



OPTIMISATION DU CIRCUIT DE L'ELUTION DE LA MINE D'OR DE LA SOCIETE IAMGOLD ESSAKANE : VOLET ELECTRIQUE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION D'UN

MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : **GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le : 27 octobre 2016

Par :

ANSSINLI Claude Renaud

Travaux dirigés par :

✚ **Dr Daniel YAMEGUEU, Enseignement-Chercheur, Laboratoire d'Energie
Solaire et d'Economie d'Energie (LESEE), 2iE**

✚ **M. André MILLOGO, Ingénieur Electrique, IAMGOLD Essakane S.A**

Jury d'évaluation du stage

Président : M. Justin BASSOLE

Membres et correcteurs : Dr Daniel YAMEGUEU

M. Madieumbe GAYE

Promotion [2015/2016]

Dédicaces

A

- ***Ma mère Affouet Jeanine ASSEMAND***
- ***Mon père Joseph Claude ANSSINLI***

Remerciements

✚ Le présent travail a été effectué au sein du bureau d'ingénierie, section électrique de l'usine de la compagnie minière IAMGOLD Essakane SA. Nous n'aurions pu réaliser cette étude sans l'aide de personnes diverses au sein de l'usine comme de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement.

A ce propos, c'est avec un agréable plaisir que je tiens à remercier chaleureusement mon encadreur au sein de l'usine Essakane, M. André MILLOGO ; avec qui la collaboration fut forte enrichissante ainsi que Messieurs Charles-Guillaume GREGOIRE et Mathieu GAUDREAULT, coresponsable de la section électrique du bureau d'ingénierie.

✚ Je tiens à remercier particulièrement mon encadreur au sein de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement Dr Daniel YAMEGUEU pour avoir accepté m'accompagner tout au long de cette étude.

✚ Mes pensées vont aussi à l'endroit de Messieurs Gaston Touro KAMBWOLE et Moussa KADRI pour les conseils techniques et aussi à Mme Béatrice YOUNGBARE, conseillère ressource humaine chargé de l'acquisition des talents à IAMGOLD.

RESUME

L'optimisation du circuit de l'élution de la mine d'or de l'entreprise IAMGOLD Essakane (volet électrique) qui fait l'objet du présent mémoire, a pour objectif d'augmenter sa production aurifère et d'améliorer la qualité des opérations dans ce secteur. Elle vise également la réduction des risques d'accident dans ce secteur de récupération chimique de l'or. En effet, elle permettra d'augmenter le nombre d'élution mensuel qui passera de 30 à 50 en moyenne. Elle fournira plus de moyen de contrôle et de suivi des opérations menées dans ledit secteur.

Cette étude a été réalisée en deux grandes parties : électrique et instrumentation. La partie électrique traite en premier lieu du dimensionnement de plusieurs démarreurs de pompes à partir d'un tableau général basse tension (400 V). Celui-ci a pour objectif d'optimiser le circuit de puissance et de commande de pompes. Ensuite, elle aborde la détermination de la section de leurs câbles d'alimentation pour assurer leur fonctionnement. Enfin, elle présente le dimensionnement de leurs variateurs de vitesse en vue de contrôler le débit de fluide pompé. La partie instrumentation se rapporte au dimensionnement de plusieurs transmetteurs (sondes de pression, de température, de niveau, alarme sonore) et aussi d'une vanne automatique. Elle a pour but d'améliorer le monitoring du processus d'élution.

La réalisation du projet nécessite un coût d'investissement de **53.660,04 Euros** soit **35.198.678,86 F CFA**.

ABSTRACT

The optimization of the elution circuit of the gold mine of the company IAMGOLD Essakane (electric component) which is the subject of this specification aims to increase its gold production and improve the quality of operations in this sector. It also aims to reduce the risk of accidents in the chemical recovery area for gold. In fact, it will increase the number of monthly elution who spend 30 to 50 on average. It will provide more control and monitoring means the operations in the said sector.

This study was conducted in two parts: electrical and instrumentation. The electrical part deals first sizing several starters pumps from a general low voltage switchboard (400 V). This aims to optimize the power circuit and pump control. Then it addresses the determination of the section of their power cables to ensure their operation. Finally, it has the dimensioning of their drive controllers to control the flow of fluid pumped. The instrumentation part relates to the design of several transmitters (pressure sensors, temperature, level, audible alarm) and also an automatic valve. It aims to improve the monitoring of the elution process.

The project requires an investment cost of **53,660.04 Euros** or **35,198,678.86 CFA**.

LISTE DES ABREVIATIONS

ppm : partie par million

CIL : carbon in leach

GRU : gestion des résidus de l'usine

Ca : calcium

Fe : fer

Ni : nickel

µm : micromètre

m : mètre

HCN : cyanure d'hydrogène

m³ : mètre cube

kPa : kilo pascal

°C : degré Celsius

V : volt

A : ampère

km : kilomètre

Hz : hertz

kW : kilowatt

tr/mn : tour par minute

mΩmm²/m : milli ohm millimètre carré par mètre

mΩ/m : milli ohm par mètre

mm² : millimètre carré

Pdc : pouvoir de coupure

dB : décibel

VAC : volt ampère current

VDC : volt direct current

pH : potentiel hydrogène

PIT : Pression indicator transmitter

TCV : Temperature control valve

TT : Temperature transmitter

LIT: Level indicator transmitter

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Données recueillies sur les plaques signalétiques des moteurs des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05	16
Tableau II: Calcul de l'impédance totale par phase du réseau amont (pompes 307-PP-04 et 307-PP-05)	19
Tableau III: Données recueillies sur la plaque signalétique du moteur de la pompe 305-PP-101	24
Tableau IV: Calcul de l'impédance totale par phase du réseau amont (pompe 305-PP-101) ..	26
Tableau V: Données recueillies sur les plaques signalétiques des moteurs des brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02	28
Tableau VI: Calcul de l'impédance totale par phase du réseau amont (pompes 307-BL-01 et 307-BL-02)	30
Tableau VII: Récapitulatif des données électriques	33
Tableau VIII: Récapitulatif des références des équipements (partie électrique)	34
Tableau IX: Récapitulatif des références des équipements de l'instrumentation	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte présentant les différents sites miniers du Burkina Faso [2]	6
Figure 2: Flowsheet de l'usine de IAMGOLD Essakane SA présentant les différents secteur .	8
Figure 3: Présentation du secteur de l'élution avec ses principaux équipements	13
Figure 4: Présentation des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05.....	15
Figure 5: Disjoncteur compact NS80H-MA	20
Figure 6: Présentation du contacteur LC1D95F7.....	21
Figure 7: Présentation du Tesys T LTMR100EFM	22
Figure 8: Présentation du variateur de vitesse ABB de modèle ACS800-01-0050-3	23
Figure 9: Présentation de la pompe 305-PP-101	23
Figure 10: présentation du bruleurs 307-BL-01	28
Figure 11: Présentation du preventa XPSAC3421	32
Figure 12: Présentation d'arrêt d'urgence de modèle XB4BS84441 Schneider Electric	33
Figure 13: Présentation de la sonde de niveau Sitrans LR260	36
Figure 14: Présentation de la vanne automatique Fisher de modèle GX D103171X0FR.....	37
Figure 15: Présentation de la sonde de température Pt100	37
Figure 16: Présentation de la sonde de température Rosemount 2051TG2A2B21AS1KDM5D4.....	38
Figure 17: Présentation de la sirène Buzzer 109 dB du manufacturier Werma signaltechnik .	39

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
I. INTRODUCTION GENERALE	1
I.1. Contexte de l'étude.....	1
I.2. Problématique.....	1
I.3. Objectifs de l'étude	2
I.4. Les composantes du projet	2
I.5. Méthodologie	3
I.5.1. Partie électrique	3
I.5.2. Partie instrumentation.....	4
II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	5
II.1. Situation géographique d'Essakane	5
II.2. Présentation de l'usine	6
II.2.1. Section concassage	9
II.2.2. Section broyage	9
II.2.3. Récupération gravimétrique	10
II.2.4. Epaisseur	10
II.2.5. CIL (Carbon In Leach).....	10
II.2.6. GRU (Gestion des Résidus de l'Usine).....	11
II.2.7. Elution et régénération du charbon	11
II.2.8. Raffinerie.....	13

III. ETUDE TECHNIQUE	14
III.1. Partie électrique	14
III.1.1. Dimensionnement des câbles d'alimentation et des démarreurs des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05.....	15
III.1.1.1. Dimensionnement des câbles	16
III.1.1.1.1. Mode de pose.....	16
III.1.1.1.2. Facteurs de correction.....	16
III.1.1.1.3. Section de câble	17
III.1.1.1.4. Chute de tension	17
III.1.1.2. Dimensionnement de disjoncteur	18
III.1.1.3. Dimensionnement de contacteur	20
III.1.1.4. Dimensionnement de tesys T	21
III.1.1.5. Dimensionnement de variateur de vitesse.....	22
III.1.2. Dimensionnement du câble d'alimentation et du démarreur de la pompe 305-PP-101.....	23
III.1.2.1. Dimensionnement du câble d'alimentation.....	24
III.1.2.1.1 Section de câble	24
III.1.2.1.2. Chute de tension	25
III.1.2.2. Dimensionnement du disjoncteur.....	25
III.1.2.3. Dimensionnement du contacteur.....	26
III.1.2.4. Dimensionnement du tesys T	27
III.1.2.5. Dimensionnement du variateur de vitesse.....	27
III.1.3. Dimensionnement des câbles d'alimentation et des démarreurs des moteurs des brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02	27
III.1.3.1. Dimensionnement des câbles d'alimentation.....	29
III.1.3.1.1. Section de câble	29
III.1.3.1.2. Chute de tension	29
III.1.3.2. Dimensionnement de disjoncteur	30

III.1.3.3. Dimensionnement de contacteur	31
III.1.3.4. Dimensionnement de tesys T	31
III.1.3.5. Les arrêts d'urgences.....	31
III.1.4. Récapitulatif des données électriques et des références des équipements.....	33
III.1.4.1. Données électriques.....	33
III.1.4.2. Références des équipements.....	33
III.2. Partie instrumentation.....	34
III.2.1. Sonde de niveau pour la colonne d'élution 307-CM-01	35
III.2.2. Vanne de contrôle automatique	36
III.2.3. Sonde de température.....	37
III.2.4. Sondes de pression.....	37
III.2.5. Avertisseurs sonores d'alarme	38
III.2.6. Récapitulatif des équipements	39
IV. CONCLUSION	41
REFERENCES.....	42
ANNEXES	I
Annexe 1: Méthode de référence [4].....	I
Annexe 2: Facteur de correction en fonction de la méthode de référence [4].....	II
Annexe 3: Facteur de correction en fonction de la température ambiante [4]	III
Annexe 4: Facteur de correction en fonction du regroupement de circuit [4]	III
Annexe 5: Facteur de correction en fonction du nombre de couche [4]	IV
Annexe 6: Choix de la section de câble [4].....	IV
Annexe 7: Impédance du réseau amont ramenée au secondaire du transformateur HT/BT [4] V	
Annexe 8: Impédance, résistance et réactance d'un transformateur [4].....	V
Annexe 9: Schéma électrique unifilaire des moteurs des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05 ...	VI
Annexe 10: Schéma électrique unifilaire du moteur de la pompe 305-PP-101	VII

Annexe 11: Schéma électrique unifilaire pour les moteurs des brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02.....	VIII
Annexe 12: Schémas électriques des arrêts d'urgence.....	IX
Annexe 13: Schéma électrique de raccordement des modules de sécurité des arrêts d'urgence aux sorties digitales de l'automate	X
Annexe 14: Schéma électrique de raccordement de la sonde de niveau à une entrée analogique de l'automate	XI
Annexe 15: Schéma électrique de raccordement de la vanne de contrôle à une sortie analogique de l'automate	XII
Annexe 16: Schéma électrique de raccordement de la sonde de température à une entrée analogique de l'automate	XIII
Annexe 17: Schéma électrique de raccordement des sondes de pression à des entrées analogiques de l'automate	XIV
Annexe 18: Schéma électrique de raccordement de l'avertisseur sonore d'alarme à une sortie digitale de l'automate	XVI
Annexe 19: Fiche technique de disjoncteur compact [5]	XVII
Annexe 20: Fiche technique de contacteurs [7]	XVIII
Annexe 21: Fiche technique de variateur de vitesse [11].....	XIX
Annexe 22: Devis quantitatif et estimatif.....	XX

I. INTRODUCTION GENERALE

I.1. Contexte de l'étude

Au regard du contexte mondial relatif aux minerais et à l'or en particulier, marqué par un ralentissement de ses cours ces dernières années, l'entreprise a entrepris des projets pour augmenter sa production. Le Burkina Faso, pays à fort potentiel aurifère regorge de ressource minière importante sur l'ensemble de son territoire, particulièrement dans sa partie septentrionale. Cela a pour bénéfice de faciliter les activités de prospection de l'entreprise vu qu'elle a son usine qui est implantée au nord du pays. Ainsi, dans le souci d'augmenter sa production, on note des projets de prospection, d'optimisation du processus de récupération physique et chimique de l'or, d'amélioration continue du système de production.

C'est dans cette veine que l'usine de production de l'entreprise aurifère IAMGOLD Essakane SA s'est engagée dans un vaste projet d'amélioration continue de ses différentes installations. Prenant en compte les risques en santé-sécurité au travail observés (risques de blessure ou d'accident des travailleurs) et aussi des possibilités existantes d'augmentation de sa production aurifère, elle a adhéré au projet d'optimisation de son circuit d'élution qui nous été confié.

L'élution est un procédé de récupération chimique de l'or capté par le charbon actif par une solution concentrée de soude caustique ou de cyanure.

Sur la base d'études appropriées réalisées par les différents départements (opération, métallurgie) intervenant dans l'exploitation du système de production, l'usine a entrepris d'effectuer des modifications. Elles consistent au remplacement d'équipement inadapté au processus de production, l'ajout ou la modification de certains systèmes pour améliorer la production, la maintenance de ses équipements et aussi renforcer la sécurité des ouvriers exerçants sur le site.

I.2. Problématique

La problématique qui sous-tend notre étude est née de la difficulté d'opérations dans le secteur de l'élution avec son impact négatif sur la production aurifère. Ainsi, elle peut être libellée de la manière suivante : Comment optimiser le circuit de l'élution du point de vue électrique de sorte à améliorer la production aurifère ?

I.3. Objectifs de l'étude

L'étude initiée par le Bureau d'Ingénierie (Section Electrique) de l'usine de production de l'entreprise IAMGOLD Essakane SA s'inscrit de façon globale dans le cadre de l'amélioration continue du système de production de l'usine. Ainsi, cette étude qui concerne le secteur de l'élution vise les objectifs suivants :

- La réduction des facteurs de risque en santé-sécurité au travail ;
- L'amélioration de la qualité des opérations dans le secteur de l'élution ;
- L'augmentation de la production mensuelle de l'or.

Ce projet a pour but pour l'usine de fournir plus de moyen pour le suivi et le contrôle des opérations du circuit de l'élution et d'augmenter le nombre d'élution par mois qui passera de 30 à 50 en moyenne. En effet les paramètres de contrôle étant pour la plupart manuel faisait perdre l'efficacité (perte considérable de temps dans l'exécution des opérations dans le secteur).

I.4. Les composantes du projet

De manière pratique, le projet d'optimisation du secteur de l'élution (volet électrique) dont le cahier de charge a été élaboré par le département de l'opération de l'usine concerne deux (02) parties :

- La partie électrique : elle est relative à l'étude pour l'installation de démarreurs et de variateurs de vitesse pour plusieurs pompes situées dans le secteur de l'élution. L'installation de ces démarreurs à partir du tableau général basse tension (TGBT) a pour but d'avoir un meilleur contrôle sur le fonctionnement des équipements concernés en ajustant de façon appropriée le débit de fluide.
- La partie instrumentation : l'étude à travers l'installation de divers transmetteurs s'inscrit dans la volonté de pouvoir apprécier le niveau de substances utilisées, d'évaluer de façon précise des valeurs de pression et de températures. Il y a aussi une volonté de contrôle de l'ouverture et de la fermeture de vanne à distance ; la mise en place de dispositif de sécurité pour des questions de sécurité au travail.

De manière globale, on note de la part des porteurs du projet une volonté de contrôle des différents paramètres du processus qui concernent ce secteur à savoir le débit de solution pauvre (mélange eau et soude caustique), sa température, sa pression et la mesure du bon

niveau de trempage de la solution pauvre chauffée dans le charbon riche au niveau de la colonne d'élution.

I.5. Méthodologie

I.5.1. Partie électrique

L'étude s'appuie sur la norme française NFC 15 100 qui régleme les installations électriques en basse tension. Elle porte particulièrement sur la protection des installations électriques et des personnes, ainsi que sur le confort de gestion, l'usage et l'évolutivité des installations. Elle traite de la conception, de la réalisation, de la vérification et de l'entretien des installations électriques alimentées sous une tension électrique au plus égale à 1000 volts en courant alternatif et à 1500 volts en courant continu [1].

Pour réaliser les circuits de puissances des différentes pompes, les équipements principaux clairement identifiés sont : les disjoncteurs, les contacteurs, et les tesys T.

L'estimation de la distance est réalisée en fonction de la distance séparant les moteurs de la salle électrique la plus proche. Les données techniques sur la plaque signalétique des moteurs des pompes sont exploitées pour tirer les données nécessaires dans le calcul du courant nominal, du courant de démarrage, de la chute de tension en régime nominal et au démarrage afin de dimensionner la section minimale de câble nécessaire pour le circuit de puissance.

Les mêmes données permettront également de dimensionner les disjoncteurs, les contacteurs, les tesys T et les variateurs de vitesse.

Chute de tension entre le transformateur et le tableau général basse tension

Le transformateur raccordé au tableau général basse tension possède les caractéristiques suivantes :

- Puissance apparente : $S = 630 \text{ kVA}$
- Tension au primaire du transformateur : $U_1 = 6,6 \text{ kV}$
- Tension au secondaire du transformateur : $U_2 = 410 \text{ V}$
- Intensité du courant au secondaire du transformateur : $I_2 = 887,1 \text{ A}$
- Intensité du courant au secondaire du transformateur : $I_2 = 55,1 \text{ A}$
- Tension de court-circuit : $U_{cc} = 4 \%$

La distance séparant le transformateur du tableau général basse tension est estimée à 05 mètres.
La section de câble utilisée est 3 câbles 3x240 mm².

$$\Delta U = \sqrt{3} I \left(\rho * \frac{L}{S} * \cos \varphi + X * L * \sin \varphi \right) \quad (1)$$

Avec **I** l'intensité du courant en A, **ρ** la résistivité du fil conducteur (0,0225 Ωmm²/m), **X** la réactance linéique (0,08 mΩ/m), **L** la longueur du câble utilisé en mètre et **φ** le déphasage entre le courant et la tension par phase.

$$\cos \varphi = 0,8 \text{ et } \sin \varphi = 0,6$$

$$\rho = 0,0225 \text{ } \Omega \text{mm}^2/\text{m} \text{ et } X = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * 887,1 * \left((0,0225 * \frac{5}{3*240} * 0,8) + (0,08 * 10^{-3} * 5 * 0,6) \right)$$

$$\Delta U = 0,56 \text{ V}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{100 * \Delta U}{U_2}$$

$$\Delta U(\%) = 0,14$$

Cette chute de tension est acceptable. En effet, la norme (NFC 15 100) autorise une chute de tension maximale de 3 % entre le transformateur et le tableau général basse tension pour une alimentation par poste privé HT/BT.

Il est important de noter que tous les équipements concernés par le projet sont alimentés par une tension triphasée de 400V/50Hz pour la partie puissance et la partie commande est alimentée par une tension monophasée de 110V/50Hz.

I.5.2. Partie instrumentation

En ce qui concerne les signaux de type analogique, les mesures s'effectuent sur des fluides liquides et des composés solides à des températures et pressions variées. Le dimensionnement et le choix des transmetteurs sont basés sur :

- L'ordre de grandeur des paramètres physiques à mesurer ;
- La nature et les caractéristiques du fluide et composé solide traité ;
- Les conditions liées aux opérations et à l'environnement ;
- Les caractéristiques électriques (surtout la tension).

Les signaux de type digital s'appliquent aux arrêts d'urgence et la sirène. Pour les arrêts d'urgence, le choix est basé sur la disponibilité d'un modèle facilement exploitable par du personnel non électriciens (les opérateurs) et du niveau de sécurité. Le choix de la sirène est fait en tenant compte du niveau sonore et de la tension d'alimentation.

Compte tenu de la position des armoires électriques des automates, la section des câbles est un facteur déjà pris en compte avant de définir les emplacements pour minimiser les pertes de données. Ainsi, pour tout ce qui est de l'instrumentation, la section de câble la plus utilisée est de 1,5mm² et le nombre de conducteurs dépend des besoins et de l'équipement. Les câbles sont de type armé pour la protection contre les chocs et les caractéristiques du fil conducteur sont liées à la nature du signal (analogique ou digital).

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

II.1. Situation géographique d'Essakane

IAMGOLD est une compagnie minière exploitant le gisement d'or d'Essakane dont le permis a une superficie d'environ 1400 km² et est situé à 330 km au nord-est de la capitale du Burkina Faso, Ouagadougou. Il chevauche la limite des provinces de l'Oudalan et du Séno dans la région du Sahel. Il est situé à 42 km à l'est de Gorom-Gorom la ville la plus proche. L'accès depuis la capitale Ouagadougou se fait par une route bitumée sur 263 km jusqu'à la ville de Dori, puis par la route en latérite sur quelque 63 km jusqu'à Essakane. L'accès par la ville de Gorom-Gorom, à l'ouest est également possible. IAMGOLD détient une participation de 90 % dans Essakane, et le gouvernement du Burkina Faso, les 10 % restant.

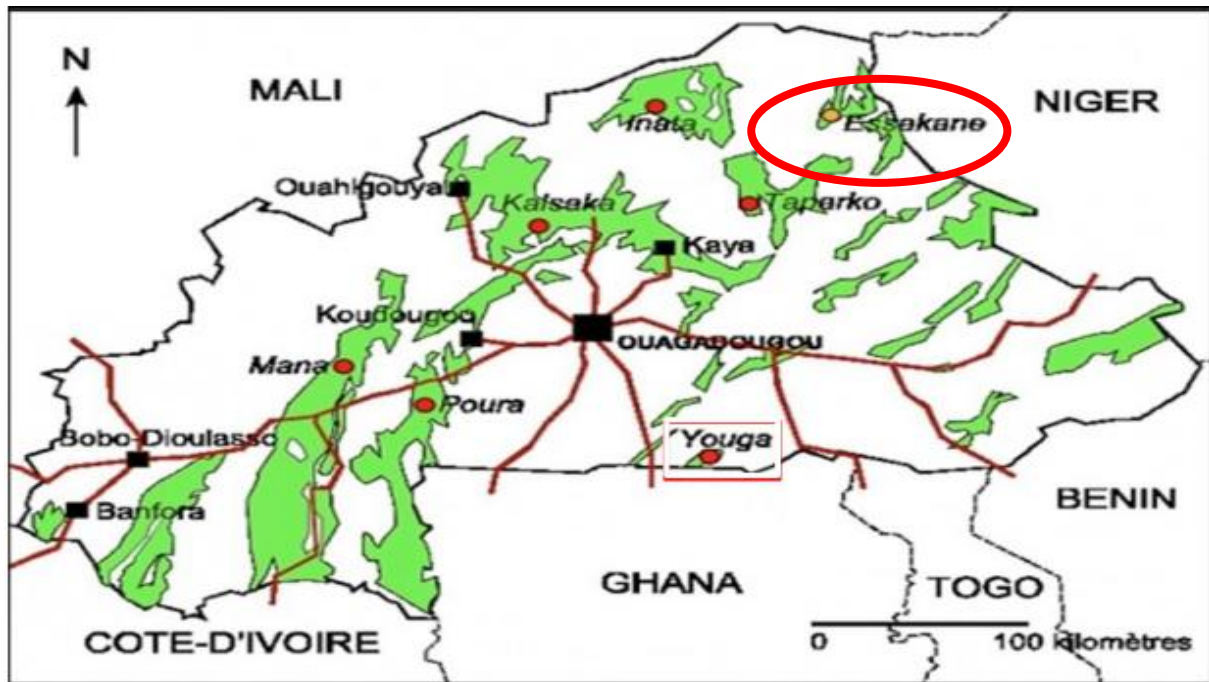


Figure 1: Carte présentant les différents sites miniers du Burkina Faso [2]

II.2. Présentation de l'usine

L'usine d'IAMGOLD Essakane SA est une usine aurifère dont le minerai traité est un mélange de quatre types de roches altérées à savoir la saprolithe, la roche de transition molle, la roche de transition dure et la roche dure.

Avec l'expansion de l'usine, un deuxième atelier de broyage a été installé afin d'augmenter la production. La ligne A du broyage est alimentée par le mélange saprolithe, la roche de transition et la roche dure ; par contre la nouvelle ligne B du broyage est alimentée uniquement par la roche dure. Toutes ces deux lignes de broyages ont le même principe.

Le procédé d'extraction de l'or comprend huit (08) secteurs :

- Le concassage,
- Le broyage,
- La récupération gravimétrique,
- L'épaisseur,
- Le CIL (Carbon In Leach) ;
- L'élution,
- La régénération du charbon,

- La GRU (Gestion des Résidus de l'Usine),
- La raffinerie,

La figure 2 suivante présente de manière succincte les différents secteurs de l'usine.

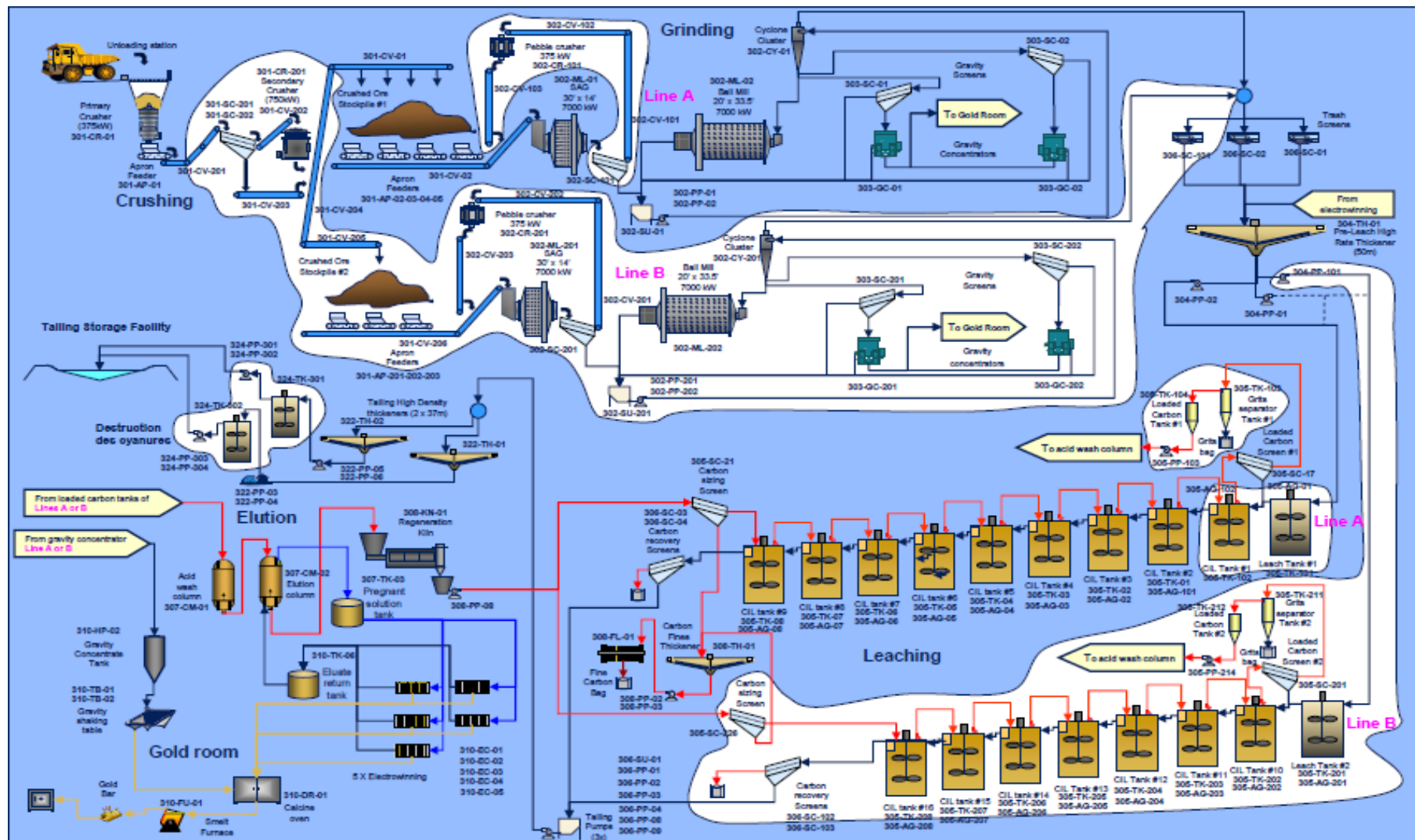


Figure 2: Flowsheet de l'usine de IAMGOLD Essakane SA présentant les différents secteur

II.2.1. Section concassage

L'atelier de concassage est le début de la préparation mécanique du minerai, il a pour objectif de réduire la granulométrie du minerai extrait directement de la mine pour permettre une meilleure libération de la substance utile au niveau du broyeur. Il est composé d'un concasseur giratoire primaire, concasseur secondaire (MP1000), un crible vibrant, quatre extracteurs pour la ligne A, trois extracteurs pour la ligne B et un extracteur principal pour les deux lignes. L'extracteur principal alimente le convoyeur principal transportant le produit du giratoire. Le minerai extrait de la fosse alimente le giratoire, qui fragmente le produit à une dimension de six pouces (6"). Le minerai fragmenté est transporté par le convoyeur principal, alimentant le crible. Le crible alimenté laisse passer tous les blocs inférieurs ou égale à deux pouces (2"). Les blocs supérieurs à deux pouces (2") se déversent sur le second convoyeur pour alimenter le concasseur secondaire (MP1000). Le concasseur secondaire a pour objectif de réduire le produit à une dimension inférieure ou égale à deux pouces (2") afin d'alimenter le broyeur.

II.2.2. Section broyage

Le broyage a pour objectif d'exposer la surface des particules d'or et de la rendre plus accessible aux réactifs de mise en solution. Suite à plusieurs tests il est ressorti que la maille de la libération de l'or est de 125 μm à Essakane. Le produit à la sortie du concasseur secondaire est transporté par un convoyeur, alimentant le broyeur semi-autogène. Le broyage se fait par voie humide avec l'ajout de l'eau du procédé. Le lait de chaux est ajouté quelque fois pour augmenter le potentiel hydrogène (pH) ainsi empêcher la production de cyanure d'hydrogène (HCN) due au cyanure de l'eau de procédé. Le pourcentage solide de la pulpe dans le broyeur semi-autogène est compris entre 74 à 76% solide. Les passants du tamis placé à la sortie du broyeur semi-autogène alimentent les cyclones. Les cyclones permettent une classification du minerai en fonction de leur taille et alimentent directement le carbon in leach (CIL). Au niveau de la ligne B un des huit (08) cyclones alimente les tamis du falcon, les passants descendent dans les falcons de séparations gravimétriques et les rejets sont renvoyés au broyeur à boulet pour être fragmenter à nouveau.

Les rejets du broyeur semi-autogène sont renvoyés au concasseur tertiaire (pebble crusher) afin de réduire à nouveau la taille des particules.

II.2.3. Récupération gravimétrique

La grande partie de l'or d'Essakane est sous forme de « pépites » dont les dimensions peuvent aller d'une centaine de microns à quelques millimètres. Comme l'or est très malléable les broyages successifs ne feront qu'aplatir ces pépites. Ainsi, ces grains d'or resteraient très longtemps dans la charge circulante. Pour empêcher ce phénomène, un circuit de gravimétrie a été installé pour recueillir ces pépites. La sous verse qui passe à travers le tamis du falcon sert à alimenter le falcon gravimétrie. Le flux qui arrive au centre du falcon est projeté sur les parois, par l'effet de l'hélice tournant à toute vitesse. Sur la partie supérieure de la cuve, il y a quatre rainures qui servent à recueillir les particules les plus lourdes. L'eau de fluidisation est injectée dans les rainures pour expulser les particules de gangue. Le cycle dure environ 45 minutes. Ensuite, pendant 40 secondes de l'eau de rinçage est pulvérisée pour amener le concentré au fond de la cuve et celui-ci est acheminé vers la salle d'or.

II.2.4. Epaisseur

Le flux de la sur verse des cyclones est envoyé jusqu'aux deux trashes screens. Ceux-ci servent à éliminer tous les débris de bois et de plastique présents dans la pulpe. Le retenu tombe dans la boîte à rejets et sera pompé jusqu'au parc à résidu. La pulpe qui traverse la toile se rend jusqu'à l'épaisseur. Il est utilisé pour réduire la fraction de l'eau dans la pulpe. Au départ le pourcentage solide de la surverse des cyclones est d'environ 35%, à la sortie de l'épaisseur il est de 50%. Lorsque la pulpe arrive au centre de l'épaisseur, une solution de flocculant est ajoutée. Celle-ci fait s'agglomérer les particules fines d'où une accélération de la décantation. La pulpe est pompée à la base de l'épaisseur jusqu'au CIL. Le surnageant est récupéré par débordement et se déverse dans un autre réservoir où il se mélange avec l'eau provenant du GRU. Cette eau est appelée eau de procédé et elle est à nouveau utilisée dans le circuit des broyeurs.

II.2.5. CIL (Carbon In Leach)

Le CIL ou lixiviation au charbon activé a pour rôle de dissoudre l'or solide en présence du cyanure dans une série de cuves agitées où l'or dissous est adsorbé simultanément sur du charbon activé. Il est constitué de 8 cuves de 4000 m³ pour le CIL A et le CIL B est constitué de 10 cuves. La pulpe épaissie est transférée vers les cuves de lixiviation. Le transfert se fait soit dans la cuve de la lixiviation ou dans la cuve 1. Ce choix dépend des objectifs fixés. Lorsque

la pulpe est transférée dans la cuve de lixiviation, de l'air et une solution de cyanure sont ajoutés permettant la mise en solution de l'or. L'air fournit l'oxygène nécessaire à la mise en solution de l'or. La chaux est ajoutée pour rendre le milieu alcalin à un pH compris entre 10,3 à 10,5 en évitant la production du cyanure d'hydrogène qui est un gaz très dangereux. Le transfert de la pulpe entre la cuve de lixiviation et la deuxième cuve se fait par débordement. Le charbon actif est ajouté dans la dernière cuve de lixiviation. L'adsorption de l'or sur le charbon a lieu à contre-courant dans la série de cuves agitées. Le charbon le plus pauvre en or est exposé à la solution la plus pauvre et le charbon le plus chargé est exposé à la solution la plus riche. Chaque cuve est munie d'un agitateur permettant un bon contact entre la pulpe et le charbon. L'adsorption de la solution de cyanure d'or sur les particules poreuses de charbon actif résulte de la superposition simultanée d'un ensemble de facteurs : la diffusion des ions or dans les pores, l'existence des sites actifs, l'adsorption de l'or sur ces sites. Deux tamis inter-stages sont utilisés pour le transfert de la pulpe entre les différentes cuves. Une grille dont les ouvertures sont de 630 μm empêche le charbon d'être emporté avec la pulpe. La pulpe pauvre en or est transférée jusqu'à la boîte à rejet, puis envoyée au parc à résidu.

II.2.6. GRU (Gestion des Résidus de l'Usine)

Le GRU est la dernière étape de la pulpe avant son déversement dans le parc à résidu. Comme le traitement du minerai requiert une grande quantité d'eau et que la mine se trouve dans un climat presque désertique, il est essentiel de récupérer la plus grande quantité d'eau possible des rejets. De plus, en limitant les rejets liquides, le déversement de cyanure libre est diminué. Pour ce faire, le GRU est constitué de deux énormes épaisseurs. Le retour du GRU représente plus de 40% de l'eau utilisée pour le traitement du minerai et celle-ci revient à l'usine par gravité.

II.2.7. Elution et régénération du charbon

Une fois que le charbon est assez chargé pour sa mise en solution, il est pompé à partir du CIL 1. Grâce à un tamis, la pulpe retourne au Cil tandis que le charbon est emmagasiné dans la colonne de lavage avec de l'acide (colonne 307-CM-01). Le lavage avec de l'acide est utilisé pour éliminer les impuretés (Ca, Fe, Ni, etc.) qui ont pu être captées par le charbon et qui pourraient inhiber le reste du procédé. Le charbon est baigné dans une solution d'acide chlorhydrique à 5 % pour la dissolution des métaux afin de former des chlorures. A la fin du lavage avec de l'acide, la solution est envoyée au parc à résidu. Par la suite, le charbon est

transféré dans la colonne de l'élution. Il est mis en contact avec une solution chauffée à 135°C qui est un mélange d'eau et de soude caustique (1 – 2 %) appelée généralement « solution pauvre ». La désorption de l'or du charbon dans la colonne d'élution (colonne 307-CM-02) est favorisée par une température et une pression élevée (135°C et 350 kPa). Elle est également favorisée par une présence plus importante d'ions cyanure et/ou d'ions hydroxydes. Les liens entre les ions d'or et le charbon sont brisés et l'or se retrouve de nouveau en solution. La solution riche en or (mélange eau, soude caustique et ions d'or) est envoyée à la salle d'or pour l'électrolyse. Six paires d'électrodes soumises à une tension sont introduites dans le flux de la solution riche. Les ions d'or sont attirés par la cathode et deviennent solide lorsqu'ils entrent en contact. Au fur et à mesure, le charbon se délaïse de l'or et celle-ci est captée par la cathode jusqu'à ce que le charbon et la solution soient épuisés. En 18 heures, la concentration du charbon passe de quelques 2300 ppm à moins d'une centaine. A la fin de l'élution, le charbon pauvre est transféré jusqu'à la régénération. Celle-ci sert à augmenter la surface spécifique du charbon, ce qui augmente sa capacité d'adsorption. La régénération est effectuée dans un four rotatif à une température de 750°C. Lorsque celle-ci est terminée, le charbon est introduit à nouveau dans le circuit du CIL.



Figure 3: Présentation du secteur de l'élution avec ses principaux équipements

Nous rappelons que notre étude porte sur le circuit l'élution, notamment sur les équipements que sont : les brûleurs, les colonnes de lavage et d'élution, les échangeurs de chaleur.

II.2.8. Raffinerie

La raffinerie est la dernière étape où l'or sera transformé. A la fin de ce processus, celui-ci sera sous forme de lingots dont la pureté est plus de 90%. L'or arrive sous deux formes, soit dans un concentré provenant des falcons ou de façon solide sur les cathodes. Le concentré des falcons passe tout d'abord dans un séparateur magnétique puis sur une table à secousse. Le concentré de la table est composé à plus de 60% d'or. Les cathodes sous forme de laine d'acier sont enlevées et séchées. Enfin, celles-ci sont mises dans une fournaise électrique avec le concentré de la table et différents réactifs pour la fusion. Après le coulage des lingots, ceux-ci sont mis à l'abri dans un coffre-fort.

III. ETUDE TECHNIQUE

III.1. Partie électrique

Cette partie concerne le dimensionnement des différents équipements du circuit de démarrage d'un moteur en prenant en compte les besoins exprimés par le cahier de charge du projet ; le cahier de charge ayant été défini par le département opération de l'usine.

On considèrera dans le cadre de notre étude :

- Le choix des câbles ;
- Le choix des équipements du circuit de puissance.

Choix des câbles et des équipements pour les circuits de puissance

Conformément aux principes de bases utilisés à l'usine d'IAMGOLD, le choix des câbles et des autres équipements est fait selon la démarche suivante :

- Les câbles sont de type armé avec du cuivre comme conducteur. Selon la norme de l'Union Technique d'Electricité (UTE), la nomenclature des câbles utilisées est : U 500 S R 1 V F [3].

La dénomination des câbles et des conducteurs électriques selon la norme de l'Union Technique d'Electricité (UTE) vise à uniformiser la désignation des câbles et des conducteurs [3].

- Pour des raisons de sécurité, la superposition des câbles est limitée à deux couches ;
- Le courant de démarrage moyen est estimé à huit (08) fois le courant nominal ;
- La prise en compte de coefficients de correction relatifs aux conditions d'emploi et aux facteurs environnementaux.
- Le choix des différents types d'équipements est effectué en fonction de la disponibilité en stock et des modèles habituellement utilisés.

L'application Retscreen donne une température maximale moyenne de 35°C pour la région de Dori. En considérant que la mine est à ciel ouvert à plus de 40 km de la ville de Dori et en pleine zone désertique nous avons opté pour une température maximale de 45°C.

Concernant le mode de pose, en se référant aux recherches effectuées et aux modèles déjà existant sur le terrain, il est possible de disposer plus de huit (08) câbles sur chemin de câble

perforé au regard des projets d'amélioration continu visant à rendre le système d'exploitation plus performant à travers l'ajout de nouveaux équipements ou la modification de l'existant.

III.1.1. Dimensionnement des câbles d'alimentation et des démarreurs des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05



Figure 4: Présentation des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05

Il convient de souligner que les pompes 307-PP-04 et 307-PP-05 sont identiques et disposés en parallèle de sorte que l'une fonctionne pendant que l'autre est à l'arrêt. Elles prennent leur source d'alimentation à partir des casiers d'un tableau général basse tension de 400V triphasée disponible au niveau de la salle électrique la plus proche. Ces pompes assurent le transfert de la solution pauvre (mélange eau et soude caustique) après sa préparation dans la cuve dans laquelle le mélange a été réalisé vers la colonne d'élution. Cette solution pauvre passe préalablement par des échangeurs de chaleur où sa température est portée à 135°C avant d'atteindre la colonne d'élution.

La distance entre la position des moteurs et la salle électrique est estimée à 200 mètres environ.

Le tableau I suivant présente les données recueillies sur la plaque signalétique des moteurs des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05.

Tableau I: Données recueillies sur les plaques signalétiques des moteurs des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05

Puissance mécanique (kW)	Tension assignée (V)	Vitesse de rotation (tr/min)	Fréquence (Hz)	Facteur de puissance	rendement
45	400	2960	50	0,9	0,93

Ainsi, par calcul en appliquant les formules suivantes :

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U\eta \cos \varphi} \quad (2)$$

$$\text{et } I_d = 8I_n \quad (3)$$

On obtient les valeurs $I_n = 77,6 \text{ A}$ et $I_d = 620,8 \text{ A}$.

Il faut noter que $I_d = 8I_n$ est une estimation moyenne de la valeur de l'intensité du courant au démarrage des moteurs. Elle sera considérée pour la suite du dimensionnement.

III.1.1.1. Dimensionnement des câbles

Les éléments de base à prendre en compte dans la détermination de la section d'un câble de puissance sont les conditions d'emploi et les facteurs environnementaux.

III.1.1.1.1. Mode de pose

Pour les équipements concernés par la présente étude, les câbles sont disposés à l'air libre sur des échelles de câble. Cette disposition correspond au numéro 16 et la méthode de référence associée est désignée par la lettre E conformément au tableau situé en annexe 1 page I. Ainsi, la combinaison de ces deux facteurs donne le paramètre 16E qui sera pris en compte pour la suite de l'étude [4].

III.1.1.1.2. Facteurs de correction

Les facteurs de corrections les plus importants associés au mode de référence 16E choisi sont :

- La méthode de référence : $K_1 = 1$ (annexe 2 page II) ;
- La température ambiante de 45°C : $K_2 = 0,87$ (annexe 3 page III) ;
- Le nombre de circuit regroupés : $K_3 = 0,72$ (annexe 4 page III) ;
- Le nombre de couches de circuit superposé : $K_4 = 0,8$ (annexe 5 page IV) ;
- La protection du circuit par un disjoncteur : $K = 1$ [4].

III.1.1.1.3. Section de câble

L'intensité réelle du courant est donnée par la formule suivante :

$$I_{Z \text{ câble}} = \frac{I_n * k}{K_1 * K_2 * K_3 * K_4} \quad (4)$$

$$\text{A.N: } I_{Z \text{ câble}} = \frac{77,6 * 1}{1 * 0,87 * 0,72 * 0,8}$$

$$I_{Z \text{ câble}} = 154,85 \text{ A}$$

Ainsi, l'intensité réelle du courant à prendre en compte pour déterminer la section du câble est 154,85 A. En se référant à l'annexe 6, on peut retenir 4X35 mm² pour la section des câbles d'alimentation. Mais ce choix doit être soumis à des vérifications avant d'être confirmé. Il s'agit surtout de la chute de tension qui doit aussi répondre à des normes.

III.1.1.1.4. Chute de tension

La formule (1) sera utilisée pour le calcul de la chute de tension en ligne.

$$\Delta U = \sqrt{3} I \left(\rho * \frac{L}{S} * \cos \varphi + X * L * \sin \varphi \right)$$

Avec I l'intensité du courant en A, ρ la résistivité du fil conducteur (0,0225 $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$), X la réactance linéique (0,08 $\text{m}\Omega/\text{m}$), L la longueur du câble utilisé en mètre et φ le déphasage entre le courant et la tension par phase.

Dans une installation, la chute de tension admissible en ligne selon les applications dépend du réseau de distribution électrique. Dans le contexte de la mine d'Essakane, il s'agit d'un réseau privé parce que toute l'énergie nécessaire pour les besoins de l'usine est produite sur place. La marge de chute de tension acceptable ne doit pas excéder 8% [4].

- La chute de tension en régime nominal entre le tableau général basse tension et la pompe : l'application de la formule usuelle pour le calcul donne une valeur de 16,5V pour ΔU . Cela représente 4,13 % de la tension (400V) fournie par la source d'alimentation. En prenant en compte la chute de tension entre le transformateur et le tableau général basse tension, on obtient une chute de tension de 4,27 %. Cette valeur est acceptable selon les normes qui autorisent 8% ;
- La chute de tension au démarrage : l'application de la même formule donne une valeur de 57,82V représentant 14,46% de la tension fournie par la source d'alimentation. Ce résultat ne répond pas à la norme qui est de 8%. Il est donc nécessaire de déterminer la section qui convient le mieux en reprenant le calcul pour les conditions de démarrage. Ainsi, pour une chute de tension de 8% (32V) au démarrage, la section calculée est de 92,7mm². Le choix approprié est 4x95 mm² (section normalisée) avec une chute de tension admissible de 7,91%.

III.1.1.2. Dimensionnement de disjoncteur

Les disjoncteurs de puissance sont des équipements électriques dont la fonction de base est la coupure ou la fermeture des circuits sous tension. Selon l'application et le choix opéré, ils peuvent jouer un rôle de protection magnétique (court-circuit) ou thermique (surcharges) ou encore les deux. Le choix d'un disjoncteur dépend surtout du courant d'emploi du circuit protégé, du pouvoir de coupure défini en fonction du courant de court-circuit minimal et du type de courbe de déclenchement.

En ce qui concerne les moteurs des pompes 307-PP-04/05 les données de références sont :

- La température ambiante est de 45°C environ ;
- L'intensité du courant d'emploi correspond à 77,6 A ;
- La tension du réseau d'alimentation est 400 V/50 Hz ;
- Le pouvoir de coupure $P_{dc} \geq I_{cc}$

Courant de court-circuit

La formule utilisée pour le calcul du courant de court-circuit en régime triphasé est :

$$I_{cc} = \frac{U_{20}}{Z\sqrt{3}} \quad (5)$$

$$\text{Avec } Z = \sqrt{(\sum r_i)^2 + (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

Elles seront considérées pour la suite de notre étude.

- Z est l'impédance totale par phase du réseau en amont du défaut en Ω ;
- U_{20} est la tension entre phase à vide au secondaire du transformateur.

$$r_{\text{câble}} = 0,0225 \, \Omega \text{mm}^2/\text{m} ; x_{\text{câble}} = 0,08 \, \text{m}\Omega/\text{m}$$

Le tableau II suivant présente le calcul de l'impédance totale par phase du réseau amont.

Tableau II: Calcul de l'impédance totale par phase du réseau amont (pompes 307-PP-04 et 307-PP-05)

Désignation	r_i (mh)	x_i (mh)	$\sum r_i$ (mh)	$\sum x_i$ (mh)	Z (mh)
Réseau amont $P_{cc} = 500 \text{ MVA}$	0,05	0,35	3,05	27,54	27,71
Transformateur $S_n = 630 \text{ kVA}$ 6,6 kV/400 V $U_{cc} = 4 \%$	2,95	10,25			
Câble unipolaire 8 m cuivre 3x240 mm ² /phase	0,00025	0,64			
Disjoncteur général	0	0,15			
Tableau général basse tension	0	0,15			
Câble tétrapolaire 200 m cuivre 95 mm ²	0,05	16			

$$I_{cc} = \mathbf{8334,18 \text{ A}}$$

- Le pouvoir de coupure $Pdc \geq I_{cc} = 8334,18 \text{ A}$.

Ainsi donc, l'exploitation des différentes données et des abaques associés aboutissent au choix d'un disjoncteur de référence **Compact NS80H-MA** de marque Merlin Gerin avec possibilité de réglage magnétique [5] dont les caractéristiques sont les suivants :

- $P_{dc} = 70 \text{ kA}$
- Niveau de tension : 380 V/415V



Figure 5: Disjoncteur compact NS80H-MA

III.1.1.3. Dimensionnement de contacteur

Un contacteur de puissance est un équipement électrique destiné à la coupure et à la fermeture des circuits sous tension. Selon la norme internationale de l'appareillage basse tension (IEC 947), la catégorie d'emploi d'un contacteur définit les valeurs maximales de courant qu'il peut établir et couper. Elle est nécessaire pour déterminer la tenue en cadence et en endurance des contacteurs, c'est-à-dire leur aptitude à se fermer et à s'ouvrir ainsi que leur robustesse mécanique. Elle dépend de la nature du récepteur et des conditions dans lesquelles s'effectuent les fermetures et les ouvertures et aussi le cycle de vie [6]. Dans le cadre de notre étude, nous considérons la catégorie AC3 parce qu'elle est conçue pour supporter des appels de courant transitoire qui concernent le démarrage et la coupure du moteur lancé. En effet, elle s'applique aux moteurs asynchrones à rotor en court-circuit (moteur à cage d'écureuil) dont la coupure s'effectue moteur lancé ; c'est l'utilisation la plus courante (85 % des cas).

On tient à faire remarquer au passage que l'ensemble des moteurs des pompes de l'usine sont à cage d'écureuil.

Les données de référence associées aux abaques pour le choix des contacteurs sont :

- La puissance et l'intensité nominale du moteur qui sont 45 kW/77,5 A ;
- La tension du réseau d'alimentation est de 400V/50 Hz ;
- La tension d'alimentation de la bobine du contacteur est 110V [7].

Le contacteur choisi est de référence **LC1D95F7** de marque Schneider Electric [8].



Figure 6: Présentation du contacteur LC1D95F7

III.1.1.4. Dimensionnement de tesys T

Le tesys T est un équipement électrique du circuit de puissance et de commande destiné à la protection des moteurs asynchrones contre les surcharges. Il gère plusieurs fonctions dont les plus importants sont la protection thermique, la commande et la surveillance pour les moteurs à induction magnétique. Son système, flexible et modulaire, peut être configuré selon les besoins des applications industrielles. Il est conçu pour satisfaire les exigences des systèmes de protection intégrés en termes de communications ouvertes et d'architecture globale. Des fonctions de surveillance complètes permettent d'analyser les conditions de fonctionnement du moteur et d'améliorer le suivi des équipements en marche en proposant des fonctions de diagnostic et de statistiques, ainsi que des défauts et des alarmes configurables afin de mieux anticiper la maintenance des composants. Le tesys T étant doté de port RJ45 peut être configuré et commandé à l'aide d'une IHM (interface homme-machine) qui est en fait une console dont l'on se sert pour la communication avec ledit équipement [9].

Le choix du tesys T est essentiellement basé sur l'intensité nominale du courant du moteur qui est de 77,6 A. Ainsi, pour ce cas-ci, la référence du tesys T adapté à l'application selon le manuel d'utilisation est **LTMR100EFM** de Schneider Electric [10]. Ses caractéristiques techniques sont :

- Tension d'alimentation : 100 à 240 VAC ;
- Courant d'emploi : 5 à 100 A.



Figure 7: Présentation du Tesys T LTMR100EFM

III.1.1.5. Dimensionnement de variateur de vitesse

Un variateur de vitesse est un équipement électrique de puissance et de contrôle des paramètres de marche des moteurs au démarrage et pendant le fonctionnement. Ils permettent de limiter les appels de courant grâce à un démarrage progressif et d'autre part facilitent l'ajustement de la vitesse de rotation en fonction des besoins.

Dans la présente étude, il s'agit des moteurs asynchrones triphasés à cage alimentés par une tension de 400V/50Hz. Le choix des types de variateur est guidé par le modèle disponible en inventaire sur site et les caractéristiques techniques des moteurs dont les plus importants sont :

- La puissance mécanique du moteur entraîné (45 kW) ;
- L'intensité nominale du moteur (77,6 A) ;
- La tension du réseau d'alimentation (400 V/50 Hz) ;
- Régime de fonctionnement du moteur (surcharge, permanent, transitoire...).

Sur le site de l'usine d'Essakane le variateur de vitesse disponible en inventaire et adapté aux besoins d'utilisation des moteurs concernés est de marque ABB. Ainsi, selon les caractéristiques techniques des moteurs et le manuel d'utilisation du modèle ABB ACS800-01 (0,55kW à 5600kW), le variateur de vitesse disponible et adapté au contexte est de référence **ACS800-01-0050-3** [11]. Ses caractéristiques nominales sont :

- La puissance nominale d'emploi : 45 kW.
- L'intensité maximale d'emploi : 86 A ;
- La tension d'emploi : 380 à 415 V.



Figure 8: Présentation du variateur de vitesse ABB de modèle ACS800-01-0050-3

III.1.2. Dimensionnement du câble d'alimentation et du démarreur de la pompe 305-PP-101



Figure 9: Présentation de la pompe 305-PP-101

La pompe 305-PP-101 situé sur le Cil 1 (cuve contenant la pulpe et le charbon riche en or) sert à pomper le charbon chargé en or en passant par des tamis jusqu'à la colonne 307-CM-01 où il subira un lavage à l'acide chlorhydrique puis à la soude caustique et enfin à l'eau. La distance

entre la position du moteur et la salle électrique située sur les CIL est estimée à 150 mètres. On considèrera donc dans le cadre de l'étude, une longueur de câble de 150 mètres.

Le tableau III suivant présente les données recueillies sur la plaque signalétique du moteur de la pompe 305-PP-101.

Tableau III: Données recueillies sur la plaque signalétique du moteur de la pompe 305-PP-101

Puissance mécanique (kW)	Tension assignée (V)	Courant assigné (A)	Facteur de puissance	Rendement
55	400	97,07	0,87	0,94

La démarche pour le choix des différents équipements est la même que celle adoptée pour les pompes 307-PP-04/05. Il s'agit de la section du câble, le disjoncteur, le contacteur, le tesys T et le variateur de vitesse.

III.1.2.1. Dimensionnement du câble d'alimentation

La distance entre la position du moteur et le tableau de distribution basse tension (400 V) servant de source d'alimentation est estimée à 150m (longueur du câble). La valeur de l'intensité nominale du courant par l'application de la formule (2), $I_n = \frac{P_m}{\sqrt{3}U\eta \cos \varphi}$ donne **97,07A**.

III.1.2.1.1 Section de câble

En appliquant la formule (4) qui prend en compte les principaux facteurs de correction, l'intensité du courant à considérer devient :

$$I_{Z \text{ câble}} = \frac{I_n * k}{K_1 * K_2 * K_3 * K_4} = 193,71A.$$

L'exploitation des tableaux relatifs à la section des câbles en fonction des données disponibles donne un câble de section 4X50 mm² pour l'alimentation du moteur. Néanmoins, il reste à confirmer ce choix en fonction des chutes de tension admissibles selon le régime de fonctionnement.

III.1.2.1.2. Chute de tension

La formule (1) sera utilisée pour le calcul de la chute de tension en ligne.

$$\Delta U = \sqrt{3}I(\rho * \frac{L}{S} * \cos \varphi + X * L * \sin \varphi).$$

$I_d = 776,56$ A à partir de la formule (3)

La valeur selon les deux régimes de fonctionnement choisis est :

- La chute de tension en régime nominal $\Delta U = 10,86$ V. Cela représente 2,72 % de la tension (400V) fournie par la source d'alimentation. En considérant la chute de tension entre le transformateur et le tableau général basse tension, on obtient 2,86 %. Cette valeur est acceptable selon les normes qui autorisent 8% ;
- La chute de tension au démarrage $\Delta U = 42,57$ V. Cette valeur représente 10,84% de la tension fournie par la source d'alimentation. Ce résultat ne répond pas à la norme qui est de 8%. Il est donc nécessaire de déterminer la section qui convient le mieux en reprenant le calcul pour les conditions de démarrage. Ainsi, pour une chute de tension de 8% (32V) au démarrage, la section calculée est de 81,71 mm². Le choix approprié est 4x95 mm² (section normalisée) avec une chute de tension admissible de 7,42%.

III.1.2.2. Dimensionnement du disjoncteur

En ce qui concerne le moteur de la pompe 305-PP-101 les données de références sont :

- La température ambiante est de 45°C environ ;
- L'intensité du courant d'emploi correspond à 97,07A ;
- La tension du réseau d'alimentation est 400V/50Hz ;
- Le pouvoir de coupure $P_{dc} \geq I_{cc}$

Courant de court-circuit

$$r_{c\grave{a}ble} = 0,0225 \Omega mm^2/m ; x_{c\grave{a}ble} = 0,08 m\Omega/m$$

En considérant les formules (5) et (6), on établit le tableau IV suivant :

Tableau IV: Calcul de l'impédance totale par phase du réseau amont (pompe 305-PP-101)

Désignation	r_i (mh)	x_i (mh)	$\sum r_i$ (mh)	$\sum x_i$ (mh)	Z (mh)
Réseau amont $P_{cc} = 500 \text{ MVA}$	0,05	0,35	3,04	23,54	23,74
Transformateur $S_n = 630 \text{ kVA}$ 6,6 kV/400 V $U_{cc} = 4 \%$	2,95	10,25			
Câble unipolaire 8 m cuivre 3x240 mm ² /phase	0,00025	0,64			
Disjoncteur général	0	0,15			
Tableau général basse tension	0	0,15			
Câble tétrapolaire 150 m cuivre 95 mm ²	0,036	12			

$I_{cc} = 9727,89 \text{ A}$

- Le pouvoir de coupure $P_{dc} \geq I_{cc} = 9727,89 \text{ A}$.

L'exploitation des différentes données et des abaques associés aboutissent au choix d'un disjoncteur de référence Compact **NS100H-MA** de marque Merlin Gerin avec possibilité de réglage magnétique [5] dont les caractéristiques sont les suivantes :

- $P_{dc} = 70 \text{ kA}$
- Niveau de tension : 380 V/415 V

III.1.2.3. Dimensionnement du contacteur

Les données de référence associées aux abaques pour le choix du contacteur sont :

- La puissance et l'intensité nominale du moteur qui sont 55 kW/97,07 A ;
- La tension du réseau d'alimentation est de 400V/50 Hz ;
- La tension d'alimentation de la bobine du contacteur est 110V [7].

Le contacteur choisi est de référence **LC1D115F7** de marque Schneider Electric [12].

III.1.2.4. Dimensionnement du tesys T

L'intensité nominale du moteur étant égale à 97,07A. Ainsi, la référence du tesys T adapté à l'application selon le manuel d'utilisation est **LTMR100EFM** de Schneider Electric [10].

Ses caractéristiques techniques sont :

- Tension d'alimentation : 100 à 240 VAC ;
- Courant d'emploi : 5 à 100 A.

III.1.2.5. Dimensionnement du variateur de vitesse

Sur le site de l'usine d'Essakane le variateur de vitesse disponible en inventaire et adapté aux besoins d'utilisation du moteur concerné est de marque ABB. Selon les caractéristiques techniques du moteur et le manuel d'utilisation du modèle ABB ACS800-01 (0,55 à 200 kW) le variateur de vitesse disponible et adapté au contexte est de référence **ACS800-01-0060-3** [11]. Ses caractéristiques nominales sont :

- La puissance nominale d'emploi : 55 kW ;
- L'intensité maximale d'emploi : 103 A ;
- La tension d'emploi : 380 à 415 V.

III.1.3. Dimensionnement des câbles d'alimentation et des démarreurs des moteurs des brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02



Figure 10: présentation du brûleur 307-BL-01

Il convient de souligner que les brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02 sont identiques et disposés en parallèle. Les brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02 servent au chauffage de l'huile qui sert à élever la température de la solution pauvre via un échangeur de chaleur jusqu'à 135°C. Il s'agit de deux équipements identiques disposés en parallèle de sorte que l'un fonctionne pendant que l'autre est à l'arrêt. Mais ils peuvent aussi fonctionner simultanément en cas de besoin.

Le tableau V présente les données recueillies sur les plaques signalétiques des moteurs des brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02.

Tableau V: Données recueillies sur les plaques signalétiques des moteurs des brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02

Puissance mécanique (kW)	Tension (V)	courant (A)	Fréquence (Hz)	Facteur de puissance
5,5	400/690	6,3/10,9	50	0,81

III.1.3.1. Dimensionnement des câbles d'alimentation

L'alimentation est prise à partir du tableau de distribution basse tension (400V) le plus proche. La distance entre la position des moteurs et la salle électrique est estimée à 200 mètres (longueur du câble). Selon les caractéristiques du réseau, les moteurs doivent être couplés en triangle. Cela donne une intensité nominale de 10,9A en ligne.

III.1.3.1.1. Section de câble

En appliquant la formule (4) qui prend en compte les principaux facteurs de correction, l'intensité du courant à considérer est :

$$I_{Z \text{ câble}} = \frac{I_n * k}{K_1 * K_2 * K_3 * K_4} = 21,75 \text{ A.}$$

L'exploitation des tableaux relatifs à la section des câbles en fonction des données disponibles donne un câble de section 4X1,5 mm² pour l'alimentation de chaque moteur. Ce choix doit être confirmé en fonction des chutes de tension admissibles selon le régime de fonctionnement.

III.1.3.1.2. Chute de tension

En appliquant la formule (1) de la chute de tension en ligne qui est :

$$\Delta U = \sqrt{3} I (\rho * \frac{L}{S} * \cos \varphi + X * L * \sin \varphi),$$

$I_d = 87,2 \text{ A}$ à partir de la formule (3)

Sa valeur selon le régime nominal de fonctionnement est :

- La chute de tension en régime nominal $\Delta U = 46,05 \text{ V}$. Cela représente 11,51 % de la tension (400V) fournie par la source d'alimentation. Cette valeur est inacceptable selon les normes qui autorisent 8% ;

Il est donc nécessaire de déterminer la section qui convient le mieux en reprenant le calcul pour les conditions de démarrage. Ainsi, pour une chute de tension de 8% (32V) au démarrage, la section calculée est de 6,86 mm². Le choix approprié est de 4X10 mm² (section normalisée) avec une chute de tension admissible de 5,67 % au démarrage.

La chute de tension depuis le transformateur donnera au total 1,89 %.

III.1.3.2. Dimensionnement de disjoncteur

Concernant les moteurs des brûleurs 307-BL-01/02 les données de références sont :

- La température ambiante est de 45°C environ ;
- L'intensité du courant d'emploi correspond à 10,9A ;
- La tension du réseau d'alimentation est 400V/50Hz ;
- Le pouvoir de coupure $P_{dc} \geq I_{cc}$

Courant de court-circuit

En considérant les formules (5) et (6), on réalise le tableau ci-dessous :

Tableau VI: Calcul de l'impédance totale par phase du réseau amont (pompes 307-BL-01 et 307-BL-02)

Désignation	r_i (mh)	x_i (mh)	$\sum r_i$ (mh)	$\sum x_i$ (mh)	Z (mh)
Réseau amont $P_{cc} = 500 \text{ MVA}$	0,05	0,35	3,45	27,54	27,76
Transformateur $S_n = 630 \text{ kVA}$ 6,6 kV/400 V $U_{cc} = 4 \%$	2,95	10,25			
Câble unipolaire 8 m cuivre 3x240 mm ² /phase	0,00025	0,64			
Disjoncteur général	0	0,15			
Tableau général basse tension	0	0,15			
Câble tétrapolaire 200 m cuivre 10 mm ²	0,45	16			

$I_{cc} = 8319,17 \text{ A}$

- Le pouvoir de coupure $P_{dc} \geq I_{cc} = 8319,17 \text{ A}$.

L'exploitation de ces données et des abaques associés aboutissent au choix d'un disjoncteur de référence **Compact NS80H-MA** de marque Merlin Gerin avec une possibilité de réglage magnétique [5] dont les caractéristiques sont les suivantes :

- $P_{dc} = 70 \text{ kA}$
- Niveau de tension : 380 V/415 V

III.1.3.3. Dimensionnement de contacteur

Les données de référence associées aux abaques pour le choix des contacteurs sont :

- La puissance et l'intensité nominale du moteur qui sont 5,5kW/10,9A ;
- La tension du réseau d'alimentation est de 400V ;
- La tension d'alimentation de la bobine du contacteur est 110V [7].

Le contacteur choisi est de référence **LC1D12F7** de marque Schneider Electric [13].

III.1.3.4. Dimensionnement de tesys T

L'intensité nominale du moteur est égale à 10,9A. La référence du tesys T adapté à l'application selon le manuel d'utilisation est **LTMR27EFM** de Schneider Electric [10]. Ses caractéristiques techniques sont :

- Tension d'alimentation : 100 à 240 VAC ;
- Courant d'emploi : 1,3 à 27A.

III.1.3.5. Les arrêts d'urgences

L'accès aux armoires électriques des bruleurs est difficile et en plus la manipulation n'est autorisée qu'aux personnes qualifiées ou formées à cet effet. Pourtant il s'agit d'un secteur à haut risque à cause du combustible utilisé pour le chauffage et les produits chimiques associés au traitement de l'or. Dans le souci d'améliorer la sécurité des travailleurs dans le secteur et aussi minimiser les dommages matériels en cas d'incident, il a été jugé nécessaire d'installer des modèles d'arrêt d'urgence (au nombre de trois (03)) accessibles à tous dans des endroits bien stratégiques. Ces arrêts d'urgence sont associés à un relai PREVENTA dont le contact est directement connecté à une entrée digitale de l'automate qui commande le démarrage et l'arrêt des brûleurs.

De manière générale, les relais PREVENTA sont utilisés pour la commande des circuits d'arrêt d'urgence à cause de leur spécificité selon les normes EN/ISO 13850 et EN/IEC 60204-1 parce qu'ils répondent aux exigences de sécurité pour la surveillance électrique des interrupteurs dans des dispositifs de protection selon la norme EN 1088/ISO 14119. Ils sont munis de bobines en parallèles dont les contacts sont en série afin d'éviter des dysfonctionnements en cas de défaut d'ouverture d'un contact suite à une défaillance du relai associé. Les normes de référence se définissent de la façon suivante :

- La norme EN/ISO 13850 spécifie les exigences fonctionnelles et les principes de conception de la fonction d'arrêt d'urgence indépendamment du type d'énergie utilisée [14];
- La norme EN/IEC 60204-1 fournit les prescriptions et recommandations relatives à l'équipement électrique des machines en vue d'améliorer :
 - La sécurité des personnes et des biens ;
 - La cohérence de réponse des commandes ;
 - La facilité de la maintenance [15].
- La norme EN 1088/ISO 14 119 spécifie les principes de conception et de choix des dispositifs de verrouillage associés à des protecteurs pour la sécurité des machines indépendamment de la nature de la source d'énergie [16].

Ainsi, selon les besoins, les spécifications du relai et du catalogue du fournisseur, le module PREVENTA choisi pour l'application est de référence **XPSAC3421 de Schneider Electric** dont le niveau de tension est de 115 VAC [17].



Figure 11: Présentation du preventa XPSAC3421

En ce qui concerne les arrêts d'urgence, nous optons pour le choix du modèle **XB4BS84441** du manufacturier **Schneider Electric** pouvant fonctionner à 120 VAC [18].



Figure 12: Présentation d'arrêt d'urgence de modèle XB4BS84441 Schneider Electric

III.1.4. Récapitulatif des données électriques et des références des équipements

III.1.4.1. Données électriques

Le tableau VII suivant présente les résultats des différents calculs électriques effectués.

Tableau VII: Récapitulatif des données électriques

Equipements	Section de câble	Courant nominal (A)	Courant de démarrage (A)	Courant de court-circuit (A)	Chute de tension au démarrage (%)
Pompes 307-PP-04/05	95 mm ²	77,6	620,8	2309,51	7,91
Pompe 305-PP-101	95 mm ²	97,07	776,56	3079,34	7,42
Brûleurs 307-BL-01/02	10 mm ²	10,9	87,2	256,44	5,67

III.1.4.2. Références des équipements

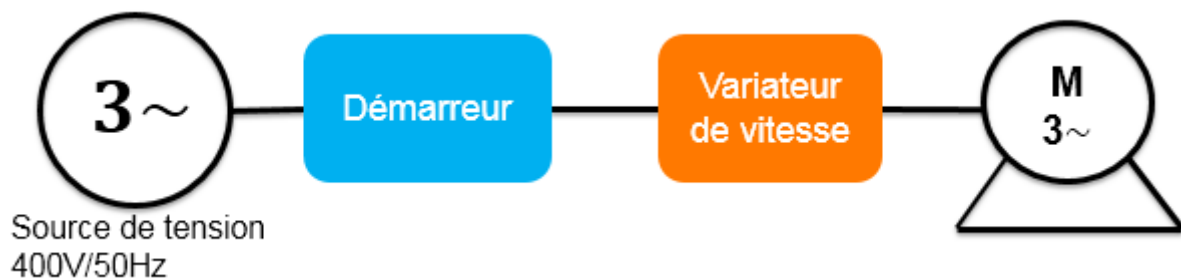
Le tableau VIII suivant présente les différents modèles d'équipements choisis pour la partie électrique.

Tableau VIII: Récapitulatif des références des équipements (partie électrique)

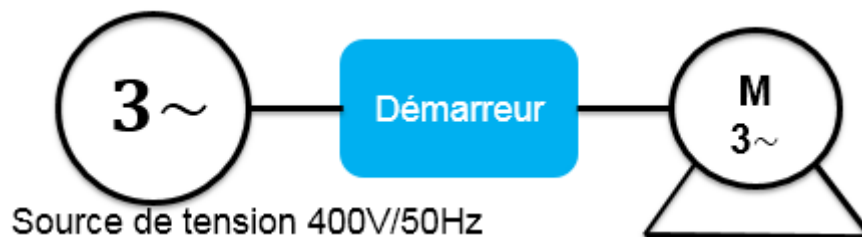
Équipements	Puissance mécanique (kW)	Disjoncteur	Contacteur	TesystT	Arrêt d'urgence	Variateur de vitesse
Pompes 307-PP-04/05	45	NS80H-MA (Merlin Gerin)	LC1D95F7 (Schneider Electric)	LTMR100EFM (Schneider Electric)		ACS800-010050-3 (ABB)
Pompe 305-PP-101	55	NS100H-MA (Merlin Gerin)	LC1D115F7 (Schneider Electric)	LTMR100EFM (Schneider Electric)		ACS800-0160-3 (ABB)
Brûleurs 307-BL-01/02	5,5	NS80H-MA (Merlin Gerin)	LC1D12F7 (Schneider Electric)	LTMR27EFM (Schneider Electric)	XB4BS84441 (Schneider Electric)	

Schéma synoptique électrique

- Pompes 307-PP-04/05 et 305-PP-101



- Brûleurs 307-BL-01/02



III.2. Partie instrumentation

La partie instrumentation de l'étude concerne le traitement, la réception et le transfert des données relatives aux circuits de commande et à la mesure des valeurs des paramètres de fonctionnement du secteur de l'élution. De façon générale les signaux traités sont de type digital ou analogique. Du fait de la sensibilité des données analysées, les facteurs environnementaux

sont pris en compte avec des températures ambiantes de 45°C et de poussières très importantes surtout pendant les tempêtes.

Dans chaque secteur de l'usine, il existe une armoire électrique susceptible de fournir tous les accès pour le pilotage de l'instrumentation à proximité des équipements concernés. Cette option (la proximité) permet de minimiser les pertes de signaux et d'optimiser la qualité des opérations. A l'intérieur de chaque armoire, les équipements principaux sont :

- Les sources de tension 110V et 220VAC et 24VDC ;
- Les automates programmables extensibles avec les entrées sorties appropriées (analogique, digitale) ;
- Les modules de communication réseau (RJ45 et fibre optique).

Conformément au cahier des charges, le volet instrumentation est composé :

- Des sondes de température, de niveau et de pression ;
- Une vanne de contrôle (ouverture et fermeture) automatique ;
- Des arrêts d'urgence dans le secteur de l'élution ;
- Un avertisseur sonore en cas de défaut sur un brûleur.

III.2.1. Sonde de niveau pour la colonne d'élution 307-CM-01

La colonne d'élution 307-CM-01 (colonne de lavage) a une hauteur estimée à onze (11) mètres environ. Elle sert au stockage des grains de charbon actifs enrichis en ion d'or. Le produit composé est transféré de la cuve CIL N°1 en passant par un premier tamis où s'effectue la séparation entre la pulpe et les composés solides (charbon actif, impuretés solides). Ensuite ces composés solides passeront dans un deuxième tamis où a lieu la séparation entre le charbon actif riche en or et les impuretés solides. Les grains de charbon sont enfin acheminés par gravimétrie vers la colonne de lavage 307-CM-01 afin d'y subir successivement un lavage à l'acide chlorhydrique, la soude caustique et l'eau pour la séparation des impuretés, la neutralisation de l'acide et le rinçage. Tout ce processus traduit la nécessité d'avoir un contrôle précis du niveau de charbon actif enrichi en or arrivant progressivement dans ladite colonne pour la qualité des opérations.

En termes de disponibilité, il existe plusieurs types de sonde de niveau en service à divers niveaux dans l'usine. Mais de façon générale la marque la plus utilisée et disponible est SIEMENS. La température ambiante est de l'ordre de 45° et la lecture se fait dans un milieu

hermétiquement fermé soumis à des contraintes physiques. Après une comparaison des différentes possibilités en s'appuyant sur l'environnement des opérations et les catalogues du manufacturier, le choix le mieux adapté est la sonde de niveau de référence SITRANS LR260 SIEMENS [19].



Figure 13: Présentation de la sonde de niveau Sitrans LR260

III.2.2. Vanne de contrôle automatique

L'installation d'une vanne automatique sur le conduit d'alimentation en eau brute de l'échangeur de chaleur à plaque 305-HX-05 répond à la volonté de contrôle de la quantité d'eau à amener au niveau dudit échangeur pour le refroidissement de la solution riche transitant par lui avant d'atteindre la salle d'or. En effet, la solution riche obtenue après élution a une température inférieure à 135°C. La solution riche doit arriver à la salle d'or avec une température autour de 90°C pour ne pas abîmer les électrodes utilisées au cours de l'électrolyse pour l'extraction du métal or. A cet effet, une sonde de température sera installée à la sortie de la colonne d'élution 307-CM-02 dont le signal servira à contrôler le degré d'ouverture et de fermeture de ladite vanne de contrôle automatique.

Les principaux facteurs pris en compte pour le dimensionnement et le choix sont le diamètre du conduit (6'') d'installation, la pression et la température de l'eau, la tension d'alimentation et la disponibilité.

Après analyse des différentes possibilités et des catalogues des fournisseurs la vanne de référence **GX D103171X0FR** de marque **FISHER** est celle qui répond le mieux à cette application au regard de ses caractéristiques [20].



Figure 14: Présentation de la vanne automatique Fisher de modèle GX D103171X0FR

III.2.3. Sonde de température

A la fin du processus, dans la colonne d'élution 307-CM-02, est stockée la solution riche constituée d'un mélange de soude caustique, d'eau et des ions d'or après la séparation avec les grains de charbon. C'est cette solution qui est par la suite transférée dans la salle d'or pour l'étape suivante. Mais bien avant cela il est indispensable d'avoir des données sur la température qui ne doit pas excéder 90°C afin d'éviter des dommages matériels sur les électrodes de récupération dans la salle d'or. C'est donc ce qui justifie l'installation de la sonde de température qui sera utilisée pour le contrôle de la vanne automatique située sur le conduit d'alimentation en eau brute de refroidissement de l'échangeur de chaleur 307-HX-05 contenu dans le projet et faire les ajustements nécessaires pour améliorer la qualité des opérations.

Pour le choix de la sonde la sonde de température, les paramètres de base à prendre en compte sont la plage de température, les caractéristiques de la solution (corrosive) et la disponibilité. Ainsi donc après analyse des différents paramètres et possibilités, la sonde la mieux adaptée à l'application est de référence **PT100** numéro de série **RTD1-C06-02** du manufacturier **PROSENSE**. La plage de température est de -50 à 300°C [21].



Figure 15: Présentation de la sonde de température Pt100

III.2.4. Sondes de pression

Les sondes de températures sont installées sur le circuit des échangeurs de chaleurs à plaques et à tubes dont le rôle est de porter la température de la solution pauvre au-delà de 135°C via un transfert thermique par conduction. La solution pauvre pompée par les pompes 307-PP-04/05

depuis les cuves de préparation vers les échangeurs de chaleur à plaques est chauffée au préalable avant de passer dans les échangeurs à tubes contenant de l'huile chauffée par les brûleurs 307-BL-01/02 afin d'augmenter d'avantage la température de chauffage. Après ce circuit, la solution pauvre bien chauffée est transférée dans la colonne d'élution 307-CM-02 pour le traitement du charbon riche en or.

Au regard de la criticité des opérations à cette étape du processus, il est nécessaire d'avoir des données fiables sur la pression de la solution pauvre à différents niveaux afin d'assurer un meilleur suivi et aussi améliorer la qualité des opérations dans le secteur. Le besoin est surtout dans ce sens, parce que les données fournies par les trois (03) capteurs de pression identiques prévus permettront d'optimiser l'extraction de l'or en ajustant le débit de solution fourni par les pompes 307-PP-04/05 grâce l'installation des variateurs de vitesse incluse dans le projet. A termes les résultats recherchés dans ce circuit sont une température minimale de 135°C et une pression minimale de 500 kPa pour la solution pauvre.

Pour le dimensionnement et le choix définitif des capteurs de pression, les données de référence sont :

- La pression minimale du fluide dans les conduits est de 500kPa (4,76 bar).
- La caractéristique du fluide (corrosif) et la nature du signal transmis (numérique, 4 à 20mA).
- Le type de montage : montage en ligne ;

En conclusion, la sonde de référence la mieux adaptée à cette application en fonction des possibilités existantes est de référence **2051TG2A2B21AS1KDM5D4** de marque **ROSEMOUNT** [22].



Figure 16: Présentation de la sonde de température Rosemount 2051TG2A2B21AS1KDM5D4

III.2.5. Avertisseurs sonores d'alarme

Compte tenu du rôle très important joué par les brûleurs dans le processus de traitement de l'or à l'élution, il est indispensable de disposer de moyens de suivi de ces équipements afin d'améliorer la qualité des opérations dans le secteur. La décision d'installer un avertisseur sonore bien audible répond donc à une volonté d'amélioration continue du point de vue sécurité des travailleurs et aussi des opérations. L'activation de la sirène permet aux personnes dans la zone de se rendre compte aussitôt que les brûleurs sont à l'arrêt suite à un défaut afin de prendre les dispositions nécessaires pour normaliser la situation

Selon le service de santé-sécurité de l'usine, le bruit ambiant moyen au secteur de l'élution est estimé à 63,5 dB et le seuil limite d'exposition est de 87 dB. En se fondant sur la norme NF EN 60849, les données fournies par le service de santé-sécurité ainsi que de la distance pouvant séparer l'opérateur de la sirène dans l'exercice de ses tâches, le catalogue du fournisseur et la disponibilité en inventaire sur le site, la sirène choisie est de type **BUZZER de 109 dB** pouvant fonctionner avec du 24 V DC ou AC du manufacturier **WERMA SIGNALTECHNIK** [23].

La norme NF EN 60849 spécifie les exigences qui s'appliquent à des systèmes sonores prévus à l'origine pour diffuser des informations concernant la protection des personnes dans une ou plusieurs zones définies. Ces systèmes doivent aussi protéger quand il se produit une situation d'urgence [24].



Figure 17: Présentation de la sirène Buzzer 109 dB du manufacturier Werma signaltechnik

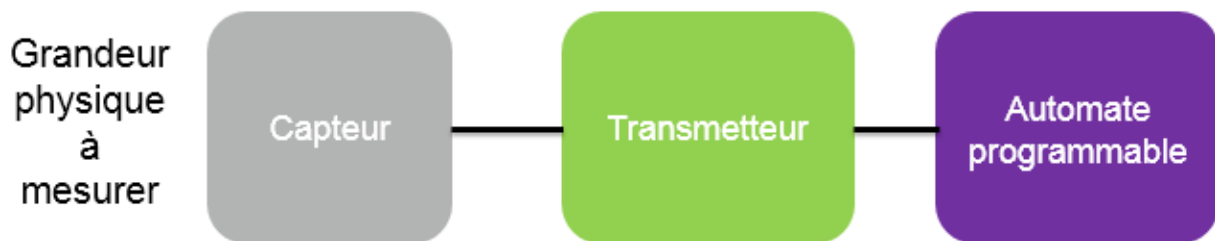
III.2.6. Récapitulatif des équipements

Le tableau IX présente les différents modèles de transmetteurs trouvés pour la partie instrumentation.

Tableau IX: Récapitulatif des références des équipements de l'instrumentation

Instrumentation	Equipement choisi
Sonde de niveau	SITRANS LR260 (SIEMENS)
Vanne de contrôle automatique	GX D103171X0FR (FISHER)
Sondes de pression	2051TG2A2B21AS1KDM5D4 (ROSEMOUNT)
Sonde de température	Pt100 RTD1-C06-02 (PROSENSE)
Avertisseur sonore (sirène)	BUZZER 109 dB (Werma signaltechnik)

Schéma synoptique instrumentation



NB : L'acquisition et le traitement de l'ensemble des données issues des différents transmetteurs s'effectueront au niveau de l'automate situé dans une armoire au secteur de l'élution. Il possède des entrées/sorties digitales et analogiques. L'exploitation de ces données sera gérée par un ensemble de programmes qui sera conçu et réalisé par le service programmation de l'usine.

IV. CONCLUSION

Réaliser ce projet revêt d'une importance capitale pour l'usine au regard du ralentissement des cours de l'or sur le marché international ces dernières années. Ainsi, elle vient à point nommé pour améliorer de manière substantielle le niveau de production de l'entreprise et au-delà, celle du Burkina Faso de façon globale. Cela amènera donc un accroissement des revenus des différents acteurs dans le domaine. Pour ce faire, l'augmentation de la production aurifère passe inéluctablement par une augmentation du nombre d'élution mensuel qui croîtra de 30 à 50 grâce au projet. Aussi, la mise en œuvre du projet fournira plus de moyens pour le suivi et le contrôle des opérations du circuit de l'élution. Elle permettra de réduire les risques en santé-sécurité au travail pour les travailleurs opérant dans le secteur de l'élution.

L'étude a consisté d'une part à dimensionner plusieurs démarreurs et des câbles d'alimentation des moteurs de pompes de puissance différente. D'autre part, on a réalisé le dimensionnement de plusieurs transmetteurs (sonde de niveau, de température, de pression) en vue de répondre au souci d'amélioration continu du système de production.

Au terme de notre étude, nous pouvons aussi affirmer qu'elle a été enrichissante en ce sens qu'elle nous a permis de nous familiariser avec divers types d'équipements (tesys T, preventa, transmetteurs...).

L'entreprise IAMGOLD Essakane SA, engagée de manière permanente dans le projet d'amélioration continue de son système de production pourra toutefois être amenée à améliorer son système de récupération gravimétrique de l'or dans le but d'accroître davantage sa production aurifère. Cela, au regard des progrès technologiques observés chez les constructeurs des équipements de récupération gravimétrique de l'or. Ainsi, acquérir ces équipements de dernière génération permettrait d'améliorer la production.

REFERENCES

- [1] Schneider Electric, Norme NFC 15-100 Guide, 2012.
- [2] C. d. m. d. B. Faso. [En ligne]. Available: www.chambredesmines.bf. [Accès le 10 avril 2016].
- [3] Patrimgest. [En ligne]. Available: www.patrimgest.com/index.php. [Accès le 4 Novembre 2016].
- [4] J. Bassolé, Cours d'installation électrique et d'électricité industriel, 2014.
- [5] Merlin Gerin, Protection des départs moteurs.
- [6] Schneider Electric, Catalogue automatismes industriels, 2001.
- [7] Schneider Electric, Telecatalog-Automatisme et contrôle, 2008.
- [8] Schneider Electric, Product data sheet LC1D95F7, Novembre 2012.
- [9] Schneider Electric, Système de gestion des moteurs Tesys T, Octobre 2007.
- [10] Schneider Electric, Tesys T Motor Management System.
- [11] ABB, Catalogue variateurs single drive ACS800 0,55kW à 5600kW.
- [12] Schneider Electric, Product data sheet LC1D115F7, Mars 2013.
- [13] Schneider Electric, Product data sheet LC1D12F7, Août 2012.
- [14] ISO. [En ligne]. Available:
www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.html?csnumber=59970.
[Accès le 10 Mai 2016].
- [15] C. E. Internationale, Sécurité des machines - Equipement électrique des machines, 2000.
- [16] Rockwell Automation, Introduction à la norme (EN) ISO 14119.
- [17] Schneider Electric, Product data sheet XPSAC3421, Mars 2013.

- [18] Schneider Electric, Product data sheet XB4BS84441, Mars 2013.
- [19] Siemens, Mesure de niveau, Juin 2015.
- [20] Emerson Process Management, Système de vanne de régulation et actionneur GX, Juin 2015.
- [21] Prosense, RTD Probes with Connection Head, Avril 2016.
- [22] Rosemount, Transmetteur de pression Rosemount modèle 2051, Avril 2013.
- [23] Werma signaltechnik, Avertisseurs sonores, 2014.
- [24] Evi Audio France, Normes applicables en 2014 pour la sonorisation de sécurité, 2014.

ANNEXES

Annexe 1: Méthode de référence [4]

METHODE DE REFERENCE	MODES DE POSE	CONSTITUTION DE CIRCUIT					
		Câble uni		Conducteur		Câble multi	
B	• Sous conduit profilé en apparent ou encastré						
	• Sous vide de construction, faux plafonds						
	• Sous caniveaux						
C	• En apparent contre mur ou plafond						
	• Sur chemin de câble ou tablette non perforée						
E	• Sur échelles, chemin de câble perforé						
F	• Fixé en apparent, espacé de la paroi						
	• Câble suspendu						

Annexe 2: Facteur de correction en fonction de la méthode de référence [4]

	Mode de pose (numéro de référence du Tableau 52C)	Méthode de référence	Facteur de correction K1	Remarques
Conduits	1	B	0,77	(*) Pour des câbles dans les conduits (modes de pose 3A, 4A et 5A) appliquer un facteur de 0,9
	2	B	0,7	
	3	B	(*)	
	4	B	(*)	
	5	B	(*)	
Câbles	11			(*) Pour les poses sous-plafonds, appliquer un facteur de 0,95
	12	C	(*)	Parcours horizontal ou vertical E = Multi F = Uni
	13	E,F		
	14	E,F		
	15	E,F		
	16	E,F		
	17	E,F		
	18	C	1,21	
Vide de construction	21	B	0,95	(*) Pour des câbles dans le vide de construction (modes de pose 22A, 23A et 24A) appliquer un facteur de 0,865
	22	B	0,95 (*)	
	23	B	0,95 (*)	
	24	B	0,95 (*)	
	25	B	0,95	
Goulottes	31	B	(*)	(*) Pour des câbles dans des goulottes (modes de pose 31A, 32A 33A et 34A) appliquer un facteur de 0,9
	32	B	(*)	
	33	B	(*)	
	34	B	(*)	
Caniveaux	41	B		
	42	B	0,95	
	43	B		
Encastrés	51	B		
	52	C	0,77	
	53	C		
Moulures	71	B		(*) Pour des câbles multiconducteurs, appliquer un facteur de 0,9
	72	B	(*)	
	73	B	(*)	
	74	B	(*)	
Immergé	81			A l'étude

Annexe 3: Facteur de correction en fonction de la température ambiante [4]

Température ambiante (°C)	Elastomère (caoutchouc)	ISOLATION			
		PVC	PR / EPR	Minérale*	
				Gaine en PVC ou câble nu et accessible 70°C	Câble nu et inaccessible 105°C
10	1,29	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,22	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,15	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,07	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,93	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,71	0,79	0,87	0,77	0,88
50	0,58	0,71	0,82	0,67	0,84
55		0,61	0,76	0,57	0,80
60		0,50	0,71	0,45	0,75
65			0,65		0,70
70			0,58		0,65
75			0,50		0,60
80			0,41		0,54
85					0,47
90					0,40
95					0,32

UTILISATION EXCLUE

Annexe 4: Facteur de correction en fonction du regroupement de circuit [4]

DISPOSITION DE CIRCUITS OU DE CÂBLES JOINTIFS	FACTEURS DE CORRECTION												Méthodes de référence	Modes de pose
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
Encastré ou noyé dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40	B,C	1, 2, 3, 3A, 4, 4A, 5, 5A, 21, 22, 22A, 23, 23A, 24, 24A, 25, 31, 31A, 32, 32A, 33, 33A, 34, 34A, 41, 42, 43, 71
Simple couche sur les murs ou sur les plancher ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles			C	11, 12
Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64				11A	
Simple couche sur les tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				E, F	13
Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78					14, 15, 16, 17

Annexe 5: Facteur de correction en fonction du nombre de couche [4]

Nombre de couches	2	3	4	5	6	7	8	9 et plus
Facteur de correction	0,80	0,73	0,70	0,70	0,68	0,68	0,68	0,66

Annexe 6: Choix de la section de câble [4]

Méthode de référence	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGES								
B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR2			
C		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR2		
E			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2	
F				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	1088		1254
Aluminium									
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	
4	22	25	26	28	31	32	35	38	
6	28	32	33	36	39	42	45	49	
10	39	44	46	49	54	58	62	67	
16	53	59	61	66	73	77	84	91	
25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150		227	245	261	283	304	324	346	389
185		259	280	298	323	347	371	397	447
240		305	330	352	382	409	439	470	530
300		351	381	406	440	471	508	543	613
400					526	600	663		740
500					610	694	770		856
630					711	808	899		996

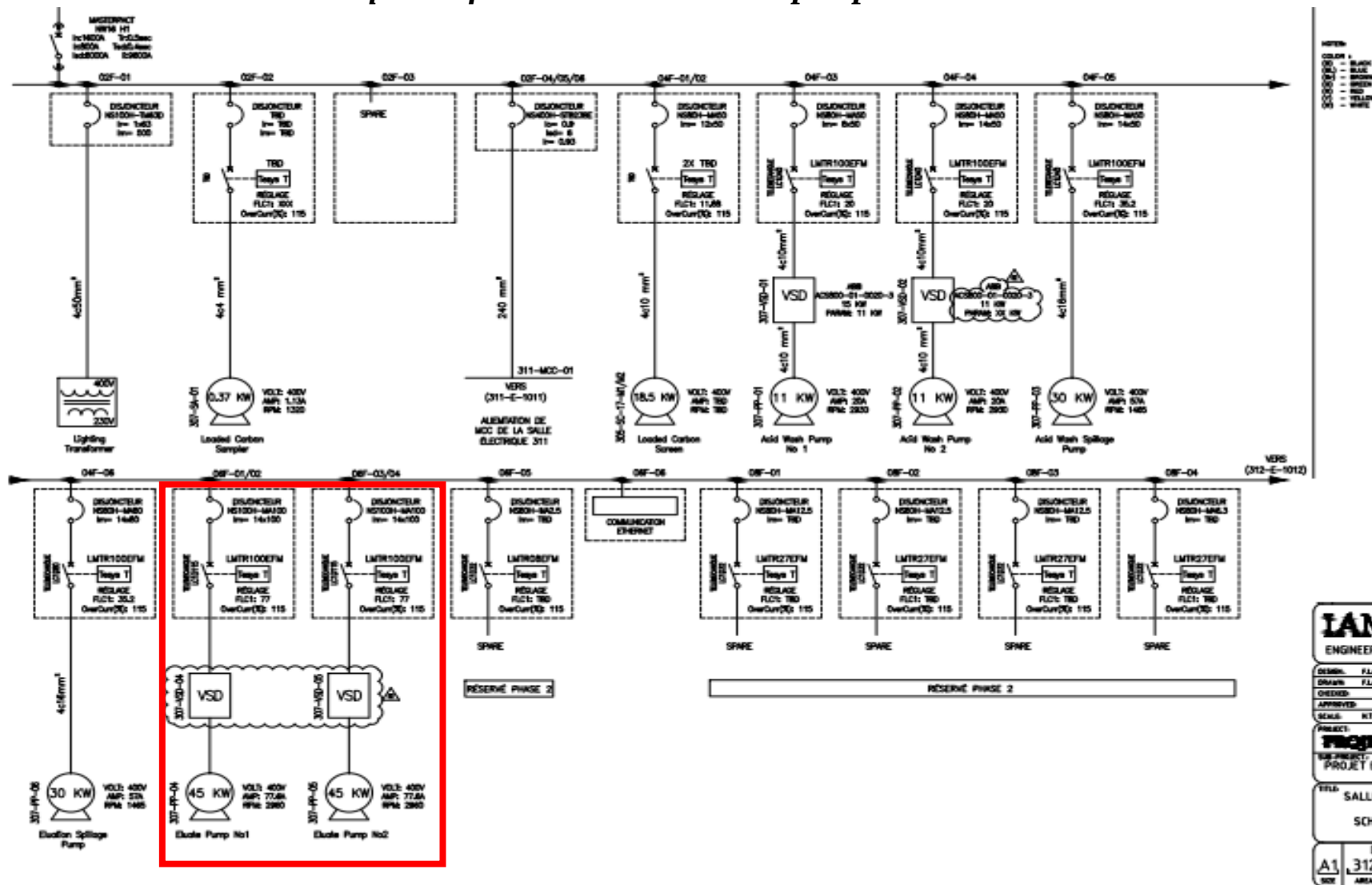
Annexe 7: Impédance du réseau amont ramenée au secondaire du transformateur HT/BT [4]

Pcc	Uo (V)	Ra (mΩ)	Xa (mΩ)
250 MVA	237	0,033	0,222
	410	0,1	0,700
500 MVA	237	0,017	0,111
	410	0,050	0,350

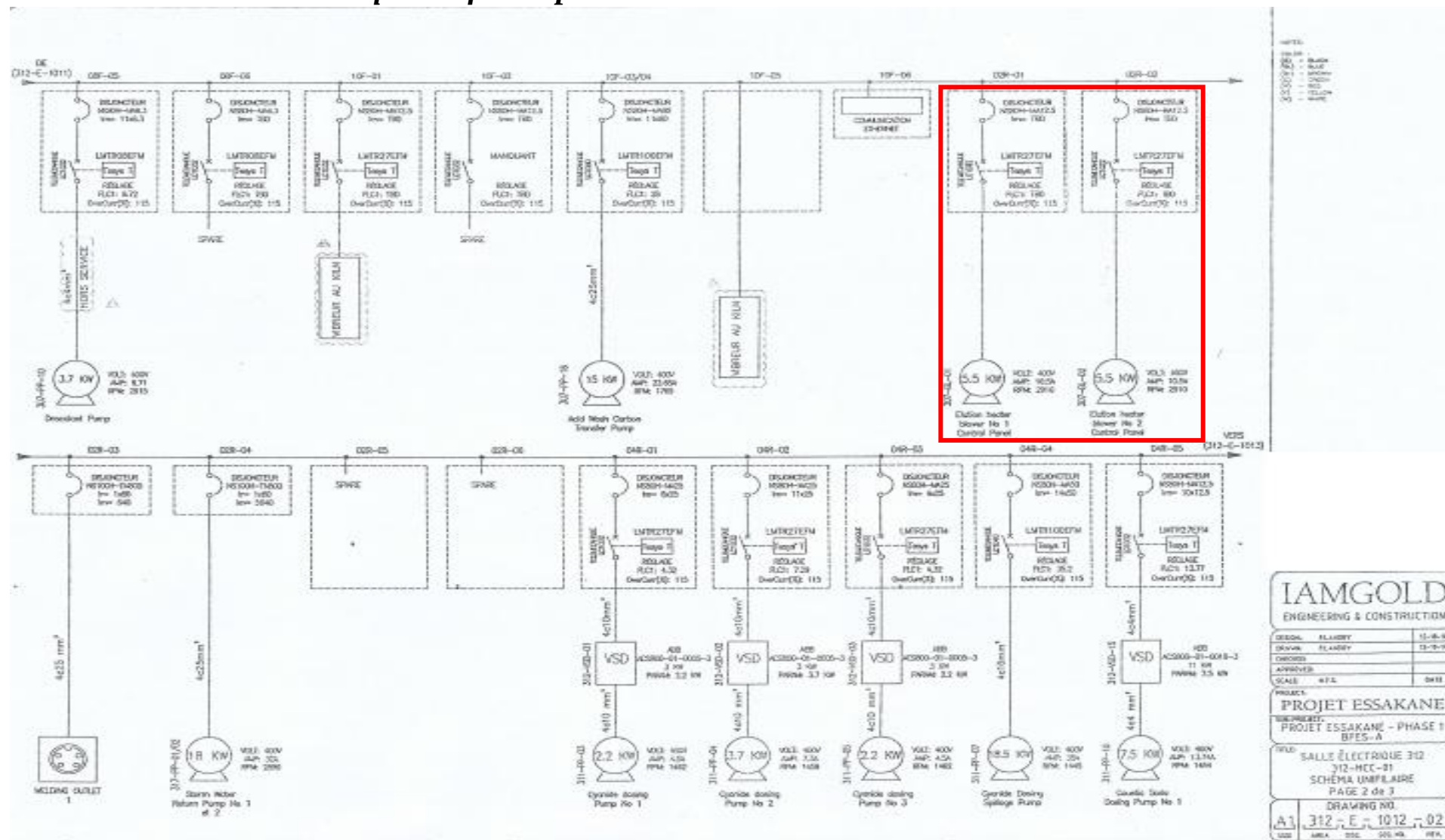
Annexe 8: Impédance, résistance et réactance d'un transformateur [4]

Tension	U ₂₀ =237V		U ₂₀ =410V	
Puissance (kVA)	RTR (mΩ)	XTR (mΩ)	RTR (mΩ)	XTR (mΩ)
100	11,79	19,13	35,30	57,23
160	5,15	13,06	15,63	39,02
250	2,92	8,5	8,93	25,37
315	2,21	6,78	6,81	20,22
400	1,614	5,38	5,03	16,04
500	1,235	4,32	3,90	12,87
630	0,92	3,45	2,95	10,25
800	0,895	3,03	2,88	9
1000	0,68	3,01	2,24	8,10

Annexe 9: Schéma électrique unifilaire des moteurs des pompes 307-PP-04 et 307-PP-05



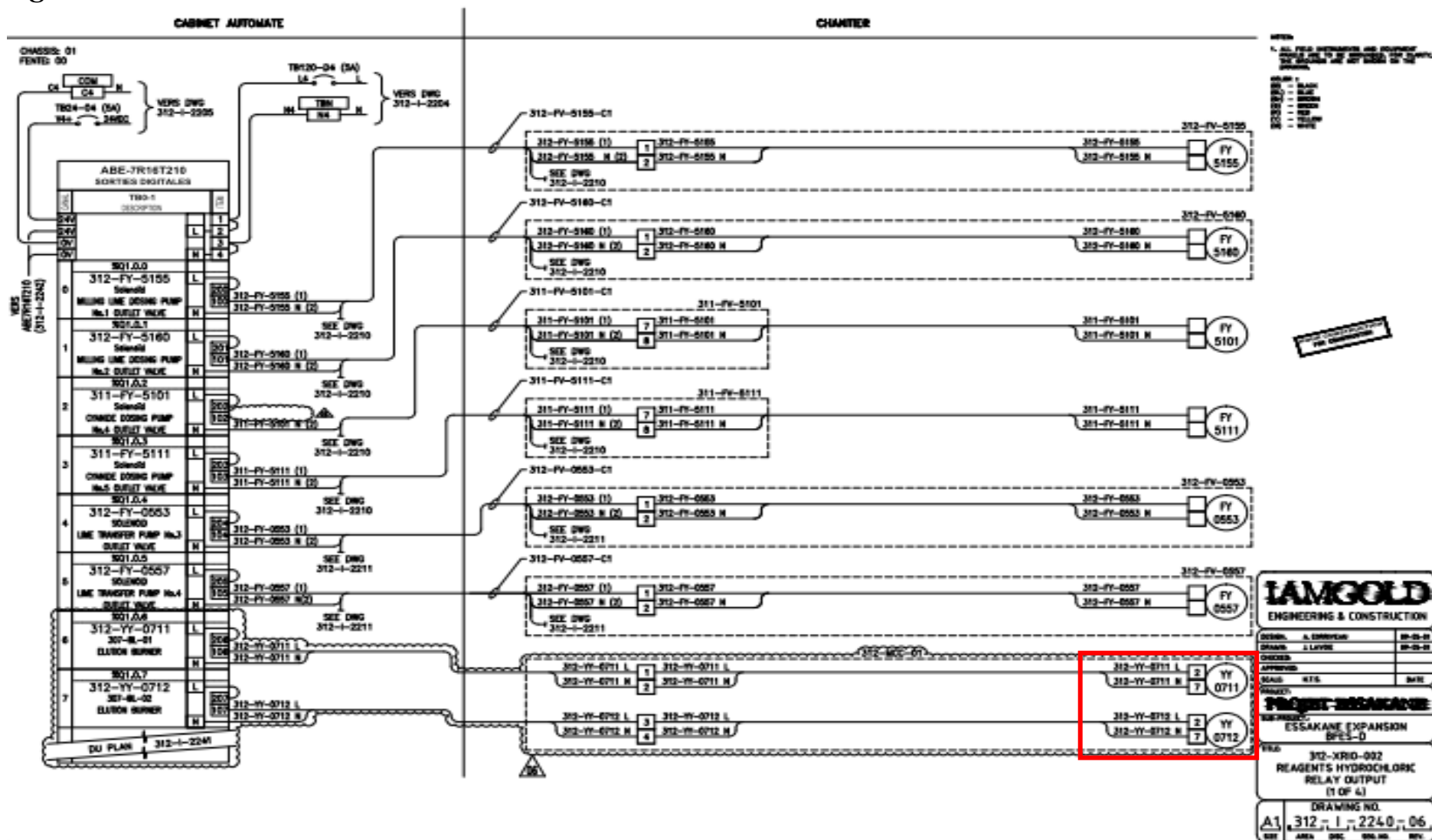
Annexe 11: Schéma électrique unifilaire pour les moteurs des brûleurs 307-BL-01 et 307-BL-02



TYPICAL CONTROL CIRCUIT MOTOR - 312-BL-01/02



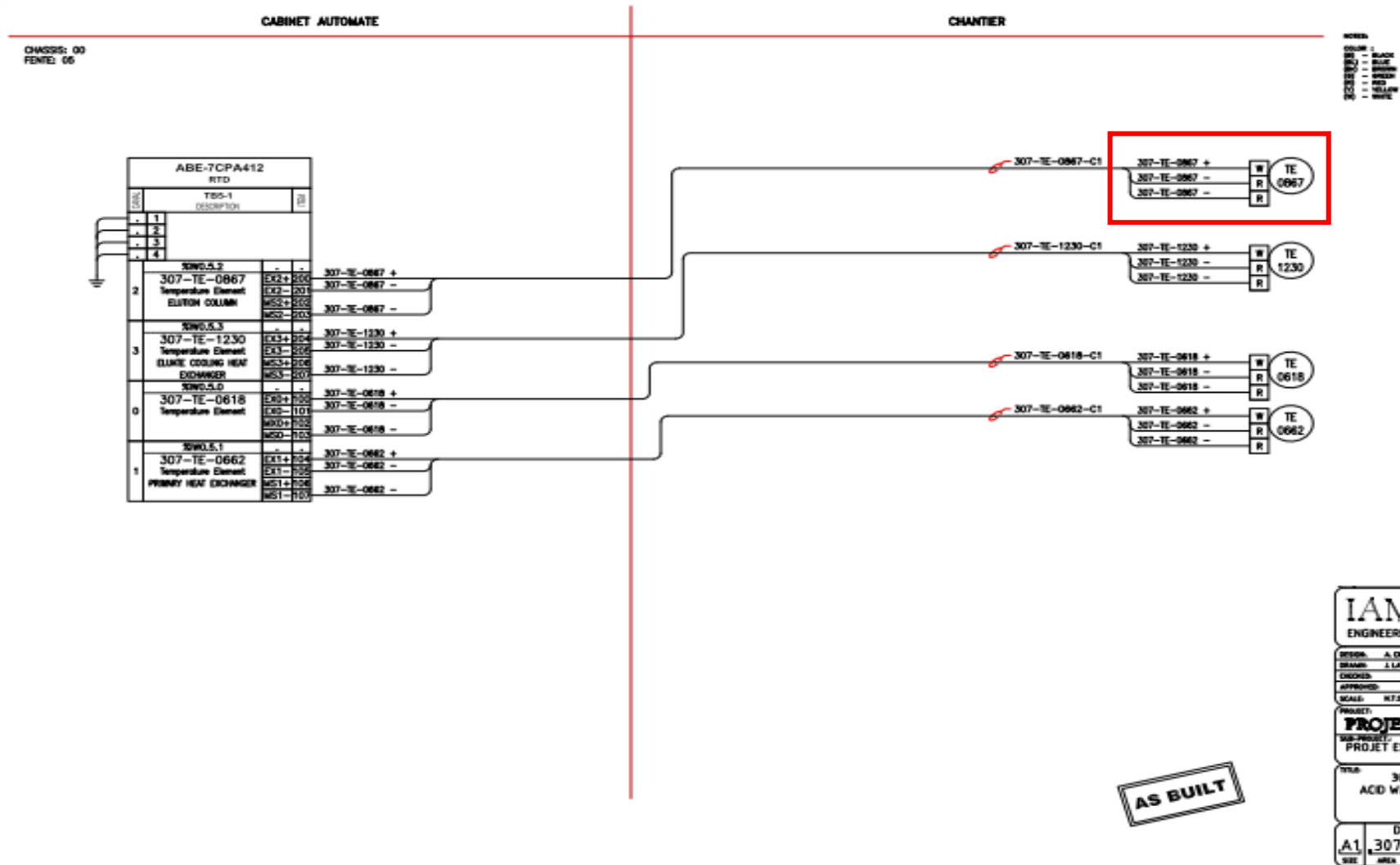
Annexe 13: Schéma électrique de raccordement des modules de sécurité des arrêts d'urgence aux sorties digitales de l'automate



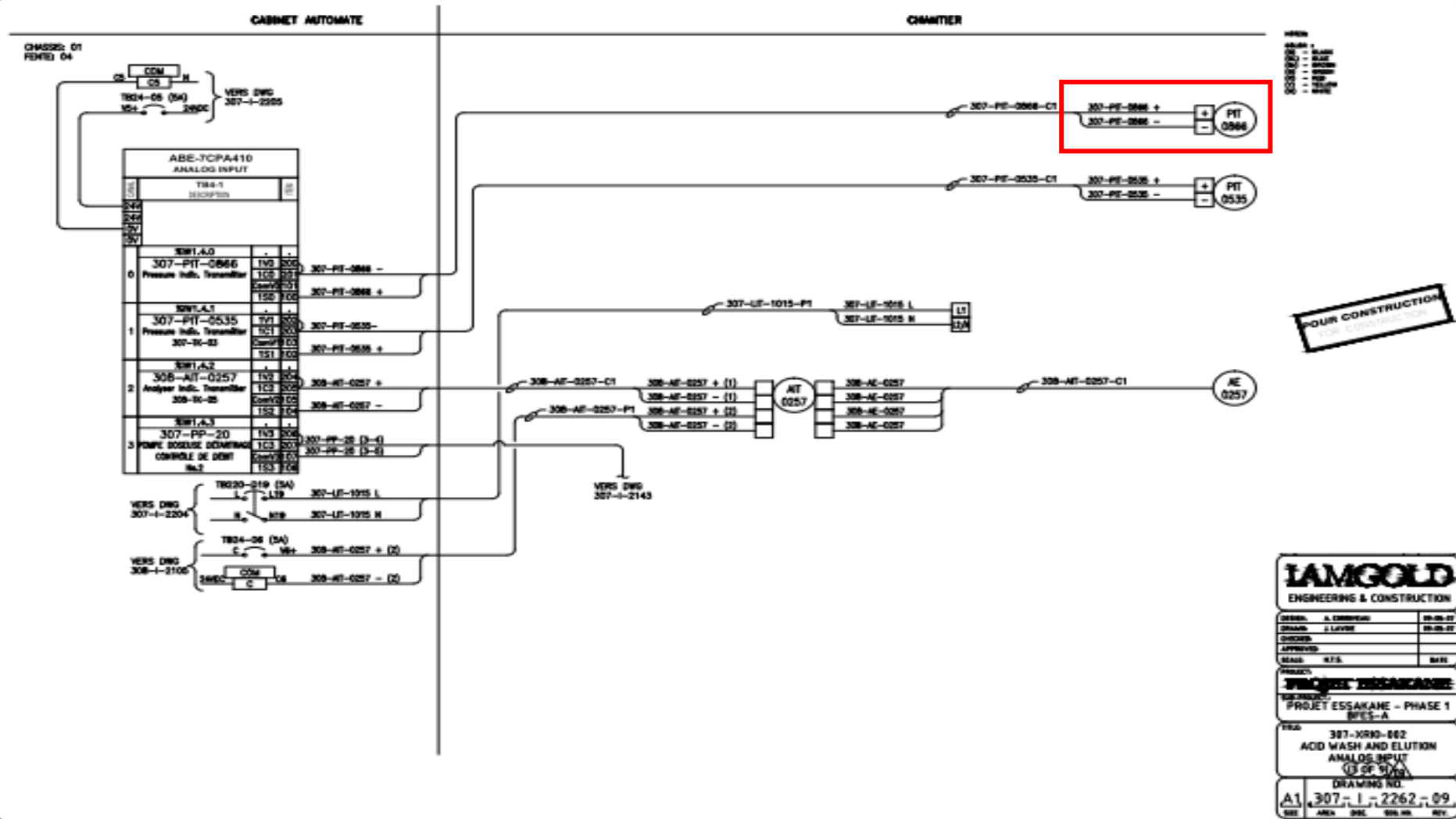
Annexe 14: Schéma électrique de raccordement de la sonde de niveau à une entrée analogique de l'automate



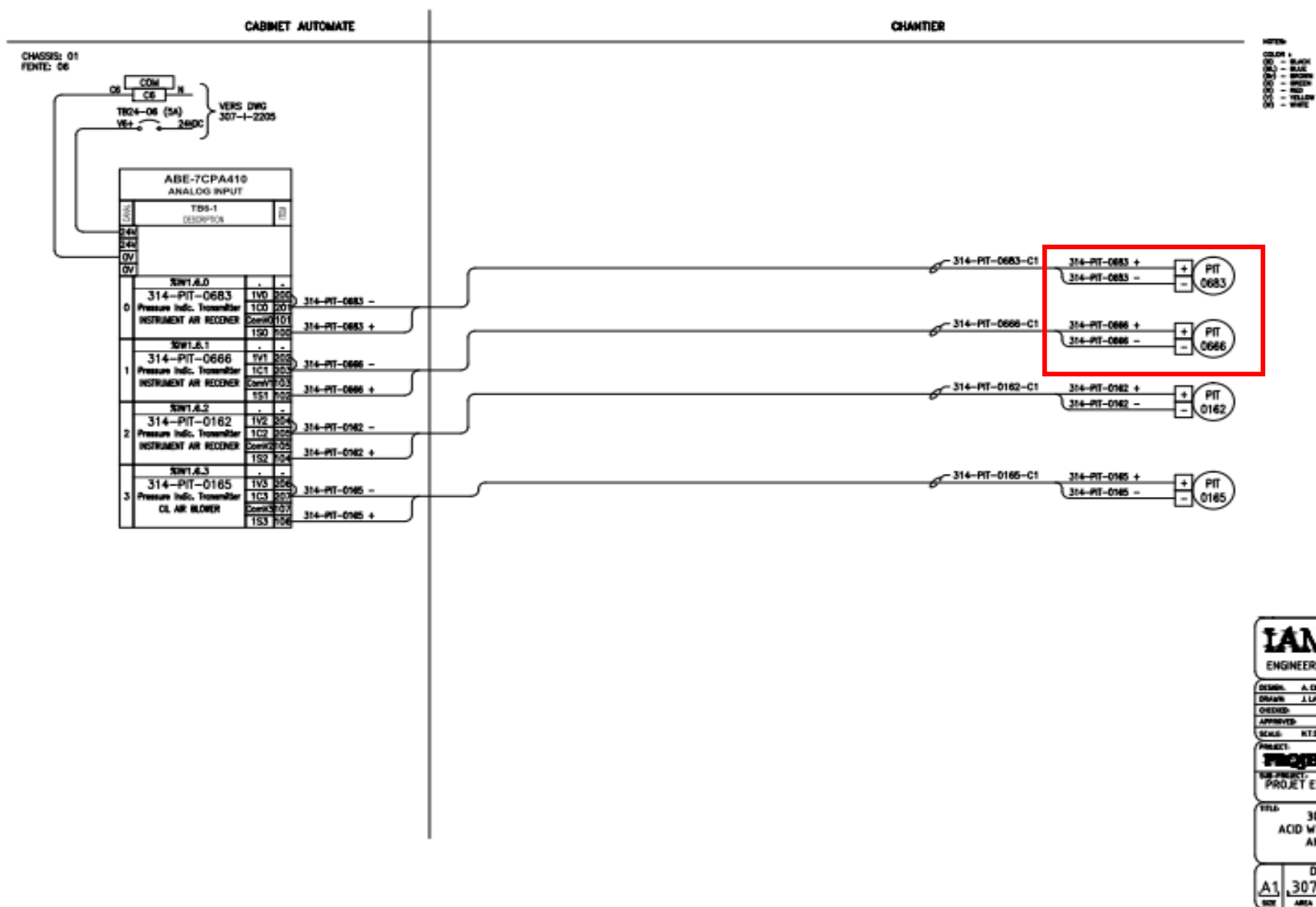
Annexe 16: Schéma électrique de raccordement de la sonde de température à une entrée analogique de l'automate



Annexe 17: Schéma électrique de raccordement des sondes de pression à des entrées analogiques de l'automate



Optimisation du circuit de l'éluotion de la mine d'or de la société Iamgold Essakane : volet électrique



Annexe 19: Fiche technique de disjoncteur compact [5]

Protection des départs-moteurs jusqu'à 37 kW

Puissance de moteur (kW)		0,37 ... 37
Compact		NS80
		
Pouvoir de coupure (kA eff)	H	70
380/415 V		
Caractéristiques générales du disjoncteur		page 48
Compact NS80H-MA est un disjoncteur spécialement dédié à la protection des départs moteurs		
Déclencheur associé		page 48
Un déclencheur magnétique intégré MA réalise la protection contre les courts-circuits.		

Protection des départs-moteurs jusqu'à 250 kW

Puissance de moteur (kW)		1,1 ... 110		18,5...250
Compact		NS100	NS160/250	NS400/630
				
Pouvoir de coupure (kA eff)	N	36	36	45
380/415 V	SX	50	50	-
	H	70	70	70
	L	150	150	150

Caractéristiques générales des disjoncteurs		page 20
Les disjoncteurs moteurs Compact NS100 à 630 sont les mêmes disjoncteurs que ceux destinés à la protection de la distribution mais équipés de déclencheurs moteurs.		
Déclencheurs associés		pages 49 à 53
Des déclencheurs magnétiques MA réalisent la protection contre les courts-circuits.		
Des déclencheurs électroniques interchangeables ME réalisent la protection contre les courts-circuits, contre les surcharges et contre le déséquilibre de phase.		

Annexe 20: Fiche technique de contacteurs [7]

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 ($\theta \leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)							courant assigné d'emploi en AC-3 440 V jusqu'à (A)	contacts auxiliaires instantanés		réf. de base à compléter par le repère de la tension (2) fixation (1)
220/230 V (kW)	380/400 V (kW)	415 V (kW)	440 V (kW)	500 V (kW)	660/690 V (kW)	1000 V (kW)				
raccordement par vis-étriers ou connecteurs										
2,2	4	4	4	5,5	5,5	-	9	1	1	LC1 D09..
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	-	12	1	1	LC1 D12..
4	7,5	9	9	10	10	-	18	1	1	LC1 D18..
5,5	11	11	11	15	15	-	25	1	1	LC1 D25..
7,5	15	15	15	18,5	18,5	-	32	1	1	LC1 D32..
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	-	38	1	1	LC1 D38..
11	18,5	22	22	22	30	22	40	1	1	LC1 D40..
15	22	25	30	30	33	30	50	1	1	LC1 D50..
18,5	30	37	37	37	37	37	65	1	1	LC1 D65..
22	37	45	45	55	45	45	80	1	1	LC1 D80..
25	45	45	45	55	45	45	95	1	1	LC1 D95..
30	55	59	59	75	80	65	115	1	1	LC1 D115..
40	75	80	80	90	100	75	150	1	1	LC1 D150..
raccordement par connecteurs Everlink® à vis BTR (4)										
11	18,5	22	22	22	30	-	40	1	1	LC1 D40A..
15	22	25	30	30	33	-	50	1	1	LC1 D50A..
18,5	30	30	30	37	37	-	65	1	1	LC1 D65A..
raccordement pour cosses fermées ou barres										
dans la référence choisie ci-dessus, ajouter le chiffre 6 devant le repère de la tension. Exemple : LC1 D09.. devient LC1 D096..										
raccordement par bornes à ressort										
2,2	4	4	4	5,5	5,5	-	9	1	1	LC1 D093..
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	-	12	1	1	LC1 D123..
4	7,5	9	9	10	10	-	18	1	1	LC1 D183..
5,5	11	11	11	15	15	-	25	1	1	LC1 D253..
7,5	15	15	15	18,5	18,5	-	32 (3)	1	1	LC1 D323..
raccordement puissance par connecteurs Everlink® à vis BTR (4) et contrôle par bornes à ressort										
11	18,5	22	22	22	30	-	40	1	1	LC1 D40A3..
15	22	25	30	30	33	-	50	1	1	LC1 D50A3..
18,5	30	30	30	37	37	-	65	1	1	LC1 D65A3..
raccordement par cosses Faston										
ces contacteurs sont équipés de cosses Faston : 2 x 6,35 mm sur les pôles puissance et 1 x 6,35 mm sur les bornes de la bobine et des auxiliaires. Il est possible de raccorder 2 x 6,35 mm sur les bornes bobine à l'aide d'une cosse Faston double, référence : LA9 6180, vendue séparément, par quantité indivisible de 100. Pour les contacteurs LC1 D09 et LC1 D12 uniquement, dans la référence choisie ci-dessus, remplacer le chiffre 3 par 9. Exemple : LC1 D093.. devient LC1 D099..										

Annexe 21: Fiche technique de variateur de vitesse [11]

Valeurs nominales		Utilisation sans surch.	Utilisation faible surcharge		Utilisation intensive		Niveau sonore	Dissipation thermique	Débit d'air	Code type	Taille
$I_{cont,max}$	I_{max}	$P_{cont,max}$	I_N	P_N	I_{int}	P_{int}	dBA	W	m³/h		
A	A	kW	A	kW	A	kW					
U _N = 230 V (Plage 208-240 V). Valeurs nominales de puissance valables sous tension nominale 230 V											
5,1	6,5	1,1	4,7	0,75	3,4	0,55	62	100	35	ACS800-01-0001-2	R2
6,5	8,2	1,5	6	1,1	4,3	0,75	62	100	35	ACS800-01-0002-2	R2
8,5	10,8	1,5	7,7	1,5	5,7	1,1	62	100	35	ACS800-01-0003-2	R2
10,9	13,8	2,2	10,2	2,2	7,5	1,5	62	120	35	ACS800-01-0004-2	R2
13,9	17,6	3	12,7	3	9,3	2,2	62	140	35	ACS800-01-0005-2	R2
19	24	4	18	4	14	3	62	160	69	ACS800-01-0006-2	R3
25	32	5,5	24	5,5	19	4	62	200	69	ACS800-01-0009-2	R3
34	46	7,5	31	7,5	23	5,5	62	250	69	ACS800-01-0011-2	R3
44	62	11	42	11	32	7,5	62	340	103	ACS800-01-0016-2	R4
55	72	15	50	11	37	7,5	62	440	103	ACS800-01-0020-2	R4
72	86	18,5	69	18,5	49	11	65	530	250	ACS800-01-0025-2	R5
86	112	22	80	22	60	15	65	610	250	ACS800-01-0030-2	R5
103	138	30	94	22	69	18,5	65	810	250	ACS800-01-0040-2	R5
141	164	37	132	37	97	30	65	1190	405	ACS800-01-0050-2	R6
166	202	45	155	45	115	30	65	1190	405	ACS800-01-0060-2	R6
202	282	55	184	55	141	37	65	1440	405	ACS800-01-0070-2	R6
U _N = 400 V (Plage 380-415 V). Valeurs nominales de puissance valables sous tension nominale 400 V											
5,1	6,5	1,5	4,7	1,5	3,4	1,1	62	100	35	ACS800-01-0003-3	R2
6,5	8,2	2,2	5,9	2,2	4,3	1,5	62	120	35	ACS800-01-0004-3	R2
8,5	10,8	3	7,7	3	5,7	2,2	62	140	35	ACS800-01-0005-3	R2
10,9	13,8	4	10,2	4	7,5	3	62	160	35	ACS800-01-0006-3	R2
13,9	17,6	5,5	12,7	5,5	9,3	4	62	200	35	ACS800-01-0009-3	R2
19	24	7,5	18	7,5	14	5,5	62	250	69	ACS800-01-0011-3	R3
25	32	11	24	11	19	7,5	62	340	69	ACS800-01-0016-3	R3
34	46	15	31	15	23	11	62	440	69	ACS800-01-0020-3	R3
44	62	22	41	18,5	32	15	62	530	103	ACS800-01-0025-3	R4
55	72	30	50	22	37	18,5	62	610	103	ACS800-01-0030-3	R4
72	86	37	69	30	49	22	65	810	250	ACS800-01-0040-3	R5
86	112	45	80	37	60	30	65	990	250	ACS800-01-0050-3	R5
103	138	55	94	45	69	37	65	1190	250	ACS800-01-0060-3	R5
145	170	75	141	75	100	45	65	1440	405	ACS800-01-0075-3	R5
166	202	90	155	75	115	55	65	1940	405	ACS800-01-0100-3	R6
202	282	110	184	90	141	75	65	2310	405	ACS800-01-0120-3	R6
225	326	110	220	110	163	90	65	2810	405	ACS800-01-0135-3	R6
260	326	132	254	132	215	110	65	3260	405	ACS800-01-0165-3	R6
290	351	160	285	160	234	132	65	4200	405	ACS800-01-0205-3	R6

Annexe 22: Devis quantitatif et estimatif

Equipements	Modèle	Quantité	Prix unitaire en Euro
Variateur ABB	ACS800-010050-3	02	4.375,38
Variateur ABB	ACS800-0160-3	01	10.367,3
Vanne fisher 6 pouces	GX D103171X0FR	01	8.494,39
Sirène d'alarme Werma signaltechnik	BUZZER 109 dB	01	56
Câble (cuivre)	4x95 mm ²	350 mètres	34,72 euros/mètre
Câble (cuivre)	4x10 mm ²	200 mètres	5,68 euros/mètre
Sonde de pression Rosemount	2051TG2A2B21AS1KDM5D4	03	1707,17
Disjoncteur Compact	NS100H-MA	01	105,11
Disjoncteur Compact	NS80H-MA	02	107,15
Contacteur Schneider Electric	LC1D95F7	01	301,01
Contacteur Schneider Electric	LC1D115F7	01	349,48
Contacteur Schneider Electric	LC1D12F7	01	35,56
Tesys T Schneider Electric	LTMR100EFM	02	518,21
Tesys T Schneider Electric	LTMR27EFM	01	530,9
Sonde de niveau Siemens	SITRANS LR260	01	4391,71
Module de sécurité Preventa	XPSAC3421	03	159,13
Sonde de température	Pt100 RTD1-C06-02 (PROSENSE)	01	59,2
Bouton d'arrêt d'urgence Schneider Electric	XB4BS84441	03	27
PRIX TOTAL	53.660,04 Euros soit 35.198.678,86 F CFA		