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 :
www.formav.co/explorer

1ère partie : GÉNIE DES PROCÉDÉS (40 points)

Étude du fonctionnement d'une usine de dépollution des eaux usées

Une usine de dépollution des eaux usées traite les effluents d'une teinturerie industrielle. Du fait de la baisse d'activité de l'entreprise, elle reçoit des effluents d'autres petites sociétés de la même branche professionnelle après dépotage à l'amont du prétraitement.
Une étude du fonctionnement de l'usine de dépollution est effectuée afin d'évaluer l'efficacité du traitement.

Le schéma de l'usine de dépollution est présenté en ***annexe 1 (page 8/16).***

Les caractéristiques de fonctionnement et les exigences épuratoires sont données en ***annexe 2 (page 9/16)***

P1. ÉTUDE DE LA LIGNE EAU (35 points)

P1.1. Étude de l'effluent brut

À l'aide de **l'annexe 4 (page 10/16)**, **calculer** les flux de DCO et de MES des effluents bruts à l'entrée de l'usine de dépollution.
Comparer les résultats obtenus par rapport à la capacité nominale de l'usine de dépollution.

P1.2. Étude du traitement biologique

P1.2.1. À partir de la formule ci-dessous, **expliquer** à quoi correspondent les termes placés entre parenthèses ; **calculer** les besoins journaliers en dioxygène du milieu biologique :

$$\mathbf{Q\ O_2\ (kg/j) = (a' \times DBO_{5\ éliminée}) + (b' \times Sv)}$$

Données : *a' = 0,7 kg d'O_2.kg DBO_5^{-1} ;*
b' = 0,06 kg d'O_2.kg $MVS^{-1}.j^{-1}$;
Sv : quantité de biomasse présente dans le bassin d'aération en kg MVS.

P1.2.2. À partir des caractéristiques des turbines (**annexe 3 page 10/16**), **calculer** l'apport journalier en dioxygène des turbines et **comparer** le résultat obtenu à celui de la question précédente.
Proposer si nécessaire une modification du réglage du temps de fonctionnement des turbines.

P1.2.3. **Calculer** le taux de recirculation théorique des boues.
En déduire le temps de marche de la pompe sachant qu'elle fonctionne à un débit fixe de 75 m^3/h.

Taux de recirculation théorique = $[MS]_{BA}$ / ($[MS]_{Boues\ recirculées} - [MS]_{BA}$).

P1.3. Étude du traitement tertiaire

P1.3.1. **Expliquer** succinctement le principe de la coagulation-floculation.

P1.3.2. À partir des **annexes 2 et 4 (respectivement, pages 9 et 10/16), calculer** le débit de la pompe doseuse et **déterminer** le réglage du temps de marche de celle-ci, sachant que son débit minimal est de 14 l/h.

P1.4. Bilan du traitement des effluents

À partir des données fournies, **conclure** quant à l'efficacité du traitement.
Justifier la filière eau pour ce type d'effluents industriels.

P2. ÉTUDE DE LA LIGNE BOUE (5 points)

P2.1. Étude de l'épaississement

P.2.1.1. **Calculer** la masse totale journalière de boues extraite du clarificateur et du décanteur tertiaire.

Données : *- débit d'extraction du clarificateur 49,2 m^3/j ;*
- débit d'extraction du décanteur tertiaire 17 m^3/j.

P.2.1.2. **Calculer** le temps de séjour moyen dans l'épaississeur.

P2.2. Étude de la déshydratation

À la sortie de la centrifugeuse, les boues ont une siccité de 19 % ; il est nécessaire de les chauler afin d'obtenir la siccité souhaitée de 35%. Le volume d'alimentation de la centrifugeuse par heure est de 5 m^3/h.

Calculer la quantité de chaux vive à injecter par heure pour obtenir la siccité souhaitée de 35 % selon la formule utilisée par l'exploitant :

$$\mathbf{Mc} = \frac{Q \times C \times (Y - X)}{1{,}32\,X - X \times Y} \textbf{ (kg/h).}$$

Q : débit d'alimentation des boues dans la centrifugeuse en m^3/h.
C : concentration en MS dans l'épaississeur g/l.
X : siccité en g de MS par g de boue avant chaulage.
Y : siccité en g de MS par g de boue après chaulage.

2ème partie : AUTOMATISME – ÉLECTROTECHNIQUE – RÉGULATION (25 points)

AUTOMATISME (8 points)

*L'**annexe 5** **(page 11/16)** donne l'écran de supervision de l'atelier de déshydratation des boues ainsi que le « Grafcet général déshydratation » et le « Grafcet démarrage déshydratation » de cet atelier. Ils sont complétés par le « Grafcet arrêt déshydratation » **qui n'est pas fourni**.*

A1. L'action associée à l'étape 31 du « Grafcet démarrage déshydratation » fait apparaître l'ordre « SC10 : = 1 ».
L'action associée à l'étape 44 du « Grafcet arrêt déshydratation » fait apparaître l'ordre « SC10 : = 0 ».

A1.1. Expliciter ces 2 ordres.

A1.2. Réaliser la synthèse de ces 2 ordres en écrivant l'équation logique :
SC10 = f (SC10, X31, X44).

A1.3. Tracer, au choix, le schéma électrique **ou** le schéma Ladder équivalent à cette équation.

A2. Décrire littéralement et chronologiquement le processus de démarrage de la déshydratation en nommant les équipements mis en service et en désignant le produit concerné.

A3. Construire le « Grafcet arrêt déshydratation » linéaire en respectant les prescriptions suivantes :
- numérotation des étapes de 40 à 45 ;
- chronologie inverse de celle du « Grafcet démarrage déshydratation » ;
- durées des phases d'arrêt identiques à celles de démarrage ;
- synchronisation avec le *« Grafcet général déshydratation »*.

ÉLECTROTECHNIQUE (10 points)

La station est alimentée en BT 3 × 400 V, par des câbles de section 400 mm² par phase, depuis le poste de transformation HT/BT de la teinturerie situé à 400 m.
La déshydratation des boues est réalisée par une centrifugeuse. Un moteur unique, de 30 kW, réalise l'entraînement du bol et de la vis. Ces éléments présentent une inertie importante qui induit une durée de démarrage relativement importante.
En régime établi, la station appelle une intensité maximale de 240 A sous $\cos\varphi = 0,8$.
Sur démarrage direct de la centrifugeuse, la station appellerait une intensité maximale de 570 A sous $\cos\varphi = 0,5$.
On se propose de mettre en évidence la nécessité d'un dispositif de démarrage de la centrifugeuse d'un point de vue électrique puis d'étudier le remplacement du démarreur étoile-triangle actuel par un démarreur électronique.

E1. À l'aide du document situé à l'**annexe 6 (page 12/16)**, **refaire** et **compléter** le tableau suivant :

Condition de fonctionnement de la centrifugeuse	Chute de tension en Volts	Chute de tension relative en %	Respect de la norme *oui / non*
Démarrage direct			
Régime établi			

Indiquer vos calculs.

E2. L'**annexe 7 (page 13/16)** donne les schémas de puissance et de commande actuels du moteur de la centrifugeuse.

E2.1. Préciser le rôle de chacun des contacteurs KM29, KM30, KM31.

E2.2. Relever le repère des contacteurs alimentés dès la fermeture de la sortie automate *API %Q037.7*

E2.3. Donner le repère de l'élément permettant le passage d'étoile à triangle.

E2.4. Expliquer comment informer l'automate de la fin effective du démarrage.

E3. Un document constructeur du démarreur électronique susceptible d'être utilisé est situé à l'**annexe 8 (page 14/16)**.

E3.1. Définir la référence du démarreur convenant au moteur.

E3.2. Indiquer sur quelles bornes du démarreur doit être raccordée la sortie de l'automate déclenchant la mise en marche du moteur.

E3.3. Relever le repère des bornes du démarreur servant à informer l'automate de la fin du démarrage.

RÉGULATION (7 points)

R1. L'**annexe 9 (page 15/16)** donne le schéma « Tuyauterie et Instrumentation du traitement tertiaire physico-chimique ».

Donner la signification des appareils repérés FE05 et FIT 05.

R2. Afin d'obtenir une turbidité constante à l'issu de ce traitement, tout en consommant le minimum de réactifs, les débits de chlorure d'aluminium et de polymère sont adaptés à chaque instant.
L'automate de la station pilote les pompes injectant ces produits, à partir d'une mesure de débit de l'effluent à traiter.

Préciser si les pompes chlorure d'aluminium et polymère sont commandées en chaîne ouverte ou en boucle fermée.
Justifier votre réponse.

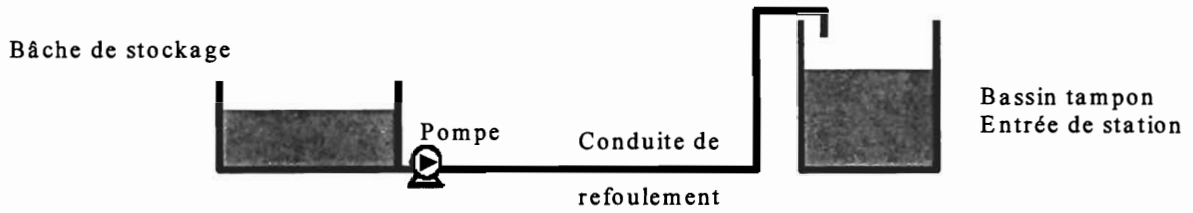
R3. Une pompe doseuse à débit télécommandable injecte de la soude dans le floculateur, de manière à amener l'effluent au pH favorable à la coagulation-floculation.

R3.1. Proposer un schéma fonctionnel (schéma-blocs) de régulation automatique du pH en boucle fermée.

R3.2. En partant d'une hypothèse de baisse du pH de l'effluent, **décrire** l'évolution des grandeurs de la boucle et **conclure** sur le sens d'action du régulateur.

3ème partie : HYDRAULIQUE (15 points)

Les eaux brutes sont transférées à la station de traitement par refoulement.



- Conduite acier DN 160, longueur 525 m, rugosité ε = 0,1 mm.

- Hauteur géométrique d'élévation : 6,5 m (on négligera la variation du niveau dans la bâche de stockage).

- Volume journalier moyen à transférer : 350 m^3.

- Rendement du groupe de pompage : 57 %.

- Les eaux brutes d'origine industrielle sont peu chargées : viscosité cinématique $\nu = 10^{-6}$ m^2/s ; masse volumique =1000 kg/m^3.

Lorsque le niveau haut est atteint dans la bâche de stockage, les eaux brutes sont transférées par pompage vers le bassin tampon à un débit de Q = 140 m^3/h. Une seule pompe fonctionne.

Les parties H1 et H2 sont indépendantes.

H1. CALCUL DU COÛT D'EXPLOITATION EN ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

On négligera les pertes de charge singulières.

H1.1. Calculer la vitesse dans la conduite.

H1.2. Sur le graphique de Colebrook (**annexe 10, page 16/16**), **déterminer** le coefficient de rugosité λ et **coller** (ou **agrafer**) le document sur la copie.
Pour la suite, on prendra λ = 0,020.

H1.3. À l'aide de la formule de Darcy, $\Delta H = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$, **calculer** les pertes de charge dans la conduite.
Δ H : pertes de charge régulières en mce ; g = 9,81 m/s² ; L, D et V en unités SI.

H1.4. Calculer la HMT fournie par la pompe.

H1.5. Calculer la puissance hydraulique de la pompe, ainsi que la puissance électrique à fournir.

H1.6. Pour un fonctionnement de 2 h 30 min et un tarif de 0,082 €/kWh, **calculer** le coût en énergie électrique.

H2. CALCUL DU DIAMÈTRE ÉCONOMIQUE

Le "diamètre économique" d'une conduite résulte d'un compromis entre le coût de l'installation qui diminue, et le coût d'exploitation qui augmente, quand le diamètre diminue.

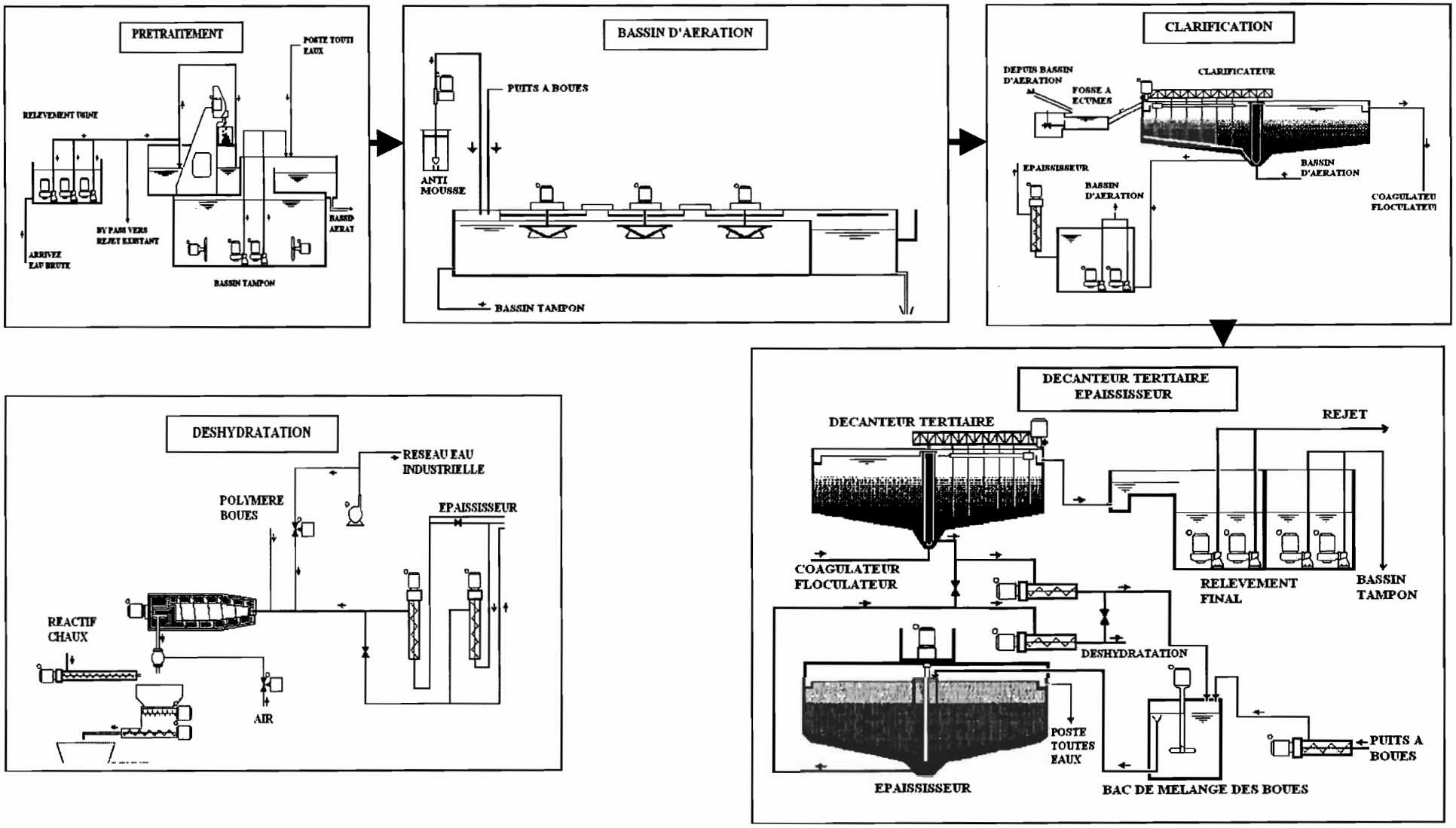
H2.1. Expliquer pourquoi le coût d'exploitation augmente quand le diamètre de la conduite diminue.

H2.2. Calculer la durée journalière moyenne de fonctionnement de la pompe.

H2.3. À l'aide de la formule de Vibert, $D_e = 1547\left(\frac{n \times e}{24 f}\right)^{0,154} Q^{0.46}$, **calculer** le diamètre économique D_e de la conduite, et **conclure** par rapport au diamètre nominal normalisé choisi.

D_e : diamètre économique en mm ; n : durée journalière de pompage en h ;
e : coût du KW.h (0,082 €) ; f : coût du kg de matière (1,20 €).

ANNEXE 1 : Schéma de l'usine de dépollution des effluents industriels



ANNEXE 2 : Caractéristiques de l'usine de dépollution

BASSIN TAMPON Volume utile : 3 500 m^3.	BASSIN d'AÉRATION Volume : 1 900 m^3. Type de charge : faible charge.
CLARIFICATEUR Volume : 900 m^3. Pompe d'extraction : 75 m^3/h.	COAGULATION Volume : 10 m^3. Solution $AlCl_3$ pur 173 g/l. Taux de traitement 51 g/m^3.
FLOCULATION Volume : 10 m^3. Taux de traitement en soude : 150 g/m^3. Taux de traitement polymère : 1,5 g/m^3.	DÉCANTEUR TERTIAIRE Volume : 400 m^3.
ÉPAISSISSEUR Volume 150 m^3. Diamètre : 7 m.	CENTRIFUGEUSE Charge maxi : 200 kg/h. Polymère : 10 kg/tonne de MS. Chaux : 45,2 % / tonne de MS. Dilution : 1 400 l/h.
CUVE DE CHLORURE D'ALUMINIUM Volume : 25 m^3. Concentration : 600 g/l.	CUVE DE SOUDE Volume : 5 m^3. Concentration : 390 g/l.
	POLYMÈRE BOUE Volume : 2 m^3. Concentration : 4,5 g/l.

Les boues déshydratées sont envoyées dans une cimenterie.

Effluent brut : Valeurs nominales

Débit moyen journalier : 2 150 m^3/j.
DCO : 3 500 kg/j.
MES : 300 kg/j.

Débit de pointe journalier : 2 600 m^3/j.
DCO de pointe : 4 200 kg/j.
MES de pointe : 1 600 kg/j.

Exigences épuratoires pour l'effluent rejeté – échantillon moyen 24 h

DCO : 125 mg/l.
DBO_5 : 30 mg/l.
MES : 35 mg/l.
NTK : 15 mg/l.
Hydrocarbure : 2 mg/l.

PH 5.5 à 8.5.
Température < 30 °C.
Débit maxi journalier : 2 000 m^3.
P total : 2 mg/l.

ANNEXE 3 : Caractéristiques des turbines d'aération

Le bassin à boues activées est aéré par l'intermédiaire de 3 turbines.
Fonctionnement actuel des turbines en cadence durée : turbines A et B : 8 h/j chacune, C : 12 h/j.
Puissance absorbée par turbine : 20,6 Kw.
Apport spécifique brut (ASB) de chaque turbine : 1,8 kg O_2/kWh.
Facteur correctif global (eau/boue) FCG : 0,6.

ANNEXE 4 : Résultats d'analyses (bilan 24 h)

Les effluents variables en quantité et en qualité sont colorés par des pigments non biodégradables.

EFFLUENT ENTRÉE USINE DE DÉPOLLUTION							
Effluent de la teinturerie					*Ecoflow**		
Débit m^3/j	pH	DCO mg O_2/l	DBO_5 mg O_2/l	MES mg/l	***Volume m^3***	*DCO mg O_2/l*	*MES mg/l*
532	7,96	525	177	40	***60***	*17 567*	*3109*

* Écoflow : effluents des petites entreprises textiles dépotés pendant le bilan 24 h.

EFFLUENT ENTRÉE DU BASSIN D'AÉRATION					BOUES ACTIVÉES	
Débit m^3/j	pH	DCO mg O_2/l	DBO_5 mg O_2/l	MES mg/l	MS g/l	MVS g/l
569	7,65	549	185	200	6,23	3,75

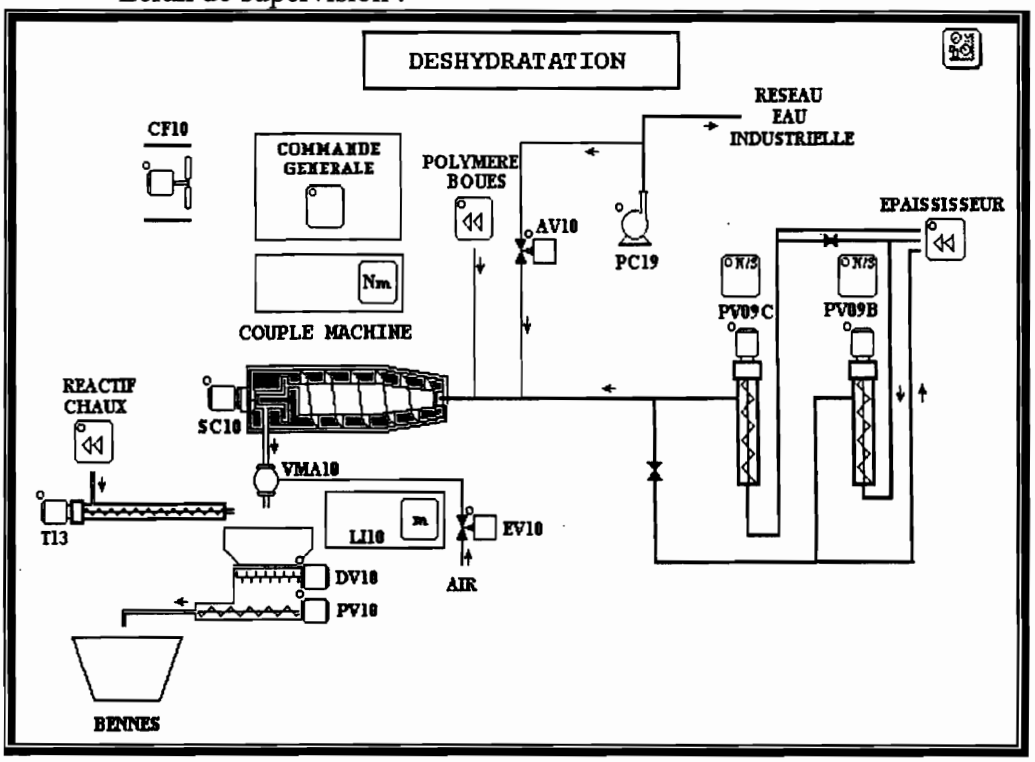
SORTIE DU CLARIFICATEUR			BOUES CLARIF	BOUES DÉCANTEUR TERTIAIRE	REJET À LA RIVIÈRE APRÈS LE TRAITEMENT TERTIAIRE				
DCO mg O_2/l	DBO_5 mg O_2/l	MES mg/l	MS g/l	MS g/l	pH	DCO mg O_2/l	DBO_5 mg O_2/l	MES mg/l	Turbidité NTU
126	22	36	8,76	5,95	7,52	42	16	5	5,1

Caractéristiques des boues

Boues épaissies : 40 g/l.
Débit d'alimentation des boues dans la centrifugeuse : 5 m^3/h.
Siccité : - sortie de la centrifugeuse : 19 % ;
- après chaulage : 35 %.

ANNEXE 5 : Déshydratation des boues

- Écran de supervision :



SC10 : moteur de la centrifugeuse.

PV10 : pompe évacuation des boues.

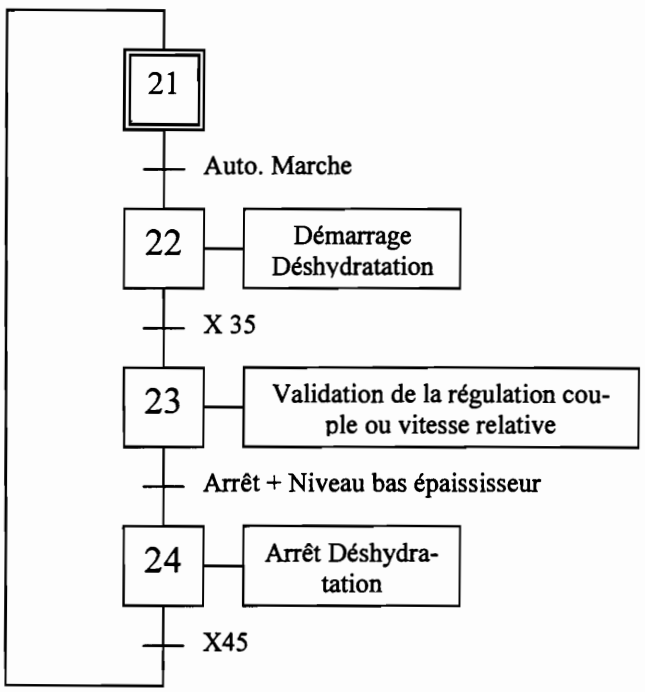
DV10 : dévouteur.

EV10 : commande vanne manchette évacuation des boues.

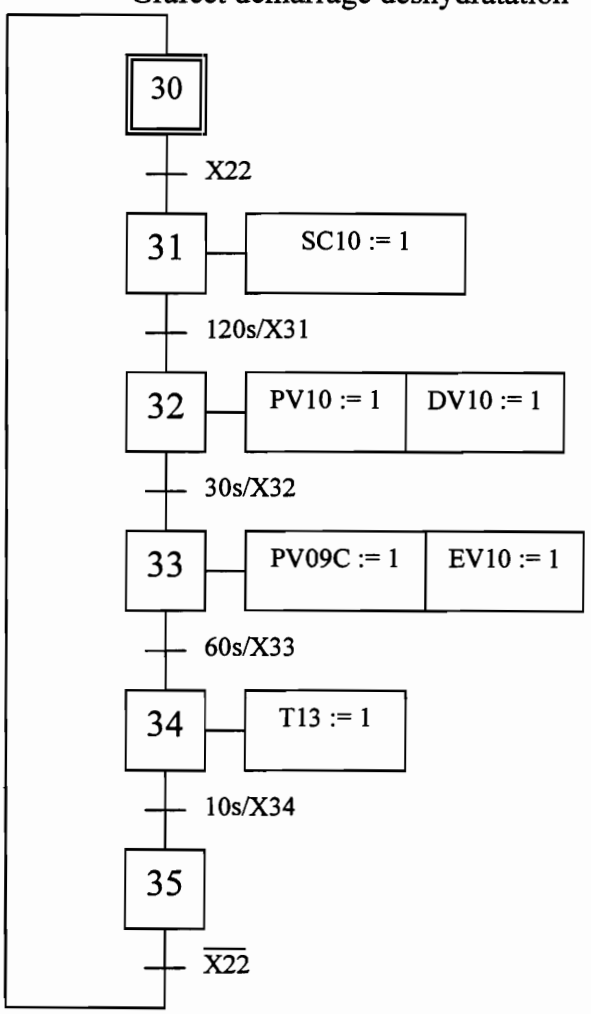
PV09C : pompe d'alimentation en boue humide.

T13 : vis convoyeuse de chaux.

- Grafcet général déshydratation



- Grafcet démarrage déshydratation



ANNEXE 6 : Chutes de tension

- Calcul de la chute de tension composée dans un câble triphasé en trèfle de longueur L :

$$\Delta U(V) = \sqrt{3} \times Ku \times I(A) \times L(km)$$

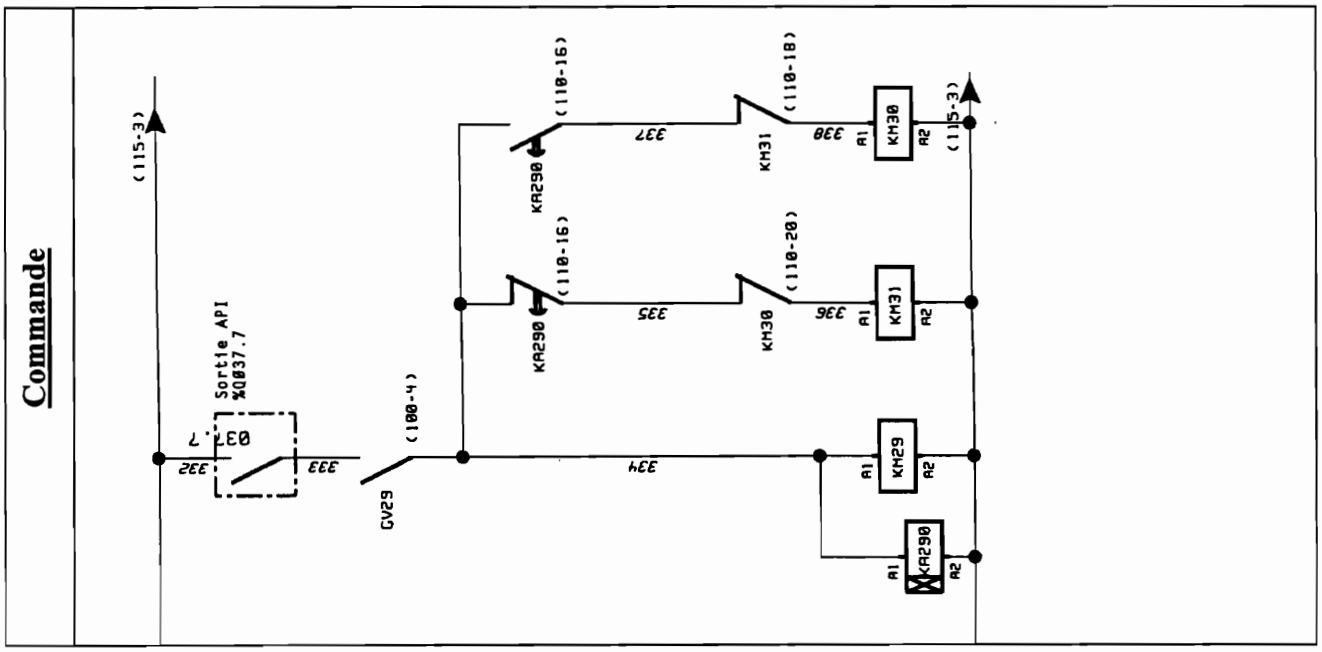
- Tableau des coefficients Ku :

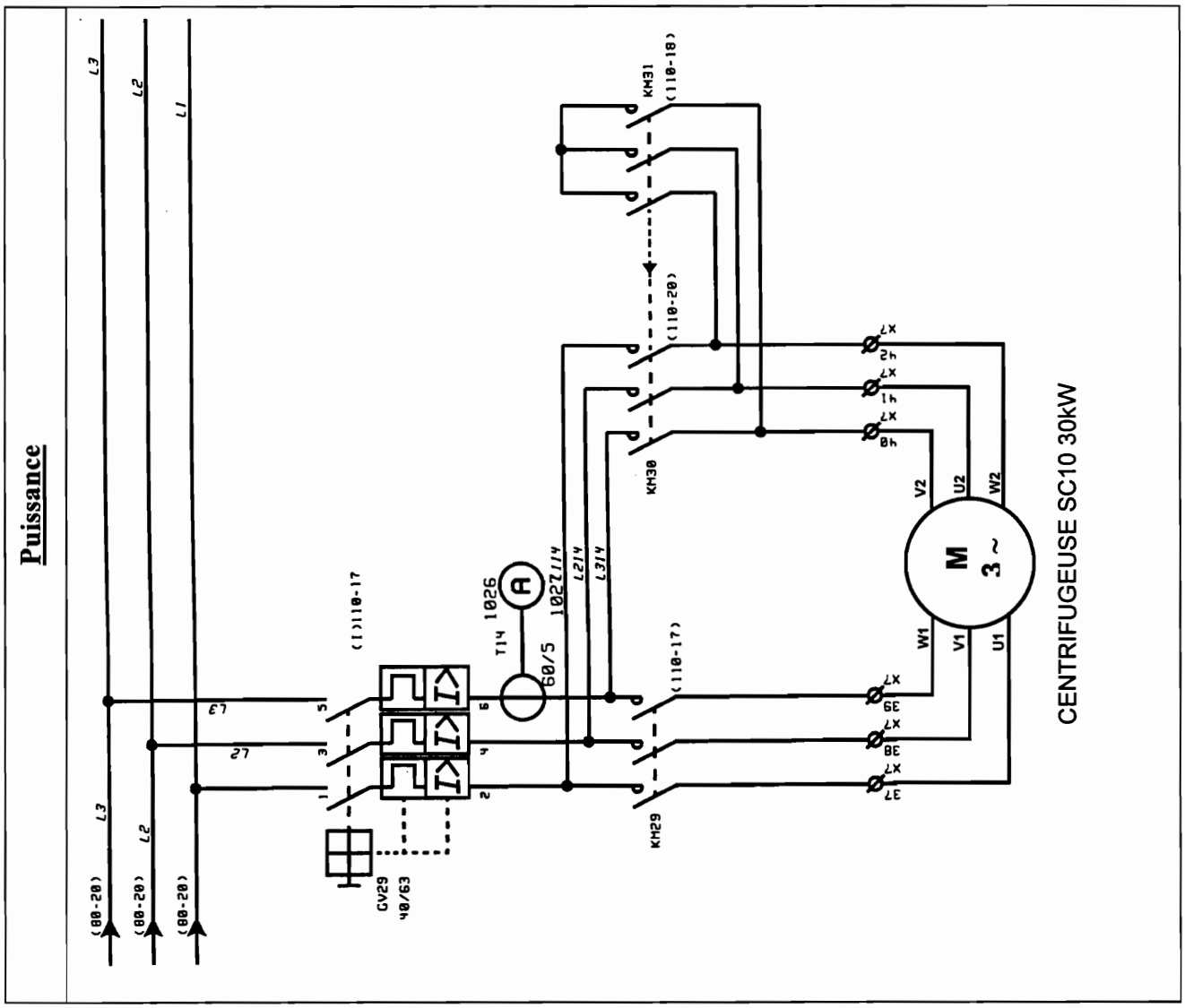
SECTION CABLE mm²	COURANT CONTINU	Câbles multiconducteurs ou monoconducteurs en trèfle		
		cos 0,3	cos 0,5	cos 0,6
1,5	30,67	4,68	7,74	12,31
2,5	18,40	2,84	4,67	7,41
4	11,50	1,80	2,94	4,65
6	7,67	1,23	1,99	3,11
10	4,60	0,77	1,22	1,89
16	2,88	0,51	0,79	1,20
25	1,84	0,35	0,53	0,78
35	1,31	0,27	0,40	0,57
50	0,92	0,21	0,30	0,42
70	0,66	0,17	0,23	0,31
95	0,48	0,15	0,19	0,24
120	0,38	0,13	0,17	0,20
150	0,31	0,12	0,15	0,17
185	0,25	0,11	0,13	0,15
240	0,19	0,10	0,12	0,12
300	0,15	0,10	0,11	0,11
400	0,12	0,09	0,10	0,09

- Tableau des chutes de tensions admissibles selon NFC15-100 :

	ECLAIRAGE	AUTRES USAGES
Alim. directe par réseau public BT		
• circuits monophasés	6 %	10 %
• circuits triphasés	3 %	5 %
Alimentation par poste HT/BT		
• circuits monophasés	12 %	16 %
• circuits triphasés	6 %	8 %

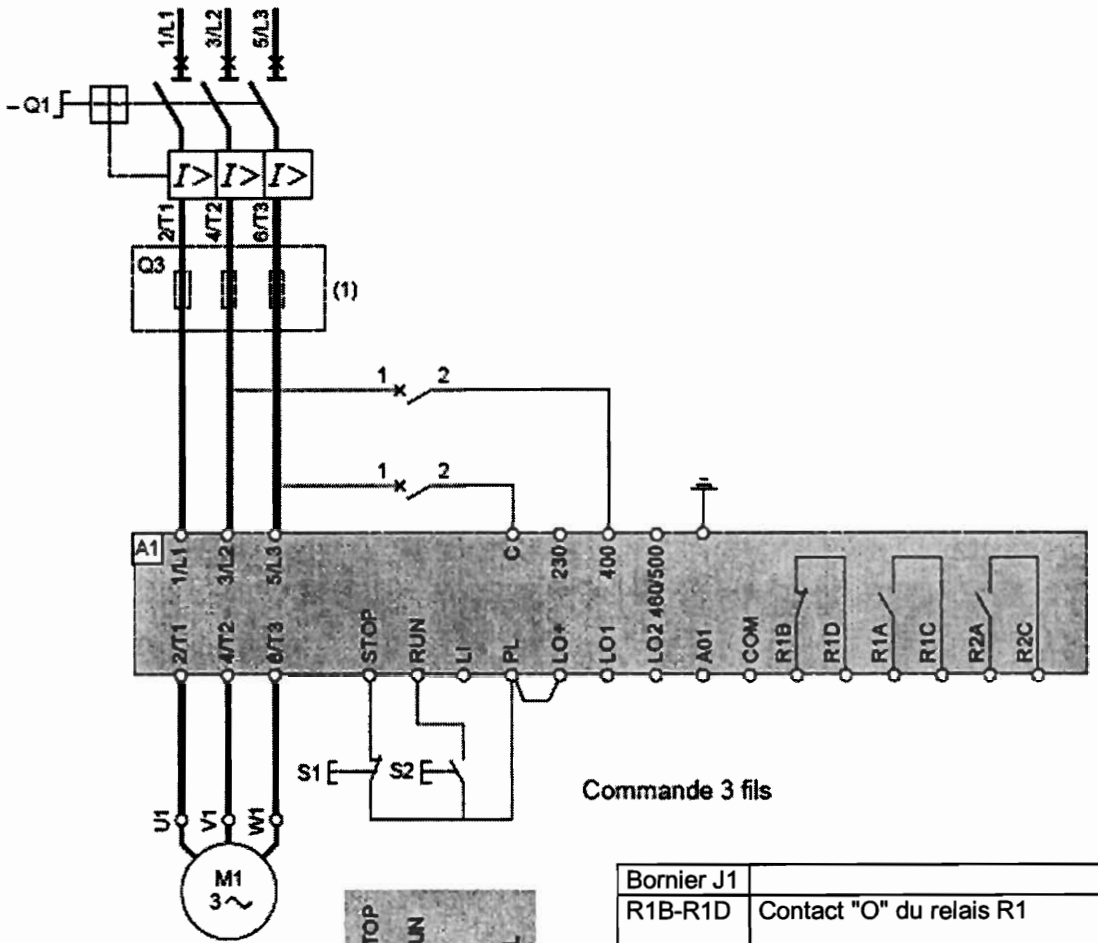
ANNEXE 7 : Schémas du moteur de centrifugeuse



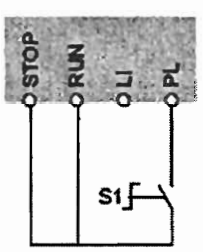


ANNEXE 8 : Démarreur électronique

Moteur				Démarreur			
Puissance moteur				Courant réglage usine (In)	Calibre (IcL)	Démarreur Référence (1)	Masse
230 V	400 V	440 V	500 V				
kW	kW	kW	kW	A	A		kg
4	7,5	7,5	9	15,2	17	ATS-46D17N	4,100
5,5	11	11	11	21	22	ATS-46D22N	4,100
7,5	15	15	18,5	28	32	ATS-46D32N	4,400
9	18,5	18,5	22	34	38	ATS-46D38N	4,400
11	22	22	30	42	47	ATS-46D47N	6,900
15	30	30	37	54	62	ATS-46D62N	6,900
18,5	37	37	45	68	75	ATS-46D75N	10,700
22	45	45	55	80	88	ATS-46D88N	10,700



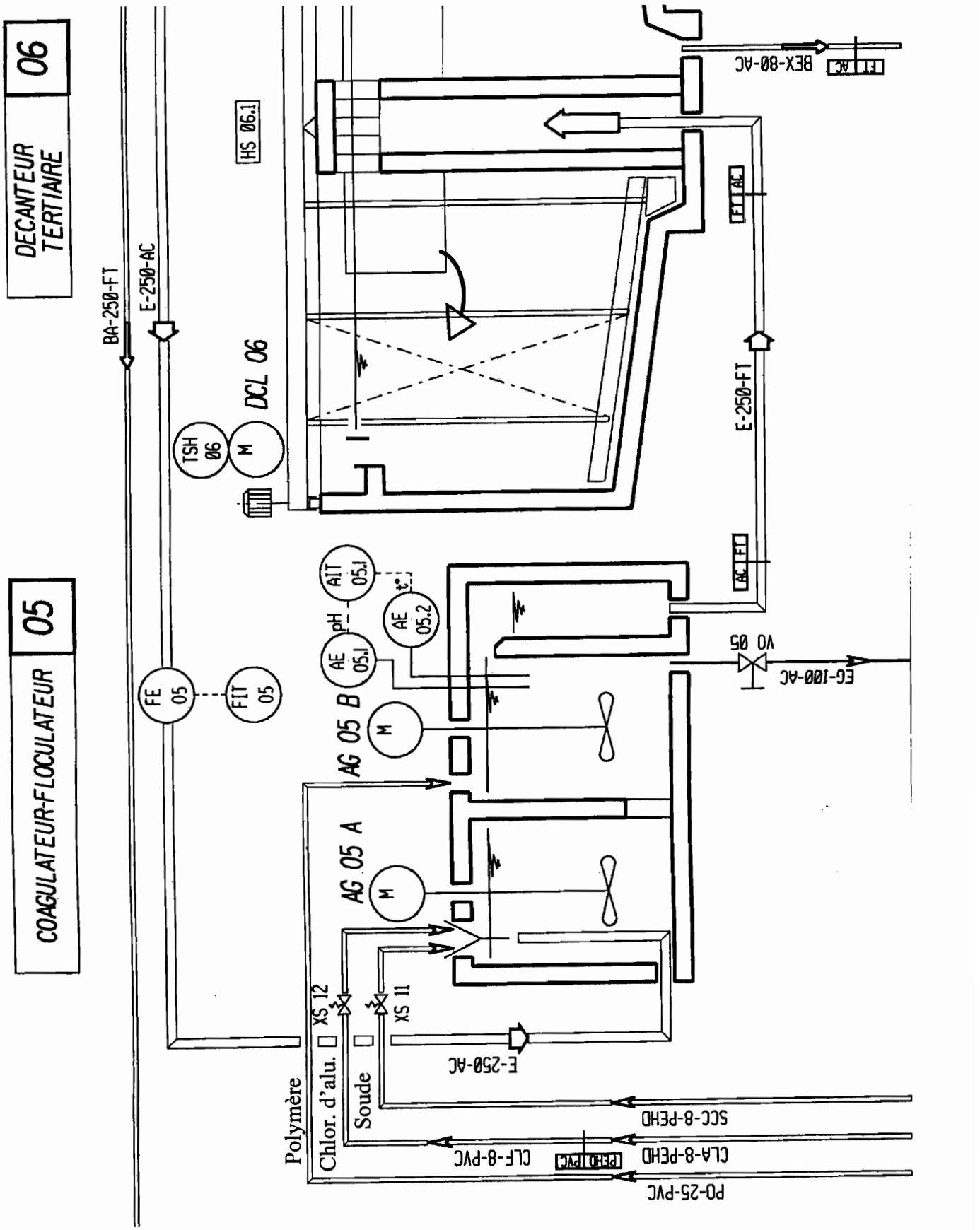
Commande 3 fils



Commande 2 fils

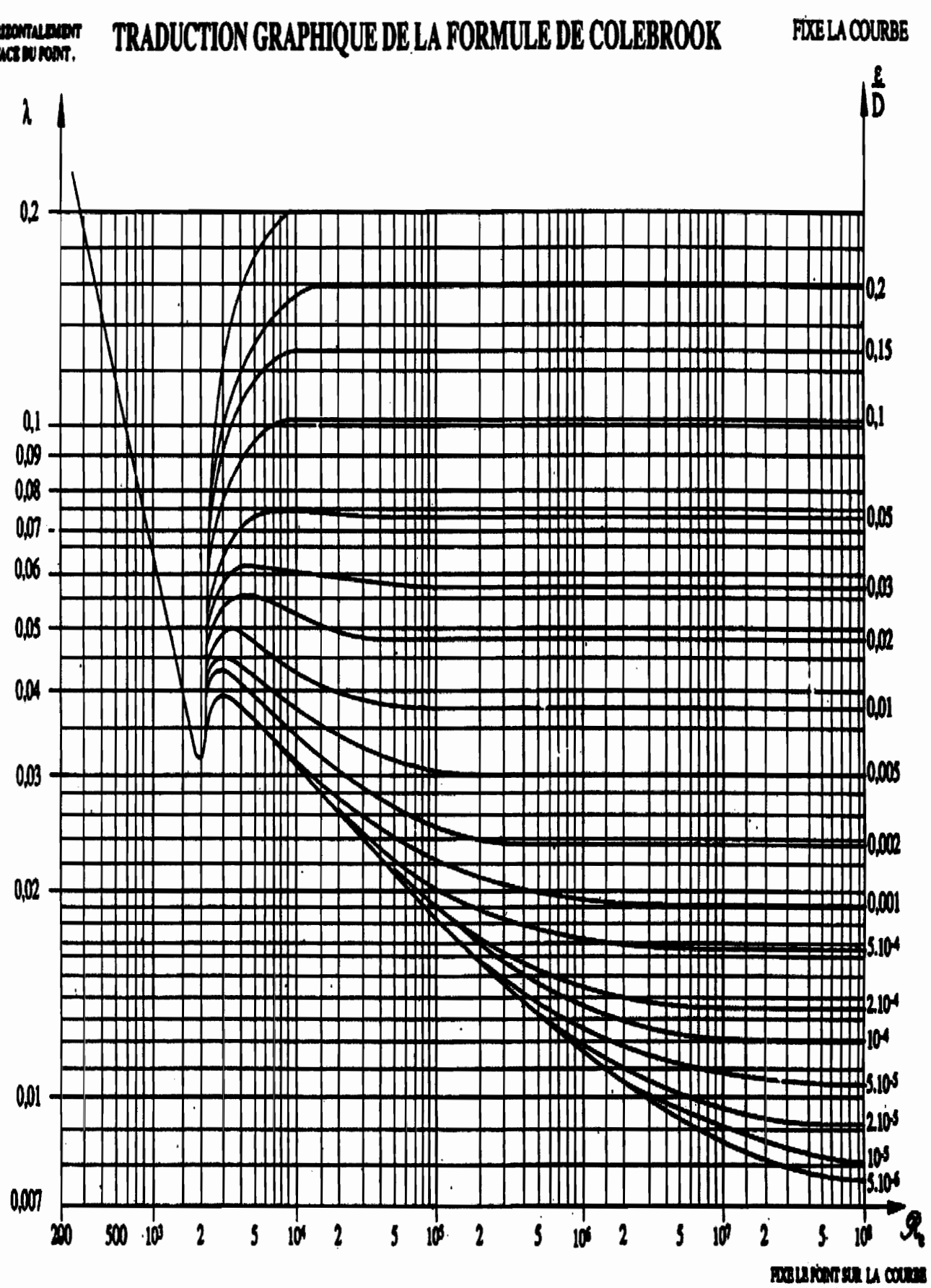
Bornier J1	
R1B-R1D	Contact "O" du relais R1
R1A-R1C	Contact "F" du relais R1 Enclenchement à la mise sous tension Déclenchement sur défaut
R2A-R2C	Contact "F" du relais R2 Enclenchement à la fin du démarrage

ANNEXE 9 : Instrumentation du traitement tertiaire



ANNEXE 10 : Graphique de Colebrook

LU HORIZONTALEMENT EN FACE DU POINT.



Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.