CORRIGÉ NON OFFICIEL

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique

E5.2 - Analyse d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation

Session 2026

Proposition de corrigé rédigée par FormaV pour s'entraîner. Ce n'est pas le corrigé officiel de l'examen et elle ne remplace pas les éléments de correction officiels.

Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du BTS CIRA, veuillez visiter :
btscira.fr/annales-sujets-et-corriges

BTS Contrôle industriel et régulation automatique

Session 2026

U52 – Analyse d'une installation d'instrumentation, contrôle et régulation

PROPOSITION DE CORRIGÉ

Proposition de corrigé établie par FormaV à partir du sujet, non officielle. Elle ne préjuge pas des consignes nationales de correction données aux jurys.

PARTIE A – MESURE DE TEMPÉRATURE DU CIRCUIT PRIMAIRE

Question 1

Une sonde Pt100 est une résistance en platine de 100 Ω à 0 °C. La résistance électrique du platine augmente avec la température, de façon quasi linéaire sur la plage utilisée (coefficient α = 0,00385 Ω/(Ω·°C)). La mesure de température repose donc sur la mesure de cette résistance.

Le montage 4 fils sépare le circuit d'injection du courant (deux fils) du circuit de mesure de tension (deux fils). Le courant de mesure étant très faible dans les fils de tension, la chute de tension dans ces fils est négligeable : la résistance des fils de liaison n'intervient pas dans la mesure. Le montage 4 fils supprime donc l'influence de la résistance des conducteurs et de ses variations avec la température.

Question 2

D'après l'annexe 2, à 200 °C la résistance nominale est R(200 °C) = 175,86 Ω.

Écart mesuré : ΔR = 175,96 − 175,86 = 0,10 Ω.

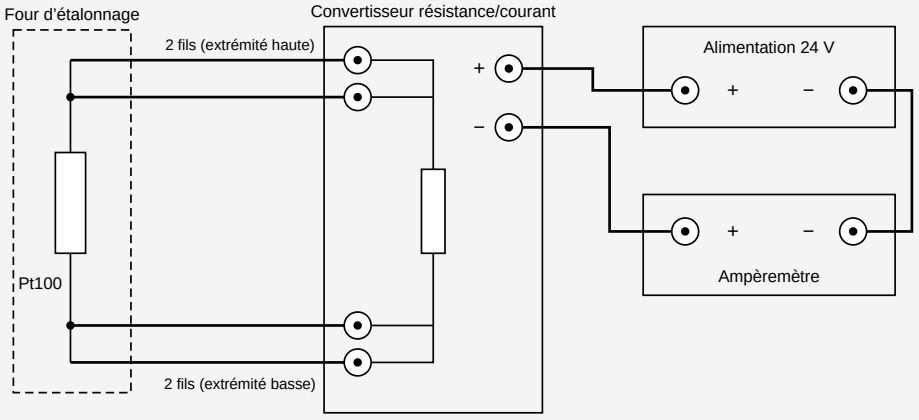
D'après l'annexe 3, la tolérance de la classe A à 200 °C est de ± 0,55 °C, soit ± 0,20 Ω.

Sensibilité locale : (179,53 − 175,86) / 10 = 0,367 Ω/°C, d'où un écart en température ΔT = 0,10 / 0,367 ≈ 0,27 °C.

0,10 Ω < 0,20 Ω et 0,27 °C < 0,55 °C : la sonde est **conforme** à la classe A à 200 °C.

Question 3

Montage d'étalonnage complété (document réponse 1) :



Document réponse 1 complété : raccordement 4 fils de la Pt100 et boucle de sortie 4–20 mA

- la Pt100, placée dans le four d'étalonnage, est raccordée en 4 fils : les deux fils issus de l'extrémité haute de la résistance sont reliés à la paire de bornes du haut du convertisseur, les deux fils issus de l'extrémité basse à la paire de bornes du bas (dans chaque paire, un fil transporte le courant de mesure et l'autre sert à la mesure de tension) ;
- la sortie 4–20 mA du convertisseur (2 fils) forme une boucle série : borne + de l'alimentation 24 V vers la borne + du convertisseur, borne − du convertisseur vers la borne + de l'ampèremètre, borne − de l'ampèremètre vers la borne − de l'alimentation 24 V.

L'ampèremètre indique le courant de sortie I_S, comparé à la valeur théorique correspondant à la température du four.

Question 4

Pour une Pt100 linéarisée entre 0 °C et 400 °C :

R(T) = R(0 °C) + [R(400 °C) − R(0 °C)] × T / 400 = 99,96 + 0,36758 × T (Ω, T en °C).

Le transmetteur délivre 4 mA à 0 °C et 20 mA à 400 °C, soit :

$I_S = 4 + 16 \times (R - R(0\ °C)) / [R(400\ °C) - R(0\ °C)] = 4 + 16 \times (R - 99{,}96) / 147{,}03$

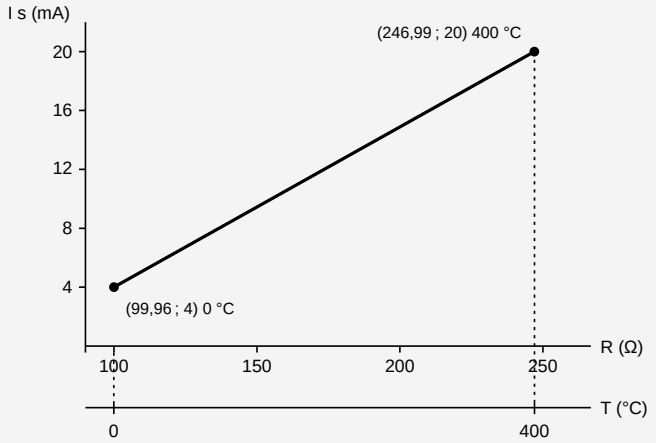
En fonction de la température :

$I_S = 4 + 0{,}04 \times T$ (I_S en mA, T en °C).

En fonction de la résistance : **$I_S = 0{,}10882 \times R - 6{,}8778$** ($I_S$ en mA, R en Ω).

Question 5

La caractéristique de transfert est une droite reliant les points (99,96 Ω ; 4 mA) et (246,99 Ω ; 20 mA), correspondant à 0 °C et 400 °C. Elle est tracée ci-dessous sur le document réponse 2. L'axe T (°C) est gradué en correspondance : 0 °C sous 99,96 Ω et 400 °C sous 246,99 Ω.



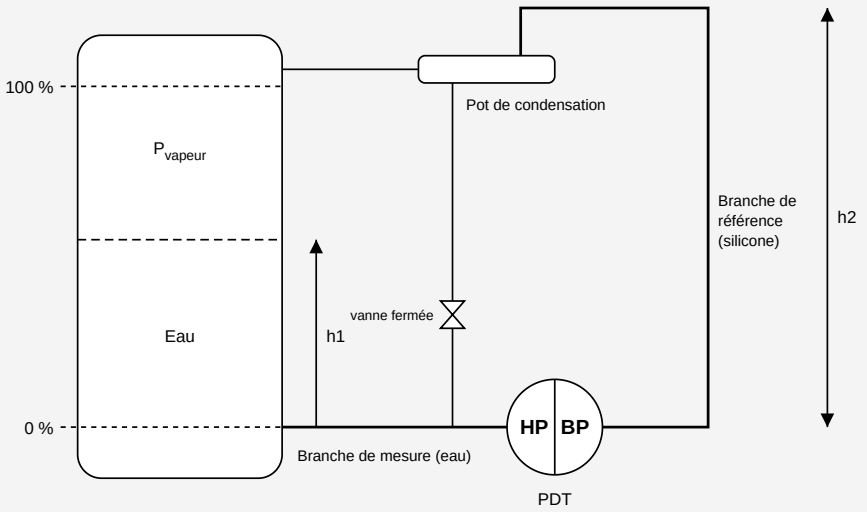
Caractéristique de transfert $I_S = f(R)$: 4 mA pour 99,96 Ω, 20 mA pour 246,99 Ω

PARTIE B – MESURE ET RÉGULATION DE NIVEAU DANS LE PRESSURISEUR

Question 6

Le signal du PDT doit croître quand le niveau croît. La prise basse, située en bas de la cuve, reçoit la pression hydrostatique de la colonne d'eau : elle est donc raccordée à la chambre **HP** (haute

pression), sur la branche de mesure. La chambre **BP** (basse pression) est raccordée à la branche de référence, dont la pression (P_{vapeur} + ρ_{SIL} · g · h2) ne dépend pas du niveau d'eau. Lorsque le niveau augmente, P_{HP} augmente, $\Delta P = P_{HP} - P_{BP}$ augmente : le signal est de sens direct.



Document réponse 3 complété : HP côté branche de mesure, BP côté branche de référence

Question 7

La branche de référence est remplie de silicone, de masse volumique ρ_{SIL} = 950 kg·m^{-3}, sur la hauteur h2. La pression en haut de cette branche est P_{vapeur}, d'où :

$P_{BP} = P_{vapeur} + \rho_{SIL} \cdot g \cdot h2$

Question 8

La branche de mesure contient l'eau du pressuriseur, de masse volumique ρ_{EC} = 722,2 kg·m^{-3}, sur la hauteur h1 au-dessus de la prise basse. Donc :

$P_{HP} = P_{vapeur} + \rho_{EC} \cdot g \cdot h1$

Question 9

$\Delta P = P_{HP} - P_{BP} = \rho_{EC} \cdot g \cdot h1 - \rho_{SIL} \cdot g \cdot h2$ (P_{vapeur} s'élimine), soit **$\Delta P = g\,(\rho_{EC}\,h1 - \rho_{SIL}\,h2)$**.

D'après le document réponse 3, la prise basse et le PDT sont au niveau 0 % : h1 varie de 0 m (0 %) à 9,8 m (100 %). La cote de 1,1 m située sous le repère 0 % sépare ce repère du fond du pressuriseur et n'intervient pas. On prend g = 9,81 m·s^{-2} et h2 = 13,5 m.

Terme du silicone : $\rho_{SIL} \cdot g \cdot h2 = 950 \times 9{,}81 \times 13{,}5 = 125\,813$ Pa $\approx 1{,}258 \times 10^5$ Pa.

ΔP min (h1 = 0 m) : $\Delta P_{min} = 0 - 125\,813 =$ **$-1{,}258 \times 10^5$ Pa** (−125 813 Pa).

ΔP max (h1 = 9,8 m) : $\Delta P_{max} = 722{,}2 \times 9{,}81 \times 9{,}8 - 125\,813 = 69\,431 - 125\,813 =$ **$-5{,}64 \times 10^4$ Pa** (−56 382 Pa).

Question 10

Étendue de mesure : $E = \Delta P_{max} - \Delta P_{min} = \rho_{EC} \cdot g \cdot 9{,}8 = 722{,}2 \times 9{,}81 \times 9{,}8 \approx$ **$6{,}94 \times 10^4$ Pa** (69,4 kPa).

Décalage de zéro : la valeur de ΔP correspondant au niveau 0 % est $\Delta P_{min} =$ **$-1{,}258 \times 10^5$ Pa**. Le zéro du transmetteur est donc décalé d'environ 125,8 kPa vers les pressions différentielles négatives.

Question 11

En mbar (1 Pa = 0,01 mbar) : plage de mesure de −1258 mbar (0 %) à −564 mbar (100 %), étendue E = 694 mbar.

Code 2 (−0,6 à 0,6 bar, soit −600 à 600 mbar) : hors gamme, car −1258 mbar < −600 mbar.

Code 3 (−2,5 à 2,5 bar, étendue minimale 25 mbar) : la plage −1258 mbar à −564 mbar est comprise dans la gamme et l'étendue de 694 mbar est supérieure à l'étendue minimale : ce code convient.

Code 4 (−20,7 à 20,7 bar) : couvre la plage mais il est surdimensionné, avec une précision dégradée pour une étendue de 694 mbar.

Sortie 4–20 mA avec signal numérique HART : code A.

Codification retenue : 3051L – 3 – A (modèle 3051L, gamme de pression 3, sortie A).

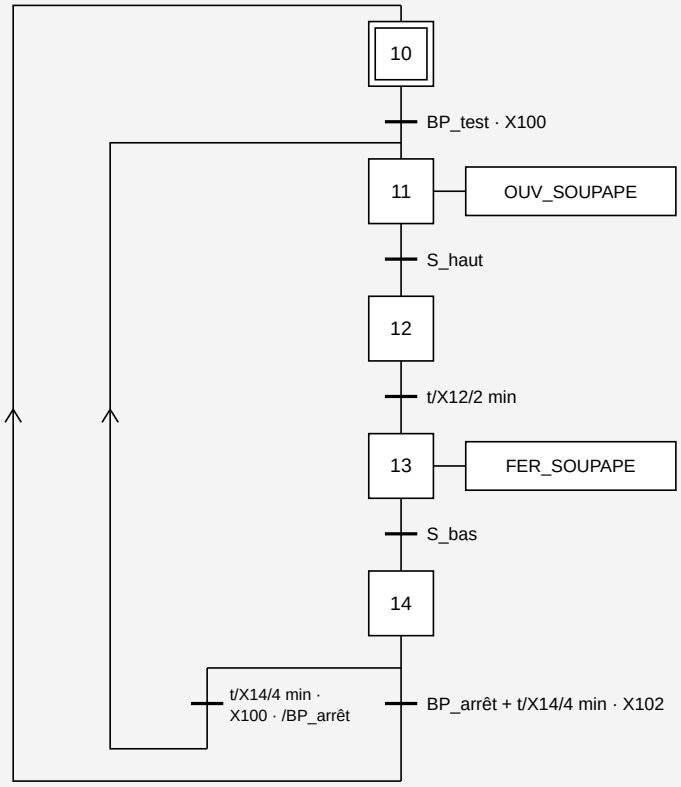
Question 12

Le grafcet de comptage Gcomptage est fourni par le sujet et n'est pas modifié : à chaque activation de l'étape 11 (↑X11), il passe en 101 et incrémente le compteur ; si Compteur < 5, il revient en 100 ; si Compteur = 5, il passe en 102 (attente de 30 minutes), puis en 103 (RAZ compteur), puis en 104, où il attend le retour du grafcet test en étape 10 (X10) pour revenir en 100. Le grafcet test complété est le suivant :

- étape 10 (initiale) : attente ; transition donnée BP_test · X100 (lancement possible seulement si Gcomptage est en 100) ;
- étape 11 : action OUV_SOUPAPE ; réceptivité S_haut (soupape ouverte) ;
- étape 12 : temporisation, sans action ; réceptivité t/X12/2 min (2 min entre ouverture et fermeture) ;
- étape 13 : action FER_SOUPAPE ; réceptivité S_bas (soupape fermée) ;
- étape 14 : temporisation, sans action ; divergence en OU :
  - vers 11 : t/X14/4 min · X100 · /BP_arrêt (nouveau cycle après 4 min, tant que les 5 cycles ne sont pas atteints et sans demande d'arrêt) ;
  - vers 10 : BP_arrêt + t/X14/4 min · X102 (arrêt demandé, ou fin du 5e cycle).

Justification : un cycle dure 2 min + 4 min = 6 min (hors temps de manœuvre). Le compteur passe à 5 au début du 5e cycle (↑X11, vers t ≈ 24 min) : Gcomptage passe alors en 102 et impose 30 min d'attente. Pendant ce temps, le 5e cycle s'achève et le grafcet test revient en 10 (réceptivité t/X14/4 min · X102). Une nouvelle série ne peut être lancée (BP_test · X100) qu'après la RAZ du compteur, soit environ 54 min après le début de la série. Le nombre de cycles est ainsi limité à 5 par série, chaque série étant suivie d'un temps de repos de la motorisation. Le compteur n'est incrémenté que par Gcomptage (sur ↑X11). BP_arrêt n'est pris en compte qu'en étape 14, atteinte après S_bas : le cycle s'arrête soupape fermée. Les deux réceptivités de la divergence sont exclusives (X100 et X102 ne sont jamais actives en même temps, BP_arrêt et /BP_arrêt sont complémentaires). BP_arrêt étant un bouton poussoir, l'opérateur doit le maintenir pendant l'étape 14 (soupape fermée) ; on peut

aussi mémoriser la demande d'arrêt dans une variable interne mise à 1 par BP_arrêt et remise à 0 en étape 10.

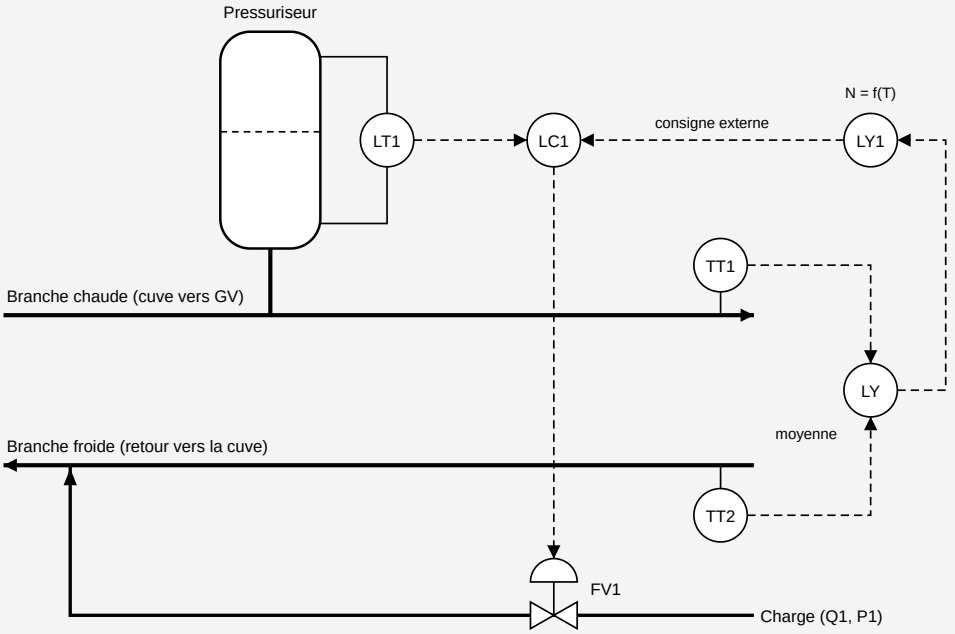


Document réponse 4 : grafcet test complété

Question 13

Boucle de régulation de niveau à compléter sur le document réponse 5 :

- TT1 et TT2 sont raccordés au bloc LY, qui calcule la température moyenne T_m = (TT1 + TT2) / 2 ;
- la sortie de LY alimente le bloc LY1, qui fournit la consigne de niveau N(T_m) par la caractéristique N = f(T) ;
- la sortie de LY1 est appliquée en consigne externe au régulateur LC1 ;
- LT1 (mesure de niveau du pressuriseur) est raccordé à LC1 ;
- la sortie de LC1 commande la vanne FV1 du circuit de charge.



Document réponse 5 complété (schéma simplifié) : TT1 et TT2 vers LY, LY vers LY1, LY1 en consigne externe de LC1, LT1 vers LC1, LC1 vers FV1

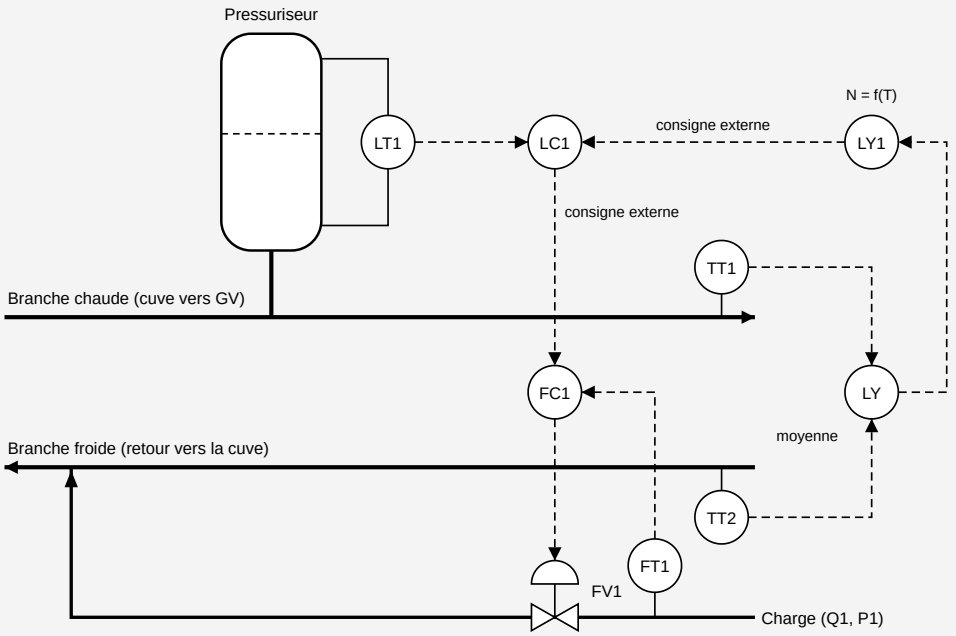
Question 14

Les variations de pression du circuit de charge modifient directement le débit traversant FV1, donc la quantité d'eau introduite dans le circuit primaire. La régulation de niveau seule ne réagit qu'après que la perturbation a modifié le niveau, avec un retard lié à l'inertie du pressuriseur.

Il convient donc de mettre en place une **régulation en cascade** : la boucle maîtresse est la régulation de niveau (LT1, LC1), dont la sortie fournit la consigne d'une boucle esclave rapide de régulation de débit (FT1, FC1, FV1). La boucle esclave corrige les perturbations de pression dès qu'elles modifient le débit, avant qu'elles n'atteignent le niveau. Cette structure correspond au schéma fonctionnel de la question 17, avec C_1 (niveau) et C_2 (débit).

Question 15

Sur le document réponse 6 : le débit de charge est mesuré par FT1 et envoyé au régulateur de débit FC1. La sortie de LC1 est raccordée à la consigne externe de FC1, dont la sortie commande la vanne FV1. La boucle de niveau (LT1, LC1, avec la consigne élaborée par LY et LY1) forme la boucle maîtresse de la cascade, la boucle de débit (FT1, FC1, FV1) la boucle esclave.



Document réponse 6 complété (schéma simplifié) : cascade niveau (LC1, maître) et débit (FC1, esclave)

Question 16

Sens d'action du procédé : la vanne FV1 est FMA, donc son ouverture augmente quand le signal augmente (gain positif). Une augmentation du débit de charge augmente le volume du circuit primaire et donc le niveau du pressuriseur.

Régulateur LC1 (maître) : si le niveau augmente, la consigne de débit doit diminuer. La sortie de LC1 diminue quand la mesure augmente : **action inverse**.

Régulateur FC1 (esclave) : si le débit mesuré augmente, FV1 doit se fermer. La sortie de FC1 diminue quand la mesure augmente : **action inverse**.

Les deux régulateurs sont à action inverse, ce qui assure la réaction négative sur chaque boucle.

Question 17

Lecture du document réponse 7 : échelon de commande de 50 % à 60 % à t = 0 (Δu = 10 %) ; M2 part de 50 % et se stabilise vers 82 % (ΔM2 = 32 %).

Gain statique : K = ΔM2 / Δu = 32 / 10 = **3,2**.

Retard pur : la réponse ne démarre qu'à t ≈ 2 s, d'où **T ≈ 2 s**.

Constante de temps (méthode des 63 %) : 50 + 0,63 × 32 ≈ 70,2 %, valeur atteinte à t ≈ 22 s, d'où **τ = 22 − 2 ≈ 20 s**. Vérification par la méthode de Broïda : 28 % de la variation (59,0 %) est atteint à t_{28} ≈ 8,5 s et 40 % (62,8 %) à t_{40} ≈ 12,1 s ; τ = 5,5 (t_{40} − t_{28}) ≈ 19,8 s et T = 2,8 t_{28} − 1,8 t_{40} ≈ 2,0 s : résultats voisins.

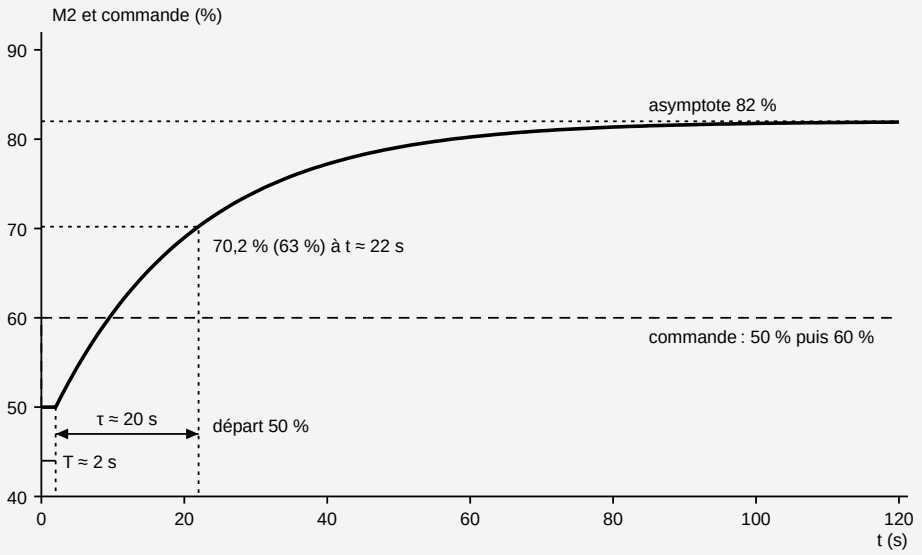
Fonction de transfert du procédé de débit (temps en secondes) : $H_2(p) = \dfrac{3{,}2\, e^{-2p}}{1 + 20p}$.

Réglages du régulateur PI série (annexe 5, où τ est la constante de temps et T le retard) :

- A = 0,8 × τ / (T × K) = 0,8 × 20 / (2 × 3,2) = **2,5** ;
- T_i = τ = **20 s** ;

- $T_d = 0$.

Soit $C_2(p) = 2{,}5\left(1 + \dfrac{1}{20p}\right)$.



Document réponse 7 : relevés sur la réponse indicielle (asymptote 82 %, point à 63 %, retard T et constante de temps τ)

PARTIE C – RÉGULATION DE PRESSION DU PRESSURISEUR

Question 18

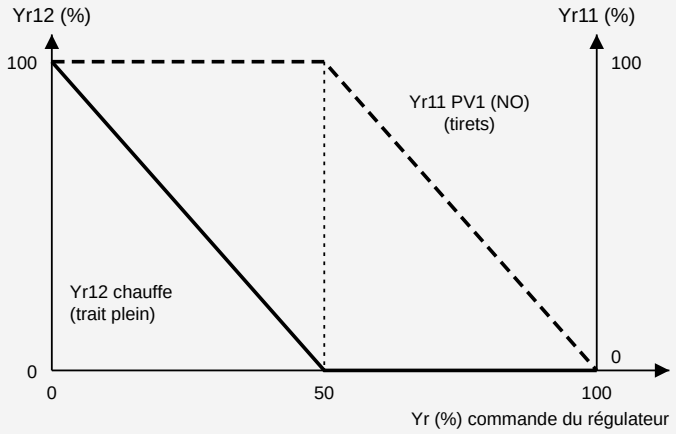
La pression du pressuriseur est régulée par une **régulation à partage d'échelle (split range)** : le régulateur PC1, qui reçoit la mesure PT1 et la consigne fixe de 155 bars, délivre une sortie unique Yr, partagée entre deux actionneurs. Si la pression est inférieure à la consigne, la sortie Yr12 commande la chauffe par résistances électriques (via PZ1). Si la pression est supérieure à la consigne, la sortie Yr11 commande la vanne d'aspersion PV1, de type NO (normalement ouverte) : l'aspersion augmente quand le signal Yr11 diminue.

Question 19

Diagramme de partage en signaux de commande, point de partage Yr = 50 %. La vanne PV1 étant NO, un signal Yr11 = 100 % la ferme (pas d'aspersion) et un signal Yr11 = 0 % l'ouvre complètement (100 % d'aspersion) :

- pour 0 ≤ Yr ≤ 50 % : Yr12 = 100 − 2 Yr (chauffe de 100 % à 0 %), Yr11 = 100 % (PV1 NO fermée, pas d'aspersion) ;
- pour 50 ≤ Yr ≤ 100 % : Yr12 = 0 (chauffe arrêtée), Yr11 = 200 − 2 Yr (PV1 s'ouvre, aspersion de 0 % à 100 %).

Yr (%)	**0**	**50**	**100**
Yr12 commande de chauffe (%)	100	0	0
Yr11 commande de PV1 (%)	100	100	0
Aspersion obtenue (%)	0	0	100

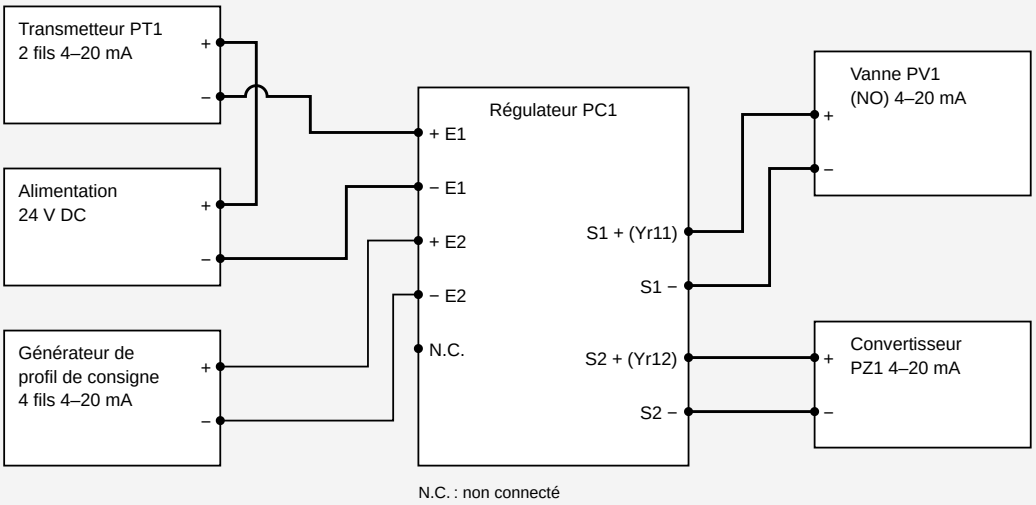


Document réponse 8 : diagramme de partage en signaux de commande Yr12 et Yr11 en fonction de Yr

Schéma de câblage (document réponse 8) :

- boucle PT1 (2 fils) : + alimentation 24 V DC vers + PT1 ; − PT1 vers + entrée 1 de PC1 ; − entrée 1 de PC1 vers − alimentation 24 V DC ;
- générateur de profil de consigne (4 fils, déjà raccordé) : + et − sur l'entrée 2 de PC1 ; borne N.C. non câblée ;
- sortie 1 de PC1 (Yr11) : + sortie 1 vers + PV1, − PV1 vers − sortie 1 ;
- sortie 2 de PC1 (Yr12) : + sortie 2 vers + PZ1, − PZ1 vers − sortie 2.

Le partage d'échelle est réalisé dans le régulateur PC1, qui élabore les deux signaux Yr11 et Yr12 à partir de sa commande Yr et les délivre sur ses deux sorties 4–20 mA.



Document réponse 8 : schéma de câblage complété (le croisement en arc indique l'absence de liaison)

Question 20

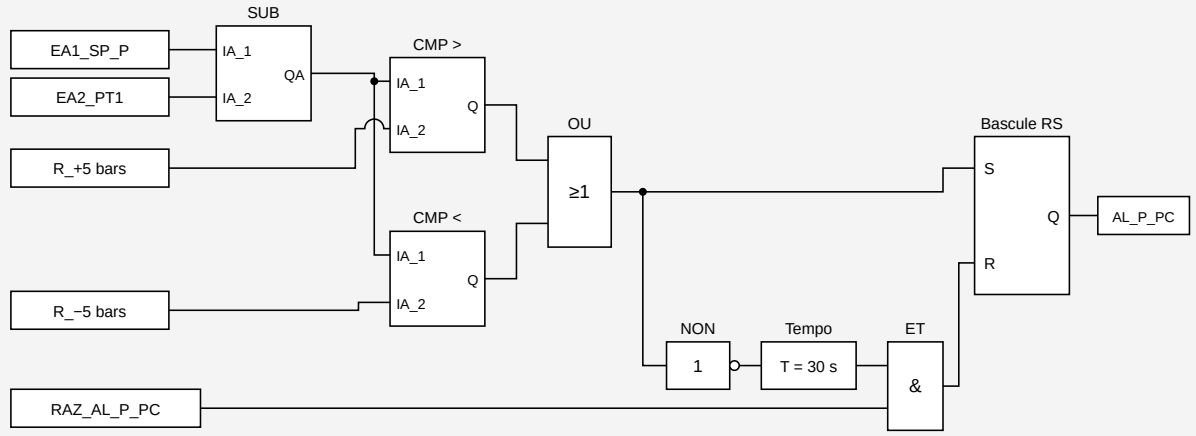
Si la pression mesurée augmente, il faut réduire la chauffe puis augmenter l'aspersion, ce qui correspond à une augmentation de Yr d'après le diagramme de partage (Yr12 diminue, puis Yr11 diminue, ce qui ouvre PV1 NO). La sortie du régulateur doit donc augmenter quand la mesure augmente : **PC1 est à action directe**.

Question 21

Logigramme de la carte d'alarme AL_P_PC (fonctions de l'annexe 7) :

1. Soustracteur SUB : IA_1 = EA1_SP_P (consigne), IA_2 = EA2_PT1 (mesure), sortie QA = erreur e = consigne − mesure.
2. Comparateur CMP « > » : IA_1 = QA, IA_2 = R_+5 bars ; sortie Q1 = 1 si e > +5 bars.
3. Comparateur CMP « < » : IA_1 = QA, IA_2 = R_−5 bars ; sortie Q2 = 1 si e < −5 bars.
4. Fonction OU : entrées Q1 et Q2 ; sortie = 1 si l'erreur est hors de la bande ±5 bars.
5. Fonction NON appliquée à la sortie du OU, puis entrée IN du temporisateur T(30 s) : Q_T = 1 si l'erreur reste dans la bande pendant 30 s.
6. Fonction ET : entrées Q_T et RAZ_AL_P_PC ; sortie vers l'entrée R de la bascule.
7. Bascule RS : entrée S = sortie du OU (hors tolérance), entrée R = sortie du ET ; sortie Q = AL_P_PC (voyant alarme mémorisé).

L'alarme est donc déclenchée dès que l'erreur sort de la bande ±5 bars, et mémorisée. Elle ne peut être acquittée que si l'erreur est revenue dans la bande depuis 30 s et que l'opérateur active RAZ_AL_P_PC.



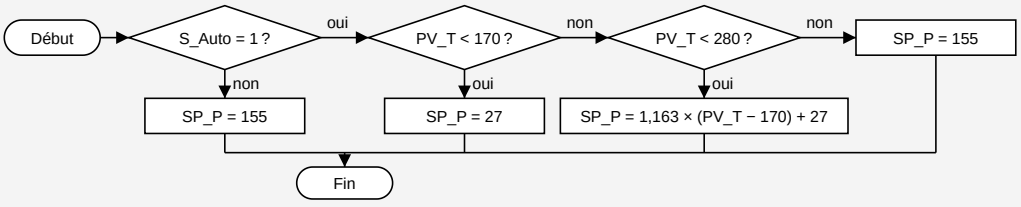
Document réponse 9 : logigramme de la carte d'alarme complété

Question 22

Organigramme de SP_P (annexe 6 ; PV_T mesurée par TT1 ; pressions en bar) :

- S_Auto = 0 : SP_P = 155 (consigne fixe) ;
- S_Auto = 1 et PV_T < 170 °C : SP_P = 27 ;
- S_Auto = 1 et 170 °C ≤ PV_T < 280 °C : SP_P = 1,163 × (PV_T − 170) + 27 ;
- S_Auto = 1 et PV_T ≥ 280 °C : SP_P = 155.

Continuité : à 170 °C, 27 bars ; à 280 °C, 1,163 × 110 + 27 = 154,9 ≈ 155 bars.



Organigramme de la consigne de pression SP_P (exécuté à chaque cycle de l'automate)

Continue à t'entraîner

Retrouve tous les sujets et corrigés du BTS CIRA, classés par épreuve et par année :
btscira.fr/annales-sujets-et-corriges

Pour réviser tout le programme avant l'examen, les Fiches de Révision du BTS CIRA reprennent l'essentiel de chaque épreuve :
btscira.fr/fiches-de-revision

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.