

Concours Général des Lycées Sciences de l'Ingénieur 2009

Proposition de correction

PARTIE 1 - PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

→ Question 1A : (document réponse DR1)

Étapes de la filière P.E.T.	Contraintes client				Type de déchets				
	C1	C2	C3	C4	Bouchons	Étiquettes	Colles	Bouteilles non PET	Déchets ferreux
Approvisionnement de la ligne	X								
Séparation infrarouge		X						X	
Séparation magnétique		X							X
Broyage			X						
Flottaison		X			X				
Lavage à chaud - rinçage		X				X	X		
Conditionnement en big bags				X					

→ Question 1B :

De manière générale, les différents plastiques recyclés n'ont pas le même point de transformation (fusion).

Cas de la filière PET : Le plus gros problème est le fait que la température de combustion du PEHD est inférieure à la température de fusion du PET. Donc traces dans la matière recyclée.

Cas de la filière PEhd : Le PET est encore à l'état solide quand le PEhd est en fusion.

PARTIE 2 - GESTION DES FLUX

→ Question 2A : (document réponse DR1)

	tonnes/heure	tonnes/an	Équivalent bouteilles/heure
Q_{ENTREE}	2,64	22000	62860
Q_{E-PET}	2,02	16809	48095
Q_{E-PEhd}	0,62	5191	14765
Q_{PET}	1,80	14960	
Q_{PEhd}	0,55	4620	
$Q_{DECHETS}$	0,29	2420	

Nombre d'heures de fonctionnement de l'usine par année (non bissextile) :

Heures totales : $365 \times 24 = 8760$ heures

Heures de maintenance : $2 \times 4 \times 52 = 416$ heures

Soit : $8760 - 416 = 8344$ heures de fonctionnement

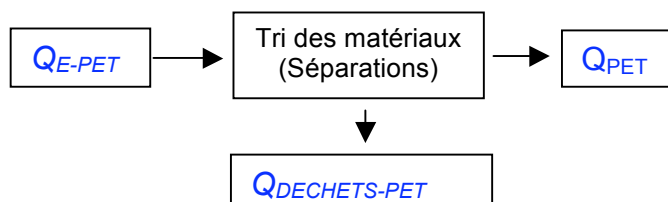
D'où $Q_{ENTREE} = 22000/8344 = 2,64$ tonnes/heure

D'après le tableau du document DT1 :

$$Q_{PET} = 0,68 \times Q_{ENTREE}$$

$$Q_{PEhd} = 0,21 \times Q_{ENTREE}$$

$$Q_{DECHETS} = 0,11 \times Q_{ENTREE}$$



Le pourcentage de déchets est le même sur les deux filières donc :

$$D_{\text{chets}}\% = \frac{Q_{\text{ENTREE}}}{Q_{\text{DECHETS}}} = \frac{Q_{E-PET}}{Q_{\text{DECHETS-PET}}} = \frac{Q_{E-PEhd}}{Q_{\text{DECHETS-PEhd}}} = 11\%$$

D'où : $Q_{E-PET} = 0,11 \times Q_{\text{DECHETS-PET}} = 0,11 \times (Q_{E-PET} - Q_{PET})$ et $Q_{E-PET} = \frac{Q_{PET}}{0,89}$

→ Question 2B :

Il faut comparer le débit maxi autorisé par la balance (2,8 tonnes/heure) au débit d'entrée de la filière PET, soit $Q_{E-PET} = 2,02$ tonnes/heure.

La capacité de la balance dynamique est donc suffisante. La marge de sécurité est de 28%

→ Question 2C :

Nombre de bouteilles traitées en une heure : $Nb = \frac{2,8}{0,35} \times 3 \times 3600 = 86400$
 $Nb = 86400$ bouteilles/heure

Débit moyen théorique de la machine : $Q_{PELLENC} = Nb \times Pb = 86400 \times 0,042 = 3,628$
 $Q_{PELLENC} = 3,628$ tonnes/heure

Ce débit est suffisant pour la filière PET ($Q_{E-PET} = 2,02$ tonnes/heure).

→ Question 2D :

Volume d'un big-bag : $2,05 \times 1 \times 1 = 2,05 \text{ m}^3$

Masse d'un big-bag : $2,05 \times 0,5 = 1,025 \text{ t}$

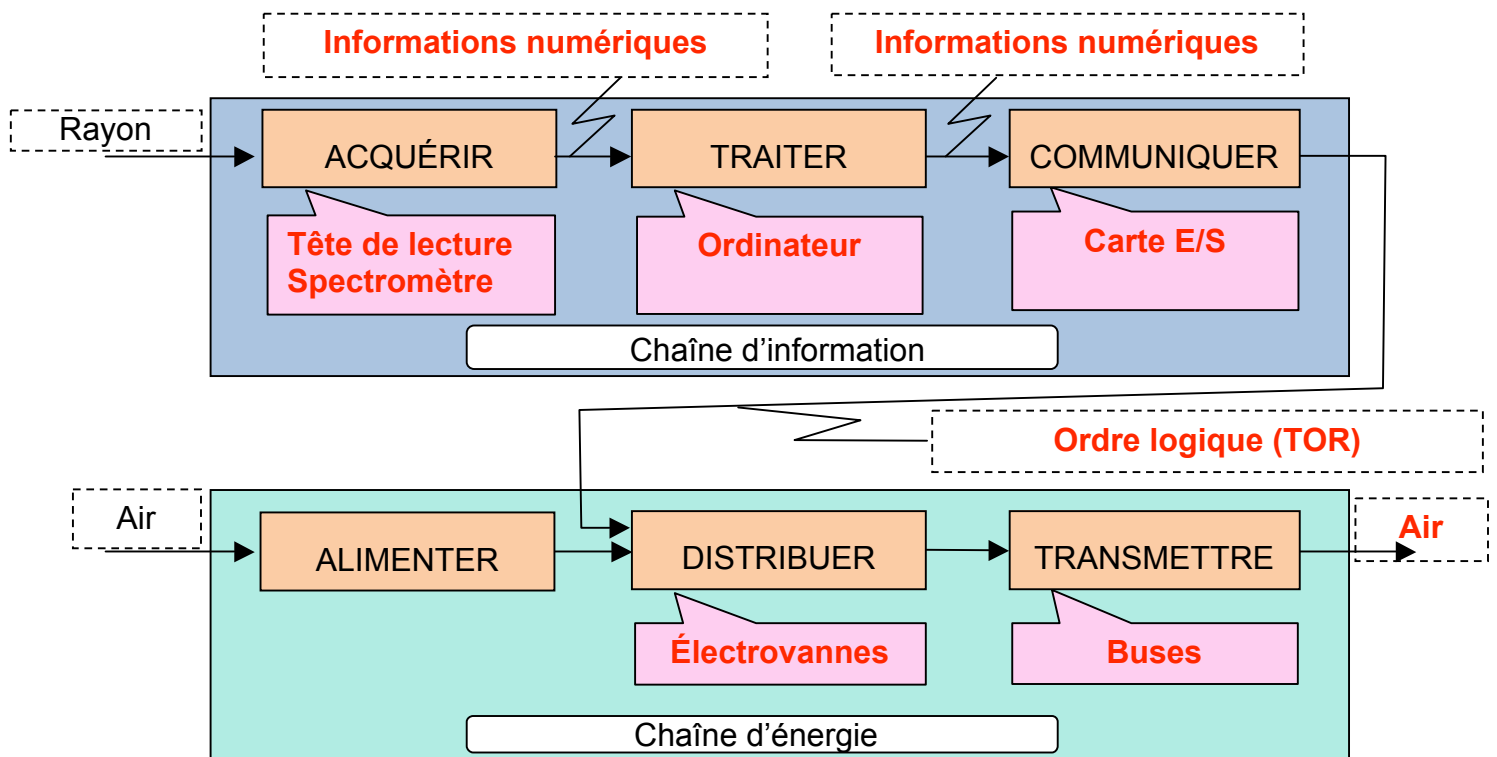
Débit maxi du poste de conditionnement : $Q_{\text{CONDITIONNEMENT}} = \frac{1,025 \times 60}{20} = 3,075$
 $Q_{\text{CONDITIONNEMENT}} = 3,075$ tonnes/heure

Ce débit est suffisant pour la filière PET ($Q_{E-PET} = 2,02$ tonnes/heure).

PARTIE 3 - TRI DES BOUTEILLES EN PET

→ Question 3A :

Compléter chaîne fonctionnelle doc réponse DR1



→ Question 3B :

Équations de mouvement de B à C : $y = \frac{1}{2}gt^2$ $x = Vt$

Soit $y = \frac{g}{2V^2}x^2$ ou bien : $x = V\sqrt{\frac{2y}{g}}$

Pour $Y_c = 0,38$ m, on obtient $X_c = 0,696$ m.

La distance horizontale séparant les deux tapis est de $0,5 + 2 \times 0,09 = 0,68$ m.

Cette distance est suffisante pour un passage des bouteilles par gravité à 2,5 m/s.

À la vitesse de 2,8 m/s, $X_c' = 0,779$ m.

On peut augmenter la distance entre tapis de $0,779 - 0,696 = 0,083$ m.

→ Question 3C :

D'après le document DT3, la buse fonctionne sous 8 bar soient 800 kPa.

La force de soufflage est de 47,3 N

À l'instant t_0 , la distance entre le centre d'inertie de l'objet et le plan de soufflage est de :

$$D = 220 + 10 + 150 = 380 \text{ mm} = 0,38 \text{ m}$$

$$\text{D'où : } t_s = \frac{d}{V} = \frac{0,38}{2,5} = 0,152 \text{ s}$$

→ Question 3D :

Actions mécaniques :

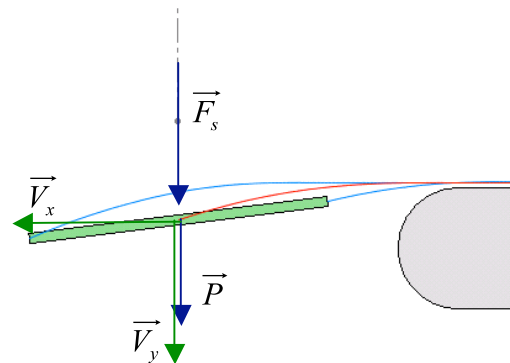
Force de soufflage : $F_s = 47,3$ N

Poids : $P = mg = 0,42$ N

Vitesses :

$V_x = 2,5$ m/s

V_y : à calculer



De A à B, $V_y = 0$

À partir de B, c'est-à-dire au temps t_B , $V_y = g(t - t_B)$

$$\text{Calcul de } t_B : t_b = \frac{AB}{V} = \frac{(0,15 + 0,01 - 0,09)}{2,5} = 0,028 \text{ s}$$

$$\text{D'où } V_y = g \times (t_s - t_B) = 9,81 \times (0,152 - 0,028) = 1,22 \text{ m/s}$$

→ Question 3E :

- Situation 2

La buse se déclenche trop tard :

Déclenchement à $t_s = 0,2$ s

La bouteille rebondit sur le bord du second tapis et finalement n'est pas chassée. Elle passe sur le tapis 5.

- Situation 3

La buse se déclenche trop tôt :

Déclenchement à $t_s = 0,1$ s

La bouteille est chassée correctement sur le tapis 4.

→ Question 3F :

Tri positif :

- Efficacité : sur les 100 bouteilles de PET, 93 sont effectivement éjectées dans la sortie PET et les 7 autres bouteilles de PET se retrouvent dans une autre sortie : L'efficacité du tri de PET est de 93 %.
- Pureté : on comptabilise 97 objets dans la sortie PET. Sur ces 97 objets, 93 sont effectivement des objets en PET : La pureté du tri de PET est de $93/97 = 95,8 \%$

Tri négatif :

- Efficacité : $95/100 = 95 \%$
- Pureté : $990/995 = 99,5 \%$

Pertinence :

Les performances du tri négatif sont supérieures en efficacité et en pureté : c'est effectivement celui qui a été choisi ici puisqu'on éjecte les objets ne convenant pas.

Lien avec la question 3E : Si on souffle trop tôt l'objet, le nombre de produits « autres » va augmenter dans la sortie PET, donc la pureté diminue.

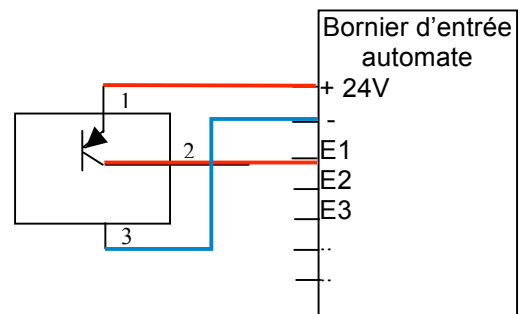
Si on souffle trop tard l'objet, une bonne bouteille PET va dans la sortie impureté, donc l'efficacité diminue.

PARTIE 4 - INSTALLATION DE REMPLISSAGE DES BIG-BAGS

→ Question 4A : Voir Document DR3 corrigé en fin de correction.

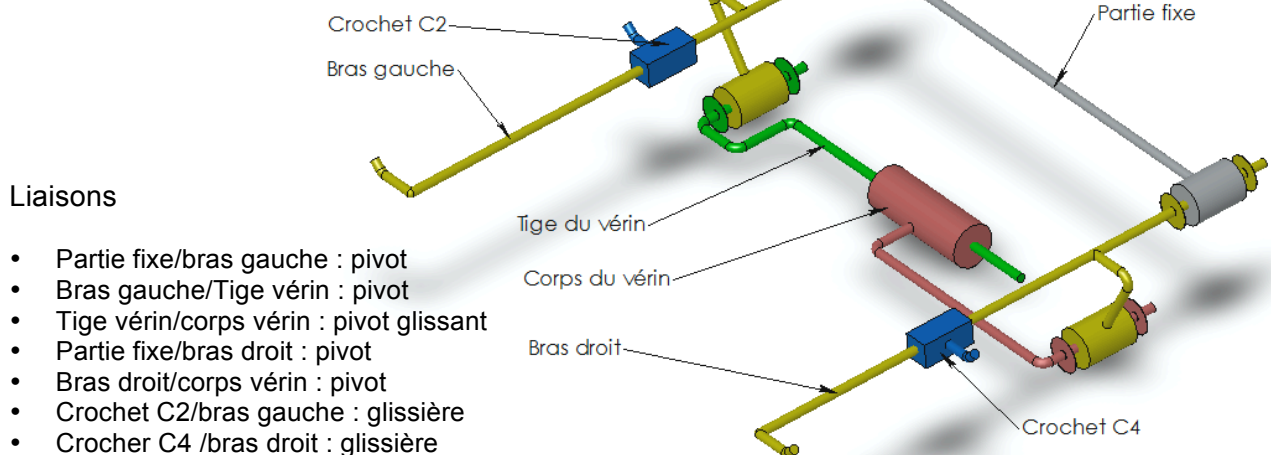
→ Question 4B :

- Le détecteur émet un rayon infrarouge. Lorsqu'un objet réfléchissant est présent à proximité du détecteur (moins de 1 mètre) et qu'il réfléchit le rayon vers le détecteur, ce dernier capte la présence de l'objet.
- Les propriétés d'aspect de la palette et sa distance avec le détecteur lorsqu'elle passe devant, permettent de réfléchir le rayon émis. Lorsqu'aucune palette n'est présente devant le détecteur, le rayon ne doit pas être réfléchi. Émetteur et récepteur sont dans le même boîtier, un seul composant suffit.
- Schéma DR2 complété (raccordement de la borne 3 non exigée) :



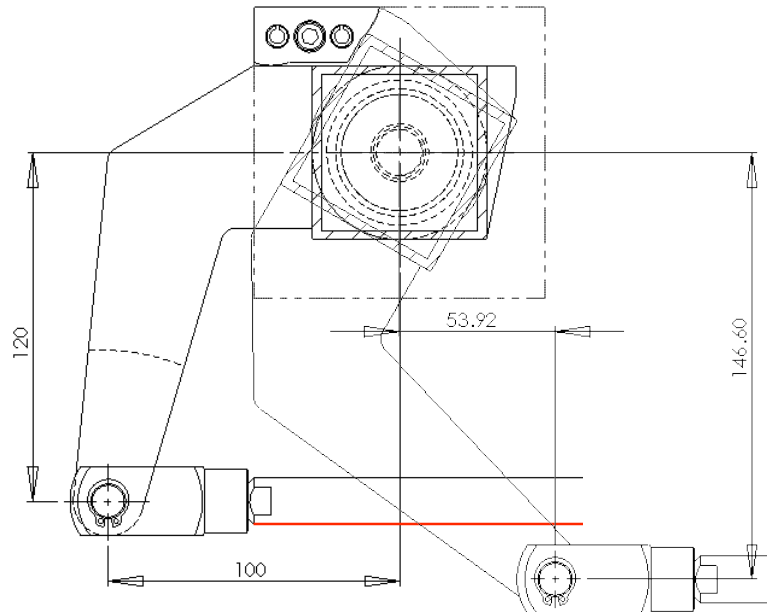
Lors de la présence d'une palette, le transistor PNP conduit en conséquence, la tension 24V est appliquée sur l'entrée E1.

→ Question 4C :



➔ Question 4D :

Course minimale du vérin :
 $(100 + 54) \times 2 = 308 \text{ mm}$



➔ Question 4E :

Inventaire des actions mécaniques s'exerçant sur le solide isolé :

En G : poids du bras $F_G = 129 \text{ N}$

En B : action des poignées du sac (deux) $F_B = 250/2 \times 9,81 = 1226,25 \text{ N}$

En A : action de la tige de vérin (horizontale) F_A

En O : action du bâti de résultante inconnue R

Méthode analytique :

Écriture de l'équation de moment du PFS en projection suivant x en O :

$$88 \times F_B + 9,9 \times F_G - 120 \times F_A = 0$$

D'où l'effort minimal du vérin : $F_A = 910 \text{ N}$

Projection suivant y :

$$Y_O - F_A = 0 \quad \text{et} \quad Y_O = 909,89 \text{ N}$$

Projection suivant z :

$$Z_O - F_G - F_B = 0 \quad \text{et} \quad Z_O = 1355,25 \text{ N}$$

$$\text{D'où la résultante} \quad R = \sqrt{(Y_O)^2 + (Z_O)^2} = 1632,36 \text{ N}$$

➔ Question 4F :

Diamètre minimal du piston

Le vérin est en sortie de tige donc l'action mécanique exercée vaut : $F_A = p \frac{\pi \cdot D^2}{4}$

$$\text{D'où} \quad D = \sqrt{\frac{4 \times F_A}{p \times \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 910}{10 \times 100000 \times \pi}} = 0,034 \text{ m} = 34 \text{ mm}$$

La référence du vérin choisi (CP95SDB40-400) indique que le diamètre du piston vaut 40 mm et la course 400 mm. Donc ce vérin convient.

→ Question 4G :

Inventaire des actions mécaniques :

En G : poids du bras négligé

En A : action tige vérin horizontale F_A connue :

$$F_A = 10 \times 10^5 \frac{\pi \times 0,04^2}{4} = 1257 \text{ N}$$

En O : action transmissible par la liaison pivot inconnue R

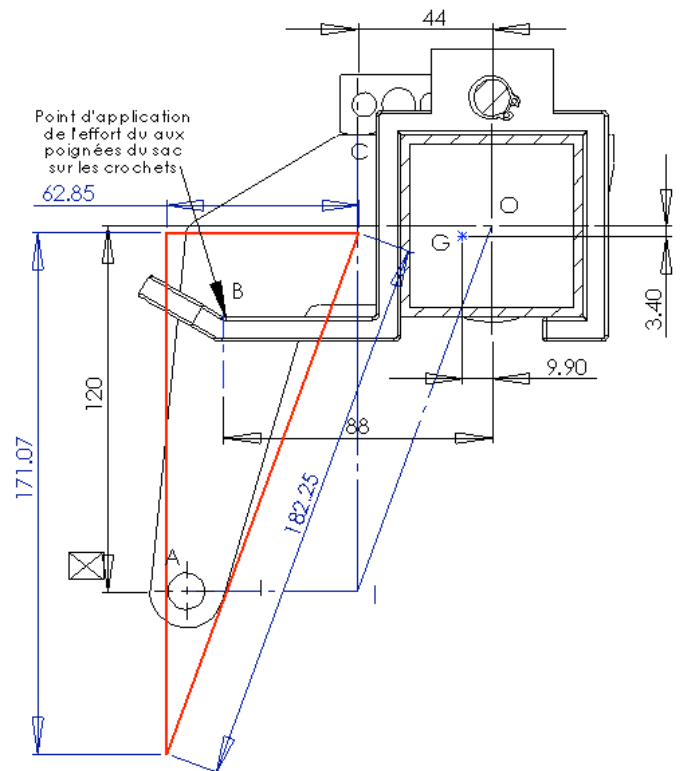
En C : action de la butée sur le bras (contact linéaire rectiligne : direction connue verticale)

Méthode graphique :

Résolution classique d'un système soumis à 3 résultantes d'actions mécaniques.

$$F_C = 3420 \text{ N}$$

$$F_O = 3645 \text{ N}$$



→ Question 4H :

- Les capteurs choisis (SB5000) ont une étendue de mesure de 2260 kg. Or, la masse totale est de 2200 kg pour 4 capteurs ce qui représente 550 kg par capteur. On peut donc conclure que le capteur référencé SB2500 convenait car il a une étendue de mesure de 1130 kg.
- La tension maximale d'entrée de l'afficheur est égale à 15 mV. Elle est obtenue à partir de la sortie du capteur (2 mV/V) d'où $V_{cc_{max}} = \frac{15 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 7,5 \text{ V}$. On choisira donc $V_{cc} = 5 \text{ V}$.

→ Question 4I :

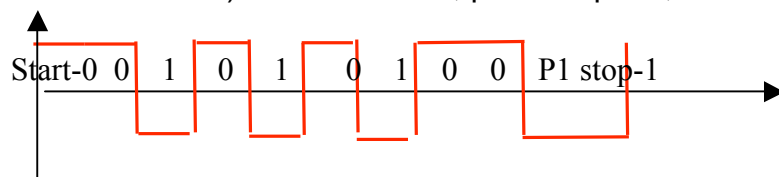
- $\Delta V = V_{cc} \times \left(\frac{R_j}{R + R_j} - \frac{R}{R + R} \right) = V_{cc} \times \left(\frac{R_j}{R + R_j} - \frac{1}{2} \right)$
- $V_{s_{max}}(0,002 \times 5)$ est obtenue pour 2260 kg. Lorsque le big bag est plein, la masse par capteur est de $\frac{1000 + 1200}{4} = 550 \text{ kg}$ et $V_{cc} = 5 \text{ V}$, $\Delta V = \frac{2 \times 10^{-3} \times 5 \times 550}{2260} = 2,43 \text{ mV}$.
Lorsque le big bag est vide, la masse par capteur est de $\frac{1200}{4} = 300 \text{ kg}$ et $V_{cc} = 5 \text{ V}$
 $\Delta V = \frac{2 \times 10^{-3} \times 5 \times 300}{2260} = 1,33 \text{ mV}$.
- L'afficheur pouvant indiquer une valeur entre 0 et 5000, on pourra le configurer pour qu'il affiche la masse du sac avec une résolution de 1 kg ce qui permettra de communiquer cette grandeur de façon satisfaisante, même pour les sacs les plus lourds.

→ Question 4J :

- Pour être transmise (et affichée) la tension d'entrée de l'afficheur doit être convertie en une valeur numérique. Pour exploiter la résolution de l'afficheur, ce nombre doit proposer au moins 5000 combinaisons. Le convertisseur analogique numérique doit donc avoir au moins 13 bits ($2^{13} = 8192$). Si on fait l'hypothèse que l'afficheur utilise un CAN standard 16 bits et que la tension pleine échelle est égale à la valeur maximale de la tension d'entrée, on a pour une tension d'entrée égale à 2,5 mV :

Tension d'entrée de l'afficheur (Vs)	Valeur numérique correspondante
0 V	0
2,5 mV	10922 ₍₁₀₎
15 mV	65535 ₍₁₀₎

- Il y a nécessairement un langage de communication entre l'afficheur et l'automate programmable industriel c'est-à-dire qu'une communication consiste à émettre une suite cohérente de caractères. Chaque transmission de la mesure réalisée par l'afficheur est composée de caractères qui définissent le paramètre transmis (la grandeur d'entrée) associé à sa valeur numérique (la valeur affichée). Pour une communication, plusieurs caractères sont donc nécessaires (au moins 5 avec les hypothèses précédentes : 1 pour le paramètre et 4 pour sa valeur numérique).
- On peut calculer la durée de transmission d'un caractère : 11 bits sont à émettre à la vitesse de 9600 bits/seconde ; la durée de transmission d'un caractère est donc égale à $T = 11/9600 = 1,15$ ms, d'où une durée de transmission supérieure à 5,7 ms.
- Pour un seul caractère, on peut représenter le signal transmis (exemple : 1 bit de start, mot (transmis sur 8 bits) = %0101 0100, parité impaire, 1 bit de stop) :



→ Question 4K :

- Performances du variateur : puissance 1,5 kVA, alimentation triphasée 400V.
- Le réseau est branché donc le sectionneur QVAR est fermé, Nous n'appuyons pas sur AU et SB1 donc les contacts associés sont fermés. Pour alimenter le variateur il faut appuyer sur SB2, ce qui active le contacteur KMVAR et provoque la fermeture des contacts associés et permet l'alimentation du variateur.
(Comme l'appui sur SB2 n'est qu'une impulsion, le contact KMVAR, présent en parallèle sur SB2, permet une auto-alimentation du contacteur KMVAR (fonction mémoire)).
La borne n°10 du variateur reliée au contact KMVAR permet la marche Avant du Digidrive.
- La sélection de référence se fait par la borne 12 du Digidrive donc par le contact R5. Ici R5 est relié au +24 V donc la Référence choisie est A2 d'où une Entrée analogique en courant.
L'entrée est de type analogique en courant 4-20 mA moins sensible aux perturbations électromagnétiques que le 0-10 V
- Le contact R5 va permettre la variation de fréquence, donc il sera commandé à la masse M3. Alors l'entrée analogique en courant est prise en compte et commande la nouvelle valeur de la fréquence (donc de la vitesse du moteur).

➔ Question 4L :

- Compléter le tableau de paramétrage du variateur DR2.

Libellé	Réglage
Fréquence nominale	50 Hz
Courant nominal moteur	3,84 A
Vitesse nominale moteur (à pleine charge)	1440 tr/min
Tension nominale moteur	400 V
Facteur de puissance	0,78

- T = triphasé. Couplage étoile ou triangle pour une alimentation 230 V ou 400 V. Donc ici couplage étoile pour alimenter en 400 V.
- $P_a = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi = \sqrt{3} \times 400 \times 3,84 \times 0,78 = 2075 \text{ W}$
- Le variateur 1,5T commande 1,5 kVA
Le moteur est donné pour 1,5 kW. De plus, deux moteurs fonctionnent en même temps. En conséquence, cette puissance paraît insuffisante.

➔ Question 4M :

- Le défaut sera détecté par le relais thermique THPV1G ;
- Mesure du courant : Pince multifonction pour donner l'image du courant, à positionner sur le fil d'alimentation de chaque phase.
Mesure de Tension : Sonde différentielle pour atténuer la tension et isoler l'oscilloscope du montage, à placer entre U-V et V-W.

➔ Question 4N :

La résultante est maximale sur le palier N, $R_N = 11790 \text{ N}$

Dimensions du palier PSMF455535A51 : $d = 45 \text{ mm}$ $B = 35 \text{ mm}$ (document DT5)

Pression de surface maximale :
$$p = \frac{R_N}{d \times B} = \frac{11790}{0,045 \times 0,035} = 7,5 \text{ MPa}$$

D'après le document DT5, la pression admissible à la surface du palier est de 10 MPa. Donc le calcul indique que le palier est correctement dimensionné.

PARTIE 5 – SYNTHÈSE

→ Question 5A :

Lignes directrices de raisonnement

Le produit PET vierge coûte le prix de la matière première plus celui de sa fabrication complète

Le produit PET à partir d'emballages récupérés par les collectivités coûte le prix de son ramassage plus celui du transport.

Le produit PET granulé recyclé est fabriqué à partir de PET d'emballage retraité. Le retraitement se limite à des transformations essentiellement mécaniques dont le coût de fabrication est bien inférieur à une fabrication de produit vierge. Son coût total est la somme du coût de récupération (faible) et du coût de retraitement (faible). De plus ces retraitements sont pratiquement indépendants des coûts du marché du pétrole (variation immaîtrisable).

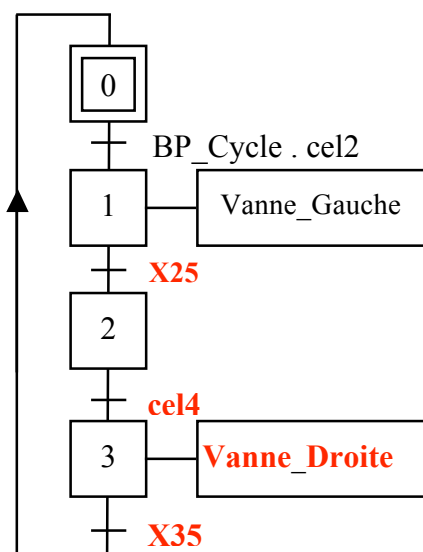
De même pour le PET granulé, dont la transformation demande de l'énergie supplémentaire pour sa fabrication, mais qui est néanmoins bon marché.

Sachant que l'emballage PET produit en proportions égales des paillettes colorées, des paillettes faiblement bleutées et des granulés recyclés, pour obtenir une tonne de chaque il faudra acheter 3 tonnes d'emballages. Pour comparer les coûts on achète la même quantité de PET vierge soit 3 tonnes.

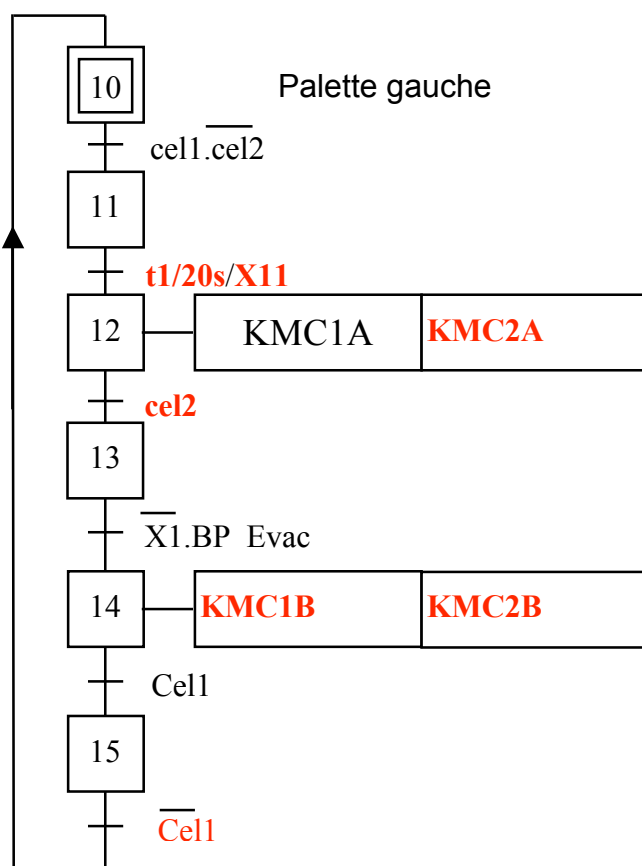
matériaux	coût de fabrication	unité (tonne)	coûts totaux
PET vierge	1 500,00 €	3	4500 €
PET emballage	218,00 €	3	654 €
paillettes colorées	700,00 €	1	2450 €
paillettes bleutées	850,00 €	1	
PET granulés	900,00 €	1	
			3104 €

En prenant les coûts les plus élevés, la solution de retraitement des PET recyclés est la moins chère de près de $\frac{4500 - 3104}{4500} = 31\%$.

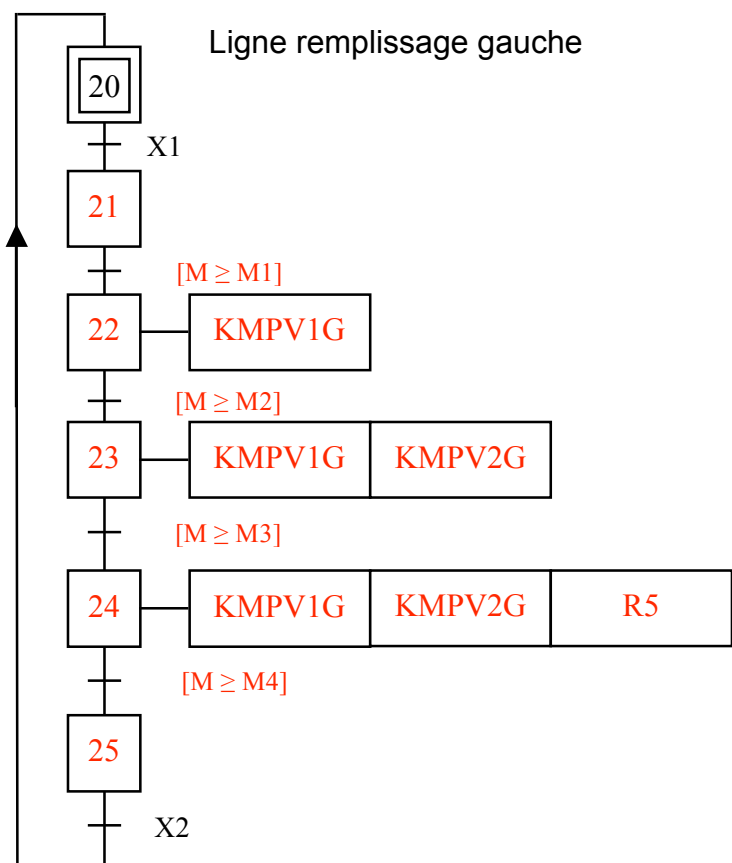
Grafcet de conduite



Palette gauche



Ligne remplissage gauche



Ligne remplissage droite

