

AGRÉGATION INTERNE DE MÉCANIQUE 2009

Étude d'un problème d'automatisation

PHILIPPE TAILLARD^[1]

Seuls huit candidats à ce concours de promotion ont goûté cette année aux joies du succès. Comme chaque année, la revue encourage les volontaires à la conquête du Graal en publiant au plus tôt des extraits significatifs du sujet de la deuxième épreuve écrite. L'étude concerne cette fois l'automatisme séquentiel d'une encartonneuse d'un fromage franc-comtois.

La fromagerie Milleret est spécialisée dans la fabrication de fromages à pâte molle. 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 *L'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 fromages en fin de processus (voir l'annexe 2).

Mots-clés

automatismes, capteur, partie commande, sujet de concours

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

L'encartonneuse de fromages

Les caractéristiques techniques

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

Le produit

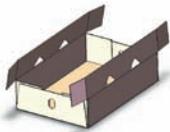
Le produit fini est constitué d'un carton formé d'un lot de 12 fromages et de 4 points de colle à chaud [1].

L'équipement

(Voir les annexes 2, 3 et 4)

La machine comporte un convoyeur motorisé (non représenté sur les annexes 2 et 3) pour l'amenage des

[1] IA-IPR STI à l'académie de Rouen (76), rédacteur en chef de *Technologie*.

<p>Le carton formé et ouvert Dimension du volume enveloppe du carton : L 450 ; l 230 ; h 140 mm Ce composant est réalisé en amont par la formeuse</p>	
<p>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</p>	
<p>Le carton rempli de 12 fromages (2 couches de 6 fromages) Son remplissage est réalisé par un opérateur en amont de l'encartonneuse. C'est le produit entrant de l'encartonneuse</p>	
<p>Le carton fermé et collé avec 4 points de colle à chaud Dimensions extérieures du carton fermé : L 340 ; l 230 ; h 80 mm C'est le produit sortant de l'encartonneuse</p>	

1 La mise en carton

ANNEXE 1

Le processus de fabrication des fromages



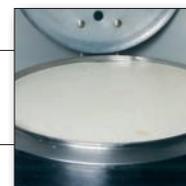
Collecte du lait de montbéliardes

Transport routier



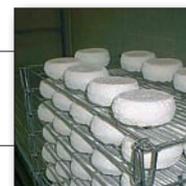
Traitement du lait

Usine en salle blanche



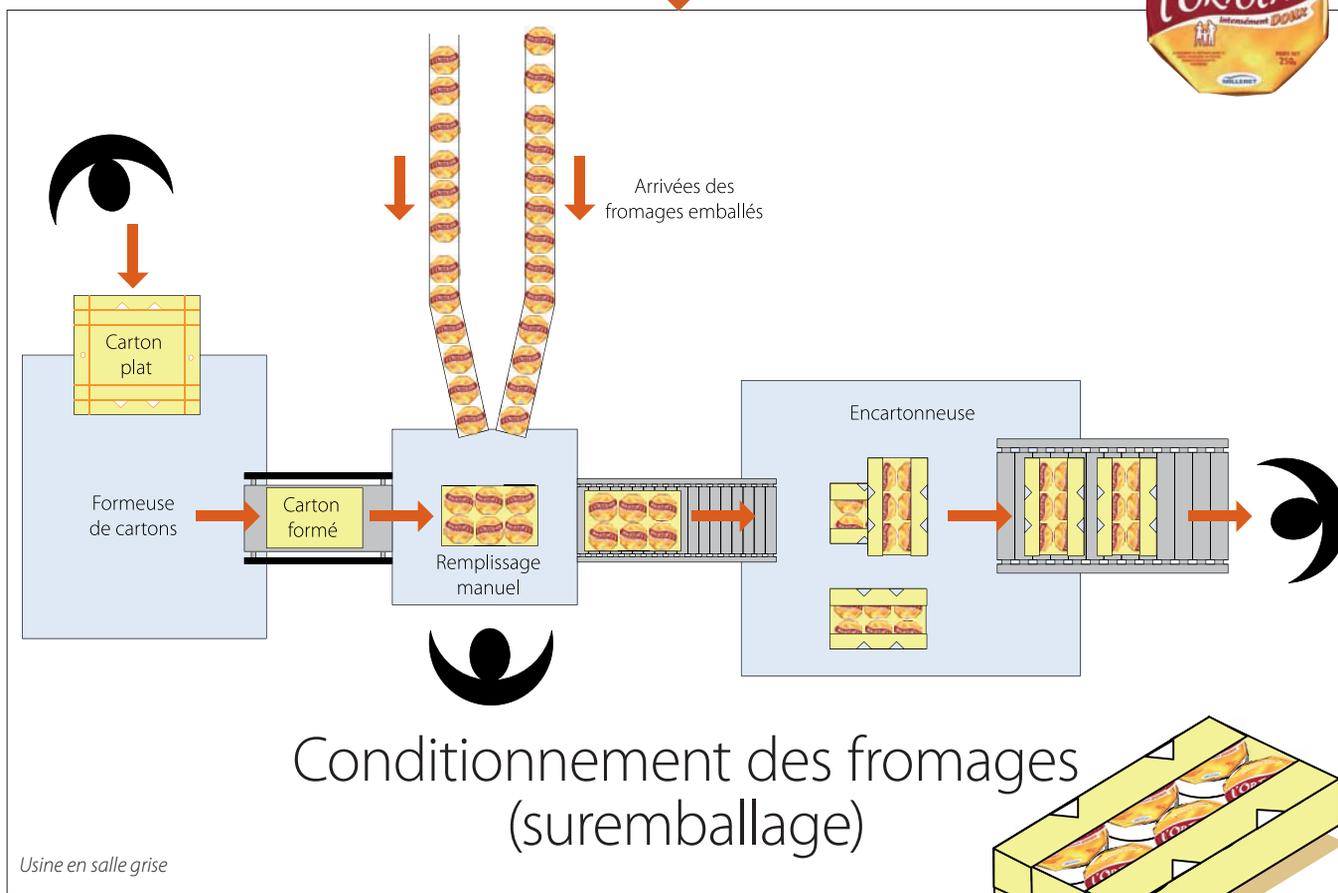
Fabrication des fromages

Usine en salle blanche



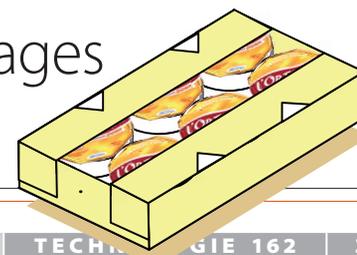
Emballage des fromages

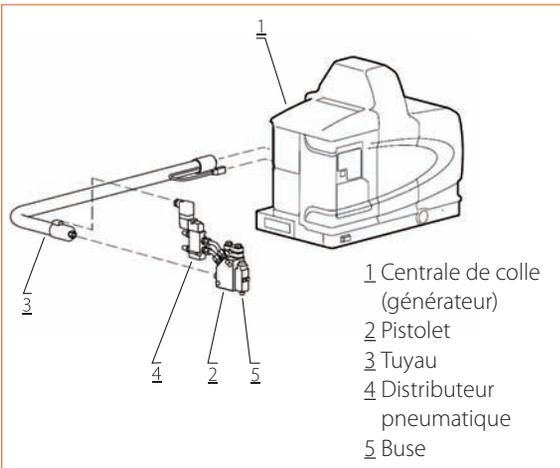
Usine en salle blanche



Conditionnement des fromages (suremballage)

Usine en salle grise



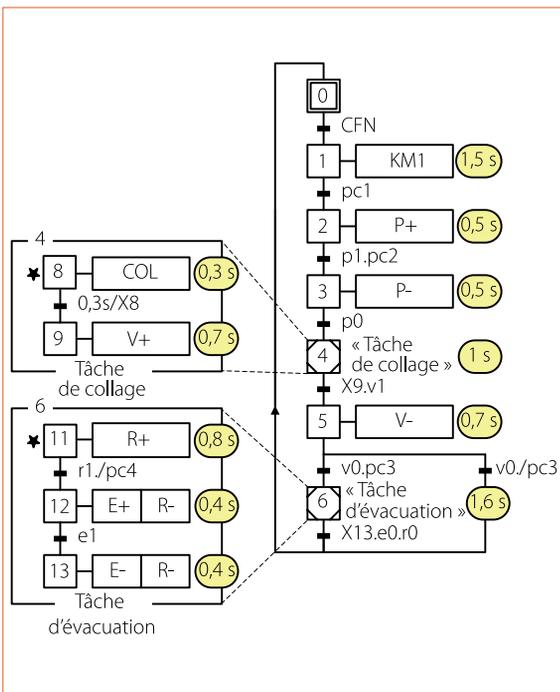


- 1 Centrale de colle (générateur)
- 2 Pistolet
- 3 Tuyau
- 4 Distributeur pneumatique
- 5 Buse

2 Le système de dépose de colle thermofusible

Action	Durée estimée
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

3 La durée des tâches du G7_FN



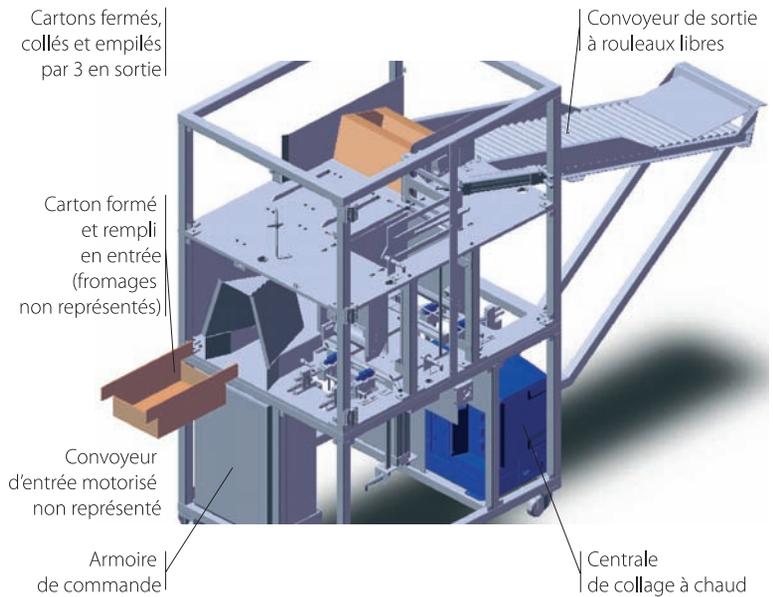
4 Le grafset de fonctionnement normal avec les valeurs des temps des actions

cartons pleins en entrée de machine jusqu'à la position 1 (repère 1 sur l'annexe 4). Pendant le convoyage, des déflecteurs ferment les rabats supérieurs du carton.

Le carton est ensuite poussé en position 2 (repère 2 sur l'annexe 4) au poste de collage, qui est équipé d'une centrale d'adhésif ProBlue de Nordson, de tuyaux et de

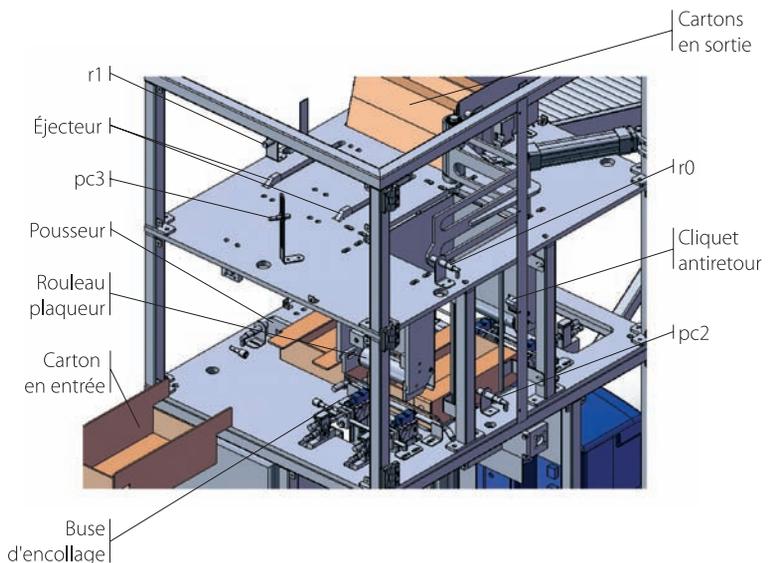
ANNEXE 2

Vue générale de l'encartonneuse



ANNEXE 3

Vue de détail de l'encartonneuse



4 pistolets, le tout constituant un système de dépose de colle thermofusible 2.

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

Mnémonique de la tâche	Désignation de la tâche	Séquence d'actions
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-

5 La proposition de découpage en tâches

N°	Tâche	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	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 une pile de trois cartons collés	fin de T4 & pc3	f_T6 = X13-e0-r0	la tâche T4

6 L'étude des antériorités des tâches les unes par rapports aux autres

pompe la colle liquéfiée dans les 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 antiretour. 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 la diriger vers la sortie de la machine, où un opérateur assure sa mise sur palette. Un capteur pc4 permet de s'assurer qu'il n'y a pas bourrage de la rampe de sortie avant l'éjection.

L'optimisation de la cadence de production

Une première version du fonctionnement normal de l'encartonneuse est donnée en annexe 5, avec le grafcet (G7_FN) et le bilan des entrées/sorties.

L'estimation des temps d'actions est donnée dans le tableau 3.

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.

Déterminer le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent.

On peut renseigner le grafcet de fonctionnement normal avec les valeurs des temps estimés des actions du process et du temps calculé pour l'action KM1 4.

Calcul de la durée de KM1 : la longueur L du carton déployé est de 0,45 m, la vitesse V du convoyeur est de 0,3 m/s, donc :

$$t_1 = L / V = 0,45 / 0,3 = 1,5 \text{ s}$$

Il faut exécuter trois cycles du grafcet (G7_FN) pour réaliser une pile de 3 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 3 cartons est donc :

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

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

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

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

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 déduit la cadence horaire, de la manière suivante, en tenant compte de la disponibilité constructeur, $D_c = 0,95$:

$$\text{Cad} = (3\ 600 / T_{cy}) \times D_c \times 12$$

$$= 8\ 670 \text{ fromages/h ou } 722 \text{ cartons/h}$$

Cette performance est très inférieure à la cadence visée de 15 000 fromages/h (1 250 cartons/h).

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 5.

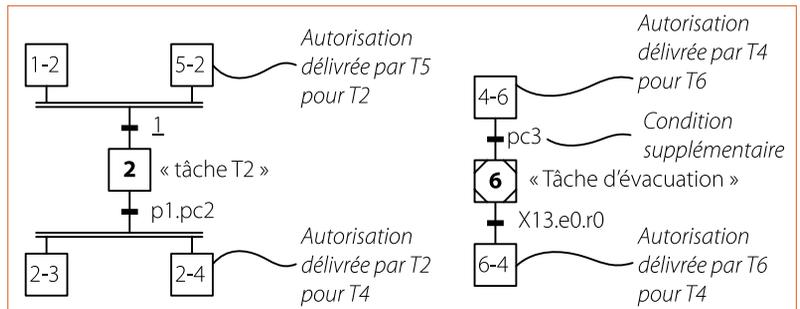
À partir du découpage en tâches proposé dans le tableau 5, construire le grafcet de coordination des tâches (G7_CT_FN) permettant d'optimiser la cadence de production.

Remarques :

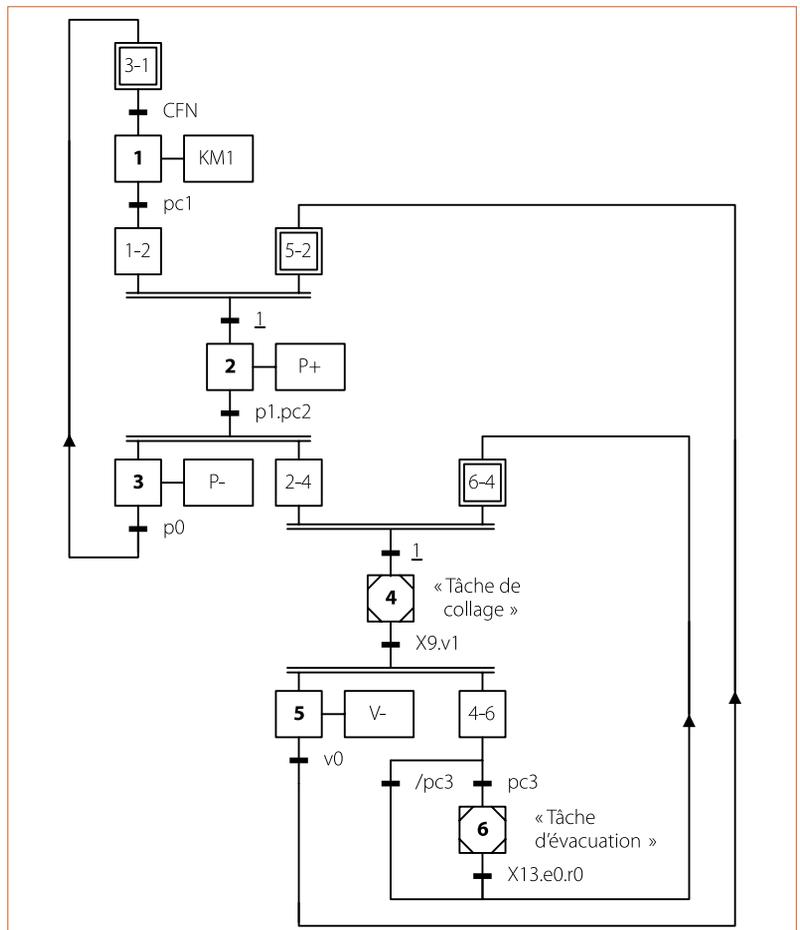
- On conservera l'utilisation des étapes encapsulantes 4 et 6 pour les tâches T4 et T6, comme il est fait dans le G7_FN en annexe 5.
- Technologiquement, T6 peut débuter en fin de T4.
- Technologiquement, T4 peut débuter en fin de T2.

La forme finale de grafcet optimal du point de vue de la cadence doit permettre de débuter toutes les tâches au plus tôt, tout en respectant les antériorités des unes par rapport aux autres. Ces antériorités peuvent être analysées à l'aide du tableau 6.

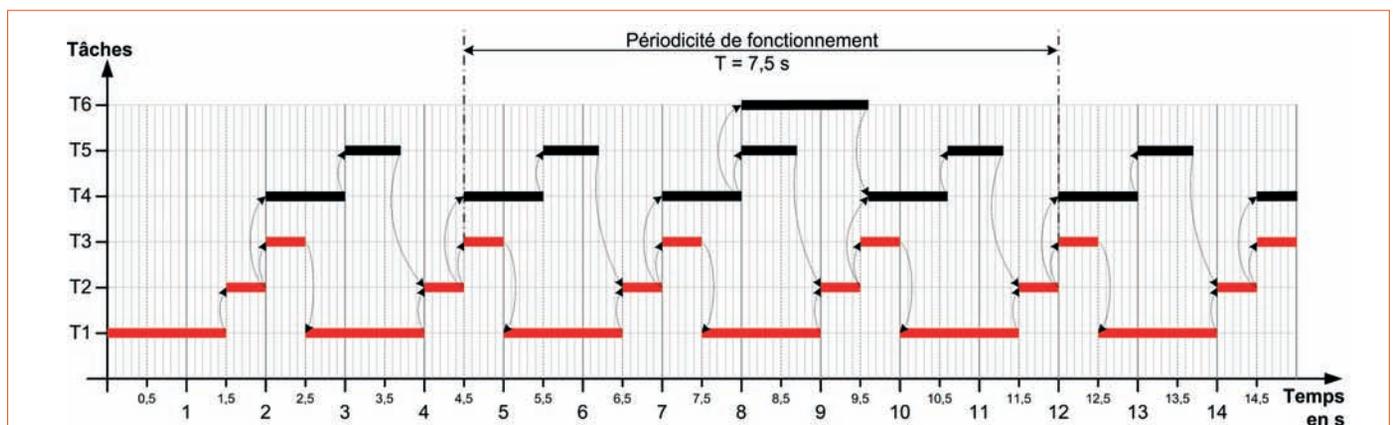
À partir de cette analyse des antériorités, on peut passer par un stade intermédiaire d'écriture des modules de grafcet de chaque tâche où, par exemple, l'étape repérée 1-2 représente l'autorisation donnée par T1 en fin de tâche pour T2 7.



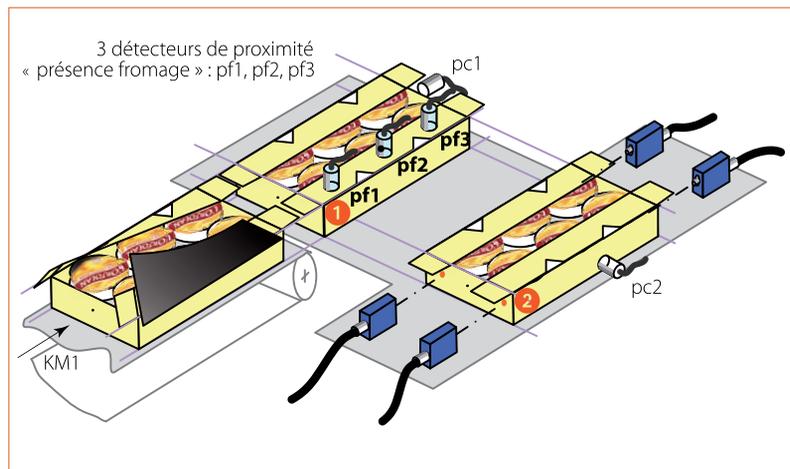
7 Le module grafcet des tâches 2 et 6



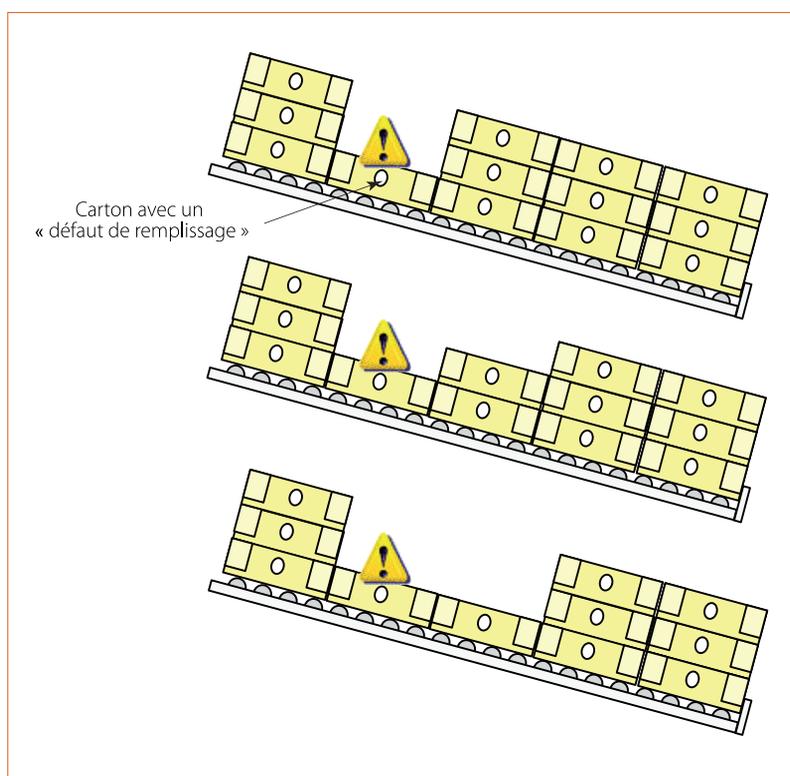
8 Le grafcet de coordination des tâches de fonctionnement (G7_CT_FN)



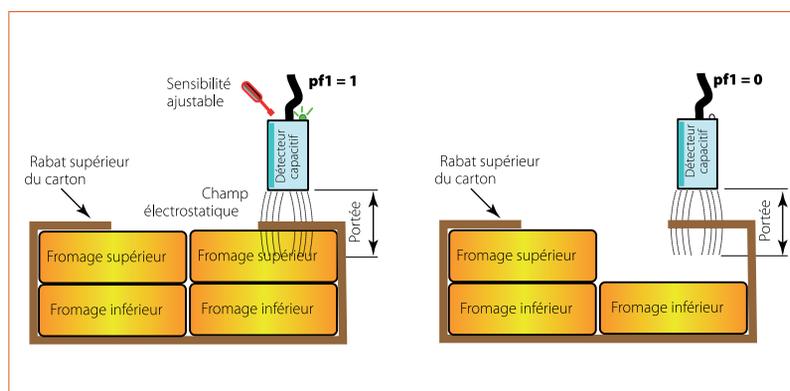
9 Le diagramme de Gantt du cycle donné par le grafcet (G7_CT_FN)



10 L'implantation de trois détecteurs de présence de fromage



11 La procédure d'isolement d'un carton avec un défaut de remplissage



12 Le principe de détection des fromages de la couche supérieure à travers le carton

Le grafset de coordination des tâches correspondant est donné en 8. La recherche de la situation initiale du grafset n'est pas demandée explicitement dans la question, néanmoins il est 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 (p_0 , v_0 , r_0 , e_0) 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, il faut rendre initiale l'étape 6-4.

Construire le diagramme de Gantt correspondant à ce nouveau fonctionnement normal.

En déduire le temps de cycle de production d'un carton en régime permanent.

Le diagramme de Gantt est donné en 9. 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 s durant laquelle la machine conditionne une pile de 3 cartons. Donc :

$$T_{cy3} = 7,5 \text{ s}$$

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

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

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

Déterminer la nouvelle cadence horaire prévisionnelle de l'encartonneuse et conclure.

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

$$\text{Cad} = (3\ 600 / T_{cy}) \times D_c \times 12$$

$$= 16\ 416 \text{ fromages/h ou } 1\ 368 \text{ cartons/h}$$

Cette performance est légèrement supérieure à la cadence souhaitée de 15 000 fromages/h.

L'amélioration de la qualité

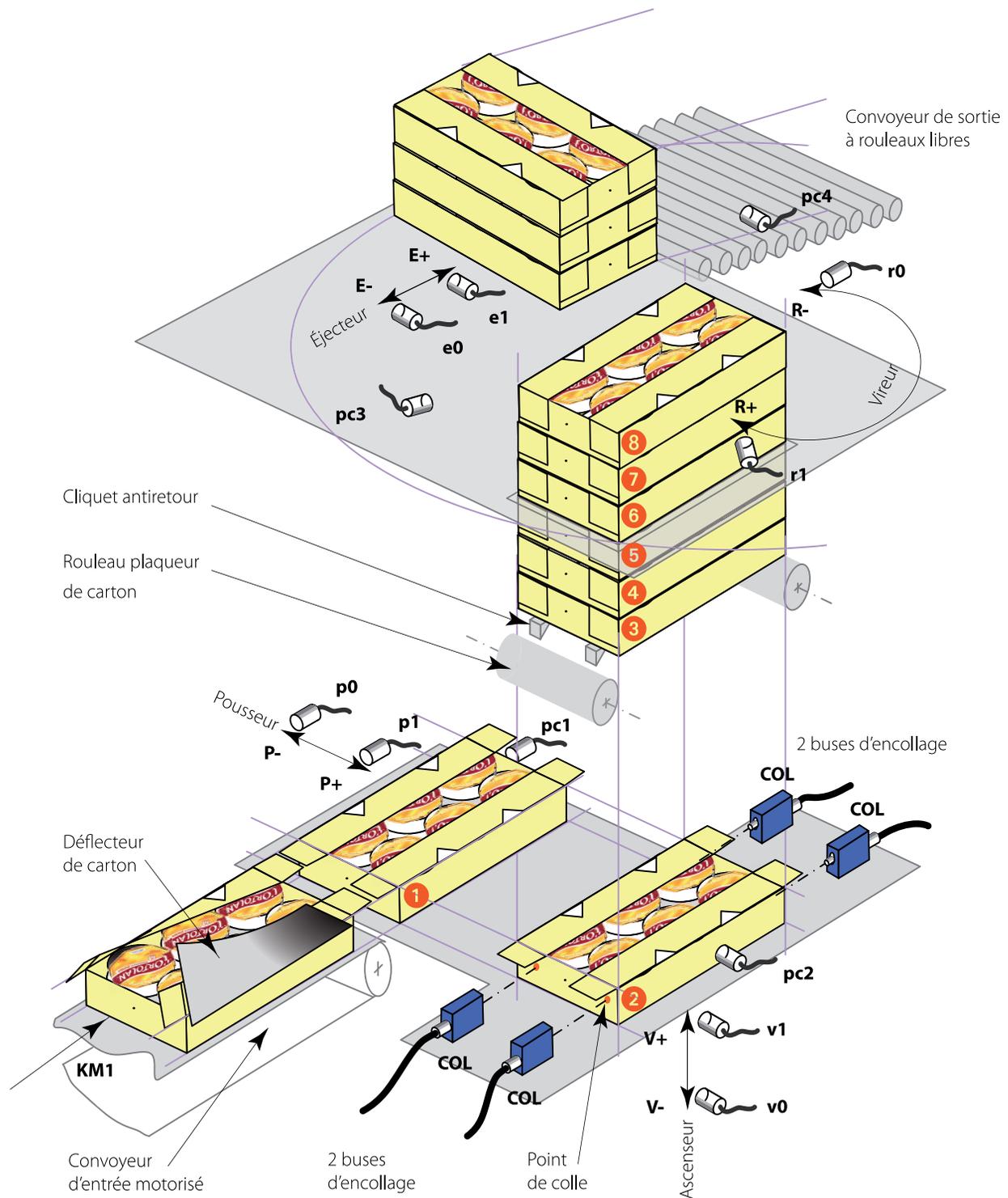
L'automatisation n'a pas pour seul objectif d'augmenter la productivité. Elle permet aussi d'effectuer des contrôles intégrés dans les processus de fabrication pour assurer la qualité et minimaliser les pertes sur défautuosité.

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 3 détecteurs de proximité TOR (pf1, pf2, pf3) au-dessus du carton en position 1 10.

Remarque : La position suggérée des trois détecteurs sur la figure 10 n'est pas forcément exacte.

ANNEXE 4

Le synoptique de l'encartonneuse automatique



Le principe imaginé est le suivant : pendant le déroulement de la tâche T2, ces 3 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.

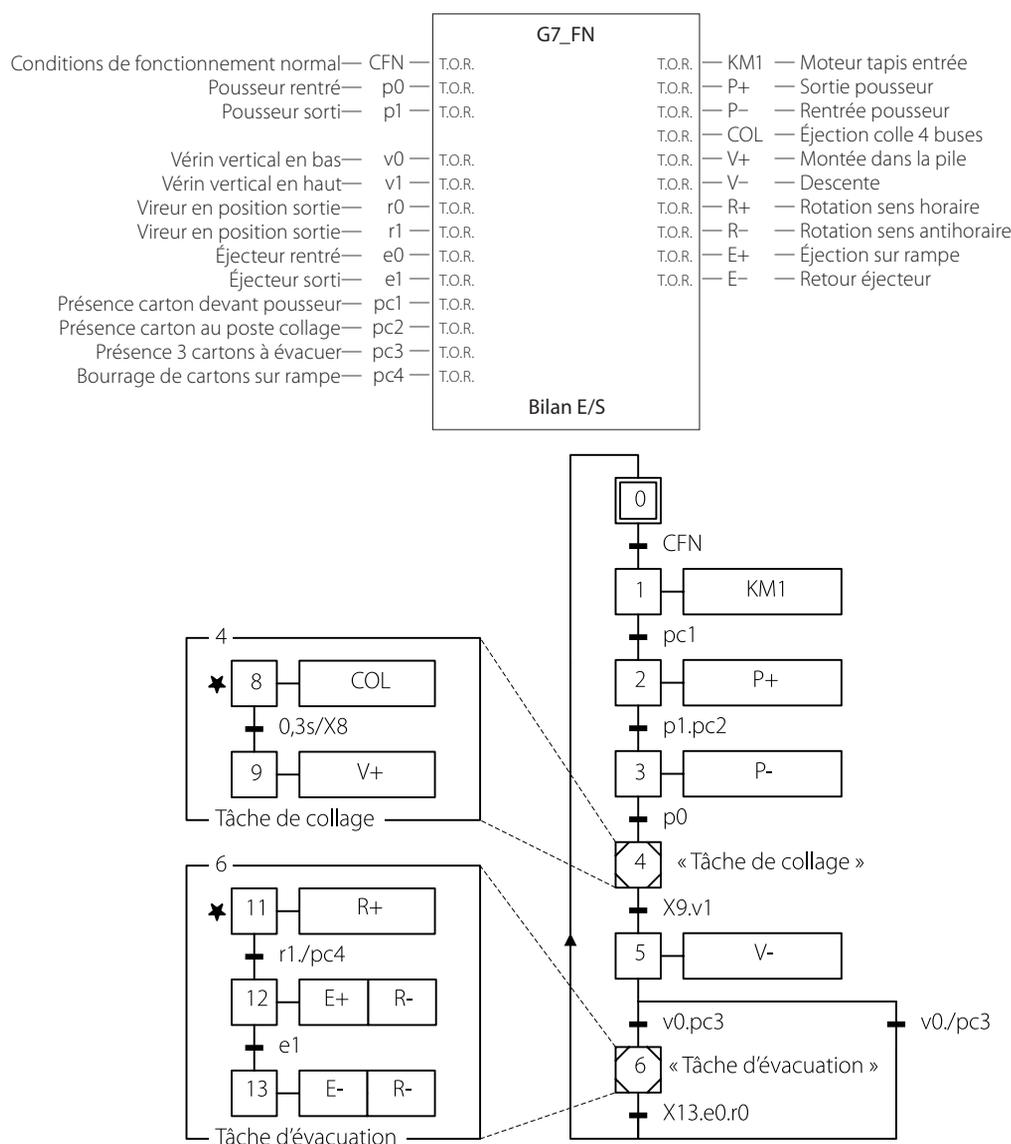
En cas d'apparition d'un « défaut de remplissage », et pour ne pas ralentir la production, on décide de ne pas arrêter la machine, mais d'isoler le carton défectueux afin que l'opérateur en fin de ligne le repère facilement. Il pourra alors aisément compléter le remplissage du carton à la main afin de supprimer le défaut.

La technique retenue pour isoler le carton défectueux est présentée en **11**. 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 cartons **11**. Au cycle suivant, quand le défaut arrive au niveau 1 de la pile supérieure (position 6), on l'évacue pour ainsi l'isoler.

À partir du document ressource sur la technologie des détecteurs de proximité donné en annexe 6, sélectionner le ou les capteurs capables et choisir celui qui semble le plus approprié pour assurer la fonction. Justifier ce choix.

ANNEXE 5

Grafset de fonctionnement normal : G7_FN



ANNEXE 6

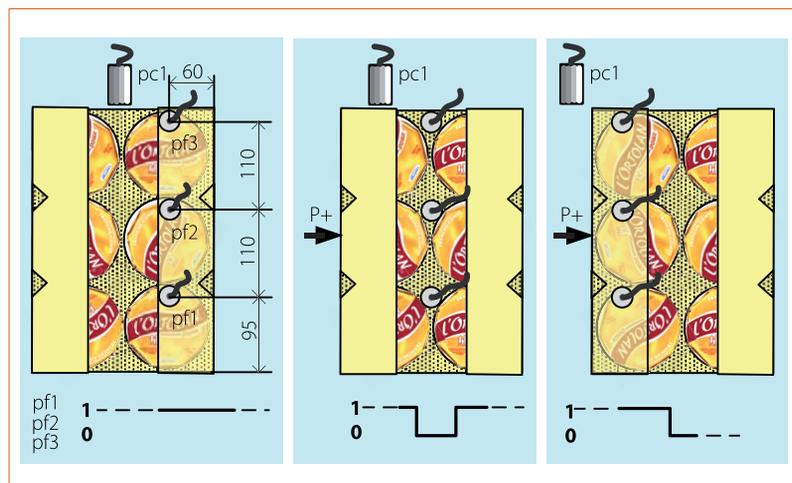
Comparatif des détecteurs de proximité TOR

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 et salissures, 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, 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 (< 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 (< 100 mm) Nécessite l'utilisation d'un aimant Sensible aux perturbations électromagnétiques 	<ul style="list-style-type: none"> Portée faible (< 60 mm) Sensible à l'humidité et aux vapeurs denses 	<ul style="list-style-type: none"> Coût élevé (200-1000 €) Sensible aux courants d'air Sensible à la température des pièces (de -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, du 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 liquides 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 d'un liquide dans un flacon ou de granules dans les trémies d'une machine d'injection plastique... Profondeur d'une cavité
Illustration					

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.

Il faut un capteur capable soit de détecter la présence des 6 fromages de la couche supérieure par l'ouverture centrale du carton, soit 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 non celui du bas. C'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 (il peut être froissé ou gondolé), donc sa capacité à réfléchir le faisceau lumineux reste aléatoire. Ce dernier point rend le détecteur optique peu capable.



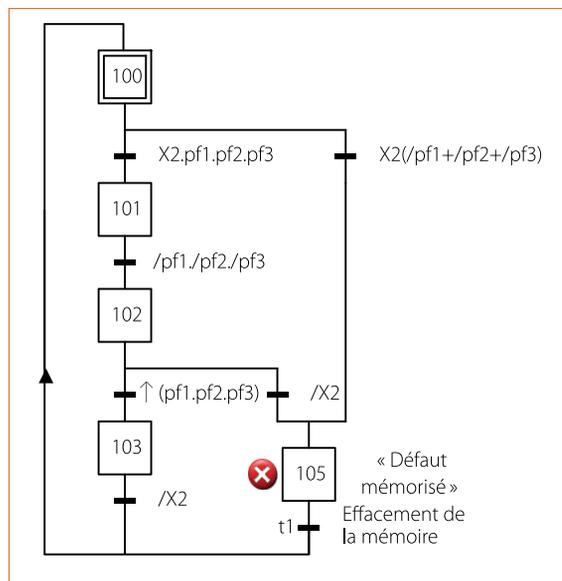
13 Le mode de détection des fromages de la couche supérieure

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.

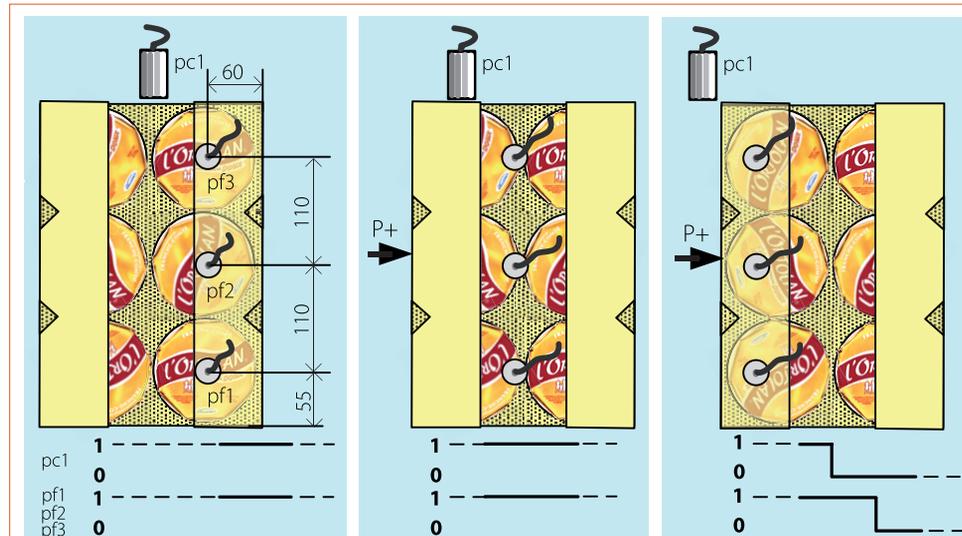
Le détecteur capacitif peut être réglé de façon à ne pas détecter le carton en premier plan, détecter le fromage supérieur et ne pas détecter le fromage de la couche inférieure en arrière-plan. Son coût et ses possibilités de détection discriminatoire le rendent capable. Le principe de détection est illustré en 12.

Le choix définitif de la technologie de détection se porte par conséquent sur le capacitif. Il restera à le dimensionner pour choisir un composant adapté dans une gamme de constructeur.

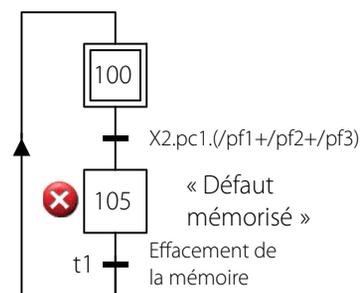
À l'aide d'un croquis d'intention, montrer l'implantation exacte des 3 capteurs choisis en question précédente.



14 Le grafcet de détection et mémorisation du défaut de conditionnement (G7_MEMODEF)



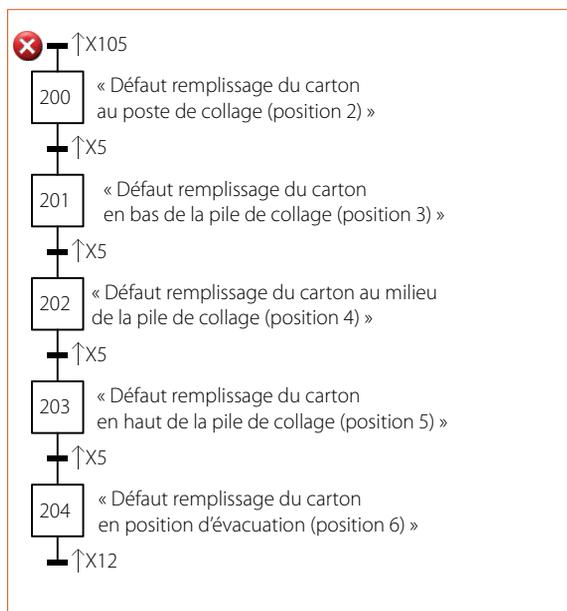
15 La variante de la solution de détection et de mémorisation du défaut de conditionnement



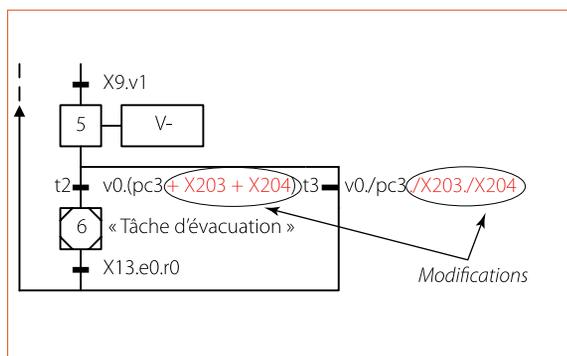
en cotant leur position par rapport au carton et à la machine. Expliciter le mode de détection du défaut.

Les 3 capteurs pf1, pf2, pf3 sont placés au-dessus de la trajectoire du carton durant son déplacement poussé par P+ 10.

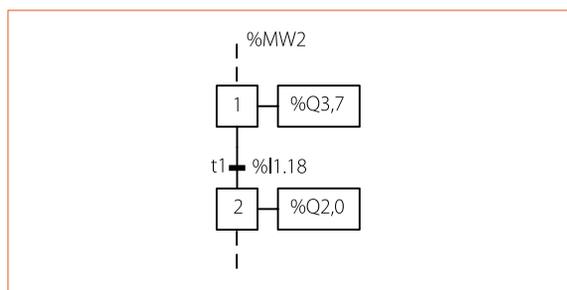
Ils sont décalés de 40 mm par rapport au côté du carton, dans sa position d'arrivée en pc1, pour détecter tout de suite les 3 fromages de la première rangée.



16 Le grafcet registre à décalage de l'information « défaut remplissage » (G7_REGDEF)



17 La modification du grafcet de fonctionnement normal (G7_FN) pour assurer l'isolement du carton défectueux sans arrêter la machine



18 Une portion de grafcet

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 3 capteurs vont évoluer comme l'indique le chronogramme illustré 13.

Élaborer 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 3 fromages de la première rangée sont présents. Si oui, le grafcet 14 évolue en X101. Sinon, il évolue en X105, l'étape qui mémorise le défaut de conditionnement.

Ensuite, depuis X101, lorsque les 3 capteurs détectent le vide entre les deux rangées, le grafcet évolue en X102 pour attendre l'apparition des 3 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 3 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).

Une solution plus simple consiste à installer différemment les capteurs (pf1, pf2, pf3) et à exploiter le signal pc1, comme en 13. 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 ont le niveau 1, et le conservent pendant la tâche 2 (X2) tant que pc1 = 1. Cela donne un grafcet plus simple 15.

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

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 le carton défectueux se présentera dans les positions 5 et 6. À l'activation de X105, le grafcet (G7_REGDEF) 16 évolue en X200. Cela signifie que ce carton 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 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).

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 14.

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 17.

La 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** (par exemple, %MW1) à chaque grafcet dont la propriété est d'être un graphe d'état, c'est-à-dire dont la situation ne possède à tout instant 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 18, 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 7 donne le grafcet adressé du fonctionnement normal (G7_FN).

En utilisant le langage ST, écrire le programme du grafcet de fonctionnement normal (G7_FN) afin de respecter les règles 1, 2 et 3 d'évolution du modèle Grafcet.

Remarques :

- Ne traiter que le graphe principal et l'encapsulation 6.

- Ne pas omettre le marquage de la situation initiale (règle 1) ainsi que le lien d'activation de l'encapsulation (voir l'annexe 6).

On affecte le mot %MW0 au graphe principal du grafcet (G7_FN), le mot %MW6 à l'encapsulation de l'étape encapsulante 6 et le mot %MW4 à l'encapsulation « tâche de collage » de l'étape encapsulante 4 19.

Commentaire		Programme
Initialisation du grafcet	Initialisation du graphe principal du grafcet de fonctionnement normal (G7_FN)	SI (%SYS) ALORS %MW0:= 0 ; FIN_SI ;
Évolution 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 <i>Variante de programmation pour un résultat plus compact</i>	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 ;
	Franchissement de la transition X5>X6 Lien d'activation de l'étape encapsulante 6	SI (%MW0=5 AND %I1.2 AND %I1.10) ALORS %MW0 :=6 ; %MW6 :=11 ; FIN_SI ;
	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 ;
Combinatoire générale des sorties	Équation de %Q2-0	SI (%MW0=2) ALORS %Q2-0:=1 ; SINON %Q2-0:=0 ; FIN_SI ;
	Équation de %Q2-11 <i>Variante de programmation plus compacte</i>	%Q2-1:=%MW0=3 ;
	Équation de %Q2-3	%Q2-3:=%MW0=5 ;
	Équation de %Q2-4	%Q2-4:=%MW6=11 ;
	Équation de %Q2-5	%Q2-5:=%MW6=12 OR %MW6=13 ;
	Équation de %Q2-6	%Q2-6:=%MW6=12 ;
	Équation de %Q2-7	%Q2-7:=%MW6=13 ;
Équation de %Q3-7	%Q3-7:=%MW0=1 ;	

19 La programmation du grafcet de fonctionnement normal

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.

Dans le tableau 19, les équations logiques uniques de chaque sortie sont écrites dans un ordre croissant pour que l'on se repère aisément lors des opérations de mise au point et de maintenance du programme (combinatoire générale des sorties).

Conclusion

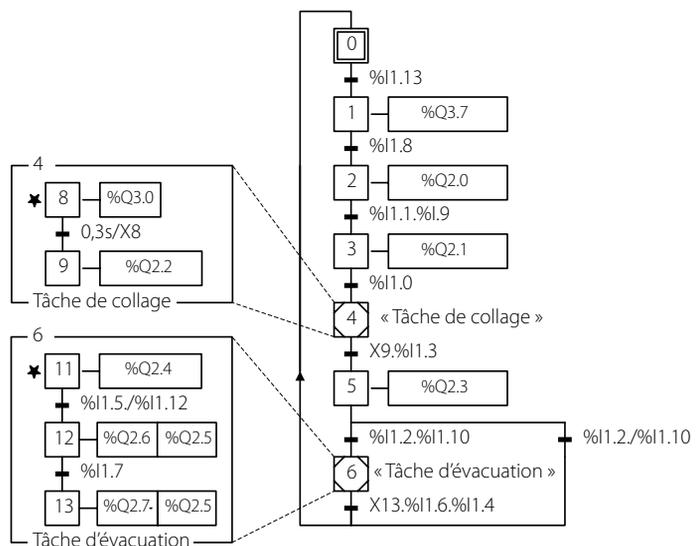
La détermination de la performance de cadence est essentielle dans une conception de machine, car c'est elle qui permet de valider – ou non – les choix techniques du processus automatisé. Les deux premières questions relatives à cette problématique n'ont pas été traitées avec un franc succès.

Les questions suivantes ont révélé un manque de maîtrise dans la construction d'un grafcet de coordination des tâches. Cette conception nécessite que l'on connaisse une méthode pour analyser les antériorités immédiates de chaque tâche et construire les modules de grafcet équivalents. Cette méthode connue et enseignée – en STS MAI en particulier –, avec toutes ses variantes, a fait l'objet de nombreuses publications auxquelles nous invitons les futurs candidats à se référer. Point remarquable, certains ont su décrire le bon cycle parfaitement synchronisé en en donnant une description temporelle avec le diagramme de Gantt sans être capables d'élaborer le grafcet correspondant.

La question du choix de capteur a beaucoup plu. Elle a été bien traitée par la quasi-totalité des candidats. C'était une question de choix critérisé avec un document ressource synthétique, donné en annexe 6. Beaucoup de candidats ont cependant considéré que le taux d'humidité ambiant (50 %) était rédhibitoire pour la technologie des détecteurs capacitifs. En fait, il n'en est rien. Rappelons que, de 40 à 70 %, le taux d'humidité est normal, et c'est seulement au-dessus de 70 % que l'on considère que l'air est humide.

ANNEXE 7

Le grafcet de fonctionnement normal adressé : G7_FN



Seuls quinze candidats ont traité la partie de programmation. Toutes les données nécessaires au traitement de cette question étant fournies, elle ne nécessitait pas d'être un spécialiste, mais visait l'interprétation du modèle Grafcet. Les candidats ont certainement été surpris par cette question peu habituelle dans les sujets, mais néanmoins présente dans le programme de l'agrégation. ■

Retrouvez tout Technologie en ligne !

TÉLÉARGER EN PDF TOUS LES ARTICLES DES NUMÉROS DE PLUS D'UN AN

- « Pour en savoir plus sur les produits », pour accéder à la Cyberlibrairie...
- ... « Revues »
- ... « Numéros en vente » de Technologie
- ... « Consulter la notice détaillée et le(s) document(s) »



Sous le regard des satellites

Des kits pédagogiques clés en main



Version géographique

Kit pédagogique : 7 dossiers + 1 DVD

- Les satellites d'observation de la Terre
- Le globe terrestre vu de l'espace
- Les hommes sur la Terre
- L'Afrique et la diversité des milieux
- L'Asie et la riziculture
- L'Europe, un continent développé
- Les inondations sous surveillance

Réf. 755A3082

Version SVT-sciences physiques

Kit pédagogique : 6 dossiers + 1 DVD

- Les satellites d'observation de la Terre
- Les espèces vivantes et leurs milieux
- L'eau sur la Terre
- Les volcans : l'exemple de l'Etna
- Les inondations sous surveillance
- Les images satellites et leurs couleurs

Réf. 755A3083



Dans chaque dossier :

- > 16 documents thématiques identiques pour distribution aux élèves par binôme
- > Un questionnaire pour les élèves
- > Un feuillet d'accompagnement réservé aux professeurs

Dans le DVD :

- > Toutes les images satellites contenues dans les dossiers

www.sceren.com

Également disponibles :

- À la Librairie de l'éducation Paris / Métro Mabillon
 - Dans les librairies des CRDP/CDDP
- www.sceren.fr/cndp_reseau/