\_CT) en **Annexe 6**. Le poste menant dans ce cycle global est le poste 2 de contrôle. Le bilan des E/S du poste 2 est donné en **Annexe 6**. Le cycle de fonctionnement optimisé du point de vue du temps d'exécution, est donné par le grafcet (G7\_poste2) en **Annexe 7**. Sa représentation emprunte des nouvelles fonctionnalités – étape encapsulante et encapsulation – de la norme IEC 60848 dont un extrait est donné en **Annexe 8**.

Les durées estimées des actions du poste 2 (pour le gros pneu) ainsi que celle de la tâche de transferts de poste à poste sont données dans le tableau A1.

Tâche ou actions	Mnémorique	Durée estimée en s
Transfert 1–2 et Transfert 2–3	Transferts	5
Fermeture des trappes	FER_TRA	2
Descente du convoyeur CV2	DE_CV2	0,5
Serrage des galets	SER_GAL	2
Moteur de galet	ROT_PNE	<i>le temps nécessaire pour l'acquisition</i>
Marche du générateur RX	GENE_RX	<i>5 s d'amorçage sont nécessaires avant que le contrôle RX soit possible</i>
Avance du capteur	AV_CAP	4
Descente du tube RX	DE_TUB	2
Avance tube RX	AV_TUB	3,5
Acquisition d'une image	ACQ_IMA	11
Recul du tube RX	AR_TUB	3,5
Montée du tube RX	MO_TUB	2
Recul du capteur	AR_CAP	4
Desserrage des galets	DES_GAL	<i>2 (action retardée de 1 s pour attendre l'arrêt total de la rotation du pneu)</i>
Montée du convoyeur CV2	MO_CV2	0,5
Ouverture des trappes	OUV_TRA	2

**Tableau A1** : temps technologiques des tâches et actions relatives au poste 2

- Question A.1.1** : Donner la forme exacte de l'équation de la réceptivité associée à la transition ( $t_1$ ) du G7\_CT et intitulée « fin de tâche du poste 2 ».
- Question A.1.2** : A partir du grafcet de coordination des tâches (G7\_CT), du grafcet du poste 2 (G7\_poste2) et des temps technologiques prévisionnels, déterminer le temps de cycle de la machine en complétant le diagramme de Gantt sur le document réponse DR1.
- Question A.1.3** : L'architecture imaginée pour la machine est-elle valide? Si oui, quel taux de disponibilité constructeur, le fabricant de la machine devra-t-il atteindre? Justifier votre réponse.

## A-2) VALIDATION DE LA SOLUTION TECHNIQUE DU POSTE 1

Pour gagner du temps sur le cycle global de la machine et synchroniser les transferts de poste à poste, un pré-centrage du pneu, avec une tolérance de +/-10 mm, est effectué au poste 1 (voir **Annexes 3 et 4**).

Le module d'entrée est constitué d'un convoyeur de rouleaux motorisés (motoréducteur-frein avec variateur) pour entraîner les pneus suivant  $+\vec{X}$ . Entre ces rouleaux, un translateur à courroies rondes peut monter et descendre pour entraîner le pneu suivant  $+\vec{Y}$  ou  $-\vec{Y}$  (voir **Annexe 4**).

Le principe imaginé en est le suivant. Le pneu qui est convoyé sur le convoyeur CV1 à une vitesse constante contrôlée  $V_x$ , coupe la cellule c0. Le temps mis par le pneu pour passer devant la cellule c0 est alors mesuré. Ce temps est ensuite exploité pour le calcul de la valeur de son diamètre extérieur. Concomitamment le système calcule le temps du déplacement pour contrôler l'arrêt du mouvement du centre du pneu au point d'abscisse X1.

Le translateur monte et entraîne le pneu suivant  $+\vec{Y}$  à une vitesse contrôlée  $V_y$  jusqu'à atteindre la cellule c1. Connaissant la valeur du diamètre du pneu, le système translate suivant  $-\vec{Y}$  le produit le temps nécessaire pour positionner son centre au point O1. Le pneu est ainsi centré ( $x=X1$  ;  $y=0$ ).

Ce fonctionnement n'est valide qu'à la condition que l'entraînement du pneu se fasse sans glissement sur le convoyeur à rouleaux et le translateur à courroies.

On sait que :

- Le convoyeur CV1 possède une vitesse constante  $V_x=0,5$  m/s
- Le translateur à courroies déplace le pneu à une vitesse constante  $V_y=0,2$  m/s

**Question A.2.1 :** *Pour respecter cette condition de non glissement, quel est le mouvement du pneu (suivant  $\vec{X}$  ou suivant  $\vec{Y}$ ) le plus critique ? Justifier qualitativement votre réponse.*

On note :

- L'accélération maxi au démarrage et à l'arrêt :  $a_M$
- Le temps d'accélération (au démarrage ou à l'arrêt) de CV1 :  $T_x$
- La distance de décélération de CV1 (au démarrage ou à l'arrêt) :  $D_x$

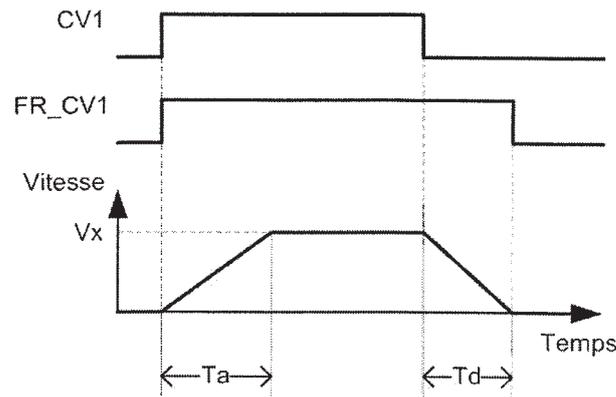
On sait que :

- Le convoyeur CV1 possède une vitesse constante  $V_x=0,5$  m/s
- Le coefficient de frottement caoutchouc sur acier :  $0,3 \leq \mu_f \leq 0,4$
- Le coefficient d'adhérence caoutchouc sur acier :  $0,5 \leq \mu_a \leq 0,7$

**Question A.2.2 :** *Déterminer la valeur maxi de l'accélération au démarrage et à l'arrêt du convoyeur à rouleaux CV1 pour garantir le non glissement du pneu lors de son convoyage. En déduire le temps d'accélération ( $T_x$ ) ainsi que la distance correspondante ( $D_x$ ).*

Le convoyeur CV1 est actionné par un motoréducteur-frein et son pilotage est réalisé avec un variateur. Le mode de commande type de cet ensemble actionneur pré-actionneur est donné en figure A2. Le translateur à courroies est contrôlé suivant le même principe.

Le bilan des E/S de la partie commande du poste 1 est donné en figure A3.



Ta et Td : valeurs de temps d'accélération réglées dans les paramètres du variateur

Figure A2 : mode de commande du convoyeur CV1

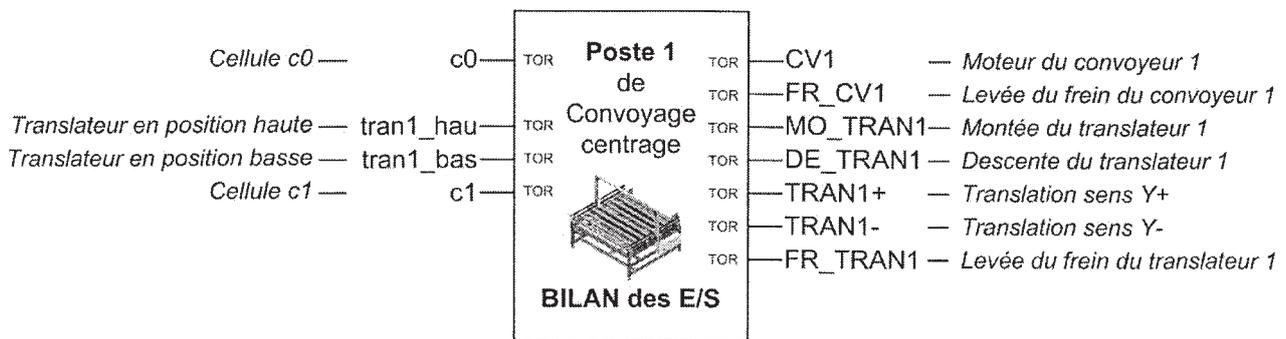


Figure A3 : bilan des E/S de la partie commande du poste 1

**Question A.2.3 :** Quelles valeurs faut-il adopter pour les réglages de Ta et Td du variateur de CV1 afin d'assurer un fonctionnement fiable ? Justifier votre réponse.

On note :

- La vitesse de convoyage CV1 :  $V_x$  en mm/s
- Le temps de passage du pneu devant la cellule c0 : T1 en ms
- Le diamètre extérieur du pneu : D en mm

**Question A.2.4 :** Déterminer l'équation qui permet à la partie commande de calculer le diamètre extérieur (D) du pneu en fonction du temps mesuré (T1) de passage devant la cellule c0. Compléter l'action associée à l'étape 102 du grafcet (G7\_poste1) sur le document réponse DR2.

On note :

- Le diamètre extérieur calculé du pneu : D en mm
- La vitesse de convoyage CV1 :  $V_x$  en mm/s
- Le temps d'accélération (au démarrage ou à l'arrêt) du convoyeur : Tx en ms
- La distance de décélération (au démarrage ou à l'arrêt) : Dx en mm
- La distance suivant  $\vec{X}$  de la cellule c0 au centre O1 : X1 en mm
- Le temps calculé de déplacement du pneu : T2 en ms
- L'emploi de la fonction retard de temps T2 se fait dans la réceptivité associée à la transition (t2) du grafcet (G7\_poste1) sur le document réponse DR2.

**Question A.2.5 :** Déterminer l'équation qui permet à la commande de calculer le temps ( $T_2$ ) pour gérer le déplacement du pneu de l'événement  $\downarrow c0$  jusqu'au début de la décélération, avant l'arrivée au centre suivant  $\vec{X}$  ( $x = X1$ ). Compléter en conséquence l'action associée à l'étape 102 du grafcet (G7\_poste1) sur le document réponse DR2.

On note :

- Le diamètre extérieur calculé du pneu :  $D$  en mm
- Le temps d'accélération (au démarrage ou à l'arrêt) du translateur :  $T_y$  en ms
- La distance d'accélération du translateur (au démarrage ou à l'arrêt) :  $D_y$  en mm
- La vitesse du translateur TRAN1 :  $V_y$  en mm/s
- La distance suivant  $\vec{Y}$ , de la cellule  $c1$  au centre  $01$  :  $Y$  en mm
- Le temps calculé pour gérer le déplacement du pneu depuis l'événement  $\downarrow c1$  jusqu'au début de la décélération avant l'arrivée au centre suivant  $\vec{Y}$  (ordonnée  $y = 0$ ) :  $T_3$  en ms

**Question A.2.6 :** Elaborer du cycle de fonctionnement du poste 1 en complétant le grafcet (G7\_poste1) sur le document réponse DR2.

On note :

- Le temps réel de passage du pneu devant la cellule  $c0$  :  $T_c$
- Le temps mesuré par l'automate :  $T_1$  en ms
- L'incertitude de mesure du temps  $T_1$  :  $\Delta T_1$  en ms
- L'incertitude sur le diamètre  $D$  calculé du pneu :  $\Delta D$  en mm
- L'erreur de positionnement du pneu suivant  $\vec{X}$  :  $\Delta x$  en mm

On sait que :

- La vitesse du convoyeur CV1 est  $V_x = 0,5$  m/s
- Le temps de réponse à l'enclenchement et au déclenchement d'une cellule photoélectrique est de  $T_{rc} = 10$  ms
- Le temps de réponse (filtrage des signaux pour leur immunité électromagnétique) des cartes d'entrée de l'automate est de  $T_{re} = 5$  ms
- Le temps de cycle moyen de l'unité centrale de l'automate est de  $T_{api} = 20$  ms

**Question A.2.7 :** Calculer l'incertitude  $\Delta T_1$  de mesure du temps  $T_1$  de passage du pneu devant la cellule  $c0$ , en tenant compte des temps de réponse de la chaîne d'acquisition et de l'automate.

*Remarque 1 : se placer dans le cas le plus défavorable.*

*Remarque 2 : utiliser l'outil chronogramme pour modéliser les temps de réponse.*

**Question A.2.8 :** Déterminer l'incertitude  $\Delta D$ , induite par  $\Delta T_1$ , sur le calcul du diamètre  $D$  du pneu.

**Question A.2.9 :** En déduire l'erreur de positionnement  $\Delta x$  du pneu suivant l'axe  $\vec{X}$  induite par  $\Delta D$ .

**Question A.2.10 :** La solution technique imaginée pour le poste 1 est-elle donc valide? Justifier votre réponse.

### A-3) VALIDATION ET DIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION TECHNOLOGIQUE

Pour améliorer l'adaptabilité du processus aux différents formats de produits, le poste 1 est équipé d'une fonction supplémentaire de détection du type de pneu. Cela permet de conditionner le cycle de fonctionnement du poste 2 (adaptation de la trajectoire du tube RX et du positionnement du capteur RX en fonction de la taille du pneu, modulation de l'intensité du flux de RX, ...).

Le constructeur de la machine a prévu plusieurs solutions pour détecter le type de pneu au poste 1. La plus simple est la mesure de hauteur de pneu à l'aide de barrières photoélectriques placées sur les rives du convoyeur d'entrée (voir **Annexe 4**). Une option plus flexible, mais aussi plus coûteuse, consiste à exploiter l'étiquette code-barres présente sur le flanc du pneu (voir **Annexe 9**).

La symbologie du code-barres utilisée est le code 2/5 entrelacé. Ce code numérique est autocontrôlé et la lecture est bidirectionnelle.

Les dimensions de l'étiquette sont données dans la figure A4.

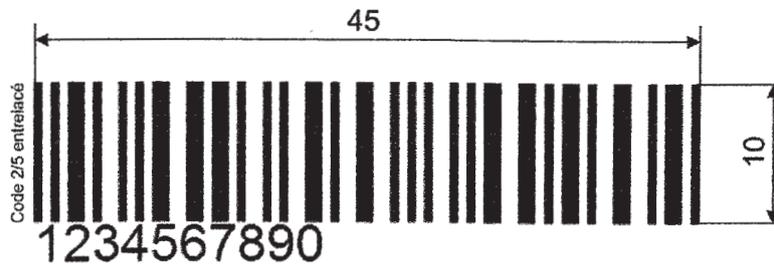


Figure A4 : format de l'étiquette code-barres

La solution imaginée pour effectuer l'opération de lecture de l'étiquette est de placer un lecteur code-barres au dessus du pneu et de le faire tourner autour de l'axe  $\vec{Z}$  (voir **Annexe 9**). Le faisceau laser du lecteur balaye avec un angle d'amplitude  $50^\circ$  pour lire le code. Le lecteur possède également un miroir oscillant pour donner au faisceau un mouvement d'oscillation de  $40^\circ$  – perpendiculaire à celui du balayage – afin de couvrir une zone de lecture importante (voir **Annexe 10**).

Le principe retenu pour la machine est le suivant : le lecteur, tout en balayant et en oscillant, fait une rotation d'un tour pour voir apparaître une fois l'étiquette dans sa zone de lecture. Ensuite il doit se produire au minimum un balayage valide de l'étiquette pour lire le code (voir la figure A5).

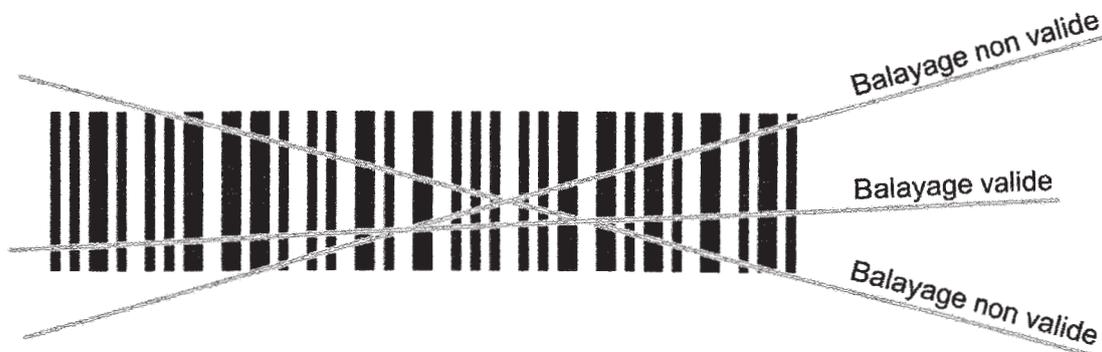


Figure A5 : balayages de lecture de l'étiquette code-barres

Pour cette étude on ne traitera que le seul cas du grand pneu.

**Question A.3.1 :** *Compte tenu du mouvement de rotation d'axe vertical du lecteur par rapport à l'étiquette, déterminer la zone de lecture valide en calculant l'angle de lecture capable repéré ALC sur l'Annexe 10. Illustrer votre calcul à l'aide d'un schéma explicatif.*

Le lecteur de code pressenti pour l'application possède des plages de réglage pour chacune des fréquences :

- de 1 à 4 Hz pour le mouvement d'oscillation (par pas de 1 Hz)
- de 400 à 1000 Hz pour le mouvement de balayage (par pas de 100 Hz)

Dans sa configuration de base le lecteur est réglé sur les valeurs mini : fréquence d'oscillation à 1 Hz et fréquence de balayage à 400 Hz.

Le temps maximum imparti pour exécuter la tâche de lecture du code-barres sans pénaliser la cadence de la machine est de 12 s.

**Question A.3.2 :** *Compte tenu de la fréquence d'oscillation par défaut (1 Hz) du lecteur, déterminer le temps minimum durant lequel l'étiquette doit rester dans la zone de lecture valide (angle de lecture capable). Expliciter votre réponse. Remarque : on se placera dans le cas le plus défavorable pour définir une solution sûre.*

On note :

- Vitesse angulaire maxi du lecteur de code :  $\omega_M$

**Question A.3.3 :** *En déduire la vitesse angulaire maximum ( $\omega_M$ ) de la rotation d'axe vertical du lecteur.*

**Question A.3.4 :** *Cette valeur de vitesse permet-elle de respecter les données du cahier des charges? Justifier votre réponse.*

**Question A.3.5 :** *En déduire la valeur de réglage définitive choisie pour la fréquence d'oscillation. Justifier votre choix.*

Pour améliorer la fiabilité de l'opération de lecture, il est souhaitable de réaliser plusieurs balayages consécutifs identiques avant d'émettre le code lu. Ceci se fait par configuration du lecteur. Dans notre cas il est réglé sur 4 lectures consécutives identiques.

On adopte les réglages suivants :

- La fréquence de balayage du lecteur : 800 Hz
- La fréquence d'oscillation du lecteur : 2 Hz

**Question A.3.6 :** *Calculer le nombre de lectures d'étiquette (ou balayages) consécutives valides réalisées lors d'une oscillation, dans le cas le plus favorable où la direction de balayage est perpendiculaire aux barres du code.*

**Question A.3.7 :** *En déduire la nouvelle valeur de l'angle de lecture capable (ALC) permettant de faire au minimum 4 lectures consécutives valides dans le cas le plus défavorable.*

**Question A.3.8 :** *En déduire la nouvelle valeur de vitesse angulaire maximum ( $\omega_M$ ) de la rotation d'axe vertical du lecteur.*

**Question A.3.9 :** *Cette nouvelle valeur de vitesse permet-elle de valider la solution technologique et ses réglages? Justifier votre réponse.*

## **PARTIE B : Avant-projet de motorisation du poste 2 de contrôle RX**

**RAPPEL : Cette partie est à rédiger sur copie(s) séparée(s)**

### **Remarque**

Les deux parties (**B-1** et **B-2**) constituant la **partie B** sont indépendantes. Il est conseillé cependant de prendre connaissance de l'ensemble du sujet avant de traiter l'une des parties.

On s'intéresse dans cette partie du sujet à l'avant-projet de la mise en rotation du pneumatique lors du contrôle continu RX au poste 2. Comme il l'a été décrit dans la partie A du sujet, ce contrôle fait suite à plusieurs opérations pratiquées sur le pneumatique au poste 1 « convoyage et centrage ».

D'une manière très schématique, le pneumatique est convoyé du poste 1 jusqu'au poste 2 où il subit un contrôle de sa carcasse métallique grâce à un procédé de type radiographie par rayon X (cf. **Annexe 5**). Lors de cette phase de contrôle, le pneumatique, posé à plat, doit être mis en mouvement puis posséder une fréquence de rotation constante sur un tour afin que l'image radiographique de sa bande de roulement et de ses flancs, produite par la chaîne d'acquisition, soit exploitable.

Cette partie B du sujet s'articule selon deux axes. Dans un premier temps, une étude de la motorisation proprement dite du mouvement de mise en rotation du pneumatique sera menée afin de déterminer ses principales caractéristiques en relation avec les contraintes du cahier des charges liées notamment au respect d'un temps de cycle moyen. Une plage de fonctionnement possible de cet équipement pourra alors être proposée. Dans un deuxième temps, la structure de la commande en vitesse de la machine asynchrone MAS sera détaillée et analysée, ses principales performances déterminées et validées.

### **B-1) ÉTUDE DE LA MISE EN ROTATION DU PNEU AU POSTE 2**

Le pneumatique est convoyé au poste 2 où il pénètre dans une cabine blindée afin d'y subir un contrôle par rayon X. Un convoyeur à bande place le centre géométrique O du pneu en coïncidence avec le point  $O_2$  comme le précise la figure de l'**Annexe 5**. Ce positionnement est grandement facilité par l'opération de centrage effectuée préalablement au poste 1. L'escamotage du convoyeur à bande permet au pneumatique de reposer à présent sur un ensemble de rouleaux placés en étoile autour du point de référence  $O_2$  et qui vont servir de support lors de la mise en rotation selon l'axe  $(O_2, \vec{Z})$ .

Afin de garantir la coïncidence temporelle entre le point  $O_2$  et le centre géométrique O du pneu au cours de l'acquisition, condition nécessaire à la

production d'une image radiographique de sa structure interne de qualité, un système synchronisé de quatre galets se placent en contact avec ce dernier comme le montre l'**Annexe 5** et l'**Annexe 12**, appliquant chacun une action mécanique normale de 400 N sur le pneu. Si trois des galets sont libres en rotation, un des rouleaux est 'moteur' ; il est mis en mouvement par l'intermédiaire d'un moteur asynchrone MAS accouplé en sortie à un réducteur suivi d'un système 'poulie-courroie' comme on peut le voir sur l'**Annexe 11**. L'effort presseur ainsi que les caractéristiques physiques de contact pneu-rouleau garantissent un entraînement en rotation par adhérence sans glissement.

Le tableau B1 regroupe les caractéristiques principales de deux tailles extrêmes de pneumatiques 'type camion' testés sur cet équipement.

Désignation	RX Bus & Truck Crampons XBT01C-000ENS001-A Poids Lourd "U" Crampons CYX-TIRES-15-27-UD	
∅ extérieur ( en mm)	1400	700
∅ au seat (en pouce)	27"	15"
Hauteur des flancs (en mm)	350	175
Masse (en kg)	160	17
Largeur de pneu (en mm)	510	110
Moment d'inertie $I(O, \vec{Z}_0)$ (en kg.m <sup>2</sup> )	50	1,6

**Tableau B1** : synthèse des caractéristiques de la gamme de pneus contrôlés

Comme il a été vu lors de l'étude de la partie A, le cahier des charges impose, pour tous les pneumatiques, un temps médian total de contrôle  $T_{\text{cycle}}$  au poste 2 de 30 s +/- 0,5 s. Ce temps de cycle comprend un temps de chargement  $T_{\text{charg}} = 14$  s et un temps de déchargement  $T_{\text{décharg}} = 5$  s (ces temps sont invariants quelque soit la taille des pneumatiques contrôlés et tiennent compte notamment de la mise en position du capteur RX et de la source RX ainsi que de la mise en rotation du pneu). L'acquisition s'effectue pour un tour de pneu et on note :  $T_{\text{cycle}} = T_{\text{charg}} + T_{\text{acq}} + T_{\text{décharg}}$ .

La machine asynchrone MAS est alimentée via le réseau 50 Hz et possède 2 paires de pôles (**Annexe 14**). On note  $\omega_m(t)$  sa fréquence de rotation. Le rapport de réduction de la transmission souple 'poulie-courroie' est supposé unitaire.

**Question B.1.1** : *Donner la raison principale qui a conduit le concepteur au choix d'un mode d'entraînement périphérique pour la mise en rotation du pneumatique.*

**Question B.1.2** : *Rappeler la relation liant la fréquence de rotation de synchronisme de la machine asynchrone avec la fréquence de pilotage et le nombre de paires de pôles. Justifier que l'on puisse écrire en première approximation la relation  $N_m$  (rpm) = 30\*f(Hz).*

**Question B.1.3** : *En justifiant toutes vos hypothèses, déterminer une valeur primaire pour le rapport de réduction du réducteur noté  $\Delta$  placé*

en sortie de la machine asynchrone permettant de satisfaire le temps médian d'acquisition  $T_{acq}$  pour  $f = 50$  Hz.

Pour des raisons de standardisation, le choix du moto réducteur se porte sur la famille : « *Compabloc Cb 3133 LSMV* » dont on donne la fiche technique en **Annexe 14**. Afin de maintenir ses performances, on borne la plage de variation de la fréquence de pilotage du moteur, soit  $f \in [25 ; 70$  Hz]

**Question B.1.4 :** Choisir le rapport de réduction  $\Lambda$  dans la gamme défini par l'**Annexe 14** afin que la vitesse de défilement de la bande de roulement soit compatible avec les performances du capteur RX (**Annexe 13**). Cette valeur sera conservée pour la suite de l'étude.

Afin de répondre aux exigences de flexibilité et aux contraintes économiques de production de la plus part des manufacturiers, le contrôle RX doit être en mesure de s'adapter. Ainsi, il doit être possible de privilégier le temps de cycle au détriment de la pertinence du contrôle ou vice versa, assurant plus de souplesse d'utilisation et de production. On cherche à donner une représentation graphique de la plage d'utilisation du poste 2.

L'emploi d'un variateur performant de type 'contrôle vectoriel de flux' permet de faire varier la fréquence de rotation du moteur tout en assurant des performances optimales. L'**annexe 13** donne la fiche signalétique du capteur RX utilisé. Ce capteur possède un pitch standard de 0,4 mm/points. On fixe une limite matérielle inférieure au temps d'intégration, soit  $T_{int} \geq 0,7$  ms.

**Question B.1.5 :** Déterminer le nombre maximal de points d'acquisition  $N_{acq}$ . En définissant le temps d'intégration  $T_{int}$  (en ms) comme le rapport entre le temps d'acquisition  $T_{acq}$  et le nombre de points à acquérir  $N_{acq}$ , montrer que  $T_{int}$  est fonction de  $f$ (Hz),  $\Lambda$ ,  $\Phi_{gale}$ (mm) et du pitch(mm).

**Question B.1.6 :** En le reprenant sur votre feuille, compléter le tableau B2. Une attention toute particulière sera accordée à la qualité des applications numériques.

		$\emptyset$	1400	700
f=25 Hz	$T_{cycle}$ (en s)			
	$T_{int}$ (en ms)			
f=50 Hz	$T_{cycle}$ (en s)			
	$T_{int}$ (en ms)			
f=70 Hz	$T_{cycle}$ (en s)			
	$T_{int}$ (en ms)			

Tableau B2 : tableau pour répondre

**Question B.1.7 :** Dans le plan ( $T_{int}$ ,  $T_{cycle}$ ), tracer sur le document-réponse **DR3**, la zone d'utilisation du poste de contrôle RX. Placer les points remarquables en précisant leurs coordonnées.

**Hypothèses de calcul :**

- On suppose que la charge est essentiellement composée d'un couple statique de résistance au roulement du à la déformation radiale du pneumatique sous l'action de contact des galets de centrage (charge de 400 N par galet) et d'un couple de frottement entre le pneu et l'ensemble des rouleaux porteurs (placés en étoile).  
Une étude, non détaillée ici, et certaines hypothèses simplificatrices, ont permis d'estimer que le couple résistant  $C_r$  ramené sur l'axe moteur était sensiblement constant et ne dépendait que de la dimension des pneus. Donc, on prendra  $C_r$  égal à 0,92 N.m pour les pneus de diamètre 0,7 m et  $C_r$  égal à 0,52 N.m pour les pneus de diamètre 1,4 m.
- Pour la gamme de moto-réducteur sélectionné (cf. Annexe 14), on estime à partir des données constructeur que :  
 $P = \delta_1 * J^2 + \delta_2 * J + \delta_3$ , ( $\delta_i \in \mathbb{R}$ ) avec  $J$  : moment d'inertie du moto-réducteur ramené sur l'axe moteur (en  $\text{kg.m}^2$ ) et  $P$  : puissance (en W). Cette relation est tracée sur le document-réponse **DR4** (figure du haut, courbe A).

**Question B.1.8 :** En justifiant vos calculs, montrer que l'inertie équivalente notée  $J_{eq}$  de l'ensemble en mouvement ramenée selon l'axe moteur peut s'exprimer sous la forme  $J_{eq} = J + k$ , avec  $k \in \mathbb{R}$ . Effectuer les applications numériques pour  $k$  et, en le reprenant sur votre feuille, compléter le tableau B3.

	$k$ ( $\text{kg.m}^2$ )
$\varnothing$ 1400	
$\varnothing$ 700	

**Tableau B3 :** tableau pour répondre

Le variateur impose des durées identiques pour les rampes d'accélération et de décélération de la loi de commande en vitesse de type 'trapézoïdale' du moteur asynchrone. Par défaut, elles sont réglées à 1 s quelque soit la fréquence de pilotage.

**Question B.1.9 :** En utilisant le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble en mouvement, montrer que l'expression de la puissance motrice notée  $P_m$  prend la forme  $P_m = a * J + b$ . Donner les expressions de  $(a, b)$  en fonction de  $k$ ,  $C_r$ ,  $\omega_m$  et  $\dot{\omega}_m$ . Toutes les hypothèses seront justifiées.

Le document-réponse **DR4** (figure du haut, courbe B) présente le tracé de la puissance motrice  $P_m$  déterminée précédemment pour le plus grand diamètre de pneu et pour la plus grande fréquence de rotation moteur (pilotage à 70 Hz).

**Question B.1.10 :** Sur le **DR4**, tracer en couleur la droite représentant l'évolution de la puissance motrice  $P_m$  en fonction de  $J$  pour le plus petit diamètre de pneu et toujours pour la même fréquence de rotation moteur. En utilisant l'**Annexe 14**, conclure en choisissant la puissance du motoréducteur dans la gamme proposée.

Le document-réponse **DR4** (figure du bas) présente la caractéristique simplifiée de la machine asynchrone seule dans le plan  $(N_m, C_m)$ , pour trois fréquences  $f$  de pilotage.

**Question B.1.11 :** Sur le document-réponse **DR4**, tracer en couleur la droite caractéristique de la charge pour les deux tailles extrêmes de pneumatique. Pour le cycle médian, indiquer les points de fonctionnement de la machine asynchrone en régime stationnaire. Déterminer la fréquence de rotation du moteur (en rpm) et valider le respect du temps d'acquisition imposé.

## B-2) ANALYSE DES PERFORMANCES, VALIDATION, AMELIORATIONS

La mise en rotation du pneumatique lors du contrôle RX au poste 2 est réalisée par un moto réducteur asynchrone MAS suivi d'une transmission souple 'poulie-courroie'. Cette association présente l'avantage d'être robuste et fiable dans le temps. Grâce à un contrôle des courants et du flux dans la machine asynchrone, appelé couramment commande vectorielle de flux, ce type de motorisation est capable de délivrer un couple constant sur une large plage de fréquence de rotation, y compris en survitesse.

Le réglage de la fréquence de rotation du moteur nécessaire au bon fonctionnement du contrôle RX est possible grâce à l'emploi d'un onduleur. Il s'agit d'un convertisseur de puissance générant les ondes de tension par modulation de largeur d'impulsion (MLI) à partir d'une fréquence pilote de quelques kHz. L'architecture générique d'une telle commande se présente selon le schéma de principe de la figure B4 ci-dessous.

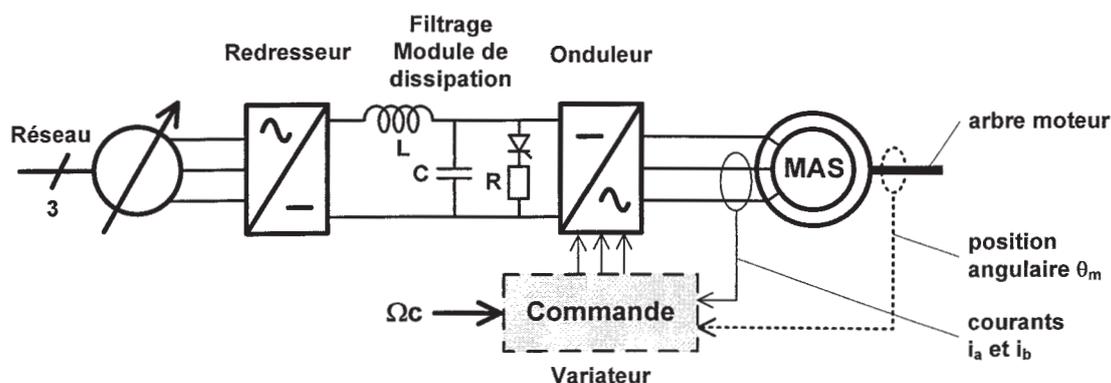


Figure B4 : Structure de commande d'une MAS

L'information sur la position angulaire du rotor (qui peut être mesurée ou bien estimée) ainsi que sur les courants  $i_a$  et  $i_b$  sont transmis au système de commande. Ces informations permettent de réguler le courant direct qui contrôle le flux statorique et le courant en quadrature qui contrôle le flux rotorique, donc le couple du moteur. A partir de ces signaux de régulation, le variateur reconstruira ainsi les signaux électriques triphasés nécessaires à la commande du moteur.

Le reste de la structure de la partie puissance est classique ; outre l'onduleur de tension ; elle est constituée d'un redresseur non contrôlé et d'un filtre capacitif. Pour ce qui est des lois de commande d'une machine asynchrone, schématiquement il en existe trois grandes familles qui sont synthétisées par le tableau B5 ci-dessous :

Lois de commande	Gamme de vitesse	Précision de la vitesse	Couple à l'arrêt	Applications
Convertisseurs de fréquence E/F	1 à 20	+/- 1%	non	Pompes centrifuges, ventilateurs, compresseurs, convoyeurs, broyeurs.
Contrôle vectoriel de flux CVF (sans capteur)	1 à 100	+/- 1%	non	Pompes doseuses, levage, manutention, machines à cycle, machines de conditionnement.
Contrôle vectoriel de flux CVF (avec capteur)	1 à 100	+/- 0,01%	oui	Levage lourd, manutention automatisé avec positionnement précis.

**Tableau B5** : synthèse des lois de commande d'une MAS

Dans nos cas, le variateur CVF implanté est un *Rockwell PowerFlex 40* sans capteur de position (estimation de la position angulaire du moteur à partir de la fréquence du signal issu du variateur).

Comme le montre le schéma-bloc donné en **Annexe 15**, un régulateur de vitesse élabore un signal de référence  $C_{ref}$  qui est en fait une consigne de couple. À partir de l'estimation de la position du rotor et de la mesure des courants statoriques, le moteur asynchrone MAS, par l'intermédiaire de sa commande vectorielle de flux, délivre un couple moteur  $C_m$ .

Le modèle de représentation de cet ensemble, considéré dans le sujet comme linéaire, possède comme fonction de transfert : 
$$H(p) = \frac{C_m(p)}{C_{ref}(p)} = \frac{1}{1 + T.p}$$

Initialement la commande en vitesse est du type 'chaîne directe'.  $C(p)$  représente la fonction de transfert du régulateur ;  $\omega_c$  représente le signal de consigne en fréquence de rotation (fixé pour le reste de l'étude à  $157 \text{ rd.s}^{-1}$ ) et  $C_r$  le couple résistant (en N.m).

La qualité du contrôle par rayon X impose une régularité de +/- 1% de la fréquence de rotation du moteur  $\omega_m$  ( $155,4 \leq \omega_m(\text{rd.s}^{-1}) \leq 158,6$ ) pendant 11 s +/- 0,5 s (c'est le temps d'acquisition). Cette tolérance est compatible avec les performances du contrôle vectoriel de flux.

**Question B.2.1 :** *Pour la commande en chaîne directe, quelle hypothèse nous permet d'écrire que :  $\Omega_m(p) = G_1(p).\Omega_c(p) + G_2(p).C_r(p)$  ? Donner les expressions des deux fonctions de transfert  $G_1(p)$  et  $G_2(p)$ .*

**Question B.2.2 :** *Donner l'expression de la valeur maximale de la constante de temps  $T$  afin que la borne supérieure de la bande passante à -3 dB du variateur soit au moins cent fois supérieure à celle du système mécanique.*

**Hypothèses de calcul :**

- on adopte les valeurs numériques suivantes :  $J_{eq} = 3.10^{-3} \text{ kg.m}^2$  et  $f = 6.10^{-3} \text{ Nms}$  ;
- on néglige la constante de temps du variateur  $T$  compte tenu de la dynamique du système mécanique.

Dans un premier temps, le régulateur de vitesse est du type proportionnel,  $C(p) = K$  et on ne prend pas en compte le couple résistant  $C_r$ .

**Question B.2.3 :** *Déterminer la valeur  $K$  de réglage du régulateur de manière à assurer une fréquence de rotation du moteur en régime stationnaire conforme. Préciser l'unité de  $K$ .*

Le correcteur ainsi réglé, on procède à une simulation numérique, ce qui permet d'obtenir la courbe  $\omega_m(t)$  donnée en **Annexe 16**.

**Question B.2.4 :** *Estimer alors le temps d'acquisition. Le cahier des charges est-il respecté ? Justifier votre réponse.*

Fort des conclusions précédentes, on décide d'adapter le correcteur numérique en proposant comme nouvelle fonction de transfert  $C(p) = K_1 + K_2p$ ,  $(K_1, K_2) \in \mathbb{R}^2$ .

**Question B.2.5 :** *Quelles valeurs peut-on donner aux deux constantes  $K_1$  et  $K_2$  afin de respecter idéalement les deux critères définis par le cahier des charges ? Préciser les unités de  $K_1$  et  $K_2$ . Nommer ce type de correcteur.*

Le système réel est perturbé. En plus d'un couple statique  $C_{r1}$ , la sculpture large et profonde du pneu de camion en mouvement induit un couple perturbateur cyclique  $C_{r2}$ . On pose donc :  $C_r(t) = C_{r1}(t) + C_{r2}(t)$  avec :

- $C_{r1}(t) = C_{r1}.u(t)$  avec  $C_{r1} = 0,52 \text{ Nm}$  et  $u(t)$  : signal échelon unitaire ;
- $C_{r2}(t) = C_{r2} \sin(\omega_n * t)$  avec  $C_{r2} = 0,15 \text{ Nm}$ .

**Question B.2.6 :** *Déterminer l'amplitude maximale  $\Delta\omega$  (en  $\text{rd.s}^{-1}$ ) des oscillations induites sur la fréquence de rotation du moteur par l'action du couple perturbateur cyclique  $C_{r2}$ .*

Compte-tenu des caractéristiques du poste de contrôle RX, une mesure de vibrations directement sur l'axe moteur nous permet d'estimer qu'en général  $f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = 2 \text{ Hz}$ .

**Question B.2.7 :** Estimer l'amplitude  $\Delta\omega$  (en  $\text{rd.s}^{-1}$  puis en %) des oscillations induites sur la fréquence de rotation du moteur par le couple perturbateur cyclique. On étayera obligatoirement sa réponse par le tracé asymptotique de la réponse fréquentielle  $\frac{\omega_m(j\omega)}{C_{r2}(j\omega)}$  dans le plan de Bode (uniquement du gain en dB). Le cahier des charges est-il respecté ? Conclure.

Compte-tenu des conclusions antérieures, la pré-étude suivante envisage de récupérer l'information sur la vitesse de rotation du moteur  $\omega_m(t)$  et de l'utiliser dans l'optique de réaliser une boucle de retour. On obtient alors une commande asservie en vitesse comme le montre les schéma-blocs de l'**Annexe 15**. On cherche à estimer l'apport d'une telle commande sur les performances attendues au poste 2.

On adopte un correcteur de fonction de transfert  $C(p) = K_c(1 + \frac{1}{p})$ . Le modèle du couple perturbateur  $C_r(t)$  reste inchangé, soit  $C_r(t) = C_{r1}(t) + C_{r2}(t)$  avec notamment  $C_{r2}(t) = C_{r2} \sin(\omega_n * t)$  avec  $C_{r2} = 0,15 \text{ Nm}$ .

**Question B.2.8 :** Montrer que l'on peut exprimer le schéma-bloc modélisant la commande asservie sous la forme ci-dessous (figure B6). Donner les expressions de la fonction  $F(p)$  et des constantes  $A$ ,  $a_1$  et  $a_2$  en fonction de  $J_{eq}$ ,  $f$  et  $K_c$ .

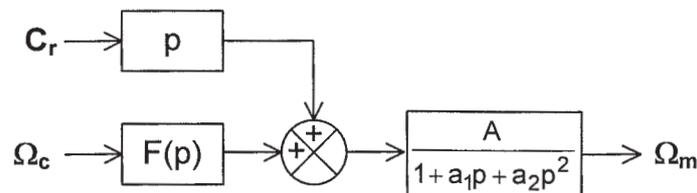


Figure B6 : schéma-bloc de la commande asservie

Le tracé du gain (en dB) de la fonction de transfert isochrone  $\frac{\omega_m(j\omega)}{C_{r2}(j\omega)}$  (cf. schéma-bloc ci-dessus) dans le plan de Bode est donné en **Annexe 16** (figure du bas) pour un réglage du correcteur égal à  $K_c = 3/4$ .

**Question B.2.9 :** A partir du tracé fourni en **Annexe 16** (figure du bas), déterminer l'amplitude  $\Delta\omega$  (en  $\text{rd.s}^{-1}$  puis en %) des oscillations induites sur la fréquence de rotation du moteur par l'action du couple perturbateur cyclique  $C_{r2}$ . Conclure.

**Question B.2.10 :** En justifiant vos approximations, déterminer la valeur limite de  $K_c$  assurant le strict respect du cahier des charges à savoir 1% d'amplitude maxi.

## Partie C : Étude pédagogique

**Rappel : cette partie est à rédiger sur copie(s) séparée(s)**

On se propose dans cette partie, de construire une séquence d'enseignement destinée à des élèves de STSMAI concernant une méthode d'analyse structurée, de type descendante, pour décrire la coordination des tâches de commande et définir les performances temporelles prévisionnelles du système.

La compétence **CP411** visée – de l'unité U51 (Analyse et étude détaillée des fonctions de commande) – est donnée ainsi dans le référentiel du diplôme :

Compétence unitaire	Conditions de réalisation	Critère(s) et niveau(x) de performance
<b>CP411</b>  CP41 1 Proposer une coordination des tâches de commande	Ensemble des éléments de CP41, et plus précisément : <ul style="list-style-type: none"><li>• la liste des tâches de commande ;</li><li>• le bilan des E/S du système considéré ;</li><li>• un ou plusieurs critères (de productivité, de structuration, de sûreté de fonctionnement...).</li></ul>	Description par grafcet de la coordination retenue et évaluation de la performance (vis-à-vis d'un critère imposé) : traçabilité de l'analyse conduisant à la description, exactitude de l'évaluation.

Les contenus associés à cette compétence sont :

### Méthodes d'approche progressive des spécifications

Définition des limites de la prestation de l'automaticien (frontière PO - PC).

Exploitation du cahier des charges fonctionnel du système automatisé.

Conception générale de la partie commande : hiérarchisation des fonctions, découpage en chaînes fonctionnelles.

Représentations :

- par niveaux : de point de vue, de spécifications, de finesse de description;
- par nature : littérales (textuelles, symboliques), graphiques ;
- objectifs d'une représentation; comparaison et choix d'une représentation en fonction des finalités de la description.

### Méthodes d'analyse structurée

1. Méthodes d'analyse descendante :

- principe de l'analyse descendante : identification des tâches, décomposition des tâches en sous-tâches et fonctions, puis en actions ;
- représentations GRAFCET associées : graphe de coordination des tâches, macro-étapes et graphes partiels ;
- notions sur les méthodes générales d'analyse : SADT, langages à boîtes fonctionnelles (Function Bloc Diagram) ;
- exploitation pour la vérification des performances temporelles prévisionnelles.

## 2. Méthodes d'analyse ascendante :

- principe de l'analyse ascendante : identification de fonctions/problèmes génériques ; caractérisation des solutions associées ;
- association et coordination des solutions génériques ;
- étude de quelques solutions génériques: partage de ressource, comptage, registre à décalage, synchronisation, ...

**Question C1.1 :** *Proposer une séquence pédagogique cohérente visant l'objectif de : méthode d'analyse structurée pour décrire la coordination des tâches de commande et vérifier les performances temporelles du système.*

### Recommandations :

- La séquence, qui peut comporter plusieurs parties (cours, TD, TP, évaluation,...), doit être définie complètement – ordre, organisation, nature du contenu ou des activités – et justifiée ;
- Pour la partie TD, si elle existe dans votre proposition de séquence, il faudra définir précisément le travail demandé aux élèves, donner les éléments essentiels de la résolution du problème et ne pas omettre de formuler toutes les hypothèses nécessaires.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

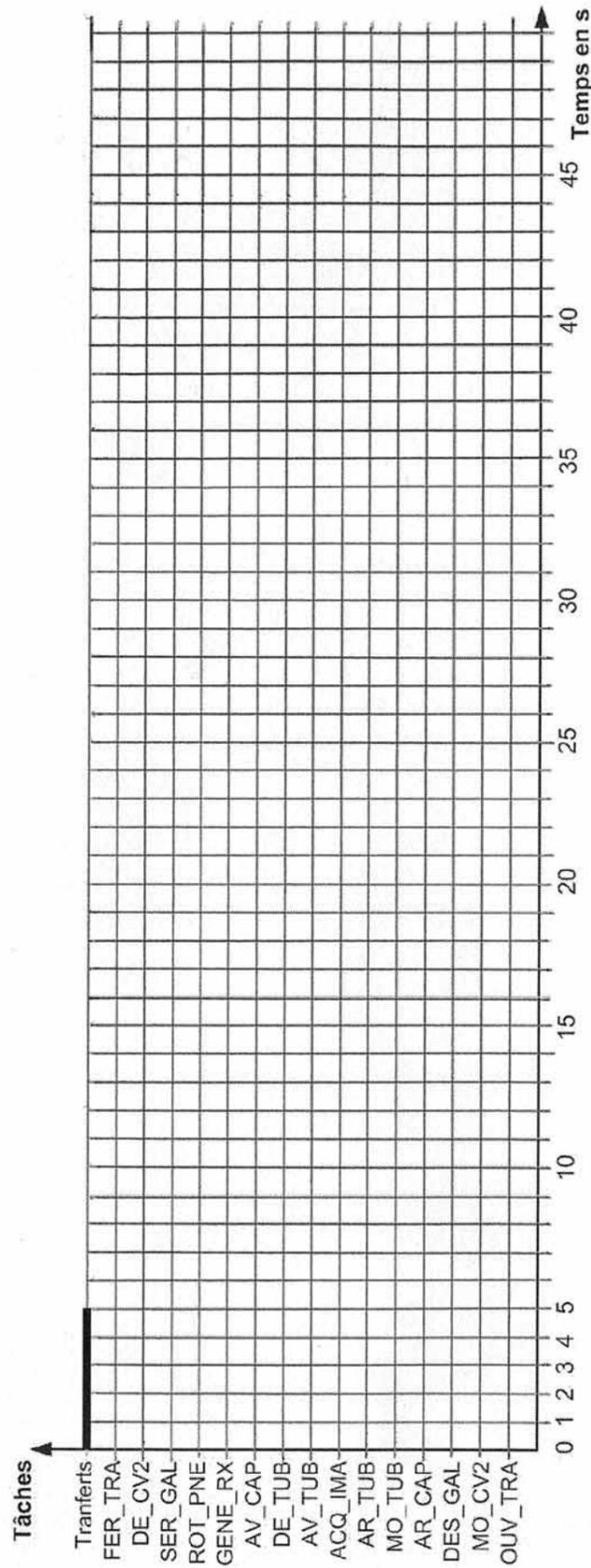
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAI MEC 2

**DOCUMENT-RÉPONSE DR1 : Gantt**



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

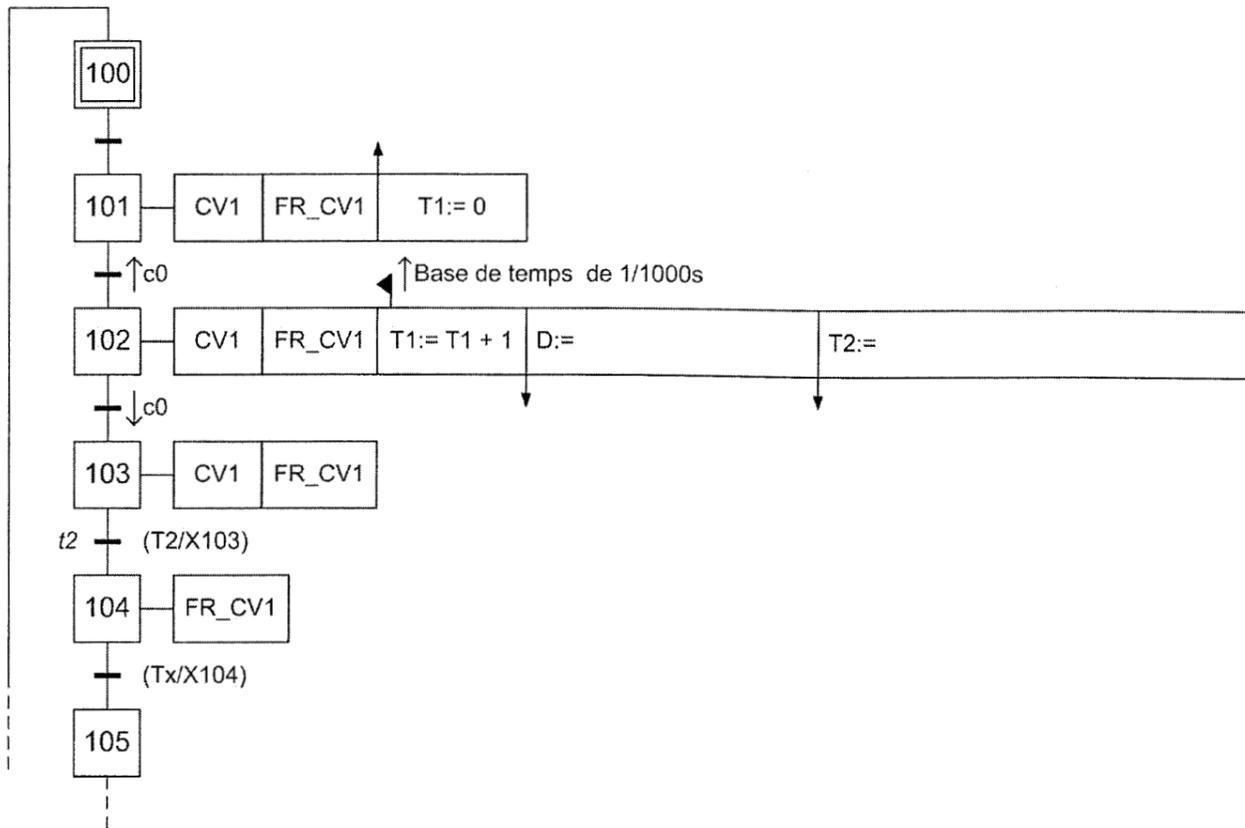
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAI MEC 2

**DOCUMENT-RÉPONSE DR2 : G7\_poste1**



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

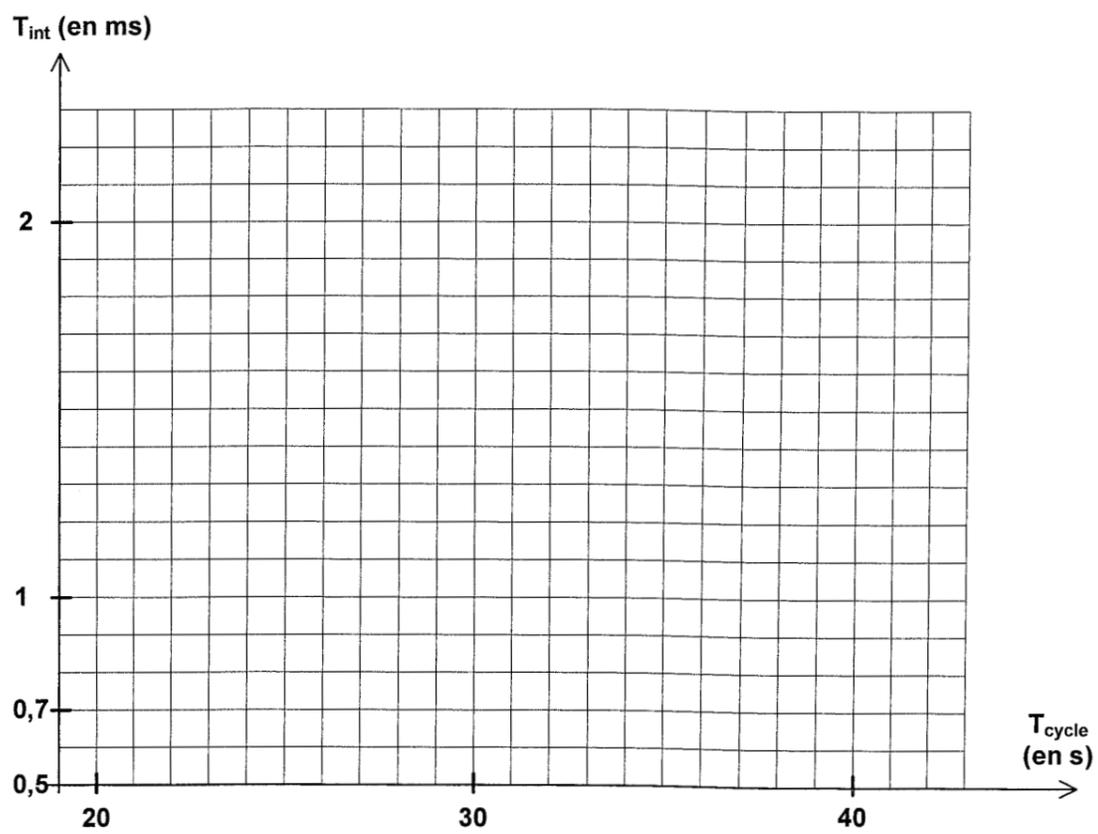
*(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)*

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

*(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)*

EAI MEC 2

**DOCUMENT-RÉPONSE DR3**



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

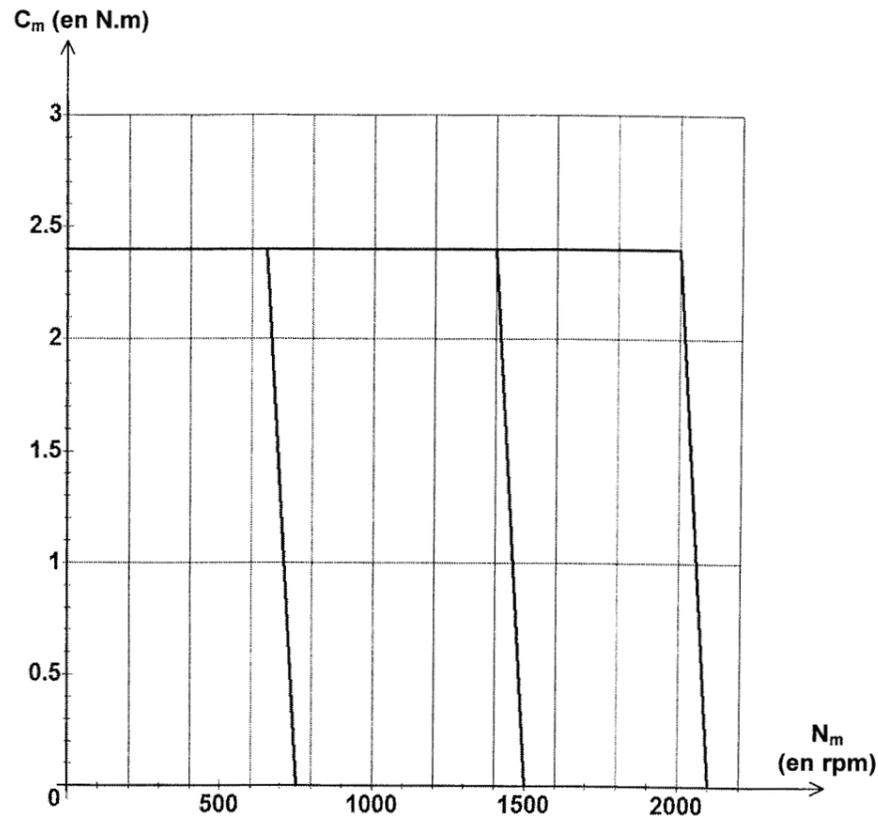
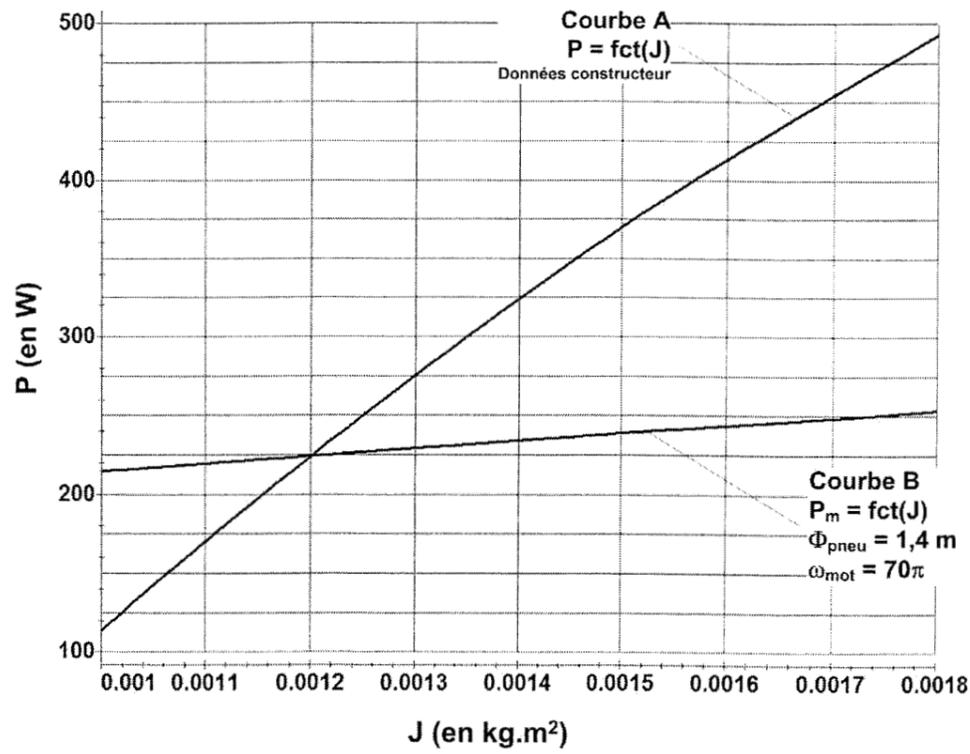
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

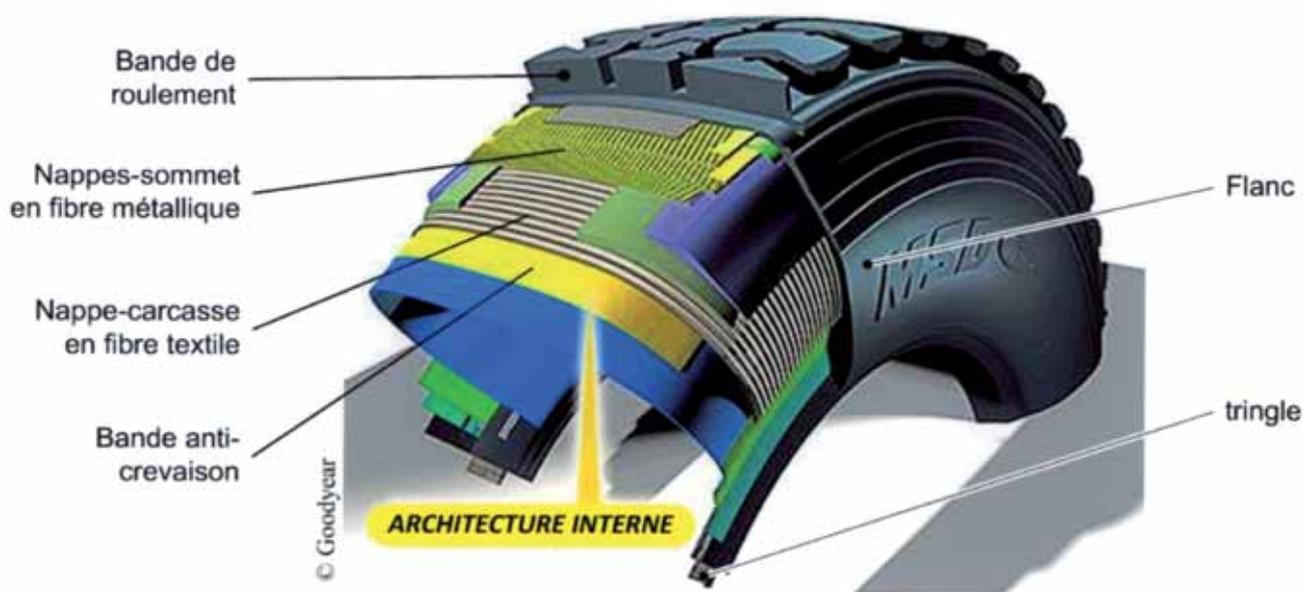
EAI MEC 2

**DOCUMENT-RÉPONSE DR4**

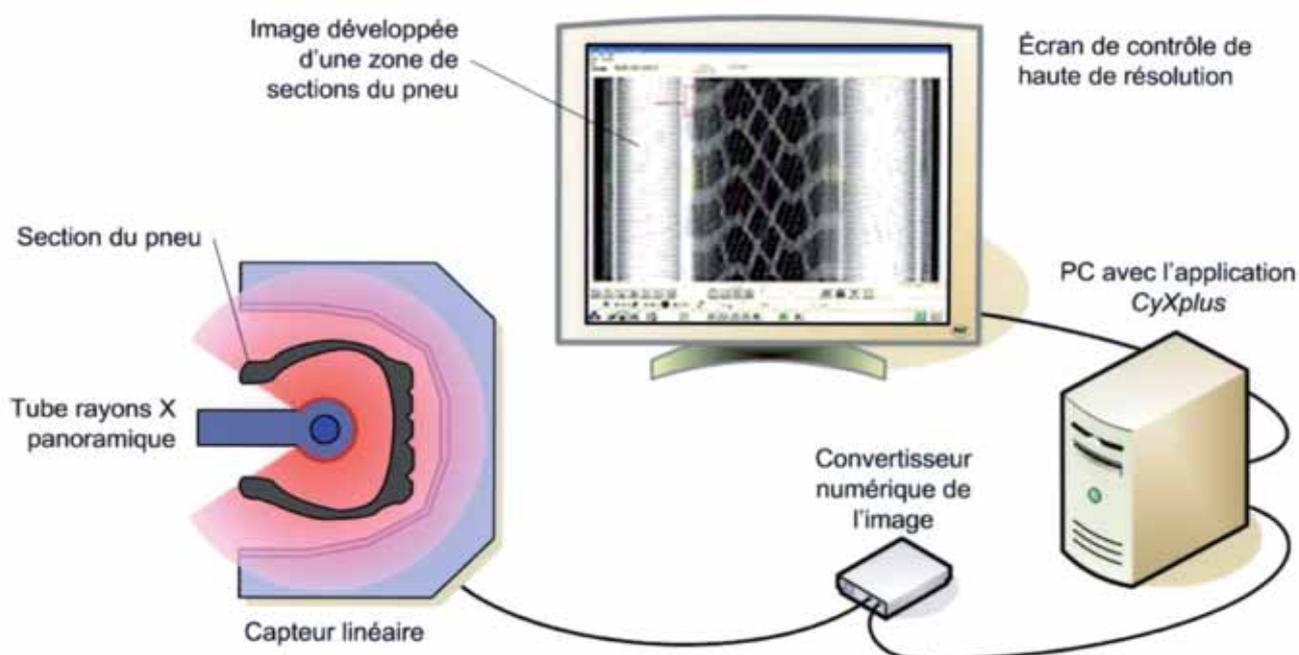


# ANNEXE 1

## Constitution d'un pneu de camion. Exemple de la technologie Goodyear

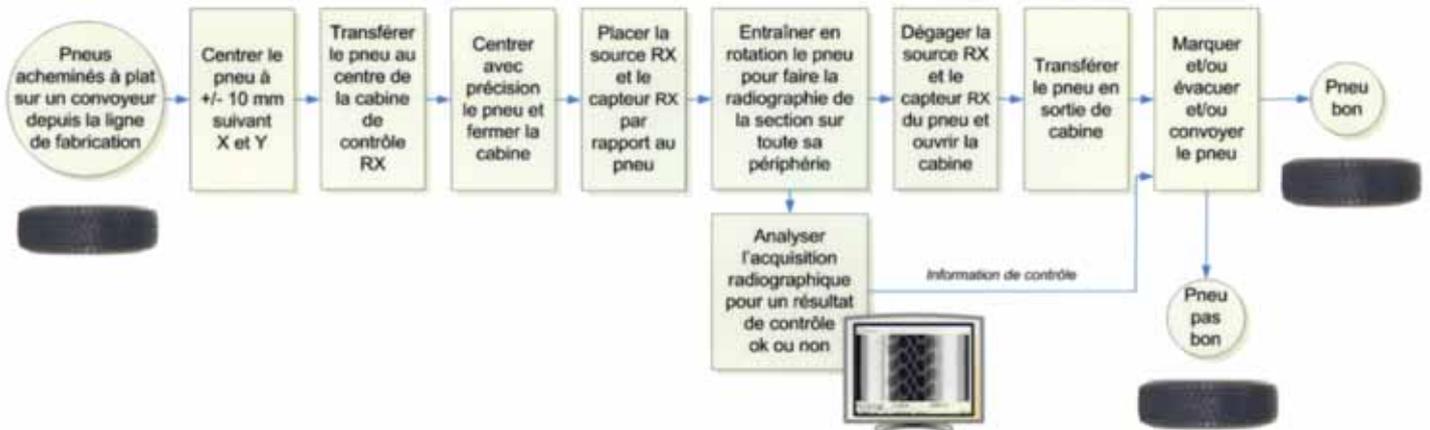


## Procédé de contrôle par rayons X (RX) des pneus

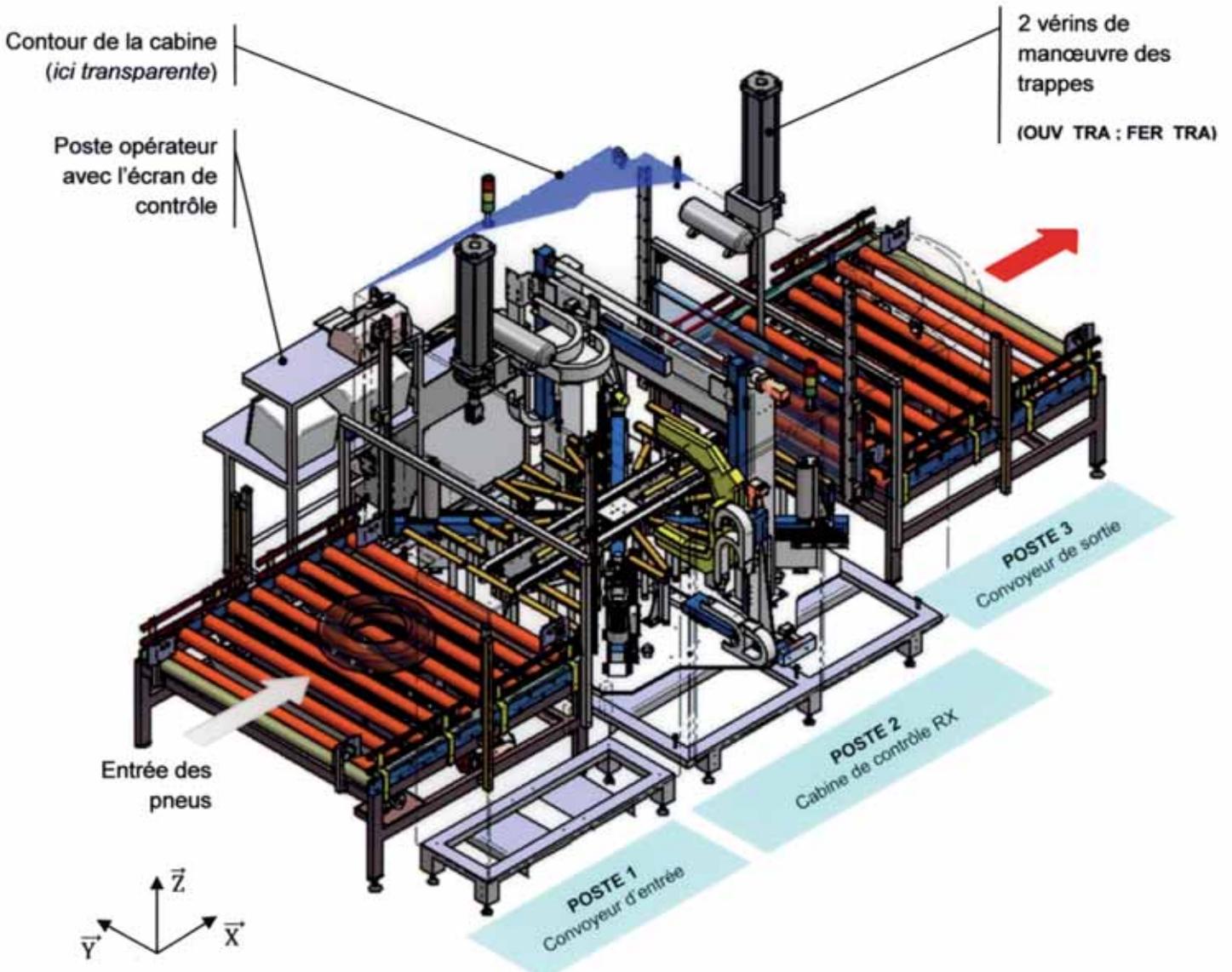


## ANNEXE 2

### Procédé de la machine de contrôle RX en ligne des pneus de camion

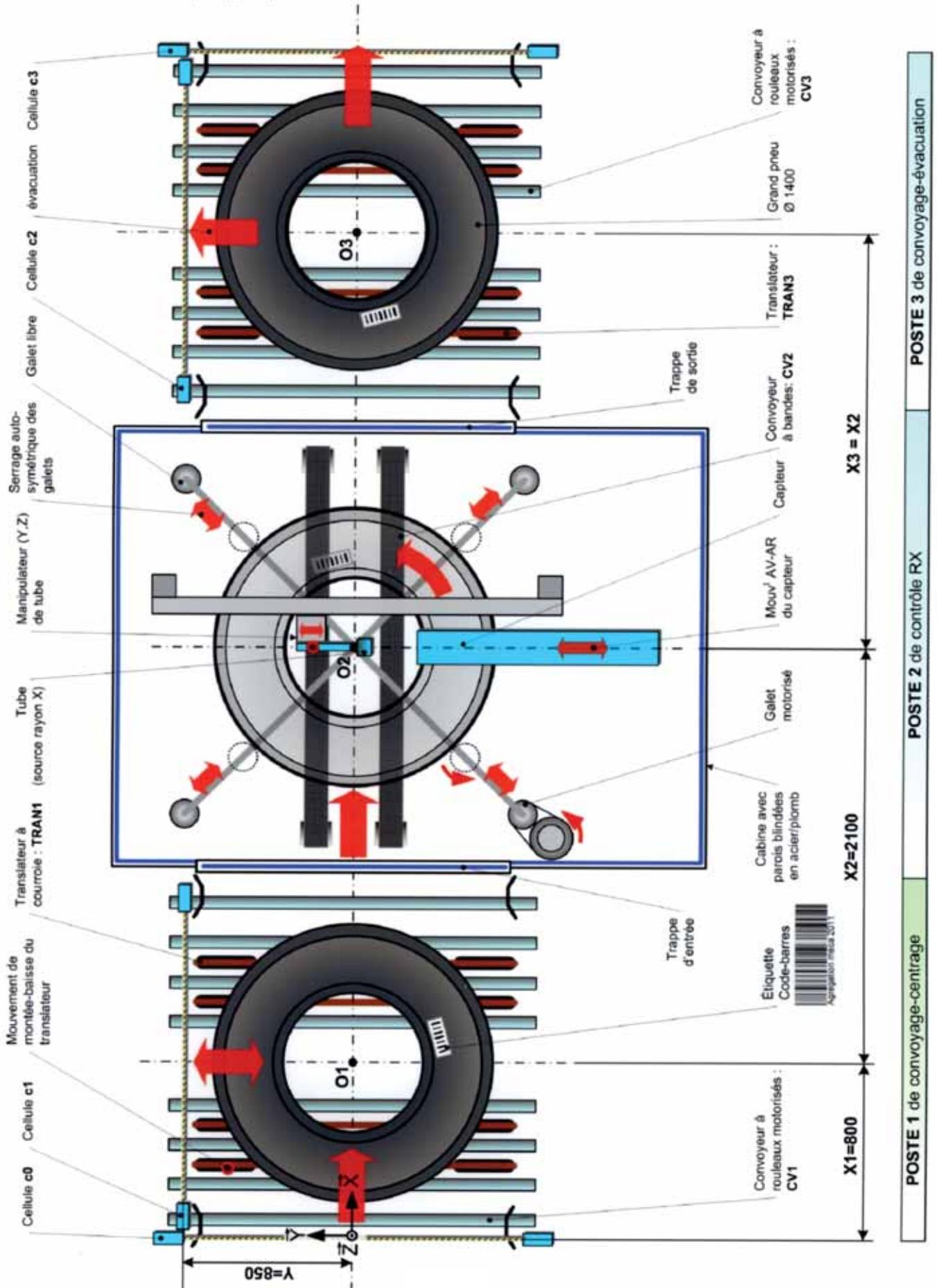


### Vue générale de la machine de contrôle par rayons X



# ANNEXE 3

## Synoptique de la machine de contrôle RX vue de dessus



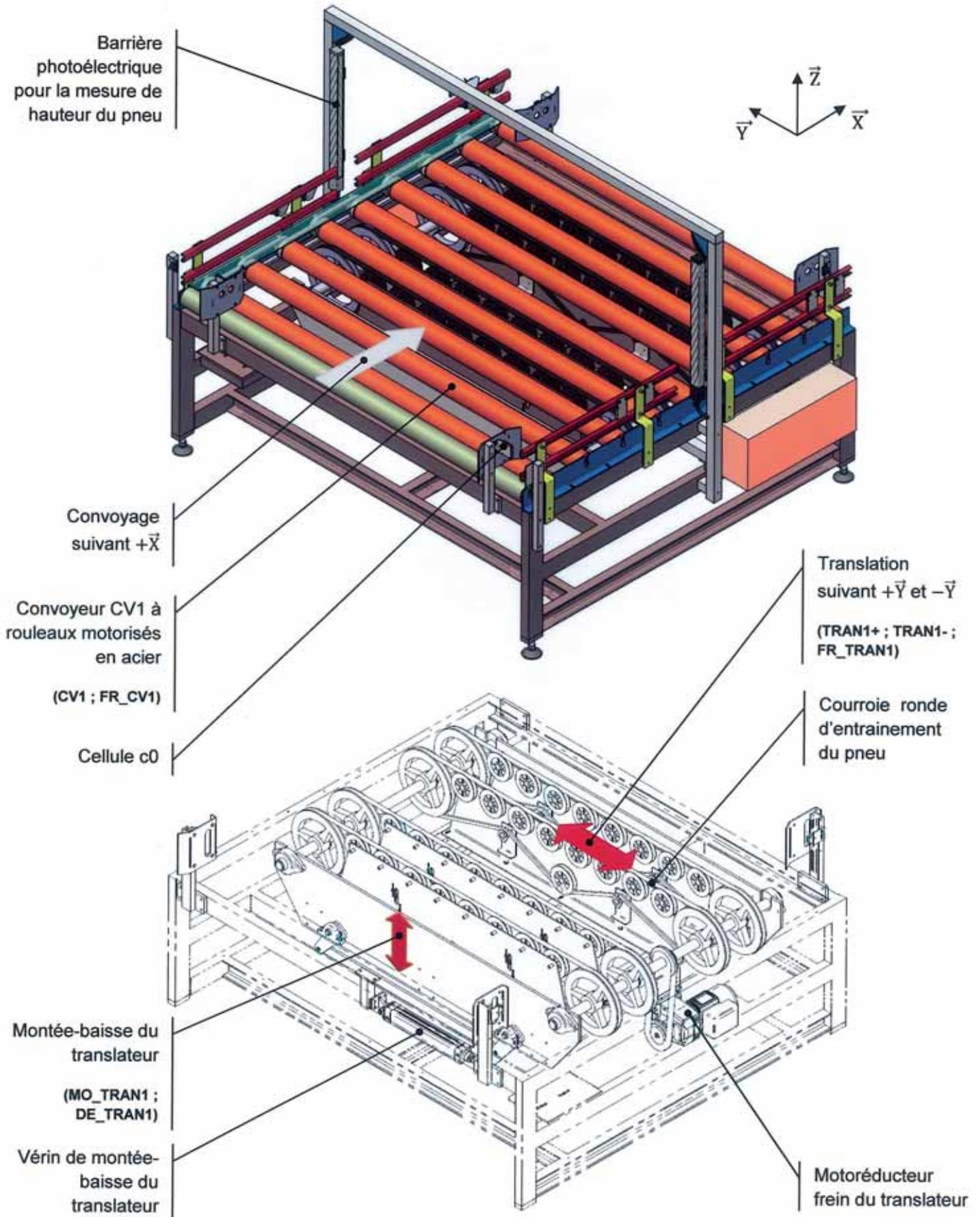
POSTE 3 de convoyage-évacuation

POSTE 2 de contrôle RX

POSTE 1 de convoyage-centrage

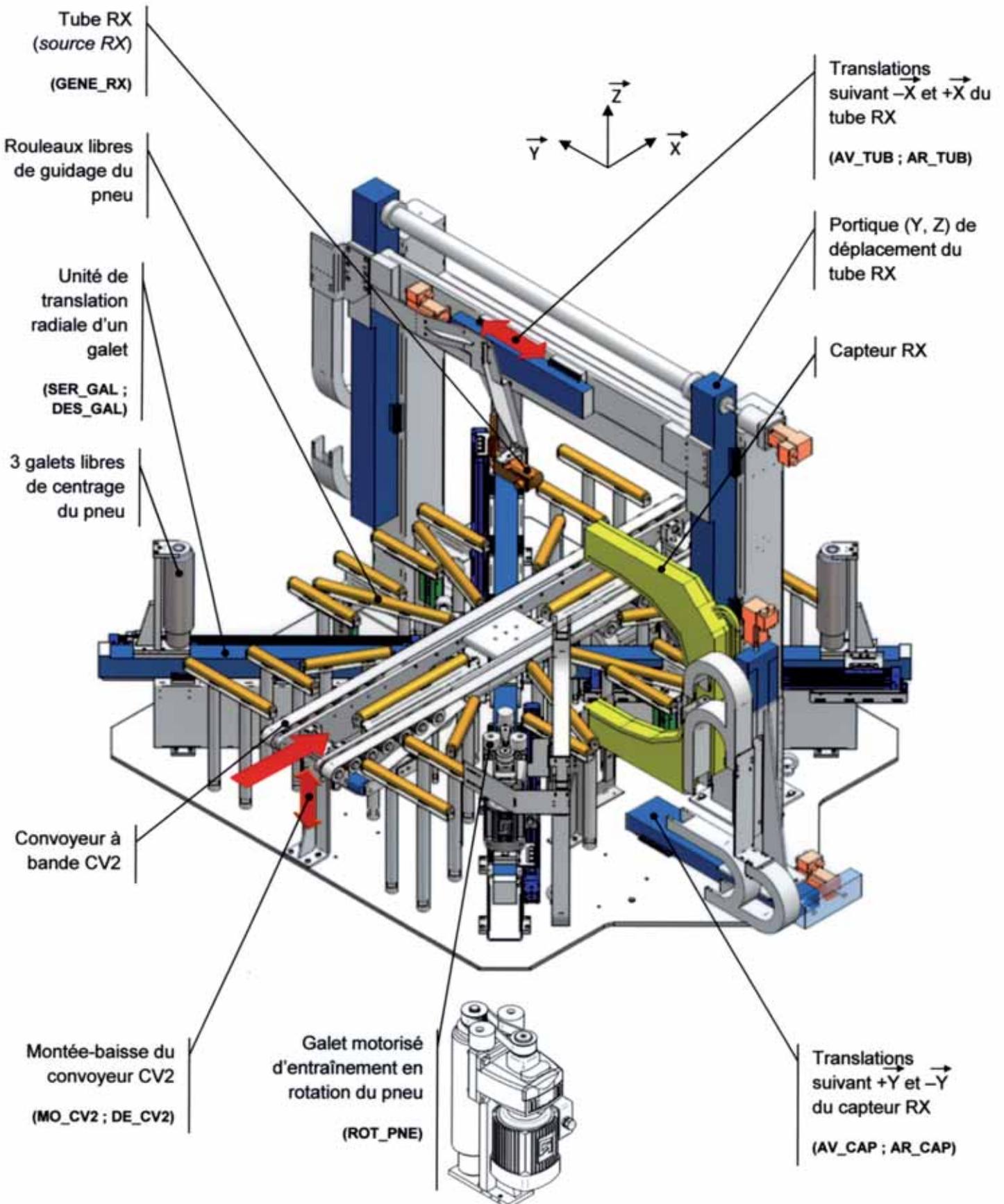
# ANNEXE 4

## Solution technique envisagée pour le poste 1 de convoyage-centrage



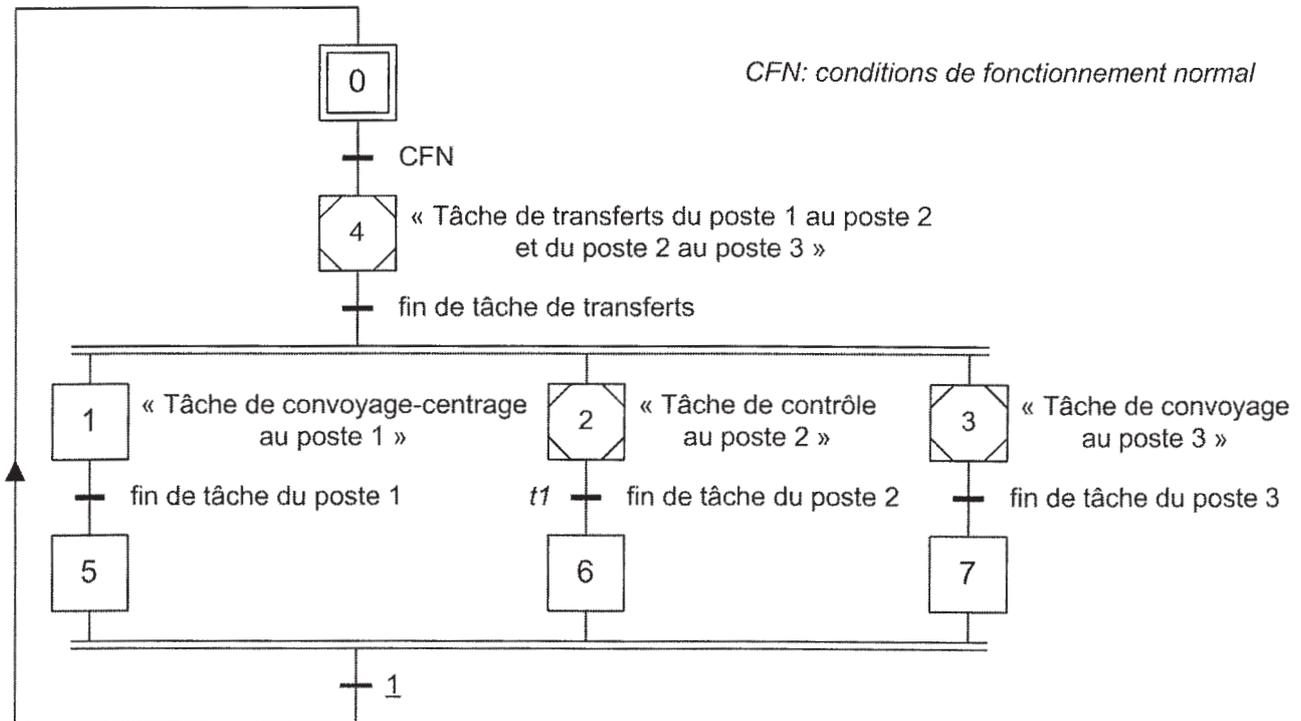
# ANNEXE 5

## Solution technique envisagée pour le poste 2 de contrôle RX

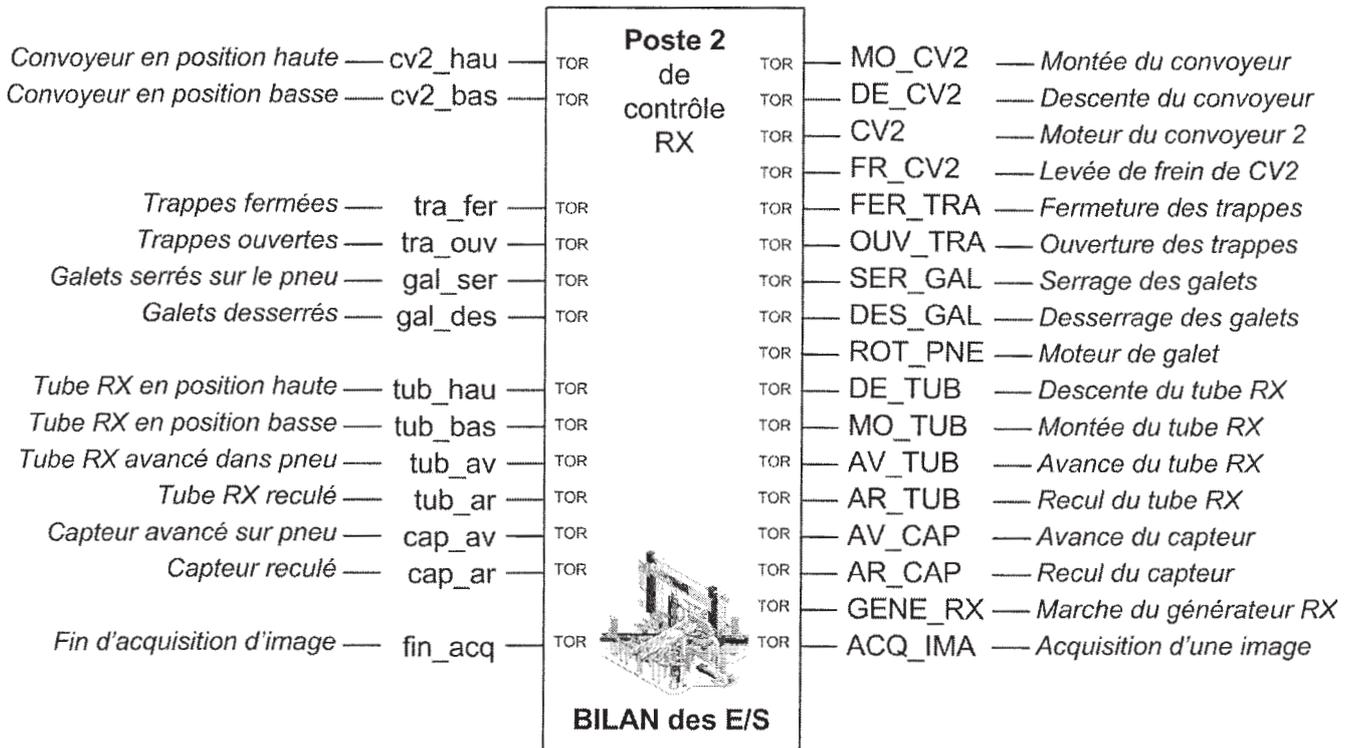


# ANNEXE 6

## Grafcet de coordination des tâches de la machine (G7\_CT)

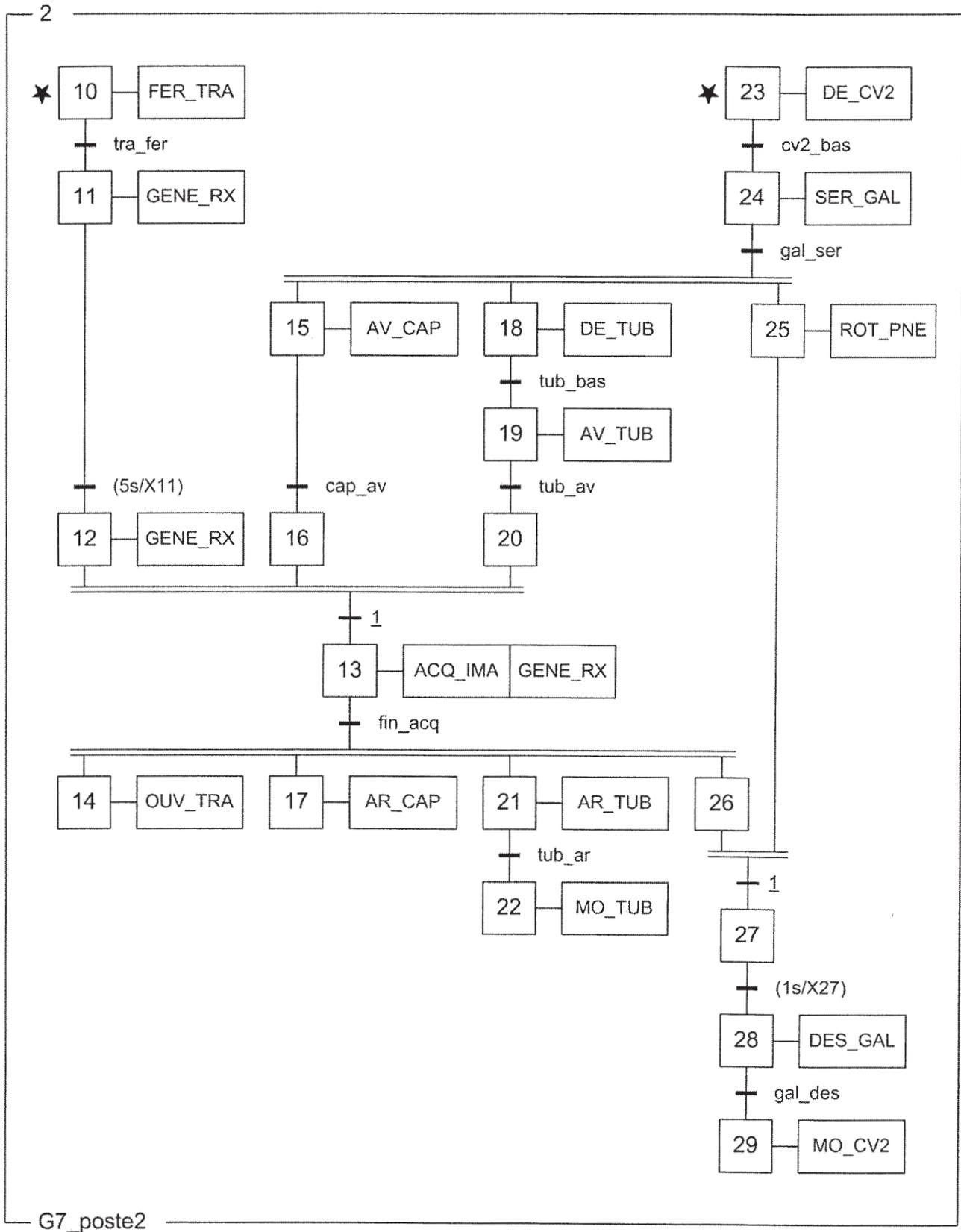


## Bilan des E/S de la tâche de contrôle au poste 2



# ANNEXE 7

## Encapsulation (G7\_poste2) de la tâche de contrôle au poste 2



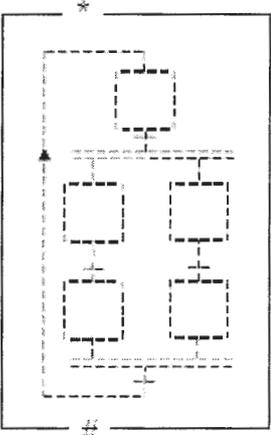
# ANNEXE 8 (1/3)

## EXTRAIT DE LA NORME IEC 60848 SUR LE GRAFCET

### 7.3 Structuration par encapsulation

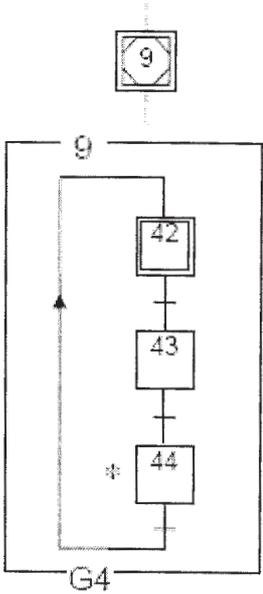
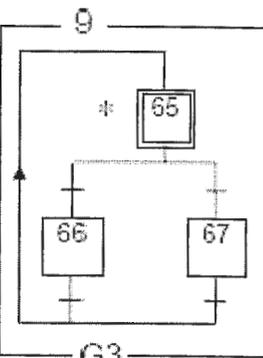
Il y a encapsulation d'un ensemble d'étapes, dites encapsulées, par une étape, dite encapsulante, si et seulement si, lorsque cette étape encapsulante est active, l'une, au moins, des étapes encapsulées est active. Le spécificateur peut utiliser l'encapsulation pour structurer de manière hiérarchique un grafcet (voir exemple à l'annexe B).

Tableau 10 – Etapes encapsulantes

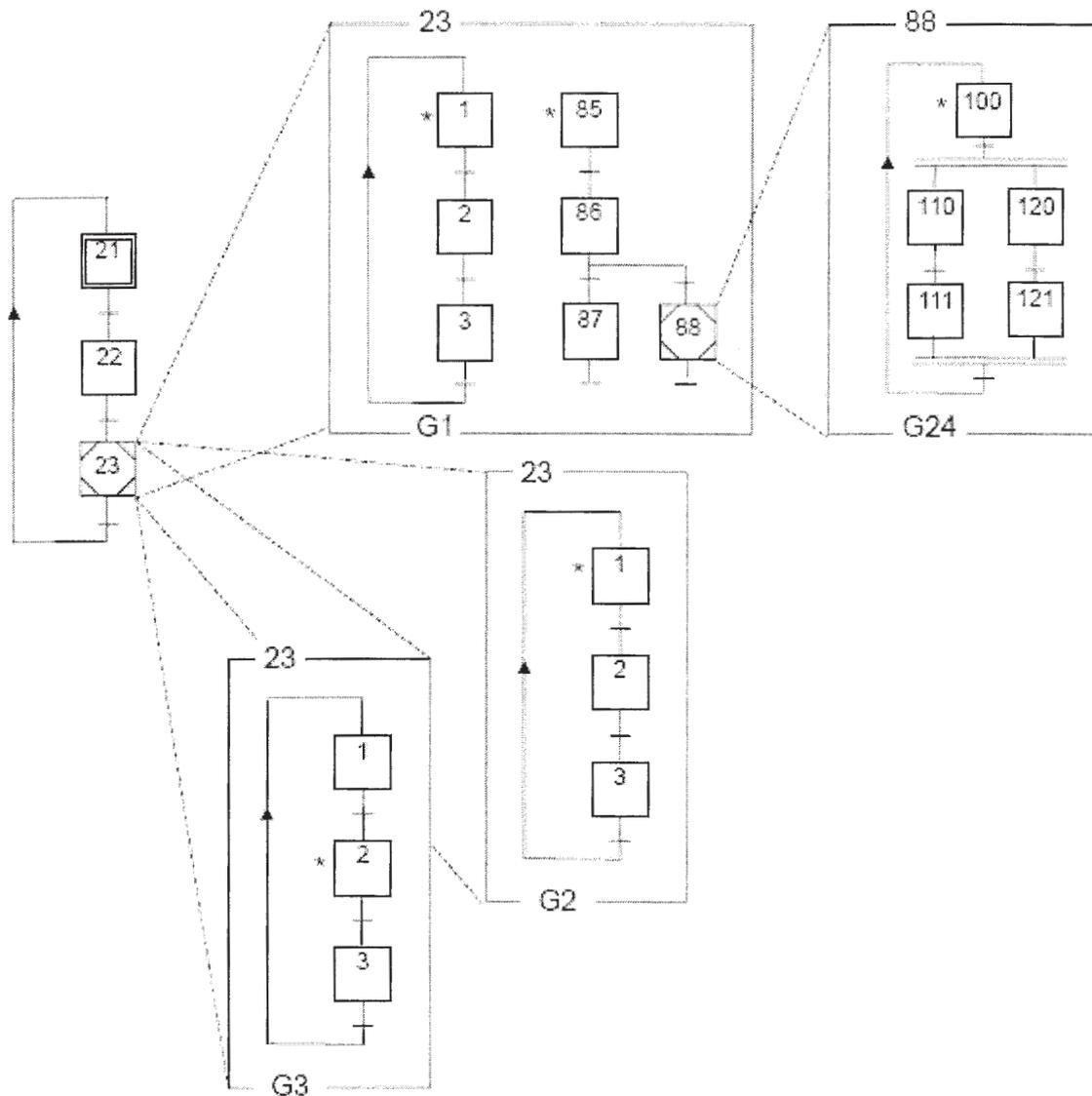
N°	Symbole	Description
[4]		<p><b>Étape encapsulante (rappel du symbole 4):</b></p> <p>Cette notation indique que cette étape contient d'autres étapes dites encapsulées dans une ou plusieurs encapsulations de cette même étape encapsulante.</p> <p>L'étape encapsulante possède toutes les propriétés de l'étape, il convient que l'astérisque soit remplacé par le repère d'étape.</p> <p>Une étape encapsulante peut donner lieu à une ou plusieurs encapsulations possédant chacune au moins une étape active lorsque l'étape encapsulante est active, et ne possédant aucune étape active lorsque l'étape encapsulante est inactive.</p>
[39]		<p><b>Représentation graphique d'une encapsulation:</b></p> <p>Une encapsulation # d'une étape encapsulante * peut être représentée par le grafcet partiel des étapes encapsulées, ceint d'un cadre sur lequel est placé en haut à gauche le nom * de l'étape encapsulante, et en bas à gauche le repère # de l'encapsulation représentée.</p> <p>Dans une encapsulation, il convient que l'ensemble des étapes encapsulées constitue un grafcet partiel dont le nom peut servir de repère à l'encapsulation correspondante.</p>
[40]	X*/G#	<p><b>Désignation globale d'une encapsulation:</b></p> <p>Une encapsulation # d'une étape encapsulante * peut être décrite globalement par une expression littérale dans laquelle l'étape encapsulante * est désignée par la variable d'étape X*, l'encapsulation par le symbole /, et les étapes encapsulées par le nom du grafcet partiel G# auquel elles appartiennent.</p> <p>NOTE Cette représentation suppose que le grafcet partiel désigné ait été préalablement défini.</p>
[41]	X*/X#	<p><b>Désignation élémentaire d'une encapsulation:</b></p> <p>On peut indiquer par une expression littérale qu'une étape # est encapsulée dans une étape encapsulante * en utilisant les variables d'étape et sans nommer l'encapsulation.</p> <p>NOTE Cette notation convient pour désigner une suite hiérarchique d'étapes encapsulées les unes dans les autres, elle permet également une identification relative des étapes par niveau d'encapsulation.</p> <p>EXEMPLE: X4/X25/X12 désigne l'encapsulation de l'étape 12 dans l'étape 25, elle-même encapsulée dans l'étape 4.</p>

# ANNEXE 8 (2/3)

Tableau 10 – (suite)

N°	Symbole	Description
[5]		<p><b>Etape encapsulante initiale (rappel du symbole 5):</b></p> <p>Cette représentation indique que cette étape participe à la situation initiale. Dans ce cas, l'une, au moins, des étapes encapsulées dans chacune de ses encapsulations doit être également une étape initiale.</p>
[42]		<p><b>Lien d'activation, symbole général.</b></p> <p>Représenté par un astérisque à gauche des symboles d'étapes encapsulées, le lien d'activation indique quelles sont les étapes encapsulées actives à l'activation de l'étape encapsulante.</p> <p>Il ne faut pas confondre le lien d'activation avec l'indication des étapes initiales qui peuvent être encapsulées. Il est toutefois possible qu'une étape initiale encapsulée possède également un lien d'activation.</p> <p>La désactivation d'une étape encapsulante a pour conséquence la désactivation de toutes ses étapes encapsulées. Cette désactivation est souvent le fait du franchissement d'une transition aval de l'étape encapsulante, mais peut également résulter de tout autre moyen de désactivation (forçage ou encapsulation de niveau supérieur).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>EXEMPLE:</b></p>  <p style="text-align: center;">G4</p>  <p style="text-align: center;">G3</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>L'étape encapsulante 9 est nécessairement une étape initiale, car elle encapsule l'étape initiale 42.</p> <p>L'encapsulation G4 de l'étape encapsulante 9 contient les étapes 42, 43 et 44.</p> <p>L'étape initiale 42 participe à la situation initiale, elle est donc active à l'instant initial. Par contre, à chaque activation de l'étape 9, consécutive à l'évolution du grafocet, l'étape 44 est activée.</p> <p>L'encapsulation G3 de l'étape encapsulante 9 contient les étapes 65, 66 et 67.</p> <p>L'étape initiale 65 participe à la situation initiale, elle est donc active à l'instant initial. Elle est aussi activée à chaque activation de l'étape 9 consécutive à l'évolution du grafocet.</p> </div> </div>

## ANNEXE 8 (3/3)



EXEMPLE: Structuration par encapsulation:

L'étape encapsulante 23 possède 3 encapsulations représentées par les grafjets partiels 1, 2 et 3. Le grafjet partiel 24 est encapsulé dans l'étape 88 du grafjet partiel 1. Lorsque l'étape encapsulante 23 est activée, les étapes 1 et 85 de G1 sont également activées (de même pour les autres encapsulations de 23: G2 et G3).

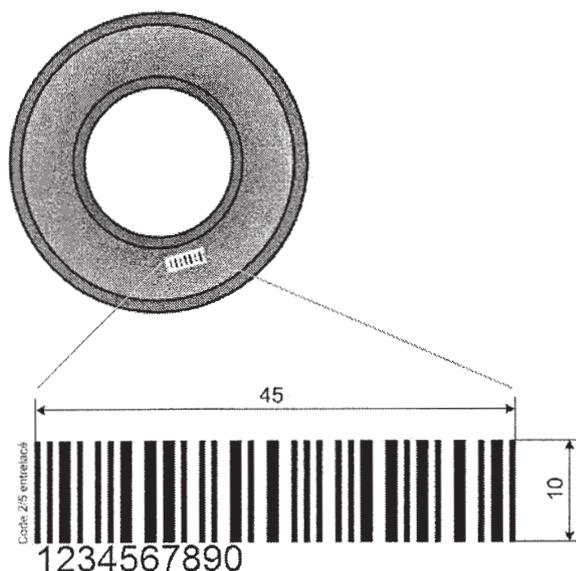
Lorsque l'étape encapsulante 88 est activée, l'étape 100 de G24 est également activée.

La désactivation de l'étape 88 provoque celle de toutes les étapes de G24.

La désactivation de l'étape 23 provoque celle de toutes les étapes de G1, G2, G3, et de toutes celles de G24 (si l'étape 88 était active).

# ANNEXE 9

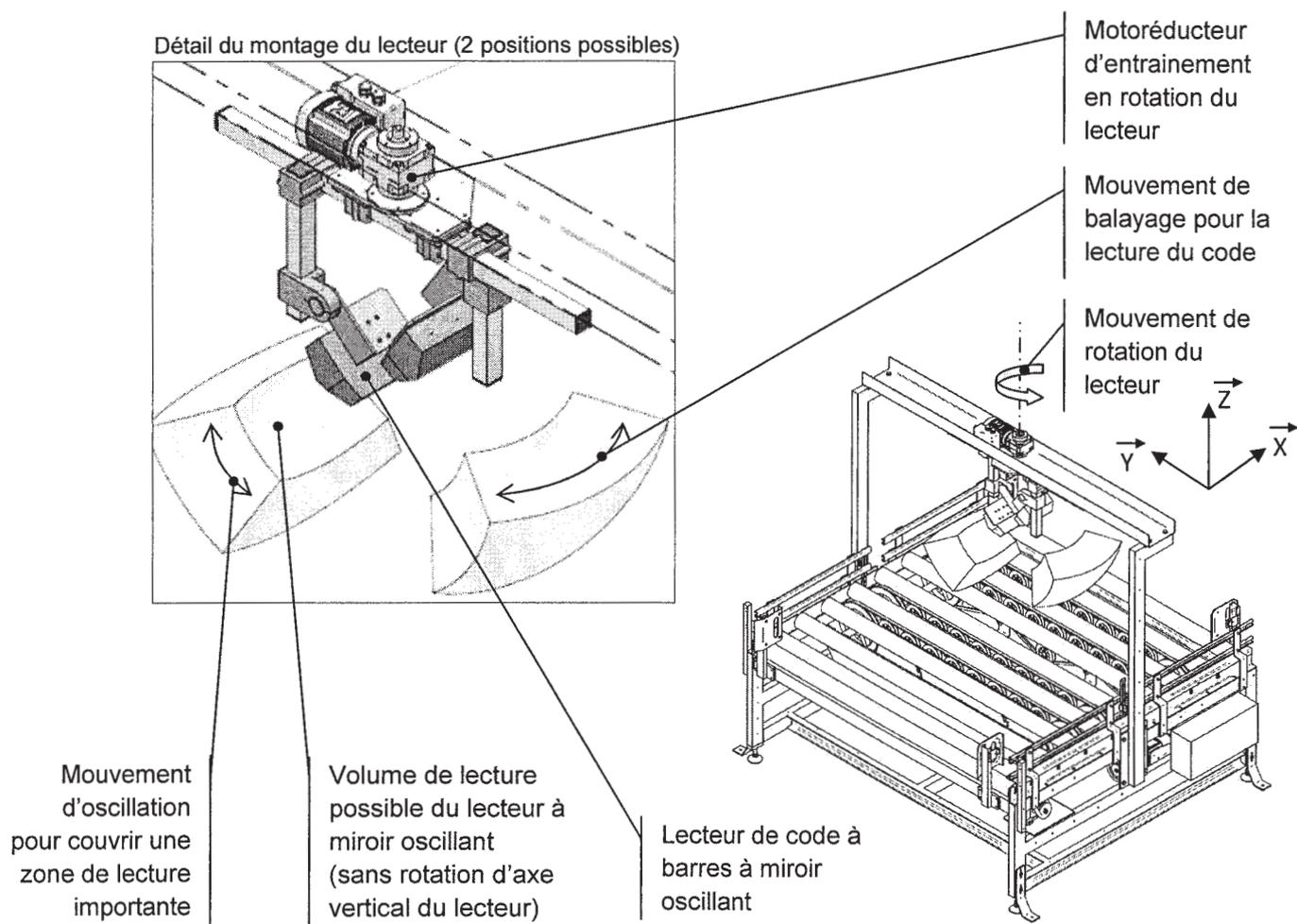
## Identification du type de pneu par une étiquette code à barres



### Le code à barres 2/5 entrelacé

Le code-barres 2/5 entrelacé est un code numérique bidirectionnel autocontrôlé. Ce code dit " 2 parmi 5 entrelacé " utilise la même codification de caractères que le code barre 2/5 mais en entrelaçant les caractères deux à deux. Le premier caractère est codifié avec les barres tandis que le deuxième caractère utilise les espaces de la même zone. Ce code réalise donc l'encodage d'un nombre pair de caractères ; les chiffres de rang impair sont codifiés avec les barres, et les chiffres de rang pair sont codés avec les espaces. L'appellation 2/5 entrelacé (*Interleaved 2 of 5* en anglais) vient du fait qu'on utilise pour chaque caractère 5 éléments dont 2 sont toujours larges (état logique 1). Il fait l'objet d'une norme NF EN 801 (1995), *Codes à barres - Spécifications des symbologies - Code « 2 parmi 5 entrelacé »*.

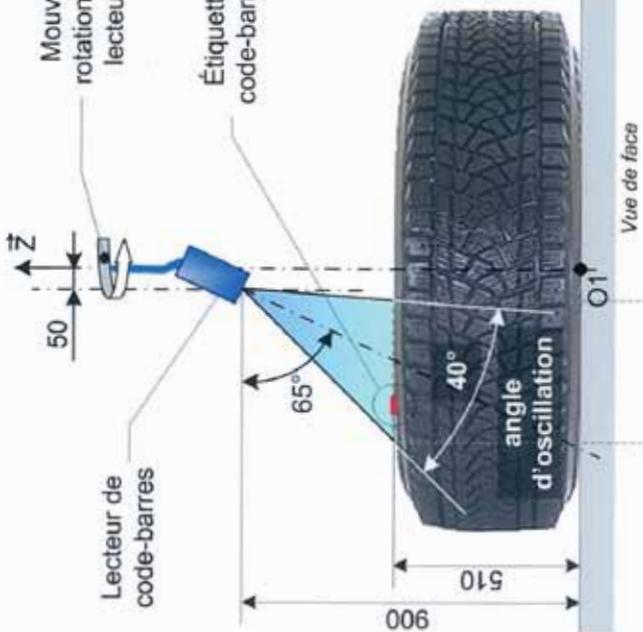
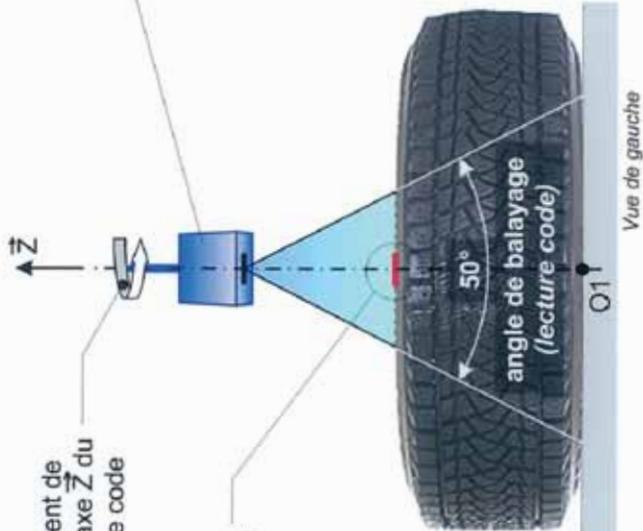
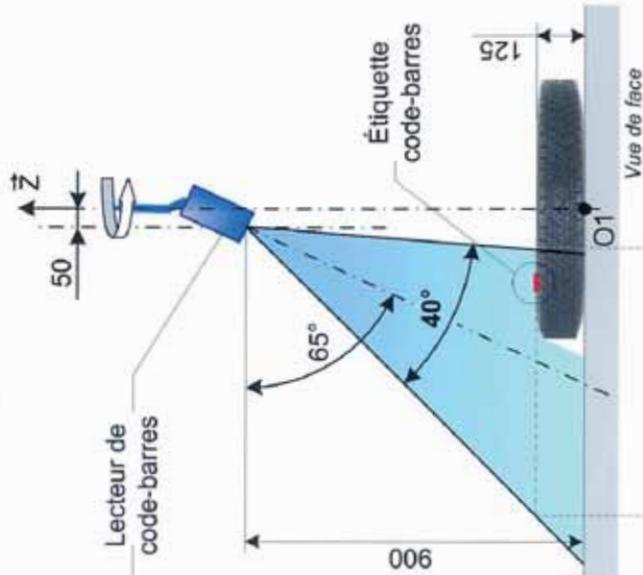
### Implantation du lecteur code à barres au poste 1



# ANNEXE 10

## Solution technique envisagée pour la lecture du code-barres

Situation du plus petit pneu



Situation du plus grand pneu

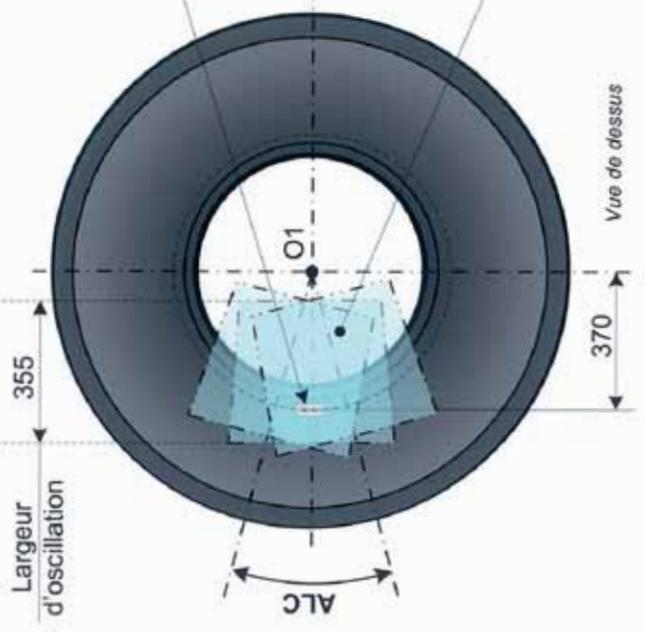
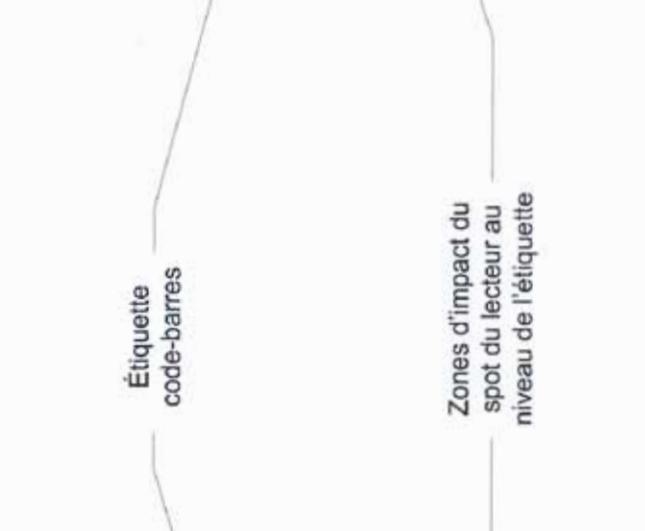
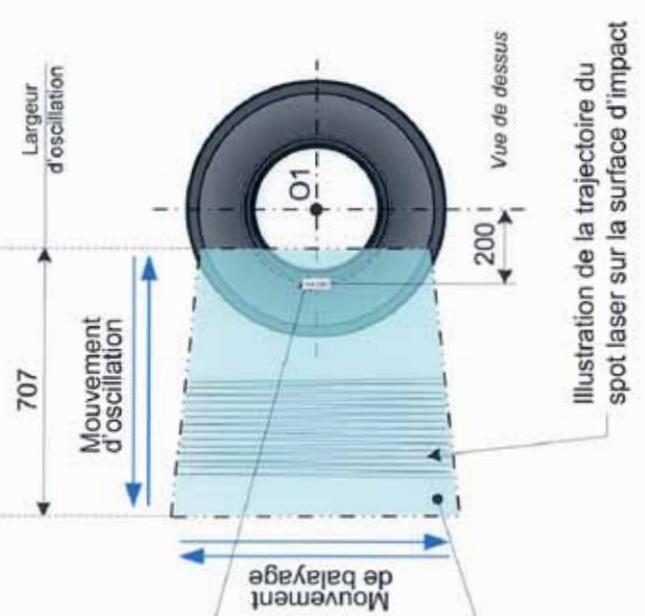
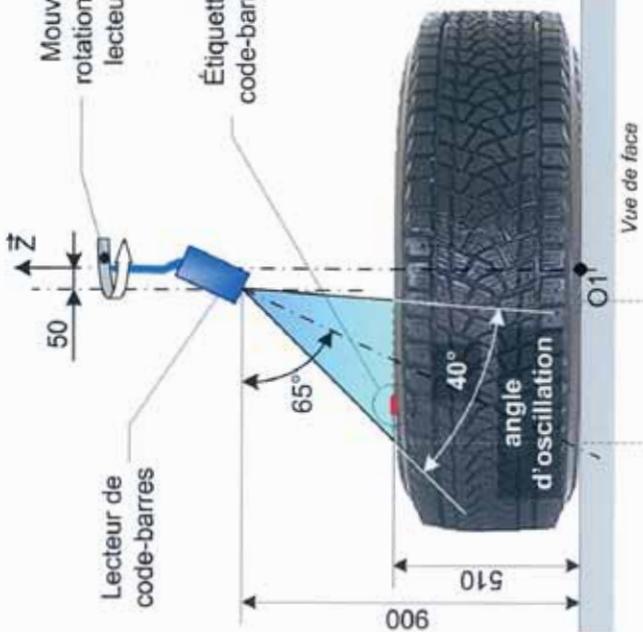
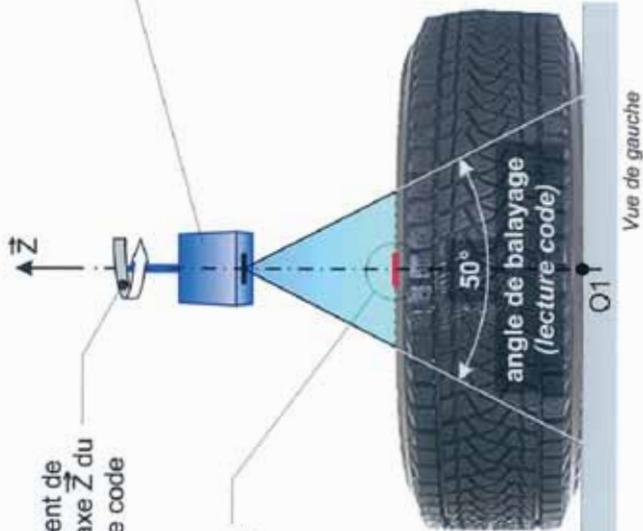
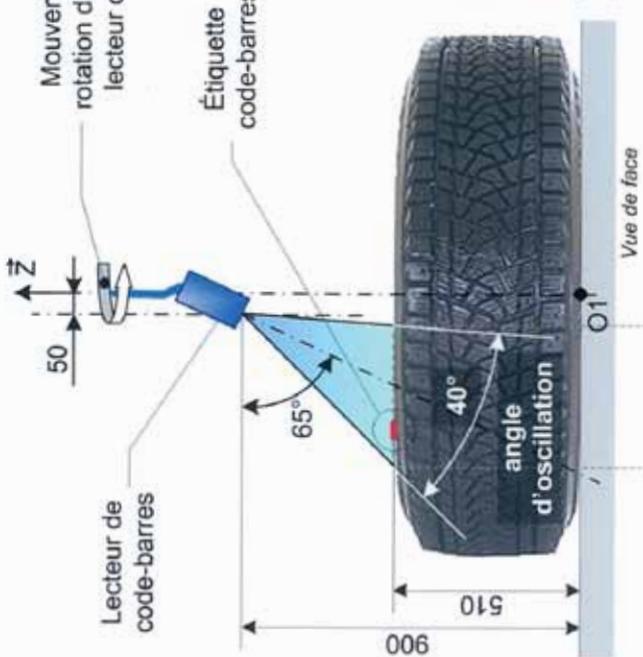


Illustration de la trajectoire du spot laser sur la surface d'impact

Zones d'impact du spot du lecteur au niveau de l'étiquette

Mouvement de balayage

Mouvement d'oscillation

Largeur d'oscillation

355

Vue de dessus

370

ALC

Étiquette code-barres

Étiquette code-barres

Largeur d'oscillation

707

Vue de gauche

Vue de face

125

900

Étiquette code-barres

65°

40°

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture code)

50°

900

510

65°

40°

angle d'oscillation

Lecteur de code-barres

50

Z

Z

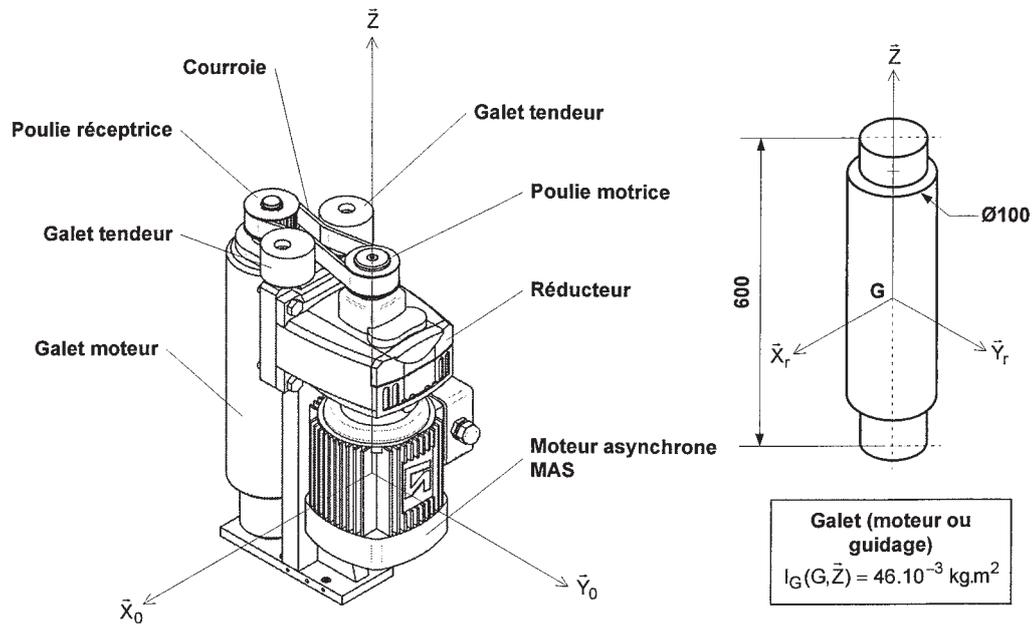
Mouvement de rotation d'axe Z du lecteur de code

Étiquette code-barres

angle de balayage (lecture

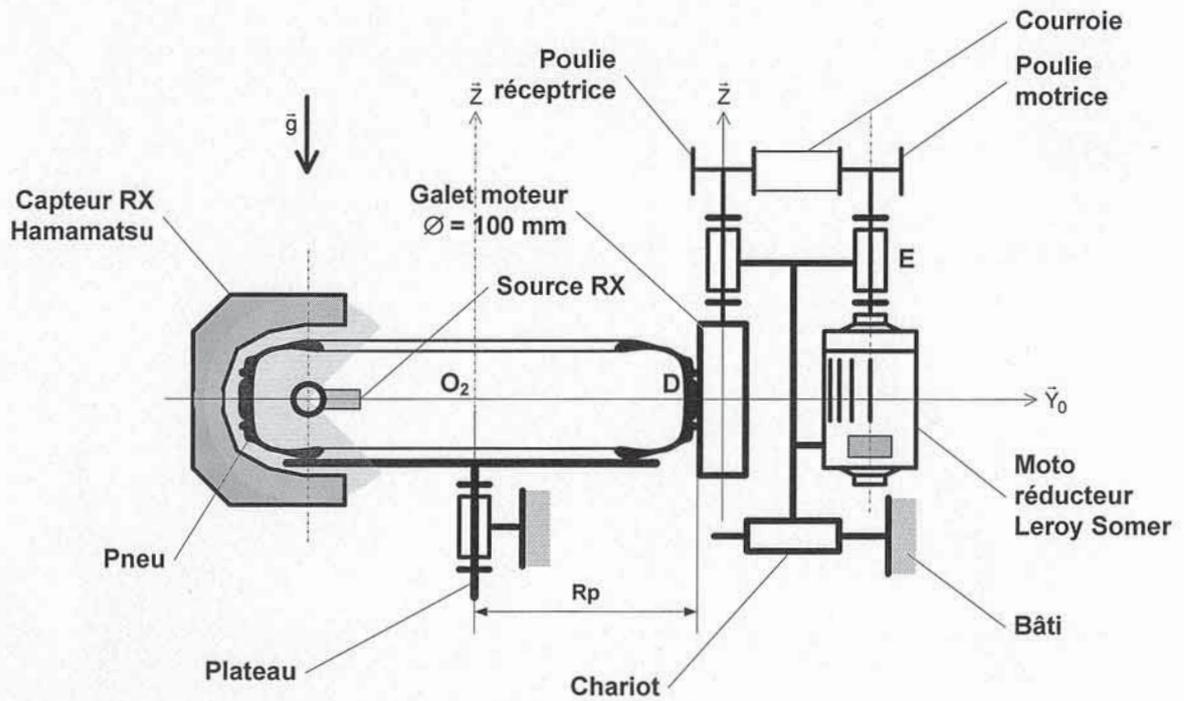
# ANNEXE 11

## Vue partielle du système d'entraînement en rotation du pneu

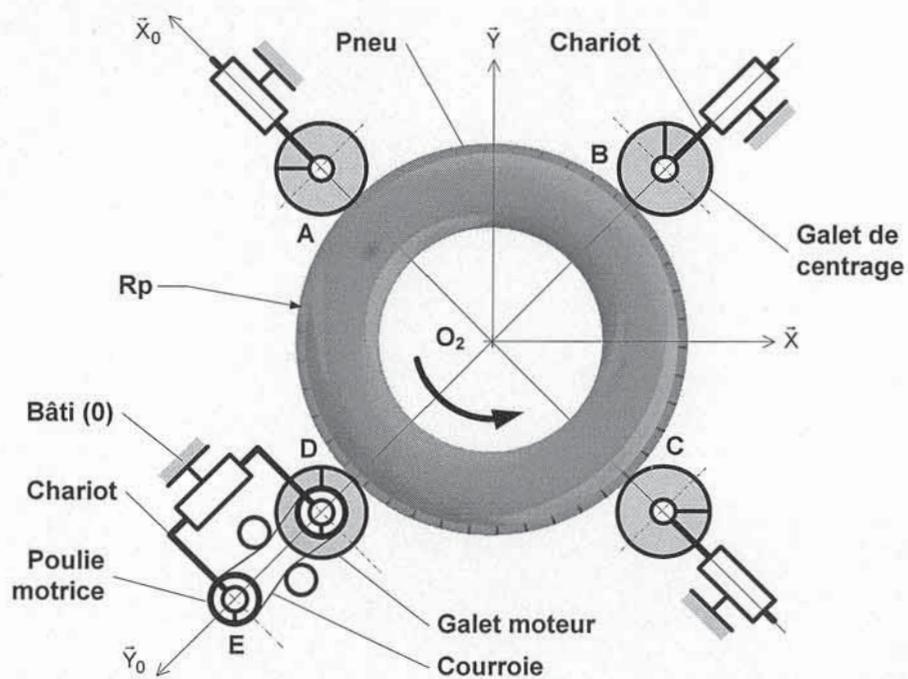


## ANNEXE 12

### Schéma cinématique du système d'entraînement en rotation du pneu



### Positionnement des galets de centrage et d'entraînement



# ANNEXE 13

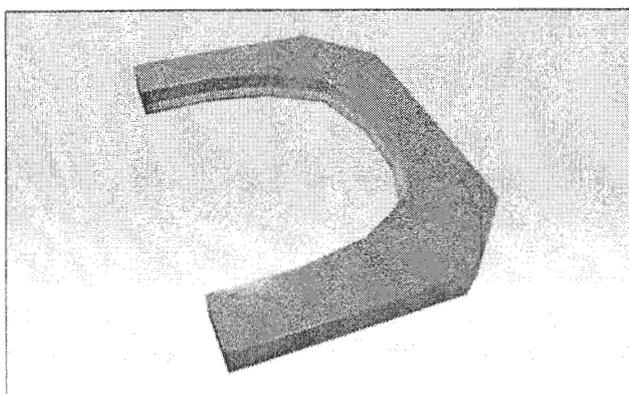
## Fiche technique du capteur RX

### Nondestructive X-ray inspection

#### C-shaped X-ray Line Scan Camera

# C9750-27FCC,-27FCD

## HAMAMATSU

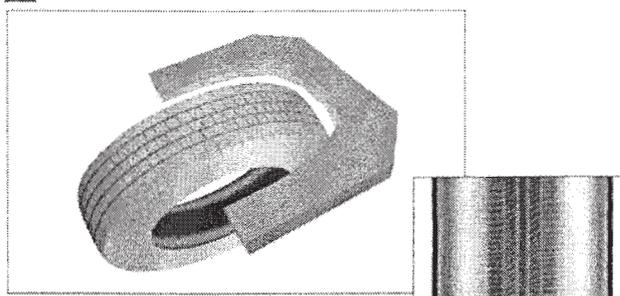


The C-shaped X-ray Line Scan Camera is to meet the demands in the tire inspection. It is based on the Hamamatsu C9750 Series X-ray line Scan Camera technologies, and it offers an image of 3456 pixels resolution horizontally with no gap (<1 pixel) for whole effective area while the tire rotate one revolution. The high sensitivity and wide intensity dynamic range provide fast and excellent detectability for reliable inspection.

### FEATURES

- Sensitivity range : 25 kV to 160 kV
- Pixel pitch : 0.4 mm
- Line speeds : 4 m/min. to 36 m/min.
- A/D conversion : 12 bit
- RS-422·Camera link (Option)

### EXAMPLE OF USAGE



▲ Sample image

### SPECIFICATIONS

Type number	C9750-27FCC, -27FCD <sup>①</sup>	
Detection method	Scintillator method	
Scintillator	Gd-scintillator	
X-ray sensitivity range	Approx. 25 kV to 160 kV	
X-ray tolerance range <sup>②</sup>	160 kV, 500 W max.	
Pixel pitch	0.4 mm	
Detection widths	1382.4 mm, 3456 pixel	
Applicable line speeds <sup>③</sup>	4 m/min to 36 m/min. (0.167 kHz to 1.500 kHz) (PCL5.33 MHz)	
A/D conversion	12 bit	
Digital interface <sup>④</sup>	RS-422 (standard)	
External control	RS-232C	
Output signals	Image data	12 bit digital output RS-422
	Synchronization signal	VALID signals RS-422 CLK signal (5.33 MHz) <sup>⑤</sup> RS-422
Power supply <sup>⑤</sup>	DC+15 V / DC-15 V / DC+5 V	
Operating temperature	0 °C to +40 °C	
Storage temperature	-10 °C to +50 °C	
Humidity range	30 % to 80 % (with no condensation)	

① The difference of C9750-27FCC and C9750-27FCD depends on the location of connectors.

② When irradiating more than 160 kV, it is necessary to put additional Pb plate to protect circuits. Please contact hamamatsu subsidiary or local distributor.

③ Even when conveyor speed becomes faster than the line speed the detection can be done.\*OPTION : 4 m/min. to 54 m/min.(0.167 kHz to 2.292 kHz) (PCL8.0 MHz)

④ Camera Link interface (M10389-01) is available as option.

When X64 or Xcelera is used the M10389-01A is necessary as option. (CLK signal: 20 MHz)

⑤ AC adapter (A8206-21) is available as option.

# ANNEXE 14

## Fiche technique du motoréducteur

### Électromécanique - Vitesse variable Compabloc 3000 / LSMV

### AGMA I, II, III

Cb 3133  
LSMV, LSMV frein FCR - IP 55 - Cl.F - 400 V Y - 50 Hz



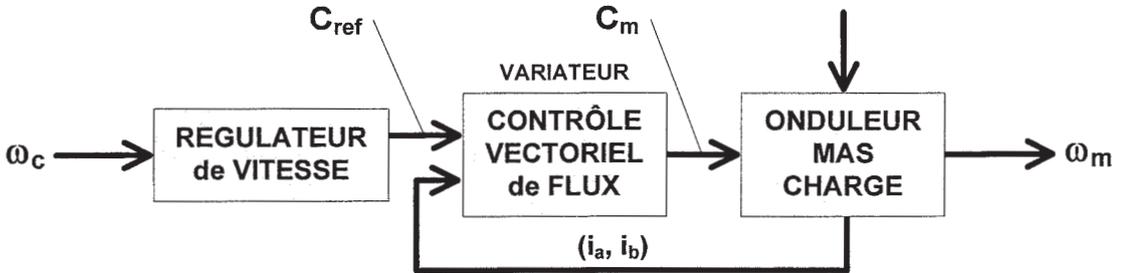
### Cb 3133

		LSMV (kW)						
		0,25	0,37	0,75	1,5	2,2	3	4
		LSMV 4p						
min <sup>-1</sup>	i	71 L	80 L	90 L	100 L	112 MG		
9,49	158	0,84						
10,4	144	0,92						
12,1	124	1,07						
13,5	111	1,19	0,79					
16	99,4	1,29	0,86					
17,3	87	1,42	0,95					
18,2	82,2	1,48	0,99					
21,7	69,2	1,66	1,11					
23	65,3	1,73	1,15					
25,9	57,8	1,87	1,25					
30,5	49,1	2,70	1,81					
33,7	44,5	5,21	3,47					
38,6	38,8	3,41	2,28	1,11				
42,4	35,4	3,74	2,50	1,22				
49,1	30,6	4,32	2,88	1,41				
55,1	27,2	4,83	3,22	1,58				
61,4	24,4	5,37	3,59	1,75	0,87			
70,2	21,4	6,12	4,09	2,00	0,99			
74,3	20,2	6,47	4,32	2,11	1,04			
88,2	17	7,65	5,10	2,49	1,24	0,84		
93,6	16	8,10	5,41	2,64	1,31	0,89		
106	14,2	9,11	6,08	2,97	1,47	1,00		
121	12,4	10,16	6,78	3,31	1,64	1,12	0,82	
137	10,9	11,17	7,44	3,63	1,80	1,22	0,89	
144	10,4	8,84	5,90	2,88				
155	9,67				1,96	1,33	0,97	
171	8,79	10,49	7,01	3,42				
175	8,57				2,12	1,44		
181	8,28	11,13	7,44					
196	7,57	14,26	9,50	4,63	2,29	1,56	1,14	
204	7,34	12,56	8,39	4,10	2,03	1,39	1,01	
234	6,42	14,36	9,59	4,69	2,32	1,58	1,15	
265	5,65	16,07	10,73	5,24	2,59	1,77	1,29	
300	4,99				2,74	1,86	1,36	
339	4,43				2,82	1,92	1,40	
383	3,91	19,55	13,02	6,34	3,14	2,14	1,56	
383	3,91	20,10	13,39	6,52	3,23	2,20	1,61	
4p LSMV frein <sup>1</sup>		FCR J01		FCR J01	FCR J01	FCR J01		

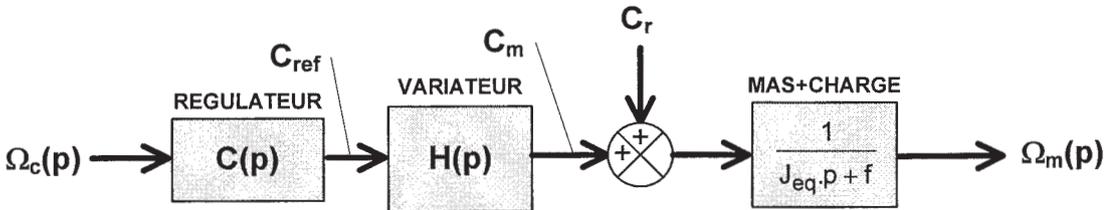
# ANNEXE 15

COMMANDE EN CHAÎNE DIRECTE

**Architecture de la commande en chaîne directe.**

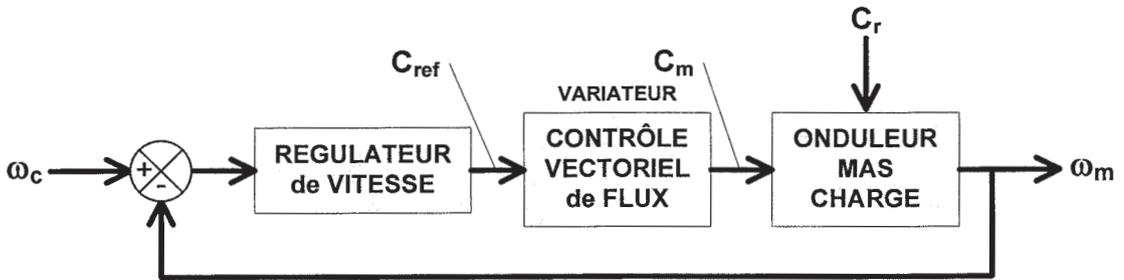


**Modèle de la commande en chaîne directe.**

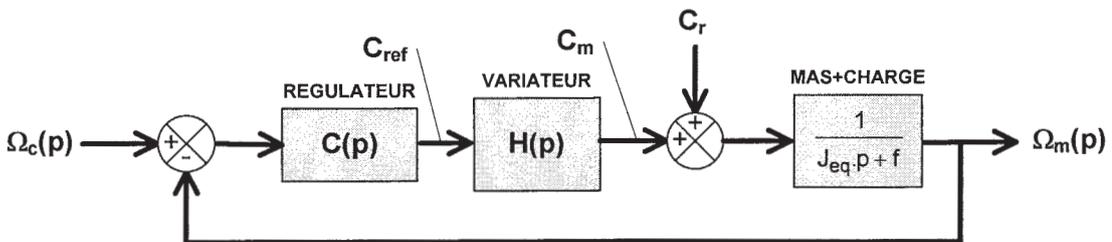


COMMANDE ASSERVIE EN VITESSE

**Architecture de la commande asservie en vitesse.**

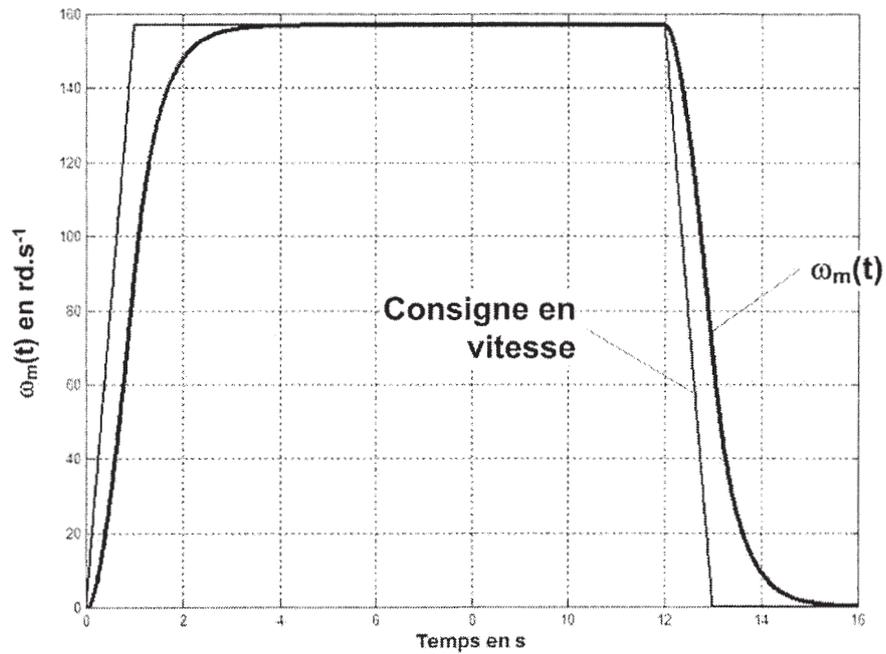


**Modèle de commande asservie en vitesse.**



# ANNEXE 16

Evolution temporelle de la fréquence de rotation moteur  $\omega_m(t)$



Réponse fréquentielle dans le plan de Bode (uniquement Gain)

