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

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

ÉPREUVE E6 : CONCEPTION D'UNE INSTALLATION D'INSTRUMENTATION, CONTRÔLE ET RÉGULATION

SESSION 2026

Durée : 4 heures

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE	4

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.

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

Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.

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

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : SOCIÉTÉ DE TRAITEMENT DES EAUX VALRIVE, SITE INDUSTRIEL DE SAINT-QUENTIN-FALLAVIER (ISÈRE)

La société ValRive exploite une unité de traitement des eaux de lavage issues d'un atelier de fabrication. Les effluents sont collectés dans une cuve discontinue avant neutralisation et transfert vers le traitement biologique du site. Vous intervenez au bureau d'études automatisme et instrumentation pour concevoir l'instrumentation et la régulation d'un nouveau skid de neutralisation.

Le cahier des charges impose une cuve de volume utile 12,0 m³, une mesure continue du pH sur une plage de 0 à 14, une mesure du débit de transfert sur une plage de 0 à 10,0 m³/h et un dosage de solution basique de concentration massique 20 %. La consigne de neutralisation est pH 7,0. Le dosage est effectué par une pompe doseuse alimentée depuis une cuve de réactif. Le skid fonctionne par lots, avec une capacité maximale de 8 lots par jour.

Les équipements d'instrumentation communiquent en signaux analogiques 4-20 mA. L'alimentation disponible est de 24 V continu. La zone d'installation a été évaluée par le site comme non classée ATEX. La conception doit permettre un fonctionnement automatique, un arrêt sûr en cas de défaut instrument et une intervention de maintenance sans exposition non maîtrisée au réactif.

Le barème indiqué pour chaque question est exprimé sur 20 points. Les documents DT 1 à DT 3 sont fournis dans le dossier technique. Les documents DR 1 et DR 2 sont à compléter et à rendre avec la copie.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle et exigences de conception (5 points)

Analyse du procédé, des variables et de l'architecture fonctionnelle

À partir du cahier des charges et du schéma de principe du DT 1, établissez les fonctions de mesure, de commande et de sécurité nécessaires au fonctionnement du skid. Les conventions de repérage et les caractéristiques des signaux sont données dans le dossier technique.

Données principales du procédé

Paramètre	Valeur	Unité
Volume utile de la cuve	12,0	m³
Consigne de pH	7,0	sans unité
Plage de mesure du pH	0 à 14	sans unité
Plage de mesure du débit	0 à 10,0	m³/h
Nombre maximal de lots par jour	8	lots/jour
Alimentation des instruments	24	V continu

Données du cahier des charges de ValRive

1.1 (1,5 point) Pour la fonction de neutralisation, identifier la grandeur réglée, la grandeur manipulée et une grandeur perturbatrice pertinente. Justifier brièvement le rôle de chacune dans la boucle de régulation.

1.2 (1,5 point) Le transmetteur de pH est étalonné linéairement de 0 à 14 pH pour un signal de 4 à 20 mA. Calculer le courant correspondant à la consigne pH 7,0, puis le courant correspondant à une mesure pH 6,3. Présenter les résultats au centième de milliampère.

1.3 (2 points) Compléter le DR 1 en associant à chaque fonction le repère d'instrumentation, la grandeur concernée et le type de signal. Pour la chaîne de régulation du pH, faire apparaître la mesure, le régulateur et l'actionneur final.

PARTIE 2 : Étude technologique, choix des équipements et dimensionnement (7 points)

Choix des instruments, calcul de dosage, dimensionnement de la vanne et vérification électrique

Les données de dimensionnement et les caractéristiques des équipements sont fournies dans les documents DT 2 et DT 3. Les relations simplifiées fournies dans ces documents sont celles à utiliser pour les calculs demandés.

Valeurs d'exploitation et paramètres de calcul

Donnée	Valeur	Unité
pH initial moyen des lots	4,2	sans unité
Dosage empirique de solution basique	1,8	L/(m³·unité de pH)
Prix de la solution basique	0,85	€/L
Débit maximal demandé à la vanne de dosage	0,80	m³/h
Pression différentielle disponible à la vanne	4,0	bar
Longueur aller du câble de boucle	150	m

Valeurs issues des essais de titration et du cahier des charges

2.1 (2 points) À partir du dosage empirique du DT 2, calculer le volume de solution basique nécessaire pour un lot de 12,0 m³, de pH initial 4,2 à pH cible 7,0. En déduire le volume journalier maximal pour 8 lots et le coût journalier correspondant. Indiquer les unités et les étapes de calcul.

2.2 (1,5 point) Calculer le coefficient de débit requis de la vanne de dosage avec la relation simplifiée du DT 2. Choisir, parmi les tailles proposées dans le DT 2, une vanne dont le coefficient nominal est supérieur ou égal au coefficient requis et justifier le choix.

2.3 (1,5 point) À partir des caractéristiques du DT 2, proposer un capteur-transmetteur adapté à la mesure du pH et un débitmètre adapté au transfert de l'effluent. Pour chaque appareil, justifier le choix par la plage de mesure, le signal de sortie et une contrainte d'installation ou d'exploitation.

2.4 (2 points) Vérifier que la boucle 4-20 mA du débitmètre peut fonctionner avec l'alimentation 24 V continu disponible. Le récepteur présente une résistance de 250 Ω. La résistance totale des conducteurs aller-retour est de 0,08 Ω par mètre de longueur aller. Le transmetteur nécessite au minimum 12 V à ses bornes. Calculer la tension disponible aux bornes du transmetteur à 20 mA, puis conclure.

PARTIE 3 : Préparation de l'architecture et du fonctionnement (5 points)

Description de la séquence automatique, traitement des défauts et schéma de boucle

La séquence opératoire doit assurer l'homogénéisation de l'effluent, la correction du pH et la validation du lot avant transfert. Les conditions de fonctionnement retenues par le site sont indiquées dans le DT 3. Les défauts instrumentaux doivent conduire à un état de sécurité défini et compréhensible par l'exploitant.

Conditions opératoires de la séquence

Étape	Condition de lancement ou de validation	Action attendue
Homogénéisation	Cuve au niveau de lot et agitateur disponible	Agitateur en marche pendant 5 min minimum
Correction du pH	Homogénéisation terminée et mesure pH valide	Autoriser le dosage régulé
Fin de correction	pH compris entre 6,8 et 7,2 pendant 60 s	Arrêter le dosage et valider la neutralisation
Transfert	Neutralisation validée et voie de transfert disponible	Autoriser la pompe de transfert

Extrait du cahier des charges fonctionnel

3.1 (1,5 point) Rédiger, dans l'ordre, les principales étapes de la séquence automatique depuis la fin du remplissage de la cuve jusqu'à l'autorisation de transfert. Préciser la condition de fin de correction du pH et le rôle de la temporisation de 60 s.

3.2 (2 points) Pour chacun des défauts suivants, indiquer l'action automatique à prévoir et l'information à transmettre à l'opérateur : perte du signal pH, niveau bas dans la cuve de réactif, arrêt de l'agitateur pendant la correction. Appuyer vos réponses sur les principes de sécurité du DT 3.

3.3 (1,5 point) Compléter le DR 2 pour représenter la boucle de régulation du pH, depuis le capteur jusqu'à l'actionneur. Indiquer les signaux entre les équipements, la variable manipulée et l'action à prendre lorsque la mesure est inférieure à la consigne.

PARTIE 4 : Prévention, sécurité et exigences d'exploitation (3 points)

Prévention des risques liés au réactif et maîtrise des défaillances

La solution basique est corrosive. Les interventions sur la cuve de réactif, la pompe doseuse et les organes de réglage sont réalisées par du personnel habilité, selon les procédures du site. Le DT 3 fournit les exigences de conception applicables au présent dossier.

Situations dangereuses à prendre en compte

Situation	Conséquence redoutée	Mesure de prévention attendue
Fuite de solution basique	Projection et contact cutané ou oculaire	Rétention, protection individuelle et procédure d'intervention
Dosage maintenu en l'absence d'agitation	Surdosage local et pH non homogène	Interverrouillage du dosage avec le retour d'état agitateur
Mesure pH invalide	Commande de dosage non maîtrisée	Mise à l'arrêt du dosage et alarme opérateur

Extrait de l'analyse préliminaire des risques du site

4.1 (1,5 point) Pour une intervention de maintenance sur la pompe doseuse et la ligne de réactif, citer trois mesures de prévention complémentaires, couvrant au moins la consignation, la protection contre l'exposition au réactif et la maîtrise d'un déversement.

4.2 (1,5 point) À partir du DT 3, citer deux exigences de conception ou d'exploitation à intégrer pour le dosage et l'instrumentation. Pour chacune, préciser le risque maîtrisé et la conséquence attendue sur l'état du système en cas de défaillance.

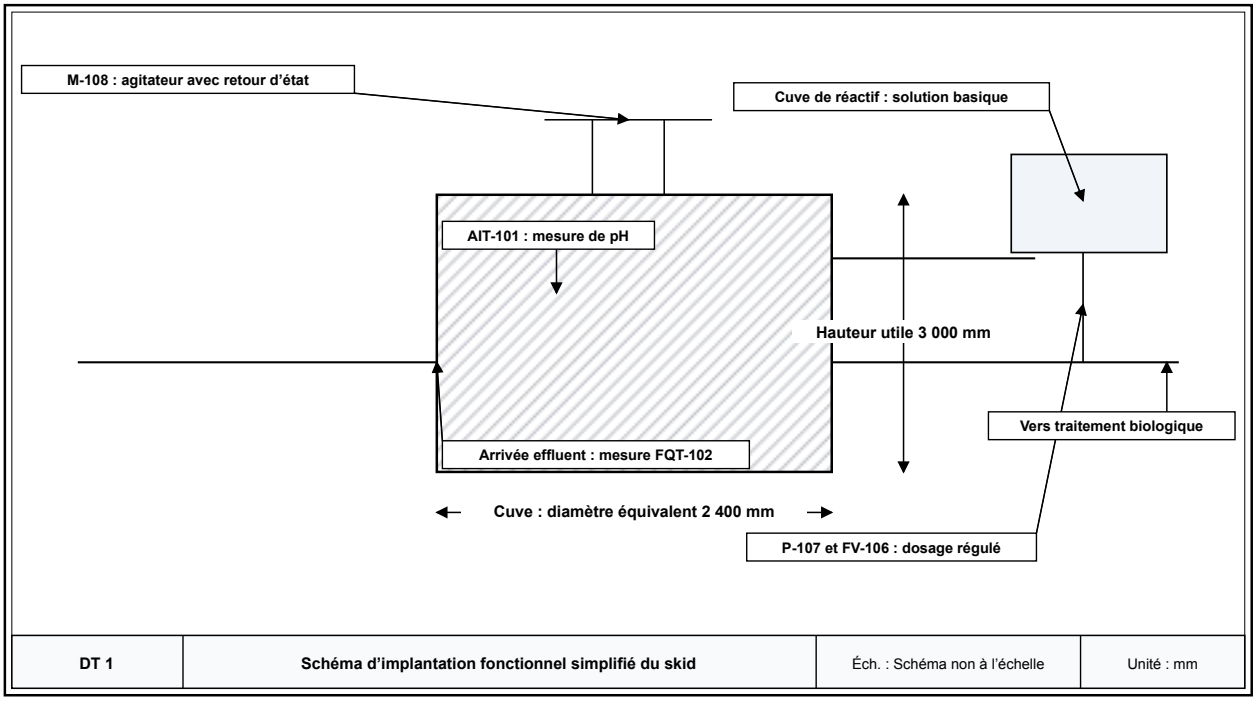
DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : SCHÉMA DE PRINCIPE DU SKID DE NEUTRALISATION ET REPÉRAGE DES ÉQUIPEMENTS

Le schéma représente les fonctions principales du procédé. Les lignes de procédé sont schématiques et ne constituent pas un plan de tuyauterie de fabrication. La cuve de neutralisation a un volume utile de 12,0 m³. L'effluent entre dans la cuve par la ligne d'alimentation. Après homogénéisation et neutralisation, il est transféré vers le traitement biologique. La solution basique est injectée par une pompe doseuse et une vanne de réglage sur une ligne dédiée.

Repérage fonctionnel retenu : AIT-101, transmetteur-analyseur de pH ; FQT-102, transmetteur de débit ; LIC-103, fonction de surveillance du niveau de cuve ; TIC-104, régulateur de pH du skid identifié par la fonction de commande du procédé ; XV-105, vanne d'isolement de la ligne de réactif ; FV-106, vanne de réglage de dosage ; P-107, pompe doseuse ; M-108, agitateur. Les signaux analogiques entre instruments et système de contrôle sont en 4-20 mA. Le système de contrôle est un automate programmable industriel alimenté en 24 V continu.



DT 2 : CARACTÉRISTIQUES DES INSTRUMENTS, DES ACTIONNEURS ET DONNÉES DE DIMENSIONNEMENT

Les données ci-dessous sont les spécifications retenues pour le dossier de conception. Le choix doit être réalisé dans les limites de ces spécifications. Pour la conversion linéaire d'un signal 4-20 mA en grandeur mesurée, utiliser : $x = x_{\min} + \frac{I-4}{16}\left(x_{\max} - x_{\min}\right)$.

Pour le calcul empirique du dosage : $V_b = V_e \times k \times \left(pH_c - pH_i\right)$, où V_b est le volume de solution basique en litres, V_e le volume d'effluent en m³ et k le dosage empirique en $\mathrm{L}/\left(\mathrm{m}^3 \cdot \text{unité de pH}\right)$.

Cette relation a été établie par les essais de titration du site pour l'effluent concerné ; elle est à utiliser uniquement dans le cadre du calcul demandé.

Pour la vanne, utiliser la relation simplifiée pour un liquide de densité relative 1 : $K_v = Q/\sqrt{\Delta P}$, avec Q en m³/h et ΔP en bar. Cette relation ne remplace pas un calcul de sélection constructeur complet.

Fiches synthétiques des équipements disponibles

Équipement	Caractéristiques disponibles	Contraintes ou observations
AIT-101 : analyseur-transmetteur de pH	Plage 0 à 14 pH ; sortie 4-20 mA ; précision ±0,1 pH	Électrode compatible avec un effluent aqueux ; prévoir accès pour nettoyage et étalonnage
FT-102 : débitmètre électromagnétique	Plage 0 à 10,0 m³/h ; sortie 4-20 mA ; conduite DN50	Liquide conducteur ; conduite maintenue pleine au point de mesure
FT-102B : débitmètre à turbine	Plage 0,5 à 12,0 m³/h ; sortie impulsions	Nécessite un conditionneur d'impulsions non prévu dans le dossier
FV-106 : vanne de dosage	Coefficients nominaux disponibles : Kv 0,25 ; 0,40 ; 0,63 ; 1,00	Actionneur pneumatique ; position de sécurité fermée en perte d'énergie
P-107 : pompe doseuse	Débit réglable de 0 à 0,80 m³/h	Démarrage autorisé uniquement si niveau réactif suffisant et agitateur en marche
Récepteur analogique automate	Résistance d'entrée 250 Ω ; alimentation de boucle 24 V continu	Transmetteur 2 fils : tension minimale requise à ses bornes 12 V

Données de sélection fournies pour l'épreuve

Paramètres électriques de la boucle de débit

Paramètre	Valeur	Unité
Tension d'alimentation de boucle	24	V
Résistance d'entrée du récepteur	250	Ω
Résistance des conducteurs aller-retour par mètre de longueur aller	0,08	Ω/m
Longueur aller du câble	150	m
Courant maximal de boucle pour la vérification	20	mA
Tension minimale aux bornes du transmetteur	12	V

Données à utiliser pour la vérification à 20 mA

DT 3 : EXIGENCES FONCTIONNELLES, SÉCURITÉ ET RÈGLES DE CONCEPTION DU SITE

Les exigences ci-dessous sont les exigences de conception applicables au skid étudié. Elles ne constituent pas une reproduction exhaustive des textes réglementaires ou normatifs. L'analyse des risques du site et les consignes d'exploitation demeurent applicables lors de l'installation et de la maintenance.

Exigences fonctionnelles : le dosage de solution basique est interdit si le retour d'état agitateur n'est pas présent ; une mesure pH invalide ou en défaut entraîne l'arrêt de la pompe doseuse, la fermeture de FV-

106 et l'émission d'une alarme ; un niveau bas de réactif interdit le démarrage du dosage ; la vanne FV-106 doit prendre la position fermée en cas de perte d'énergie de commande ; le transfert vers le traitement biologique est permis uniquement après validation de la neutralisation.

Exigences de prévention : la ligne et la cuve de réactif doivent être installées dans une rétention adaptée au plan de prévention du site ; les opérations de maintenance nécessitent l'isolement des énergies, la vérification de l'absence de pression et l'application des équipements de protection individuelle définis par l'évaluation des risques ; un moyen de rinçage d'urgence est disponible à proximité de la zone de manipulation. L'installation a été évaluée non classée ATEX. Toute modification de produit, de procédé ou de zone impose une réévaluation du risque.

Références techniques indiquées par le site : IEC 61511 pour l'approche de sécurité fonctionnelle des systèmes instrumentés de sécurité lorsque celle-ci est applicable ; IEC 60534 pour les principes de sélection et de dimensionnement des vannes de régulation ; IEC 61131-3 pour les langages de programmation des automates. Le choix de la catégorie de sécurité et du niveau d'intégrité éventuel relève d'une analyse de risques spécifique et ne peut être déduit des seules données de ce sujet.

Matrice simplifiée des états de sécurité

Événement	État attendu de la pompe doseuse	État attendu de FV-106	Information opérateur
Défaut ou perte du signal pH	Arrêt	Fermée	Alarme défaut mesure pH
Niveau bas de réactif	Interdiction de démarrage ou arrêt	Fermée	Alarme niveau bas réactif
Absence du retour d'état agitateur	Arrêt ou interdiction de dosage	Fermée	Alarme défaut agitation
Perte d'énergie de commande	Arrêt	Fermée par position de sécurité	Alarme défaut alimentation ou commande

Exigences fonctionnelles du site à prendre en compte

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Document réponse à rendre avec la copie : Questions 1.3 et 2.3 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter directement le tableau. Pour la colonne « signal ou caractéristique retenue », indiquer le type de signal ou les caractéristiques justifiant le choix. Les repères proposés dans le DT 1 peuvent être utilisés.

Nomenclature fonctionnelle et choix des instruments

Fonction	Repère proposé	Grandeur ou équipement concerné	Signal ou caractéristique retenue
Mesure du pH	.....	.....	.....
Régulation du pH	.....	.....	.....
Dosage de solution basique	.....	.....	.....
Mesure du débit d'effluent	.....	.....	.....
Surveillance du niveau de cuve	.....	.....	.....

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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Document réponse à rendre avec la copie : Question 3.3 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter le schéma fonctionnel en inscrivant les équipements, les signaux et la variable manipulée dans les zones pointillées. Indiquer le sens d'action demandé pour une mesure inférieure à la consigne.

Boucle de régulation du pH à compléter

Élément de la boucle	Repère ou information à inscrire	Signal entrant ou sortant
Grandeur réglée	.....	.....
Capteur et transmetteur	.....	.....
Consigne	.....	.....
Régulateur dans l'automate	.....	.....
Organe de commande final	.....	.....
Variable manipulée et sens d'action si pH mesuré inférieur à la consigne	.....	.....

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.