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 en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BACHELOR UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

MESURES PHYSIQUES

ÉVALUATION DE COMPÉTENCE C3 : METTRE EN ŒUVRE UNE CHAÎNE DE MESURE ET D'INSTRUMENTATION

SESSION 2026

Durée : 2 h 30

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
MESURES PHYSIQUES	3,0 (INDICATIF)

Moyens de calculs et matériel autorisés :

L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé. L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Aucun document ou matériel autorisé en dehors de ceux fournis avec le sujet et d'une calculatrice autorisée.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

Les documents réponses en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : ATELIER DE CONTRÔLE THERMIQUE THERMOPROCESS, ZONE INDUSTRIELLE DE LYON, RHÔNE

L'atelier ThermoProcess met en service une chaîne de surveillance de la température d'un séchoir industriel. Vous intervenez comme technicien ou technicienne en mesures physiques pour vérifier le choix du capteur, le conditionnement, l'acquisition et le protocole de réception de la chaîne.

La grandeur à mesurer est la température de l'air dans la zone utile du séchoir. La plage de mesure est de 0 °C à 150 °C et le point de fonctionnement nominal est de 80 °C. L'exigence de l'exploitant est une erreur totale de la chaîne inférieure ou égale à ±0,8 °C sur cette plage. La transmission entre le transmetteur et l'armoire d'acquisition se fait par une boucle 4-20 mA sur 30 m de câble blindé. L'acquisition est réalisée par une entrée analogique 0-5 V, 12 bits, après conversion courant-tension.

Les caractéristiques, exigences de réception, données de sécurité et éléments normatifs applicables à l'étude sont fournis dans le dossier technique DT 1 à DT 3. Les réponses aux calculs doivent comporter les unités et une démarche lisible.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle et exigences de mesure (4 points)

Définition de la chaîne et adéquation du capteur

Vous disposez des caractéristiques du capteur et du cahier des charges dans le DT 1 et le DT 2. La sonde utilisée est une Pt100 conforme aux données fournies. Dans la plage 0 °C à 100 °C, son modèle linéaire est donné par $R(T) = R_0(1 + \alpha T)$, avec $R_0 = 100,00\ \Omega$ et $\alpha = 3,85 \times 10^{-3}\ ^\circ\mathrm{C}^{-1}$.

Exigences fonctionnelles de la chaîne

Fonction	Exigence	Critère de réception
Mesurer la température	Plage 0 °C à 150 °C	Aucun dépassement de plage en fonctionnement normal
Transmettre la mesure	Boucle 4-20 mA, câble 30 m	Signal stable et absence de rupture de boucle
Numériser la mesure	Entrée 0-5 V, convertisseur 12 bits	Code numérique exploitable sur toute la plage utile
Surveiller le procédé	Échantillonnage à 2 Hz	Erreur totale de chaîne ≤ ±0,8 °C

Données du cahier des charges de l'atelier ThermoProcess.

1.1 (1 point) Énumérer, dans l'ordre, les quatre fonctions principales de la chaîne depuis la température de l'air jusqu'à la valeur numérique disponible dans l'ordinateur. Préciser pour chacune le composant ou le sous-ensemble qui la réalise.

1.2 (1,5 point) Calculer la résistance nominale de la Pt100 à 80 °C à l'aide du modèle fourni. Donner le résultat en ohms avec une précision de 0,1 Ω.

1.3 (1,5 point) À partir des exigences et des références mentionnées dans le DT 2, citer deux vérifications à effectuer avant la mise en service et associer chacune à un critère chiffré ou à une règle de sécurité applicable à cette installation.

PARTIE 2 : Étude technologique et dimensionnement de la chaîne (7 points)

Conditionnement, conversion analogique-numérique et performances métrologiques

Le transmetteur transforme la température en courant selon la loi linéaire indiquée au DT 1. La résistance de conversion courant-tension vaut $R_L = 250\ \Omega$. L'entrée analogique accepte une tension de 0 V à 5 V et possède un convertisseur de 12 bits. Le pas de quantification idéal se calcule à partir de la pleine échelle de 5 V et du nombre de niveaux du convertisseur.

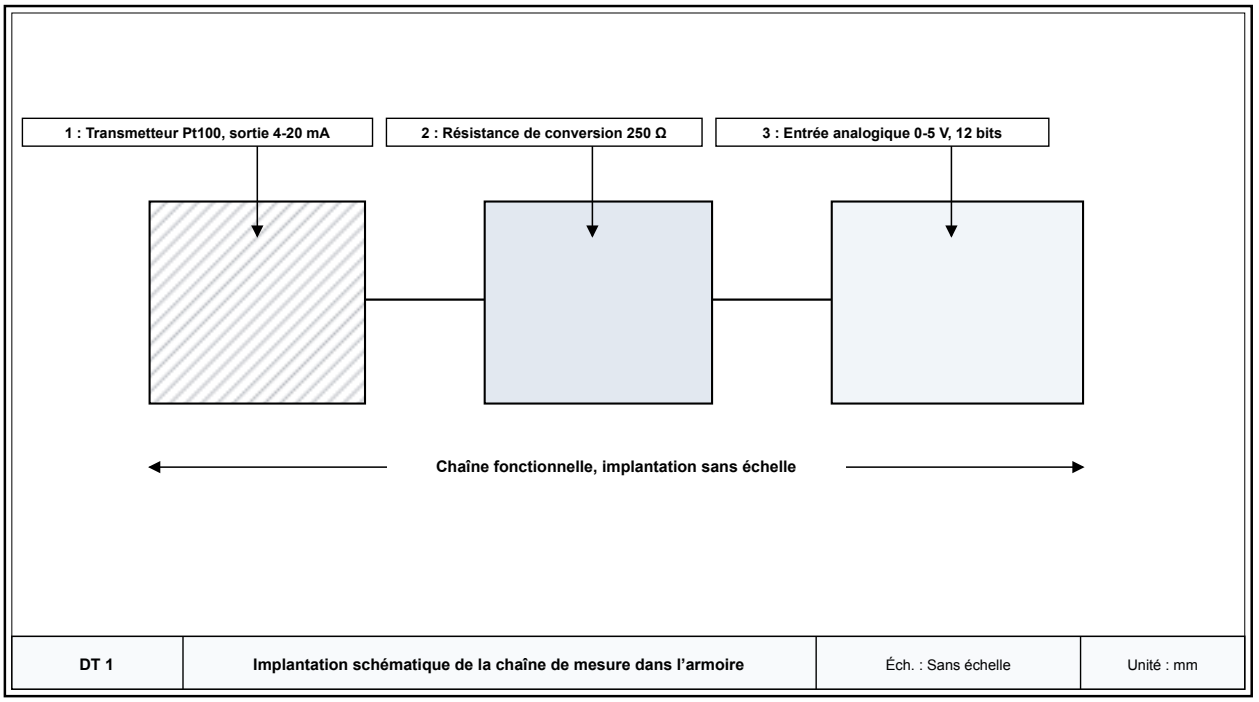


Schéma d'implantation fonctionnelle. Les positions des éléments ne représentent pas leur encombrement réel.

2.1 (2 points) À 80 °C, calculer le courant de sortie du transmetteur puis la tension aux bornes de R_L. On utilisera la relation $I(T) = 4\ \mathrm{mA} + 16\ \mathrm{mA} \times T/150\ ^\circ\mathrm{C}$. Vérifier que la tension obtenue appartient à la plage d'entrée du convertisseur.

2.2 (2 points) Calculer le pas de quantification en volts du convertisseur 12 bits sur 0-5 V, en utilisant $q = 5/4096$. En déduire l'incrément de température correspondant à un pas, sachant que l'étendue de 150 °C correspond à une étendue de 4 V après conversion courant-tension. Donner les deux résultats avec trois chiffres significatifs.

2.3 (2 points) À 80 °C, établir une estimation de l'erreur maximale de chaîne par addition des erreurs maximales absolues fournies au DT 1 : erreur de la sonde, erreur du transmetteur et demi-pas de quantification exprimé en °C. Comparer cette estimation à l'exigence de ±0,8 °C et conclure sur la conformité de la chaîne selon cette méthode de cumul au pire cas.

2.4 (1 point) Le signal utile du procédé a une fréquence maximale de variation de 0,2 Hz et la fréquence d'échantillonnage est de 2 Hz. Vérifier la condition de Nyquist-Shannon. Le filtre analogique de l'entrée a une fréquence de coupure de 15,9 Hz : indiquer s'il atténue fortement ou non la composante utile à 0,2 Hz, en justifiant brièvement.

PARTIE 3 : Préparation du protocole opératoire et réception (6 points)

Contrôle de la boucle, exploitation des données et échange avec l'acquisition

Le transmetteur doit être vérifié sur trois points avant son raccordement définitif au séchoir. Le contrôle est réalisé avec un simulateur de Pt100 étalonné et un multimètre dont l'incertitude est négligée pour les calculs de cette partie. Le critère de réception du transmetteur seul est un écart de température inférieur ou égal à 0,15 °C sur chacun des points. Pour convertir un courant mesuré en température, utiliser $T = 150(I - 4)/16$, avec I exprimé en mA.

Relevés de réception à exploiter

Température simulée (°C)	Courant mesuré (mA)	Température calculée (°C)	Écart calculé (°C)	Décision
20	6,14	.....	.....	.....
80	12,53	.....	.....	.....
140	18,92	.....	.....	.....

Valeurs de courant mesurées pendant le contrôle du transmetteur.

3.1 (2 points) Compléter le DR 1 en calculant, pour chaque point, la température correspondant au courant mesuré et l'écart signé entre cette température calculée et la température simulée. Reporter une décision conforme ou non conforme au critère de ±0,15 °C.

3.2 (2 points) Rédiger un protocole opératoire de réception en cinq étapes au maximum, depuis la mise en sécurité de l'installation jusqu'à la consignation du résultat. Le protocole doit préciser au moins le contrôle du câblage, le contrôle des trois points, la vérification de la cohérence du signal à l'entrée analogique et la conduite à tenir si un point est hors tolérance.

3.3 (2 points) La liaison entre l'armoire et le transmetteur mesure 30 m et traverse une zone comportant des variateurs de vitesse. Justifier le maintien d'une transmission 4-20 mA plutôt qu'une transmission directe 0-5 V. Donner deux précautions de câblage ou de raccordement adaptées aux données du DT 2.

PARTIE 4 : Prévention et sécurité lors des opérations (3 points)

Préparation de l'intervention et maîtrise des risques

Les opérations comprennent l'ouverture de l'armoire, le raccordement d'un appareil de contrôle et la vérification du capteur installé sur le séchoir. Les règles de sécurité électrique et les consignes de l'établissement figurent dans le DT 3. Aucun travail sous tension n'est nécessaire pour la réception prévue.

Risques identifiés sur le poste

Situation	Risque principal	Mesure de prévention attendue
Ouverture de l'armoire	Contact avec une partie électrique	.....
Contrôle du capteur sur le séchoir	Contact avec une surface chaude	.....
Raccordement d'un appareil de mesure	Court-circuit ou erreur de câblage	.....

Éléments issus de l'analyse de risques préalable à l'intervention.

4.1 (1,5 point) Compléter la colonne « Mesure de prévention attendue » du tableau de la partie 4. Pour chaque situation, indiquer une mesure concrète de prévention ou de protection compatible avec les consignes du DT 3.

4.2 (1,5 point) Indiquer les opérations à effectuer avant toute intervention dans l'armoire et préciser deux vérifications à réaliser avant la remise en service. Justifier pourquoi la température de la sonde doit être vérifiée avant de la saisir ou de la déposer.

DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : ARCHITECTURE ET CARACTÉRISTIQUES MÉTROLOGIQUES DE LA CHAÎNE

La chaîne comprend une sonde Pt100, un transmetteur de température et une entrée analogique d'automate. La sonde est raccordée au transmetteur en montage trois fils. Sur la plage utile 0 °C à 100 °C, le modèle fourni pour les calculs est $R(T) = R_0(1 + \alpha T)$, avec $R_0 = 100,00\ \Omega$ et $\alpha = 3,85 \times 10^{-3}\ ^\circ\mathrm{C}^{-1}$. Le transmetteur est configuré pour une étendue de 0 °C à 150 °C et une sortie linéaire 4-20 mA.

La résistance de conversion est $R_L = 250\ \Omega$, tolérance 0,1 %, puissance nominale 0,25 W. Le convertisseur analogique-numérique est de 12 bits, entrée 0-5 V, avec 4096 niveaux idéaux. Le filtre d'entrée est un filtre passe-bas du premier ordre de fréquence de coupure 15,9 Hz. L'échantillonnage configuré est de 2 échantillons par seconde.

Pour l'estimation au pire cas, utiliser les limites suivantes : sonde $\pm(0,15 + 0,002|T|)\ ^\circ\mathrm{C}$; transmetteur $\pm 0,10\ \%$ de l'étendue configurée de 150 °C ; quantification idéale $\pm q/2$. Pour convertir un incrément de tension en température, utiliser l'étendue utile de 4 V correspondant à 150 °C.

Caractéristiques et critères de réception

Élément	Caractéristique	Valeur ou critère
Sonde	Pt100, montage trois fils	0 °C à 150 °C pour la chaîne
Transmetteur	Sortie linéaire	4 mA à 0 °C ; 20 mA à 150 °C
Résistance de conversion	Courant vers tension	250 Ω ; tolérance 0,1 % ; 0,25 W
Entrée analogique	Convertisseur 12 bits	0-5 V ; 4096 niveaux idéaux
Exigence de chaîne	Erreur totale au pire cas	≤ ±0,8 °C
Réception du transmetteur	Erreur sur chaque point vérifié	≤ ±0,15 °C

Données à utiliser pour l'ensemble des parties.

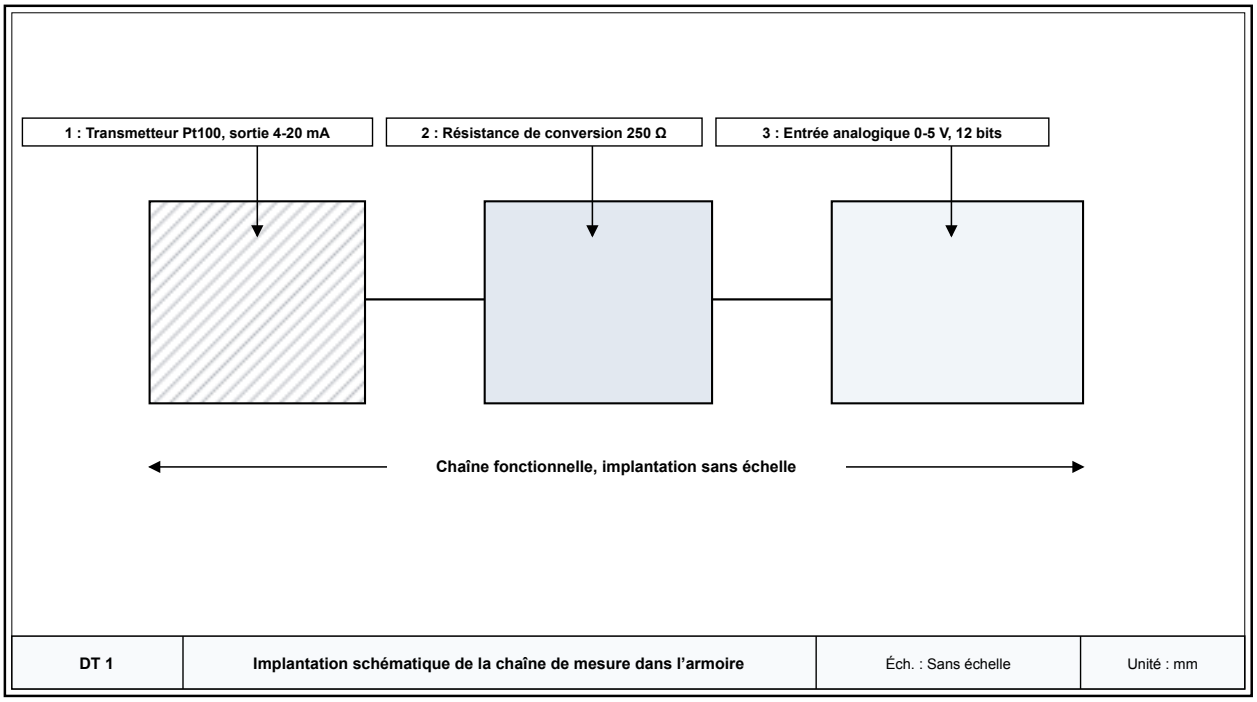


Schéma fonctionnel, sans représentation à l'échelle des composants.

DT 2 : RACCORDEMENT, COMPATIBILITÉ ÉLECTRIQUE ET RÉFÉRENCES TECHNIQUES

La boucle est alimentée sous 24 V continu. Le transmetteur accepte une alimentation comprise entre 12 V et 30 V. Sa tension de conformité minimale est de 10 V. La résistance totale aller-retour du câble de 30 m est inférieure ou égale à 1,2 Ω. La résistance de conversion de 250 Ω présente une chute de tension maximale de 5 V à 20 mA. La tension disponible reste suffisante pour le transmetteur dans les conditions spécifiées.

Le câble est une paire torsadée blindée. Le blindage est raccordé à la terre en un seul point, côté armoire, selon les consignes de l'installation. Les conducteurs de mesure sont éloignés des câbles de puissance des variateurs. Le retour analogique est raccordé à la borne de référence de l'entrée, sans créer de boucle de masse.

Références techniques applicables à l'étude : NF EN IEC 60751 pour les thermomètres à résistance de platine ; NF EN 61010-1 pour les exigences générales de sécurité des appareils électriques de mesure, de commande et de laboratoire ; NF EN IEC 61326-1 pour les exigences de compatibilité électromagnétique des équipements de mesure et de commande. Les consignes du site et les notices des fabricants restent applicables pour le raccordement et la mise en service.

Données de raccordement et références

Paramètre	Valeur ou consigne	Utilisation
Alimentation de boucle	24 V continu	Alimentation du transmetteur
Plage d'alimentation du transmetteur	12 V à 30 V	Vérification de compatibilité
Tension minimale de conformité	10 V	Vérification de la marge de fonctionnement
Résistance totale aller-retour du câble	$\leq 1{,}2\ \Omega$	Évaluation de la chute de tension
Blindage	Raccordé à la terre côté armoire uniquement	Réduction des perturbations et prévention des boucles de masse
Référence sonde	NF EN IEC 60751	Thermomètres à résistance de platine

Valeurs fournies pour cette installation.

DT 3 : PRÉVENTION DES RISQUES ET PRÉPARATION DE L'INTERVENTION

L'intervention est réalisée par du personnel autorisé, conformément aux procédures de l'établissement et aux dispositions applicables du Code du travail, notamment aux principes généraux de prévention de l'article L. 4121-1. L'absence de travail sous tension est une exigence de cette opération. Avant ouverture de l'armoire, identifier les sources d'énergie, arrêter l'installation, séparer les sources concernées, condamner les organes de séparation et vérifier l'absence de tension avec un appareil adapté, en contrôlant le bon fonctionnement de cet appareil avant et après la vérification.

Le séchoir et la sonde peuvent être chauds. Attendre le refroidissement ou utiliser des moyens de protection adaptés avant tout contact. Pour les mesures, utiliser un appareil et des cordons en bon état, adaptés aux grandeurs et aux conditions d'utilisation. Vérifier le calibre avant raccordement, éviter tout court-circuit entre bornes et respecter le schéma de câblage. Ne remettre l'installation en service qu'après contrôle des raccordements, retrait des outils et protections remises en place.

En cas d'écart hors tolérance, ne pas modifier arbitrairement le réglage : vérifier d'abord le simulateur, le câblage, la configuration de l'étendue et les paramètres d'acquisition, puis consigner l'anomalie et demander une décision de maintenance.

Mesures de prévention à appliquer

Phase	Action requise	Résultat attendu
Avant ouverture	Arrêter, isoler et condamner les énergies concernées	Mise en sécurité de l'installation
Vérification électrique	Contrôler l'absence de tension avec un appareil adapté	Absence de tension confirmée
Contrôle de la sonde	Attendre le refroidissement ou se protéger contre les surfaces chaudes	Absence de brûlure lors de l'intervention
Avant remise en service	Vérifier les raccordements, retirer les outils et remettre les protections	Installation prête à fonctionner sans danger immédiat

Consignes d'intervention du site.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Tableau de réception du transmetteur, question 3.1 — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter toutes les cases « ... ». Indiquer les calculs utiles sur la copie. L'écart signé est défini par $\Delta T = T_{calculée} - T_{simulée}$. Présenter les températures et les écarts au centième de degré.

Résultats du contrôle sur trois points

Température simulée (°C)	Courant mesuré (mA)	Température calculée (°C)	Écart signé ΔT (°C)	Décision selon ±0,15 °C
20	6,14	.....	.....	.....
80	12,53	.....	.....	.....
140	18,92	.....	.....	.....

Tableau à compléter par le candidat.

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Tableau de prévention, question 4.1 — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter la colonne « Mesure de prévention attendue » par une action précise adaptée au risque indiqué.

Analyse des risques avant intervention

Situation	Risque principal	Mesure de prévention attendue
Ouverture de l'armoire	Contact avec une partie électrique	.....
Contrôle du capteur sur le séchoir	Contact avec une surface chaude	.....
Raccordement d'un appareil de mesure	Court-circuit ou erreur de câblage	.....

Tableau à compléter par le candidat.

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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.