

GENIE MECANIQUE

Aucun document autorisé
Moyens de calculs autorisés

*Calculatrice de poche y compris les calculatrices programmables ou écrans graphiques, autonomes, non imprimantes
conformément à la circulaire n° 99.186 du 16 novembre 1999*

Composition :

- . Un dossier sujet de 16 pages
- . Un dossier réponse de 17pages
- . Un dossier technique de 21 pages

Durée :

Durée totale de 8 heures et 30 minutes, dont 30 minutes pour le repas pris sur place.

Documents à rendre :

Le dossier réponse est à rendre dans sa chemise.

Tournez la page S.V.P

DOSSIER SUJET

Ce dossier contient 16 pages DS1 à DS16

1°) Présentation générale

1-1) L'entreprise

La société SANZ est une entreprise qui conçoit, fabrique et vend des solutions de conditionnement pour l'industrie et propose ainsi une gamme de palettiseurs adaptée aux besoins spécifiques de ses clients.

Dans un secteur européen fortement concurrentiel, les notions de performances (capacité, cadence de production, fiabilité, évolutivité,..) sont importantes comme le sont les contraintes de coûts et de délais.

1-2) Le palettiseur

Le système étudié fait partie d'une ligne de palettisation de sacs de 5 kg, 7 litres garnis de litière pour chats. En amont de cette ligne, se trouve une machine conditionnant ces sacs (remplissage, pesage et fermeture des sacs).

L'étude proposée consistera en l'analyse de quelques sous-ensembles de ce système.

Sacs : - Litière pour chats

- 7 litres, 5 kg

- 420 mm x 210 mm x 100 mm

Palettisation : - 13 couches de sacs sur palette bois

- regroupement + croisement des sacs, pour rigidité de l'ensemble

Etude de l'implantation globale du système :

Voir le document technique DT1

L'importante implantation du palettiseur ($\approx 20 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) peut être divisée en 8 zones.

- Zone A : **Acheminement des sacs** (montée) par tapis roulants vers la partie supérieure.
- Zone B : **Stockage des sacs** (pas à pas) afin d'éviter les temps morts en aval.
- Zone C : **Régulation** des départs vers la zone D.
- Zone D : **Regroupement :**

Par un système de poussoirs (volets et écluses) les sacs sont groupés côte à côte par 2 ou 3. Ces groupements sont appelés fardeaux. Un système gère ses regroupements afin que le tapis lanceur (zone E) envoie successivement les fardeaux dans la tête de dépose (zone F) pour que chaque palette soit correctement remplie.

- Zone E : **Tapis lanceur:**

Le mouvement du tapis provoque le lancement d'un fardeau dans la tête de dépose. Les sacs restent côte à côte dans ce mouvement.

- Zone F : **Tête de dépose :**

Après réception d'un fardeau sur ses deux plateaux-pince (dénommés plus simplement la pince), la tête se déplace dans un plan horizontal et pivote autour de son axe vertical, afin d'emmener le fardeau à la position désirée, au-dessus de la palette (elle-même maintenue en position haute, juste sous la tête de dépose).

Il y a ensuite ouverture rapide de la pince (dépose du fardeau) puis retour en position initiale.

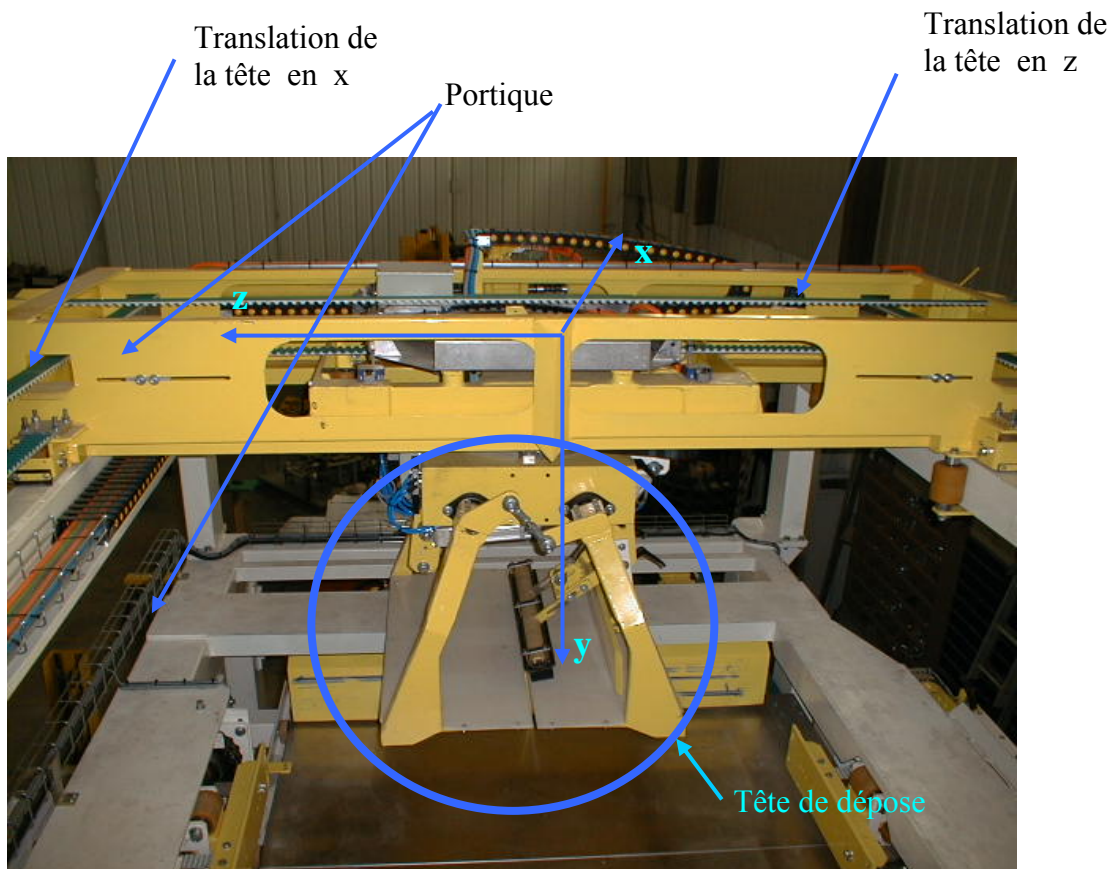
- Zone G : **Descente de la palette** de la hauteur d'un sac à chaque couche terminée.

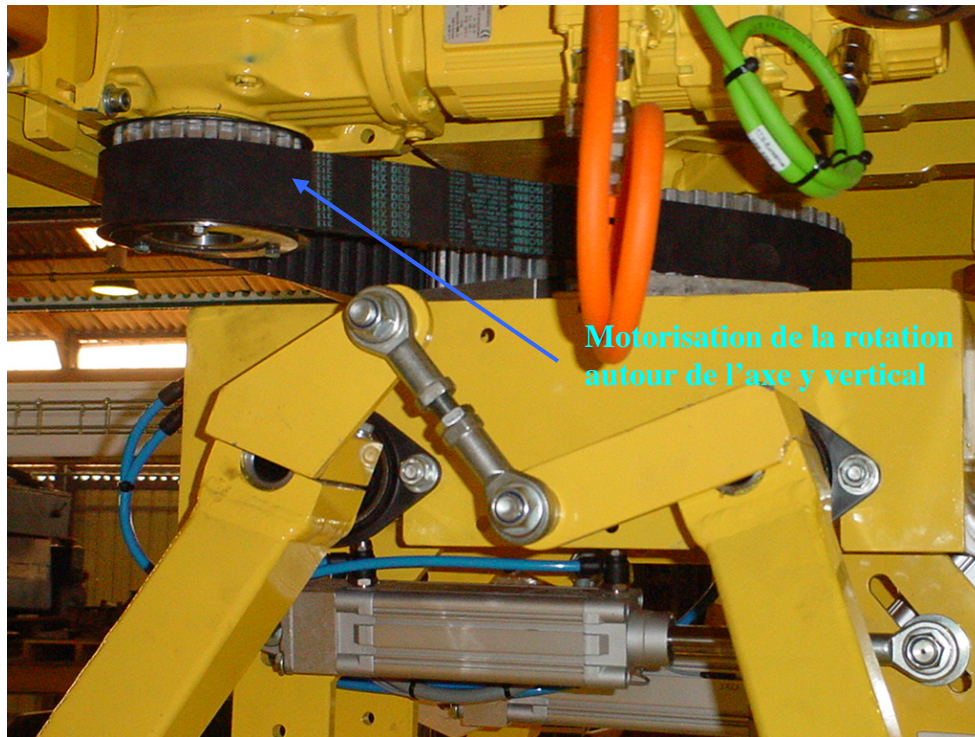
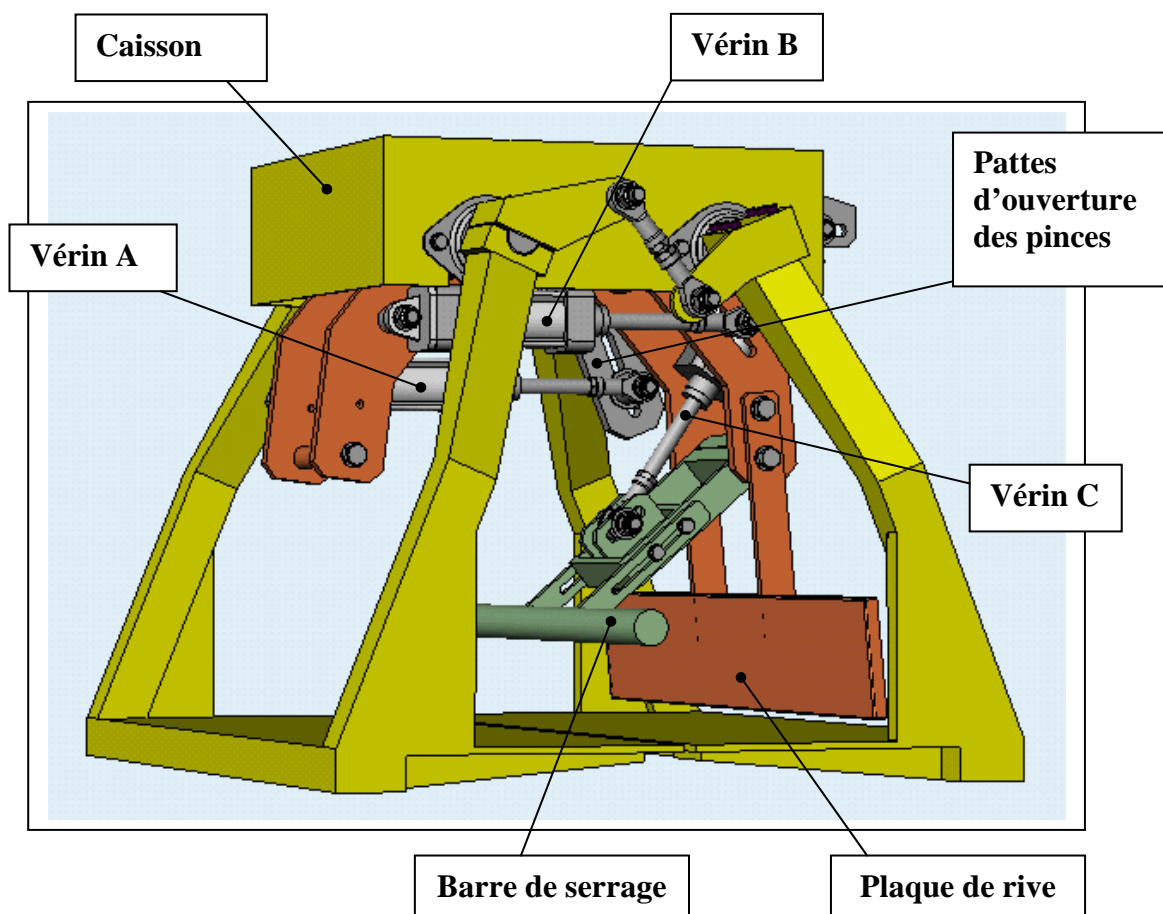
Montée d'une palette vide en fin de cycle.

- Zone H : **Départ des palettes complètes.**


1-3) La tête de dépose Voir aussi document technique DT2


La tête de dépose peut se déplacer sur un portique en translation le long des axes x et z (plan horizontal) et en rotation autour de l'axe vertical y.




**SOUS FONCTIONS DE LA TETE DE DEPOSE**

- Le caisson fait office de bâti pour l'ensemble de la tête de dépose.
Il est mobile en translation dans le plan horizontal (x, z) et en rotation autour d'un axe vertical(y).

 + Pattes d'ouverture (en encastrement sur les axes des pinces) + Vérin A
⇒ Sous-Fonction **"Ouverture- Fermeture pinces"**

 + (Plaque de rive gauche selon fardeaux et chargements) + Vérin B
⇒ Sous-Fonction **"Butée fardeaux après lancement ou serrage latéral"**

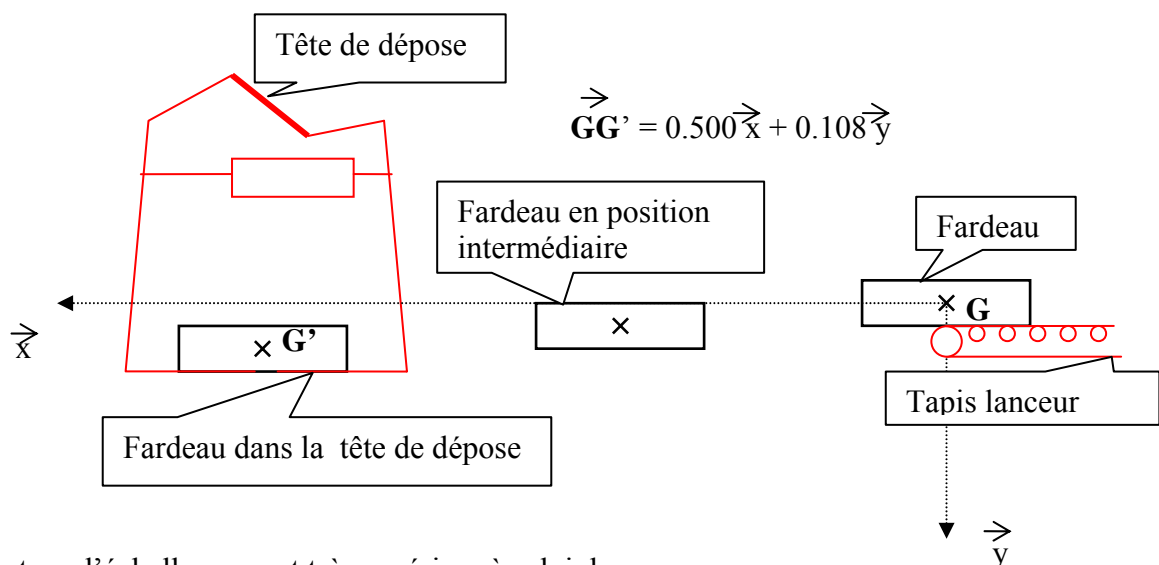
 + Pivot sur axe de bras de rive + Vérin C
⇒ Sous-Fonction **"Serrage vertical des fardeaux pendant le déplacement"**

2°) Travail demandé Toutes les réponses seront consignées dans le dossier réponse

PARTIE 1 : Etude de la fonction technique FT1: Amener un fardeau dans la tête de dépose

Objectif de l'étude : Valider les caractéristiques cinématiques du tapis lanceur

Nous allons étudier le mouvement du centre de gravité d'un fardeau et souhaitons déterminer la vitesse de lancement de celui-ci afin qu'il retombe dans la tête de dépose en son milieu. A cet effet, le fardeau est posé sur un tapis lanceur et le quitte lorsque son centre de gravité est en G ; en G' le fardeau se trouve en position dans la tête de dépose.



Le facteur d'échelle en x est très supérieur à celui des y

Hypothèses:

- ✓ On négligera la résistance de l'air
- ✓ On supposera que toute la masse du fardeau est concentrée en son centre de gravité
- ✓ A l'instant initial du mouvement du centre de gravité du fardeau, celui-ci est situé en G et sa vitesse vaut $\vec{V} = V_0 \vec{x}$

Question 1 (répondre sur le document DR1)

En isolant le fardeau, appliquer, dans une position quelconque située entre G et G', le principe fondamental de la dynamique :

$$\Sigma \overrightarrow{\text{actions mécaniques extérieures}} = M \vec{a}(G)$$

En déduire le vecteur accélération du point G : $\vec{a}(G)$

Question 2

Ecrire les équations du mouvement $V_y(t)$ et $y(t)$

Question 3

Ecrire les équations du mouvement $V_x(t)$ et $x(t)$

Question 4

Ecrire l'équation de la trajectoire du point G : $y = f(x)$ et donner la nature de cette trajectoire.

Question 5

En déduire la valeur numérique de V_0 nécessaire.

Question 6

Déterminer le temps nécessaire pour que le fardeau passe du tapis lanceur à la tête de dépose.

C'est lorsque la tête de dépose est en place pour recevoir le fardeau que le tapis lanceur se met en route. Le fardeau est ainsi déplacé sur ce tapis d'un mouvement supposé dans un premier temps rectiligne uniforme sur une distance de 1 m. Il quitte ensuite le tapis quand son centre de gravité est en G.

Déterminer le temps total écoulé entre l'instant où la tête de dépose est en position pour recevoir le fardeau et l'instant où elle est chargée.

Question 7 : (répondre sur le document DR2)

Il est demandé de prendre connaissance du document technique DT3 avant d'aborder cette partie du sujet.

L'accélération du tapis lanceur est provoquée sur la détection d'arrivée du fardeau par le détecteur D1 (cellule photoélectrique).

La décélération du tapis est provoquée sur la détection de départ du fardeau (lancement) par le détecteur D2 (cellule photoélectrique).

Les détecteurs D1 et D2 sont distants de 1,3m. La vitesse de sortie du fardeau est estimée pour cette question à 3 m.s^{-1} .

On donne :

$$N = f / P$$

si on admet un glissement nul avec :

- N : fréquence de rotation du champ tournant (tours/seconde)
- f : fréquence du réseau (hertz)
- P : nombre de paires de pôles (=2 pour ce moteur)

Calculer la fréquence de rotation N_2 (tr / min) du moteur tapis au moment du lancement du fardeau. En déduire la fréquence (Hz) à régler sur le variateur.

Question 8 : (répondre sur le document DR2)

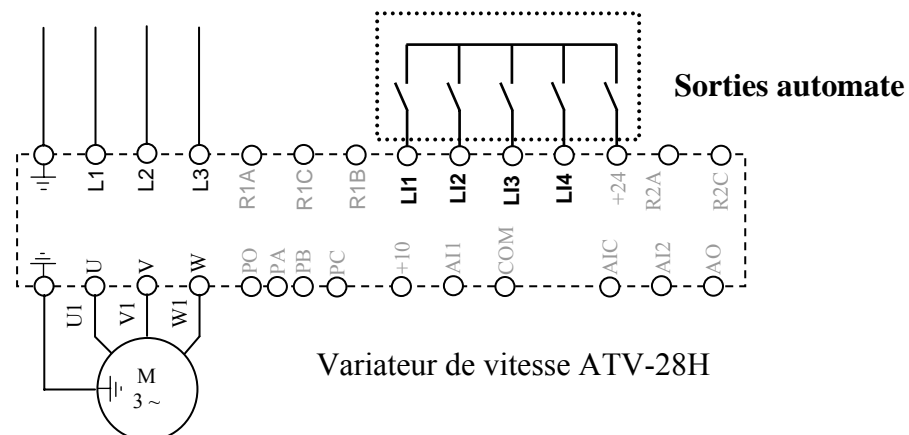
La synchronisation, avec le tapis de la zone D de regroupement, impose une vitesse du tapis lanceur de 1 m.s^{-1} au moment où il reçoit le fardeau. Le fardeau a une longueur de 420mm. Le temps d'accélération du tapis lanceur est réglé à 0,5 seconde sur le variateur.

Calculer l'accélération du tapis lanceur.

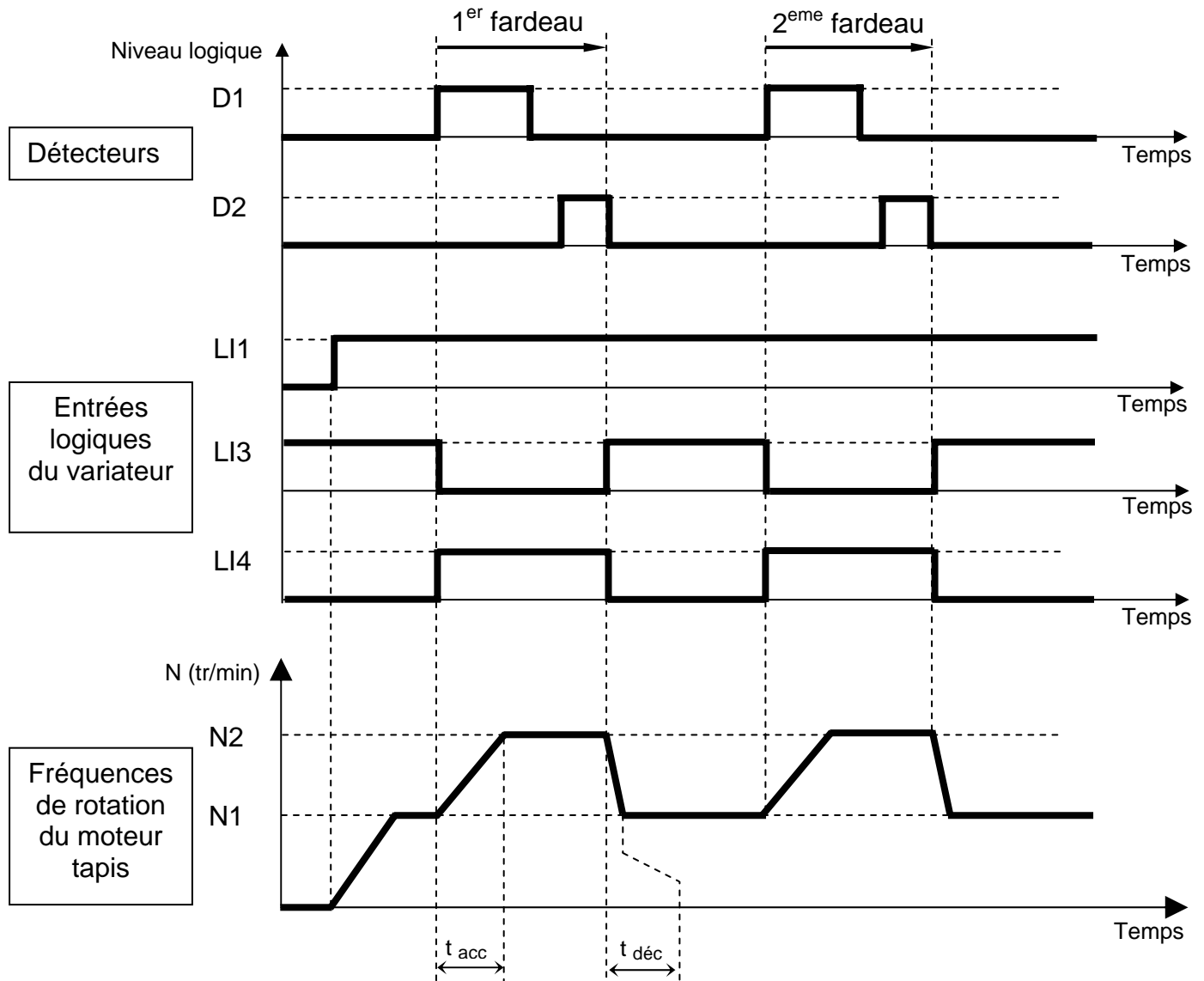
Vérifier que le fardeau aura atteint la vitesse de lancement avant de quitter la zone de détection de la cellule photoélectrique D2.

Question 9 : (répondre sur le document DR2)

Pour obtenir les fréquences de rotation N_1 et N_2 du moteur du tapis lanceur, la commande (automate programmable) doit agir sur les entrées logiques LI1 à LI4 du variateur de vitesse de la façon suivante :



Fonctionnement :



Compléter le grafcet de gestion des entrées logiques du variateur de vitesse à partir du recensement des entrées et sorties fourni.

PARTIE 2 : Etude de la fonction technique FT4 : Ouvrir la pince

Objectif de l'étude : Choisir des éléments d'une chaîne d'énergie pneumatique.

Voir le document réponse DR3

Le système est constitué des deux bras 1 et 2 articulés respectivement sur le bâti en O et en A. Ces deux bras sont reliés par la biellette 5. Enfin, en C la tige du vérin 4 (vérin A sur DS3) est articulée sur le bras 2 et en B le corps du vérin 3 est articulé sur le bras 1.

- Pour pouvoir choisir un vérin d'ouverture de la pince, il est nécessaire de connaître la course maximum de sortie de sa tige.
- Afin que les fardeaux ne se déplacent pas durant l'ouverture de la pince, différents essais ont montré qu'il était nécessaire que la norme de la vitesse angulaire du bras 1 par rapport au bâti 0 soit de 4.5 rad/s.

Hypothèses :

- On s'intéresse à la phase d'ouverture de la pince
- On admettra que tous les mouvements s'effectuent dans le plan
- Notation : $\vec{V}(A)_{1/0}$ représente le vecteur vitesse du point A appartenant au bras 1 par rapport au bâti 0
- On donne la fréquence de rotation du bras 1 par rapport au bâti 0
 $\|\vec{\Omega}(1/0)\| = 4.5 \text{ rd/s}$
- On effectuera les tracés avec un facteur d'échelle tel que 1 mm \rightarrow 0.2 m/s

Question 10

Sur le document réponse DR3, tracer la pince en position ouverte au maximum possible. En déduire la valeur de la course du vérin d'ouverture de la pince (3,4).

Question 11

Les tracés (exclusivement) des questions 11 à 19 sont à réaliser sur le document réponse DR5, les justifications sur le document réponse DR4.

Tracer le vecteur vitesse du point B appartenant au bras 1 par rapport au bâti 0

$\vec{V}(B)_{1/0}$; justifier votre réponse.

Question 12

Tracer le vecteur vitesse du point D appartenant au bras 1 par rapport au bâti 0

$\vec{V}(D)_{1/0}$; justifier votre réponse.

Question 13

Déterminer la direction du vecteur vitesse du point E appartenant au bras 2 par rapport au bâti 0 : $\vec{V}(E)_{2/0}$ et justifier votre réponse.

Question 14

Après avoir explicité le théorème utilisé, tracer le vecteur vitesse du point E appartenant au bras 2 par rapport au bâti 0 : $\vec{V}(E)_{2/0}$

Question 15

Tracer le vecteur vitesse du point B appartenant au bras 2 par rapport au bâti 0 : $\vec{V}(B)_{2/0}$ et justifier votre réponse (on considérera que le point B est effectivement lié au solide 2).

Question 16

Par composition des vecteurs vitesses, donner une relation liant les vecteurs $\vec{V}(B)_{1/0}$, $\vec{V}(B)_{3/4}$, $\vec{V}(B)_{1/3}$ et $\vec{V}(B)_{2/0}$.

Question 17

Tracer le vecteur vitesse du point B appartenant au bras 1 par rapport au bras 2 : $\vec{V}(B)_{1/2}$ et justifier votre réponse.

Question 18

En déduire $\vec{V}(B)_{3/4}$ le vecteur vitesse du point B appartenant au corps de vérin 3 par rapport à la tige de vérin 4.

Question 19

Donner alors la vitesse de sortie de la tige du vérin 3-4 (repéré A sur DS3).

Question 20 : (répondre sur les documents DR6 et DR7)

Il est demandé de prendre connaissance du document technique DT4 avant d'aborder cette partie du sujet.

La course du vérin d'ouverture de la pince (repéré A sur DS3) est évaluée à 150mm.

Le temps d'ouverture de la pince est estimé à 0,2s.

L'effort **statique** maximum d'ouverture de la pince aux points de fixation du vérin A est estimé à 150 daN.

Le circuit pneumatique est alimenté sous 8 bar.

Déterminer, à partir du tableau fourni sur le document DT4, le diamètre du vérin A d'ouverture de la pince. Justifier la réponse.

Vérifier que le taux de charge réel est inférieur ou égal à 75%.

Le temps d'ouverture de la pince (donc le temps de sortie du vérin A) sera respecté si les composants du circuit d'alimentation sont correctement dimensionnés, et notamment, si la taille du distributeur est suffisante. La taille du distributeur est couramment exprimée par un coefficient (KV) déterminé graphiquement sur des abaques fournis par les constructeurs.

Déterminer sur l'abaque du document réponse DR7 le coefficient de débit du distributeur associé au vérin A d'ouverture de la pince.

Le choix du distributeur parmi les offres constructeurs peut aboutir à une vitesse de sortie de tige du vérin trop importante. Il est nécessaire, dans ce cas, de limiter cette vitesse.

Entourer sur le document réponse DR6 l'élément sur lequel devra agir le technicien de mise au point pour limiter la vitesse de sortie du vérin A.

PARTIE 3 : Etude de la fonction technique FT2 : Déplacer la tête de dépose au dessus de la palette Voir document technique DT5 et DT6

Objectif de l'étude : Vérifier le temps de chargement d'une palette.

Le client souhaite pouvoir charger plus de 50 palettes à l'heure.

La tête de dépose ayant chargé son fardeau (il est alors situé au centre de la pince) se déplace de manière qu'à la fin du mouvement, ce fardeau soit situé à la verticale du point de dépose. Le centre de la palette est situé à 750 mm du centre de la pince à l'instant où le fardeau est chargé.

Hypothèses

- Le temps d'amenée des fardeaux dans la tête de dépose est estimé à 0.45s.
- Tous les mouvements de déplacement de la tête de dépose s'effectuent simultanément.
- Tous les mouvements s'effectuent à vitesse uniforme.
- La rotation autour de l'axe y est motorisée par un moto réducteur de fréquence de rotation 280 tr/min associé à un réducteur poulie courroie synchrone. Les poulies ont un diamètre primitif de 130 et 340 mm (voir photo DS3).
- La translation le long de l'axe x est motorisée par un moto réducteur de fréquence de rotation 344 tr/min associé à une poulie motrice de diamètre primitif 145 mm, la courroie synchrone sur laquelle est encastrée la tête de dépose est tendue entre cette poulie et une poulie folle de même diamètre.

- La translation le long de l'axe z est motorisée par un moto réducteur de fréquence de rotation 155 tr /min associé à une poulie motrice de diamètre primitif 145 mm, la courroie synchrone sur laquelle est encastrée la tête de dépose est tendue entre cette poulie et une poulie folle de même diamètre.
- Le temps d'ouverture de la pince est estimé à 0.2 s ; sa fermeture s'effectue en temps masqué durant le retour de la tête en position de chargement de fardeau.

Question 21 (répondre sur les documents réponse DR8 et DR9)

Calculer la fréquence de rotation autour de l'axe y et les vitesses de translation le long des axes x et z de la tête de dépose.

Question 22

Calculer le temps mis par la tête de dépose pour se positionner à la verticale du point de dépose à partir de son point de chargement et ce pour chacun des fardeaux.

Développer un calcul complet pour une position de fardeau donnée.

Question 23

Calculer le temps total nécessaire pour charger entièrement une palette (les débuts et fin de chargement sont tels que la tête se trouve en position attente de chargement). Détailler les calculs. La demande du client est elle satisfaite ?

PARTIE 4 : Améliorer la conception de l'ouverture de la pince

Objectif de l'étude : Proposer une solution permettant la synchronisation des mouvements des bras de la pince

Le tracé de la **Question 10**, ainsi que les courbes du document technique DT7 montrant le déplacement angulaire de chaque bras par rapport au bâti, montre bien la non synchronisation du mouvement d'ouverture des bras de la pince.

Question 24 (répondre sur le document réponse DR10)

Quelles peuvent être les conséquences pratiques de cette non synchronisation ?

Question 25

La durée totale d'ouverture de la pince est de 0.2 s. L'utilisation correcte du système interdit une différence d'ouverture supérieure à 4 degrés. D'après le document technique DT7, à partir de quel instant le mécanisme ne remplit-il plus cette condition ?

La biellette n'assure pas la synchronisation du mouvement des bras de la pince, on décide donc de la supprimer.

Question 26 (répondre sur les documents réponse DR11 et DR12)

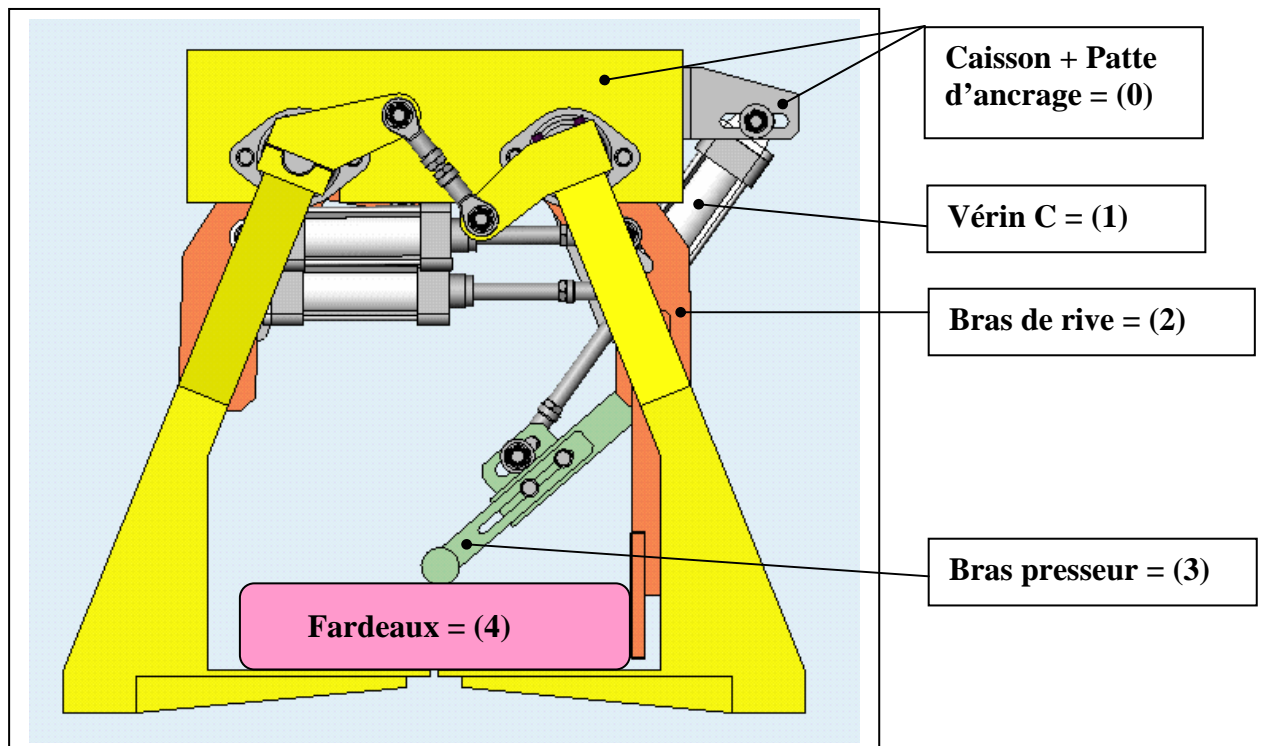
Souhaitant voir évoluer cette cinématique, vous proposerez sous forme de croquis à main levée proportionné en utilisant toute vue jugée utile sur le document réponse DR8, une solution qui rendrait l'ouverture de chaque bras totalement synchrone $\|\vec{\Omega}(2/0)\| = \|\vec{\Omega}(1/0)\|$ et ce à tout instant. Vous indiquerez dans le tableau fourni les noms et caractéristiques des composants standards que vous utilisez.

PARTIE 5 : Etude de la résistance d'un plateau pince

Objectif de l'étude Vérifier la rigidité d'un plateau pince

Cette étude de résistance des matériaux impose une analyse préalable des efforts en présence.

Système presseur :



- Le système présenté ci-dessus et sur le document réponse DR13, incorporé à la tête de dépose, évite que les fardeaux ne glissent lors des déplacements rapides de celle-ci.
- Le vérin C (1) articulé en D par rapport au caisson (0), provoque la rotation autour de C du bras presseur 3 (2 fixe).
- Ce bras exerce alors un effort en A sur le fardeau (4).
- L'expérience montre que cet effort doit être au minimum de 5 daN.

Hypothèses :

- Au cours de cette étude, le caisson, les pinces, les bras de rive, les vérins A et B sont fixes.
- Les fardeaux (4) sont considérés rigides.
- Les poids propres des pièces et les frottements sont négligés.

Question 27 :

Sur le document réponse DR13, déterminer graphiquement l'effort à fournir par le vérin C.

Préciser l'ordre d'isolement des systèmes. Justifier.

On donne : **Echelle des forces :** 1 mm \rightarrow 0.25 daN

A cause du faible poids des fardeaux et de l'effort relativement modeste du système presseur, le concepteur a créé un premier plateau pince (1^{ère} version) composé de deux bras soudés sur un plateau, lui-même constitué par une plaque d'acier de 1000 x 400 et de 8 mm d'épaisseur. Les deux bras sont réalisés en profilés soudés.

Mais, les fardeaux lancés à grande vitesse et les chocs dus au bras presseur provoquent les contraintes et les déformations données par un logiciel de résistance des matériaux sur le document technique DT8.

Question 28 (répondre sur le document réponse DR12)

Déterminer la valeur du coefficient de sécurité obtenu lors du chargement du plateau pince (1^{ère} version).

Malgré les valeurs largement acceptables de ces composantes, les chocs répétés, les vibrations induites et la possibilité d'utiliser des fardeaux plus lourds ont conduit le concepteur à améliorer la rigidité de la pince.

Il a donc décidé dans une 2^{ème} version d'installer des équerres de renfort entre les bras et le plateau, ainsi que quatre pattes sur ce même plateau, le tout mécano soudé. Une analyse logicielle donne les résultats consignés dans le document technique DT9.

Question 29

Indiquer les valeurs du « gain » de rigidité et du « gain » de contrainte.
Le « gain » est le rapport entre l'ancienne et la nouvelle valeur.

PARTIE 6 : Sûreté

Objectif de l'étude Vérifier les conditions d'arrêt d'urgence

Il est demandé de prendre connaissance des documents techniques DT10 et DT11 avant d'aborder cette partie du sujet.

Question 30 : (répondre sur le document DR14)

Par souci de commodité d'accès, le service de maintenance souhaite placer un second sélecteur à clé pour neutraliser la barrière de sécurité à un endroit différent.

Placer le second sélecteur à clé sur le schéma d'alimentation du module de sécurité (bornes A1-A2).

Le module "PREVENTA" n°1 sécurise les sorties automates (voir le document technique DT12).

Compléter le tableau d'états du module n°1.

Question 31 : (répondre sur le document DR15)

Les variateurs sont alimentés par un circuit spécifique, séparé du circuit des sorties automate. L'exemple du variateur de rotation de la pince est donné sur les documents techniques DT13 et DT14.

Ces circuits mettent en oeuvre :

- deux relais de sécurité repérés KA5 et KA6 (voir DT13),
- trois contacteurs (voir l'exemple de rotation pince : contacteur KM1 sur DT14).

Par souci d'efficacité, on procède, en cas d'arrêt en urgence (sauf court-circuit), à un arrêt des mouvements de la tête de dépose avec freinage contrôlée par les variateurs de vitesse et non par les freins associés aux moteurs.

Cela nécessite, après arrêt d'urgence, de maintenir les variateurs alimentés pendant un temps **T**.

Il faut donc prévoir deux sécurités, l'une immédiate et l'autre retardée de la valeur **T**:

- 1^{er} temps \Rightarrow coupure par le module de sécurité n°1 des sorties automate,
- 2^{ème} temps \Rightarrow coupure par le module de sécurité n°2 de l'alimentation des variateurs après décélération des moteurs.

Le temps **T** de retard de réaction du module n°2 est obtenu en l'alimentant (bornes A1-A2) par deux relais à mise au repos retardée dont le principe de fonctionnement est donné sur le document technique DT15. Ces relais sont alimentés par le circuit des sorties automate.

Compléter le chronogramme sur le document réponse DR15 en suivant le scénario suivant :

- 1- à la date t1 : aucun défaut et action sur Marche (S2) du module 1,
- 2- à la date t2 : relâchement de Marche (S2),
- 3- à la date t3 : action sur l'arrêt d'urgence AU,
- 4- à la date t4 : relâchement de AU,
- 5- à la date t5 : action sur Marche module 1 (S2),
- 6- à la date t6 : relâchement de Marche (S2).

Mettre en évidence le temps de retard T par une flèche de longueur 10mm.

Question 32: (répondre sur le document réponse DR15)

Compléter, de la date t0 à la date t1, les chronogrammes qui décrivent le comportement attendu des relais KA1 et KA2 ainsi que KA5 et KA6.

PARTIE 7 : Gestion des déplacements de la tête de dépose.

Objectif de l'étude : Exploiter des éléments de programmation d'un système composé de nombreuses zones et utilisant un réseau industriel.

Les déplacements de la tête de dépose sont réalisés par 3 motorisations connectées à l'automate par l'intermédiaire d'un réseau Profibus. Le document technique DT16 (avec le document technique DT17) schématise la liaison entre l'automate et les 3 variateurs des servomoteurs.

Question 33 : (répondre sur le document DR16)

La consigne de rotation de la tête est 215. Quel est le nom complet de cette variable ? Est-ce une variable d'état ou de commande du variateur?

L'organisation de la programmation de la machine dans l'automate est donné sur le document technique DT18 : Organisation de la programmation. Un exemple d'échanges de données entre le grafcet de la zone F et la table Xtr du variateur de translation de la poutre y sont représentés.

Un extrait du grafcet point de vue système de la zone F (gestion des déplacements de la tête) est donné dans le document technique DT19 . Dans cet extrait le grafcet de la zone F teste l'état des variateurs et envoie des commandes afin d'obtenir les déplacements jusqu'aux consignes de positionnement: XtrCons=200, ZtrCons=150 et YrotCons=430.

Question 34 : (répondre sur le document réponse DR17)

Compléter le grafcet de gestion des déplacements point de vue partie opérative.

Afin d'assurer un fonctionnement correct de la machine, les grafjets des zones E (tapis lanceur) et F (pince) doivent être synchronisés.

La synchronisation par anticipation (voir DT21), c'est à dire avant l'arrivée en position finale de la tête permet d'améliorer les cadences de fonctionnement de la machine.

Ce fonctionnement nécessite de connaître les positions actuelles des déplacements grâce à « Yrot », « Ztr » et « Xtr » et les valeurs d'anticipation de chaque déplacement grâce à « Anticip ». (voir DT18 : Principe de synchronisation par anticipation).

L'organigramme de synchronisation de la rotation de la tête (DT20 – partie 1) détecte si l'écart entre la position de la tête et la consigne permet d'autoriser le démarrage du tapis lanceur.

La table « Yrot » contient les valeurs courantes suivantes : YrotCons=222 et YrotPos=215.

Question 35 : (répondre sur le document réponse DR16)

Indiquer les valeurs des variables suivantes :

(YrotCons – AnticipEcartY), (YrotCons + AnticipEcartY), (AnticipOkY).

Les tables « Xtr » et « Ztr » contiennent les valeurs suivantes : XtrCons=120 et ZtrCons=216. L'organigramme complet de synchronisation des déplacements de la tête (DT20) détecte si les écarts entre les positions de la tête et les consignes permettent d'autoriser le démarrage du tapis lanceur.

Question 36: (répondre sur le document réponse DR16)

Quelles sont les valeurs des variables ZtrPos et XtrPos qui permettraient d'autoriser par anticipation le fonctionnement du tapis lanceur ?

Compléter la table d'anticipation « Anticip », colonne « valeur calculée » compte tenu des valeurs ZtrPos et XtrPos que vous avez choisies.

Question 37: (répondre sur le document réponse DR16)

Quelles sont les différentes structures de programmation nécessaires à la gestion d'une machine telle que le palettiseur?

DOSSIER REPONSE

A rendre à la fin de l'épreuve dans cette pochette

Composition du dossier :

Il comprend les pages DR1 à DR17

Ce dossier est à remettre à la fin de l'épreuve dans cette pochette

Question 1 $\vec{a}(G) = ?$

Question 2 Equations du mouvement en y

Question 3 Equations du mouvement en x

Question 4 $y = f(x)$

Question 5 $V_0 = ?$

Question 6 Temps nécessaire = ?

Temps total = ?

Question 7

Calculer la fréquence de rotation N_2 (tr / min) du moteur tapis au moment du lancement du fardeau. En déduire la fréquence (Hz) à régler sur le variateur.

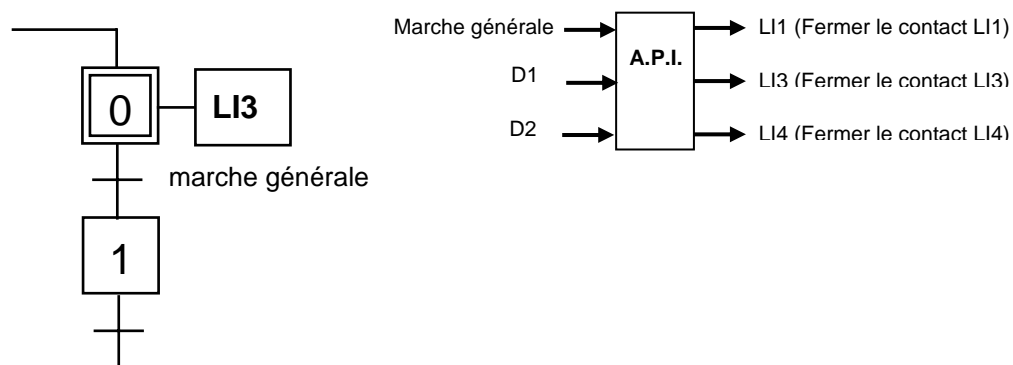
Question 8

Calculer l'accélération du tapis lanceur.

Vérifier que le fardeau aura atteint la vitesse de lancement avant de quitter la zone de détection de la cellule photoélectrique D2.

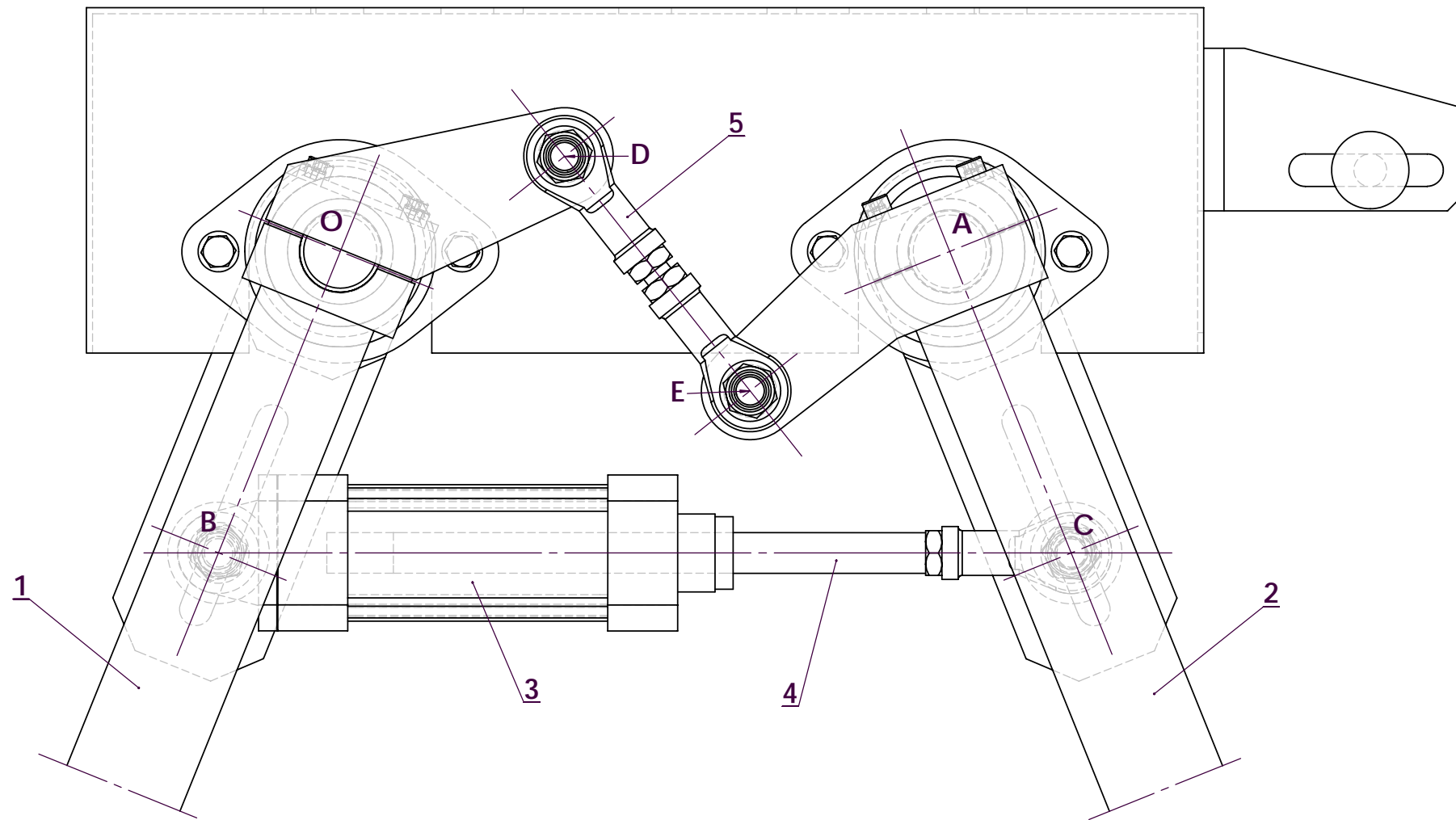
Question 9

Compléter le grafcet de gestion des entrées logiques du variateur de vitesse à partir du recensement des entrées et sorties fourni.



Pince en position fermée

Document réponse DR3



Ech:1/2

Question 10 a traiter sur le document réponse DR3

Question 11

Question 12

Question 13

Question 14

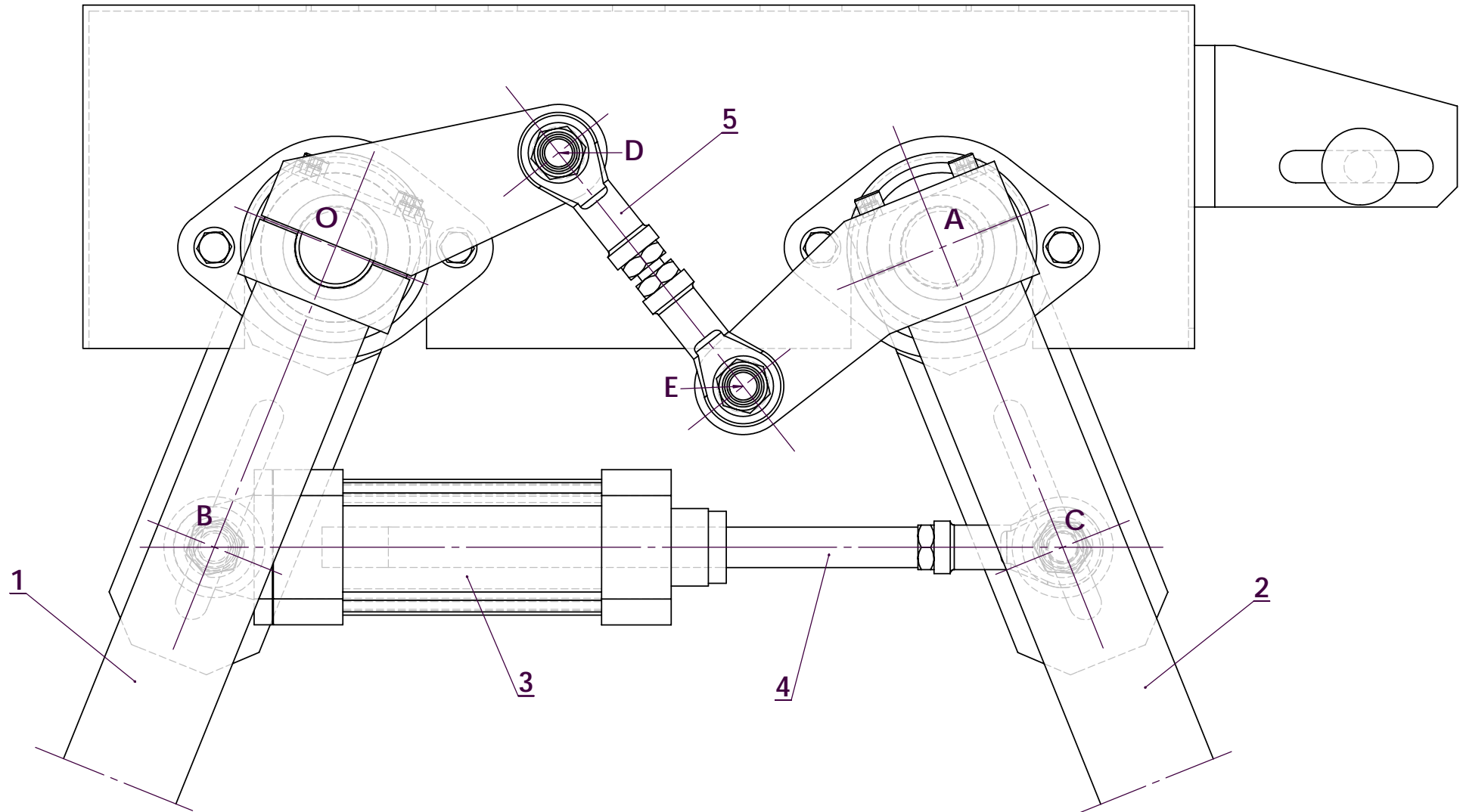
Question 15

Question 16

Question 17

Question 18

Question 19



Ech:1/2

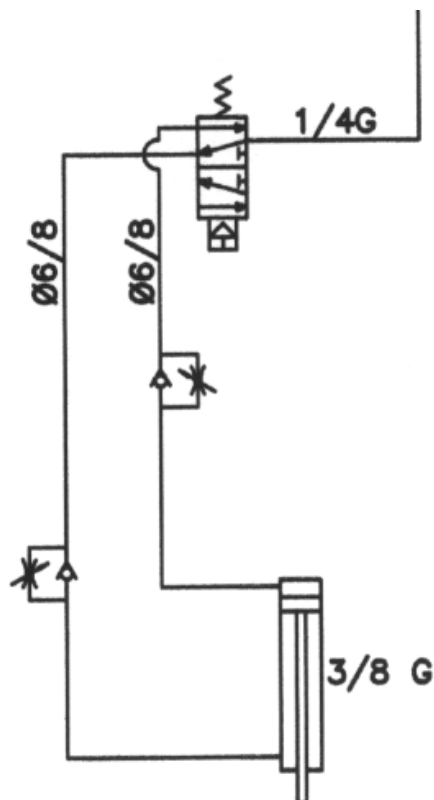
Echelle des vitesses: 1mm ==> 0.2m/s

Question 20

Déterminer, à partir du tableau fourni sur le document DT4, le diamètre du vérin A d'ouverture de la pince. Justifier la réponse.

Vérifier que le taux de charge réel est inférieur ou égal à 75%.

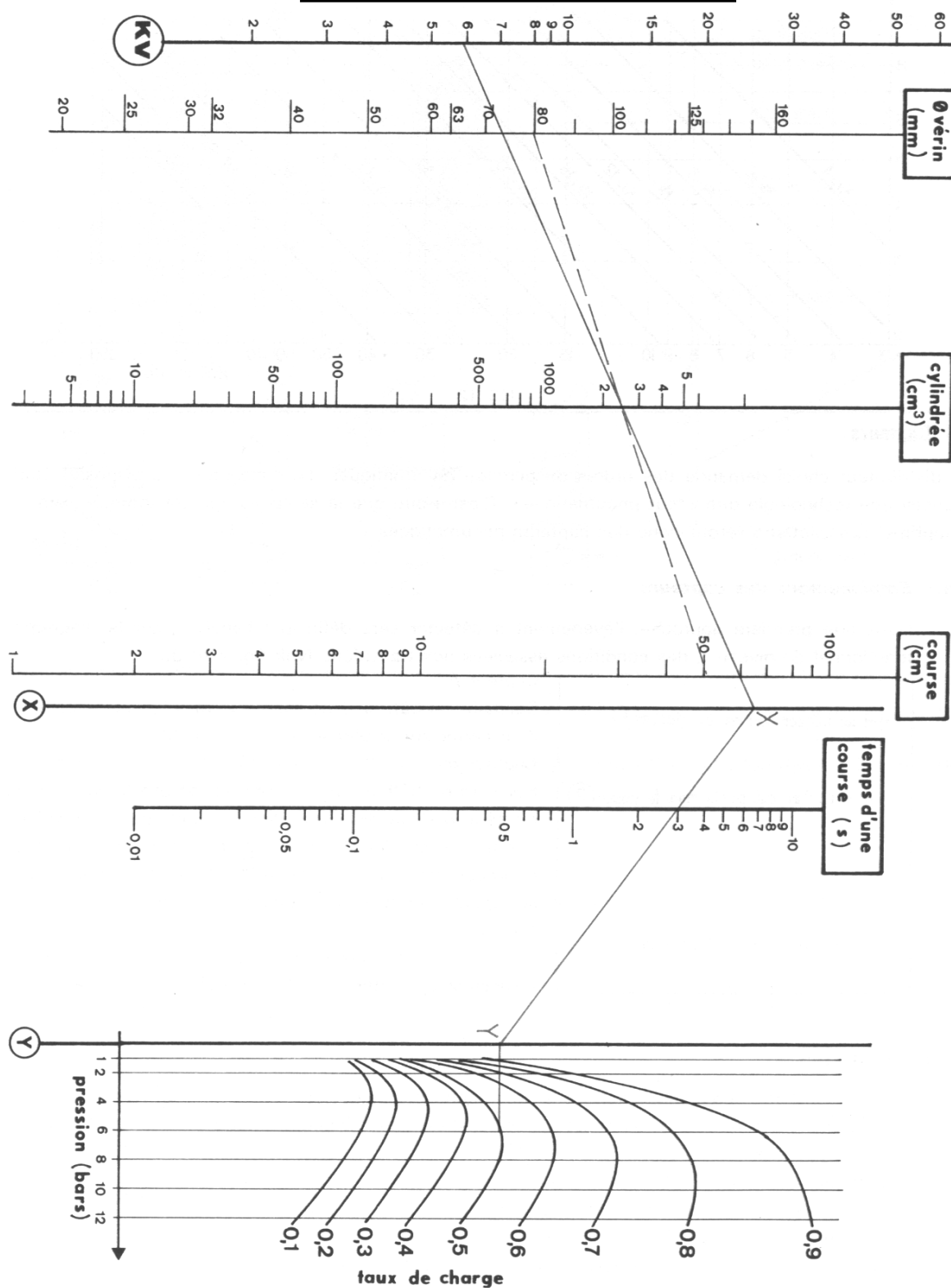
Entourer l'élément sur lequel devra agir le technicien de mise au point pour limiter la vitesse de sortie du vérin.



Vérin A d'ouverture et de fermeture de la pince (pince fermée et vérin rentré au repos)

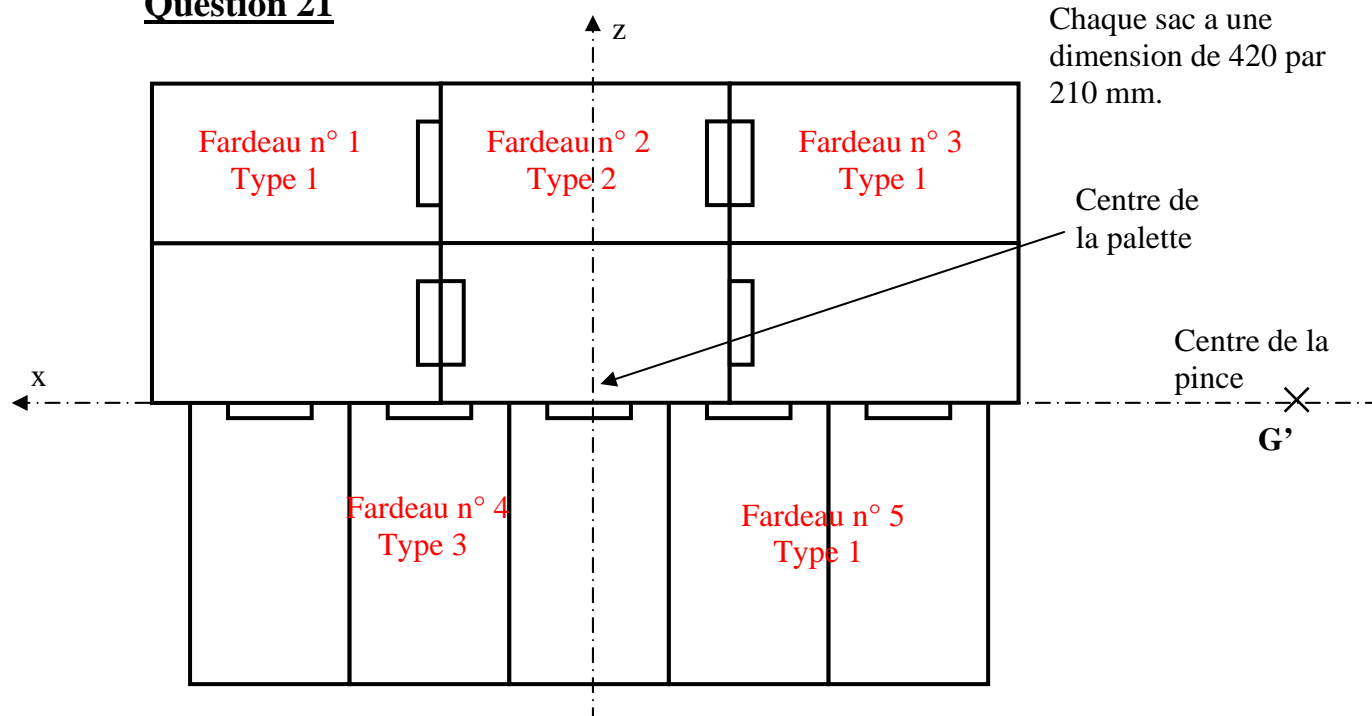
Déterminer le coefficient de débit du distributeur associé au vérin d'ouverture de la pince (voir l'exemple d'utilisation).

Réponse : KV =



Utilisation de l'abaque :

- construire le point Y à partir du taux de charge et de la pression
- construire le point X à partir du point Y et du temps de course du vérin (en secondes)
- déterminer la cylindrée à partir de la course (en cm) et du diamètre (en mm) du vérin
- déterminer le KV à partir de la cylindrée et du point X.

Question 21

Calcul :

Question 22

Fardeau n° 1	Déplacement (unité)	Durée (unité)
Selon l'axe des x	$\Delta x =$	$\Delta t =$
Autour de l'axe des y	$\Theta y =$	$\Delta t =$
Selon l'axe des z	$\Delta z =$	$\Delta t =$

Fardeau n° 2	Déplacement (unité)	Durée (unité)
Selon l'axe des x	$\Delta x =$	$\Delta t =$
Autour de l'axe des y	$\Theta y =$	$\Delta t =$
Selon l'axe des z	$\Delta z =$	$\Delta t =$

Fardeau n° 3	Déplacement (unité)	Durée (unité)
Selon l'axe des x	$\Delta x =$	$\Delta t =$
Autour de l'axe des y	$\Theta y =$	$\Delta t =$
Selon l'axe des z	$\Delta z =$	$\Delta t =$

Fardeau n° 4	Déplacement (unité)	Durée (unité)
Selon l'axe des x	$\Delta x =$	$\Delta t =$
Autour de l'axe des y	$\Theta y =$	$\Delta t =$
Selon l'axe des z	$\Delta z =$	$\Delta t =$

Fardeau n° 5	Déplacement (unité)	Durée (unité)
Selon l'axe des x	$\Delta x =$	$\Delta t =$
Autour de l'axe des y	$\Theta y =$	$\Delta t =$
Selon l'axe des z	$\Delta z =$	$\Delta t =$

Calcul :

Question 23 Temps total pour charger entièrement une palette ?

Question 24 : Conséquences pratiques de la non synchronisation

Question 25 : Instant de fin d'utilisation correcte

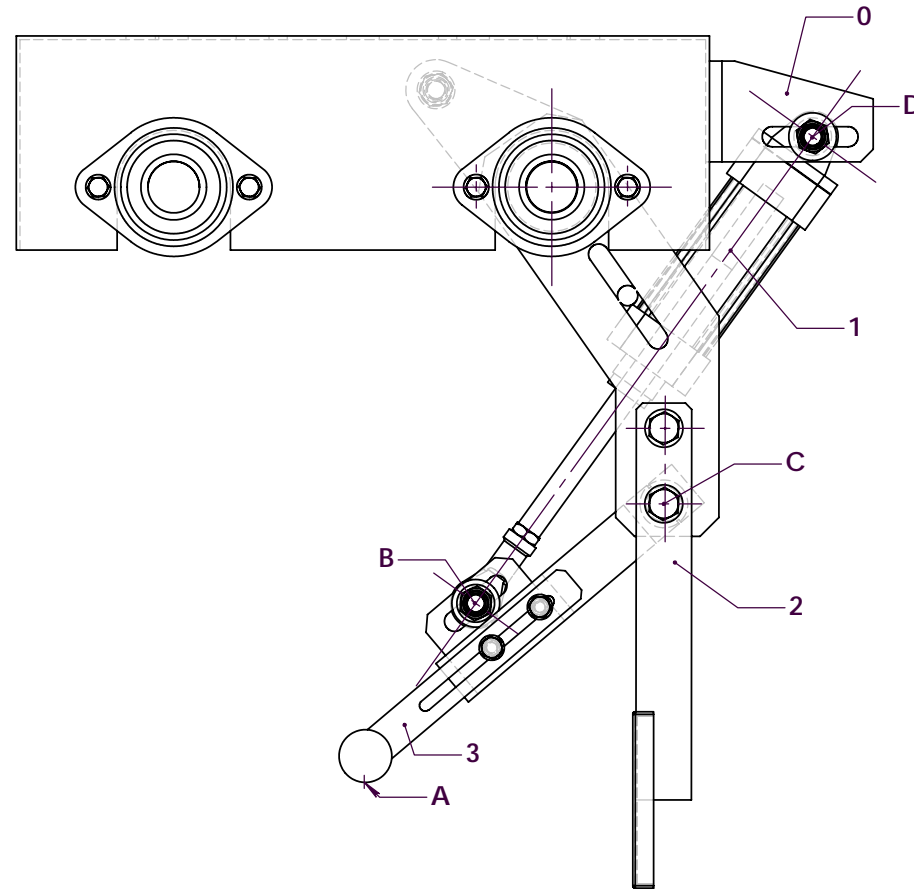
Question 26

<i>Composants</i>	<i>Caractéristiques</i>

Question 27 Répondre sur le document DR7

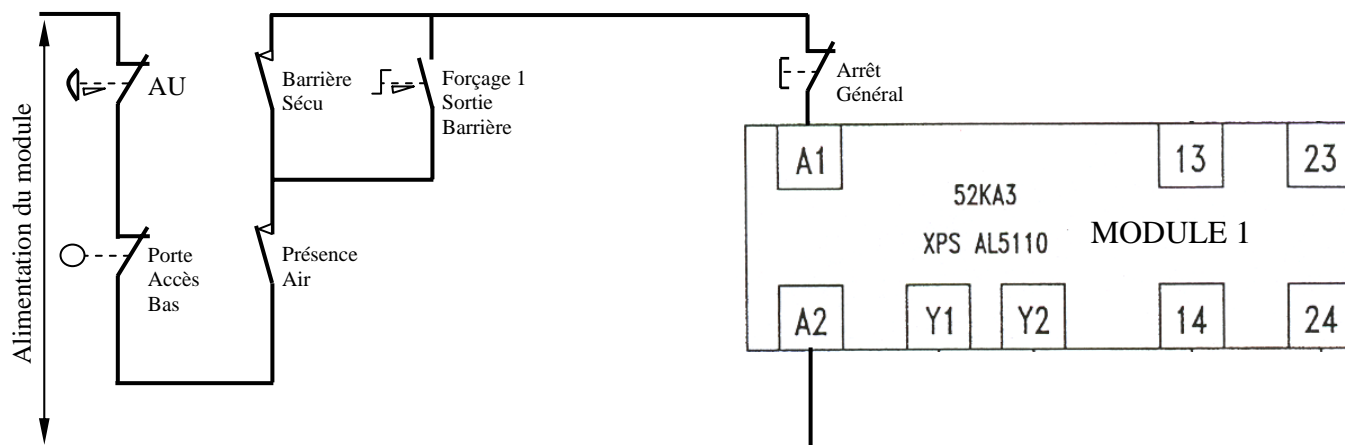
Question 28 Coefficient de sécurité ?

Question 29 Gains ?



Question 30

Placer le second sélecteur sur le schéma d'alimentation du module de sécurité (bornes A1-A2).



Compléter le tableau d'états du module n°1.

Etat initial : module alimenté par ses bornes A1-A2 (présence air, barrière de sécurité fermée, porte d'accès bas fermée, arrêt d'urgence relâché et aucun défaut détecté).

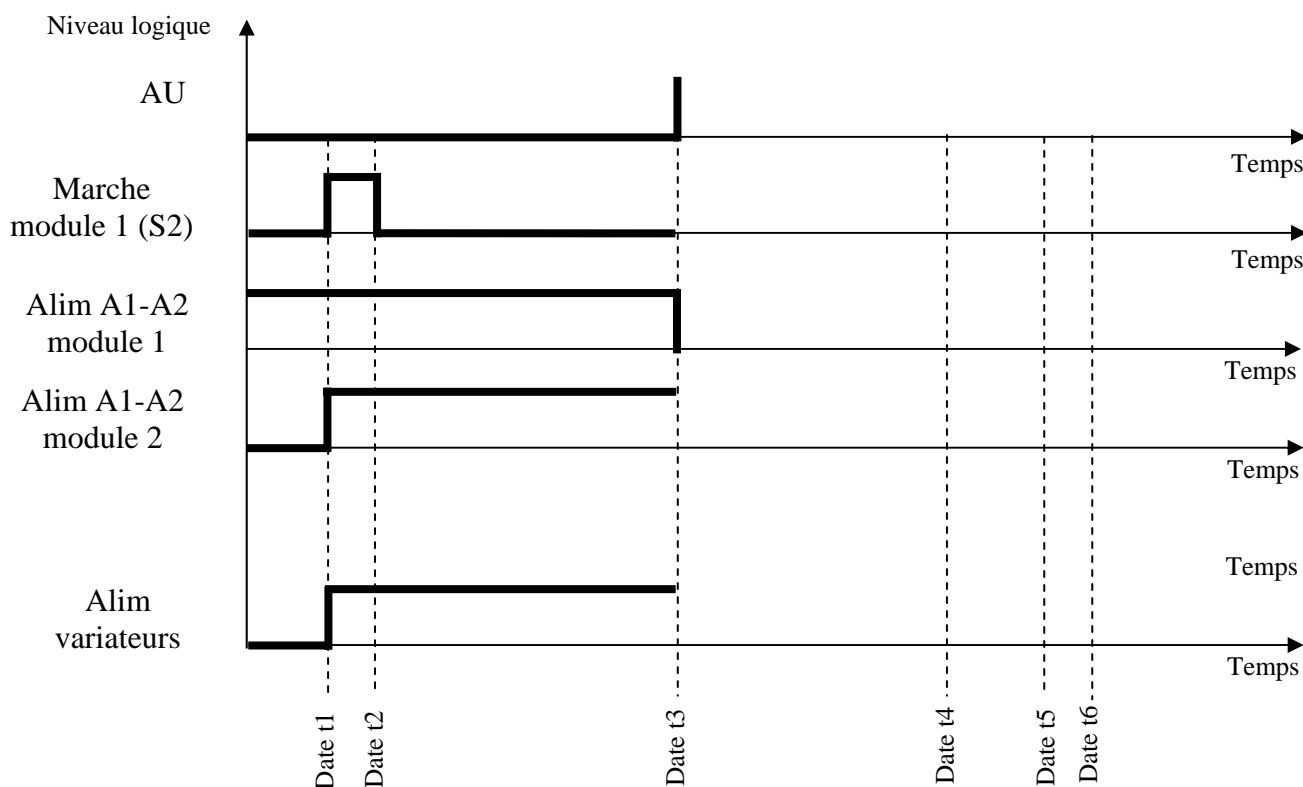
SCENARIO	ETAT DU MODULE (Alimenté ou non)	ETAT DE LA BOUCLE DE RETOUR Y1-Y2 (fermée ou non)	ETAT DES SORTIES A.P.I. (Alimentées ou non)
1) action sur marche (S2)	Alimenté	Fermé	Alimentées
2) relâchement de marche			
3) ouverture de la porte d'accès bas			
4) fermeture de la porte d'accès bas			
5) action sur marche (S2)			
6) relâchement de marche			
7) collage d'un contact du relais KA2 (alim A.P.I.)			
8) action sur arrêt général			
9) relâchement d'arrêt général			
10) action sur marche			

Question 31

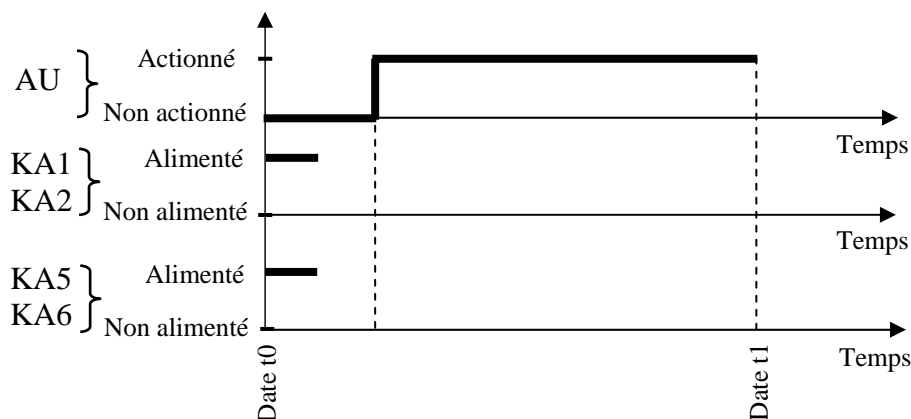
Compléter le chronogramme en suivant le scénario suivant :

- 1- à la date t1 : aucun défaut et action sur Marche (S2) du module 1,
- 2- à la date t2 : relâchement de Marche (S2),
- 3- à la date t3 : action sur l'arrêt d'urgence AU,
- 4- à la date t4 : relâchement de AU,
- 5- à la date t5 : action sur Marche module 1 (S2),
- 6- à la date t6 : relâchement de Marche (S2).

Mettre en évidence le temps de retard T par une flèche de longueur 10mm.

**Question 32:**

Compléter, de la date t0 à la date t1, les chronogrammes qui décrivent le comportement attendu des relais KA1 et KA2 ainsi que KA5 et KA6.



Question 33 : La consigne de rotation de la tête est 215. Quel est le nom complet de cette variable ? Est-ce une variable d'état ou de commande ?

Nom complet de la variable	Variable d'état ou de commande ?

Question 35 : Indiquer les valeurs des variables suivantes

YrotCons – AnticipEcartY	
YrotCons + AnticipEcartY	
AnticipOkY	

Question 36 : Quelles sont les valeurs des variables XtrPos et ZtrPos qui permettraient d'autoriser par anticipation le fonctionnement du tapis lanceur ?

XtrPos	
ZtrPos	

Table d'anticipation « Anticip »

Question 36 : Compléter la colonne des valeurs calculées compte tenu de vos choix.

Mnémonique	type	Valeur calculée	Valeur initiale	commentaire
EcartX	entier		25	Ecart maximal entre la valeur de la position actuelle de la translation de la poutre et la valeur de destination finale pour autoriser l'anticipation.
EcartZ	entier		25	Ecart maximal entre la valeur de la position actuelle de la translation de la tête et la valeur de destination finale pour autoriser l'anticipation.
EcartY	entier		25	Ecart maximal entre la valeur de la position actuelle de la rotation de la tête et la valeur de destination finale pour autoriser l'anticipation.
OkX	bit	?	0	Indicateur positionné à 1 si la poutre est dans la zone d'anticipation de translation.
OkZ	bit	?	0	Indicateur positionné à 1 si la tête est dans la zone d'anticipation de translation.
OkY	bit	?	0	Indicateur positionné à 1 si la tête est dans la zone d'anticipation de rotation.
Valide	bit	?	0	Indicateur positionné à 1 si l'anticipation est autorisée.

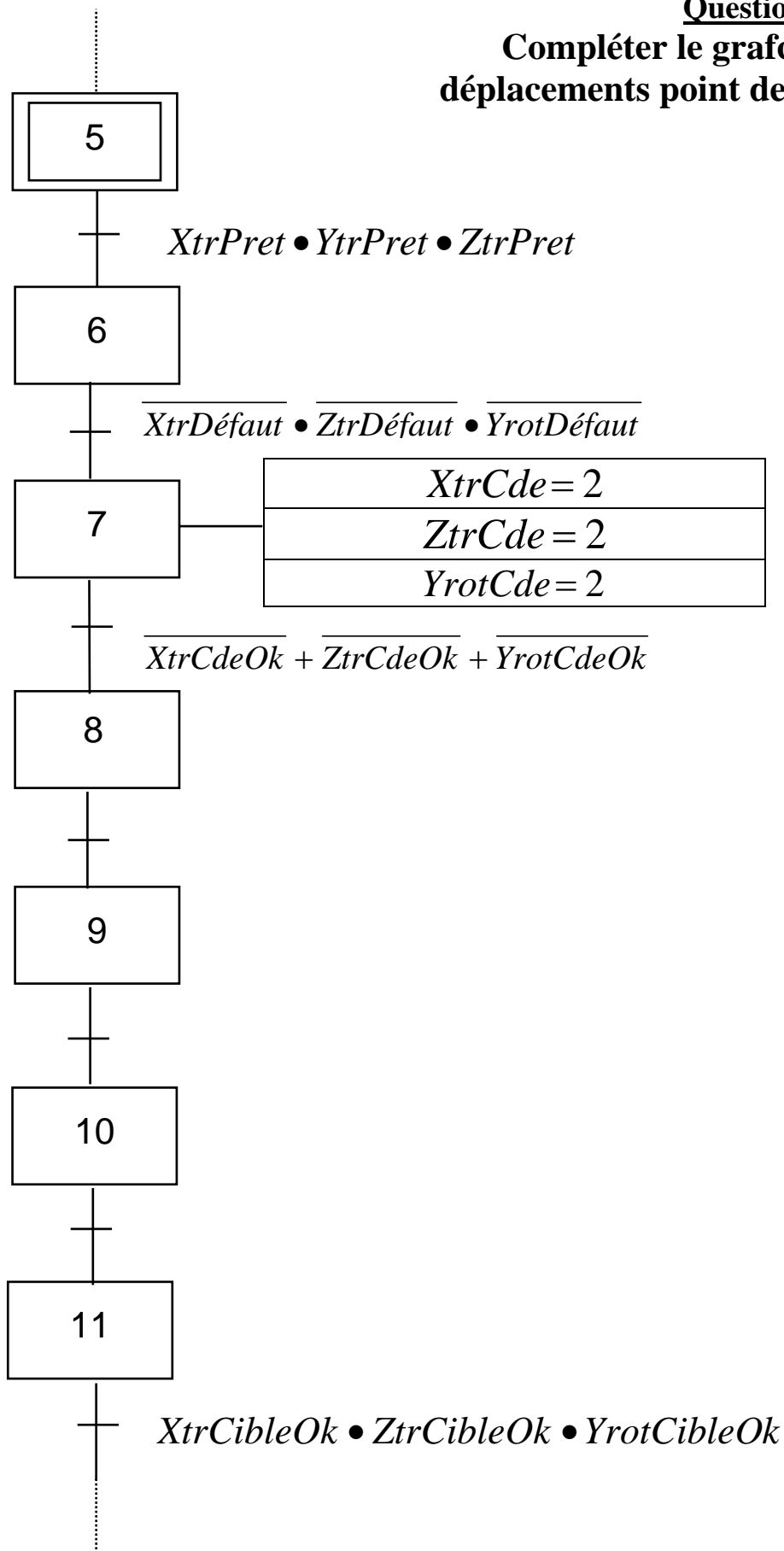
La variable « OkX » de cette table s'appelle « AnticipOkX »,

La variable « EcartY » de cette table s'appelle « AnticipEcartY », etc...

Question 37 : Quelles sont les différentes structures de programmation nécessaires à la gestion d'une machine telle que le palettiseur ?

--

Question 34 :
Compléter le grafcet de gestion des déplacements point de vue partie opérative

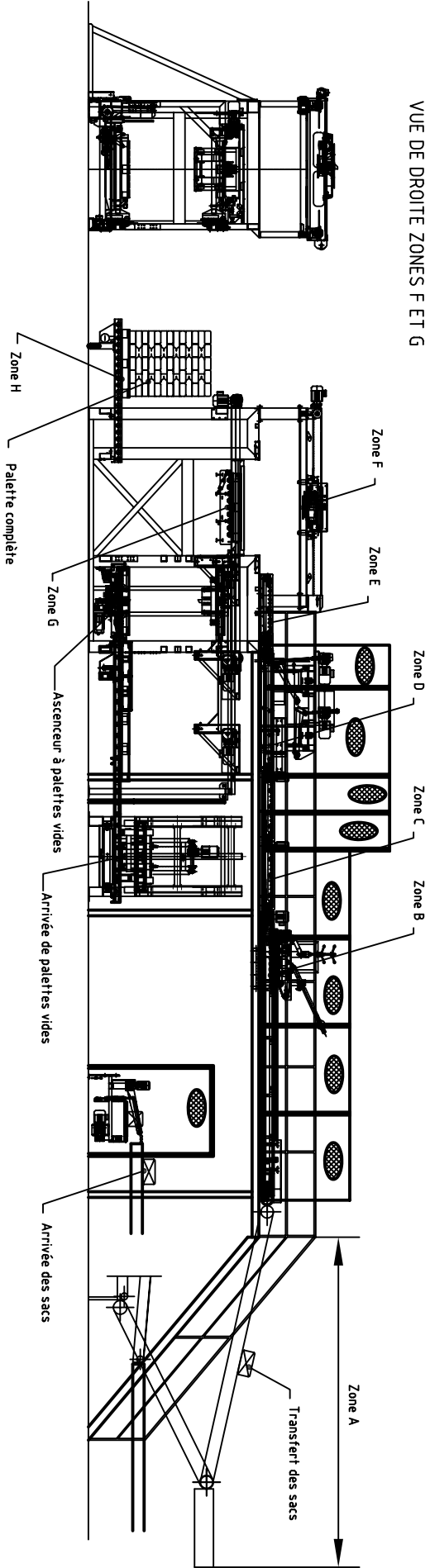


DOSSIER TECHNIQUE

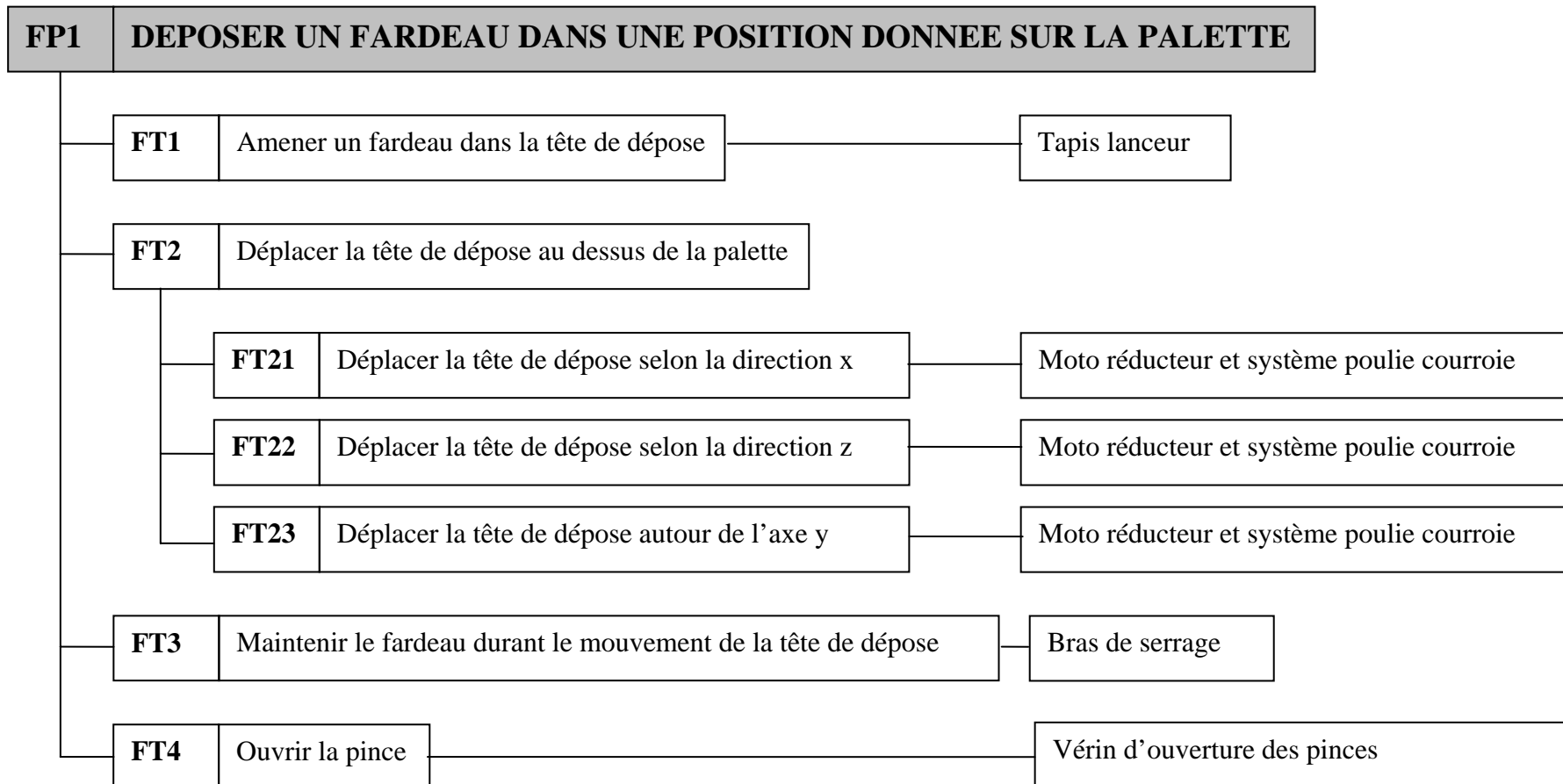
Composition du dossier :

DT1	Vue latérale du palettiseur
DT2	Extrait de l'analyse fonctionnelle de la tête de dépose
DT3	Tapis lanceur
DT4	Tête de dépose :ouverture pince
DT5	Disposition des fardeaux sur les palettes
DT6	Mise en situation du lancer et de la dépose d'un fardeau
DT7	Courbes montrant les déplacements angulaires des bras par rapport au bâti
DT8	Etude de résistance d'un plateau-pince (1^{ere} version)
DT9	Etude de résistance d'un plateau-pince modifié (2^{eme} version)
DT10	Sûreté
DT11	Contacteurs KM5 et KM6
DT12	Sûreté palettiseur
DT13	Sûreté palettiseur (suite)
DT14	Sûreté palettiseur (suite)
DT15	Relais à mise au repos retardée
DT16	Liaison API variateur
DT17	Table de rotation de la tête
DT18	Organisation de la programmation
DT19	Extrait de grafcet zone F
DT20	Organigramme complet
DT21	Positions du tapis et de la tête

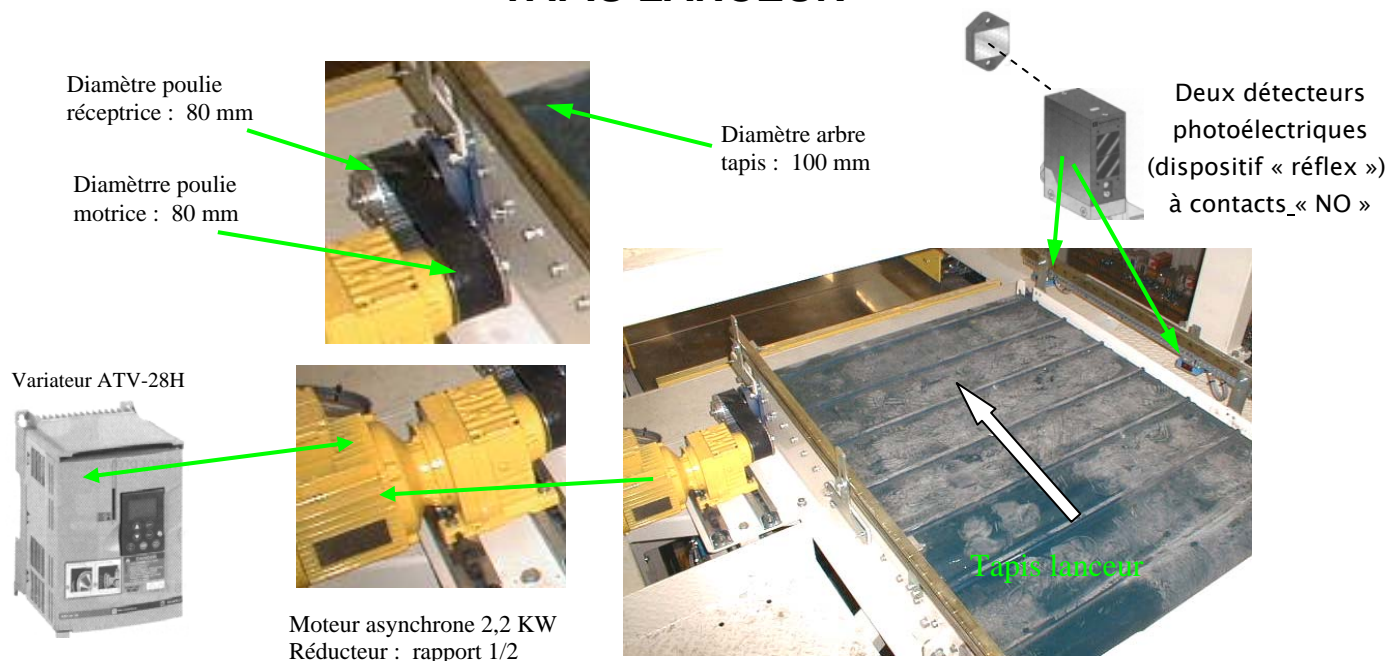
VUE LATÉRALE



Extrait de la description fonctionnelle de la tête dépose

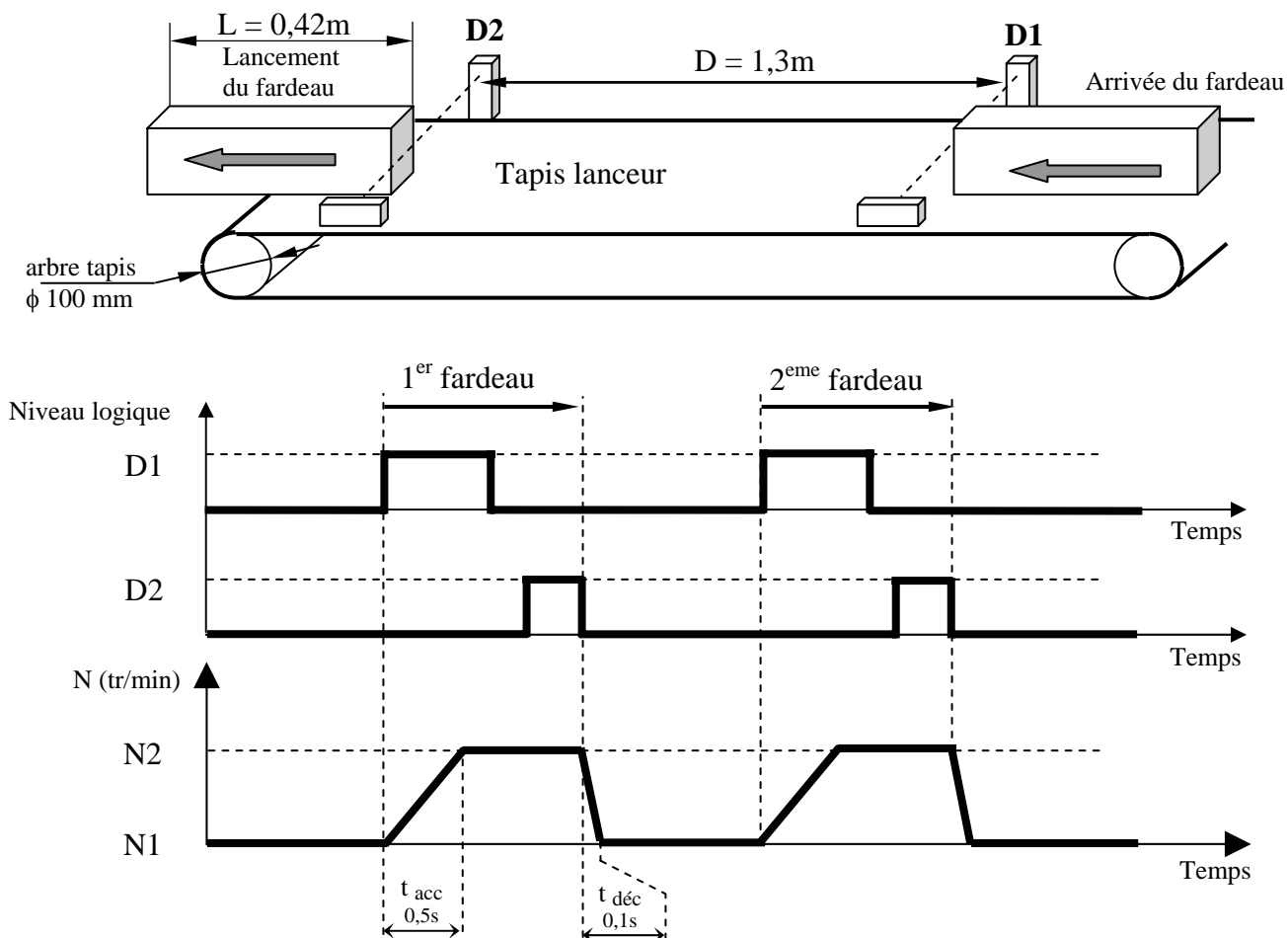


TAPIS LANCEUR



Fonctionnement :

- L'arrivée du fardeau signalée par le détecteur D1 provoque l'accélération du tapis, soit le passage de la fréquence de rotation N1 du moteur à la fréquence de rotation N2,
- le lancement du fardeau signalé par le détecteur D2 provoque la décélération du tapis, soit le passage de la fréquence de rotation N2 du moteur à la fréquence de rotation N1.



TETE DE DEPOSE OUVERTURE DE LA PINCE



Vérin A d'ouverture et de fermeture de la pince
(vérin rentré au repos et pince fermée)

DEFINITIONS :

Le rendement ρ d'un vérin pneumatique conditionne la valeur de la force dynamique que celui-ci est capable d'exercer. Il se détermine par la relation :

$$\rho = \text{force dynamique} / \text{force statique}$$

(Le rendement d'un vérin pneumatique courant est de l'ordre de 85%).

Les constructeurs fournissent les tableaux des forces dynamiques exercées par leurs vérins en fonction de la pression d'alimentation.

Ø d'alésage en mm	Ø de la tige en mm	Forces dynamiques aller-retour en daN									
		aller à 2 bar	retour à 2 bar	aller à 4 bar	retour à 4 bar	aller à 6 bar	retour à 6 bar	aller à 8 bar	retour à 8 bar	aller à 10 bar	retour à 10 bar
8	4	0,8	0,3	1,7	1,3	2,7	2	3,6	2,7	4,6	3,4
10	4	1,4	1,1	2,6	2,3	4,2	3,4	5,7	4,6	7,5	6
12	6	2,2	1,5	4,1	3,1	6	4,4	8,5	6,2	10,5	8
16	6	3,4	2,8	7,5	6	10	9,2	15	12	19	15
20	10	5,5	4,2	12	9	16	13,5	23	18	30	22
25	12	8,5	6,5	18	14	27	22	38	29	48	36
32	12	13	11,5	30	25	46	40	62	52	77	66
40	18	21	17	46	37	70	57	95	77	122	97
50	18	33	29	70	62	110	97	150	130	190	165
63	22	50	44	110	97	170	150	230	200	290	260
80	22	88	82	185	170	285	262	385	360	480	450
100	30	135	125	290	260	440	400	600	550	750	675
125	30	210	200	460	420	700	650	925	875	1150	1100
160	40	350	320	750	700	1150	1100	1550	1500	1900	1800
200	40	550	530	1150	1100	1800	1700	2400	2300	3000	2900
250	50	825	800	1800	1700	2800	2750	3700	3600	4800	4500

Le taux de charge tc est un coefficient qui permet d'évaluer la charge dynamique opposée au vérin en tenant compte des forces d'inertie et de frottement. Il se détermine à partir de la charge statique résistante par la relation :

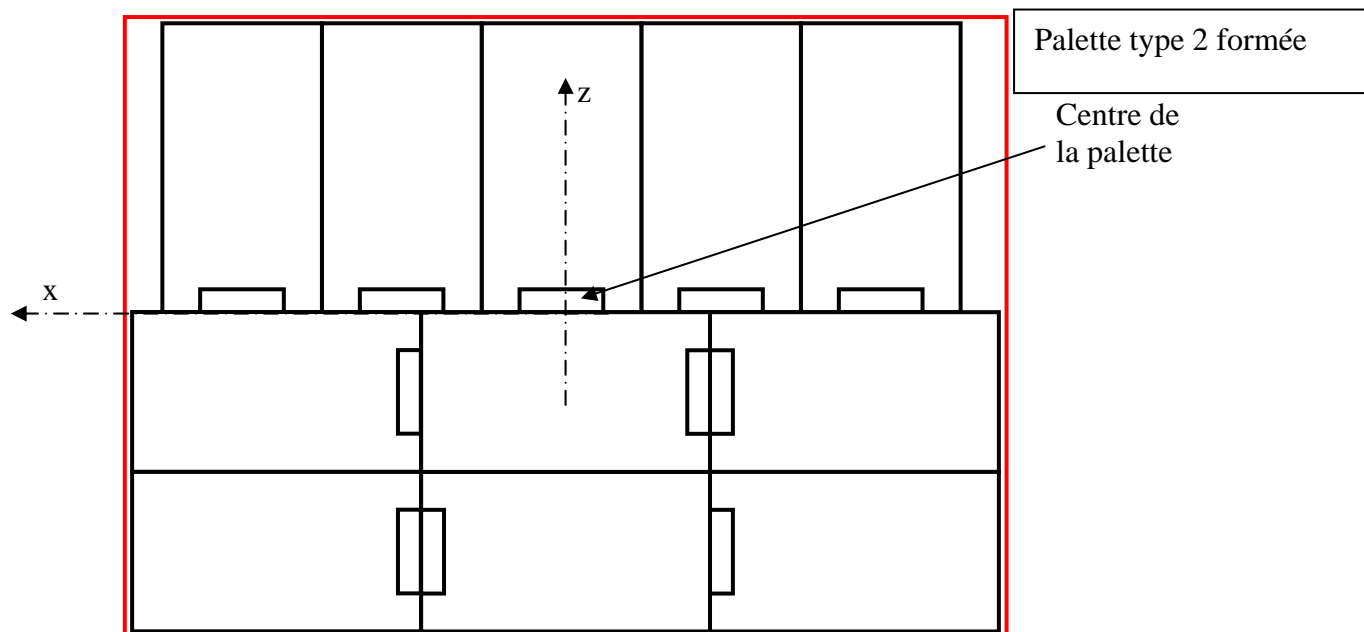
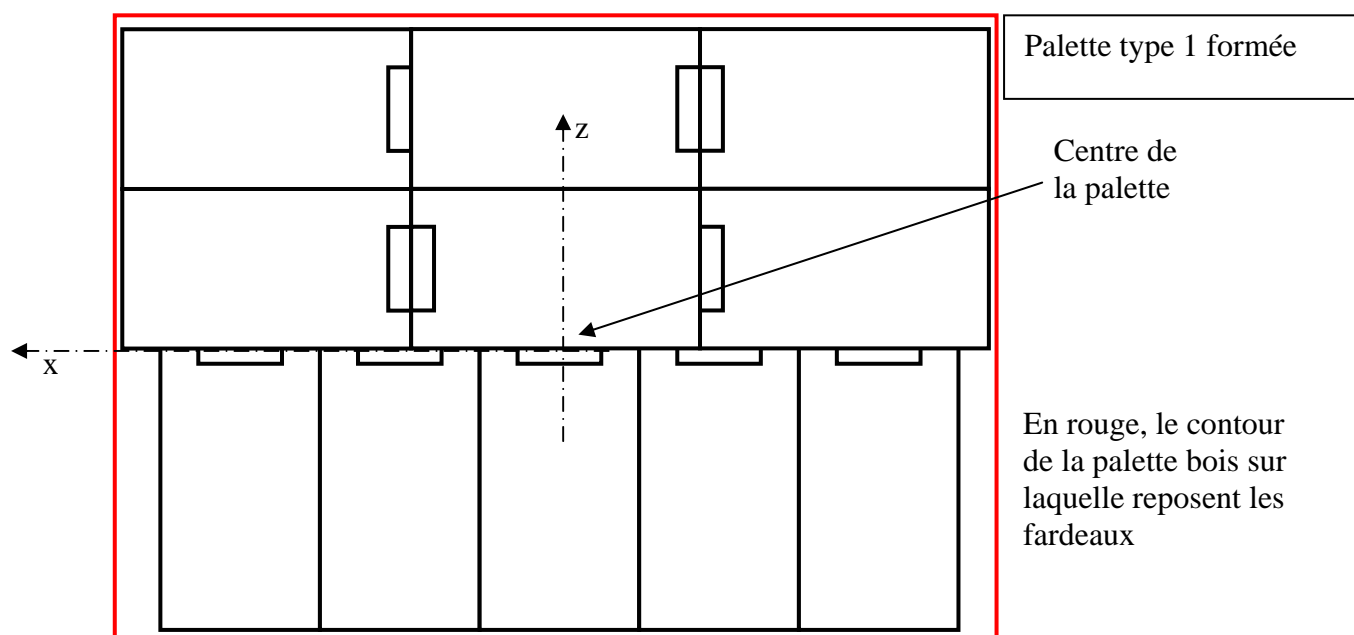
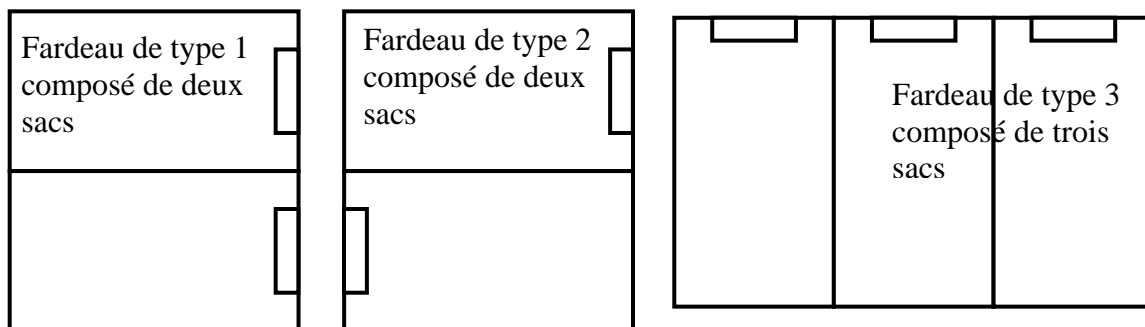
$$tc = \text{charge statique} / \text{charge dynamique}$$

L'expérience montre que l'on obtient un bon comportement du vérin pour un taux de charge inférieur ou égal à 75%.

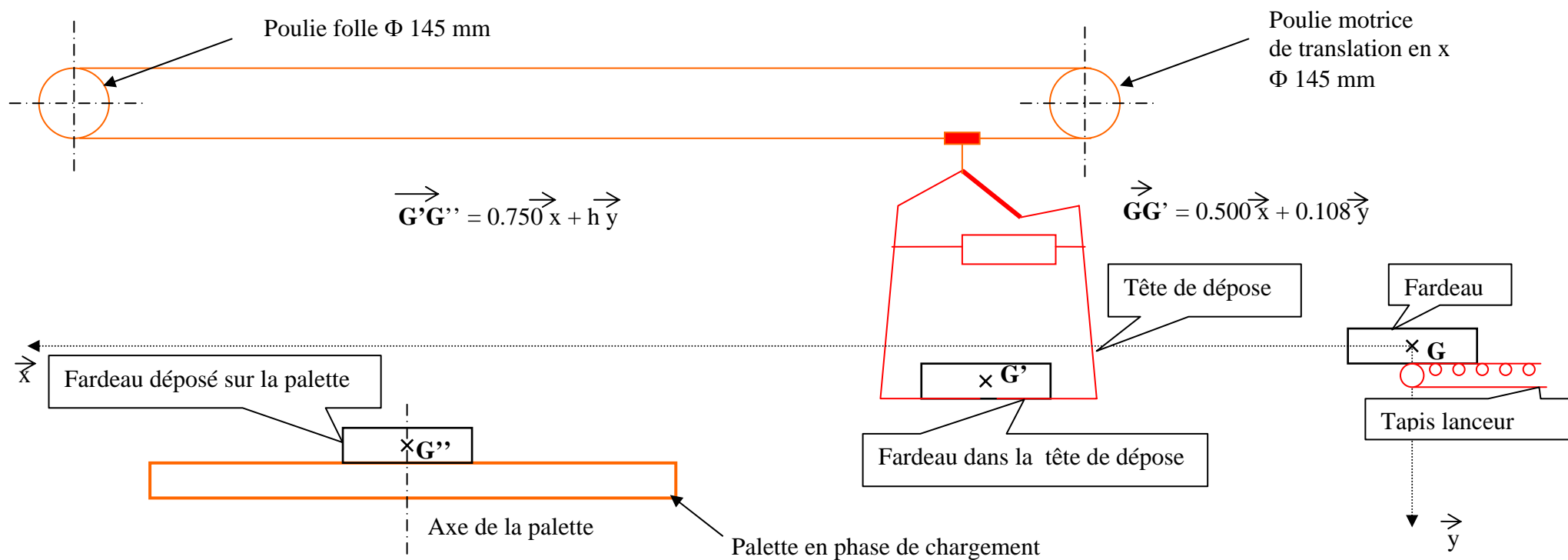
Disposition des fardeaux sur les palettes

Forme et position des fardeaux lors de leur arrivée dans la pince

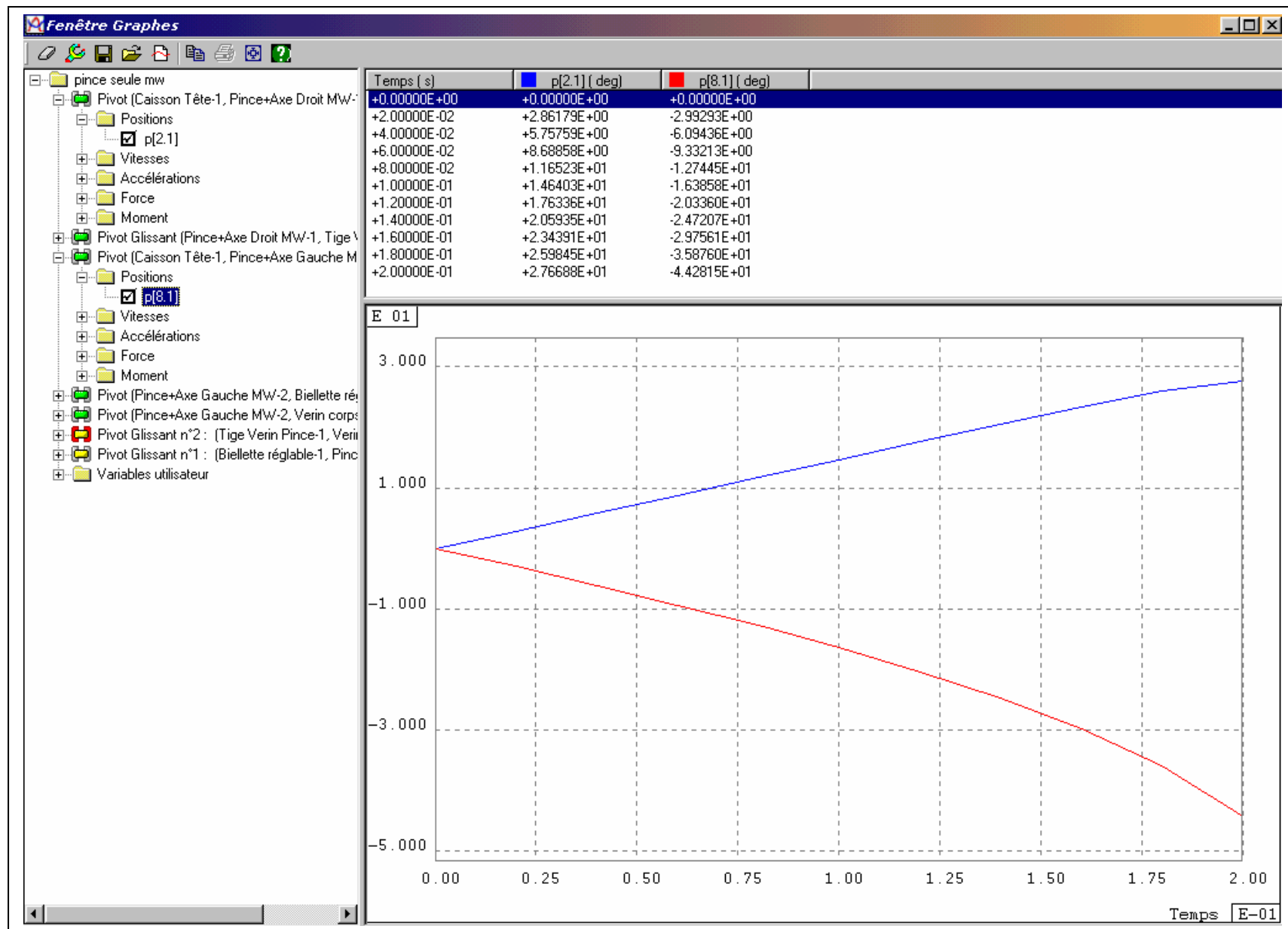
Chaque sac a une dimension de 420 par 210 mm.

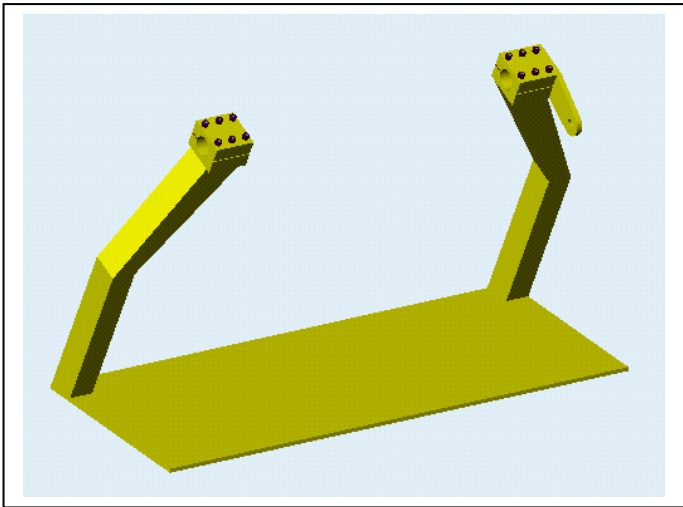


Le facteur d'échelle en x est très supérieur à celui des y



A chaque chargement total d'une palette de type 1, le support de palette descend d'un pas afin de permettre le chargement total suivant d'une palette de type 2 et ainsi de suite jusqu'à ce que la palette supporte 13 couches de sacs. La palette pleine est alors évacuée alors qu'une palette vide se présente au chargement. Ces opérations s'effectuent en temps masqué.





Etude de résistance
du plateau pince
1^{ère} version

Matériau

Source du matériau:
☐ Entrée
☐ Centor Démarrer
☒ Fichiers de bibliothèque

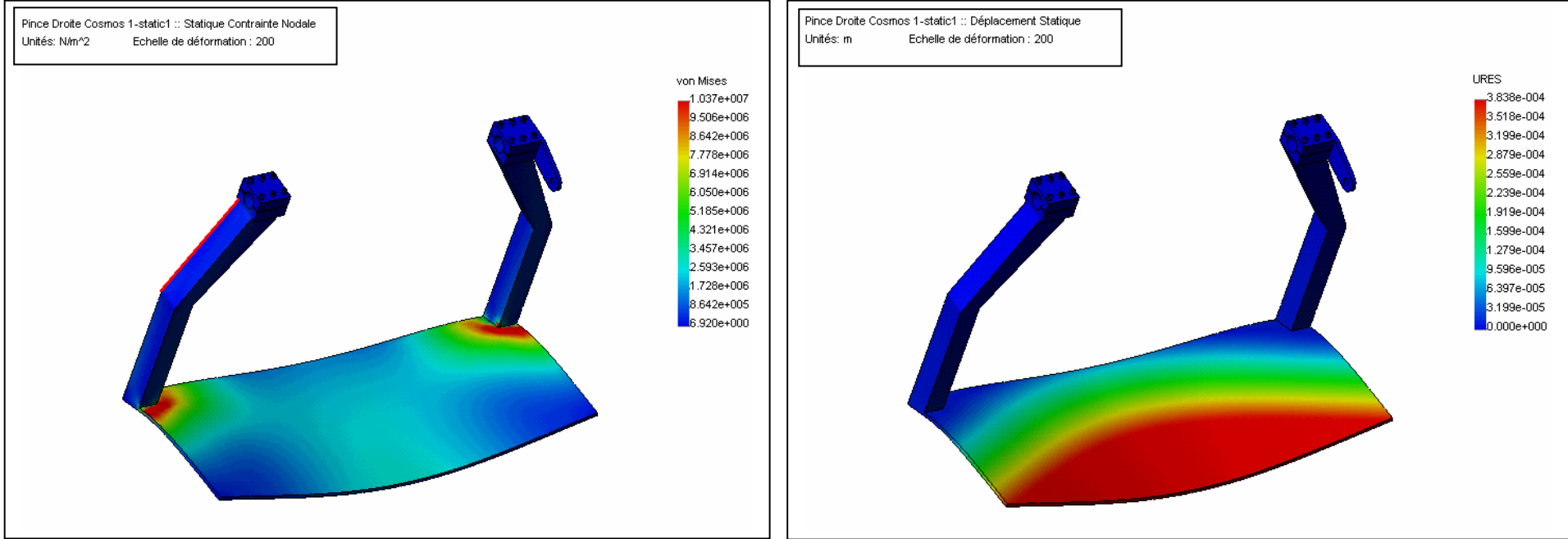
Modèle de matériau:
Type: Linéaire élastique isotropique
Unités: SI

coswkm.mat.lib

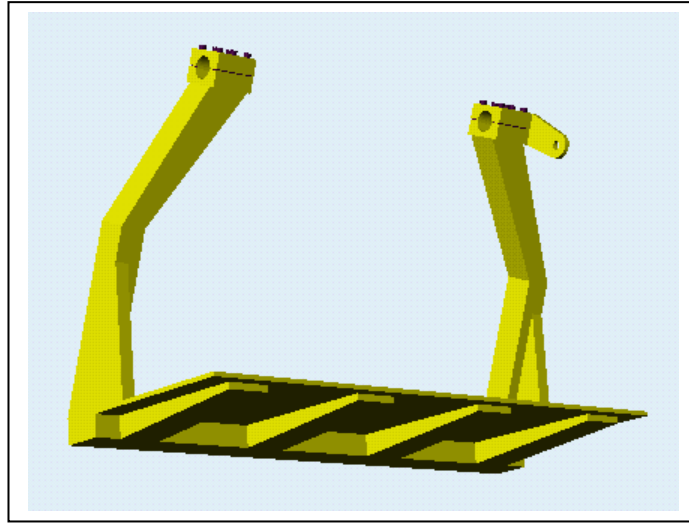
- Steel
 - Alloy Steel
 - Cast Alloy**
 - Cast Stain
 - Plain Carb
 - Cast Carb
 - AISI 1020
 - AISI 304
 - Stainless S

Propriété	Description	Valeur	Unités
EX	Module d'élasticité	1.9e+011	N/m ²
NUXY	Coefficient de Poisson	0.26	NA
GXY	Module de cisaillement	7.8e+010	N/m ²
DENS	Masse volumique	7300	kg/m ³
SIGXT	Limite de traction	4.480825e+008	N/m ²
SIGXC	Limite de compression		N/m ²
SIGYLD	Limite d'élasticité	2.412752e+008	N/m ²
ALPX	Coefficient d'expansion the	1.5e-005	/Kelvin
KX	Conductivité thermique	38	W/(m.K)
C	Chaleur spécifique	440	J/(kg.K)

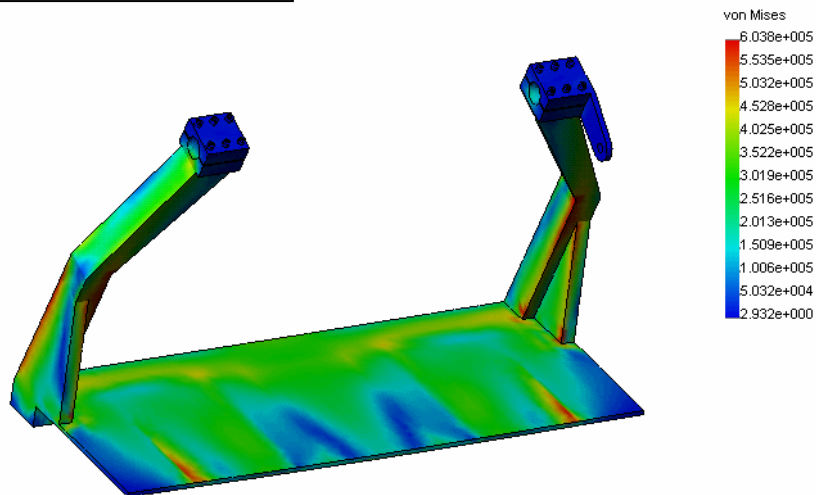
OK Annuler Aide



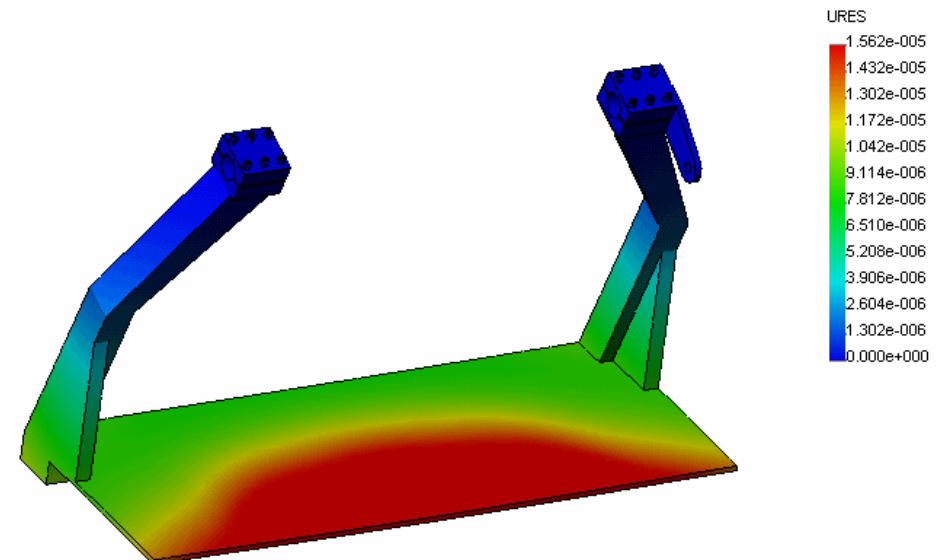
Etude de résistance
du plateau pince
2^{ème} version



Pince Droite Cosmos 2-static2 :: Statique Contrainte Nodale
Unités: N/m² Echelle de déformation : 200



Pince Droite Cosmos 2-static2 :: Déplacement Statique
Unités: m Echelle de déformation : 200



SURETE

(SURETE = SECURITE + DISPONIBILITE)

CONSTITUANT DE SURETE

On entend par « constituant de sûreté » un constituant dont le rôle est de préserver la sécurité des personnes exposées en cas d'incident en maintenant la machine disponible. Ce constituant n'a généralement aucun rôle actif dans le fonctionnement normal de la machine.

Selon les dangers auxquels sont soumis les personnes et les biens (conformité aux directives européennes), les protections mises en œuvre associent les fonctions de **redondance** et d'**autocontrôle**.

La **redondance** consiste à doubler les composants de manière à pallier la défaillance de l'un d'entre eux par le bon fonctionnement de l'autre, en faisant l'hypothèse qu'ils ne seront pas défaillants simultanément.

L'**autocontrôle** caractérise l'aptitude d'un système à détecter ses propres défauts.

L'association des deux techniques assure à la fois la disponibilité et la sécurité de la machine. L'autocontrôle fait qu'un premier défaut est obligatoirement détecté.

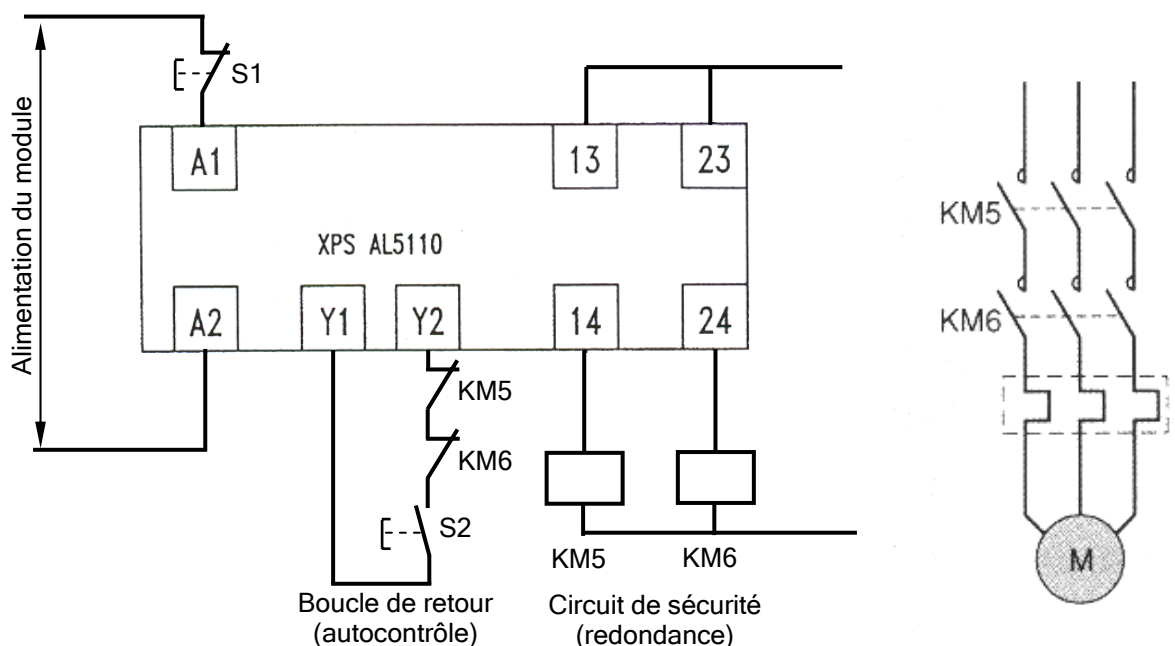
La redondance fait que, sur ce premier défaut, le fonctionnement n'est pas interrompu et la fonction de sécurité (arrêt en général) est maintenue.

Pour assurer ces fonctions, on emploie généralement des modules dits « de sécurité ».

MODULE DE SECURITE

Le module de sécurité à vocation de surveillance. Il permet de maintenir le niveau de sécurité exigé malgré un défaut du circuit de commande ou du circuit de puissance (ou d'un composant interne au module lui-même).

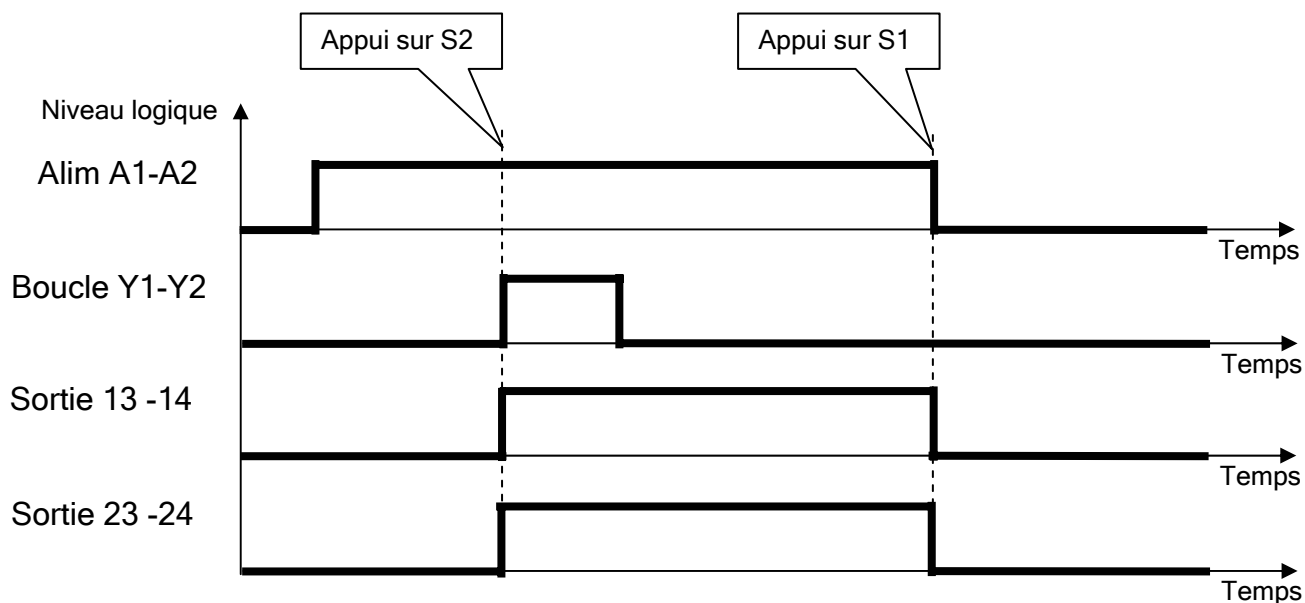
Principe de fonctionnement : commande d'un moteur par module de sécurité « PREVENTA »



Remarque sur les contacteurs KM5 et KM6

Pour répondre aux normes de sécurité ; les pôles et les contacts auxiliaires de KM5 et de KM6 sont **liés mécaniquement**. Ainsi, le collage suite à une surintensité(contact actionné quelque soit l'état de la bobine) d'un contact de KM5 empêche les autres contacts de KM5 de reprendre l'état repos. De la même façon, le collage d'un contact de KM6, empêche les autres contacts de KM6 de reprendre l'état repos

Fonctionnement du module XPS AL5110



Le module est alimenté par les bornes A1-A2 :

- Action 1 : appui sur S2 (fermeture de la boucle Y1-Y2)
Résultat : KM5 et KM6 alimentés (le circuit de sécurité est passant)
- Action 2 : relâchement de S2 (ouverture de la boucle Y1-Y2)
Résultat : KM5 et KM6 alimentés (le circuit de sécurité reste passant)
- Action 3 : appui sur S1 (désalimentation du module par les bornes A1-A2)
Résultat : KM5 et KM6 non alimentés (le circuit de sécurité est non passant)
- Action 4 : relâchement de S1 (réalimentation du module par les bornes A1-A2)
Résultat : KM5 et KM6 non alimentés (le circuit de sécurité reste non passant)

Apparition d'un défaut : un pôle de KM5 (par exemple) reste collé, le module étant alimenté par ses bornes A1-A2 et le moteur étant en fonctionnement :

↳ **Le moteur continue à fonctionner ⇒ DISPONIBILITE**

- Action 1 : appui sur S1 (désalimentation du module par les bornes A1-A2)
Résultat : KM5 et KM6 non alimentés (circuit de sécurité non passant)

↳ **L'arrêt du moteur est possible par KM6 ⇒ SECURITE**

- Action 2 : appui sur S2 (fermeture de la boucle Y1-Y2 impossible car le contact « NF » KM5 est ouvert)

Résultat : KM5 et KM6 non alimentés (circuit de sécurité non passant)

↳ **La remise en marche est impossible ⇒ SECURITE**

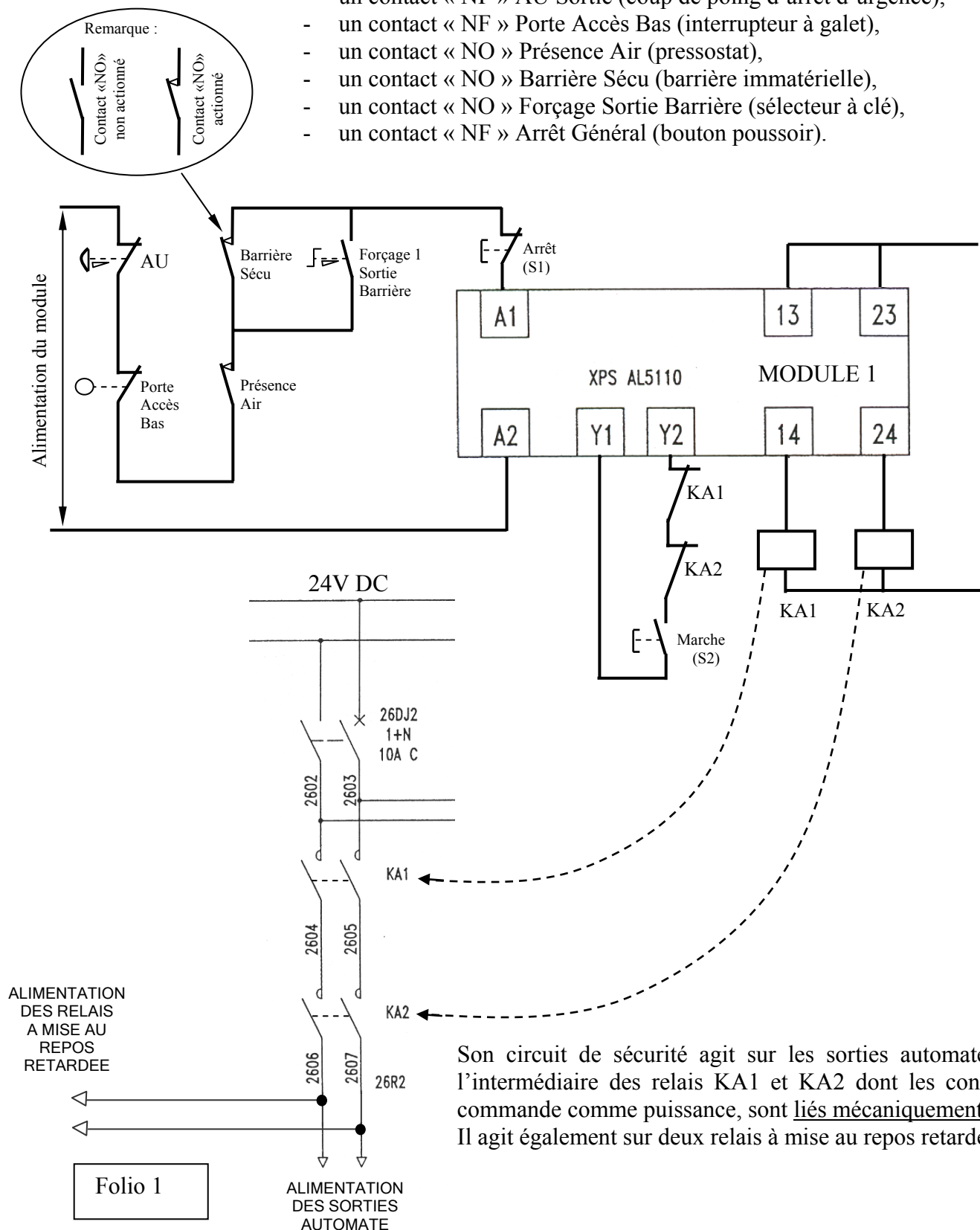
SURETE PALETTISEUR

Le palettiseur est équipé de deux modules de sécurité "PREVENTA" XPS AL5110.

Le module n°1 sécurise les sorties automate.

Son alimentation (bornes A1-A2) est assurée par :

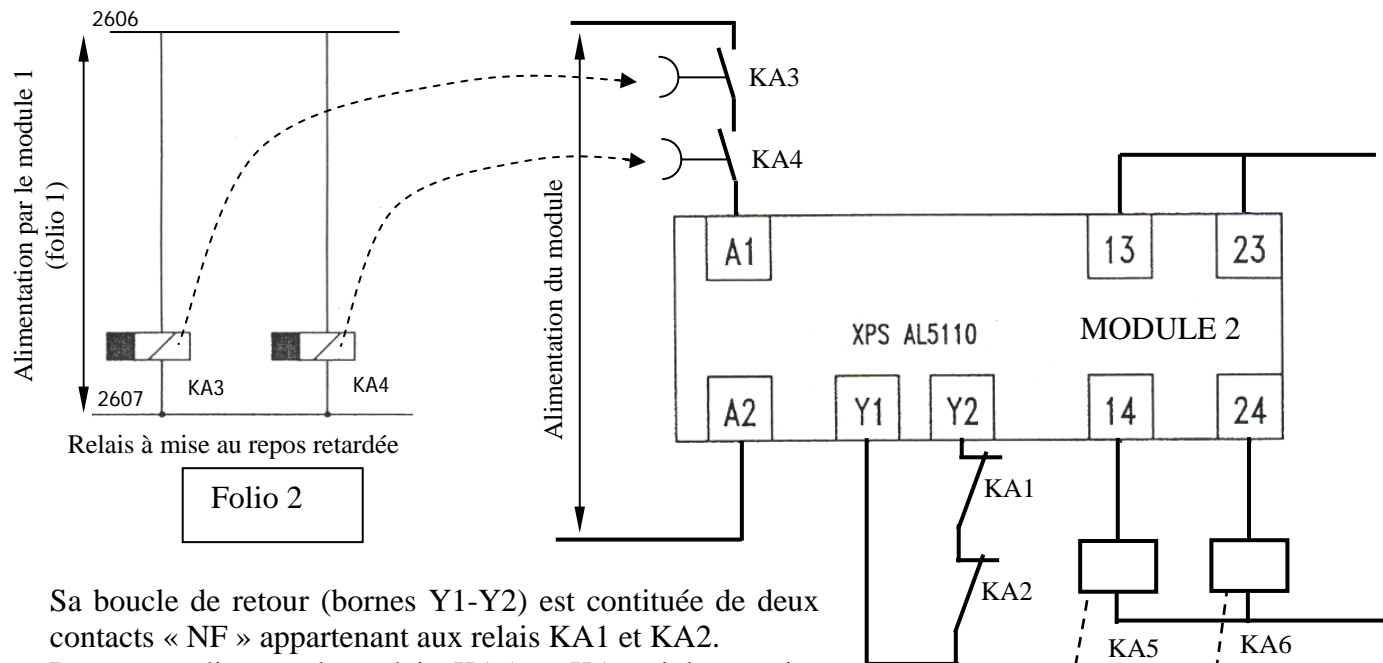
- un contact « NF » AU Sortie (coup de poing d'arrêt d'urgence),
- un contact « NF » Porte Accès Bas (interrupteur à galet),
- un contact « NO » Présence Air (pressostat),
- un contact « NO » Barrière Sécu (barrière immatérielle),
- un contact « NO » Forçage Sortie Barrière (sélecteur à clé),
- un contact « NF » Arrêt Général (bouton poussoir).



Le module n°2 sécurise les servomoteurs.

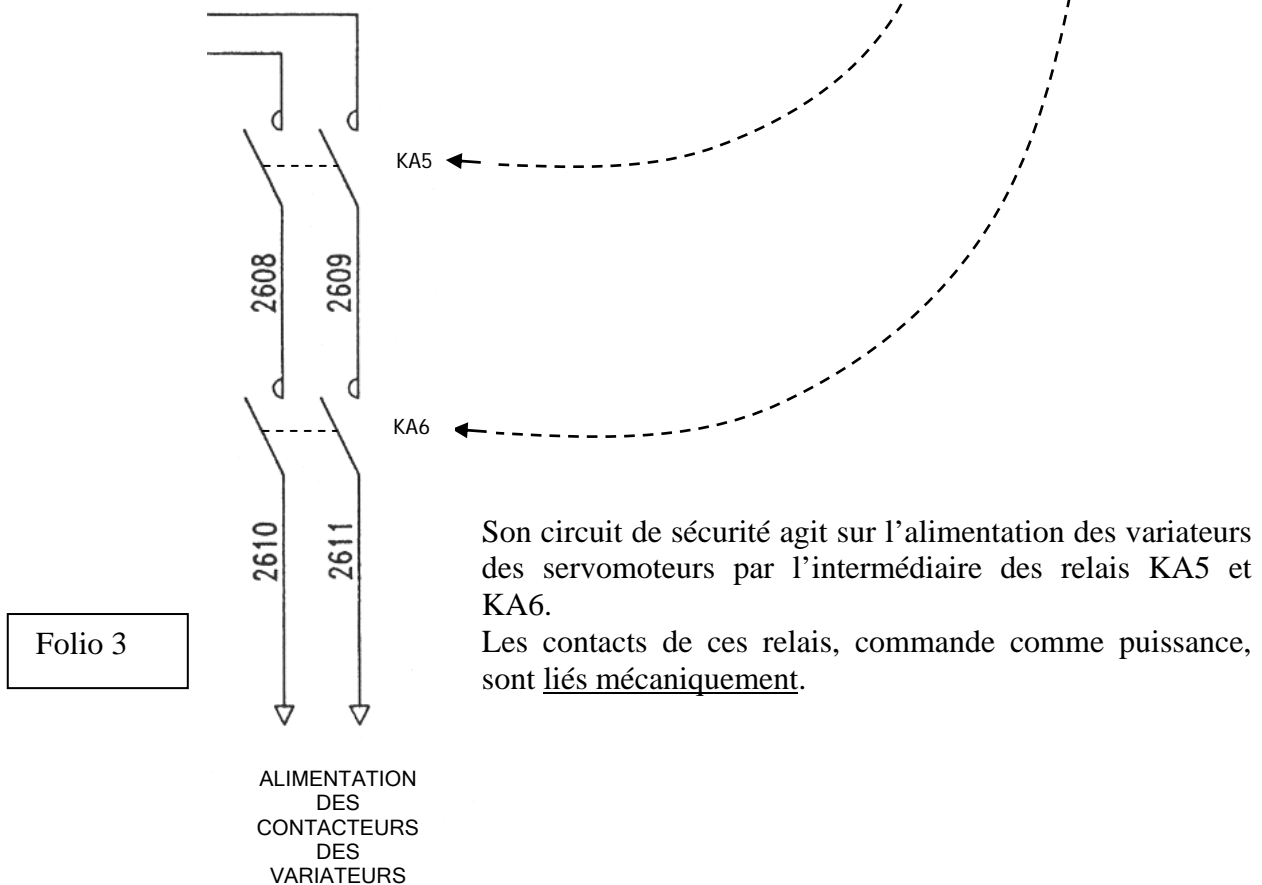
Son alimentation (bornes A1-A2) est assurée par :

- un contact « NO » du relais KA3 temporisé (mise au repos retardée),
- un contact « NO » du relais KA4 temporisé (mise au repos retardée).



Sa boucle de retour (bornes Y1-Y2) est constituée de deux contacts « NF » appartenant aux relais KA1 et KA2.

Donc, on alimente les relais KA5 et KA6 si les sorties automate sont alimentées.

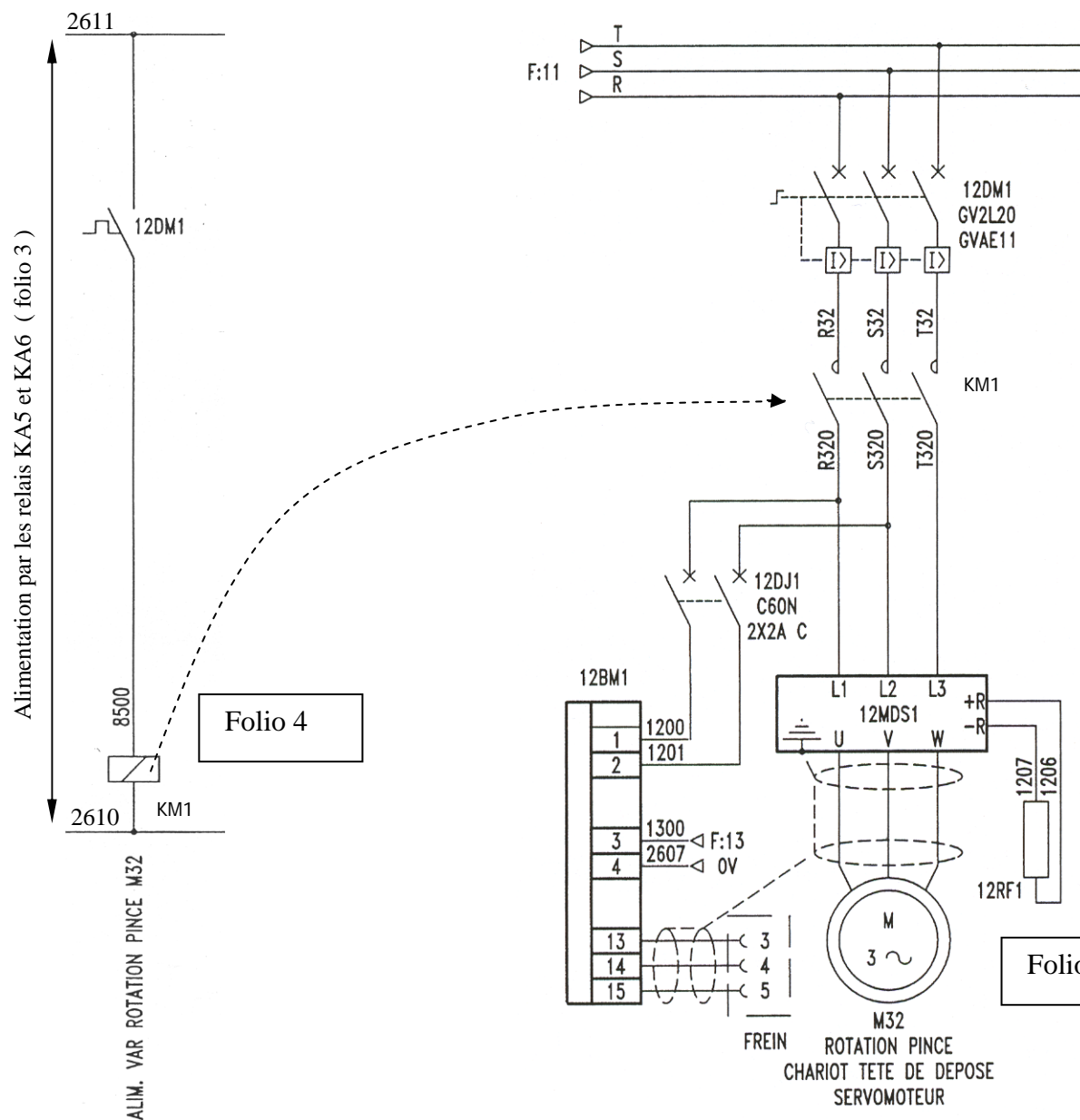


Son circuit de sécurité agit sur l'alimentation des variateurs des servomoteurs par l'intermédiaire des relais KA5 et KA6.

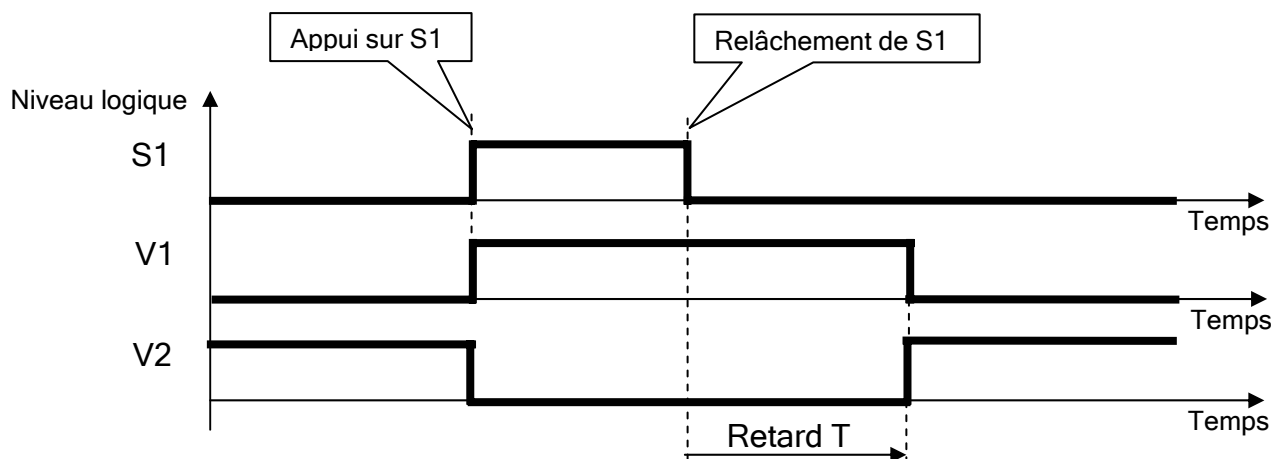
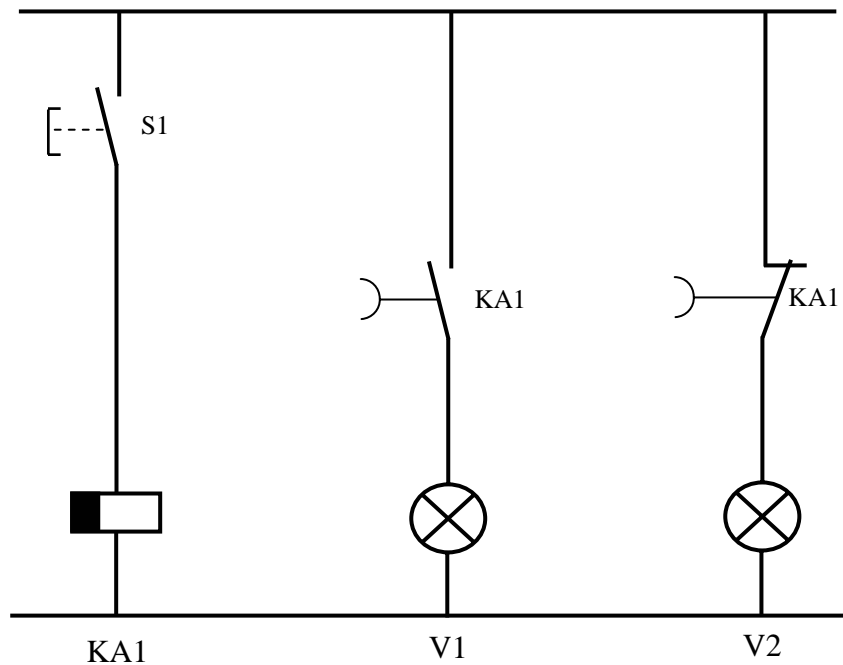
Les contacts de ces relais, commande comme puissance, sont liés mécaniquement.

Les relais KA5 et KA6 agissent sur les servomoteurs par l'intermédiaire des contacteurs KM1, KM2 et KM3.

Exemple du servomoteur de rotation de la pince (contacteur KM1) :



RELAIS A MISE AU REPOS RETARDEE



LIAISON API ↔ VARIATEURS PAR RESEAU PROFIBUS

Le pilotage des déplacements de la tête par l'automate est réalisé grâce à un échange de données entre les variateurs et l'automate via le réseau. En effet, chaque variateur possède des variables qui décrivent son état de fonctionnement et d'autres qui lui fournissent des commandes.

Les variables d'état de chaque variateur sont en permanence lues par l'automate et stockées dans les tables dédiées à chaque variateur : « Yrot » (document technique « DT17 » : table de rotation de la tête), « Ztr » et « Xtr ». Les variables de commandes stockées dans ces tables (« DT17 ») sont régulièrement envoyées vers les variateurs afin de les piloter.

Lorsque la consigne de positionnement est atteinte (« Pos »= « Cons ») le variateur détecte cet événement et arrête automatiquement le mouvement sans intervention de l'automate. Simultanément, il positionne l'indicateur d'état « CibleOk » de sa table à 1.

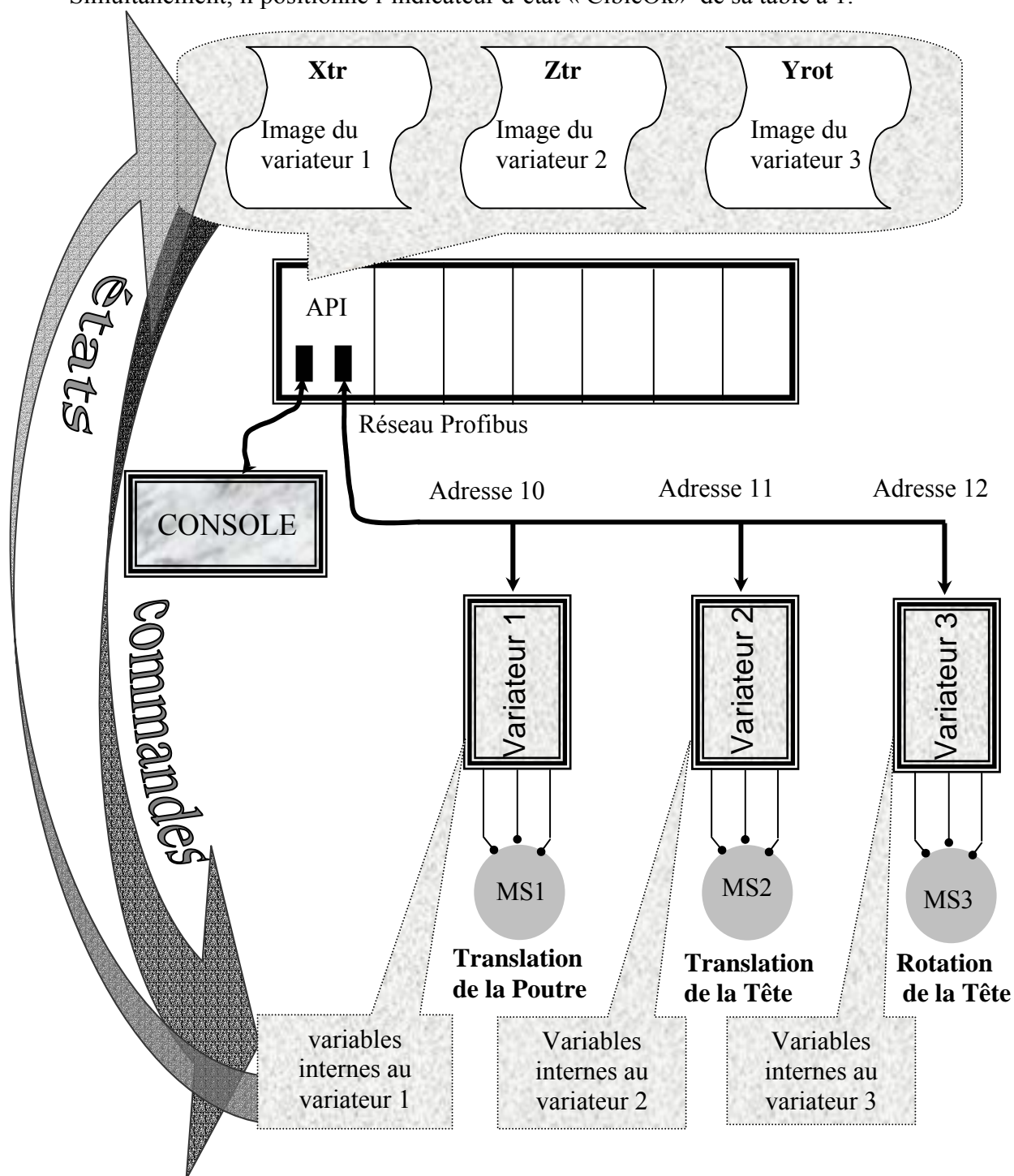


Table de rotation de la tête « Yrot »

Yrot	Mnémonique	type	Valeur courante	Valeur initiale	commentaire
Etats du variateur	Défaut	bit		0	Indicateur positionné à 1 si le variateur est en défaut
	NumDéf	entier		...	non utilisé ici....
	Prêt	bit		0	Indicateur positionné à 1 si le variateur est prêt (alimentation et circuits internes corrects)
	Pos	entier	215	0	Position actuelle de la tête en rotation
	CibleOk	bit		0	Indicateur positionné à 1 si {Pos = Cons}
	CdeOk	bit		0	Indicateur positionné à 1 si le variateur a terminé l'enregistrement d'une commande envoyée par le réseau.
Commandes du variateur	ArretRapide	bit		...	non utilisé ici
	Arret	bit		...	non utilisé ici
	ImmobilePosit	bit		...	non utilisé ici
	Reset	bit		...	non utilisé ici
	Cons	entier	222	0	Consigne de positionnement de la translation de la poutre
	Cde	entier		0	Commande à exécuter par le variateur (voir tableau ci-dessous)

La variable « Cons » de cette table s'appelle « YrotCons »

La variable « Défaut » de cette table s'appelle « YrotDéfaut », Etc...

Valeurs du Paramètre « Commande »

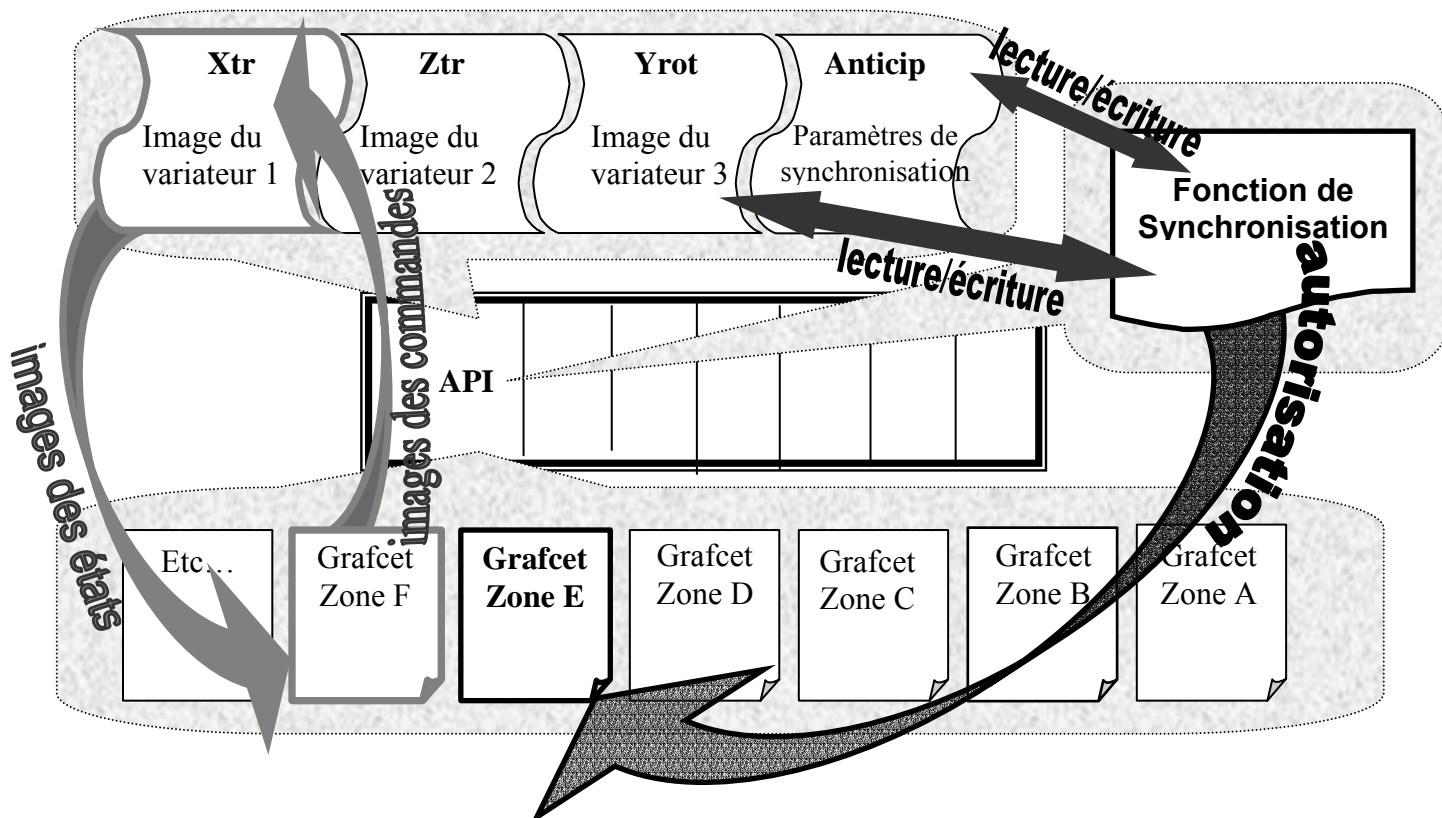
Valeur de paramètre	Commande que doit exécuter le variateur
0	Demande d'initialisation de tous les paramètres du variateur
1	Demande de prise d'origine du mouvement
2	Demande de prise en compte d'une nouvelle consigne de positionnement
3	Demande de mise en mouvement du variateur vers la consigne de positionnement
4	Demande de passage en mode manuel
5	Demande de passage en mode apprentissage

Exemple : Si YrotCde vaut 1, le tête de dépose sera placée en position initiale par le variateur sans intervention de l'automate grâce à cette demande de prise d'origine.

ORGANISATION DE LA PROGRAMMATION

Chaque zone de la machine est gérée par son propre grafcet. Au démarrage, les étapes initiales de tous les grafquets sont activées.

Ainsi chaque zone évolue à son rythme excepté aux instants où les mouvements de ses effecteurs dépendent de la zone précédente ou suivante.



PRINCIPE DE SYNCHRONISATION DES ZONES E ET F PAR ANTICIPATION.

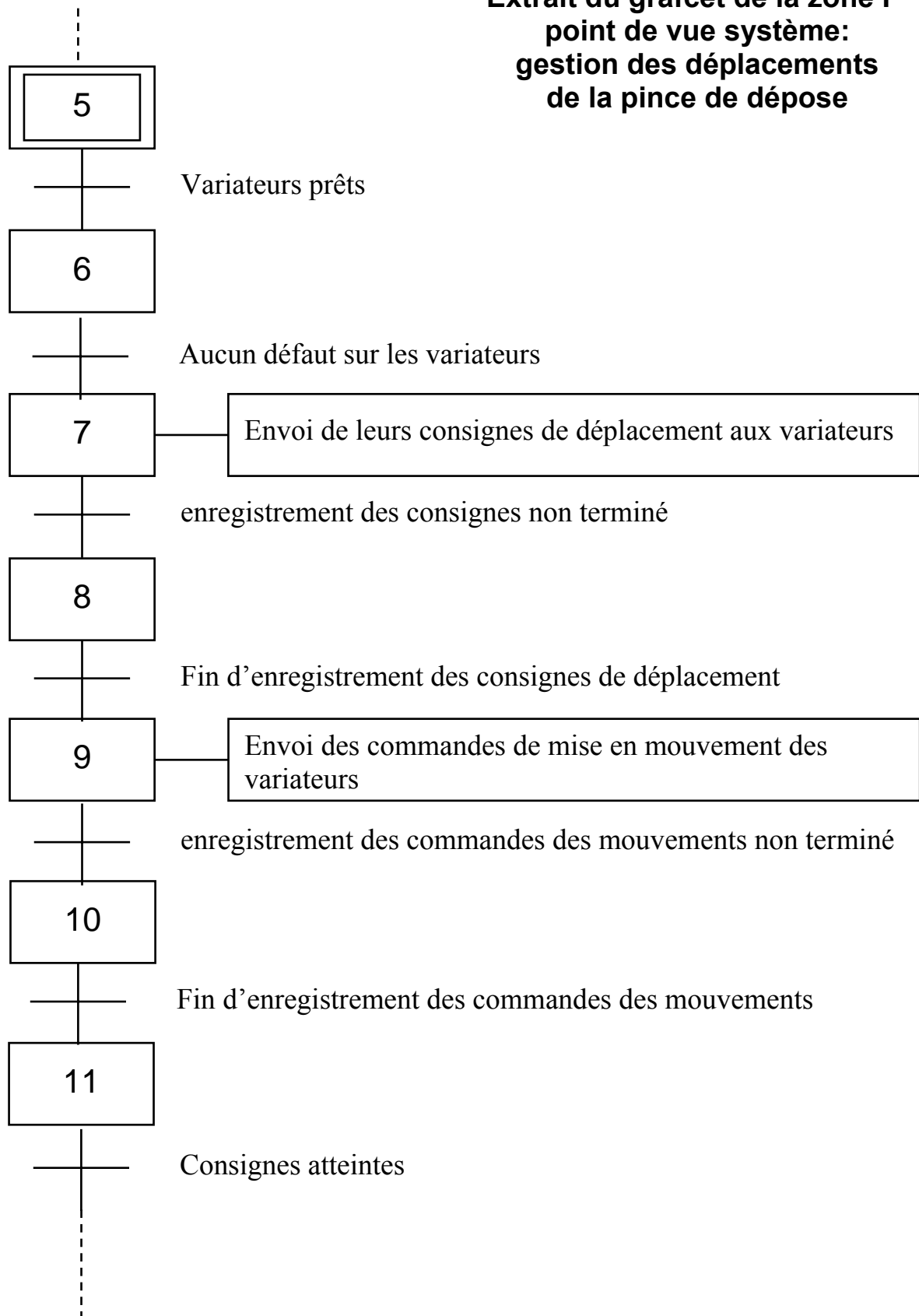
La synchronisation a lieu lorsque les déplacements de la tête atteignent chacun une position dite d'anticipation déterminée grâce aux échanges entre les tables de données et la fonction « synchronisation » (voir ci-dessus).

L'autorisation d'alimentation en fardeau du tapis lanceur peut alors être envoyée au grafcet de la zone E (voir schéma ci-dessus).

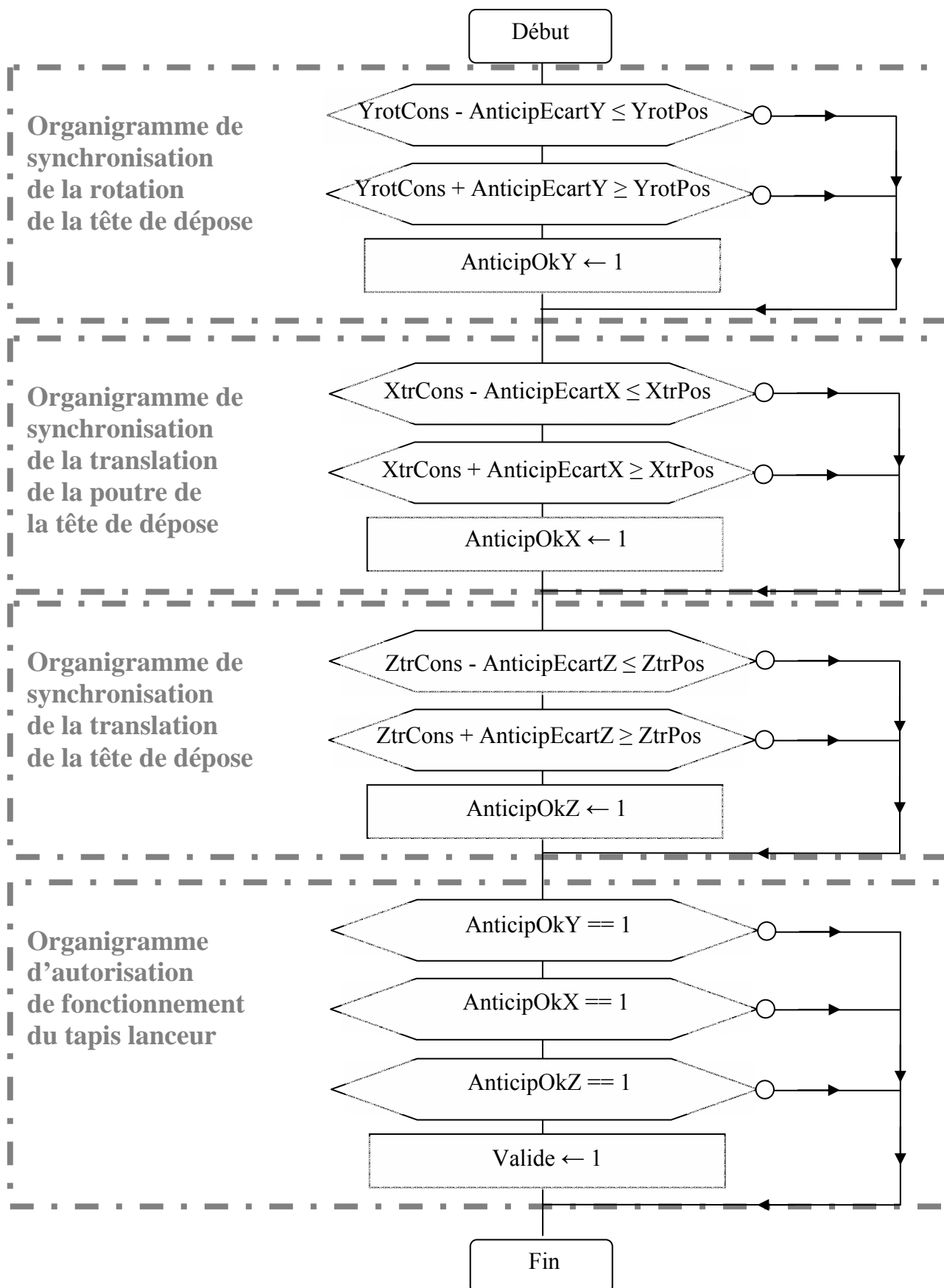
La structure de la table « Anticip » est donnée sur le document réponse « DR12 ».

Les tables de translation de la poutre « Xtr » et de translation de la tête « Ztr » ont exactement la même structure que « Yrot » : elles contiennent les mêmes variables mais la valeur de ces variables dépend des mouvements de translation de la poutre et de la tête.

**Extrait du grafcet de la zone F
point de vue système:
gestion des déplacements
de la pince de dépose**



Organigramme complet de synchronisation des zones E et F



Positions respectives du tapis et de la tête de dépose lors de la synchronisation par anticipation

La tête de dépose n'a pas atteint la position de réception d'un fardeau (O, X, Y, Z). Elle a néanmoins atteint la position d'anticipation qui permet de démarrer le tapis lanceur. Les déplacements de rotation de la tête, de translation de la tête et de translation de la poutre se poursuivent jusqu'à la position de réception tandis que le fardeau est accéléré.

