TP2 – Du phénomène physique au signal

Capteurs passifs et actifs, capteurs alimentés, choix d'un détecteur sur la station AQUAVAL

Durée	Travail	Support	Documents
3 h	Individuel, un poste par étudiant	Simulateur hors ligne TP2_simulateur_AQUAVAL_capteurs.html	Annexes 1 à 5 et Guide des automatismes (rubrique Capteurs). Compte-rendu : TP2_compte_rendu.docx

Situation professionnelle

Au TP1, la carte de l'automate recevait un signal tout prêt. Aujourd'hui, vous remontez jusqu'au capteur : comment un phénomène physique devient-il un signal électrique, et qui fournit l'énergie nécessaire ? Vous finirez par choisir les détecteurs de quatre points de la station.

Ce que vous saurez faire à la fin du TP

- Associer une loi physique au principe de fonctionnement d'un capteur.
- Distinguer un capteur passif d'un capteur actif, et reconnaître un capteur alimenté.
- Expliquer le rôle du conditionneur et du transmetteur 2 fils 4-20 mA.
- Raccorder un détecteur 3 fils PNP sur une entrée d'automate et diagnostiquer un défaut de câblage.
- Choisir un détecteur à partir de sa documentation et justifier le choix.

Référentiel 2022 : S4.5 Capteurs et chaîne de mesures (capteurs passifs et actifs, conditionneurs, principe de fonctionnement, choix d'un capteur) ; S7.1 Acquisition des grandeurs physiques.

Attention au vocabulaire. En physique et à l'examen, un **capteur passif** est un capteur dont une propriété électrique (résistance, capacité…) varie : il a besoin d'une source extérieure pour donner un signal. Un **capteur actif** produit lui-même un signal électrique à partir du phénomène mesuré.

En atelier, on entend souvent « capteur actif » pour dire « capteur alimenté » : c'est le sens inverse. Dans ce TP, on dit **capteur alimenté** pour un capteur qui contient de l'électronique à alimenter (détecteur 3 fils, transmetteur).

Partie	Contenu	Durée indicative
A	Passif ou actif : Pt100 et thermocouple	35 min
B	Transmetteur 2 fils 4-20 mA	35 min
C	Détecteur inductif 3 fils : raccordement et dépannage	40 min
D	Choisir un détecteur pour quatre points de la station	50 min
E	Synthèse	15 min

Partie A – Passif ou actif : Pt100 et thermocouple

Deux capteurs mesurent la température de l'eau traitée dans le même doigt de gant : la sonde Pt100 TE-103A et le thermocouple TE-103B (annexe 3).

Étape 1. Ouvrez **TP2_simulateur_AQUAVAL_capteurs.html**, onglet **A. Passif ou actif ?**. Laissez la source de courant coupée.

Étape 2. Réglez l'eau à 0, 28, 60, 100 puis 150 °C. Relevez la résistance de la Pt100 et la tension du thermocouple.

A1 Complétez le tableau de relevés du compte-rendu.

A2 Quelle propriété de la Pt100 varie avec la température ? Vérifiez à 100 °C la loi de l'annexe 3 : $R = R_0 (1 + \alpha\, \theta)$.

A3 Source coupée, le voltmètre aux bornes de la Pt100 indique 0. Mettez la source en service : que devient la tension à 60 °C ? Calculez-la avec $U = R \times I$.

A4 Le thermocouple donne-t-il une tension sans aucune alimentation ? Quel est l'ordre de grandeur de cette tension (V, mV ou µV) ?

A5 À 28 °C, le thermocouple indique 0 mV alors que l'eau n'est pas à 0 °C. Expliquez à l'aide du texte de l'onglet et de l'annexe 3. Quel dispositif doit corriger ce défaut ?

Capture 1. Onglet A, eau à 28 °C, source en service.

A6 Classez la Pt100 et le thermocouple : capteur passif ou actif ? Donnez la loi physique associée à chacun.

A7 Classez de même les capteurs du tableau du compte-rendu (annexe 3).

Guide des automatismes – Capteurs > Les capteurs : définition et rôle, structure fonctionnelle d'un capteur.

Partie B – Transmetteur 2 fils 4-20 mA

Le signal d'une Pt100 (quelques dizaines d'ohms de variation) ne peut pas être envoyé tel quel à l'automate situé à 80 m. On l'associe à un **transmetteur** TT-103 qui le convertit en courant 4-20 mA (annexe 4).

Étape 3. Onglet **B. Transmetteur 2 fils**. Réglez l'eau à 0, 75 puis 150 °C.

B1 Relevez le courant de boucle, la tension aux bornes de la résistance 250 Ω et la tension aux bornes du transmetteur.

B2 Donnez la relation $I = f(\theta)$. Quelle tension l'entrée de l'automate reçoit-elle réellement ?

B3 Combien de fils relient le transmetteur à l'armoire ? Qui fournit l'énergie au transmetteur ?

Étape 4. Coupez l'alimentation de la boucle.

B4 Relevez le courant et l'état de la voie. La Pt100 est passive ; le transmetteur est-il alimenté ? Complétez la phrase du compte-rendu.

B5 Dans le Guide des automatismes (Les capteurs, 2- Structure fonctionnelle), un capteur est décrit par un corps d'épreuve, un transducteur et un adaptateur. Identifiez ces trois éléments pour l'ensemble TE-103A + TT-103.

B6 D'après l'annexe 4, le transmetteur a besoin d'au moins 12 V à ses bornes. Calculez la résistance de charge maximale de la boucle alimentée en 24 V. Peut-on ajouter en série un afficheur de 250 Ω ?

Appel professeur n°1. Présentez vos réponses A6 et B4 : qui est passif, qui est actif, qui est alimenté.

Partie C – Détecteur inductif 3 fils : raccordement et dépannage

Le détecteur inductif ZS-205 signale la position « vanne ouverte » de FV-201 : une came en acier passe devant sa face sensible. Son électronique crée un champ magnétique alternatif ; une pièce métallique proche l'amortit par courants de Foucault et la sortie bascule (annexe 2).

> **Guide des automatismes** – Capteurs > Détecteurs inductifs (principe de fonctionnement : déplacez la pièce devant le détecteur) ; Détecteurs PNP-NPN (simulez la détection).

Étape 5. Onglet **C. Détecteur 3 fils**. Vérifiez le câblage proposé (PNP, marron +24 V, bleu 0 V, noir sur l'entrée I0.3). Ouvrez puis fermez la vanne avec le bouton.

C1 Relevez l'état des deux voyants, vanne fermée puis vanne ouverte. Rôle de chaque fil ?

C2 Le détecteur est-il un capteur alimenté ? Justifiez avec son principe.

C3 Un détecteur PNP relie sa sortie au + quand il détecte. Expliquez pourquoi il convient à l'entrée de l'automate (logique positive, commun au 0 V).

Ticket n°2026-131 – « ZS-205 remplacé mardi par le magasin. Depuis, le voyant jaune du détecteur s'allume quand la vanne s'ouvre, mais l'automate ne voit pas la vanne ouverte. Câblage vérifié, couleurs respectées. »

Étape 6. Reproduisez la situation du ticket dans le simulateur.

C4 Quelle est la cause du défaut ? Quel remède proposez-vous ? Quelle information faut-il vérifier sur la référence avant de remplacer un détecteur ?

Capture 2. Onglet C, situation du ticket reproduite, vanne ouverte.

Étape 7. Revenez au détecteur PNP. Inversez marron et bleu, puis remettez-les ; reliez ensuite le noir au 0 V et ouvrez la vanne.

C5 Que se passe-t-il dans chaque cas ? Pourquoi ces erreurs ne détruisent-elles pas le détecteur (annexe 2) ?

Appel professeur n°2. Expliquez votre diagnostic du ticket 2026-131.

Partie D – Choisir un détecteur pour quatre points de la station

Pour chaque besoin, testez les détecteurs candidats dans l'onglet **D. Choisir un détecteur**, calculez la portée de travail garantie quand elle existe, et retenez **un seul** détecteur. En cas d'égalité, prenez le plus simple et le moins sensible à l'environnement humide du local.

Besoin	Cible	Distance	Contrainte
1. Position « vanne ouverte » FV-201	Came en acier	5 mm	Place limitée : le plus petit détecteur possible
2. Clapet anti-retour du refoulement	Palette en aluminium	3 mm	Local humide, condensation fréquente
3. Niveau de la bâche de relevage	Surface de l'eau	300 à 900 mm	Sans contact avec l'eau
4. Fuite dans le bac de rétention	Eau au fond du bac	5 mm	Détecteur posé au fond du bac

> **Guide des automatismes** – Capteurs > Détecteurs capacitifs, Détecteurs photoélectriques, Détecteurs à ultrasons.

D1 Pour chaque besoin, complétez le tableau du compte-rendu : détecteurs essayés, résultat, portée de travail, détecteur retenu.

D2 Besoin 2 : un détecteur capacitif détecte aussi la palette. Pourquoi ne pas le retenir ?

D3 Besoin 3 : pourquoi le photoélectrique échoue-t-il ? Que se passerait-il si l'eau montait à 40 mm de l'ultrason ?

Capture 3. Onglet D, votre choix pour le besoin 2.

Besoin 5. La pompe P-10 doit s'arrêter si une personne pénètre dans sa zone d'accès pendant le fonctionnement.

D4 Un détecteur photoélectrique en barrage ordinaire suffit-il ? Aidez-vous de l'annexe 2 pour désigner le matériel adapté.

Appel professeur n°3. Présentez vos cinq choix et leurs justifications.

Partie E – Synthèse

E1 Complétez le tableau de synthèse et les phrases à trous du compte-rendu.

Annexe 1 – Instruments concernés

Repère	Désignation	Signal
TE-103A	Sonde Pt100 classe A, doigt de gant de l'eau traitée	résistance
TE-103B	Thermocouple type K, même doigt de gant	tension (mV)
TT-103	Transmetteur de température 2 fils, 0 à 150 °C, en tête de sonde TE-103A	4-20 mA
ZS-205	Détecteur inductif M18, position « vanne ouverte » de FV-201	TOR 24 V, 3 fils
I0.3	Entrée TOR de l'automate, logique positive, commun au 0 V	—

Lettres ISA : T température, Z position ; E élément sensible, T transmetteur, S contact ou détecteur.

Annexe 2 – Détecteurs de proximité et barrières

Détecteurs inductifs et capacitifs

- **Portée nominale Sn** : distance de détection annoncée, mesurée sur une cible normalisée en acier.
- **Portée de travail garantie** = 0,81 × Sn × k : distance à laquelle la détection est assurée quelles que soient les dispersions de fabrication, la tension et la température. On implante la cible **en deçà** de cette distance.
- **k** : facteur de correction selon la matière de la cible (valeurs typiques ci-dessous ; se référer à la documentation du fabricant).

Matière	acier	inox	laiton	aluminium	plastique	eau	verre
k inductif	1	0,7	0,45	0,4	0	0	0
k capacitif	1	1	1	1	0,6	1	0,7

Gamme inductive : M12 (Sn 4 mm), M18 (Sn 8 mm), M30 (Sn 15 mm). Capacitif M30 : Sn 15 mm réglable. Le capacitif détecte toutes les matières, mais il est très sensible à l'environnement (humidité, condensation, salissures) : on ne l'emploie que lorsqu'aucune autre technologie ne convient (Guide des automatismes, rubrique Détecteurs capacitifs). L'inductif, lui, supporte bien les ambiances humides.

Détecteurs photoélectriques et à ultrasons

Type	Principe	Portée	Limites
Photoélectrique en barrage	Émetteur et récepteur face à face ; la cible coupe le faisceau	jusqu'à 15 m	Deux boîtiers à câbler
Photoélectrique reflex	Faisceau renvoyé par un réflecteur	jusqu'à 5 m	Cibles brillantes ou transparentes délicates
Photoélectrique de proximité	La cible renvoie elle-même la lumière	400 mm	Cibles transparentes ou sombres
Ultrasons	Mesure du temps de retour d'un écho sonore	60 à 1000 mm	Zone aveugle de 60 mm devant la face

Détecteurs 3 fils : raccordement

Fil	Couleur (IEC 60947-5-2)	Rôle
BN	marron	+ alimentation (10 à 30 V ⎓)
BU	bleu	− alimentation (0 V)
BK	noir	sortie (contact à fermeture)

PNP : la sortie est reliée au + quand la cible est détectée ; à raccorder sur une entrée en logique positive (commun au 0 V), cas le plus courant en Europe. **NPN** : la sortie est reliée au 0 V ; à raccorder sur une entrée en logique négative. La référence du détecteur indique toujours le type de sortie. Les détecteurs courants sont protégés contre l'inversion de polarité et les courts-circuits de sortie.

Protection des personnes

Un détecteur standard n'est pas un composant de sécurité : sa panne peut passer inaperçue. La détection de personnes utilise une **barrière immatérielle de sécurité** (norme IEC 61496, type 2 ou 4 selon l'appréciation du risque), raccordée à un **module ou automate de sécurité** qui surveille en permanence son bon fonctionnement.

Annexe 3 – Principes physiques de quelques capteurs

Capteur	Phénomène physique	Grandeur de sortie
Pt100 (platine)	La résistance d'un métal augmente avec la température : $R = R_0(1 + \alpha\theta)$, $R_0 = 100\ \Omega$, $\alpha = 0{,}00385$ /°C	résistance
Thermocouple K	Effet Seebeck : deux métaux différents soudés créent une tension proportionnelle à l'écart de température entre la soudure chaude et les bornes (≈ 41 µV/°C). Les bornes doivent être « compensées » (compensation de soudure froide).	tension (mV)
Thermistance CTN	La résistance d'un semi-conducteur diminue quand la température augmente	résistance
Jauge de contrainte	La résistance d'un fil varie quand on l'étire	résistance
Accéléromètre piézoélectrique	Un cristal comprimé produit des charges électriques (vibrations)	charge, tension
Génératrice tachymétrique	Une bobine qui tourne dans un aimant produit une tension proportionnelle à la vitesse	tension
Potentiomètre de recopie	La résistance entre curseur et extrémité dépend de la position	résistance

Annexe 4 – Transmetteurs 4-20 mA

Montage	Fils	Alimentation
2 fils	2	Le transmetteur est alimenté par la boucle elle-même : les deux fils portent l'énergie et la mesure. Cas le plus fréquent.
3 fils	3	Alimentation et signal ont un fil commun (0 V).
4 fils	4	Alimentation séparée (souvent 230 V ou 24 V), sortie 4-20 mA sur deux autres fils.

TT-103 : entrée Pt100, échelle 0 à 150 °C, sortie 4-20 mA, **tension minimale à ses bornes 12 V**, tension maximale 35 V. Résistance de charge maximale = (U alimentation − 12 V) / 0,020 A.

Annexe 5 – Mémento

Terme	Définition
Capteur passif	Une de ses propriétés électriques varie avec la grandeur mesurée. Il a besoin d'une source extérieure (courant, tension d'excitation) pour donner un signal. Ex. : Pt100.
Capteur actif	Il convertit directement l'énergie de la grandeur mesurée en signal électrique, sans alimentation. Ex. : thermocouple. Son signal est souvent faible.
Conditionneur	Circuit qui transforme la sortie du capteur en signal exploitable (excitation, amplification, linéarisation, compensation).
Transmetteur	Conditionneur qui fournit un signal normalisé (4-20 mA, 0-10 V) transmissible à distance.
Capteur alimenté	Capteur contenant une électronique à alimenter (détecteur 3 fils, transmetteur). À ne pas confondre avec « actif ».
Détecteur (TOR)	Capteur dont la sortie n'a que deux états : cible présente ou absente.