

PARTIE C

SECONDE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

ETUDE D'UN PROBLEME D'AUTOMATISATION

C.1 – SUJET DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

ETUDE D'UN PROBLEME D'AUTOMATISATION

ENCARTONNEUSE DE FROMAGES

INTRODUCTION

La Fromagerie Milleret est spécialisée dans la fabrication de fromages à pâtes molles.

La production est entièrement traitée à Charcenne en Franche Comté.

La collecte des laits de producteurs locaux se fait sans intermédiaire dans un rayon de 100 km autour de la Fromagerie.

La production annuelle est de 5.400 tonnes, soit plus de 25 millions d'unités. La gamme de produits est distribuée partout en France et à l'export.

L'outil de production permet d'optimiser la gestion des matières premières et de garantir un niveau constant dans la qualité des produits. Les contrôles Qualité interviennent systématiquement aux étapes suivantes de la fabrication : collecte, traitement du lait, production, emballage, conditionnement, stockage. Ce sont ainsi plus de 350 analyses qui sont réalisées par un laboratoire, sur place, tous les jours.

L'entreprise est certifiée ISO 9001, une démarche ISO 14001 est en place.

Le processus de fabrication des fromages *Ortolan* est donné en **Annexe 1**.

Une salle « blanche » est un local requis pour la réalisation d'une étape cruciale de fabrication d'un produit agroalimentaire. L'air est filtré et mis sous pression pour éviter l'entrée des poussières. Le nettoyage et la désinfection sont approfondis. Le personnel doit porter un suréquipement et y accéder par un sas.

Une salle « grise » est un local spécialement adapté pour le conditionnement agroalimentaire. La température est régulée selon l'usage (entre 7°C et 20°C). Le taux d'humidité est maintenu à 50 %. La salle est équipée d'un sas d'entrée de marchandise et d'une porte piétonne.

Le sujet de l'épreuve porte sur l'encartonneuse automatique intégrée dans la ligne de conditionnement des *Ortolan* en fin de processus. Voir **Annexe 2**.

Cette machine est conçue et réalisée par la société franc-comtoise ACRI Concept d'Arc-Lès-Gray.

Eléments caractéristiques de l'encartonneuse

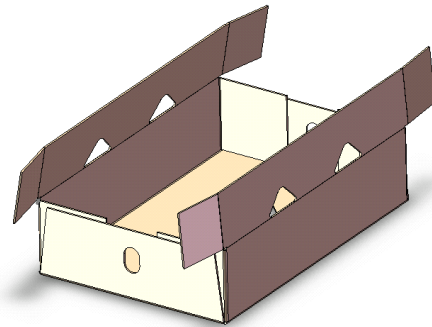
LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

- Cadence : 15 000 fromages par heure ;
- Taux de disponibilité constructeur : 95% ;
- Alimentation électrique: 400 VCA ;
- Alimentation pneumatique : 6-8 bars ;

LE PRODUIT :

Le produit fini est constitué d'un carton formé, d'un lot de 12 fromages et de 4 points de colle à chaud.

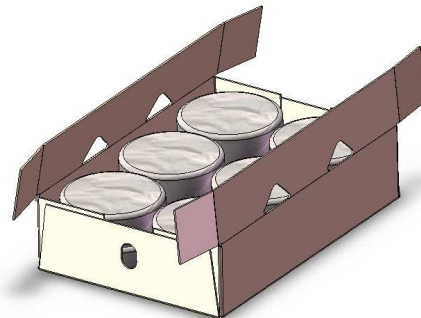
- Le carton formé et ouvert. Dimensions du volume enveloppe du carton LxlxH : 450 x 230 x 140 mm. Ce composant est réalisé en amont par la formeuse.



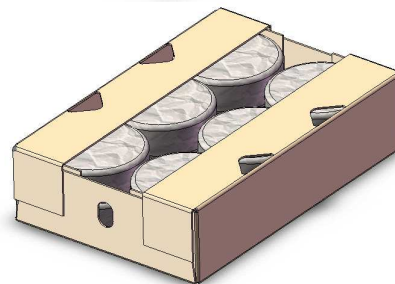
- Un lot de 12 fromages emballés arrivant de la salle d'emballage sur des bandes transporteuses. Dimensions du fromage : Ø 110 mm, H 35 mm.



- Le carton rempli de 12 fromages (2 couches de 6 fromages). Cette opération est réalisée par un opérateur en amont de l'encartonneuse. C'est le produit entrant de l'encartonneuse.



- Le carton fermé et collé avec 4 points de colle à chaud. Dimensions extérieures du carton fermé LxlxH : 330 x 230 x 80 mm. C'est le produit sortant de l'encartonneuse.



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

La machine comporte un convoyeur motorisé pour l'aménagement des cartons pleins en entrée de machine jusqu'à la position 1 (repère en rouge sur l'Annexe 4). Pendant le convoyage, des déflecteurs ferment les rabats supérieurs du carton. Remarque : ce convoyeur n'est pas représenté sur les Annexes 2 et 3.

Le carton est ensuite poussé au poste de collage en position 2 (repère en rouge sur l'Annexe 4) qui est équipé d'une centrale d'adhésif ProBlue de Nordson, des tuyaux et de 4 pistolets, le tout constituant un système de dépose de colle thermofusible comme le montre la figure 1 ci-dessous.

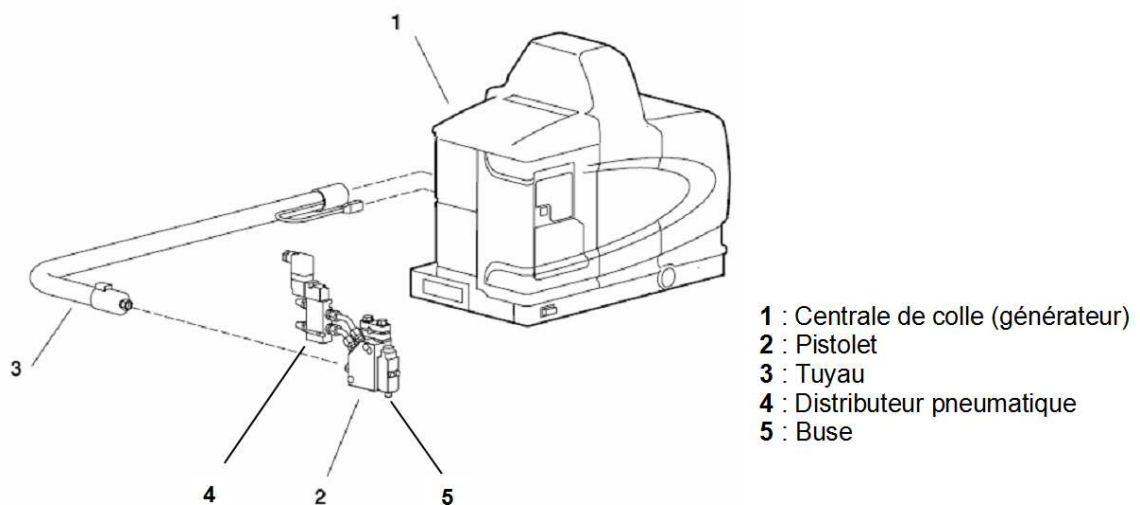


Figure 1 : système de dépose de colle thermofusible

La centrale de colle – placée au pied de la machine – liquéfie la colle thermofusible solide et la maintient à la température voulue. Quand les pistolets (2) sont activés grâce au distributeur pneumatique (4), le générateur (1) pompe la colle liquéfiée dans des tuyaux (3) qui l'amènent aux buses (5) des pistolets en vue de son application sur la surface de l'emballage.

Les pistolets éjectent une dose de colle chaude sur les points de collage du carton. Immédiatement après cela le carton est transféré verticalement dans la pile du stock de collage en position 3.

Pendant le mouvement, deux rouleaux plaqueurs appliquent les quatre oreilles du carton sur les points de colle. En fin de mouvement le carton est maintenu en position 3 grâce au quatre cliquets anti-retour. Le stock de cartons dans la pile, en positions 3, 4 et 5, crée une attente qui permet à la colle de durcir.

Lorsque le capteur pc3 détecte qu'une pile de 3 cartons est formée (en positions 6, 7 et 8), le vireur transfère cette pile devant l'éjecteur.

Enfin l'éjecteur pousse la pile de 3 cartons sur la rampe à rouleaux libres inclinée pour les diriger vers la sortie de la machine où un opérateur assure leur mise sur palette. Un capteur pc4 s'assure qu'il n'y a pas bourrage de la rampe de sortie, avant de l'éjecter.

TRAVAIL DEMANDE

REMARQUES IMPORTANTES

1 - le sujet comporte trois parties indépendantes :

- Une étude de l'automatisme séquentiel de la machine (durée conseillée : 2 h) ;
- Une étude de la régulation de température de la colle thermofusible. (durée conseillée : 2 h) ;
- Une séquence pédagogique dédiée au choix de détecteur de proximité T.O.R. (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 justifiant.

Partie A : Étude de la commande séquentielle

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

A-1) OPTIMISATION DE LA CADENCE DE PRODUCTION

Une première version du fonctionnement normal de l'encartonneuse est donnée avec le grafcet (G7_FN) en **Annexe 5**, ainsi que le bilan des Entrées/Sorties.

Voir si besoin l'**Annexe 6**.

L'estimation des temps d'actions est donnée dans le tableau A1 ci-après.

Actions	Durées estimées
P+ ou P-	0,5 s
V+ ou V-	0,7 s
COL	0,3 s
R+ ou R-	0,8 s
E+ ou E-	0,4 s

Tableau A1 : durées des tâches du G7_FN

Hypothèses :

- le convoyeur motorisé d'entrée possède une vitesse de 0,3 m/s ;
- la cadence d'emballage des fromages est supérieure à celle de l'encartonneuse (conditionnement) ;
- la cadence de la formeuse de cartons est supérieure à celle de l'encartonneuse ;
- la cadence de l'opérateur pour le remplissage manuel est également supérieure à celle de l'encartonneuse.

Question A1.1 : Déterminer le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent.

Question A1.2 : Déterminer la cadence horaire prévisionnelle de l'encartonneuse. Est-elle compatible avec les données du cahier des charges ?

Pour améliorer cette performance on décide de faire une analyse structurée du cycle de fonctionnement normal. Pour cela on adopte un découpage en tâches autonomes à coordonner. Cette proposition est donnée dans le tableau A2.

Mnémonique de la tâche	Désignation de la tâche	Séquence d'actions correspondantes
T1	Amenage d'un carton plein en pc1	KM1
T2	Pousser le carton au poste de collage	P+
T3	Retour du pousseur	P-
T4	Coller le carton	COL, V+
T5	Retour de l'ascenseur	V-
T6	Évacuer une pile de trois cartons collés	R+, E+ & R-, E- & R-

Tableau A2 : proposition de découpage en tâches

Question A1.3 : A partir du découpage en tâches proposé dans le tableau A2, construire le grafctet de coordination des tâches (G7_CT_FN), permettant d'optimiser la cadence de production.

Remarque 1 : on conservera l'utilisation des étapes encapsulantes 4 et 6 pour les tâches T4 et T6, comme il est fait dans le G7_FN en **Annexe 5**.

Remarque 2 : technologiquement, T6 peut débuter en fin de T4.

Remarque 3 : technologiquement, T4 peut débuter en fin de T2.

Question A1.4 : Construire le diagramme de Gantt correspondant à ce nouveau fonctionnement normal en complétant le document réponse DR1. En déduire le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent.

Question A1.5 : Déterminer la nouvelle cadence horaire prévisionnelle de l'encartonneuse et apporter vos conclusions.

A-2) AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ

L'automatisation n'a pas pour seul objectif d'augmenter la productivité. Elle permet aussi d'effectuer des contrôles intégrés dans les processus de fabrication pour assurer la qualité et minimiser les pertes sur défautuosité.

On souhaite modifier la machine pour effectuer un contrôle à 100% de la présence des 12 fromages dans chaque carton. Le choix d'une solution économique se porte sur un principe qui utilise trois détecteurs de proximité T.O.R. (pf1, pf2, pf3) au dessus du carton en position 1, comme le montre la figure A3 ci-dessous.

Remarque : la position suggérée des 3 détecteurs sur la figure A3, n'est pas forcément exacte.

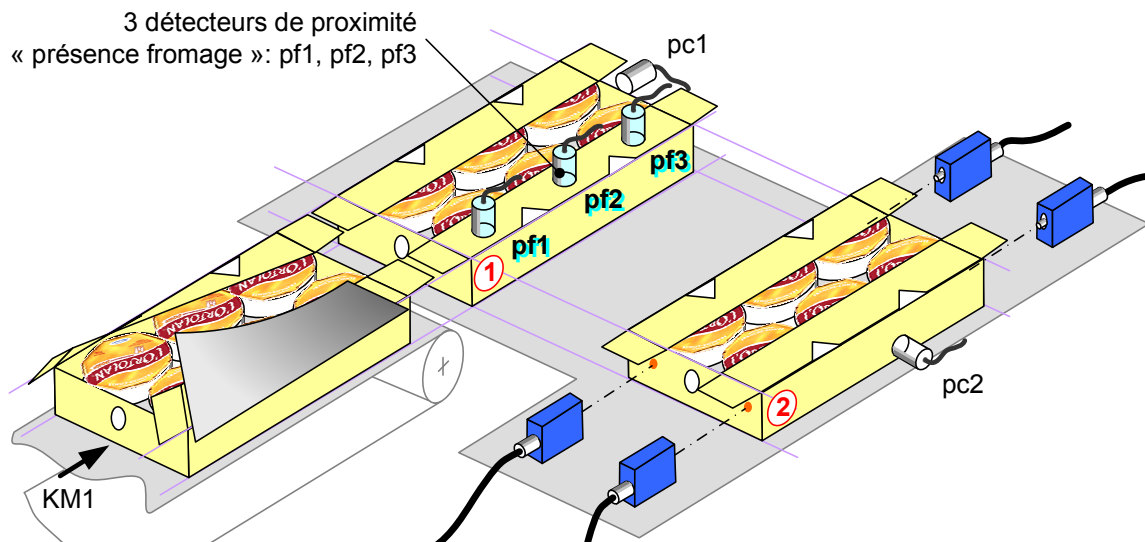


Figure A3 : implantation de trois détecteurs « présence fromage »

Le principe imaginé est le suivant : pendant le déroulement de la tâche T2 ces trois capteurs doivent contrôler la présence effective des 6 fromages de la couche supérieure. Si l'on détecte cette présence, il est alors possible de conclure que le conditionnement est complet.

En cas d'apparition d'un « défaut de remplissage », et pour ne pas ralentir la production, on décide de ne pas arrêter la machine mais d'isoler le carton défectueux afin que l'opérateur en fin de ligne le repère facilement. Ce faisant il pourra aisément le compléter le remplissage du carton à la main afin de supprimer le défaut. La technique retenue pour isoler le carton défectueux est présentée sur la figure A4.

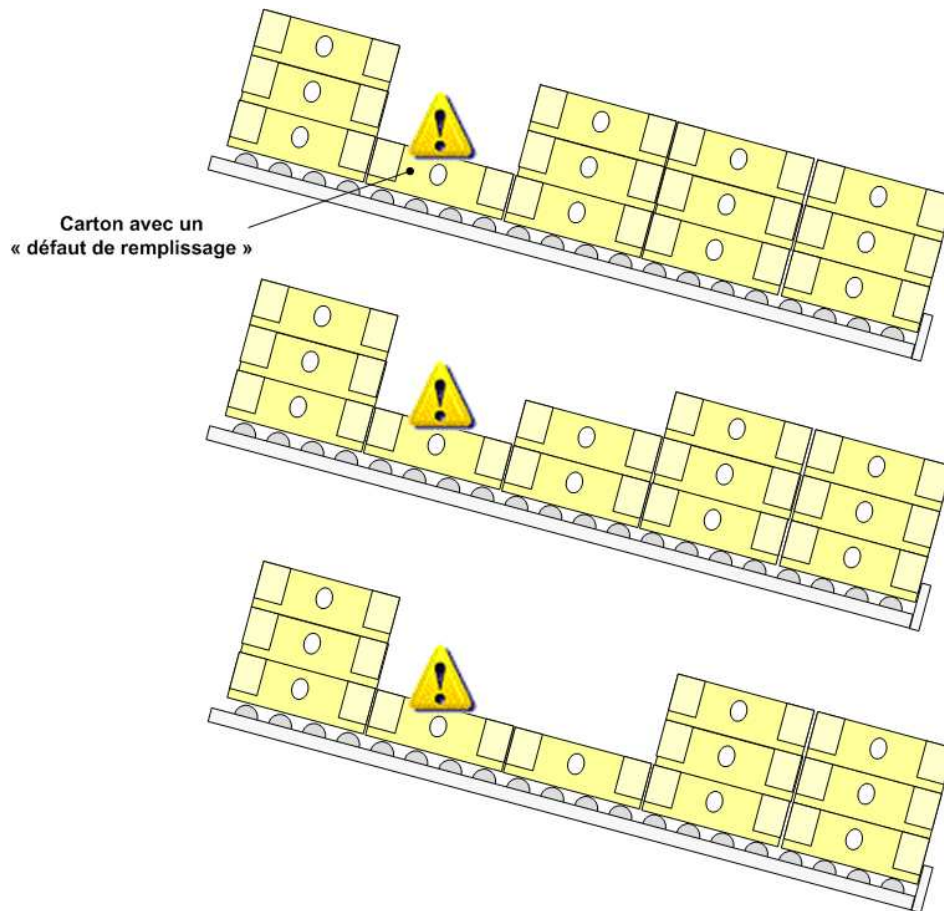


Figure A4 : procédure d'isolement d'un carton avec un « défaut de remplissage »

Dès qu'un carton défectueux arrive en haut de la pile du stock de collage (position 5), on évacue la pile supérieure en cours de formation. Cette pile peut avoir 3, 2 ou 1 carton(s). Les trois situations sont illustrées dans la figure A4. Au cycle suivant, quand le défaut arrive au niveau 1 de la pile supérieure (position 6), on l'évacue pour ainsi l'isoler.

Question A2.1 : *A partir du document ressource sur la technologie des détecteurs de proximité en **Annexe 7**, sélectionner le ou les capteurs capables et choisir celui qui vous semble le plus approprié pour assurer la fonction. Justifier vos choix.*

Question A2.2 : *A l'aide d'un croquis d'intention, montrer l'implantation exacte des trois capteurs choisis en question précédente, en cotant leur positions par rapport au carton et à la machine. Expliciter le mode détection du défaut.*

Question A2.3 : *Elaborer le grafcet (G7_MEMODEF) de traitement des signaux pf1, pf2 et pf3 pour mémoriser l'information « défaut remplissage ».*

Question A2.4 : *Elaborer le grafcet du registre à décalage (G7_REGDEF) pour décaler l'information « défaut remplissage » mémorisée, en position 5 et position 6.*

Question A2.5 : *Modifier le grafcet de fonctionnement normal (G7_FN) de l'Annexe 5, afin d'assurer la fonction d'isolement d'un carton défectueux suivant la procédure décrite en figure A4.*

A-3) RÉALISATION PROGRAMMÉE DE LA COMMANDE

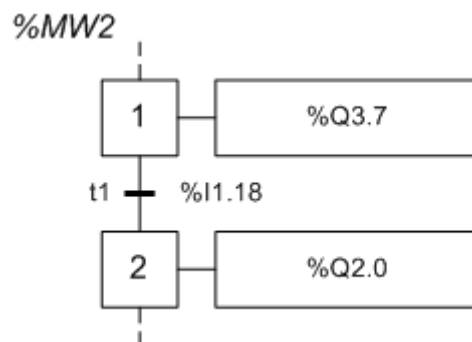
Pour l'implémentation des grafquets dans l'automate il est fait le choix d'utiliser la méthode d'interprétation numérique du modèle Grafcet.

L'interprétation numérique consiste à :

- Associer un mot (exemple %MW1) à chaque grafcet dont la propriété est d'être un graphe d'état ; c'est-à-dire qu'à tout instant sa situation ne possède qu'une et une seule étape active ;
- Programmer en langage littéral le grafcet de manière à traduire les règles 2 et 3 d'évolution du Grafcet.

En considérant la portion de grafcet ci-dessous, auquel on associe le mot %MW2, le franchissement de t1 s'interprète numériquement de la manière suivante :

si %MW2 vaut 1 et si %I1.18 est vraie, alors mettre le mot %MW2 à la valeur 2.



- Compléter cette programmation des évolutions sur franchissement de transitions par la prise en compte de la règle 1 sur la situation initiale. Pour cela on utilise un bit système de l'API. Ce bit %SYS normalement à l'état 0, est mis à 1 par le système durant le premier cycle, après la mise en mode RUN de l'automate. Il permet donc la mise en place d'une phase d'initialisation dans le programme, afin de traduire le marquage initial (l'activation des étapes initiales) des grafquets.

L'Annexe 8 donne un exemple de jeu minimal d'instructions d'automate pour le traitement numérique en langage littéral structuré.

L'Annexe 9 donne le grafcet adressé du fonctionnement normal (G7_FN).

Question A3.1 : *En utilisant et respectant scrupuleusement le langage ST présenté en annexe 8, écrire le programme du grafcet de fonctionnement normal (G7_FN) afin de respecter les règles 1, 2 et 3 d'évolution du modèle Grafcet.*

Remarque 1 : ne traiter que le graphe principal et l'encapsulation 6.

Remarque 2 : ne pas omettre le marquage de la situation initiale (règle 1) ainsi que le lien d'activation de l'encapsulation (voir **Annexe 6**).

Question A3.2 : *Compléter le programme de la question précédente par la programmation des actions associées aux étapes.*

Remarque : ne traiter que les actions de l'encapsulation 6.

Partie B : Étude de la régulation en température du générateur de colle

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

Remarque : Les trois parties (B1, B2 et B3) 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.

Le formage des cartons est finalisé par application d'un adhésif délivré par un système d'encollage. Succinctement, le principe en est le suivant : grâce à l'action d'une unité de chauffage (voir **Annexes 10(a et b) et 11**), le générateur de colle liquéfie la matière thermo fusible solide et la maintient à la température de consigne dans un bac de stockage isotherme. Lorsque les pistolets sont commandés, la colle liquéfiée est mise en mouvement grâce à l'action d'une pompe volumétrique et est transférée sous pression, du bac vers des buses placées en bout des pistolets en vue de son application sur la surface cartonnée.

Le bon fonctionnement du système d'encollage nécessite de contrôler en permanence la température de la colle. En effet, si cette dernière est trop faible, la viscosité de la colle est trop importante contrariant son écoulement correct à travers les buses de sortie. Si au contraire la colle est maintenue à une température trop élevée, ses propriétés mécaniques s'en trouvent fortement altérées.

L'**Annexe 12** définit l'architecture simplifiée de la régulation en température de la colle. Afin de garantir une température de colle optimale, on dispose de trois unités de chauffage pouvant (si besoin) être commandées séparément. Deux thermo sondes identiques mesurent la température de la colle au sein du bac de stockage et en bout des pistolets avant diffusion.

Un générateur de consigne élabore les ordres à partir des différentes valeurs de température réglées. Bien qu'il soit possible d'imposer des températures différentes dans le bac et en bout des pistolets, on fait l'hypothèse que la température de consigne est identique et sera notée θ_c (en °C). Comme le montre l'**Annexe 13**, le régulateur élabore un signal de commande en tenant compte des informations délivrées par les sondes et le générateur de consigne.

Cette partie B du sujet s'articule selon trois axes. Dans un premier temps, une étude de l'une des deux sondes de température sera menée dans le but de proposer une linéarisation de sa caractéristique comportementale. Dans un deuxième temps, à partir d'une identification du processus à commander, une structure de régulateur utilisant un prédicteur de Smith sera mise en place. Enfin, une analyse des performances de la structure de commande élaborée sera conduite.

B-1) LINEARISATION DE LA SONDE DE TEMPERATURE

La mesure de température de la colle est effectuée grâce à deux thermo sondes identiques (principe de thermométrie par résistance). Dans le cadre de la commande linéaire, on cherche à imposer que la variation du signal de mesure délivré par la sonde et son conditionneur soit linéaire en fonction de la température θ . La méthode de linéarisation la plus simple consiste à associer (ici en parallèle, voir **Annexe 14**) à la sonde de température une résistance fixe notée R_l dite 'de linéarisation'. En calibrant correctement la valeur de R_l , on impose que, autour de la température de fonctionnement (notée θ_i), la tension de mesure $u_m(\theta)$ évolue quasi linéairement en fonction de la température θ .

En référence au schéma de montage placée dans la figure de l'**Annexe 14**, un dipôle de résistance $R(\theta)$, alimenté par une source de courant i (en A), délivre à ses bornes une tension u_m (en V). Naturellement, $u_m(\theta) = iR(\theta)$. La linéarisation de la tension $u_m(\theta)$ implique donc la linéarisation de la résistance $R(\theta)$ du dipôle autour du point de fonctionnement $\theta = \theta_i$, ce qui peut se traduire par :

$$\frac{d^2R(\theta = \theta_i)}{d\theta^2} = 0 \quad (\text{Eq1})$$

Question B1.1 : Déterminer l'expression de la résistance équivalente $R(\theta)$ en fonction des deux résistances (une variable et une fixe) montées en parallèle notées respectivement $R_c(\theta)$ et R_l (voir **Annexe 14**).

Question B1.2 : En appliquant la condition de linéarisation définie par Eq1 à l'expression de la résistance équivalente $R(\theta)$ déterminée précédemment, montrer que l'on obtient la condition suivante :

$$[R_l + R_c(\theta_i)] \cdot \frac{d^2R_c(\theta = \theta_i)}{d\theta^2} - 2 \left[\frac{dR_c(\theta = \theta_i)}{d\theta} \right]^2 = 0 \quad (\text{Eq2})$$

La sonde de température (thermo résistance métallique $R_c(\theta)$) utilisée dans le générateur de colle est du type 'RTD Nickel'. Comme le montre la figure de l'**Annexe 14**, la relation $R_c(\theta)$ peut être approchée par la relation suivante :

$$R_c(\theta) = R_{co}(1 + A \cdot \theta + B \cdot \theta^2) \quad (\text{Eq3})$$

avec :

R_{co} : résistance à la température de référence, $R_{co} = 120 \Omega$ à $\theta = 0^\circ\text{C}$

$A = 6,2 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$, $B = 7,8 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}^2$

Question B1.3 : En utilisant les relations (Eq2 et Eq3), déterminer l'expression de la résistance de linéarisation R_l en fonction de R_{co} , A , B et θ_i .

Question B1.4 : Déterminer la valeur numérique de R_l (en Ω) si la température de fonctionnement est fixée à $\theta_i = 150^\circ\text{C}$.

Question B1.5 : Déterminer alors la valeur numérique du gain (en $\Omega / ^\circ\text{C}$) de la sonde linéarisée autour du point de fonctionnement défini.

Le modèle associé à la sonde de température couplée avec son conditionneur est précisé par le schéma bloc suivant :

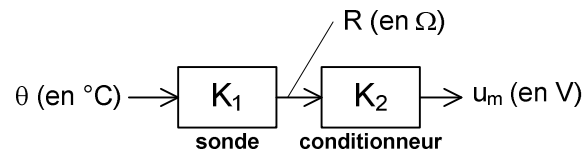


Figure B1 : modèle de la sonde et du conditionneur

La fonction du conditionneur est de délivrer une tension image u_m telle que : $u_m(t) = K_2 \cdot R(\theta(t))$. On impose que pour une variation de température de 240°C , la variation de la tension u_m soit au maximum de 24 V .

Question B1.6 : Déterminer la valeur numérique du gain K_2 défini sur la figure B1. Indiquer son unité.

B-2) PREDICTEUR DE SMITH

Comme le synthétise la figure B2 suivante, le modèle de commande proposé se compose principalement d'un processus à commander et d'un régulateur. La fonction de transfert du correcteur $C_1(p)$ reste à déterminer. Le gain K_c modélise le comportement de l'ensemble 'sonde + conditionneur' (objet de la partie B1).

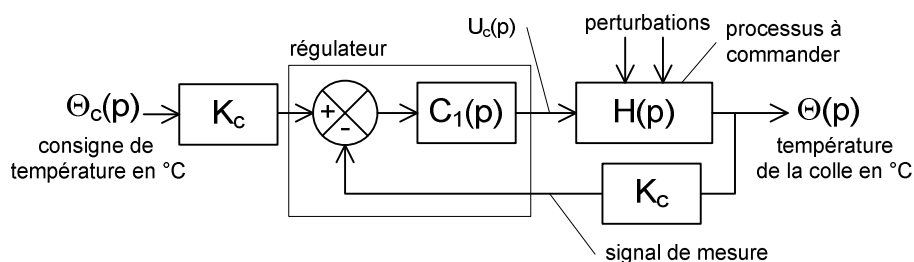


Figure B2 : modèle simplifié de la commande

Bien que les équations modélisant les différents transferts d'énergie présents au sein du processus de génération de la colle liquide soient en toute rigueur non linéaires, certaines hypothèses simplificatrices (notamment une linéarisation des modèles autour d'une température de fonctionnement), nous autorisent à utiliser les transformées de Laplace et l'outil schéma bloc.

Notations :

On adopte les notations suivantes entre le domaine temporel et celui de Laplace. Ainsi, si la fonction $\theta(t)$ possède une transformée de Laplace, elle sera notée : $\Theta(p) = \mathcal{L}[\theta(t)]$

Un enregistrement temporel d'un essai pratiqué uniquement sur le processus à commander est présenté sur l'**Annexe 15**. On suppose que le signal de commande est de la forme $u_c(t) = U_0 \cdot u(t)$ avec $u(t)$: échelon unitaire et U_0 : tension de

commande (en V). L'allure de la réponse temporelle nous incite à proposer un modèle comportemental de la forme :

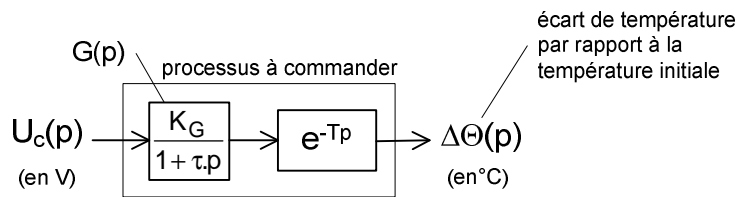


Figure B3 : modélisation du processus à commander

Question B2.1 : En utilisant le tracé de l'Annexe 15, identifier les valeurs de différentes constantes du modèle de $H(p)$ soient K_G , T et τ . Préciser les unités. On suppose que $U_0 = 24 \text{ V}$.

Question B2.2 : Préciser le phénomène physique modélisé par le terme e^{-Tp} .

Question B2.3 : Tracer, en le justifiant, la réponse fréquentielle du terme e^{-Tp} dans le plan de Black. Discuter alors des effets (positifs ou négatifs) de ce terme sur la stabilité en boucle fermée du modèle de commande (voir Figure. B2).

Dans la pratique industrielle, on cherche à calibrer le correcteur $C_1(p)$ afin d'atteindre des performances définies par le cahier des charges fonctionnel. Toutefois, on se trouve devant un écueil : la présence du retard pur présent dans le processus à commander perturbe considérablement l'analyse et le réglage du régulateur. Une des solutions à ce problème est l'intégration d'un prédicteur de Smith. Lors de la phase d'ajustement (objet de la partie **B3**), par construction (objet de la partie **B2**) le retard est rejeté hors de la boucle d'asservissement et n'est donc pas pris en compte (voir Figure B4). Un changement de variable nous permet de nous affranchir de la notion de température initiale non nulle. Ainsi, en toute rigueur Θ_c , Θ_m et Θ représentent des écarts de température.

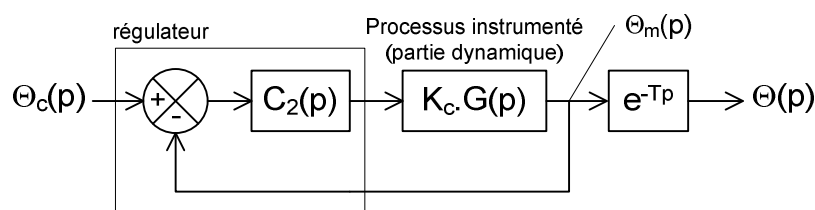


Figure B4 : modèle de commande équivalent

Question B2.4 : Déterminer l'expression de $C_1(p)$ en fonction de $C_2(p)$, K_c , $G(p)$ et e^{-Tp} de manière à obtenir l'équivalence entre les deux schémas blocs (voir Figure B2 et B4).

Question B2.5 : En le reprenant sur votre feuille, compléter (en couleur) le schéma bloc (voir Figure B5) du prédicteur de Smith. On respectera obligatoirement la structure proposée, les signes seront impérativement indiqués.

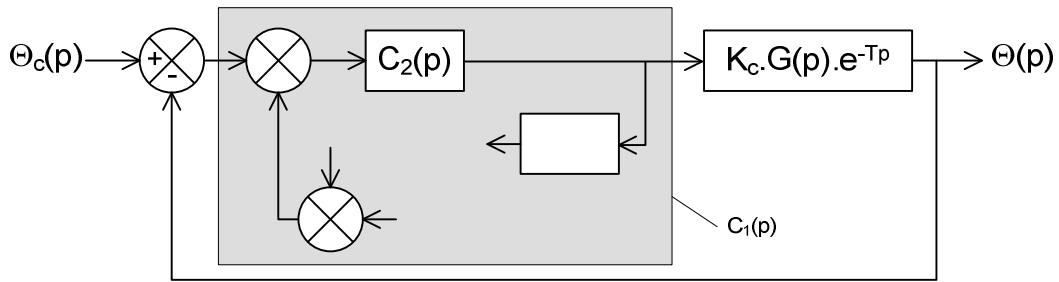


Figure B5 : modèle du régulateur $C_1(p)$

Toutefois, comme le montre les différents schéma blocs (voir Figure B5 et/ou B6), la réalisation (par compensation de temps mort CTM) du correcteur $C_1(p)$ nécessite obligatoirement la connaissance d'un modèle (aussi représentatif que possible) du processus que l'on cherche à commander. On pose donc $G_m(p)$: modèle de la partie dynamique du processus à commander et T_m : temps caractéristique (en s).

La structure classique du régulateur que l'on trouve dans la littérature est présentée sur la figure B6. On remarque qu'elle fait notamment apparaître un signal 'erreur de prédiction' notée $\varepsilon_p(p)$.

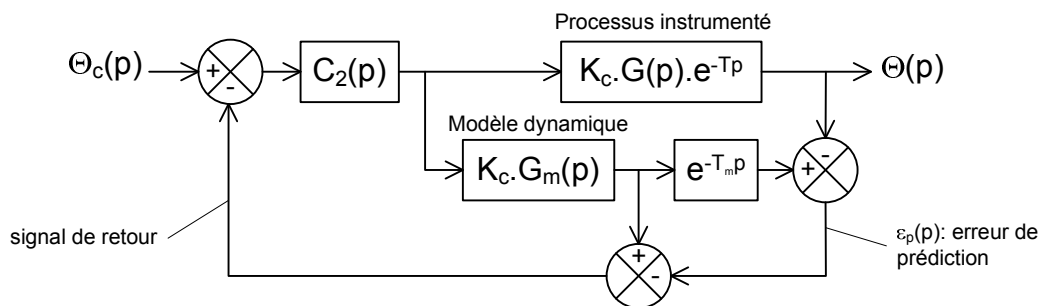


Figure B6 : modèle du prédicteur de Smith

Question B2.6 : Montrer que les deux schéma blocs (voir Figure B5 et B6) sont strictement équivalents dès lors que l'on dispose d'un modèle exact du processus à commander. Dans ces conditions, donner la valeur de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(p)$.

Question B2.7 : Indiquer alors ce que représente le signal de retour (voir Figure B6). Conclure en quelques lignes sur les avantages/inconvénients ainsi que sur le domaine d'utilisation d'un tel régulateur.

En référence à la figure B6, on cherche à quantifier l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(p)$ dès lors que l'on ne dispose pas d'un modèle exact du processus à commander.

Question B2.8 : Déterminer l'expression de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(p)$ en fonction de $G_m(p)$, $G(p)$, K_c , $C_2(p)$, T_m , T et du signal de consigne $\Theta_c(p)$.

On impose une entrée en température de la forme $\theta_c(t) = \theta_c.u(t)$ avec $u(t)$: échelon unitaire et θ_c : température de consigne (en $^{\circ}\text{C}$).

On suppose que :

$$G(p) = \frac{K_G}{1 + \tau_m p}, \quad G_m(p) = \frac{K_{GM}}{1 + \tau_m p} \quad \text{avec } K_G \neq K_{GM}, \quad \tau \neq \tau_m \quad \text{et } T \neq T_m$$

Dans un premier temps, la fonction de transfert du correcteur est $C_2(p) = K_r$.

Question B2.9 : Déterminer la valeur finale de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(\infty)$. Montrer que cette dernière est d'autant plus petite que le gain en boucle ouverte K_{bo} est grand.

Dans un deuxième temps, on choisit $C_2(p) = K_r \cdot \left(1 + \frac{1}{T_r \cdot p}\right)$.

Question B2.10 : Déterminer la valeur finale de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(\infty)$. Montrer qu'elle ne dépend que de K_G , K_{GM} et θ_c . Conclure.

B-3) REGLAGE DU REGULATEUR

Compte tenu des développements théoriques précédents, on adopte comme modèle de commande celui représenté sur la figure B4, dont on donne l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte, soit :

$$H_{bo}(p) = C_2(p) \cdot \frac{1}{2 + 600p}$$

On confirme comme fonction de transfert du correcteur $C_2(p) = K_r \cdot \left(1 + \frac{1}{T_r \cdot p}\right)$. On

cherche à déterminer les deux constantes K_r et T_r . Afin de contrôler correctement la température de la colle, la boucle de régulation doit être précise et rapide. Le cahier des charges (définissant les qualités de la boucle fermée $H_{bf}(p) = \frac{\Theta_m(p)}{\Theta_c(p)}$) est le

suivant :

- erreur statique nulle ;
- erreur de traînage inférieure à 10% ;
- temps de réponse à 5% inférieur à 1 s.

Question B3.1 : Donner la désignation du correcteur $C_2(p)$. Par rapport à l'emploi d'un correcteur proportionnel simple, expliquer pourquoi il permet d'obtenir une commande plus précise.

Question B3.2 : Tracer les diagrammes asymptotiques de la réponse fréquentielle dans le plan de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{bo}(j\omega)$ non corrigée. Faire apparaître les points caractéristiques sur tous les diagrammes (pentes, valeurs remarquables,...). L'utilisation de la couleur est fortement conseillée.

On cherche à calibrer le correcteur $C_2(p)$.

Question B3.3 : Déterminer T_r afin que le zéro du correcteur compense le pôle de la fonction de transfert en boucle ouverte $H_{bo}(p)$ non corrigée. Faire l'application numérique.

Question B3.4 : Déterminer K_r afin de respecter la valeur maximale de l'erreur de traînage imposée par le cahier des charges. Faire l'application numérique.

Question B3.5 : Tracer les diagrammes asymptotiques de la réponse fréquentielle dans le plan de Bode de la fonction de transfert du correcteur $C_2(p)$ seul. Faire apparaître les points caractéristiques sur tous les diagrammes (pentes, valeurs remarquables,...). L'utilisation de la couleur est fortement conseillée.

On impose une entrée en température de la forme $\theta_c(t) = \theta_c \cdot u(t)$ avec $u(t)$: échelon unitaire et θ_c : température de consigne (en °C).

Question B3.6 : Exprimer sous forme canonique la fonction de transfert en boucle fermée $H_{bf}(p)$ avec et sans correction. Tracer alors dans les deux cas, la réponse temporelle $\square_m(t)$. Faire clairement apparaître sur chaque tracé, l'erreur statique ainsi que le temps de réponse à 5%. Reprendre sur votre feuille le tableau de synthèse suivant et le compléter.

	Erreur statique (en %)	Temps de réponse à 5% (en min)
Non corrigée		
Corrigée		

Tableau B7 : tableau de synthèse

Question B3.7 : Analyser les résultats par rapport aux spécifications imposées par le cahier des charges. Conclure.

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 STSMAl concernant le choix, le dimensionnement et l'implantation de détecteurs de proximité TOR industriels.

La compétence **CP43** visée – de l'unité U52 (Choix technologiques et description de la réalisation de la partie commande) – est donnée ainsi dans le référentiel du diplôme :

Compétence composante	Conditions de réalisation	Critère(s) et niveaux de performance
<p style="text-align: center;">CP43</p> <p>Dimensionner évaluer les performances et choisir un constituant de commande</p>	<p>Un cahier des charges partiel, relatif à un constituant (ou à un ensemble de constituants) d'une chaîne fonctionnelle, est fourni, comportant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - une caractérisation précise des fonctions et des spécifications (fonctionnelles, technologiques, opérationnelles) du (ou des) constituant(s) ; - une liste (éventuellement partielle) de critères de choix avec leur caractérisation précise (niveau, flexibilité). <p>Des descriptions (solutions homologues existantes ou spécifications générales) sont disponibles sous forme de dossiers, de documents constructeurs,...</p> <p>Des choix potentiels de composants, de logiciels et des caractéristiques techniques sont éventuellement précisés.</p> <p>Des guides d'évaluation de performances, des guides de choix sont éventuellement fournis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identification du type (ou des) constituant(s) répondant aux fonctions : <i>types(s) conforme(s)</i>. • Listage exhaustif des évaluations à effectuer (spécifications dérivées permettant les comparaisons avec les caractéristiques ou performances de la solution) : <i>liste cohérente avec les spécifications et les caractéristiques des constituants adaptés au besoin</i>. • Evaluation des spécifications ou des performances : <i>la démarche d'évaluation est juste, la guidance éventuelle est respectée, les résultats sont d'ordre de grandeur correct</i>. • Sélection d'un constituant : <i>la démarche de choix est correcte, le choix est conforme aux spécifications imposées et évaluées (même si ces évaluations sont fausses !)</i>.

Les contenus associés pour la partie des constituants industriels d'acquisition de données sont :

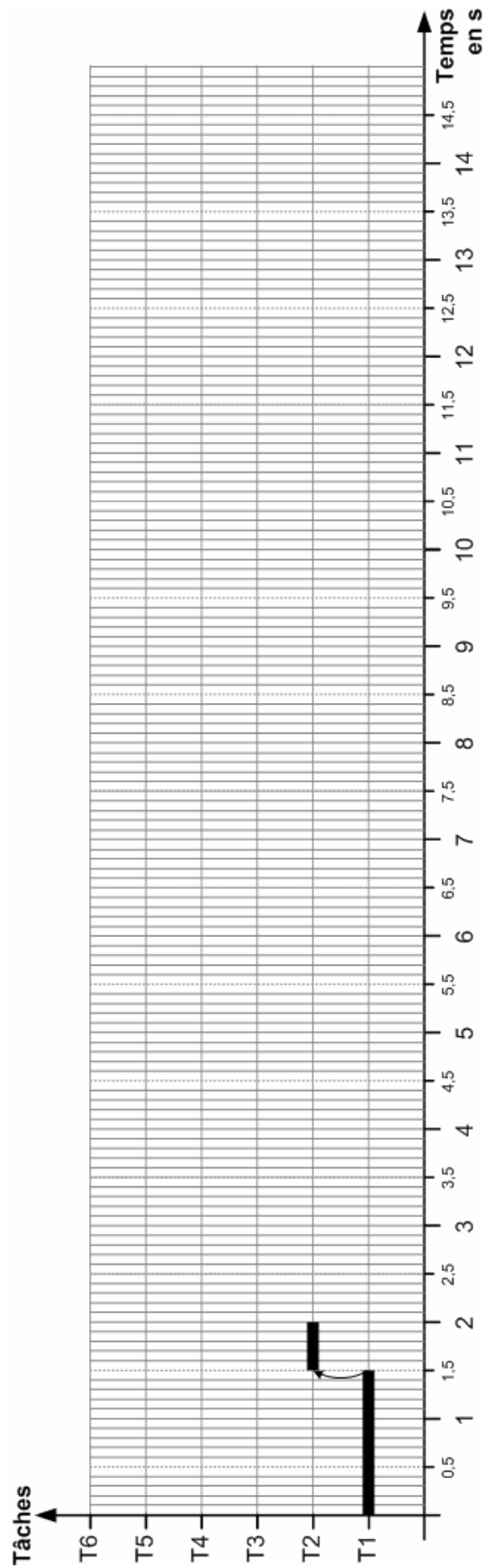
- Structure générale d'une chaîne de mesures (en relation avec le professeur de Physique) ;
- Caractéristiques métrologiques des capteurs : étendue de mesure, précision, sensibilité, temps de réponse, ... ;
- Les détecteurs industriels :
Limites, performances et comparaison technico-économique des principales solutions. Choix d'un détecteur industriel : arbres de décision.
- Les capteurs industriels :
Caractéristiques et choix de capteurs pour la commande.

Question C1.1 : *Proposer une séquence pédagogique cohérente visant l'objectif de : choix, dimensionnement et implantation de détecteurs de proximité TOR industriels.*

Recommandations :

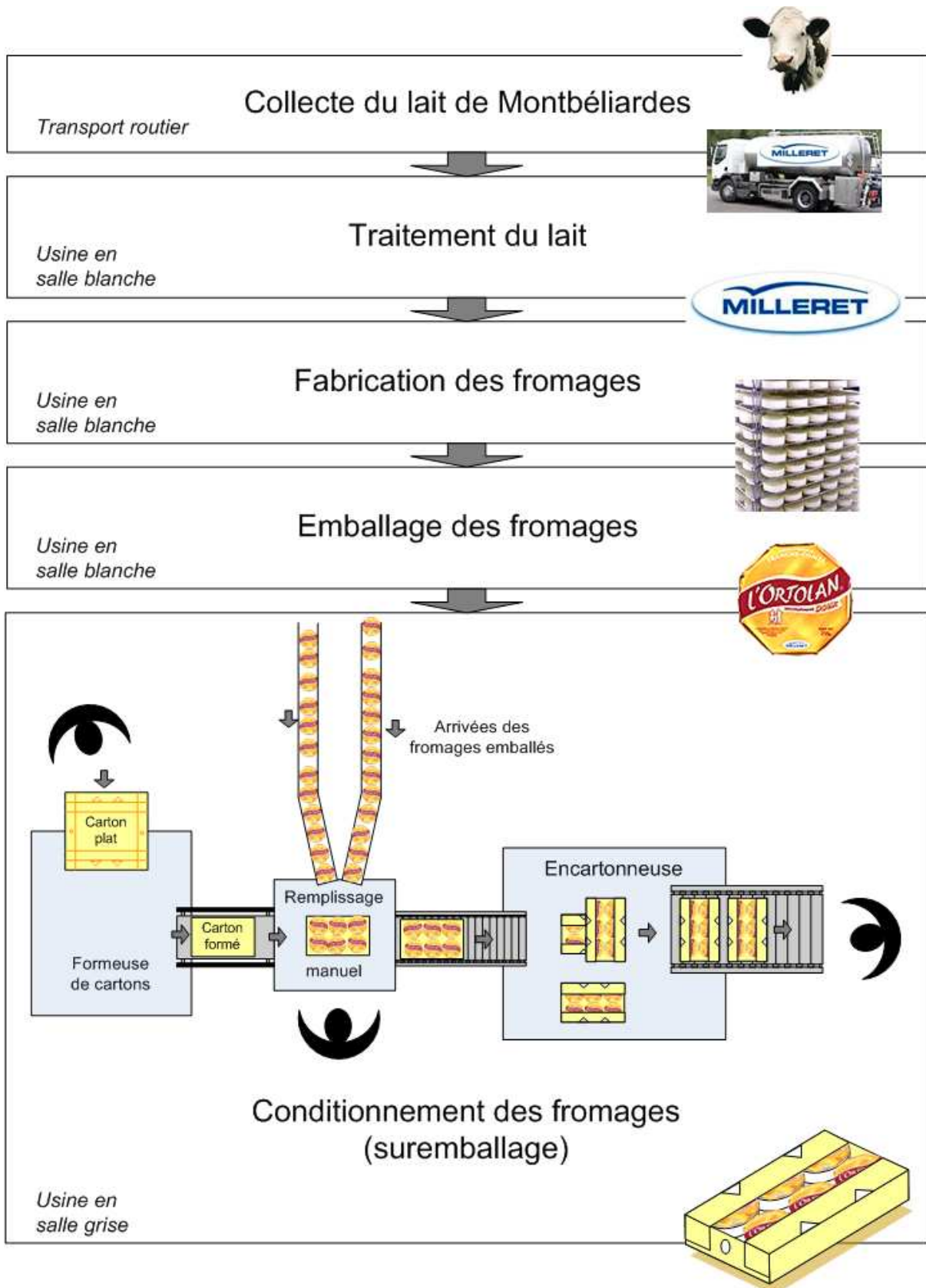
- La séquence, qui peut comporter plusieurs parties (cours, TD, TP, évaluation ou projet), doit être définie complètement – ordre, organisation, nature du contenu ou des activités – et justifiée;
- Pour la partie TD, si elle existe dans votre proposition de séquence, elle sera appliquée à l'encartonneuse. Pour ce faire il faut 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 ;
- Pour la partie cours (apport initial ou synthèse finale des connaissances), la structuration du contenu doit aborder au moins les points suivants :
 - 1- Les données du CdCF et les critères à prendre en compte ;
 - 2- La typologie des technologies de détection ;
 - 3- Un guide méthodologique de choix des détecteurs ;
 - 4- Les règles d'implantation des détecteurs dans la partie opérative de la machine automatique.

DOCUMENT-RÉPONSE DR1 : Gantt



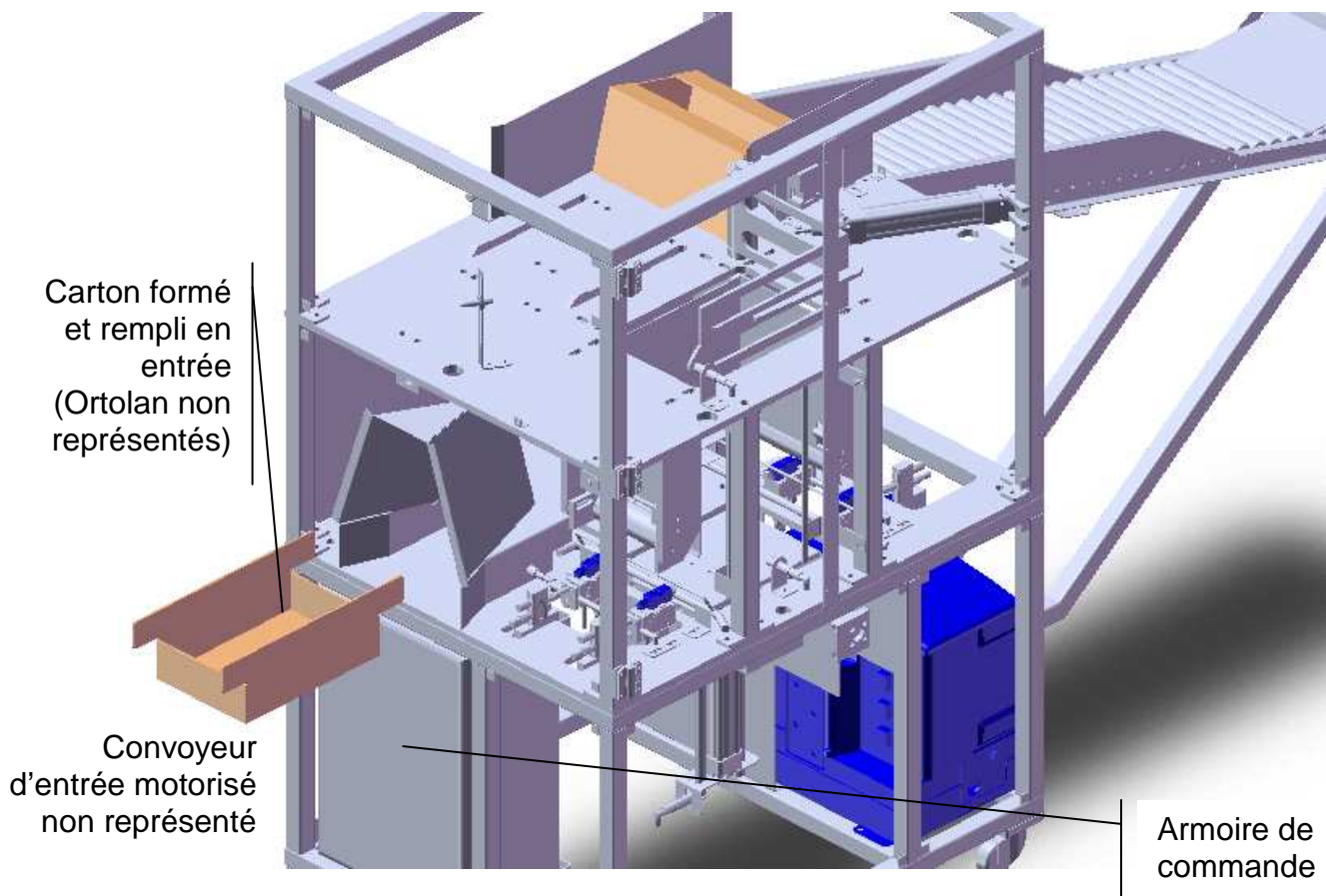
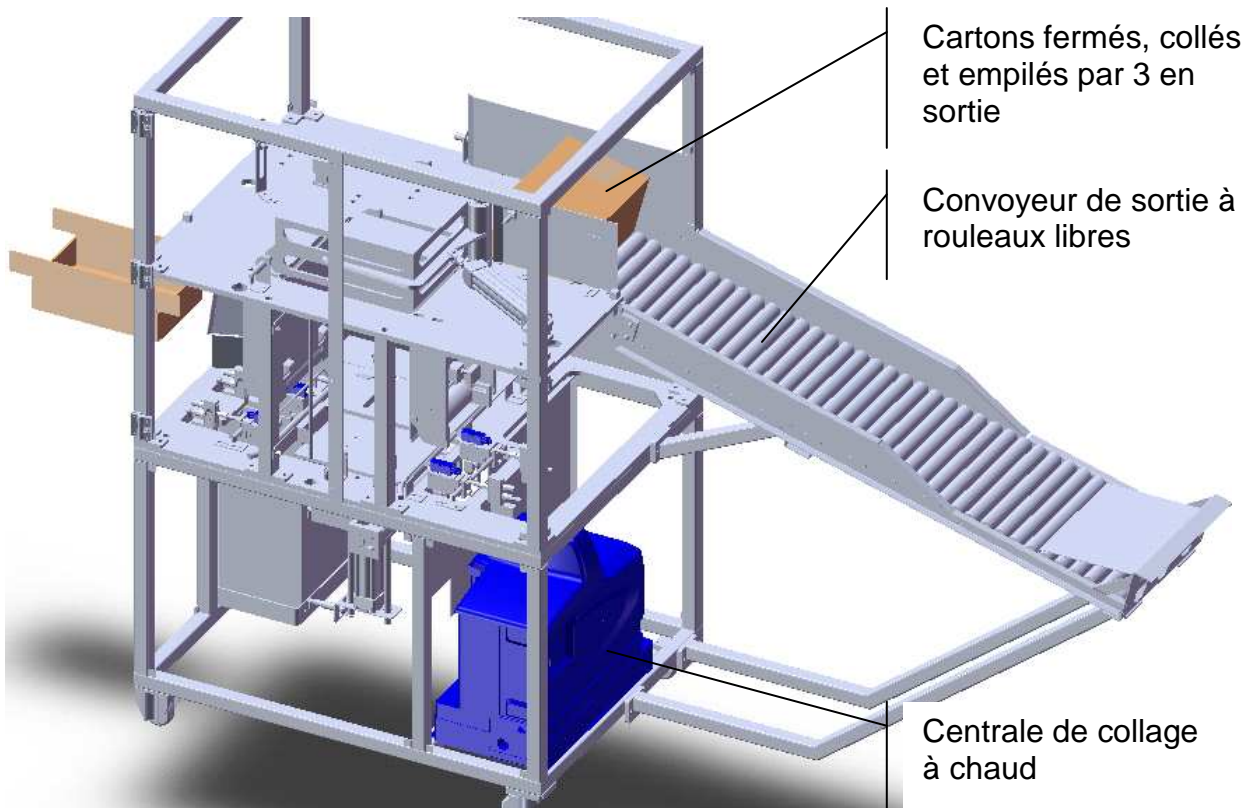
ANNEXE 1

Processus de fabrication des fromages ORTOLAN



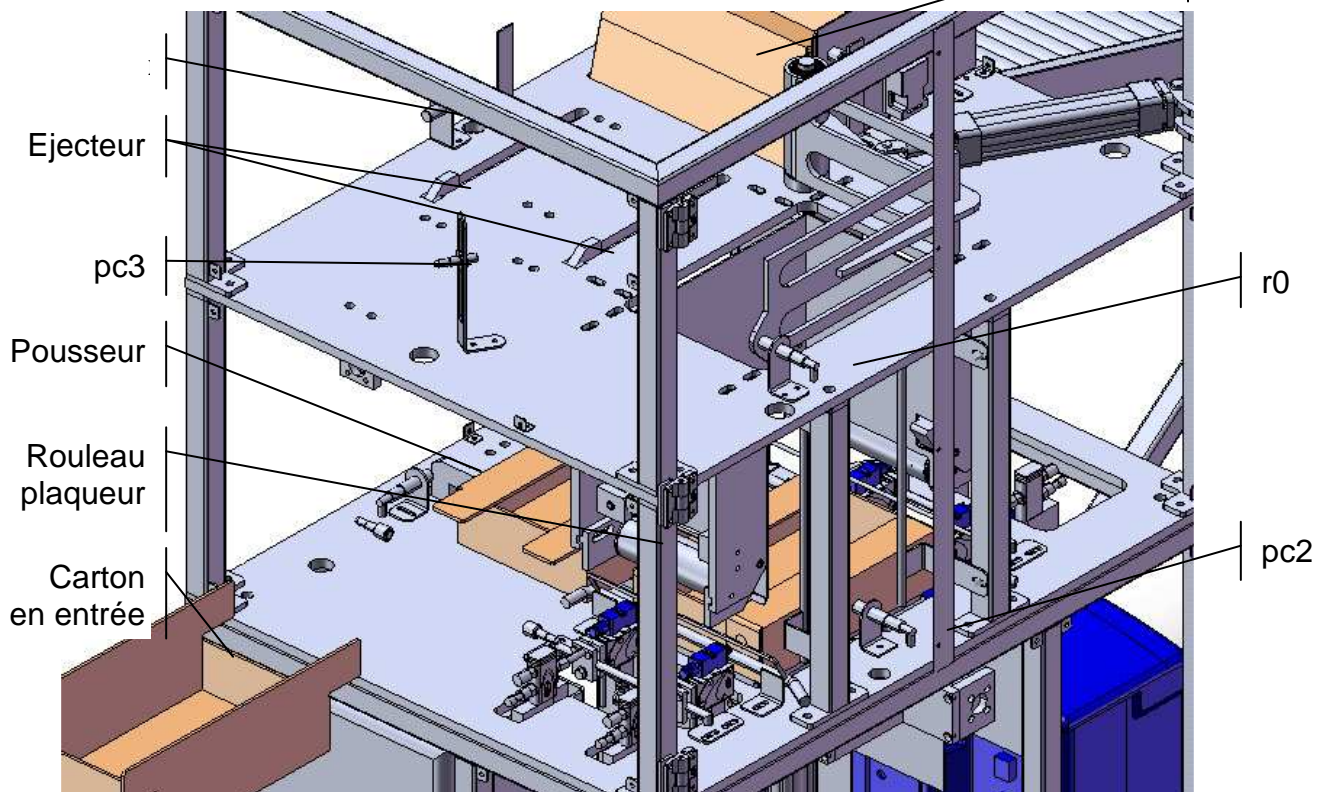
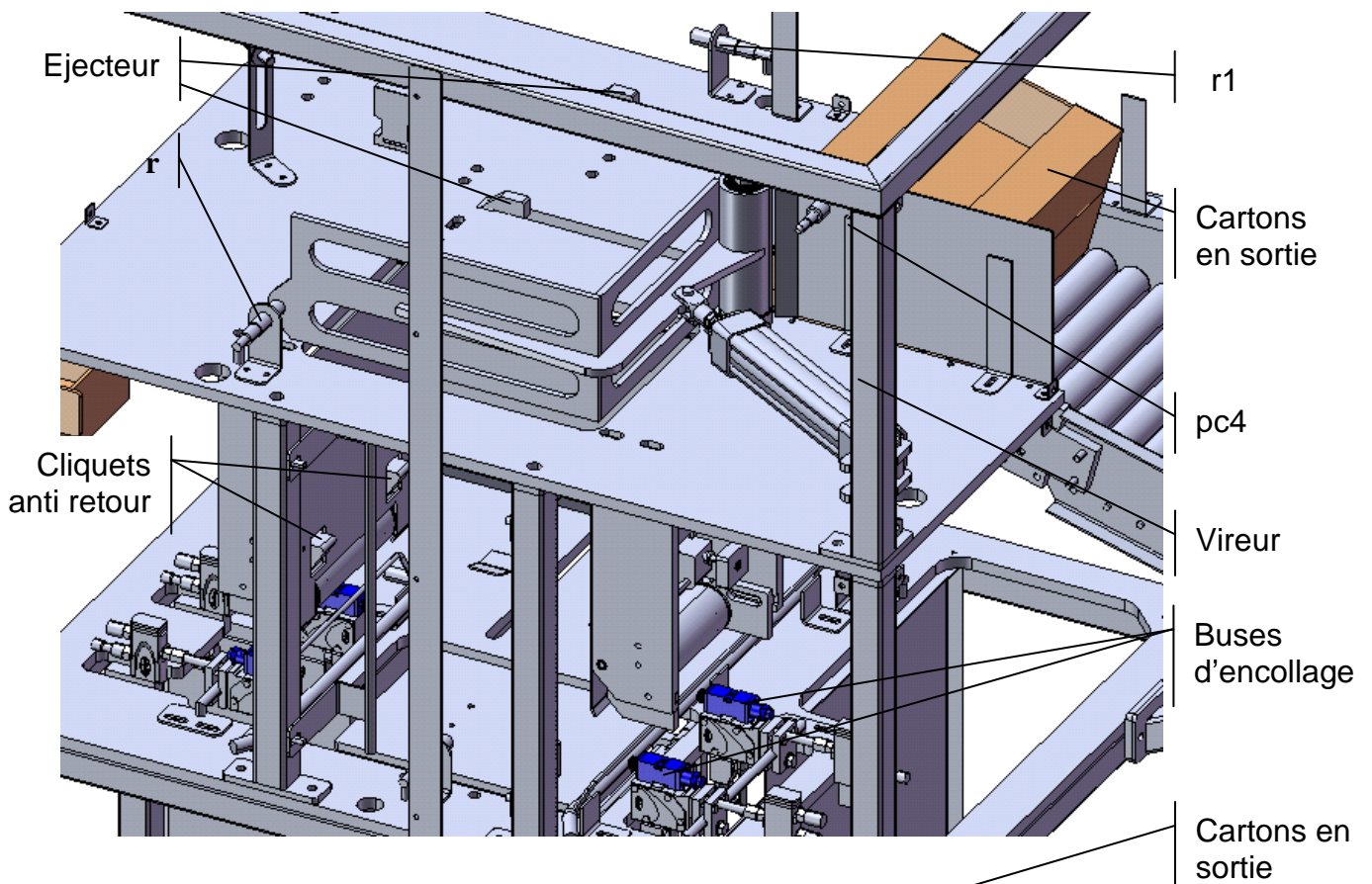
ANNEXE 2

Vues générales de l'encartonneuse



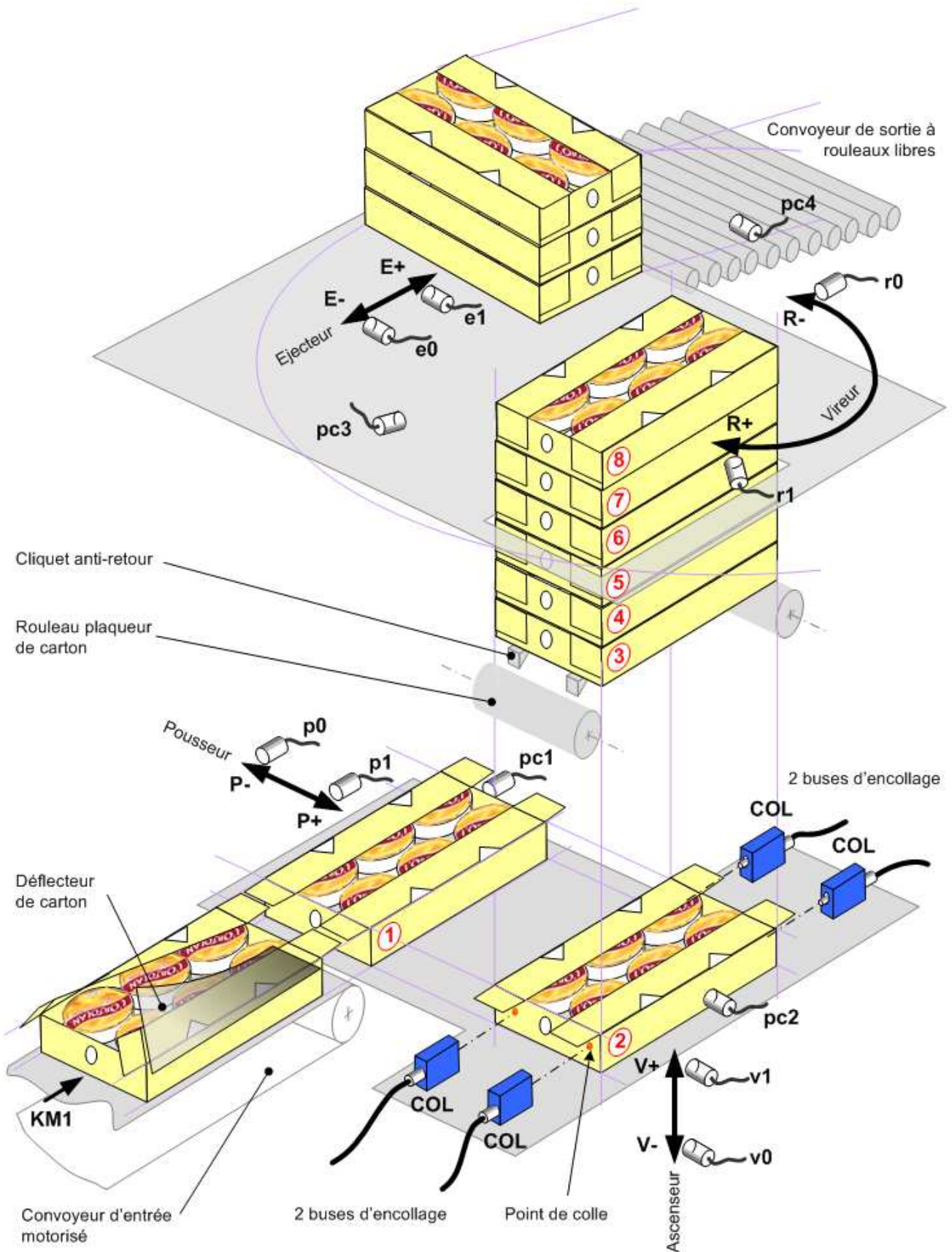
ANNEXE 3

Vues de détail de l'encartonneuse



ANNEXE 4

Synoptique de l'encartonneuse automatique



ANNEXE 5

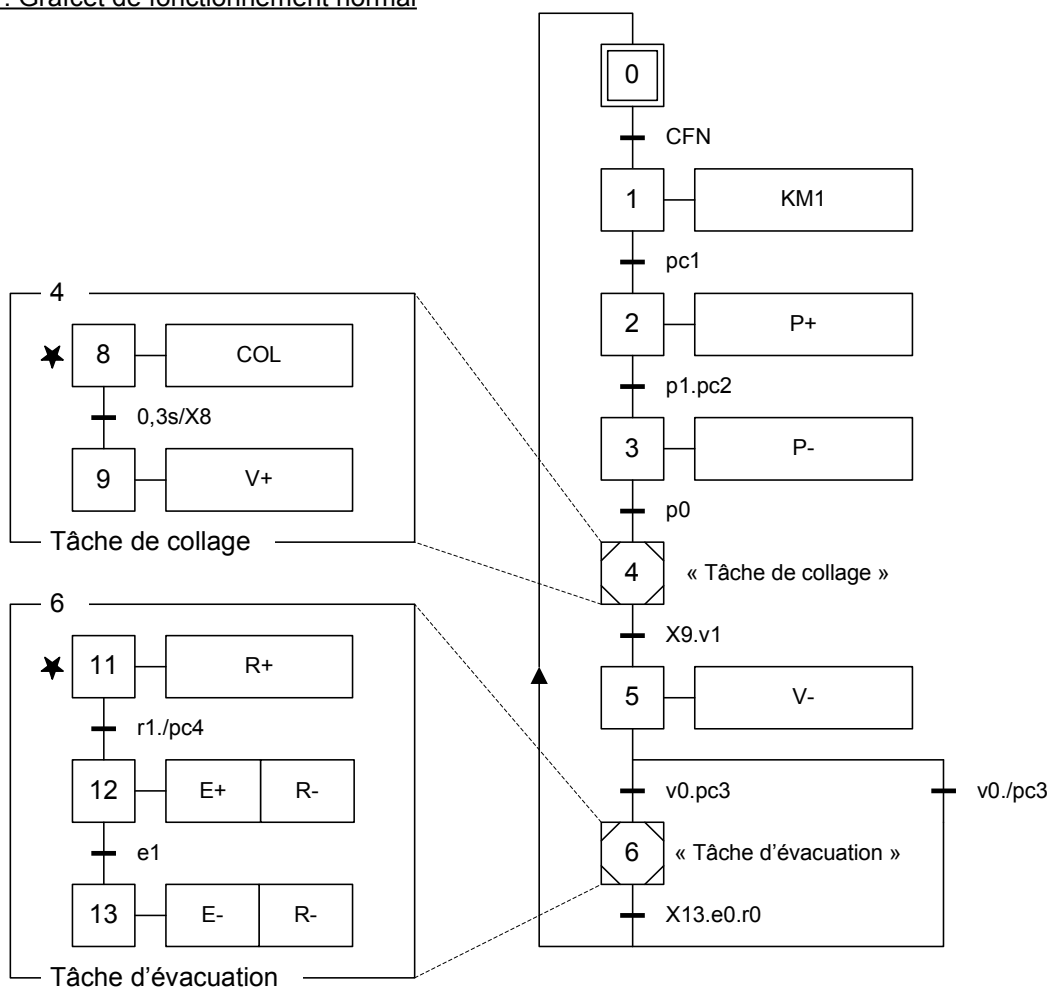
Grafcet de fonctionnement normal : G7_FN

Bilan des Entrées/Sorties

Conditions de fonctionn ^t normal — CFN	T.O.R.	G7_FN	T.O.R.	KM1 — Moteur tapis entrée
Pousseur rentrée — p0	T.O.R.		T.O.R.	P+ — Sortie pousseur
Pousseur sorti — p1	T.O.R.		T.O.R.	P- — Rentrée pousseur
Vérin vertical en bas — v0	T.O.R.		T.O.R.	COL — Éjection colle 4 buses
Vérin vertical en haut — v1	T.O.R.		T.O.R.	V+ — Montée dans la pile
Vireur en position rentrée — r0	T.O.R.		T.O.R.	V- — Descente
Vireur en position sortie — r1	T.O.R.		T.O.R.	R+ — Rotation sens horaire
Éjecteur rentré — e0	T.O.R.		T.O.R.	R- — Rotation sens anti hor.
Éjecteur sorti — e1	T.O.R.		T.O.R.	E+ — Éjection sur rampe
Présence carton devant pousseur — pc1	T.O.R.		T.O.R.	E- — Retour éjecteur
Présence carton au poste collage — pc2	T.O.R.			
Présence de 3 cartons à évacuer — pc3	T.O.R.			
Bourrage de cartons sur rampe — pc4	T.O.R.			

BILAN E/S

G7_FN : Grafcet de fonctionnement normal




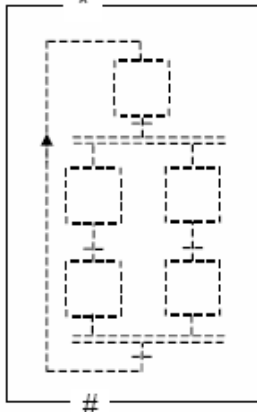
ANNEXE 6 (1/3)

Extraits de la norme CEI 60848 sur le Grafcet

7.3 Structuration par encapsulation




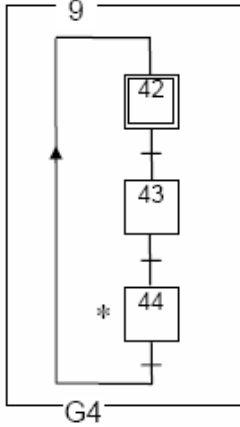
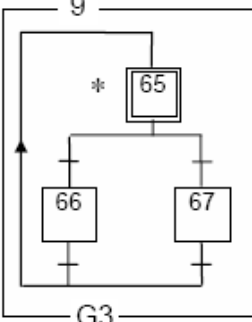
Il y a encapsulation d'un ensemble d'étapes, dites encapsulées, par une étape, dite encapsulante, si et seulement si, lorsque cette étape encapsulante est active, l'une, au moins, des étapes encapsulées est active. Le spécificateur peut utiliser l'encapsulation pour structurer de manière hiérarchique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

Tableau 10 – Etapes encapsulantes

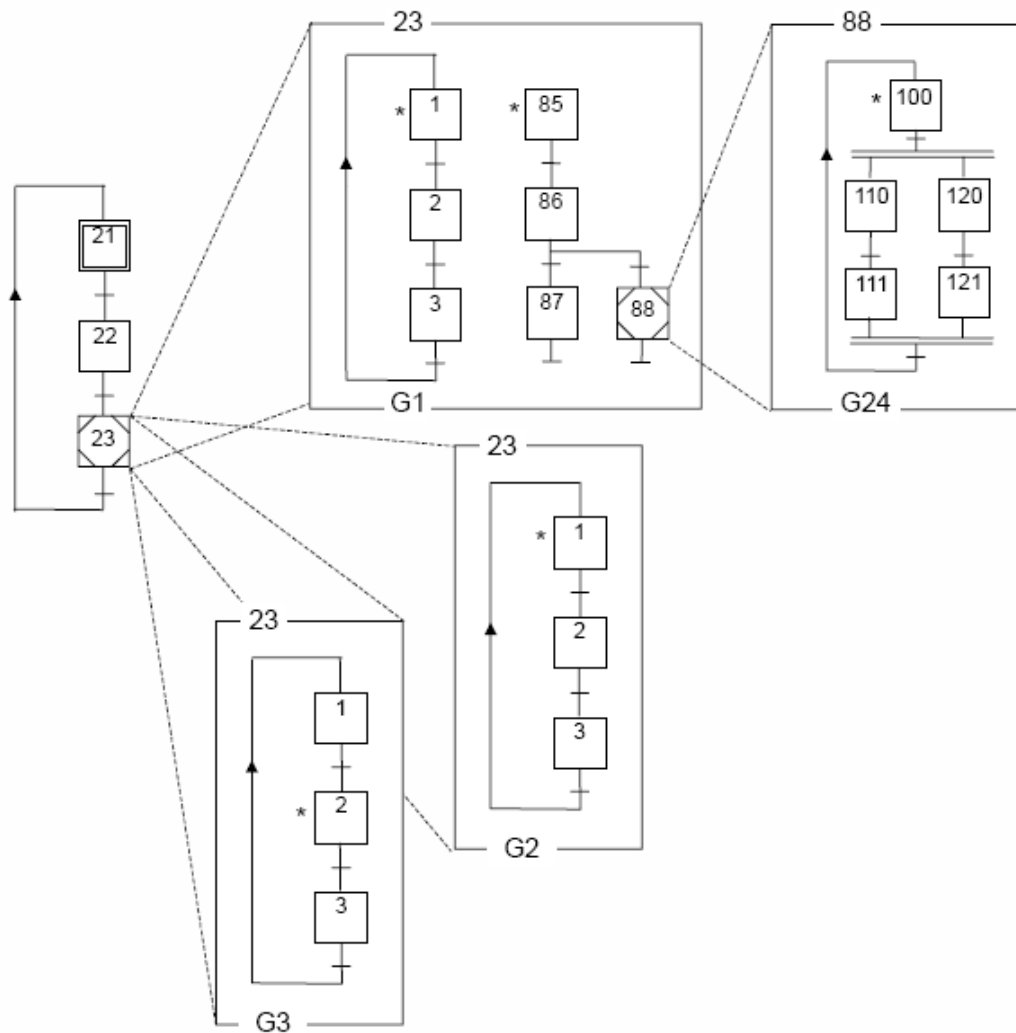
N°	Symbole	Description
[4]		<p>Étape encapsulante (rappel du symbole 4):</p> <p>Cette notation indique que cette étape contient d'autres étapes dites encapsulées dans une ou plusieurs encapsulations de cette même étape encapsulante.</p> <p>L'étape encapsulante possède toutes les propriétés de l'étape, 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>Représentation graphique d'une encapsulation:</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>Désignation globale d'une encapsulation:</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>Désignation élémentaire d'une encapsulation:</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: $X_4/X_{25}/X_{12}$ désigne l'encapsulation de l'étape 12 dans l'étape 25, elle-même encapsulée dans l'étape 4.</p>

ANNEXE 6 (2/3)

Tableau 10 – (suite)

N°	Symbole	Description
[5]		<p>Etape encapsulante initiale (rappel du symbole 5):</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>Lien d'activation, symbole général.</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%;">    </div> <div style="width: 50%;"> <p>EXEMPLE:</p> <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 grafcet, 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 grafcet.</p> </div> </div>

ANNEXE 6 (3/3)



EXEMPLE: Structuration par encapsulation:

L'étape encapsulante 23 possède 3 encapsulations représentées par les grafquets partiels 1, 2 et 3. Le grafquet partiel 24 est encapsulé dans l'étape 88 du grafquet 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 7

Comparatif des détecteurs de proximité T.O.R.

Type	Inductif	Optique (direct)	Magnétique	Capacitif	Ultrasons (direct)
Principe	<p>Objet métallique portée Champ magnétique Détecteur inductif</p>	<p>Objet réfléchissant portée Faisceau lumineux Émetteur Récepteur Détecteur optique</p>	<p>N aimant S portée Champ magnétique Détecteur magnétique Paroi non ferreuse</p>	<p>Objet, liquide, ... portée Champ électrostatique Détecteur capacitif Paroi non métallique sensibilité ajustable</p>	<p>Objet, liquide, ... portée Onde sonore Détecteur ultrasons sensibilité ajustable</p>
Avantage	<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût (30-200€). - Robustesse (détecteur insensible aux vibrations, aux chocs, à la poussière, aux huiles de coupe, etc.). - Cadences élevées (plusieurs kHz). - Pas d'usure. - Très répandu dans l'industrie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût moyen (60-300€). - Grande portée (1 m). - Cadences élevées. - Insensible aux vibrations et pas d'usure. - Détecte tout type de pièce ayant un pouvoir réfléchissant (mode réflexion directe). 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût (20-120€) - Portées plus grandes par rapport aux capteurs inductifs de même taille - Détection à travers des parois en métal non ferreux - Réagit au pôle nord et au pôle sud. - Insensible aux vibrations, salissures et pas d'usure. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût moyen (100-200€) - "voit à travers" des parois en matériaux non métalliques. - Détecte tout matériau (métal, plastique, bois, liquide, ...) - Cadences élevées - Sensibilité réglable - Insensible aux vibrations et pas d'usure. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande portée (15 m) - Détecte sans contact tout objet quel que soit le matériau (métal, plastique, bois,...), la nature (solide, liquide...), la couleur et le degré de transparence. - Sensibilité ajustable.
Limitation	<ul style="list-style-type: none"> - Portée faible (inférieure à 80 mm). - Ne détecte que les pièces métalliques. - portée variable en fonction de la nature de l'alliage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Supporte mal les environnements difficiles (sensible aux salissures et aux projections d'huile). - Sensible à l'aspect des pièces (matériau, état de surface, couleur, brillance, incidence, ...). 	<ul style="list-style-type: none"> - Portée faible (inférieure à 100 mm). - Nécessite l'utilisation d'un aimant. - Sensible aux perturbations électromagnétiques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Portée faible (inférieure à 60 mm). - Sensible à l'humidité et aux vapeurs denses. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé (200-1000€). - Sensible au courant d'air. - Sensible à la température des pièces (-10 à 50°C) - Ne détecte pas les absorbants phoniques (ouate, mousse, ...)
Application	<ul style="list-style-type: none"> - Les machines-outils, les machines de plasturgie, textile, du bois, les lignes d'assemblage, l'industrie automobile, ... - Détection de pièces métalliques dans des environnements difficiles. - Contrôle le passage de pièces défilant à grande vitesse. 	<ul style="list-style-type: none"> - Détection d'objet sur convoyeur. - Comptage de cartons. - Tri de produits en fonction de leur aspect. - Détection de contraste. 	<ul style="list-style-type: none"> - Détection d'objets dans des récipients non magnétiques. - Lecture de codes aimantés. - Les aimants permanents du segment de piston du vérin pneumatique sont reconnus par le détecteur à travers le cylindre du vérin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle final sur lignes d'emballage : emballages et contenu. - Installations de conditionnement : produits au complet ? - Mesure du niveau de remplissage de liquide ou granulés à travers les parois de réservoirs en plastique ou en verre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de pare-brise sur ligne d'assemblage. - Le passage d'objets sur des convoyeurs : bouteilles en verre, emballages cartonnés, gâteaux... - Niveau de remplissage de liquide dans un flacon ou de granulés dans les trémies de machine d'injection plastique ... - Profondeur d'une cavité.
Illustration					

ANNEXE 8

Le traitement numérique porte sur différents types d'opérandes et utilise un jeu d'opérations que l'on définit de manière simplifiée comme suit :

Les opérandes

Opérandes	Exemples
Donnée numérique (mot de 16 bits) en adressage direct (entier positif variable)	%MW1 ; %KW2 ; %SW3
Donnée numérique en adressage immédiat (entier positif constant en base 2, 10 ou 16)	2#101 ; 025 ; 16#0FF <i>(aucun préfixe pour les constantes en base 10)</i>
Donnée booléenne en adressage direct	%I1.0 ; %Q2.3 ; %SYS
Donnée booléenne en adressage immédiat	0 ; 1

Les opérations

Nature	Symboles	Exemple
Opérations d'affectation	: =	%MW1 := %MW2 ;
Opérations logiques	AND ; OR ; XOR ; NOT	%MW1 := %MW2 AND 16#FF00 ;
Opérations arithmétiques	+ ; - ; / ; *	%MW1 := %MW2 * 256 ;
Opérations de comparaison	< ; > ; =< ; >= ; <> ; =	(%MW1 = 14) ;
Opérations d'incrémentatation	INC ; DEC	INC %MW10 ;
Opération de test alternatif	SI ... ALORS ... SINON ...	SI (condition) (*commentaire*) ALORS Action1 ; Action2 ; SINON Action3 ; Test alternatif2 ; FIN_SI ;

Exemples de syntaxes de tests alternatifs

```
SI (%MW1 >= %MW2) (*calcul de %MW3*)
|
| ALORS
|   %MW3 := %MW1 ;
| SINON
|   %Q2.0 := (%MW3=5) ;
|
FIN_SI ;
```

```
SI ((%MW5=12) AND NOT %I1.0) (*com.*)
|
| ALORS
|   INC %MW5 ;
|
FIN_SI ;
```

Imbrication de tests alternatifs

```
SI (condition1) (*commentaire*)
|
| ALORS
|   Action1 ;
| SINON
|   Action2 ;
|   SI (condition2) (*commentaire*)
|   |
|   | ALORS
|   |   Action3 ;
|   | SINON
|   |   Action4 ;
|   |
|   FIN_SI ;
|
FIN_SI ;
```

```
SI (condition1) (*commentaire*)
|
| ALORS
|   SI (condition2) (*commentaire*)
|   |
|   | ALORS
|   |   Action1 ;
|   |
|   | FIN_SI ;
|   SINON
|   |
|   | Action2 ;
|   |
|   FIN_SI ;
```

ANNEXE 9

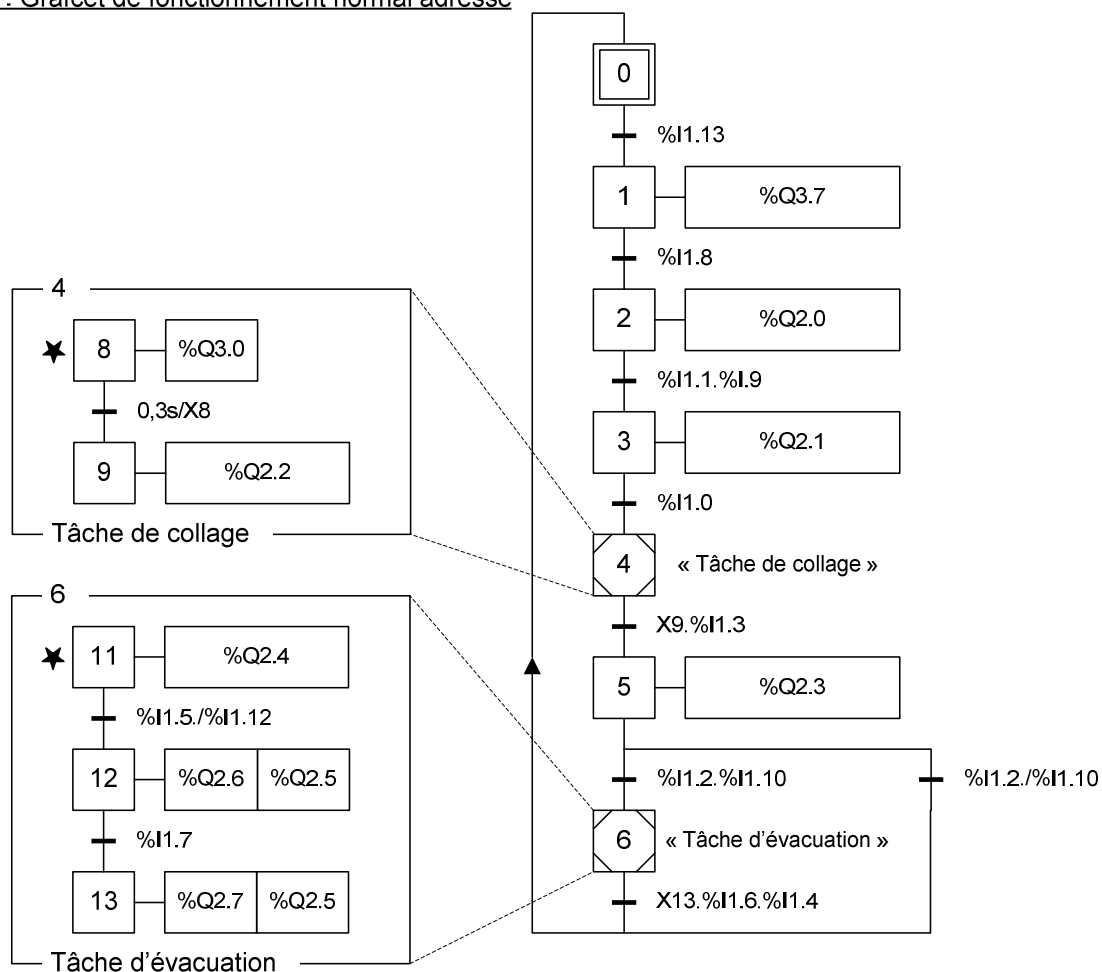
Grafcet de fonctionnement normal adressé : G7_FN

Bilan des Entrées/Sorties

Conditions de fonctionn ^t normal — CFN	T.O.R	G7_FN	T.O.R	KM1 — Moteur tapis entrée
Pousseur rentrée — p0	T.O.R		T.O.R	P+ — Sortie pousseur
Pousseur sorti — p1	T.O.R		T.O.R	P- — Rentrée pousseur
			T.O.R	COL — Éjection colle 4 buses
Vérin vertical en bas — v0	T.O.R		T.O.R	V+ — Montée dans la pile
Vérin vertical en haut — v1	T.O.R		T.O.R	V- — Descente
Vireur en position rentrée — r0	T.O.R		T.O.R	R+ — Rotation sens horaire
Vireur en position sortie — r1	T.O.R		T.O.R	R- — Rotation sens anti hor.
Éjecteur rentré — e0	T.O.R		T.O.R	E+ — Éjection sur rampe
Éjecteur sorti — e1	T.O.R		T.O.R	E- — Retour éjecteur
Présence carton devant pousseur — pc1	T.O.R			
Présence carton au poste collage — pc2	T.O.R			
Présence de 3 cartons à évacuer — pc3	T.O.R			
Bourrage de cartons sur rampe — pc4	T.O.R			

BILAN E/S

G7_FN : Grafcet de fonctionnement normal adressé



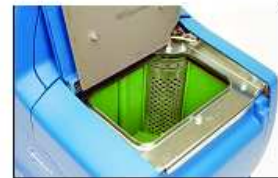
Applicateur d'adhésif ProBlue™ 4 Fondoir 4 litres



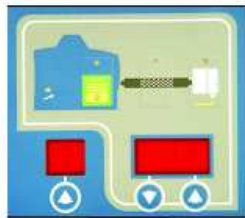
Les applicateurs Nordson ProBlue™ sont simples, compacts, conçus pour optimiser leur utilisation et réduire les coûts de production. Ces équipements robustes, modulables et paramétrables s'intègrent sur toutes les lignes d'emballage.

Caractéristiques des applicateurs ProBlue™ :

- Sécurité : système automatique de décharge de la pression hydraulique
- Possibilité de passer rapidement de 2 à 4 tuyaux / pistolets
- Taille diminuée de 20% et volume de service réduit de 50 %
- Opérations quotidiennes simplifiées
- Temps de configuration minimum
- Installation plus rapide et plus facile
- Coût d'entretien réduit



Large ouverture du bac sur 3 côtés permettant un remplissage plus facile et un meilleur nettoyage



Facile à programmer, accès très convivial



Témoin de remplacement du filtre



Indicateur de niveau bas de l'adhésif

Témoins lumineux permettant un contrôle rapide : autorisation de marche, défaut, maintenance, température du bac, des tuyaux et des pistolets.



Le paramétrage, la programmation et le dépannage peuvent être effectués à partir d'un micro-ordinateur.



Filtre Saturn® renouvelable supprimant la purge hebdomadaire du filtre

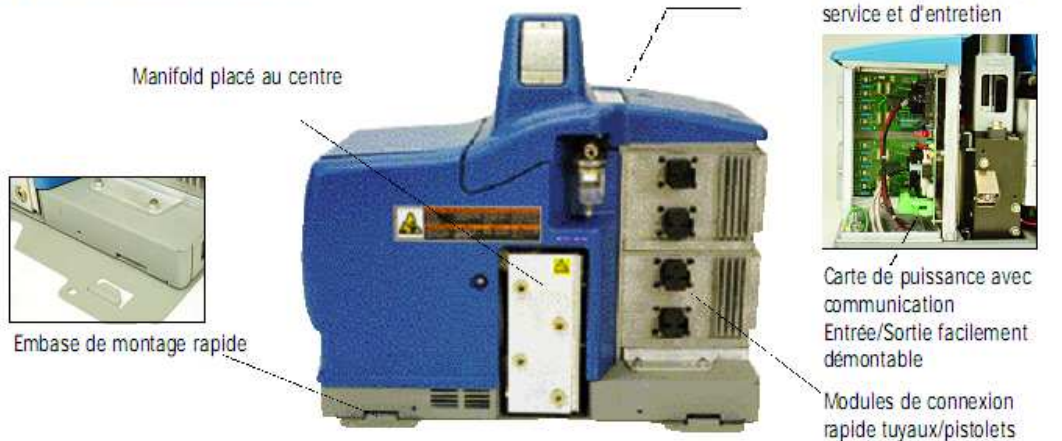
Pneumatiques pré-installés



ANNEXE 10 (2/2)

Applicateur ProBlue™ 4

Intégration facile et installation rapide



Spécifications :

Type de système	Non circulant (Pompe à piston double effet : SP 14:1)
Capacité du bac :	3.9 kg
Débit de la pompe :	6.8 kg/h
Taux de fusion :	4.3 kg/h
Volume :	4 litres
Débit max. de la pompe :	32.7 kg/h
Raccordements Tuyaux :	5
Type de filtre :	Filtres Saturn®
Pression hydraulique max.	: 8.7 mPa (85 bars) Pompe à piston 14:1
Température de consigne :	de 40 à 230°C (100 à 450°F)
Température ambiante :	de 0 à 50°C
Stabilité de Contrôle de la Température :	±0.5°C (1°F)
Alimentation électrique Standard	200 à 240V monophasé 50/60 Hz 200 à 240V triphasé 50/60 Hz 200 à 240V monophasé + N 50/60Hz 400 V triphasé + N 50/60 Hz
Avec transformateur additionnel	400V triphasé sans N 50/60 HZ 480V triphasé sans N 50/60 Hz

Puissance Maximum pour 240 V	
2 tuyaux/pistolets	4000 watts
4 tuyaux/pistolets	6000 watts
Poids (à vide)	42 kg
Communications :	Entrées programmables : 4 Sorties programmables : 3
Dimensions du générateur	
Largeur	547 mm (21.5 in)
Hauteur	469 mm (18.5 in)
Profondeur	318 mm (12.5 in)
Dimensions d'Installation	
Largeur	648 mm (25.5 in)
Hauteur	502 mm (19.75 in)
Profondeur	362 mm (14.25 in)
Entre-axe de fixation	381 X 249 mm (15 x 9.8 in)

ISO 9000

QUALITY SYSTEMS



Pour toute information complémentaire, contactez nous :

Nordson France S.A.
L'Esplanade - 2, rue Niels Bohr
77400 St Thibault des Vignes
France
Téléphone: 33-1-64.12.14.00
Fax : 33-1-64.12.14.01

Nordson Canada Limited
1585 Dagenais Blvd. West
Laval, Quebec H7L 5A3
Canada
Téléphone: 1-800-8306358
Fax : 1-450-6284414
www.nordson.ca

Nordson Benelux N.W.S.A.
Sales Office Benelux
5071 NC Udenhout
Hollande
Téléphone: 31-13-5118700
Fax : 31-13-5113995

Nordson (Schweiz) AG
Pumpwerkstrasse 25
4142 Muenchenstein 2
Suisse
Téléphone: 41-61-4113838
Fax : 41-61-4113818
www.nordson.ch

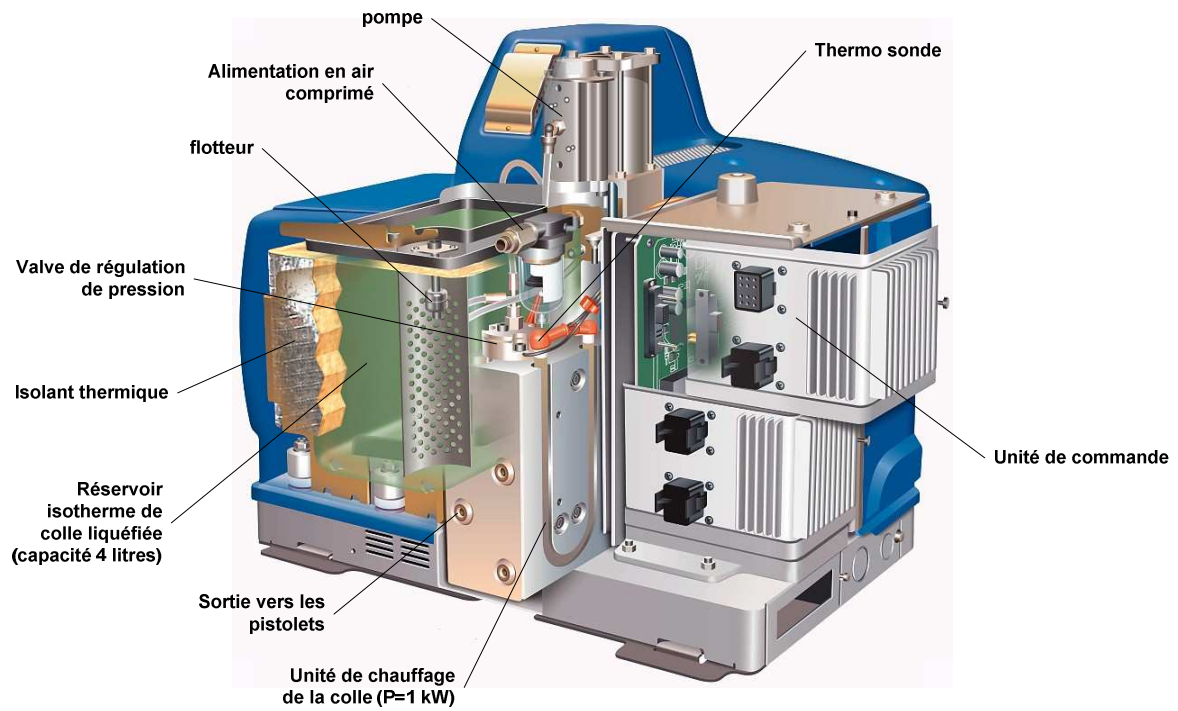
© 2002 Nordson Corporation
Tous droits réservés.
Nordson se réserve le droit de modifier
les caractéristiques ci-indiquées.



PKL40-2708 FR
Version 10/02
Imprimé en l'Allemagne.

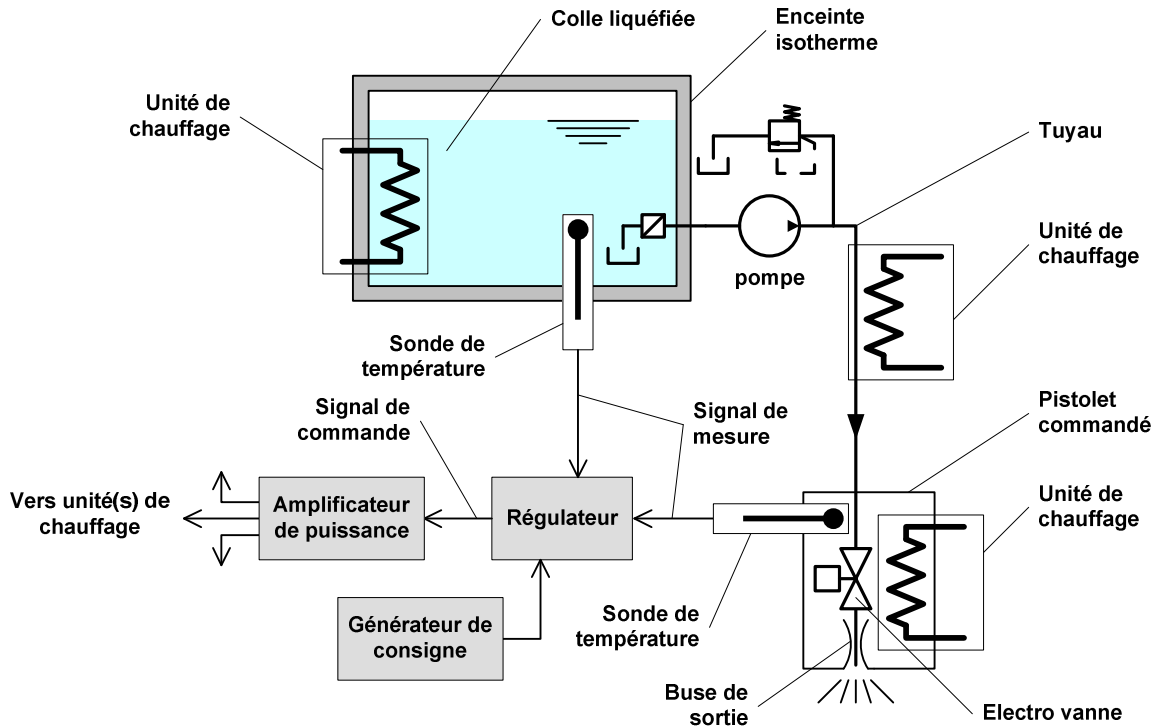
ANNEXE 11

Eclaté du générateur de colle ProBlue™ 4 (NORDSON)



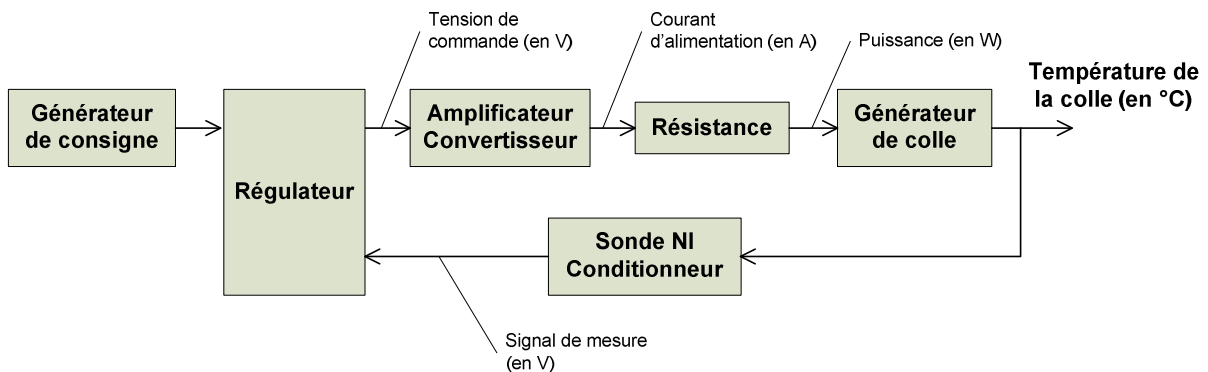
ANNEXE 12

Architecture de la régulation thermique du générateur de colle



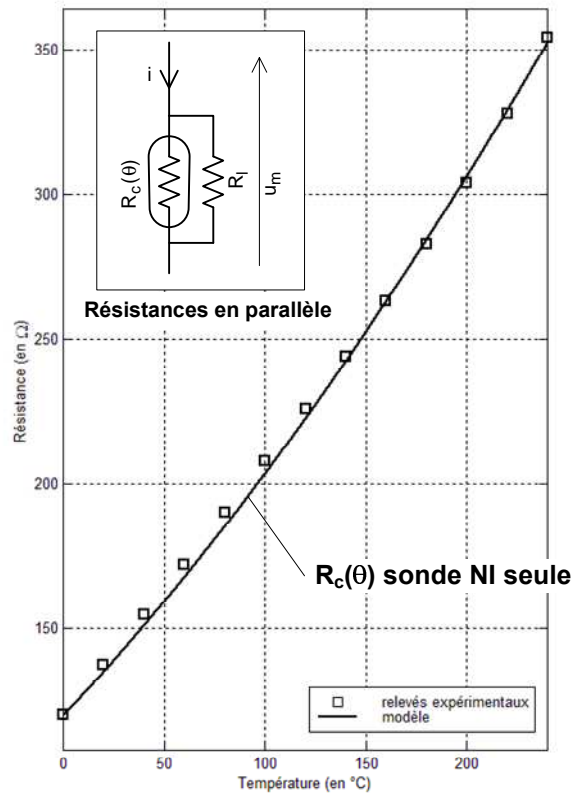
ANNEXE 13

Modèle de commande du générateur de colle liquide



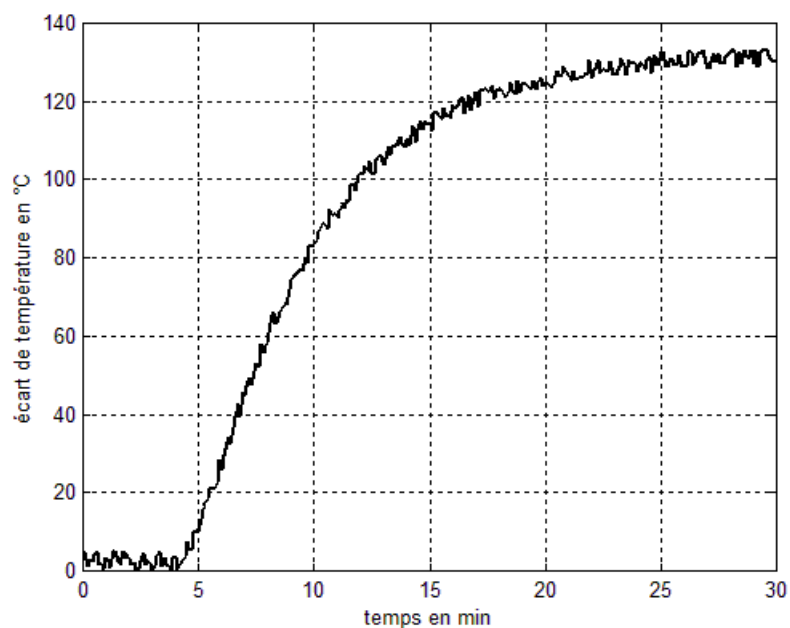
ANNEXE 14

Evolution de la résistance R_c (en Ω) en fonction de la température θ (en $^{\circ}\text{C}$)



ANNEXE 15

Réponse indicielle en température du processus à commander



C.2 – ELEMENTS DE CORRIGE RELATIFS A LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSIBILITE

ETUDE D'UN PROBLEME D'AUTOMATISATION

ENCARTONNEUSE DE FROMAGES

Partie A : Étude de la commande séquentielle

A-1) OPTIMISATION DE LA CADENCE DE PRODUCTION

Question A1.1 : Déterminer le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent.

A partir des temps estimés des actions du process et du temps calculé pour l'action KM1, on peut renseigner le grafcet de fonctionnement normal avec leur valeur (figure 1). Calcul de la durée de KM1 : la longueur L du carton déployé est de 0,45m, la vitesse V du convoyeur est de 0,3m/s, donc $t_1=L/V=0,45/0,3=1,5s$.

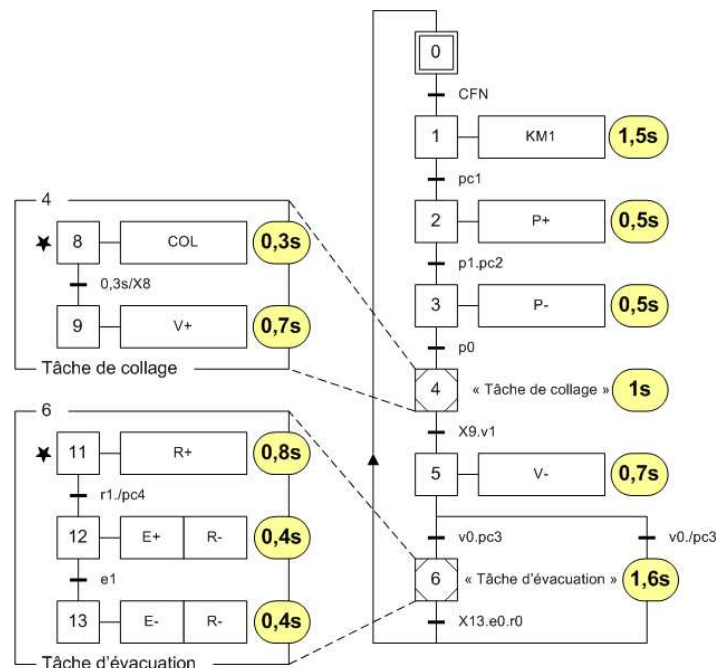


Figure 1 : Grafcet de fonctionnement normal avec les valeurs des temps d'actions

Il faut exécuter trois cycles du (G7_FN) pour réaliser une pile de trois cartons. Cela correspond à la périodicité du process.

Les deux premiers cycles se font avec la séquence (0, 1, 2, 3, 4 et 5), le troisième cycle se fait avec la séquence (0, 1, 2, 3, 4, 5 et 6).

Le temps de cycle pour réaliser trois cartons est donc :

$$T_{cy3} = ((1,5 + 0,5 + 0,5 + 1 + 0,7) \times 3) + (0,8 + 0,4 + 0,4) = 14,2 \text{ secondes.}$$

Le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent est donc :

$$T_{cy} = 1/3 \times T_{cy3}$$

$$\boxed{T_{cy} = 4,73 \text{ s}}$$

Question A1.2 : Déterminer la cadence horaire prévisionnelle de l'encartonneuse. Est-elle compatible avec les données du cahier des charges ?

Du résultat de la question précédente on en déduit la cadence horaire de la manière suivante, en tenant compte de la disponibilité constructeur, $D_c = 0,95$:

$$\boxed{\text{Cad} = (3600 / T_{cy}) \times D_c \times 12 = 8670 \text{ fromages/h}} \text{ ou } 722 \text{ cart/h}$$

Cette performance est très inférieure à la cadence visée de 15000 fro/h (1250 cart/h).

Question A1.3 : A partir du découpage en tâches proposé dans le tableau A2, construire le grafcet de coordination des tâches (G7_CT_FN), permettant d'optimiser la cadence de production.

La forme finale de grafcet optimal du point de vue de la cadence doit permettre de débiter toutes les tâches au plus tôt, tout en respectant les antériorités les unes par rapport aux autres. Ces antériorités peuvent être analysées à l'aide d'un tableau comme ci-dessous.

N°	Tâches	Début si ...	Information de fin	La fin autorise ...
T1	Amenage d'un carton plein en pc1	Fin du retour pousseur (fin de T3)	f_T1 = pc1	La tâche T2
T2	Pousser le carton au poste de collage en pc2	Fin de l'amenage carton & fin du retour d'ascenseur (fin de T1 & fin de T5)	f_T2 = p1.pc2	Les tâches T3 & T4
T3	Retour du pousseur	Fin de T2	f_T3 = p0	La tâche T1
T4	Coller le carton	Fin de T2 & fin de T6	f_T4 = X9.v1	T5 & T6
T5	Retour de l'ascenseur	Fin de T4	f_T5 = v0	La tâche T2
T6	Évacuer la pile de 3 cartons collés	Fin de T4 & pc3	f_T6 = X13.e0.r0	La tâche T4

Tableau 1 : études des antériorités des tâches les unes par rapports aux autres

A partir de cette analyse des antériorités on peut passer par un stade intermédiaire d'écriture des modules de grafcet de chaque tâche comme le montre la figure 2 où, par exemple, l'étape repérée 1-2 représente l'autorisation donnée par T1 en fin de tâche pour T2.

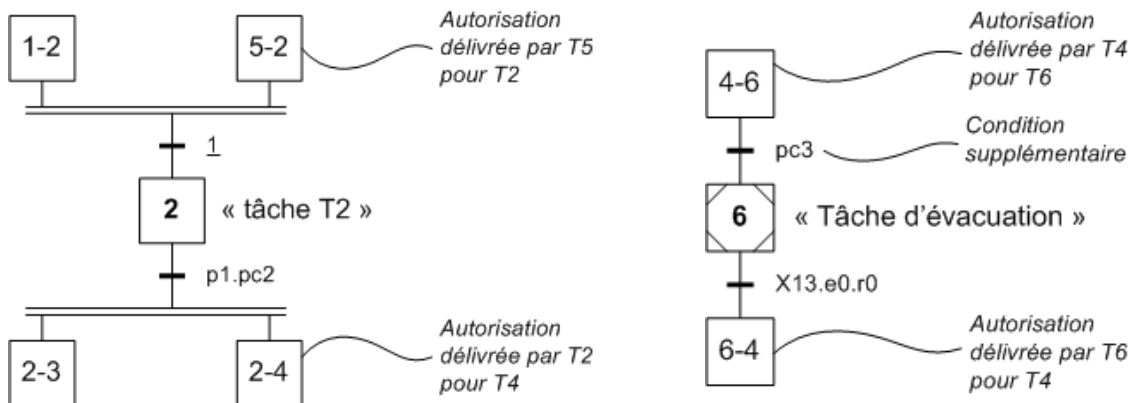


Figure 2 : module grafcet de la tâche 2

Le grafcet de coordination des tâches correspondant est donné en figure 3. La recherche de la situation initiale du grafcet n'était pas demandée explicitement dans la question, néanmoins il était facile de supposer l'état initial du système en début de production pour ensuite rechercher l'ordre chronologique d'exécution des actions pour réaliser le premier cycle correctement.

Ici l'hypothèse que la machine est complètement vide en début de fonctionnement avec tous ses actionneurs en positions initiales ($p0$, $v0$, $r0$, $e0$) est la plus probable.

Par conséquent la première tâche à réaliser est T1, d'où le marquage de l'étape 3-1.

Ensuite il faut réaliser T2, d'où la nécessité d'initialiser l'étape 5-2. Par la suite, pour exécuter T4 cela contraint à rendre initiale l'étape 6-4.

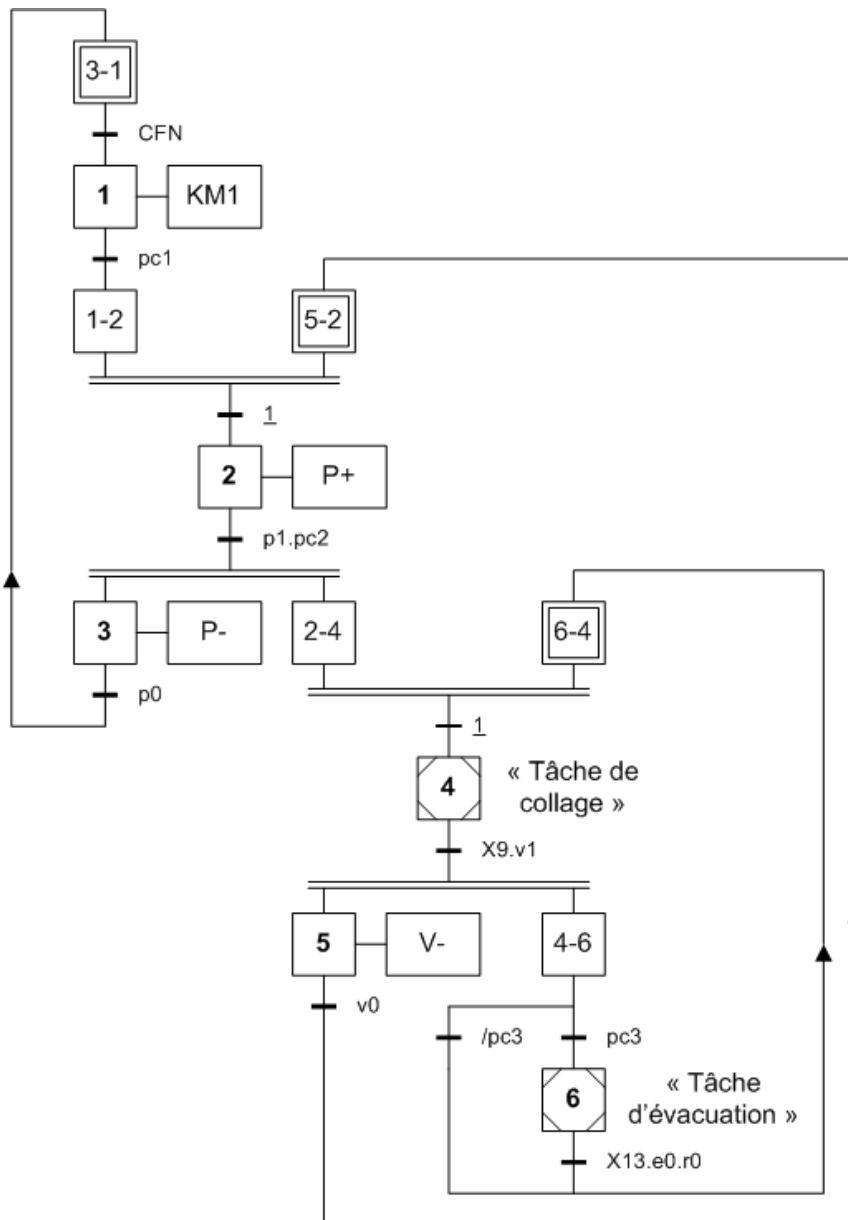


Figure 3 : Grafcet de coordination des tâches de fonctionnement (G7_CT_FN)

Question A1.4 : Construire le diagramme de Gantt correspondant à ce nouveau fonctionnement normal en complétant le document réponse DR1. En déduire le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent.

Le diagramme de Gantt est donné en figure 4. Le chemin critique de ce cycle de production est repéré en rouge sur le diagramme. Il est constitué des tâches T1, T2 et T3. Pour un gain supplémentaire de cadence, ce sont les durées de ces tâches qu'il faudrait réduire. A contrario les autres tâches disposent d'une marge de temps.

Après une phase transitoire de démarrage, la cadence devient cyclique avec une période de 7,5 secondes durant laquelle la machine conditionne une pile de trois cartons. Donc, $T_{cy3} = 7,5$ s

Le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent est donc :

$$T_{cy} = 1/3 \times T_{cy3}$$

$$T_{cy} = 2,5 \text{ s}$$

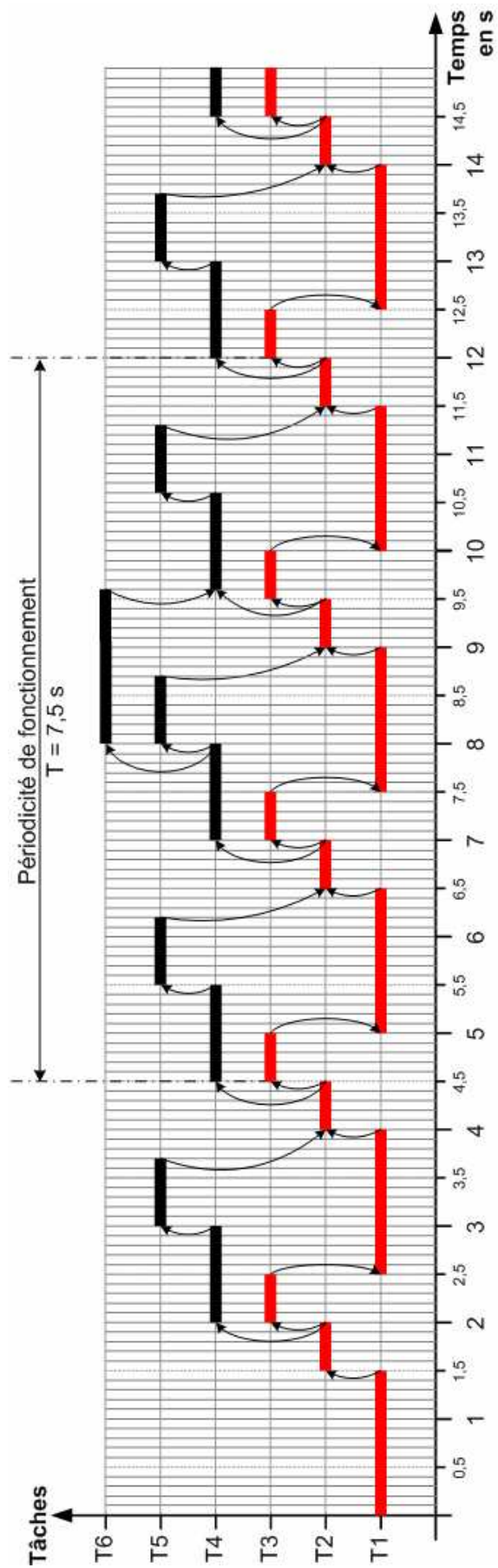


Figure 4 : diagramme de Gantt du cycle donné par le grafcet (G7_CT_FN)

Question A1.5 : Déterminer la nouvelle cadence horaire prévisionnelle de l'encartonneuse et apporter vos conclusions.

Du résultat de la question précédente on déduit la cadence horaire de la manière suivante, en tenant compte de la disponibilité constructeur, $D_c = 0,95$:

$$\underline{Cad = (3600 / T_{cy}) \times D_c \times 12 = 16416 \text{ fro/h}} \text{ ou } 1368 \text{ cart/h}$$

Cette performance est légèrement supérieure à la cadence souhaitée de 15000 fro/h.

A-2) AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ

Question A2.1 : A partir du document ressource sur la technologie des détecteurs de proximité en **Annexe 7**, sélectionner le ou les capteurs capables et choisir celui qui vous semble le plus approprié pour assurer la fonction. Justifier vos choix.

On peut procéder par élimination. Le produit à détecter n'est ni métallique ni magnétique, par conséquent les capteurs inductifs et magnétiques sont à exclure.

Pour détecter la présence des six fromages de la couche supérieure, il faut un moyen de capter la présence de ces fromages dans l'ouverture centrale du carton ou bien alors être capable de « voir » les produits à travers le rabat supérieur du carton.

Le détecteur photoélectrique, si le pouvoir réfléchissant du carton est plus faible que celui du papier d'emballage du fromage, pourrait détecter la présence du produit dans l'ouverture du carton. Il faudrait le régler de telle sorte qu'il détecte le fromage du haut et pas celui du bas. Cela est possible avec les détecteurs de proximité à suppression de fond. Cette technologie permet de fixer de façon très précise la distance maximale de détection par triangulation optique. L'inconvénient est que le papier d'emballage n'a pas une géométrie régulière (froissé ou gondolé), donc sa capacité à réfléchir le faisceau lumineux reste aléatoire. Ce dernier point rend le détecteur optique peu capable.

Le détecteur ultrasonique détecterait le rabat supérieur du carton et le fromage sans distinction. Ce point technique et son coût élevé le rendent peu capable.

Le détecteur capacitif peut être réglé de façon à ne pas détecter le carton en premier plan, détecter le fromage supérieur et ne pas détecter le fromage de la couche inférieure en arrière plan. Son coût et ses possibilités de détection discriminatoire le rendent capable. Le principe de détection est illustré en figure 5.

Le choix définitif de la technologie de détection est par conséquent le capacitif.

Il restera à le dimensionner pour choisir un composant adapté dans une gamme de constructeur.

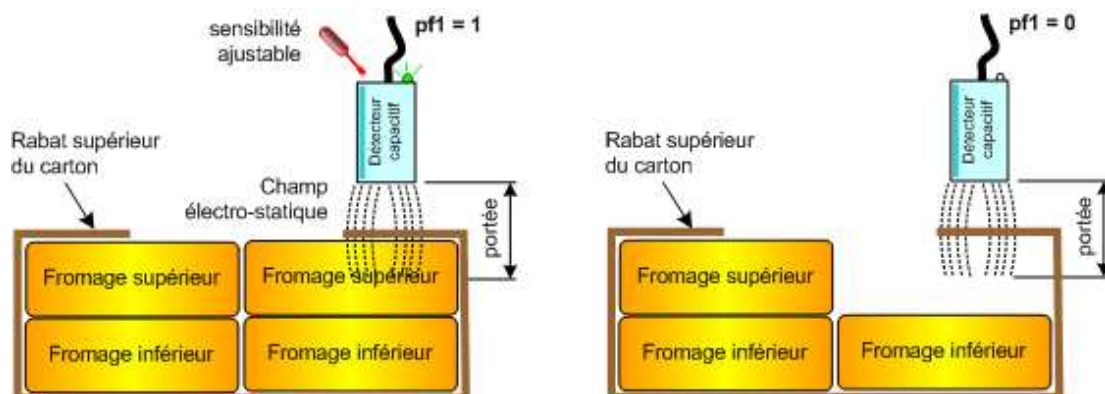


Figure 5 : principe de détection des *Ortolan* de la couche supérieure à travers de carton

Question A2.2 : A l'aide d'un croquis d'intention, montrer l'implantation exacte des trois capteurs choisis en question précédente, en cotant leur positions par rapport au carton et à la machine. Expliciter le mode détection du défaut.

Les trois capteurs *pf1*, *pf2*, *pf3* sont placés au dessus de la trajectoire du carton durant son déplacement poussé par P+ comme le montre la figure 5.

Ils sont décalés de 40 mm par rapport au côté du carton, dans sa position d'arrivée en *pc1*, pour détecter de suite les trois fromages de la première rangée.

Ils sont disposés à 95 mm d'un bout du carton pour capter un secteur des fromages et le vide formé entre leurs deux rangées.

Durant la tâche 2 – si le carton est plein – les signaux des trois capteurs vont évoluer comme l'indique le chronogramme illustré de la figure 6.

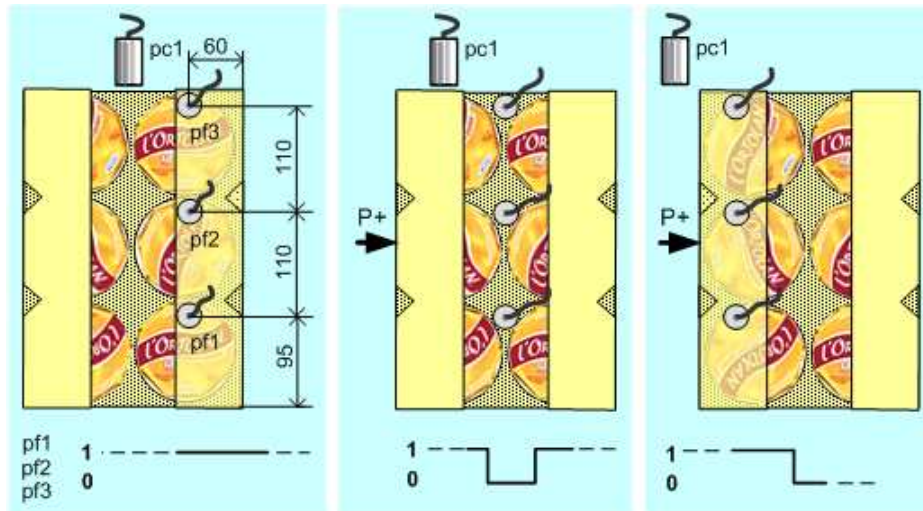


Figure 6 : mode de détection des fromages de la couche supérieure

Question A2.3 : Elaborer le grafcet (G7_MEMODEF) de traitement des signaux *pf1*, *pf2* et *pf3* pour mémoriser l'information « défaut remplissage ».

En début de tâche T2 (X2) on teste de suite si les trois fromages de la première rangée sont présents. Si oui, le grafcet évolue en X101. Si non il évolue en X105, l'étape qui mémorise le défaut de conditionnement.

Ensuite, depuis X101, lorsque les trois capteurs détectent le vide entre les deux rangées, le grafcet évolue en X102 pour attendre l'apparition des trois autres fromages de la deuxième rangée. Si cela se produit on évolue en X103, fin de contrôle et résultat positif.

Si l'on ne voit pas les trois produits en fin de tâche (X2), alors le grafcet (G7_MEMODEF) évolue en X105 pour mémoriser le défaut.

La consigne d'effacement de la mémoire défaut viendra du grafcet qui exploitera ce signal et provoquera l'initialisation de (G7_MEMODEF).

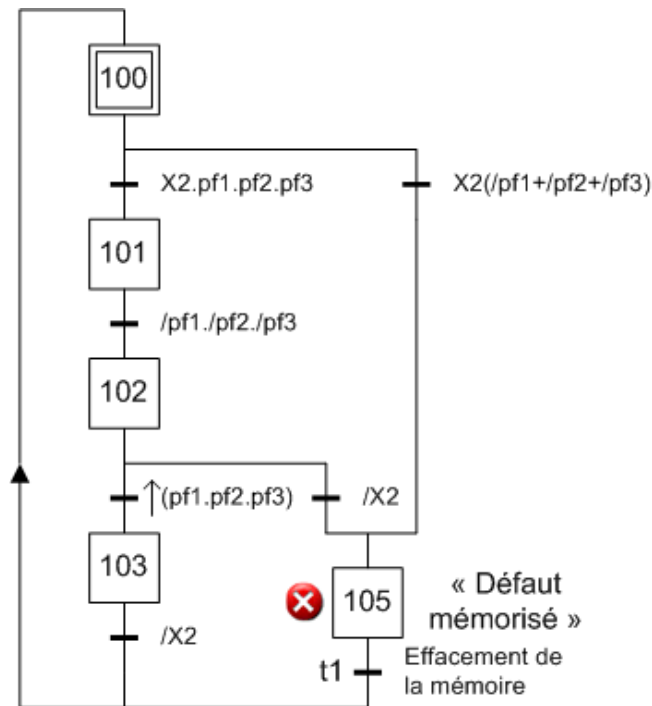


Figure 7 : grafcet de détection et mémorisation du défaut de conditionnement (G7_MEMODEF)

Une solution plus simple consiste à installer différemment les capteurs (*pf1*, *pf2*, *pf3*) et exploiter le signal *pc1*, comme le montre la figure 8. Les capteurs *pf* sont placés sur la trajectoire des centres des fromages et on suppose que leurs signaux conservent l'état 1 au passage d'une rangée à l'autre. Dans cette configuration on s'assure que les signaux de *pf1*, *pf2* et *pf3* aient le niveau 1, et le conservent, pendant la tâche 2 (*X2*) tant que *pc1*=1. Ce la donne un grafcet très simple (figure 8).

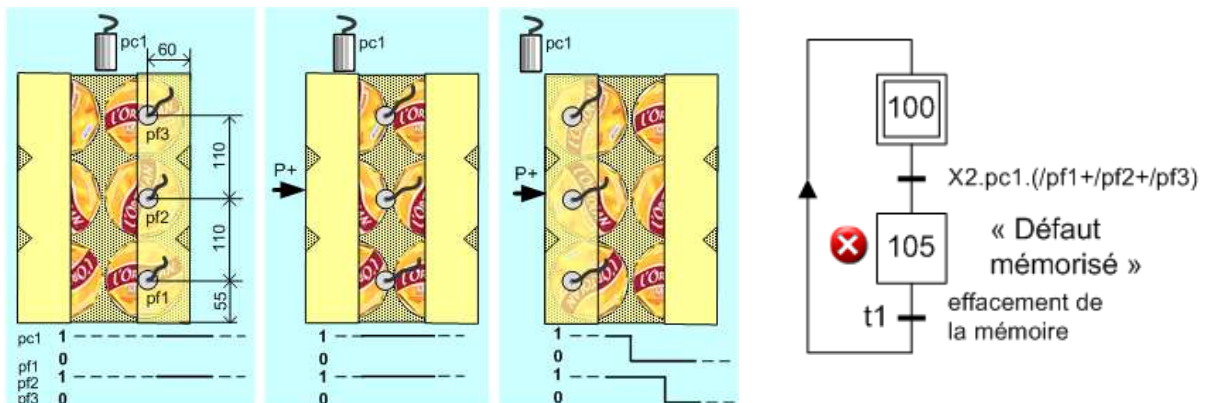


Figure 8 : variante de la solution de détection et de mémorisation du défaut de conditionnement

Question A2.4 : Elaborer le grafcet du registre à décalage (G7_REGDEF) pour décaler l'information « défaut remplissage » mémorisée, en position 5 et position 6.

Quand l'information « défaut remplissage » a été élaborée par le grafcet (G7_MEMODEF), il faut maintenant la décaler au rythme des cycles de la machine afin de connaître l'instant où ce carton se présentera dans les positions repérées 5 et 6. A l'activation de *X105*, le grafcet (G7_REGDEF) de la figure 8, évolue en *X200*. Cela signifie que le carton défectueux est en position 2 au poste de collage. Ensuite chaque fois que se termine la tâche 4 de collage (carton arrivé en position 3), il faudra décaler cette information. C'est la réceptivité $\uparrow X5$ à chaque cycle qui provoque ce décalage. Ainsi $X203=1$

signifiera qu'un carton mal rempli se trouve en position 5 et $X204=1$ signifiera qu'un carton mal rempli se trouve en position 6.

Remarque : la réceptivité associée à la transition $t1$ du grafcet *MEMODEF* (effacement de la mémoire défaut) pourra se réaliser avec $X200$ de (*G7_REGDEF*).

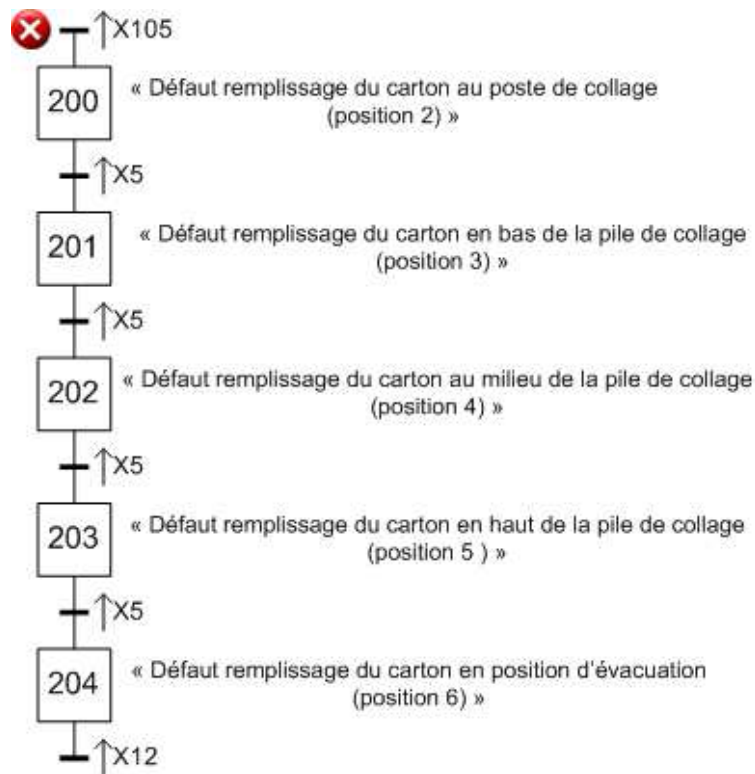


Figure 8 : grafcet registre à décalage de l'information « défaut remplissage » (*G7_REGDEF*)

Question A2.5 : Modifier le grafcet de fonctionnement normal (*G7_FN*) de l'Annexe 5, afin d'assurer la fonction d'isolement d'un carton défectueux suivant la procédure décrite en figure A4.

La modification des réceptivités des transitions $t2$ et $t3$, permet de déclencher la tâche d'évacuation à chaque occurrence de défaut en positions 5 ou 6 du processus. Voir la modification en figure 9.

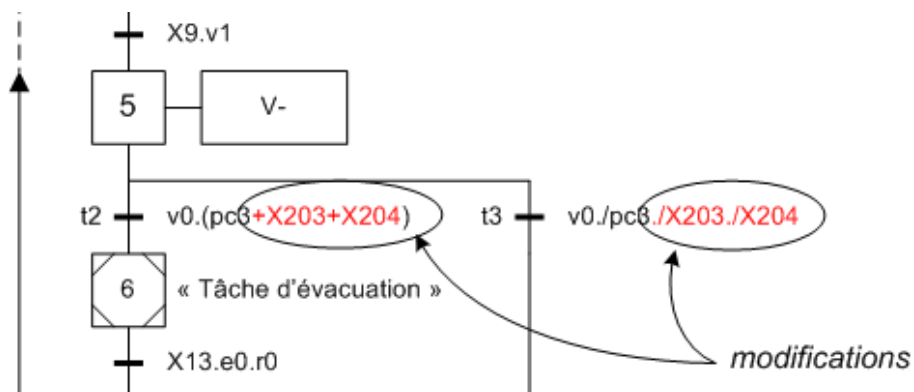


Figure 9 : modification du grafcet de fonctionnement normal (*G7_FN*) pour assurer l'isolement du carton défectueux sans arrêter la machine

A-3) RÉALISATION PROGRAMMÉE DE LA COMMANDE

Question A3.1 : En utilisant et respectant scrupuleusement le langage ST présenté en annexe 8, écrire le programme du grafcet de fonctionnement normal (G7_FN) afin de respecter les règles 1, 2 et 3 d'évolution du modèle Grafcet.

On affecte le mot %MW0 au graphe principal du grafcet (G7_FN), le mot %MW6 pour l'encapsulation de l'étape encapsulante 6 et le mot %MW4 pour l'encapsulation « tâche de collage » de l'étape encapsulante 4.

Commentaire		Programme
Initialisation du grafcet	Initialisation du graphe principal du grafcet de fonctionnement normal (G7_FN)	SI (%SYS) ALORS %MW0:= 0 ; FIN_SI ;
Evolution du graphe principal	Franchissement de la transition X0>X1	SI (%MW0=0 AND %I1.8) ALORS %MW0:= 1 ; FIN_SI ;
	Franchissement de la transition X1>X2	SI (%MW0=1 AND %I1.13) ALORS %MW0:= 2 ; FIN_SI ;
	Franchissement des transitions X2>X3, X3>X4, X4>X5	SI ((%MW0=2 AND %I1.1 AND %I1.9) OR (%MW0=3 AND %I1.0) OR (%MW0=4 AND %MW4=9 AND %I1.3)) ALORS INC %MW0 ; FIN_SI ;
	<i>Variante de programmation pour un résultat plus compact</i>	
	Franchissement de la transition X5>X6	SI (%MW0=5 AND %I1.2 AND %I1.10) ALORS %MW0 :=6 ; %MW6 :=11 ; FIN_SI ;
	Lien d'activation de l'étape encapsulante 6	
	Franchissement des transitions X6>X0, X5>X0	SI ((%MW0=5 AND %I1.2 AND NOT %I1.10) OR (%MW0=6 AND %MW6=13 AND %I1.6 AND %I1.4)) ALORS %MW0 :=0 ; FIN_SI ;
Évolution du graphe encapsulé	Franchissement des transitions X11>X12, X12>X13	SI ((%MW6=11 AND %I1.5 AND NOT %I1.12) OR (%MW6=12 AND %I1.7)) ALORS INC %MW6 ; FIN_SI ;
	Désactivation des étapes encapsulées lorsque l'étape encapsulante 6 n'est pas active.	SI (%MW0<>6) ALORS %MW6:= 0 ; FIN_SI ;

Question A3.2 : Compléter le programme de la question précédente par la programmation des actions associées aux étapes.

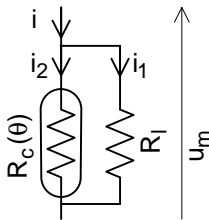
Ecriture des équations logiques uniques de chaque sorties dans un ordre croissant pour se repérer aisément lors des opérations de mise au point et de maintenance du programme.

Commentaire		Programme
Combinatoire général des sorties	Equation de %Q2.0	SI (%MW0=2) ALORS %Q2.0:=1 ; SINON %Q2.0:=0 ; FIN_SI ;
	Equation de %Q2.1 <i>Variante de programmation plus compacte</i>	%Q2.1:=%MW0=3 ;
	Equation de %Q2.3	%Q2.3:=%MW0=5 ;
	Equation de %Q2.4	%Q2.4:=%MW6=11 ;
	Equation de %Q2.5	%Q2.5:=%MW6=12 OR %MW6=13 ;
	Equation de %Q2.6	%Q2.6:=%MW6=12 ;
	Equation de %Q2.7	%Q2.7:=%MW6=13 ;
	Equation de %Q3.7	%Q3.7:=%MW0=1 ;

Partie B : Étude de la régulation en température du générateur de colle

B-1) LINEARISATION DE LA SONDE DE TEMPERATURE

Question B1.1: Déterminer l'expression de la résistance équivalente $R(\theta)$ en fonction des deux résistances (une variable et une fixe) montées en parallèle notées respectivement $R_c(\theta)$ et R_l (cf. Fig. A4).



On peut écrire dans chaque résistance :

$$u_m = i_1 R_l \text{ et } u_m = i_2 R_c(\theta) \text{ avec } i = i_1 + i_2$$

Et avec la notion de 'résistance équivalente' $u_m = R(\theta) \cdot i$

donc $i_1 = \frac{u_m}{R_l}$ et $i_2 = \frac{u_m}{R_c(\theta)}$, ce qui donne finalement :

$$u_m = R(\theta) \cdot \left[\frac{u_m}{R_l} + \frac{u_m}{R_c(\theta)} \right] \Rightarrow \frac{1}{R(\theta)} = \frac{1}{R_l} + \frac{1}{R_c(\theta)} \text{ ou } \boxed{R(\theta) = \frac{R_l \cdot R_c(\theta)}{R_l + R_c(\theta)}}$$

Question B1.2: En appliquant la condition de linéarisation définie par Eq1 à l'expression de la résistance équivalente $R(\theta)$ déterminée précédemment, montrer que l'on obtient la condition suivante :

$$[R_l + R_c(\theta_i)] \cdot \frac{d^2 R_c(\theta = \theta_i)}{d\theta^2} - 2 \left[\frac{dR_c(\theta = \theta_i)}{d\theta} \right]^2 = 0$$

On part de la condition : $\frac{d^2 R(\theta = \theta_i)}{d\theta^2} = 0$ et de la résistance équivalente $R(\theta) = \frac{R_l \cdot R_c(\theta)}{R_l + R_c(\theta)}$. On calcule la dérivée première, ce qui donne :

$$\frac{dR(\theta)}{d\theta} = \left[\frac{R_l}{R_l + R_c(\theta)} - \frac{R_l \cdot R_c(\theta)}{(R_l + R_c(\theta))^2} \right] \frac{dR_c(\theta)}{d\theta} = \frac{R_l^2}{(R_l + R_c(\theta))^2} \frac{dR_c(\theta)}{d\theta}$$

On dérive encore cette relation, ce qui donne après simplifications :

$$\frac{d^2 R(\theta)}{d\theta^2} = \frac{R_l^2}{(R_l + R_c(\theta))^3} \left[(R_l + R_c(\theta)) \frac{d^2 R_c(\theta)}{d\theta^2} - 2 \left(\frac{dR_c(\theta)}{d\theta} \right)^2 \right]$$

Donc, pour le point de fonctionnement choisi $\theta = \theta_i$, la condition de linéarisation $\frac{d^2 R(\theta = \theta_i)}{d\theta^2} = 0$ donne facilement la relation demandée, soit :

$$[R_l + R_c(\theta_i)] \cdot \frac{d^2 R_c(\theta = \theta_i)}{d\theta^2} - 2 \left[\frac{dR_c(\theta = \theta_i)}{d\theta} \right]^2 = 0$$

Ou encore sous une autre forme plus condensée :

$$\boxed{[R_l + R_c(\theta_i)] \cdot R_c''(\theta_i) - 2R_c'^2(\theta_i) = 0} \quad \text{avec } R_c''(\theta_i) = \frac{d^2 R_c(\theta = \theta_i)}{d\theta^2} \text{ et } R_c'(\theta_i) = \frac{dR_c(\theta = \theta_i)}{d\theta}$$

Question B1.3: En utilisant les relations (Eq2 et Eq3), déterminer l'expression de la résistance de linéarisation R_l en fonction de R_{co} , A , B , θ_i et $R_c(\theta_i)$.

On déduit de l'expression précédente la valeur de la résistance de linéarisation, soit :

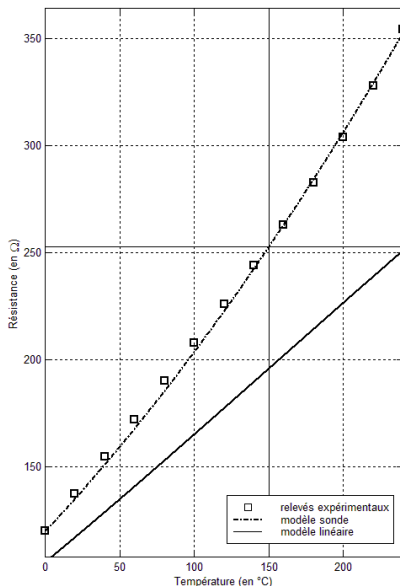
$$R_l = \frac{2R_c'^2(\theta_i)}{R_c''(\theta_i)} - R_c(\theta_i)$$

En utilisant l'expression $R(\theta)$ donnée, il vient alors :

$$R_c'(\theta) = R_{co}(A + 2B\theta) \text{ et } R_c''(\theta) = 2BR_{co} \text{ donc } R_l = R_{co} \left[\frac{(A + 2B\theta_i)^2}{B} - (1 + A\theta_i + B\theta_i^2) \right]$$

Question B1.4: Déterminer la valeur numérique de R_l (en Ω) si la température de fonctionnement est fixée à $\theta_i = 150^\circ\text{C}$.

Si la température de fonctionnement est fixée à $\theta_i = 150^\circ\text{C}$, on détermine $R_c(\theta_i) = 252,6 \Omega$ et on en déduit la valeur de la résistance de linéarisation qui doit être : $R_l = 869,4 \Omega$



En utilisant les valeurs déterminées, on peut tracer l'évolution linéarisée $R(\theta)$ de la sonde de température, ce qui donne le tracé ci-contre.

RQ :

$$R_c(\theta_i) = 120 * (1 + 6,2 \cdot 10^{-3} * 150 + 7,8 \cdot 10^{-6} * 150^2) = 252,6 \Omega$$

Autour de la température de fonctionnement $\theta_i = 150^\circ\text{C}$, on peut facilement déterminer la pente locale, soit :

$$\frac{dR(\theta_i)}{d\theta} = \frac{R_l^2}{(R_l + R_c(\theta_i))^2} R_c'(\theta_i)$$

$$R_c'(\theta_i) = R_{co}(A + 2B\theta_i) = 120 * (6,2 \cdot 10^{-3} + 2 * 7,8 \cdot 10^{-6} * 150) = 1,02 \Omega / ^\circ\text{C}$$

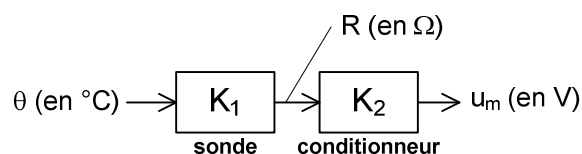
$$\frac{dR(\theta_i)}{d\theta} = \frac{869,4^2}{(869,4 + 252,6)^2} * 1,02 = 0,61 \Omega / ^\circ\text{C}$$

Question B1.5: Déterminer alors la valeur numérique du gain (en $\Omega / ^\circ\text{C}$) de la sonde linéarisée autour du point de fonctionnement défini.

On évalue la pente de l'évolution linéarisée (cf. tracé ci-dessus) autour du point de fonctionnement, ce qui donne environ :

$$K_1 = 0,61 \Omega / ^\circ\text{C} \text{ (valeur confirmée graphiquement sur la courbe tracée ci-dessus)}$$

Le modèle bloc associé à la sonde de température associée à son conditionneur devient donc :



La fonction du conditionneur est de délivrer une tension u_m telle que : $u_m(t) = K_2 \cdot R(\theta(t))$.

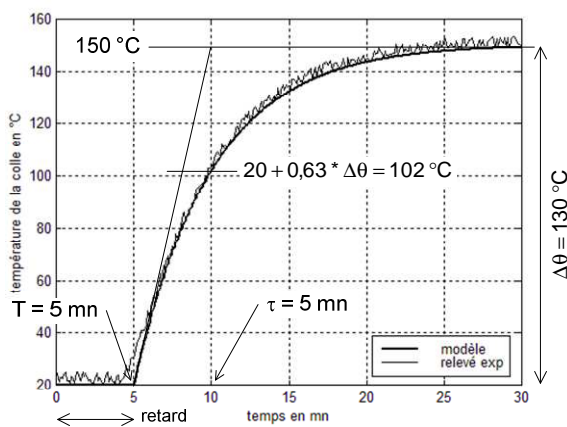
Question B1.6: Déterminer la valeur numérique du gain K_2 défini sur la figure 2. Indiquer son unité.

On impose que pour une variation de température de 240°C , la variation de la tension U_m soit au maximum de 24 V. Donc, $K_1.K_2 = \frac{24}{240} = 0,1 \text{ V}/^\circ\text{C}$.

On en déduit facilement que $K_2 = \frac{1}{10 * K_1} = \frac{1}{6} \text{ V}.\Omega^{-1}$

B-2) PREDICTEUR DE SMITH

Question B2.1: En utilisant le tracé de la figure A4, identifier les valeurs de différentes constantes du modèle de $H(p)$ soient K_G , T et τ . Préciser les unités. On suppose que $U_0 = 24 \text{ V}$.



A partir du relevé expérimental donné, on en déduit aisément (1^{er} ordre + retard pur) :

$$K_G = \frac{150 - 20}{24} = 5,4 \text{ } ^\circ\text{C}.\text{V}^{-1} \text{ (CI non nulles)}$$

$$\tau = 300 \text{ s}$$

$$T = 300 \text{ s (retard pur)}$$

donc :

$$H(p) = \frac{5,4}{1 + 300.p} . e^{-300.p}$$

Question B2.2: Quel phénomène physique est modélisé par le terme e^{-Tp} ?

La présence du retard traduit les phénomènes de transfert d'énergie (vitesse de conduction) entre la résistance, la colle et l'enceinte du générateur de colle.

Question B2.3: Tracer la réponse fréquentielle uniquement de ce terme dans le plan de Black. Discuter alors des effets (positifs ou négatifs) de ce terme sur la stabilité en boucle fermée du modèle de commande (figure 2).

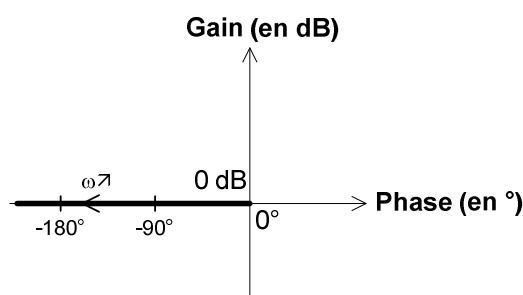


Diagramme de Black, retard pur

Le tracé du terme de retard pur dans le plan de Black donne la courbe ci-contre. On remarque que son module (en dB) est nul $\forall \omega$ et que la phase tend vers $-\infty$ quand $\omega \nearrow$. En utilisant la BO, on détermine :

$$\omega_{0\text{dB}} = \frac{K_c.K_G}{\tau} \text{ (pulsation à 0 dB, 1^{er} ordre)}$$

Pour la phase à 0 dB, il vient (Hyp : K_c unitaire) :

$$\varphi_1 = -a \tan\left(\tau \frac{K_G}{\tau}\right) \rightarrow 1^{\text{er}} \text{ ordre} ; \varphi_2 = -T \frac{K_G}{\tau} \rightarrow \text{retard}$$

pur. Donc $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = -80 - 310 = -390^\circ < -180^\circ$

Ce qui prouve l'instabilité en BF (non corrigée) liée à la présence du retard (difficilement compensable).

Question B2.4: Déterminer l'expression de $C_1(p)$ en fonction de $C_2(p)$, K_c , $G(p)$ et e^{-Tp} de manière à obtenir l'équivalence entre les deux schémas blocs (Fig. 2 et Fig. 4).

On veut montrer que les schémas blocs (fig. 2 et fig. 4) sont équivalents. Si c'est le cas, leurs deux fonctions de transfert en boucle fermée sont égales.

Pour la figure 2, la fonction de transfert en boucle fermée est égale à :

$$\frac{\Theta(p)}{\Theta_c(p)} = \frac{C_1(p).K_c.G(p).e^{-Tp}}{1 + C_1(p).K_c.G(p).e^{-Tp}}$$

Pour la figure 4, la fonction de transfert en boucle fermée est égale à :

$$\frac{\Theta(p)}{\Theta_c(p)} = \frac{C_2(p).K_c.G(p)}{1 + C_2(p).K_c.G(p)} e^{-Tp}$$

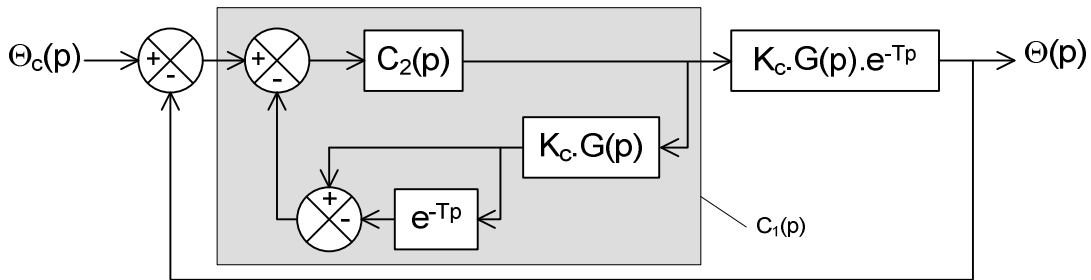
L'égalité des deux fonctions de transfert donne la relation suivante :

$$[1 + C_2(p).K_c.G(p)]C_1(p).K_c.G(p).e^{-Tp} = C_2(p).K_c.G(p).e^{-Tp}[1 + C_1(p).K_c.G(p).e^{-Tp}]$$

Ce qui donne après simplification et réorganisation :

$$C_1(p) = \frac{C_2(p)}{1 + C_2(p).K_c.G(p).(1 - e^{-Tp})}$$

Question B2.5: En le reprenant sur votre feuille, compléter alors le schéma bloc (cf. Fig. 5) du prédicteur de Smith. On respectera **obligatoirement** la structure proposée, les signes seront impérativement indiqués.



Question B2.6: Montrer que les deux schémas blocs (Fig. 6 et Fig. 7) sont strictement équivalents dès lors que l'on dispose d'un modèle exact du processus à commander. Dans ces conditions, que vaut l'erreur de prédiction ?

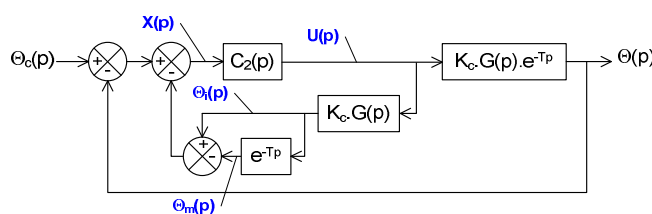


Fig. 6

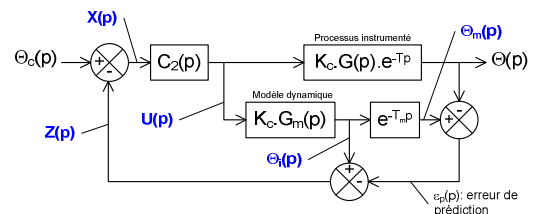


Fig. 7

Avec Fig. 7, il vient :

$$X(p) = \Theta_c(p) - Z(p) = \Theta_c(p) - U(p).[K_c.G_m(p)(1 - e^{-T_m p}) + K_c.G(p).e^{-Tp}]$$

On peut simplifier si $G_m(p) = G(p)$ et $T_m = T$ (c'est-à-dire modèle 'exact') :

$$X(p) = \Theta_c(p) - K_c U(p).G(p)$$

Avec Fig. 6, il vient :

$$\begin{aligned} X(p) &= \Theta_c(p) - \Theta(p) - U(p) \cdot K_c \cdot G(p) (1 - e^{-Tp}) \\ &= \Theta_c(p) - U(p) \cdot K_c \cdot G(p) \cdot e^{-Tp} - U(p) \cdot K_c \cdot G(p) \cdot (1 - e^{-T_m p}) \\ &= \Theta_c(p) - K_c \cdot U(p) \cdot [G(p) \cdot (1 - e^{-T_m p}) + G(p) \cdot e^{-Tp}] = \Theta_c(p) - K_c \cdot U(p) \cdot G(p) \end{aligned}$$

Les deux schémas blocs sont donc bien équivalents dès lors que l'on dispose d'un modèle 'exact' pour le processus à commander.

L'erreur de prédiction est égale à $\varepsilon_p(p) = \Theta_m(p) - \Theta(p) = U(p) \cdot [G_m(p) \cdot e^{-T_m p} - G(p) \cdot e^{-Tp}]$. Dans le cas où le modèle est qualifié 'd'exact', l'erreur de prédiction est nulle.

Question B2.7: Indiquer alors ce que représente alors le signal de retour (cf. Fig. 7). Conclure en quelques lignes sur les avantages/inconvénients ainsi que sur le domaine d'utilisation d'un tel régulateur ?

Naturellement, il est trivial que $Z(p) = \Theta_i(p) - \varepsilon_p(p) = \Theta_i(p)$. Le signal de retour $Z(p)$ représente donc la température de la colle non retardée (directement en sortie de la partie dynamique du processus).

Inconvénient : pour concevoir ce correcteur, il faut connaître le modèle du processus ;

Avantage : le réglage correcteur s'effectue sans l'influence néfaste du retard.

Ce type de régulateur est utilisé pour la commande des systèmes présentant des retards importants (notamment tous les processus de transfert d'énergie).

Question B2.8: Déterminer l'expression de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(p)$ en fonction de $G_m(p)$, $G(p)$, K_c , $C_2(p)$, T_m , T et du signal de consigne $\Theta_c(p)$.

On utilise le schéma bloc (cf. Fig. 7), ce qui donne :

$$\varepsilon_p(p) = \Theta_m(p) - \Theta(p) = U(p) \cdot [G_m(p) \cdot e^{-T_m p} - G(p) \cdot e^{-Tp}]$$

et

$$\begin{aligned} U(p) &= C_2(p) \cdot (\Theta_c(p) - Z(p)) \\ &= C_2(p) \cdot (\Theta_c(p) - U(p) \cdot K_c \cdot G_m(p) + \varepsilon_p(p)) \end{aligned}$$

Donc
$$U(p) = C_2(p) \frac{\Theta_c(p) + \varepsilon_p(p)}{1 + C_2(p) \cdot K_c \cdot G_m(p)}$$

On remplace dans l'expression de départ, ce qui donne après réduction:

$$\varepsilon_p(p) = \Theta_c(p) \left[\frac{C_2(p) \cdot K_c \cdot (G_m(p) \cdot e^{-T_m p} - G(p) \cdot e^{-Tp})}{1 + C_2(p) \cdot K_c \cdot (G_m(p) (1 - e^{-T_m p}) + G(p) \cdot e^{-Tp})} \right]$$

Question B2.9: Déterminer la valeur finale de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(\infty)$. Montrer que cette dernière est d'autant plus petite que le gain en boucle ouverte K_{bo} est grand.

$$G(p) = \frac{K_G}{1 + \tau_p p}, \quad G_m(p) = \frac{K_{GM}}{1 + \tau_m p}, \quad \text{avec } K_G \neq K_{GM}, \quad \tau \neq \tau_m \text{ et } T \neq T_m \text{ (erreur sur le modèle)}$$

On fait l'hypothèse que $C_2(p) = K_r$

Dans ces conditions, la valeur finale de l'erreur de prédiction vaut ($\Theta_c(p) = \frac{\theta_c}{p}$) :

$$\varepsilon_p(\infty) = \theta_c \frac{K_r \cdot K_c \cdot (K_{GM} - K_G)}{1 + K_r \cdot K_c \cdot K_G} \text{ avec } K_r \cdot K_c \cdot K_G = K_{bo}$$

Donc plus l'écart entre le modèle et le processus est grand, plus la différence $K_{GM} - K_G$ est grande et donc plus $\varepsilon_p(\infty) \nearrow$.

De plus, plus le gain en boucle ouverte $K_{bo} \nearrow$, plus l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(\infty) \searrow$.

On remarque que la seule solution pour avoir $\varepsilon_p(\infty)$ nulle est proposer un modèle exact du processus à commander $K_G = K_{GM}$.

RQ : une erreur sur la constante de temps τ et ou sur le retard T n'a aucune incidence sur la valeur finale de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(\infty)$.

Question B2.10: Déterminer la valeur finale de l'erreur de prédiction $\varepsilon_p(\infty)$. Montrer qu'elle ne dépend que de K_G , K_{GM} et θ_c . Conclure.

Dans un deuxième temps, on choisit $C_2(p) = K_r \cdot (1 + \frac{1}{T_r \cdot p})$.

Dans ces conditions, la valeur finale de l'erreur de prédiction vaut ($\Theta_c(p) = \frac{\theta_c}{p}$) :

$$\varepsilon_p(\infty) = \theta_c \frac{K_{GM} - K_G}{K_G} \text{ c'est-à-dire une constante.}$$

B-3) REGLAGE DU REGULATEUR

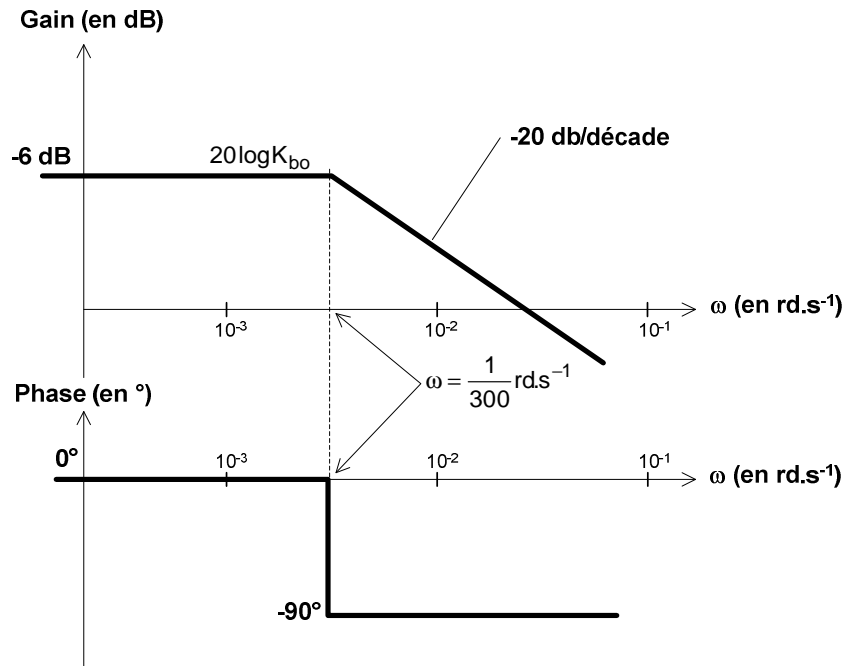
Question B3.1: Comment appelle-t-on le correcteur $C_2(p)$? Par rapport à l'emploi d'un correcteur proportionnel simple, pourquoi permet-il d'obtenir une commande plus précise ?

$$C_2(p) = K_r \cdot (1 + \frac{1}{T_r \cdot p}) = K_r \cdot (\frac{1 + T_r \cdot p}{T_r \cdot p}) \rightarrow \text{correcteur PI : Proportionnel Intégral}$$

Ce correcteur incrémente la classe α_{BO} (nombre d'intégrateur) en boucle ouverte, ce qui permet d'annuler l'erreur statique.

Question B3.2: Tracer les diagrammes asymptotiques de la réponse fréquentielle dans le plan de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée. Faire apparaître les points caractéristiques sur tous les diagrammes (pentes, valeurs remarquables,...). L'utilisation de la couleur est fortement conseillée.

L'expression de la FTBO non corrigée sous forme canonique donne $H_{bo}(p) = \frac{0,5}{1 + 300 \cdot p}$



Question B3.3: Déterminer T_r afin que le zéro du correcteur compense le pôle de la fonction de transfert en boucle ouverte non corrigée. Faire l'application numérique.

Le système a pour FTBO : $\frac{1}{2+600.p} \cdot \frac{K_r(1+T_r.p)}{T_r.p}$

Si $T_r = \frac{600}{2}$ alors le zéro du correcteur compense le pôle de $\frac{0,5}{1+300.p}$; **AN** : $T_{cor} = 300 \text{ s}$

Question B3.4: Déterminer K_r afin de respecter la valeur maximale de l'erreur de traînage imposée par le cahier des charges. Faire l'application numérique.

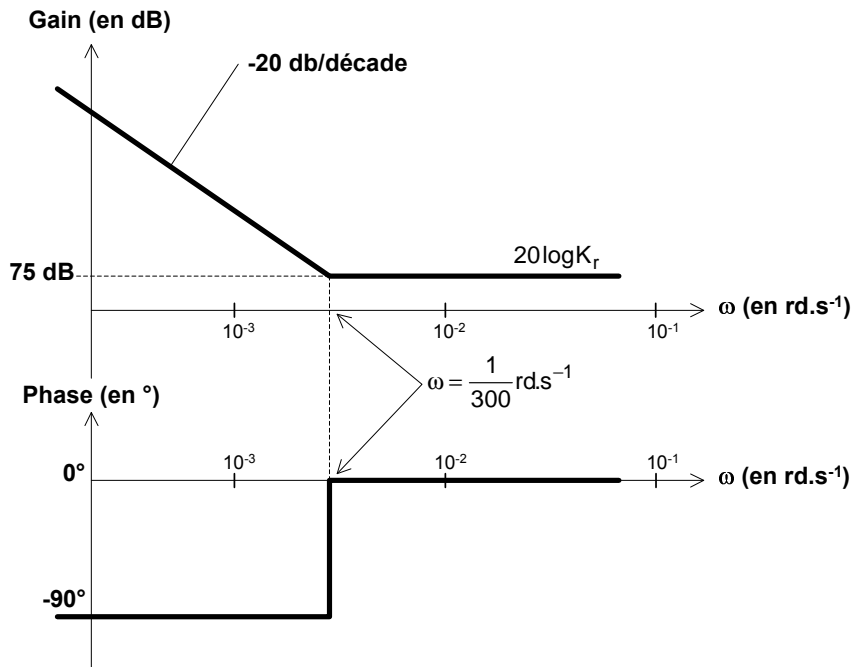
Erreur de traînage inférieure à 10% : $\varepsilon_v = \frac{1}{10}$

FTBO du système : $\frac{0,5}{300.p+1} \cdot \frac{K_r(T_r.p+1)}{T_r.p} = \frac{0,5.K_r}{300} \cdot \frac{1}{p}$

La FTBO du système est de classe 1 donc $\varepsilon_v = \frac{1}{K_{BO}}$, le gain statique de la FTBO vaut $K_{BO} = \frac{K_r}{600}$

On obtient $\frac{K_r}{600} = 10$; **AN** : $K_r = 6000$

Question B3.5: Tracer les diagrammes asymptotiques de la réponse fréquentielle dans le plan de Bode de la fonction de transfert du correcteur $C_2(p)$ seul. Faire apparaître les points caractéristiques sur tous les diagrammes (pentes, valeurs remarquables,...). L'utilisation de la couleur est fortement conseillée.



Question B3.6: Exprimer sous forme canonique la fonction de transfert en boucle fermée $H_{bf}(p)$ avec et sans correction. Tracer alors dans les deux cas, la réponse temporelle. Faire clairement apparaître sur chaque tracé, l'erreur statique ainsi que le temps de réponse à 5%. Reprendre sur votre feuille le tableau de synthèse suivant et le compléter.

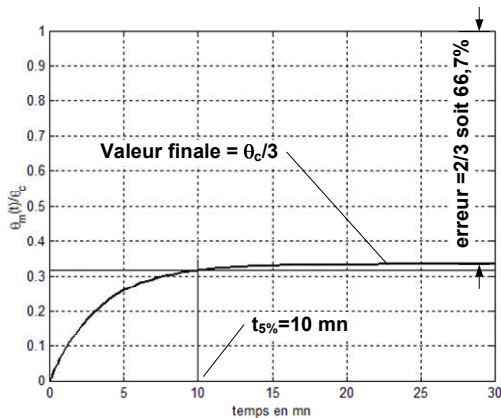
Calculs des fonctions de transfert en boucle fermée $H_{bf}(p)$: (cstes de temps en s)

Non corrigée

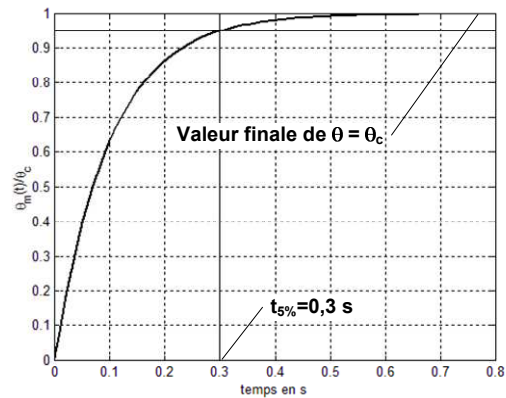
$$FTBF(p) = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1+200.p}$$

Corrigée

$$FTBF(p) = \frac{1}{1+0,1.p}$$



Réponse indicielle, FTBF non corrigée



Réponse indicielle, FTBF corrigée

	Erreur statique (en %)	Temps de réponse à 5 % (en mn)
Non corrigée	66,7	$3 \cdot 200 / 60 = 10$
Corrigée	0	$1 / 200 < 1 / 60$

Tableau de synthèse 'qualités de la boucle'

Question B3.7: Vérifie-t-on tous les critères du cahier des charges ? Conclure.

En utilisant le correcteur $C_2(p)$ ainsi calibré, l'ensemble des critères définis par le cahier des charges est validé. On peut ajouter que la stabilité en boucle fermée est inconditionnelle, la fonction de transfert en BO valant :

$$H_{bo}(p) = \frac{10}{p} \rightarrow \text{intégrateur pur donc phase égale à } -90^\circ \forall \omega.$$

Partie C : Étude pédagogique

La démarche : inductive, car elle permettra aux étudiants de découvrir les technologies de détecteurs et leurs possibilités en manipulant.

La situation : en début de première année de STSMIAI car c'est une connaissance essentielle de base, préliminaire à beaucoup d'autres apprentissages.

Le déroulement :

- ✘ 1 TP (3h) sur une platine de détecteurs permettant de mettre en œuvre les principales technologies dans des situations diverses et d'en mesurer les performances réelles. Plusieurs constructeurs proposent des platines assez bien faites. Ce TP pour appartenir à un cycle de TP sur les technologies des composants d'automatismes (actionneurs pneumatiques, actionneurs hydraulique, préhension par le vide, unité modulaire de manipulation, composants de sécurité, ...).
- ✘ 1 cours (3h) de synthèse pour la formalisation des connaissances et la méthodologie de choix et dimensionnement. Ce cours comprendra à minima : la typologie des détecteurs de présence, les critères de choix, la méthodologie de choix et l'implantation des détecteurs.
- ✘ 1 TD (2h) d'application dans un contexte de machine réelle.

Nous proposons ici une suggestion de cours de synthèse.

LA TYPOLOGIE DES DETECTEURS DE PROXIMITE

Cinq grandes technologies occupent les premières places du classement d'un marché actuel de la détection de présence sans contact, l'optique, l'inductif, le capacitif, le magnétique et l'ultrasonique. Ce marché en France est d'environ 200 Millions d'€.

Les détecteurs photoélectriques occupent l'essentiel du marché. Basés sur un principe optique, ils détectent l'atténuation ou l'interruption du faisceau lumineux issu de l'émetteur lorsqu'il est traversé par un objet.

Suivant le type de pièces et la distance de détection, on utilise différentes configurations : l'émetteur et le récepteur peuvent être séparés – c'est le cas des "barrières simples" – ou dans un même boîtier. On parle alors de "barrière réflex" lorsque la lumière émise est renvoyée par un réflecteur, et de "détecteur direct" lorsqu'elle est simplement renvoyée par l'objet. Voir tableau 1. Bien qu'ils soient sensibles aux salissures de l'environnement dans lequel ils sont installés, les détecteurs photoélectriques présentent de nombreux avantages. Ils permettent de détecter tous types de pièces (y compris les matériaux transparents) et ils sont parmi les plus performants en termes de distance de détection – certaines barrières offrent des portées allant jusqu'à 200 mètres.

Les détecteurs inductifs sont, eux aussi, largement répandus. Ils intègrent un circuit oscillant qui génère un champ électromagnétique alternatif. Lorsqu'on approche une pièce métallique, celle-ci devient le siège de courants induits. Ce phénomène d'induction dissipe alors l'énergie du circuit oscillant. Conséquence, les oscillations s'amortissent et déclenchent la commutation du détecteur. Compte tenu de ce principe, les détecteurs inductifs offrent une portée relativement faible (inférieure à 80 mm) et leur champ d'applications reste limité aux seules pièces métalliques. Leur faible coût (moins de la moitié de celui d'un détecteur photoélectrique) et leur tenue aux environnements sévères en font souvent une solution avantageuse. Ils offrent aussi une fréquence de commutation relativement élevée (plusieurs kHz), ce qui leur permet de contrôler le passage de pièces défilant à grande vitesse, ou la rotation d'éléments métalliques.

Les détecteurs capacitifs ressemblent, dans leur principe, aux détecteurs inductifs et leur portée est d'ailleurs du même ordre. Un condensateur situé sur la face active du détecteur génère un champ électromagnétique alternatif. La présence d'une pièce à proximité modifie la valeur de la capacité, et entraîne une variation de la fréquence des oscillations du circuit. Les détecteurs capacitifs peuvent détecter la présence de tous types de pièces et de matériaux (solides, liquides, fluides visqueux ou pulvérulents). Ils sont légèrement plus chers et leur marché reste relativement faible. On les trouve par exemple dans les applications de détection de niveau (notamment dans la détection de fluides

liquides ou visqueux à travers des flacons en plastique), et dans la détection de matériaux transparents à faible portée.

Les détecteurs magnétiques fonctionnent également suivant le principe des détecteurs inductifs, si ce n'est qu'ils intègrent une lame (constituée d'un mélange de métal et de verre) qui présente la caractéristique d'être magnétisée très rapidement en présence d'un aimant, et démagnétisée très rapidement en son absence. Grâce à ce principe, les détecteurs magnétiques offrent des portées relativement importantes (au regard de leurs faibles dimensions). Ils sont aussi très robustes, ce qui permet de les utiliser dans des milieux difficiles ou à haute température. Seule limitation, la pièce à détecter doit être magnétisée ou comporter un aimant. Ces détecteurs sont par exemple employés sur les vérins pneumatiques pour localiser de l'extérieur la position du piston, ou encore pour détecter le niveau de remplissage de réservoirs en utilisant un aimant monté sur un flotteur.

Les détecteurs à ultrasons. Leur principe est basé sur l'émission et la réception d'ondes ultrasonores hautes fréquences (de l'ordre de 200 kHz). Le retour de l'onde permet de détecter la présence d'une pièce, et même de savoir à quelle distance elle se trouve (en mesurant le temps mis par l'onde pour effectuer un aller-retour). Comme pour l'optique, les détecteurs à ultrasons peuvent être employés en détection directe ou en barrière. Si leur temps de réponse est forcément limité par la vitesse de propagation du son dans l'air, les détecteurs à ultrasons présentent de nombreux avantages. Ils permettent notamment de détecter tous types de pièces (sauf les absorbants phoniques), et ce à plusieurs mètres de distance. Ils sont aussi très peu sensibles à l'environnement. Seule contrepartie, le coût, relativement élevé, qui destine plutôt ces détecteurs à des applications spécifiques : détection à longue distance en environnement difficile, détection d'objets transparents ou très réfléchissants, etc.

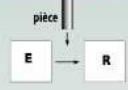
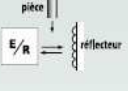

	Principe	Principaux avantages	Limitations et contraintes
Barrière simple (émetteur/récepteur) 	L'émetteur et le récepteur sont dans deux boîtiers différents montés en vis-à-vis. L'objet passe entre les deux. Il est détecté dès qu'il vient couper le faisceau optique.	<ul style="list-style-type: none"> - Portée élevée (plusieurs dizaines de mètres) - Détection de pièces très réfléchissantes - Bonne répétabilité - Utilisation dans des conditions difficiles (pluie, brouillard, fumée, poussières...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite de monter deux boîtiers et de les aligner - Risques de réflexions parasites - Détection délicate dans le cas des objets à faible atténuation (le faisceau ne traverse qu'une seule fois la pièce)
Barrière reflex 	L'émetteur et le récepteur sont dans le même boîtier. La lumière émise est renvoyée par un réflecteur. L'objet est détecté lorsqu'il coupe le faisceau optique.	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de montage (émetteur et récepteur dans le même boîtier) - Atténuation plus facile à mesurer que dans le cas de la barrière simple (le faisceau traverse deux fois l'objet) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite d'utiliser un réflecteur - Ne convient pas pour la détection d'objets réfléchissants (sauf si on utilise un filtre de polarisation) - Utilisation de cellules "spécial verre" préférable dans le cas de produits transparents - Portée moins importante qu'en émetteur/récepteur
Détecteur direct (énergétique ou à triangulation) 	L'émetteur et le récepteur sont dans le même boîtier. La lumière émise est réfléchiée par l'objet, qui est ainsi détecté.	<ul style="list-style-type: none"> - Montage simple et économique (un seul boîtier) - Ne nécessite pas de réflecteur - Pour les détecteurs à triangulation : possibilité de s'affranchir de l'arrière et de l'avant-plan, même si ce dernier est plus réfléchissant que l'objet à détecter 	<ul style="list-style-type: none"> - La distance de détection dépend de la couleur et du pouvoir réfléchissant de l'objet (sauf pour les détecteurs à triangulation) - Portées plus faibles que celles des détecteurs à barrières - Détection difficile lorsque l'objet a un état de surface lisse et brillant

Tableau 1 : détecteurs photoélectriques, différentes configurations.

L'annexe 7, telle qu'elle se présentait dans le sujet, peut parfaitement illustrer et faire une synthèse de ces cinq technologies en ne considérant qu'un type pour les optiques et les ultrasoniques, le mode de réflexion directe.

LES CRITERES DE CHOIX

Le choix d'un détecteur tout-ou-rien repose sur les contraintes de l'application.

Les principaux critères à prendre en compte sont, le type de pièces (matériaux, dimensions, couleur, brillance, transparence, absorbant, ...), la distance de détection, l'environnement et le coût. De façon plus hiérarchisée, les critères sont donnés dans le tableau 2 qui peut être utilisé par le technicien pour de définir son besoin.

Les items de choix	Les critères de choix	Le besoin de l'application
Le type de détection	Détection de passage ou de présence de pièces, détection de niveau de solides ou de liquides, détection de repères ou de couleurs, détection de produits fluorescents, de double-feuille...	<i>A compléter</i>
	Distance objet/détecteur, vitesse de défilement, précision et reproductibilité attendues...	<i>A compléter</i>
La nature de l'objet à détecter	Matériau : solide, liquide, pulvérulent, pièce métallique ou non, transparent, réfléchissant, absorbant phonique...	<i>A compléter</i>
	Dimensions : valeurs nominales, variations	<i>A compléter</i>
	Aspects : état de surface, couleur, inclinaison...	<i>A compléter</i>
L'environnement de détection	Humidité, température, présence de salissures, milieu corrosif, vapeurs, projections diverses, perturbations électromagnétiques...	<i>A compléter</i>
	Présence ou non d'un arrière plan (tapis, boîte, ...) ou d'un premier plan (container, flacon, ...) ainsi que sa nature (matériau, aspect...)	<i>A compléter</i>
	Contraintes mécaniques pour l'implantation du détecteur : espace disponible, possibilité de n'accéder qu'à un seul côté de la pièce...	<i>A compléter</i>
Contraintes d'automatismes	Type de câblage : filaire, réseau, ...	<i>A compléter</i>
	Compatibilité des signaux de détecteur avec les entrées automate (U, I, NPN ou PNP, Tr, ...)	<i>A compléter</i>

Tableau 2 : définition des critères de choix d'un détecteur pour une application donnée

Le tableau 3 rappelle les principales caractéristiques des détecteurs pour aider à en faire leur choix. Ces performances annoncées sur les fiches techniques des produits, permettent d'évaluer la compatibilité d'un détecteur par rapport à un besoin.

Définitions des principales caractéristiques pour faire un choix :

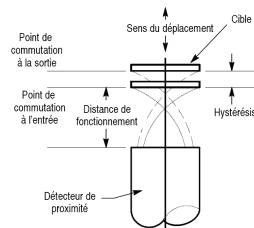
- ✗ **Détecteur blindé (ou à montage affleurant)** : détecteur pouvant être encastré dans du métal jusqu'au niveau de la face active de détection.
- ✗ **Distance opérationnelle (portée nominale S_n)** : distance à laquelle une cible approchante change l'état de sortie du détecteur.
- ✗ **Facteur de correction** : facteur de multiplication permettant de tenir compte du type de matériau constituant la cible. On obtient la distance de détection réelle en multipliant ce facteur par la distance nominale.

Matériau détecté	Facteur de correction approximatif
Acier doux	1,0
Acier inoxydable	0,85
Laiton	0,50
Aluminium	0,45
Cuivre	0,30

- ✗ **Temps de réponse (T_r)** : durée maximale entre le point d'enclenchement et le point de déclenchement.
- ✗ **Fréquence de commutation (F)** : nombre maximal de changements d'états par seconde (nombre de fois où la cellule commute et revient à son état initial). Exprimée en Hertz (Hz), elle correspond aussi à l'inverse du temps de réponse (T_r) multiplié par deux :

$$F=1/(2.T_r)$$

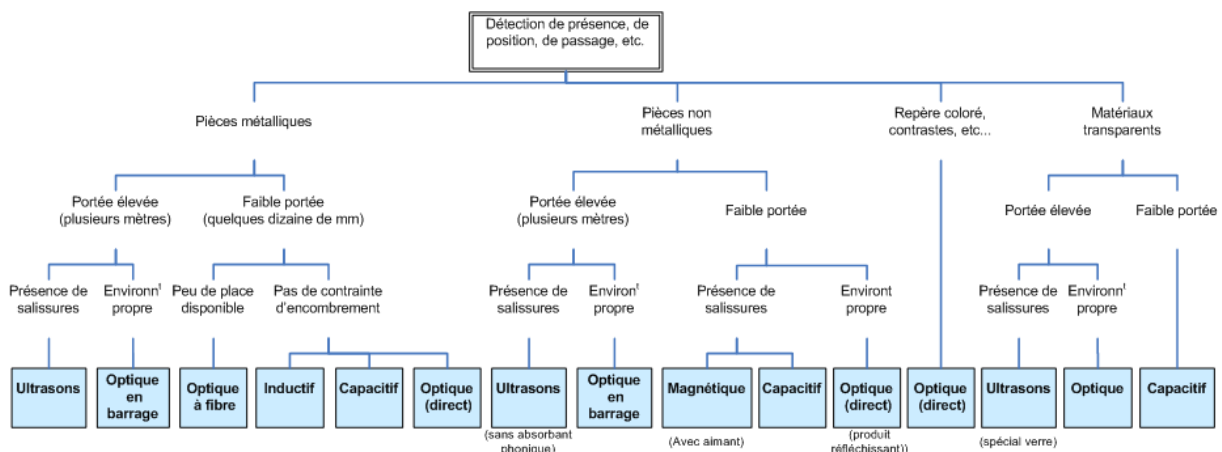
- ✗ **Hystérésis** : distance entre le point d'enclenchement et le point de déclenchement, exprimée en pourcentage de la portée nominale. L'hystérésis sert à éviter les vibrations parasites (commutations rapides) lorsque le détecteur est soumis à des chocs ou à des vibrations, ou lorsque la cible est immobile par rapport à la portée de détection nominale. L'amplitude de vibration doit être inférieure à la bande de fréquence d'hystérésis pour éviter les vibrations parasites.

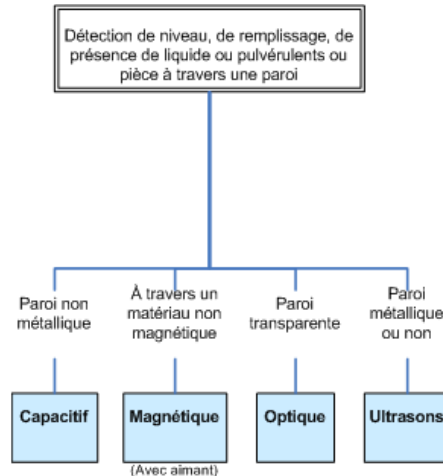


- ✗ **Profondeur de champ** : distance suivant laquelle l'objet à détecter peut se déplacer sans provoquer la commutation de la sortie.
- ✗ **Résolution** : dimension du plus petit objet détectable.
- ✗ **Spot** : zone éclairée par l'émetteur sur une surface plane perpendiculaire à l'axe optique.

Tableau 3 : principales caractéristiques des détecteurs de proximité

LA METHODOLOGIE DE CHOIX





Le choix peut se faire avec cet arbre de décision qui reste perfectible. Les critères à prendre en compte sont successivement :

- ✘ Le type de détection (présence, passage, niveau)
- ✘ La nature de la pièce
- ✘ La portée de détection
- ✘ L'environnement

Les autres critères du tableau 2 permettront d'affiner le choix ou de dimensionner le produit dans une gamme.

Dans le cas de détection de passage, il sera nécessaire après le choix d'une technologie, de calculer la fréquence de commutation pour dimensionner le détecteur capable.

Dans le cas d'un choix de détecteur inductif il faudra calculer finement la portée de détection en fonction des facteurs de correction lié à l'alliage de la pièce.

Portée de détection réelle = (Portée de détection nominale) x (Facteurs de correction)

Le principal facteur de correction est celui lié au matériau de la cible.

Dans le cas des détecteurs capacitifs il existe également un facteur de correction qui dépend de la constante diélectrique du matériau.

L'IMPLANTATION DES DETECTEURS

L'implantation des détecteurs doit être soignée pour améliorer la fiabilité des installations automatiques. En effet, près de 80% des pannes d'un automatisme proviennent des détecteurs.

Les principales règles à respecter sont :

- ✘ Un montage mécanique fiable, durable et insensible aux perturbations (vibrations, chocs, interférences mécaniques, projections, ...)
- ✘ Une possibilité de réglage de la position pour ajuster la prise d'information par le détecteur si cela est nécessaire (fiche de réglage, mode de détection, verrouillage du réglage, repérage des positions de réglage, ...)
- ✘ Une maintenabilité aisée (led de visualisation d'états, connecteur rapide, boucle de réserve de câble, fixation mécanique repositionnable, repérage des détecteurs et câble associé, ...)
- ✘ Un câblage aisé pour limiter les risques d'erreur et réduire les coûts de machines (bloc d'entrées déportées, réseau Asi, ...)