

Brevet de Technicien Supérieur

**CONTRÔLE INDUSTRIEL  
et  
RÉGULATION AUTOMATIQUE**

**U42 – Automatismes et logique**

*Durée : 2 heures*

*Coefficient : 2*

**Aucun document autorisé. Calculatrices interdites.**

**Tout autre matériel est interdit.**

**Documents à rendre avec la copie :**

Les **DOCUMENTS RÉPONSES** n° 1 (pages 9/12 et 10/12) et n° 2 (pages 11/12 et 12/12) sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie, l'autre servant de brouillon éventuel.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 12 pages, numérotées de 1/12 à 12/12.

S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera alors clairement et précisément ces hypothèses.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE	Session 2015
AUTOMATISMES ET LOGIQUE	Code : <b>CAE4AL</b> Page 1/12

## CAE4AL

**Toutes les parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément ; il est cependant recommandé de les traiter après avoir lu l'intégralité du sujet.**

<b><u>Sommaire</u></b>	<b>Pages</b>	<b>Barème</b>
Description du procédé	2	
<b><u>Première partie</u></b> : cycle de trempe	3	6 points
<b><u>Deuxième partie</u></b> : contrôle du niveau d'huile - sécurité	4	4 points
<b><u>Troisième partie</u></b> : régulation du niveau d'huile	5	3 points
<b><u>Quatrième partie</u></b> : mesure et régulation de la température de l'huile	6	7 points
<i>Annexe 1</i> : schéma du cycle de trempe	7	
<i>Annexe 2</i> : tableau des variables, cycle de trempe	7	
<i>Annexe 3</i> : circuit d'huile de trempe	8	
<i>Annexe 4</i> : tableau des variables, bac de trempe	8	
<b>Documents réponses</b>	9 à 12	

Une entreprise usine et assemble les pièces entrant dans la composition d'une boîte de vitesse d'automobile.

Les principaux composants arrivent sur le site à l'état brut de fonderie ou de forge. Une succession de techniques d'usinage permet de leur donner leur forme définitive.

Après l'usinage, les pièces sont orientées vers le traitement thermique pour des opérations de carbonituration qui permettent de durcir les pièces en surface. Leur résistance est ainsi largement améliorée.

L'assemblage s'effectue à partir des pièces usinées sur place et des composants complémentaires achetés à l'extérieur, soit en moyenne 300 composants par boîte de vitesse.

### **Traitement thermique**

Le traitement thermique s'opère en plusieurs étapes :

- les pièces subissent dans un premier temps un lavage dans des machines à laver pour enlever les impuretés dues à l'usinage ;
- puis elles sont envoyées sur des plateaux vers les fours où elles subissent la carbonituration. Il s'agit d'un traitement thermochimique dont la durée est de 4 à 6 heures. La température est comprise entre 800 °C et 900 °C. Différents gaz sont injectés dans le four et viennent enrichir la surface des pièces en carbone et en azote ;
- à leur sortie du four, les pièces subissent une trempe à huile à la température de 160 °C pendant 5 à 6 minutes. En effet, une fois que la pièce a été enrichie, il faut la refroidir rapidement afin d'améliorer sa dureté tout en limitant sa déformation. C'est cette étape qui est étudiée dans ce sujet ;
- après avoir été traitées, les pièces sont de nouveau lavées. Puis elles retournent à l'usinage pour être rectifiées et vérifiées avant d'être assemblées.

## Description de la trempe à l'huile

Le schéma du cycle de trempe est représenté en **annexe 1, page 7**.

L'atmosphère du four est explosive car les gaz qui y sont injectés réagissent pour donner du dihydrogène  $H_2$  et du monoxyde de carbone  $CO$  ; la température qui règne dans le four est supérieure à  $800\text{ }^\circ\text{C}$ .

Il est essentiel pour la sécurité qu'il n'y ait aucune communication entre l'intérieur et l'extérieur du four. C'est pourquoi une tôle sépare en deux la partie haute du bac de trempe, l'huile doit toujours couvrir le bas de cette cloison. Dans le cas contraire, l'installation doit être arrêtée et le four doit être purgé (les gaz explosifs sont évacués et remplacés par un gaz neutre).

Les pièces, placées sur des plateaux, se déplacent horizontalement dans l'installation grâce à des pousseuses à chaîne.

Les plateaux sont plongés dans le bac de trempe grâce à deux ascenseurs (R et Q). Deux vérins « simple effet » permettent les mouvements des ascenseurs. Au repos, les ascenseurs sont en position basse, soumis à leur propre poids. Pour faire monter un ascenseur, on commande le distributeur **VMR**.

Un motoréducteur permet de faire passer les ascenseurs et leur chargement d'une partie à l'autre du bac de trempe. Le transfert de l'ascenseur R du côté "four" vers le côté "machine à laver" correspond à une rotation de  $180^\circ$  dans le sens direct, le retour s'effectue dans le sens indirect.

### **Première partie : cycle de trempe (6 points)**

L'étude portera sur le cycle "dégradé" pour lequel seul l'ascenseur R est en fonctionnement.

Les conditions initiales pour que le cycle démarre sont :

- les ascenseurs R et Q sont en position basse ;
- un plateau contenant des pièces se présente à l'extrémité du four ;
- le niveau d'huile dans le bac de trempe est normal ;
- l'étape **X200** du GRAFCET **GPN** (non étudié dans le sujet) est active ;
- la température de l'huile est normale (voisine de  $160\text{ }^\circ\text{C}$ , l'huile ayant été préchauffée au préalable).

Ensuite :

- l'ascenseur R est remonté par action sur le vérin **VR** jusqu'en position haute ;
- les pièces à tremper sont amenées sur le plateau de l'ascenseur R grâce à une pousseuse à chaîne ;
- l'ascenseur R descend dans le bac ;
- après 5 minutes de trempe, le motoréducteur effectue une rotation de  $180^\circ$  dans le sens direct. Les pièces placées sur le vérin **VR** se retrouvent côté sortie et l'ascenseur Q se retrouve côté four ;
- l'ascenseur R est remonté.
- les pièces ayant subi la trempe sont sorties du bac de trempe grâce à une pousseuse à chaîne afin d'être envoyées au lavage ;
- on laisse alors l'ascenseur R redescendre ;
- le motoréducteur effectue une rotation de  $180^\circ$  dans le sens indirect.

Un nouveau cycle peut alors démarrer.

# CAE4AL

## Question 1

Établir le GRAFCET **GTR** répondant au cahier des charges précédent (à partir de l'étape 10).

Le tableau des variables est donné **annexe 2, page 7**.

Le GRAFCET **GTR** ne représente qu'une partie du cycle de trempe complet dans lequel les deux ascenseurs sont en fonctionnement. Le GRAFCET gérant le cycle de trempe complet est noté **GT**, son étape initiale est numérotée 100.

### Deuxième partie : contrôle du niveau d'huile - sécurité (4 points)

Le schéma du circuit d'huile de trempe est représenté en **annexe 3, page 8**.

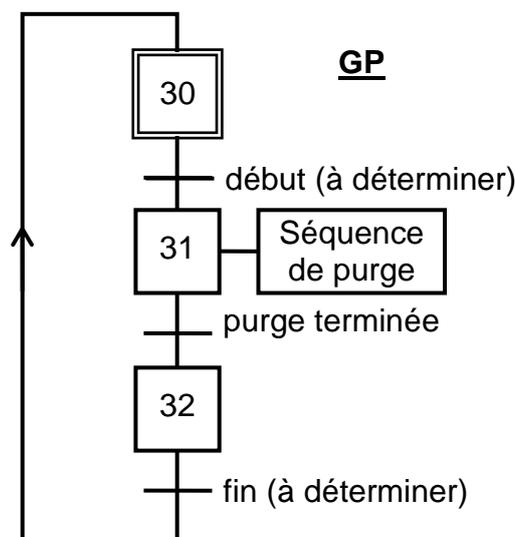
Le contrôle du niveau d'huile dans le bac de trempe est primordial. En fonctionnement normal, le niveau doit être maintenu entre deux seuils : "niveau bas" (**nb**) et "niveau haut" (**nh**).

Si, à la suite d'une défaillance (de la pompe d'appoint **PA**, ou du système de contrôle...), le niveau devenait insuffisant jusqu'à passer sous la tôle de séparation, l'atmosphère du four s'échapperait vers l'extérieur et provoquerait une explosion. Pour éviter un tel accident, il faut arrêter l'installation dès que le "niveau très bas" (**ntb**) est atteint et le four doit être purgé (les gaz explosifs sont évacués du four et remplacés par un gaz neutre).

La sécurité de l'installation est gérée par le GRAFCET d'arrêt d'urgence **GUR**, dont l'étape initiale est notée **X0**.

Dans un premier temps le GRAFCET d'arrêt d'urgence **GUR** force le GRAFCET de trempe **GT** dans sa situation initiale (étape 100). La production peut avoir lieu dès que les conditions de démarrage sont réunies.

Dès qu'un "défaut niveau" est détecté (niveau d'huile sous le détecteur "niveau très bas" (**ntb**)), le GRAFCET **GT** est désactivé et le GRAFCET **GP**, réalisant la purge du four, est lancé.



Une fois le four purgé, le défaut peut être acquitté à l'aide du bouton-poussoir **acq**. Le GRAFCET **GUR** est alors réinitialisé.

# CAE4AL

## Question 2

Établir le GRAFCET **GUR** répondant au cahier des charges précédent (à partir de l'étape 0). Le tableau des variables est donné **annexe 4, page 8**. Compléter le **document réponse n° 1, page 10**.

## Question 3

Synchroniser le GRAFCET **GP** à partir de bits d'étape du GRAFCET **GUR**. Compléter le GRAFCET de purge **GP** sur le **document réponse n° 1, page 10** (transitions "début" et "fin").

### Troisième partie : régulation du niveau d'huile (3 points)

Le niveau d'huile est maintenu entre les détecteurs "niveau bas" (**nb**) et "niveau haut" (**nh**) grâce à une régulation Tout ou Rien :

- si le niveau d'huile passe sous le détecteur "niveau bas" (**nb**), la pompe d'appoint **PA** est mise en marche,
- si le niveau d'huile passe au-dessus du détecteur "niveau haut" (**nh**), la pompe d'appoint **PA** est arrêtée.

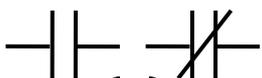
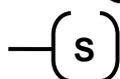
Des défaillances peuvent se produire, et le niveau devenir anormal :

- si le niveau d'huile passe au-dessus du détecteur "niveau très haut" (**nth**), la pompe d'appoint **PA** est arrêtée et la pompe de vidange **PV** est mise en marche. Celle-ci est arrêtée dès que l'huile descend en dessous du "niveau haut" (**nh**),
- si le niveau d'huile passe sous le détecteur "niveau très bas" (**ntb**), le GRAFCET d'Arrêt d'Urgence **GUR** lance une séquence de purge du four (GRAFCET de Purge **GP**, voir la deuxième partie, question 2), ce cas ne sera pas traité dans cette question.

## Question 4

Proposer une programmation de la commande des pompes **PA** (pompe d'appoint) et **PV** (pompe de vidange) en schéma LADDER. Compléter le **document réponse n° 2, page 12**.

Objets LADDER disponibles :

- contact NO, NF : 
- activation d'un bit : 
- mise à 1 d'un bit : 
- mise à 0 d'un bit : 

**Quatrième partie : mesure et régulation de la température de l'huile (7 points)**

La température de l'huile est mesurée à l'aide d'un thermocouple associé à un transmetteur avec compensation de la soudure froide. L'étendue de mesure du dispositif est de +20 °C à 220 °C.

Le signal de sortie du transmetteur « 4 - 20 mA » est appliqué sur une entrée analogique de l'automate où l'intensité du courant est convertie en un nombre binaire naturel non signé par un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui délivre une information utile sur 11 bits, ce qui peut être caractérisé par le tableau ci-dessous :

Intensité (mA)	Température (°C)	Valeur binaire API
4	20	0000 0000 0000
20	220	0111 1111 1111

**Question 5**

Compléter le tableau du **document réponse n° 2, page 12**, en précisant la démarche.

**Question 6**

Donner la définition de la résolution du CAN (exprimée en °C) et en déduire par un calcul approché que sa valeur est voisine de 0,1 °C.

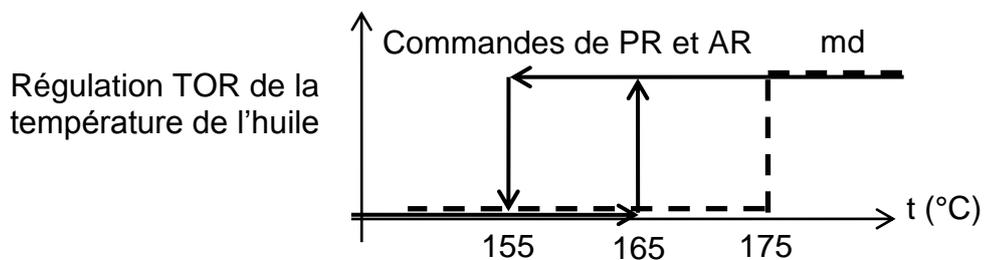
Au démarrage de l'installation, l'huile est préchauffée, mais dès que des pièces sont plongées dans le bac de trempe, la chaleur que celles-ci apportent à l'huile provoque une augmentation de sa température. Pour que la trempe soit efficace et pour que l'huile ne se dégrade pas, il faut que la température soit maintenue aux alentours de la consigne de 160 °C.

Pour cela, on met en œuvre une régulation Tout ou Rien avec hystérésis :

- quand la température **TI** dépasse un seuil fixé à 165 °C, le circuit de refroidissement constitué de la pompe de refroidissement **PR** et de l'aéroréfrigérant **AR** est mis en marche ;
- le circuit de refroidissement est arrêté lorsque la température **TI** devient inférieure à 155 °C.

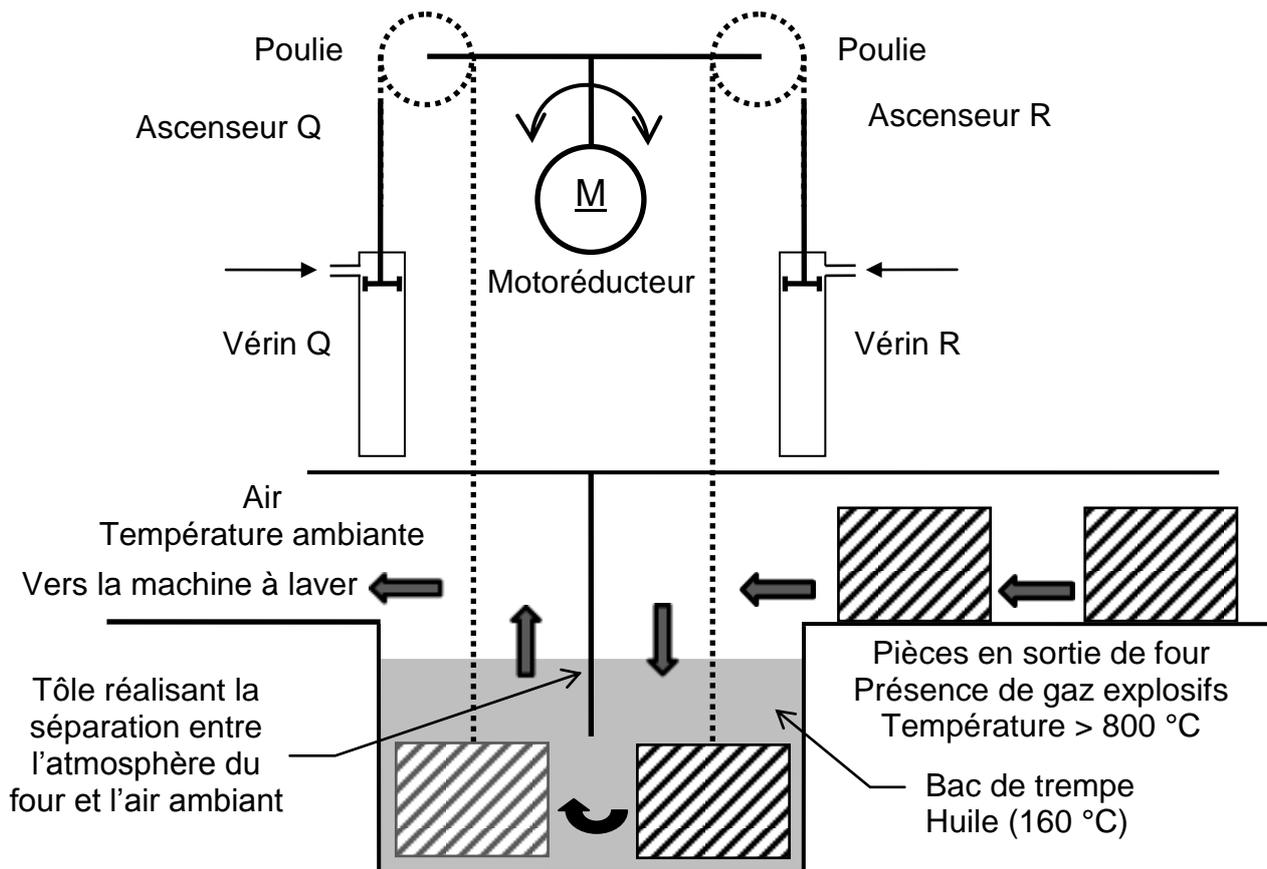
Lors de fortes chaleurs en été, la température de l'air extérieur devient trop élevée pour refroidir l'huile de façon suffisamment efficace. On décide alors de ralentir la cadence de la trempe en faisant passer celle-ci en mode "dégradé" (seul l'ascenseur R fonctionne) :

- on génère le bit interne "**md**" (mode "dégradé") quand la température **TI** atteint 175 °C.



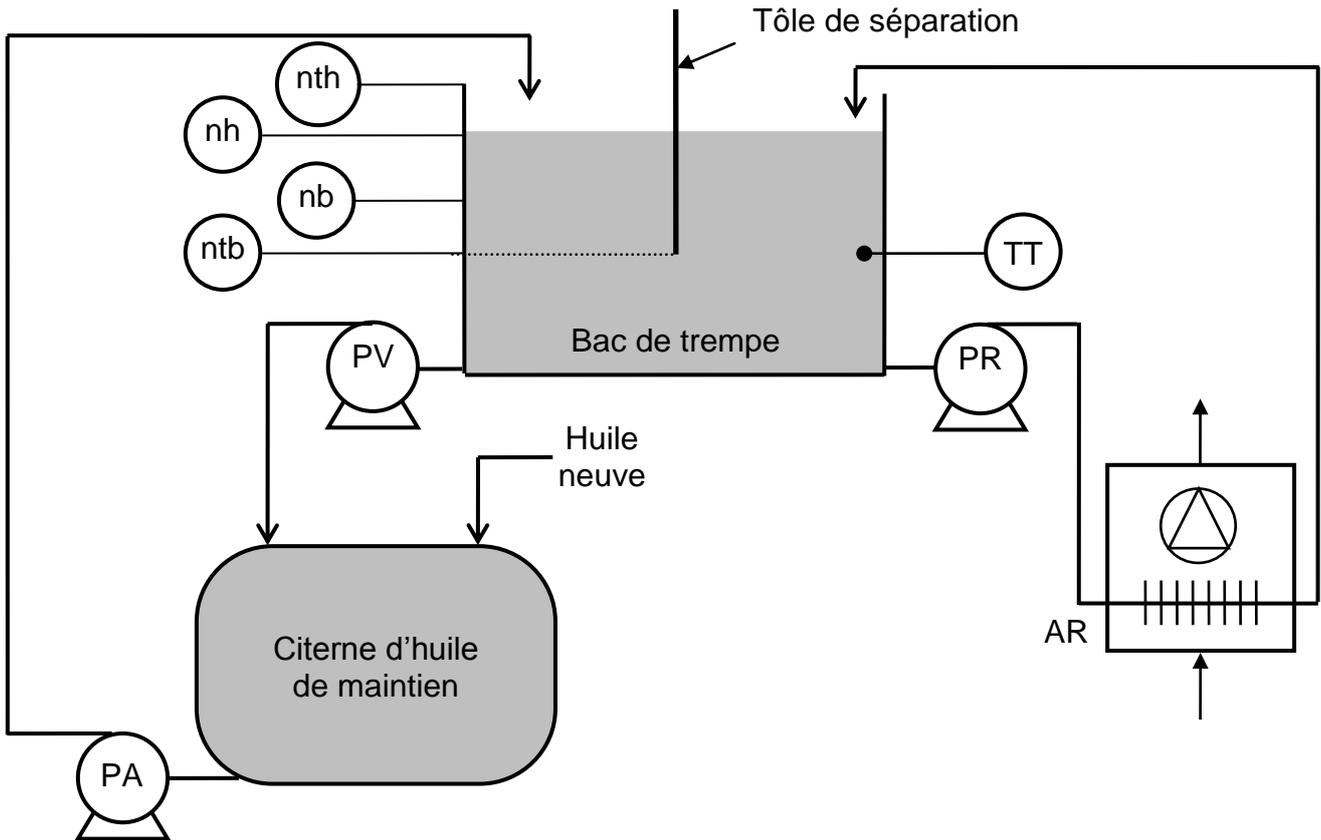
**Question 7**

Proposer un organigramme permettant de générer le bit interne et réalisant la commande de la pompe de refroidissement **PR** et de l'aéroréfrigérant **AR** en fonction de la température **TI** de l'huile de trempe. Compléter le **document réponse n° 2, page 12**.

**ANNEXE 1 : schéma du cycle de trempe****ANNEXE 2 : tableau des variables, cycle de trempe**

<b>Entrées tout ou rien</b>	
vr0	Ascenseur R en position basse (tige du vérin R sortie)
vr1	Ascenseur R en position haute (tige du vérin R rentrée)
vq0	Ascenseur Q en position basse (tige du vérin Q sortie)
vq1	Ascenseur Q en position haute (tige du vérin Q rentrée)
mr0	Fin de course motoréducteur ascenseur R côté four
mr1	Fin de course motoréducteur ascenseur Q côté four
psf	Pièces en sortie du four
pr	Plateau sur ascenseur R
pq	Plateau sur ascenseur Q
pml	Plateau sur le convoyeur « machine à laver »
<b>Sorties tout ou rien</b>	
VMR	Montée ascenseur R
VMQ	Montée ascenseur Q
KM_PF	Contacteur du moteur Pousseuse à chaîne Four
KM_PML	Contacteur du moteur Pousseuse à chaîne Machine à Laver
KM_MD	Contacteur du moteur Rotation du motoréducteur dans le sens direct
KM_MI	Contacteur du moteur Rotation du motoréducteur dans le sens indirect
<b>Bits internes de l'API</b>	
n_OK	Niveau d'huile normal
t_OK	Température de l'huile normale
X200	Étape commande de tâche GTR appartenant au GRAFCET GPN

**ANNEXE 3 : circuit d'huile de trempe**



**ANNEXE 4 : tableau des variables, bac de trempe**

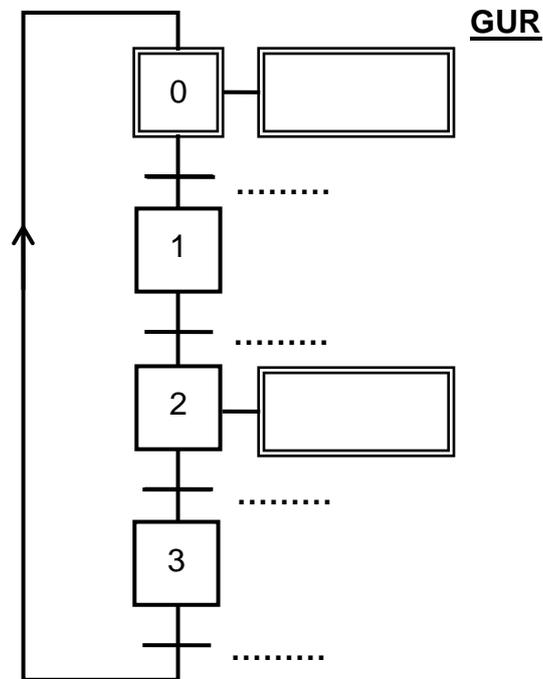
Entrées	
nth	Détecteur "niveau très haut", à l'état logique 0 en présence de fluide
nh	Détecteur "niveau haut", à l'état logique 1 en présence de fluide
nb	Détecteur "niveau bas", à l'état logique 1 en présence de fluide
ntb	Détecteur "niveau très bas", à l'état logique 1 en présence de fluide
acq	Acquittement du défaut "niveau très bas"
TI	Image en échelle physique de l'entrée analogique issue du transmetteur de température TT
Sorties Tout ou Rien	
PA	Pompe d'appoint
PV	Pompe de vidange
PR	Pompe de refroidissement
AR	Aéroréfrigérant
Bit interne de l'API	
md	Mode dégradé de la trempe : l'ascenseur R fonctionne seul

**Rappel : forçages**

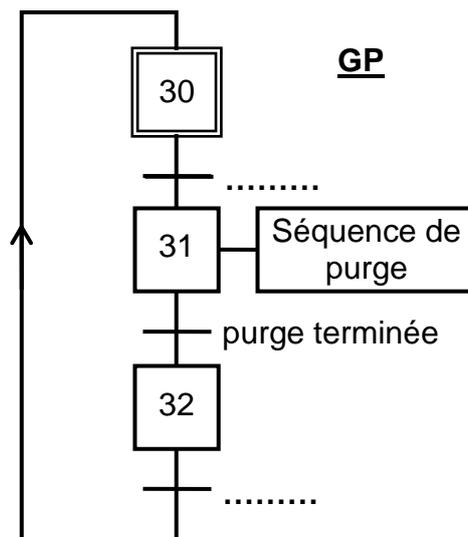
Gx { 12, 25 ... }	Forçage du GRAFCET Gx dans les étapes 12, 25, ...
Gx { init }	Forçage du GRAFCET Gx dans son état initial
Gx { }	Toutes les étapes du GRAFCET Gx sont désactivées

**DOCUMENT RÉPONSE n° 1**

**Question 2**

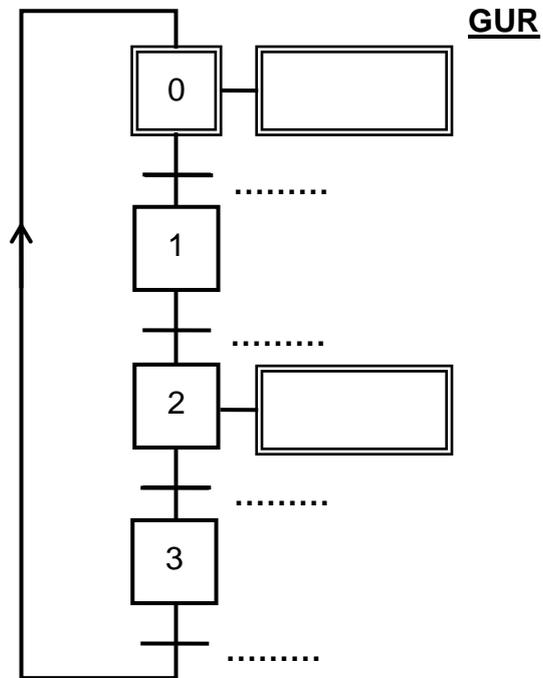


**Question 3**

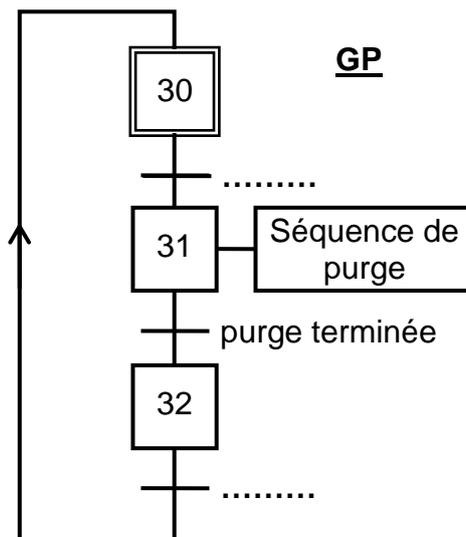


**DOCUMENT RÉPONSE n° 1**

**Question 2**

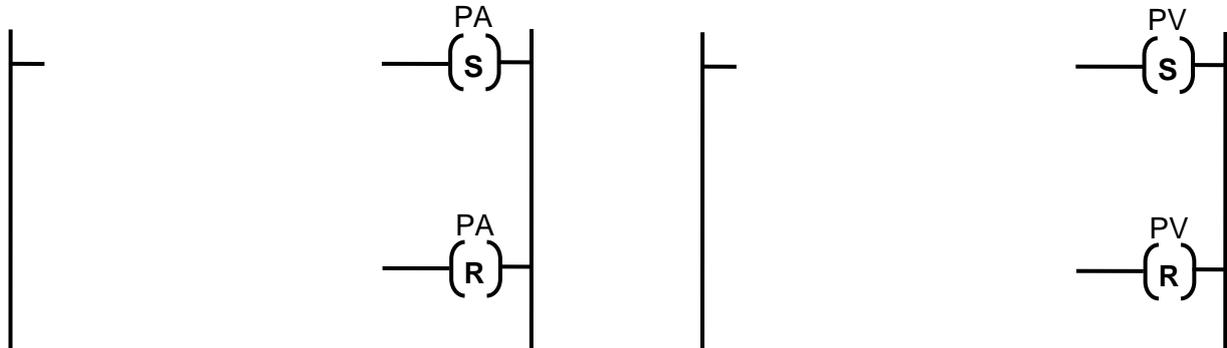


**Question 3**



**DOCUMENT RÉPONSE n° 2**

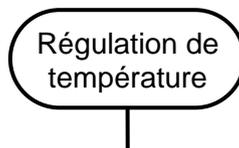
**Question 4**



**Question 5**

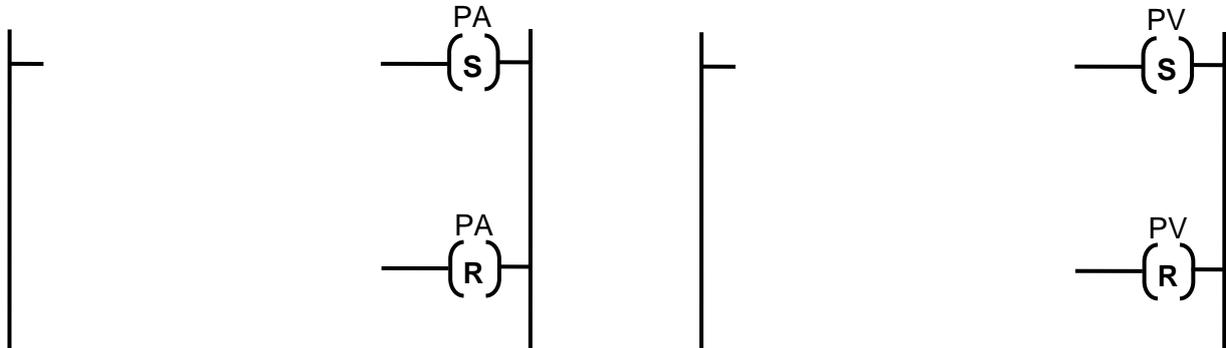
Intensité (mA)	Température (°C)	Valeur API		
		binaire	hexadécimal	décimal
4	20	0000 0000 0000	0 0 0	0
.....	120	.....	.....	.....
20	220	0111 1111 1111	.....	.....

**Question 7**



**DOCUMENT RÉPONSE n° 2**

**Question 4**



**Question 5**

Intensité (mA)	Température (°C)	Valeur API		
		binaire	hexadécimal	décimal
4	20	0000 0000 0000	0 0 0	0
.....	120	.....	.....	.....
20	220	0111 1111 1111	.....	.....

**Question 7**

