

# **BTS CONCEPTION ET RÉALISATION DE SYSTÈMES AUTOMATIQUES**

## **E52 Conception détaillée d'un système automatique**

**2025**

### **SUJET**

**Durée : 4 h 00**

**Coefficient : 3**

L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé.  
L'usage de calculatrice sans mémoire « type collègue » est autorisé.

Ce document comporte 23 pages, numérotées de 1/23 à 23/23.  
Dès que ce document vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Les feuilles de copie et les documents réponses seront rendus en respectant  
la chronologie du sujet.

Les pages 19 à 23 sont à rendre avec la copie

# PRÉSENTATION GÉNÉRALE

## Introduction

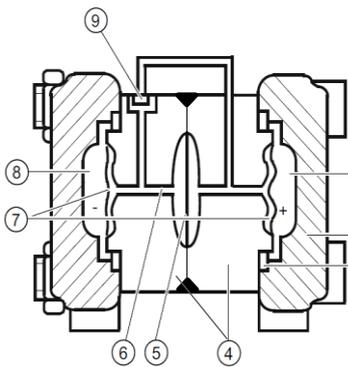
La société Siemens basée à Haguenau (67) fabrique, entre autres, une large gamme de capteurs de pression différentielle.

Deux pièces constituent le « corps de la cellule de mesure » (repère 4 figure ci-dessous). Elles sont appelées « pièces centrales ». Elles se déclinent en plus de 80 références différentes couvrant une plage de diamètre extérieur allant de 45 mm à 75 mm.

Ces deux pièces distinctes sont usinées par tournage puis lavées. Une membrane très fine permettant la mesure de la pression est soudée sur chacune des deux pièces, avant que ces dernières soient elles-mêmes soudées l'une sur l'autre.



Corps de la cellule de mesure :  
2 pièces centrales usinées et soudées



(Extrait de la documentation Siemens)

- |   |                               |   |                                    |
|---|-------------------------------|---|------------------------------------|
| ① | Pression d'entrée P.          | ⑥ | Liquide tampon                     |
| ② | Flasque                       | ⑦ | Membrane de séparation             |
| ③ | Joint torique                 | ⑧ | Pression d'entrée P.               |
| ④ | Corps de la cellule de mesure | ⑨ | Capteur de pression différentielle |
| ⑤ | Membrane de surcharge         |   |                                    |

Les 2 pièces centrales constituant le corps de la cellule de mesure



La variété des références disponibles et la flexibilité nécessaire dans la production conduit l'entreprise à développer une zone de stockage des deux pièces centrales entre les opérations de tournage, de lavage et de soudage.

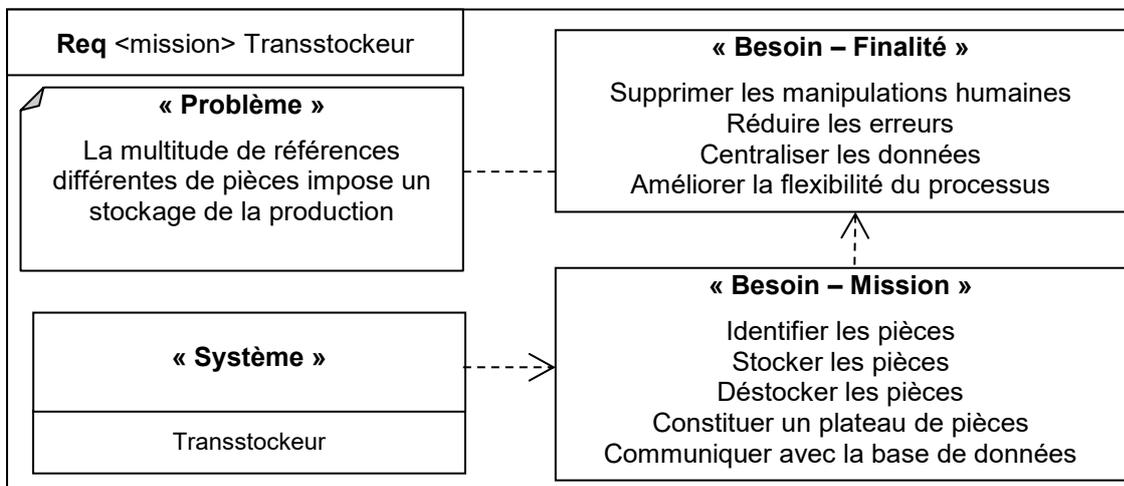
Il est attendu que le système puisse stocker 6 400 pièces.

Par ailleurs, au moment de l'usinage, chaque pièce est gravée d'un numéro de référence qui lui est propre. Il est attendu que le système puisse identifier les pièces en scannant chacune d'elle et en alimentant une base de données informatique.

Enfin, le système doit être en mesure de déstocker les pièces pour être acheminées vers la zone de soudage.

Dans la suite de l'étude, le système sera nommé « **Transstockeur** ».

## Mission du système :



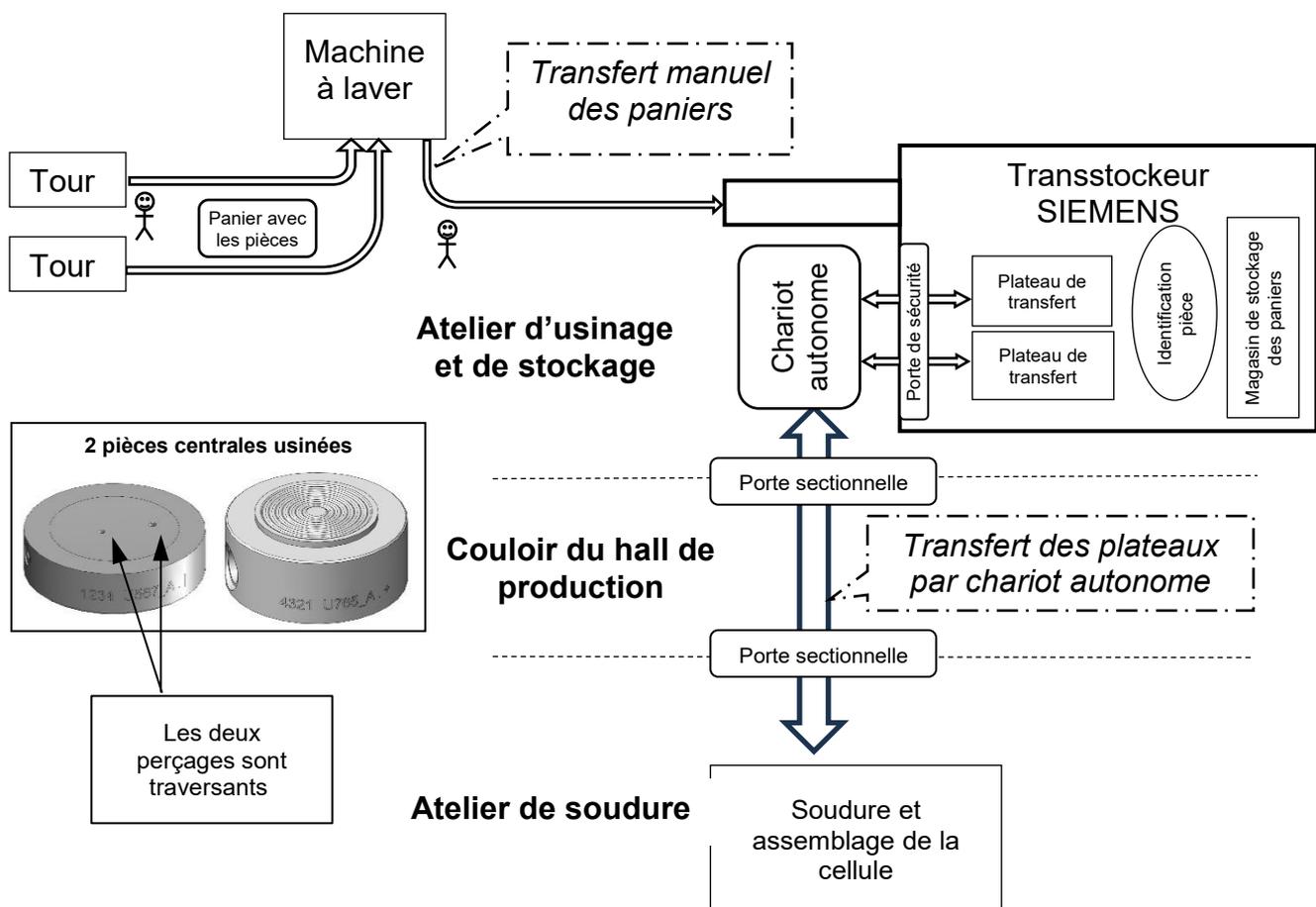
## Mise en situation

Le processus dans lequel s'inscrit le Transstockeur est le suivant (voir synoptique ci-dessous) :

- les pièces centrales sont usinées sur les tours à commande numérique à partir de lopins d'acier inoxydable amagnétique (nuance X2 Cr Ni Mo 17-12-2) ;
- elles sont placées dans des paniers qui sont transférés manuellement dans la machine à laver ;
- les pièces contenues dans le panier sont lavées ;
- le panier est transféré manuellement vers le transstockeur qui le stocke dans le magasin ;
- les pièces sont identifiées par lecture optique de la référence gravée puis déstockées sur un plateau de transfert ;
- le plateau de transfert est convoyé vers l'atelier de soudure grâce à un chariot autonome ; le chariot doit franchir les portes sectionnelles de l'atelier et traverser le couloir central du hall de production ;
- les membranes sont soudées sur les pièces centrales ;
- les deux pièces centrales sont assemblées par soudure puis livrées à l'atelier de montage final.

Il est à noter que certaines données et valeurs sont couvertes par le secret industriel. Elles ont été modifiées dans ce sujet.

## Synoptique de mise en situation :



## Description

Le transstockeur a pour fonction de stocker les pièces centrales, les identifier, préparer les plateaux de transfert et communiquer avec la base de données de l'entreprise.

Plusieurs pièces, placées dans des paniers métalliques, sont transférées manuellement de la machine à laver vers le convoyeur de paniers du transstockeur. Un robot de stockage saisit les paniers et les positionne dans l'un des emplacements du magasin.

Pour l'opération d'identification des pièces, le panier est ressorti du stock par le robot de stockage et déposé dans une zone d'attente intermédiaire. Un manipulateur de transfert saisit les pièces une à une pour être identifiées par un système de lecture du numéro de série sur une station d'identification.

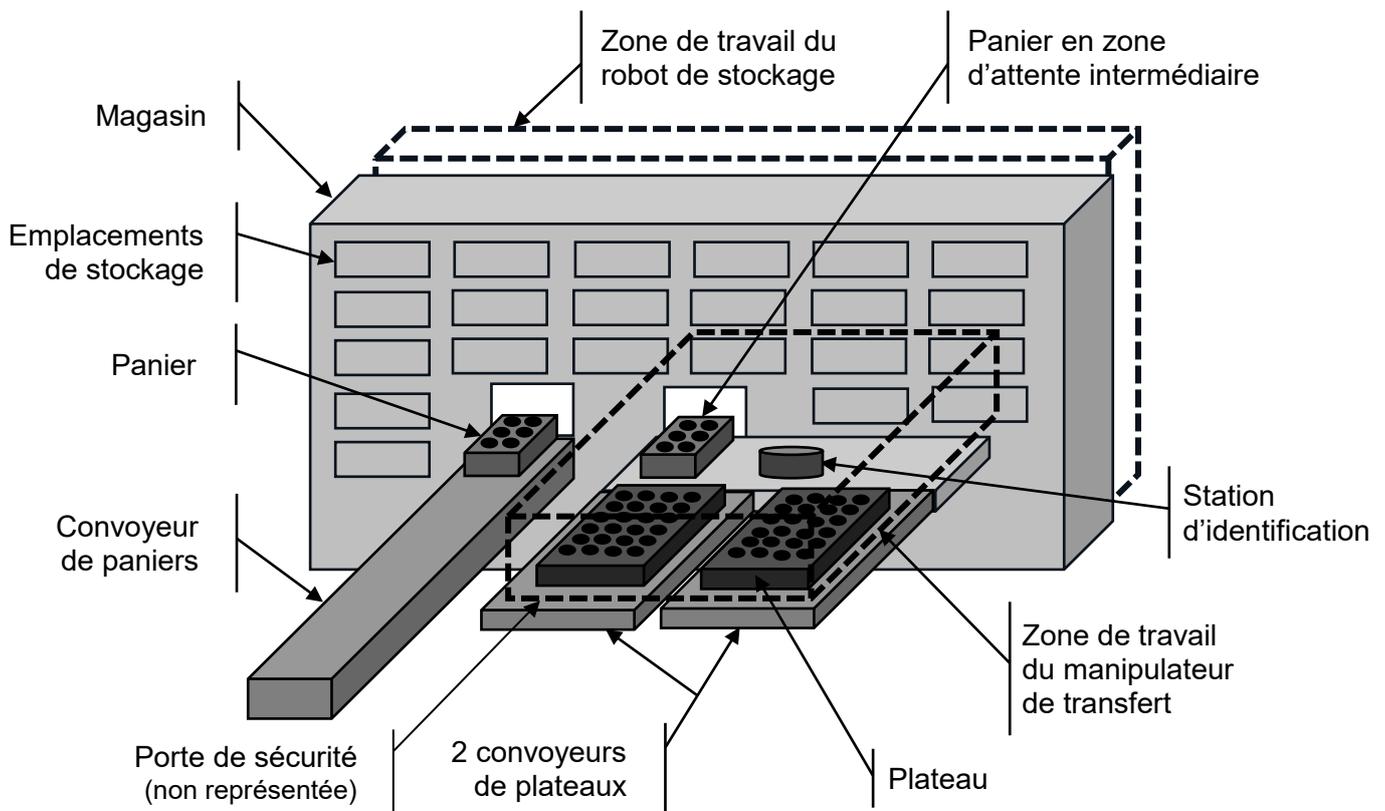
À la fin de l'opération d'identification, la pièce est replacée dans le panier et la base de données est mise à jour. Lorsque tout le panier a été traité, il est replacé dans le magasin.

Pour l'opération de déstockage, le logiciel de supervision de la production ordonne le placement des pièces sur un plateau de transfert : le robot de stockage saisit le panier contenant la ou les pièces commandées, le dépose dans la zone d'attente intermédiaire et le manipulateur de transfert vient placer les pièces commandées sur le plateau de transfert.

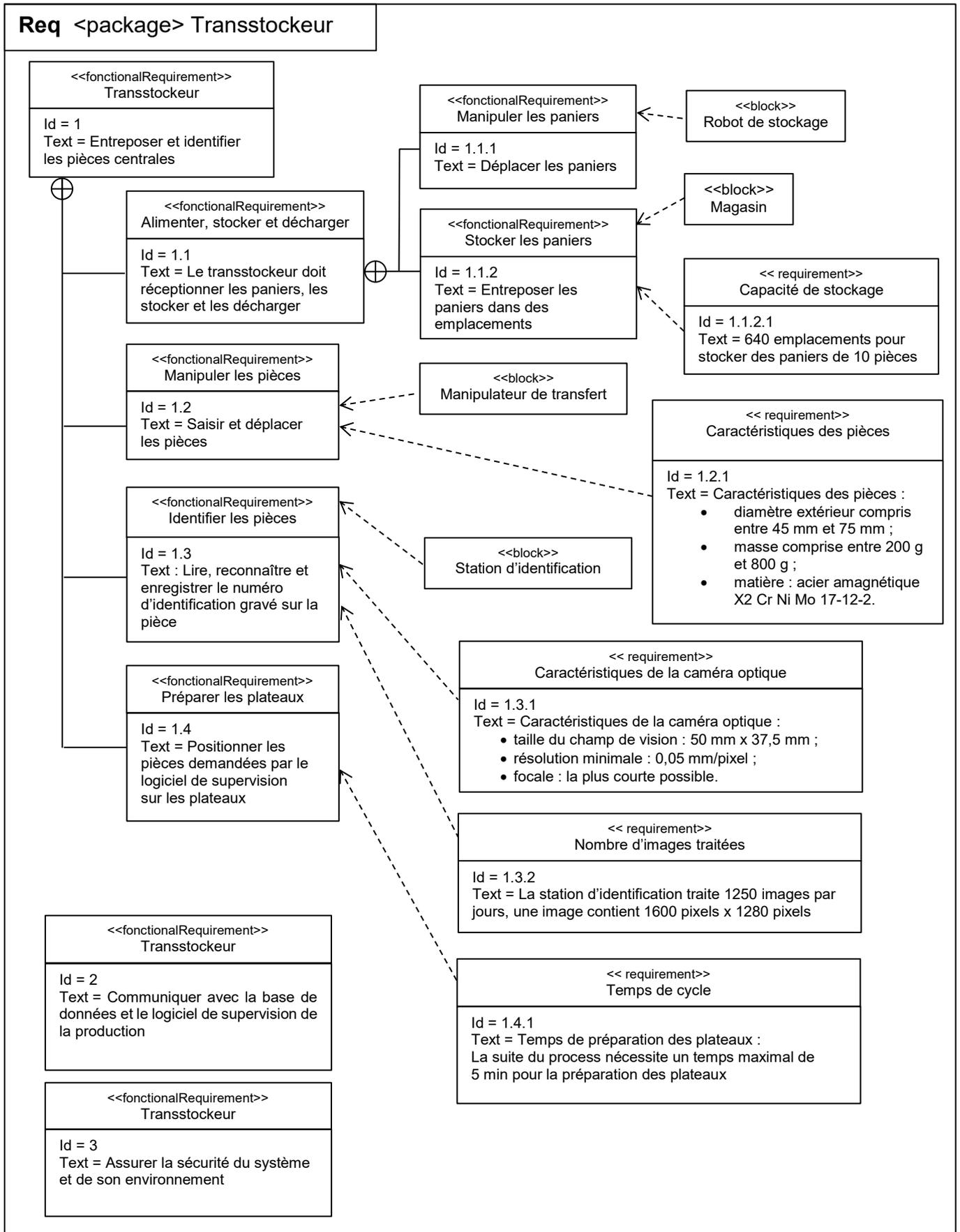
Quand toutes les pièces sont sur le plateau, la porte de sécurité du transstockeur s'ouvre, le convoyeur de plateaux transfère le plateau plein pour le charger sur le chariot autonome. Le chariot autonome attend l'ouverture de la porte sectionnelle, quitte le transstockeur, traverse le couloir et attend l'ouverture de la deuxième porte sectionnelle avant de décharger le plateau sur le poste de soudage.

Le chariot autonome retourne vers le transstockeur en emportant un plateau vide. Ce plateau vide est déchargé sur le convoyeur de plateaux libre du transstockeur.

## Schématisation du transstockeur Siemens

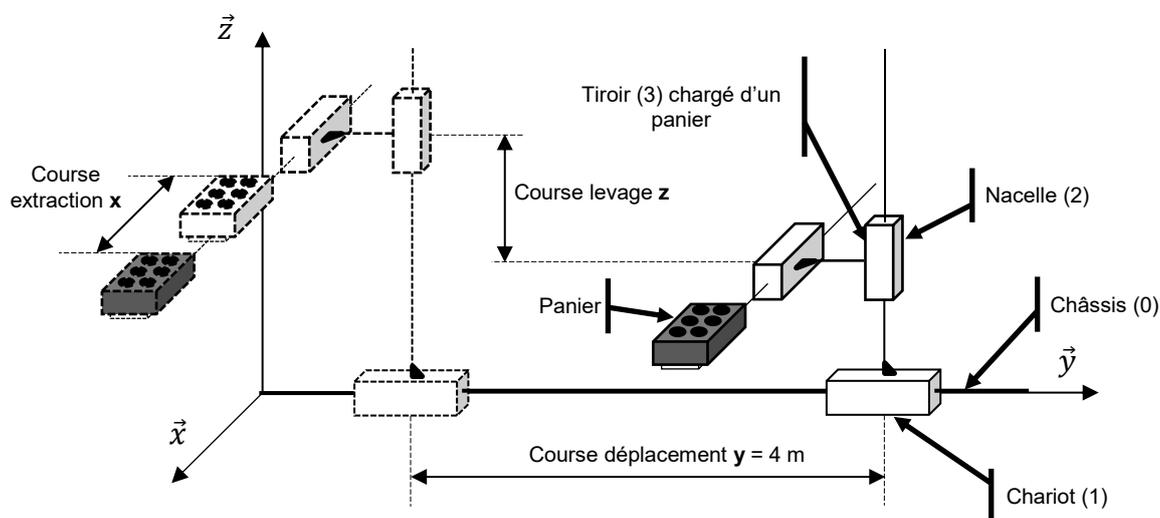


# Définition des besoins



## Partie 1 – Choix codeur

La conception préliminaire a permis d'aboutir au choix du moteur entraînant l'axe Y du robot transtockeur.



Le déplacement total du chariot suivant la direction  $\vec{y}$  est de 4000 mm. À chaque tour de poulie motrice, le déplacement est de 250 mm. Une précision de positionnement de 0,1 mm est exigée pour le chariot.

Le codeur est fixé sur l'arbre moteur. Un réducteur de vitesse d'un rapport de transmission de 1/7 est intercalé entre le moteur et la poulie motrice.



Cette machine fonctionne 24h sur 24h et est rarement mise à l'arrêt. La prise de position initiale se fera à chaque mise sous tension de l'équipement. Le panier sera remis en position initiale. Le compteur permettant de connaître le déplacement du panier sera alors remis à zéro. On choisit, dès lors, un codeur incrémental.

C : Codeur
M : Moteur
R : Réducteur
P : Poulie

**Question 1.** (sur feuille de copie à l'aide du document ressources n° 1)

Calculer la résolution du codeur en points par tour pour atteindre l'exigence de précision.

**Question 2.** (sur feuille de copie, à l'aide du document ressources n° 1)

Donner la référence du codeur choisi. Justifier votre réponse.

**Question 3.** (sur feuille de copie)

La société a choisi un codeur avec une résolution de 512 points par tour.

Calculer la nouvelle précision obtenue.

**Question 4.** (sur feuille de copie)

Calculer le nombre de tours fait par le codeur lorsque le chariot se déplace d'un bout à l'autre de sa course.

**Question 5.** (sur feuille de copie)

Calculer le nombre de points générés par le codeur pour un tel déplacement.

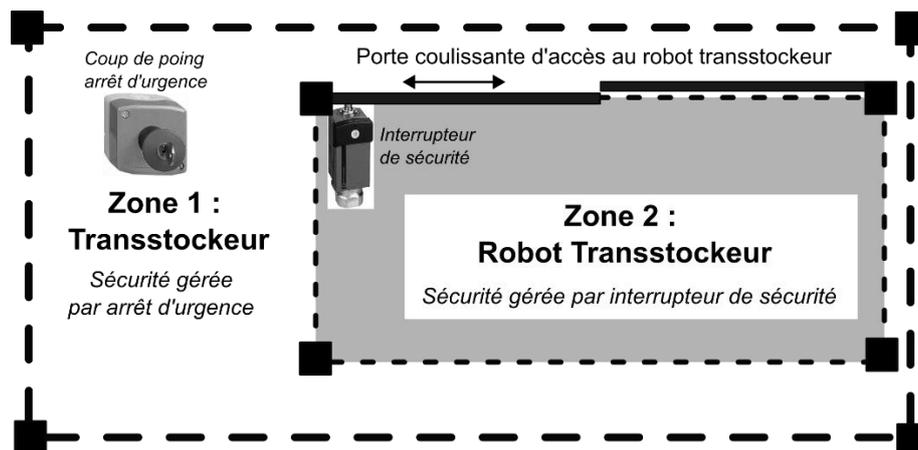
**Question 6.** (sur feuille de copie, à l'aide du document ressources n° 1)

Indiquer le type de variable à utiliser si l'on souhaite mémoriser le nombre de points générés par le codeur pour un tel déplacement. Justifier.

## Partie 2 – Étude de la sécurité

Le système transstockeur comprend des éléments mobiles animés par des moteurs électriques. Le risque mécanique est lié au mouvement des parties mobiles.

La gestion de la fonction sécurité est traitée par un découpage en 2 zones du transstockeur.



La zone 1 « transstockeur » possède un arrêt d'urgence de type « coup de poing ».

Pour la zone 2 « robot transstockeur », la conception du système a conduit à placer à l'arrière du transstockeur un protecteur équipé d'une porte afin d'en permettre l'accès aux équipes de maintenance.

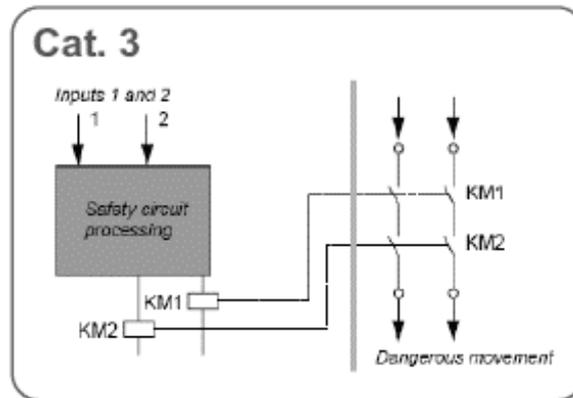
Ce protecteur sera équipé d'un interrupteur de sécurité qui satisfait aux exigences des normes EN ISO 14119 et EN ISO 13849-1.

Gestion de la sécurité :

- **ZONE 1** : ce dispositif d'arrêt d'urgence agit sur l'ensemble du système en stoppant tous les actionneurs du transstockeur y compris ceux du robot transstockeur en zone 2 ;
- **ZONE 2** : ce protecteur, surveillé par un capteur de sécurité, stoppera uniquement les actionneurs de la zone « robot transstockeur ».

L'analyse de risques conduit aux résultats suivants :

- niveau de performance requis : **PLr = d**
- défaillance de cause commune : **CCF > 65**
- schéma de câblage en **catégorie 3**



L'étude de sécurité qui suit ne portera que sur la zone 1 et consistera à déterminer le niveau de performance (PL) qui devra être supérieur ou égal au niveau de performance requis (PLr).

La chaîne de sécurité de la zone 1 est constituée :

- d'un arrêt d'urgence actionné en moyenne une fois par jour ;
- d'un module de sécurité PILZ :  $MTTF_d = 100$  ans ;
- de deux contacteurs KM1 et KM2 permettant l'arrêt des moteurs du robot transstockeur actionnés en moyenne 6,6 fois par jour.

L'entreprise fonctionne 365 jours par an.

**Question 7.** (sur document réponses 1, à l'aide du document ressources n° 2)

*Déterminer le temps moyen  $MTTF_d$  avant défaillance dangereuse de l'arrêt d'urgence. Compléter le tableau.*

**Question 8.** (sur document réponses 1, à l'aide du document ressources n° 2)

*Déterminer le temps moyen  $MTTF_d$  avant défaillance dangereuse des contacteurs de mise hors tension KM1 et KM2. Compléter le tableau.*

**Question 9.** (sur feuille de copie, à l'aide du document ressources n° 2)

Les contacteurs KM1 et KM2 fonctionnent en redondance. Un seul des deux sera pris en compte pour le calcul du  $MTTF_d$  global.

*Calculer le  $MTTF_d$  global des éléments de la chaîne de sécurité. En déduire sa classification.*

Pour la suite, on fixe les valeurs suivantes :

- un temps moyen  $MTTF_d$  de 100 ans si la valeur est supérieure ;
- les valeurs de couverture de diagnostic DC

<b>Composants ATU</b>	<b>DC1</b>
3SU1100-1HB20-1CJ0	99%
<b>Composants KM</b>	<b>DC2</b>
3RT2018-1AB01	70%
<b>Module PILZ</b>	<b>DC3</b>
3RT2018-1AB01	99%

**Question 10.** (sur feuille de copie, à l'aide du document ressources n° 3)

*Calculer la valeur de couverture moyenne  $DC_{avg}$ . En déduire sa classification.*

**Question 11.** (sur feuille de copie, à l'aide du document ressources n° 3)

*Déterminer le niveau de performance (PL) en tenant compte des valeurs de  $DC_{avg}$  et  $MTTF_d$  calculées précédemment ainsi que de la catégorie du schéma de câblage.*

*Comparer-le au  $PL_r$  (requis).*

*La sécurité est-elle assurée ? Justifier.*

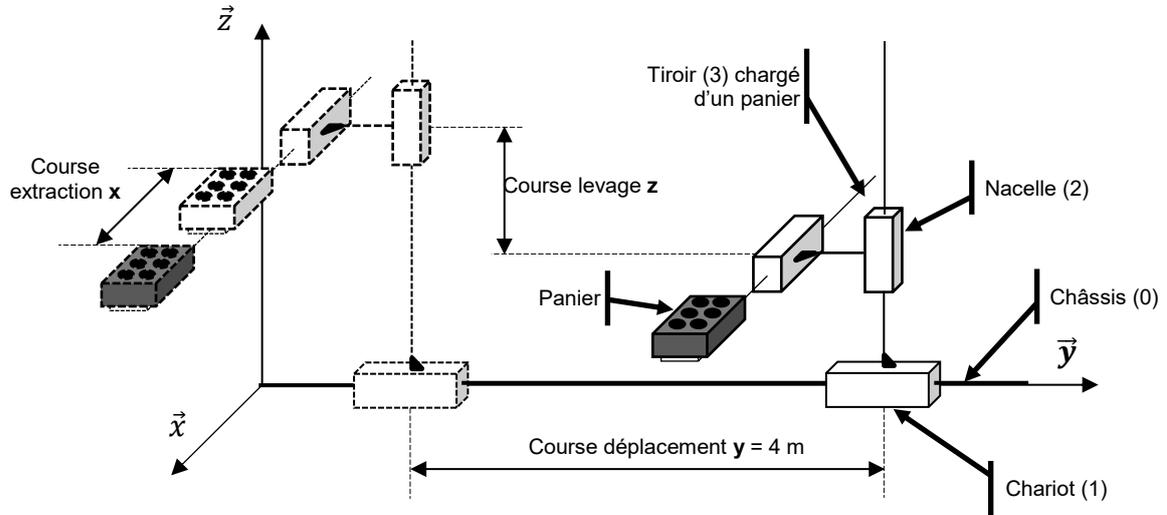
**Question 12.** (sur document réponses 2, à l'aide du document ressources n° 4)

Compléter le schéma de commande pour la zone 1, en plaçant :

- un Bouton d'arrêt d'urgence SATU ;
- un Bouton poussoir de réarmement : SREA ;
- les contacteurs KM1 et KM2 ;
- l'alimentation 24V DC ;
- une information vers l'automate.

## Partie 3 – Étude de la prise et de la dépose du panier

Le magasin des paniers pourrait être représenté comme ci-dessous :



Le robot transstockeur doit effectuer les mêmes opérations de stockage.

Depuis une position initiale (coordonnées  $X_{init}$ ,  $Y_{init}$ ,  $Z_{init}$ ), Il doit se déplacer selon les nouvelles coordonnées ( $Y$ ,  $Z$ ) déposer le panier grâce à l'axe  $X$ , puis revenir en position initiale.

**Question 13.** (sur document réponses 3)

Compléter le grafcet d'un cycle de stockage en utilisant les termes suivants :

- déplacer le robot transstockeur en ( $Y$ ,  $Z$ ) ;
- reculer le robot transstockeur en  $X_{init}$  ;
- robot transstockeur en  $X_{init}$  ;
- avancer le robot transstockeur en  $X_{max}$  ;
- charger le panier ;
- déplacer le robot transstockeur en ( $Y_{init}$ ,  $Z_{init}$ ) ;
- robot transstockeur en  $Y$ ,  $Z$  ;
- robot transstockeur en  $X_{max}$  ;
- décharger le panier ;
- robot transstockeur en ( $Y_{init}$ ,  $Z_{init}$ ) ;
- panier déchargé.

La séquence des actions décrite par le grafcet précédent est assurée par la programmation d'un bloc fonctionnel assurant le pilotage des mouvements du robot transstockeur.

**Question 14.** (sur document réponses 3)

Placer correctement les variables d'entrée et de sortie permettant la gestion des mouvements d'après la liste suivante :

- consigne  $Y$  ;
- mouvement en  $Z$  ;
- chargement panier ;
- position mesurée  $Y$  ;
- position mesurée  $Z$  ;
- fin de déplacement ;
- ordre de déplacement ;
- mouvement en  $X$  ;
- mouvement en  $Y$  ;
- consigne  $Z$  ;
- position mesurée  $X$  ;
- déchargement panier.

## Partie 4 – Modes de marche et d'arrêt

Avant tout démarrage, le robot transstockeur qui stocke et déstocke des paniers, doit être en position d'origine. Pour atteindre cette position, il faut actionner le bouton « **INIT** » sur l'IHM. Cette partie ne sera pas traitée.

Avant tout démarrage, le robot est dans l'état « **robot initialisé** ».

En cycle normal, après que l'opérateur ait appuyé sur le bouton « **Démarrer** », le robot transstockeur stocke et déstocke des paniers.

L'opérateur a ensuite le choix :

- soit de mettre en pause la machine en appuyant sur le bouton « **Pause** » afin d'assurer la « **mise en pause** » du robot transstockeur. Pour reprendre le cycle il faut appuyer sur le bouton « **Reprise** » ;
- soit de laisser le cycle se terminer en appuyant sur le bouton « **Fin de Cycle** ». Dans ce cas-là, la machine termine son cycle « **stocker / déstocker le panier en cours** ».

Un graphe GEMMA partiel illustre le cheminement du cycle « stocker / déstocker le panier en cours ».

**Question 15.** (sur document réponses 4)

*Compléter l'extrait du GEMMA partiel.*

**Question 16.** (sur document réponses 4)

*Compléter l'extrait du GRAFCET de CONDUITE correspondant au GEMMA partiel.*

On doit réaliser l'écran de l'IHM pour cette partie du grafcet de conduite.

**Question 17.** (sur document réponses 5)

*Compléter le tableau « Messages » avec tous les messages du grafcet de conduite en dessinant si besoin les messages sur l'IHM.*

*Dessiner tous les boutons nécessaires sur l'IHM et compléter le tableau « Boutons ».*

## PARTIE 5 - Étude du réseau de communication

L'architecture du réseau est représentée dans le Document ressources n° 6. La notation CICR des masques de sous réseaux est expliquée dans le Document ressources n° 5.

On souhaite faire communiquer le réseau transstockeur avec le réseau base de données. Pour ce faire chaque réseau doit donc posséder une adresse de passerelle. Par convention, cette adresse est l'avant dernière disponible sur le réseau.

**Question 18.** *(Sur feuille de copie)*

*Justifier les adresses de passerelles nécessaires aux deux réseaux.*

**Question 19.** *(Sur feuille de copie)*

*Justifier si le choix du masque de sous réseau permet l'ajout d'un IHM, sachant que la première et les deux dernières adresses ne sont pas disponibles.*

**Question 20.** *(Sur feuille de copie)*

*Proposer une solution sans changer la configuration matérielle.*

## Document ressources 1

### Codeur incrémental

## Encoder RSI 58H

Référence	Résolution (PPR)
7951110	256
7951126	512
7951135	1024
7951138	2048
7951141	4096



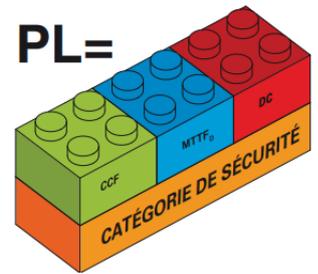
### Les différents types de variables

Types de données	Limite inférieure	Limite supérieure	Espace mémoire	Commentaires
BOOL	0	1	2 bits	-
WORD	0	65 535	16 bits	Mot
DWORD	0	4 294 967 295	32 bits	Double mot
INT	- 32 768	32 767	16 bits	INT ou « integer » entier signé
UINT	0	65535	16 bits	Entier non signé
DINT	- 2 147 483 648	2 147 483 647	32 bits	Double entier signé
UDINT	0	4 294 967 295	32 bits	Double entier non signé
REAL	- 3,402823 e+38	3,402823 e+38	32 bits	Réel ou flottant

## Document ressources 2

Pour l'évaluation du niveau de performance (**PL**) d'un système de contrôle, il est nécessaire de définir plusieurs paramètres :

- la durée moyenne, exprimée en années de fonctionnement, avant défaillance dangereuse (**MTTF<sub>d</sub>**) ;
- la couverture du diagnostic du système (**DC**) ;
- la défaillance de cause commune du système (**CCF**).



**Définition de MTTF<sub>d</sub> :**

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \times N_{op}}$$

$B_{10d}$  : nombre de cycles du composant dans lequel 10% des prototypes testés présentent une défaillance dangereuse.

$N_{op}$  : fréquence d'utilisation par an (ou nombre moyen de manœuvres par an) du composant.

*Exemple : pour un appareil fonctionnant une fois par jour la valeur est  $N_{op} = 1 \times 365 = 365$*

Si plusieurs dispositifs de sécurité sont utilisés, il faut déterminer le MTTF<sub>d</sub> global avec la formule :

$$\frac{1}{MTTF_{d,gl}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_{d,i}}$$

*Exemple : pour 3 dispositifs de sécurité ayant une valeur de MTTF<sub>d</sub> de 90 ans, 215 ans et 315 ans, le MTTF<sub>d</sub> global sera :*

$$\frac{1}{MTTF_{d,gl}} = \frac{1}{90} + \frac{1}{215} + \frac{1}{315} = 0,0189$$

$$MTTF_{d,gl} = 53 \text{ ans}$$

Une classification est ainsi obtenue grâce au tableau suivant :

Plages de valeurs	Classification
$3 \text{ ans} \leq MTTF_d < 10 \text{ ans}$	<b>faible</b>
$10 \text{ ans} \leq MTTF_d < 30 \text{ ans}$	<b>moyenne</b>
$MTTF_d \geq 30 \text{ ans}$	<b>élevée</b>

Dans notre exemple, cette classification est **élevée**.

## Document ressources 3

### Définition de DC

La couverture du diagnostic est un paramètre qui indique à quel point le système est en mesure d'«auto-surveiller» un éventuel dysfonctionnement. En fonction du pourcentage de défaillances dangereuses détectables par le système, on aura une couverture du diagnostic plus ou moins bonne.

$DC_{avg}$  : valeur moyenne de DC exprimé en % pour trouver sa classification

$$DC_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{DC_i}{MTTF_{d_i}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_{d_i}}} \quad \text{ou} \quad DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{d_1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{d_2}} + \frac{DC_3}{MTTF_{d_3}} + \dots}{\frac{1}{MTTF_{d_1}} + \frac{1}{MTTF_{d_2}} + \frac{1}{MTTF_{d_3}} + \dots}$$

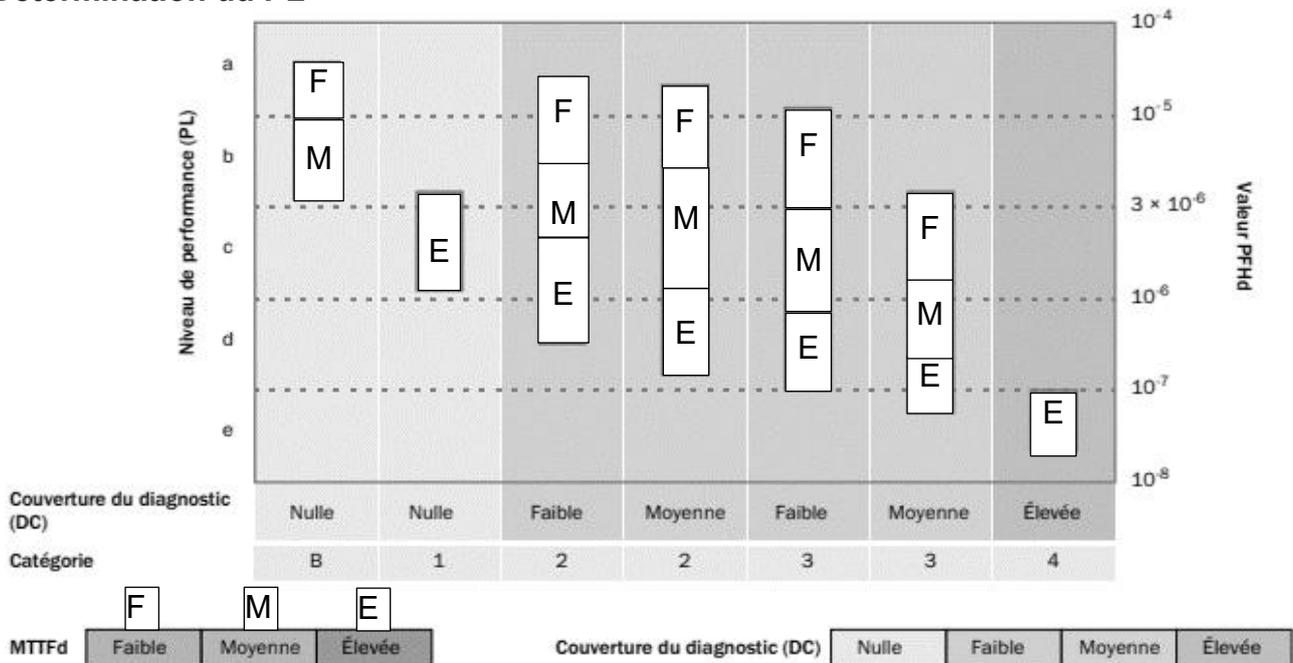
Plages de valeurs	Classification
$DC_{avg} < 60 \%$	<b>nulle</b>
$60 \% \leq DC_{avg} < 90 \%$	<b>faible</b>
$90 \% \leq DC_{avg} < 99 \%$	<b>moyenne</b>
$DC_{avg} \geq 99 \%$	<b>élevée</b>

*Exemple : pour 3 dispositifs de sécurité ayant une valeur de  $MTTF_d$  de 90 ans, 215 ans et 315 ans et une valeur de DC 90%, 99%, 95% .*

$$DC_{avg} = \frac{\frac{90}{90} + \frac{99}{215} + \frac{95}{315}}{\frac{1}{90} + \frac{1}{215} + \frac{1}{315}} \quad DC_{avg} = 94,5 \%$$

Dans notre exemple, cette classification est **moyenne**.

### Détermination du PL

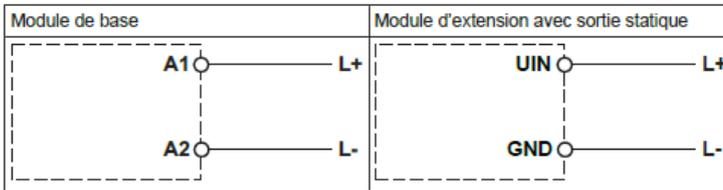


Dans notre exemple, le niveau de performance (PL) est : **e**

# Document ressources 4

## Documentation module de sécurité PILZ

### Alimentation



### Commande

Élément de commande / commutation	Monocanal	à deux canaux
Arrêt d'urgence sans analyse de test impulsif		
Arrêt d'urgence avec analyse de test impulsif ▶ Module de base ▶ Module de base et module d'extension		 

### Réarmement

Type de réarmement	Automatique / automatique avec test des conditions initiales	Manuel / auto-contrôlé

#### Légende

▶ S4 : bouton-poussoir de réarmement

### Sorties

Sorties	Simple	Redondante
Sorties relais (exemple de câblage de 17-27 et 18-28)		
Sorties statiques		

#### Légende

▶ K1/K2/K3/K4 : relais ou contacteur

## Document ressources 5

### Adressage réseaux

Le masque de sous réseaux d'une adresse IP peut s'écrire soit en notation décimale soit en notation CIDR.

En notation décimale le masque de sous réseau s'écrit 255.255.0.0

Décimal	255	255	0	0
Binaire	1111 1111	1111 1111	0000 0000	0000 0000

On constate qu'il y a 16 fois le chiffre 1 dans le masque de sous réseau. C'est grâce à cela que l'on peut déterminer la deuxième façon d'écrire (dénommé notation CIDR) un masque de sous réseaux.

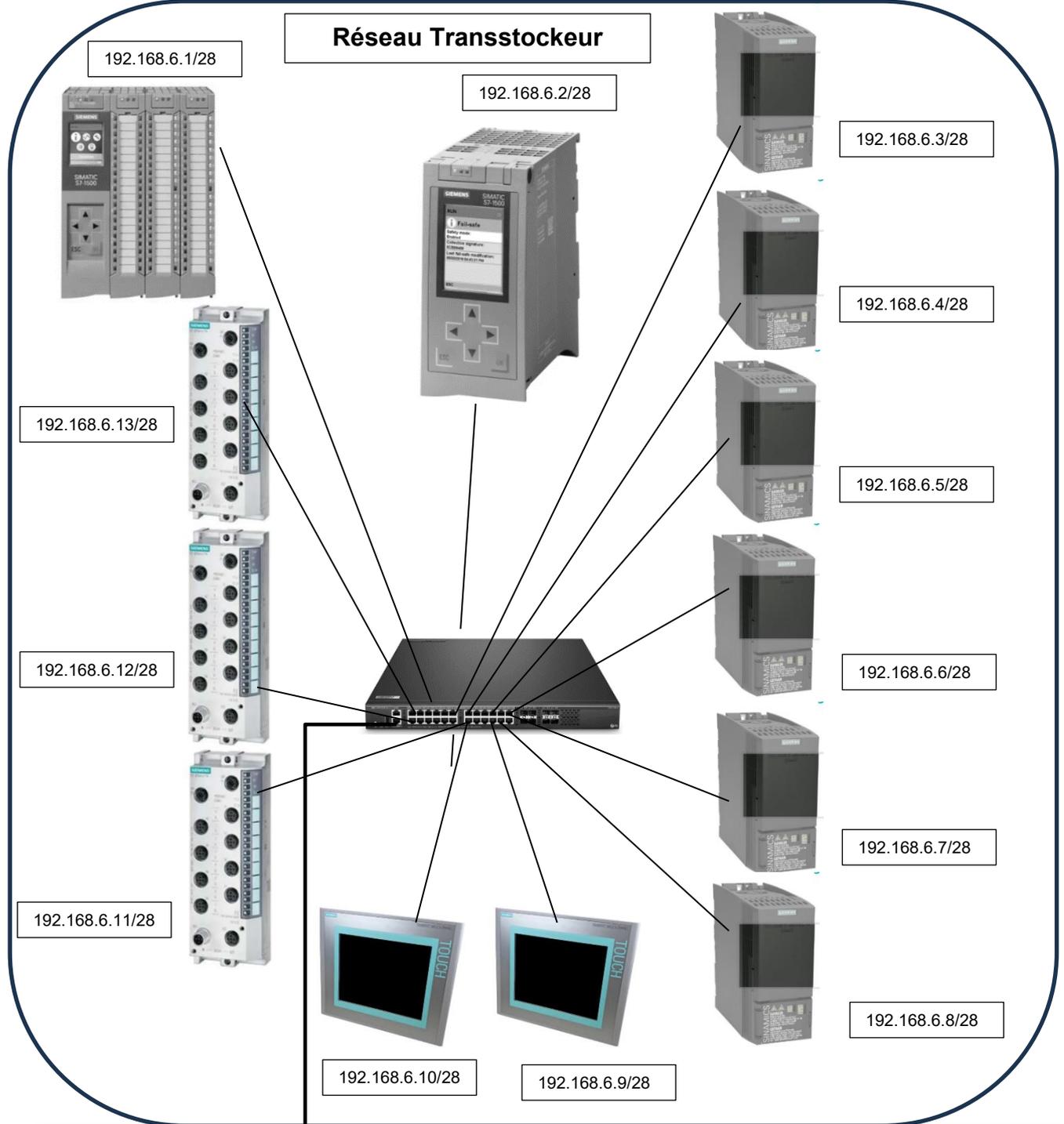
En notation CIDR le masque de sous réseau s'écrit /16.

Exemple :

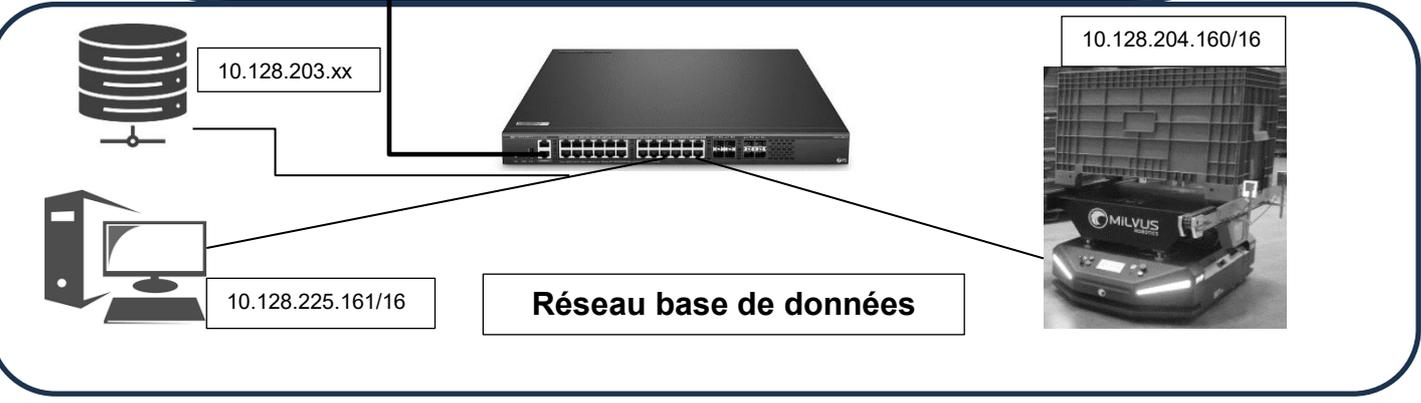
L'adresse IP 192 .168.20 .10 associé au masque de sous réseau 255.255.255.0 peut s'écrire 192.168.20.10/24 en notation CIDR.

# Document ressources 6

## Réseau Transstockeur



## Réseau base de données



## Document réponses 1

### Question 7

Composants ATU	n <sub>op</sub> :	B10d	MTTFd1
			100 000

### Question 8

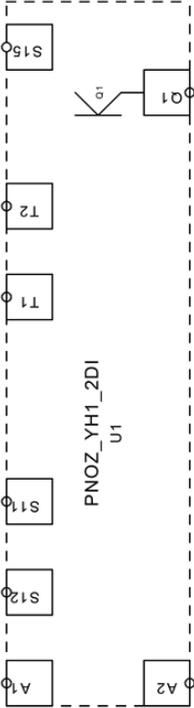
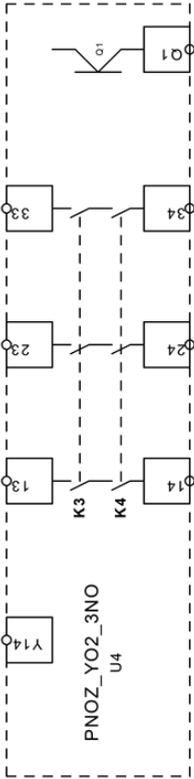
Composants KM	n <sub>op</sub> :	B10d	MTTFd3
			1 000 000



# Document réponses 2

## Question 12

24V=

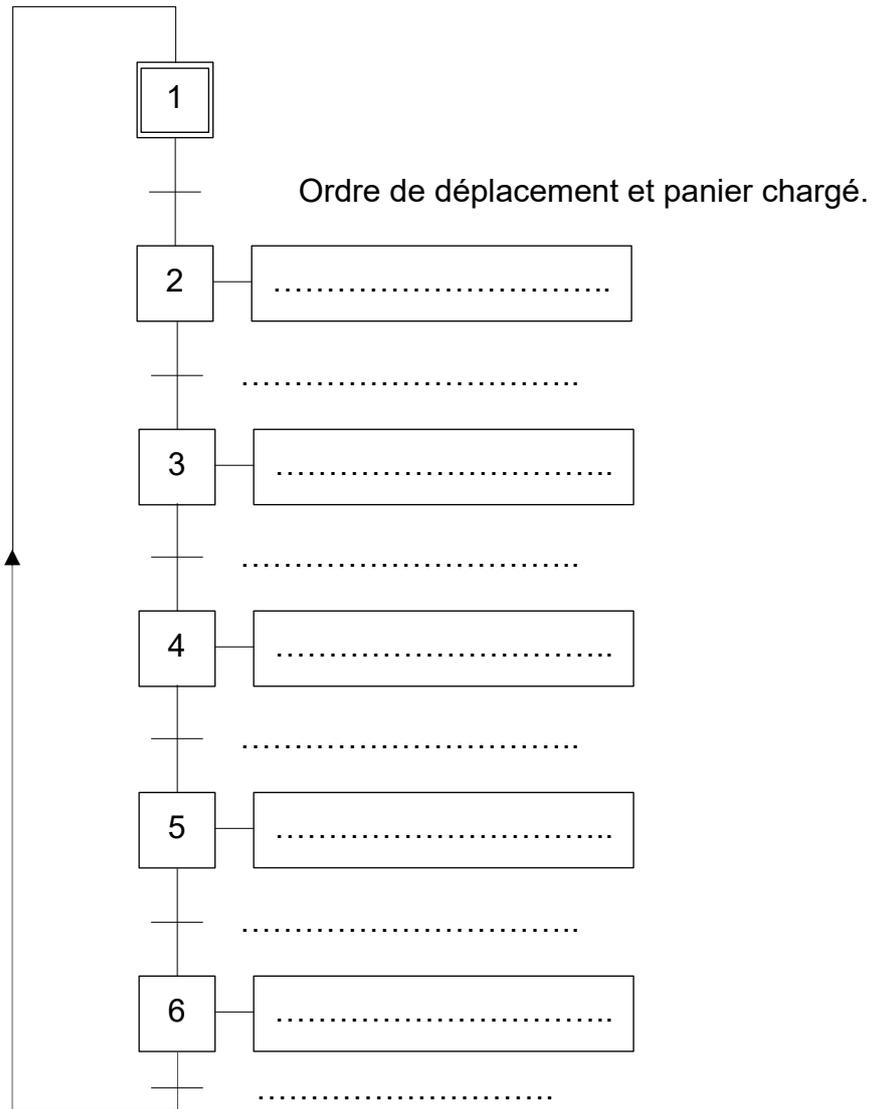


0V



**Document réponses 3**

**Question 13**



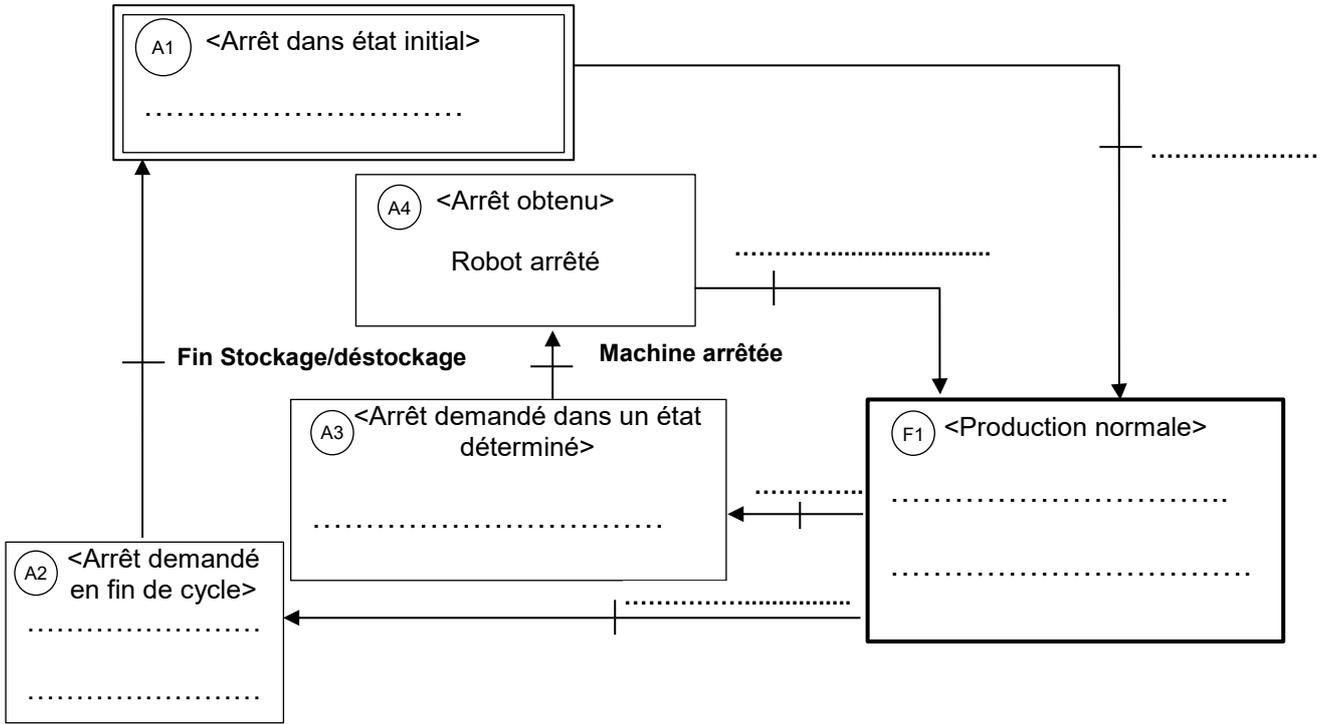
**Question 14**

.....		.....
.....		.....
.....		.....
.....		.....
.....		.....
.....		.....
.....		.....
.....		.....

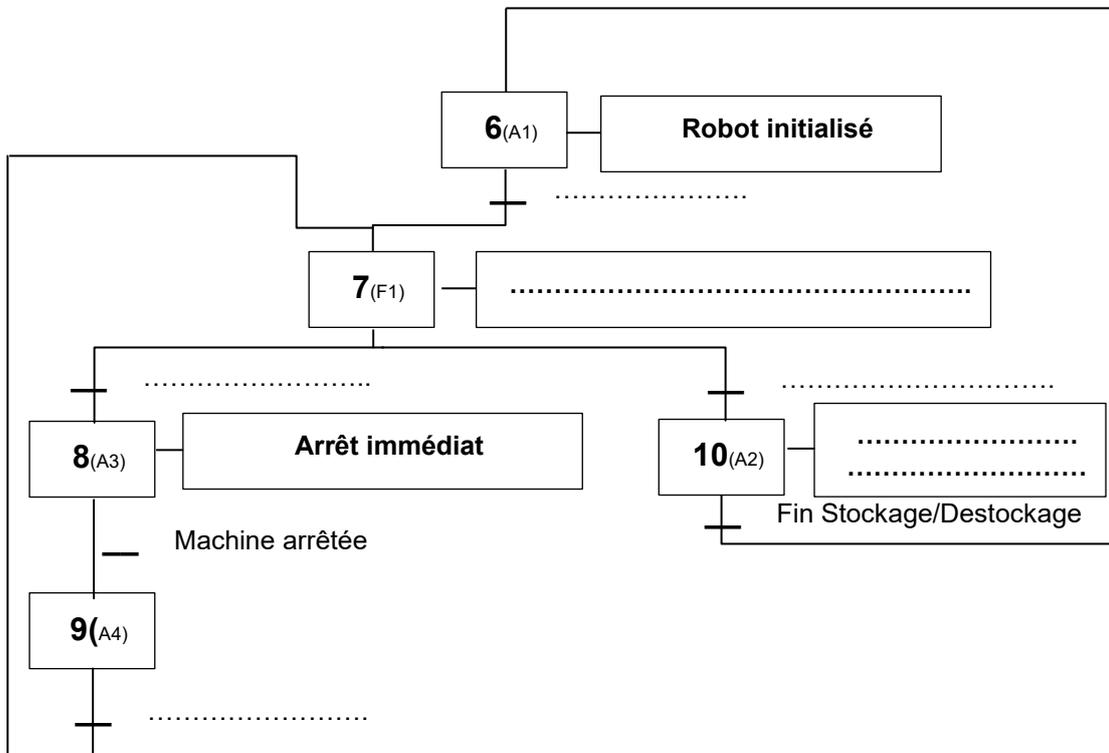


# Document réponses 4

## Question 15



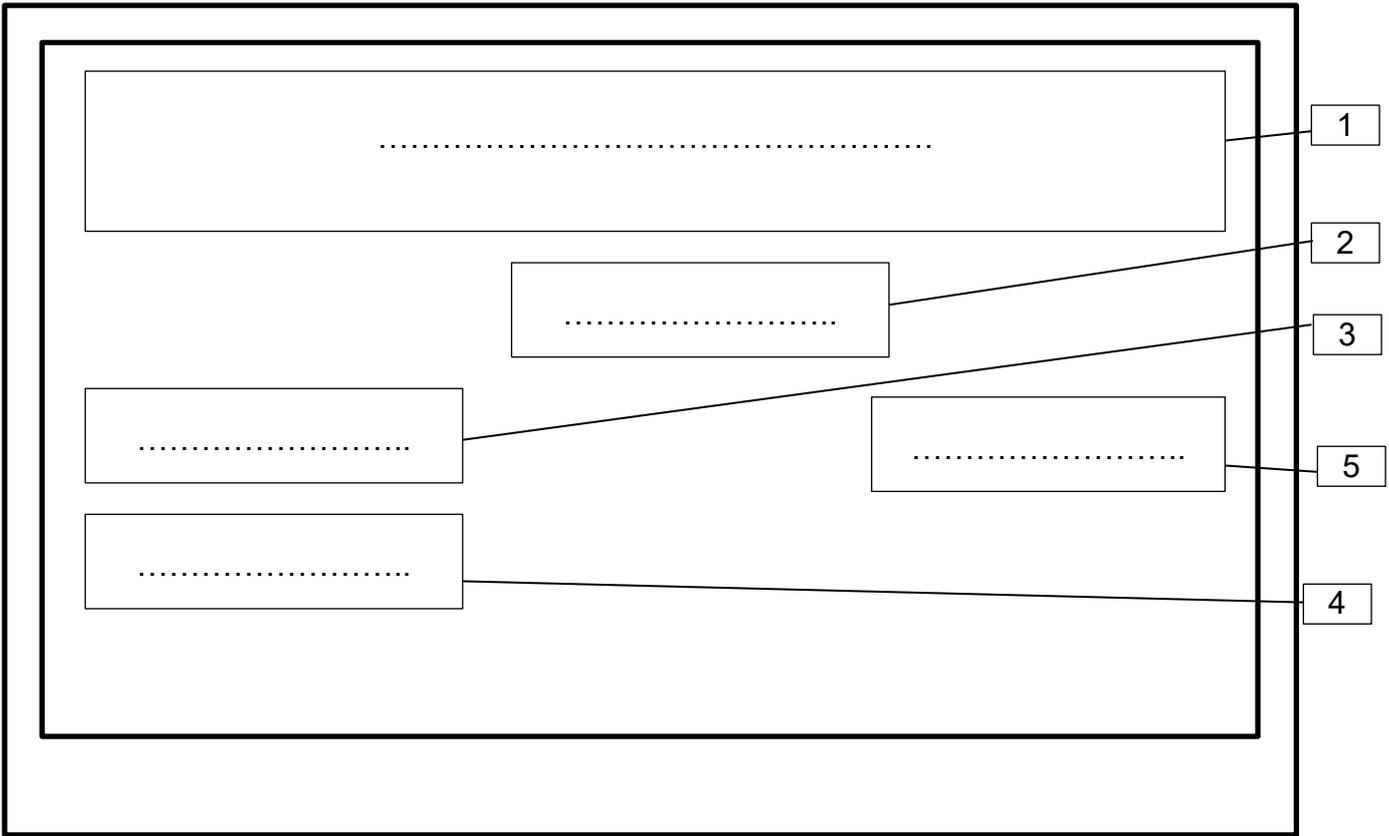
## Question 16





# Document réponses 5

## Question 17



### Messages

Repères	Texte du message	Type (int ou bool)	Visibilité
1	Robot Initialisé	.....	X6
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

### Boutons

Repères	Nom du bouton	Type (int ou bool)	Visibilité
2	Démarrer	.....	X6
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

