



**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT**

OPTION : GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

**Efficacité Energétique des systèmes de pompage
à vis d'Archimède de la vallée du Sourou au
Burkina Faso**

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Jean Severin BOUDA

Travaux dirigés par : Dr. Ahmed Ousmane BAGRE

Enseignant-Chercheur à 2iE,
Département Génie Electrique Energétique et
Industriel

Saturnin SANOUHIDI

Ingénieur génie industriel
Projet Production Solaire (P.P.S)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Edem N'TSOUKPOE

Membres et correcteurs : Dr. Ahmed Ousmane BAGRE
Ing. Éric NOUMI

Promotion [2014/2015]

"A l'école on apprend beaucoup de choses mais la plus importante de toute est une autre façon de voir le monde"

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mon DIEU, qui m'a toujours donné la force et le courage d'affronter et surmonter les obstacles.

Mes plus vives remerciements vont à ma famille qui a en crue en moi et m'a soutenu durant toutes mes études.

Ce projet a été réalisé à l'entreprise Projet Production Solaire (PPS). Je remercie vivement Monsieur Emmanuel KABORE en sa qualité de Directeur Général de PPS de m'avoir accordé ce stage pour mon stage de fin d'étude.

Je tiens à remercier particulièrement:

Monsieur Saturnin SANHOUIDI, mon maître de stage, pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, les discussions constructives et ses encouragements durant la préparation de ce mémoire.

Dr Ahmed O. BAGRE, Directeur des Etudes de l'institut 2iE pour son aide et l'honneur qu'il me fait de suivre mes travaux.

Monsieur Eric RIPAMA, chef de service appui à l'exploitation des infrastructures et équipements /DAIE/AMVS, pour son aide durant ma collecte de données.

Messieurs Bienvenu KERE, Dan DELMA, François TAHOURA, Jean Paul BAMBARA et tout le personnel de PPS pour leurs encadrements et leurs aides durant les travaux que j'ai eu à effectuer à PPS.

A mes camarades de classe, tout le corps professoral et au personnel de l'institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, pour tout ce que j'ai appris durant ces cinq dernières années auprès de vous, je vous dis merci.

RESUME

Afin d'atteindre les objectifs du millénaire en matière de sécurité alimentaire, le gouvernement burkinabé a entamé un plan de redressement du secteur agricole visant à développer et mécaniser l'irrigation intensive. Notre projet d'étude s'inscrit dans le cadre d'une activité de ce plan. Le résultat attendu est d'offrir aux producteurs céréaliers de la vallée du Sourou des infrastructures de production fiables tout en réduisant les frais de production. Il s'agit d'étudier le remplacement du système d'entraînement diesel actuel des stations de pompage par un système d'entraînement à moteurs électriques alimentés par le réseau électrique national dans l'optique de l'efficacité énergétique et de la continuité de service. Dans ce qui suit, nous déterminons les caractéristiques primaires des appareils électriques à installer à partir des données physiques du terrain. Il est donc question, dans un premier temps, de dimensionner un système d'entraînement électrique en remplacement de l'ancien système thermique conformément aux exigences de l'AMVS. Par la suite une étude fonctionnelle du système nous a permis d'évaluer la pertinence de l'application du règlement CE640/2009 au système de pompage à vis d'Archimède dans un contexte burkinabé. Enfin une réhabilitation effective de deux stations, une à auge en béton et l'autre à auge métallique, permet d'évaluer avec plus de précision les temps de réalisation et établir un programme d'exécution des travaux. Les résultats obtenus des différentes évaluations montrent une baisse considérable des coûts de production agricole (environ 20%) partir de la troisième année de fonctionnement et une applicabilité partielle du règlement CE640/2009.

Mots Clés:

-
- 1 - Station de pompage**
 - 2 - Réhabilitation**
 - 3 – Moteur Haut rendement**
 - 4 – Variateur de vitesse**
 - 5 – Economie d'énergie**

ABSTRACT

In order to reach the Millennium Development Goals on food security, the Burkinabe government has begun a recovery plan of the agricultural sector to develop and mechanize intensive irrigation. Our research project is part of an activity of the plan. The expected outcome is to provide grain producers of the Sourou Valley reliable production infrastructure while reducing production costs. This study replacing the current diesel drive system of pumping stations by a drive system with electric motors powered by the national grid from the perspective of energy efficiency and continuity of service. This is to replace the diesel drive pump stations by an electric drive and connect to the national grid. In what follows, we identify the primary characteristics of electrical appliances to be installed from physical data of the field. It is thus question, in a first step, to size an electric drive system in place of the former thermal system in accordance with the requirements of AMVS. Subsequently a functional study of the system enabled us to evaluate the relevance of the application of Regulation CE640 / 2009 Archimedean screw pumping system in a context of Burkina Faso. Finally an effective rehabilitation of two stations, a concrete trough and the other metal trough, used to evaluate more accurately the completion time and establish a program of works. The results of the various evaluations show a substantial decline in agricultural production costs (about 20%) from the third year of operation and partial applicability of Regulation CE640 / 2009.

Key words:

- 1 - Pumping station**
- 2 - Rehabilitation**
- 3 - High engine performance**
- 4 - Speed variator**
- 5 – Energy saving**

LISTE DES ABREVIATIONS

Sigles et abréviations	Désignations
2iE	Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
AC	Courant Alternatif
AMVS	Autorité de Mise en Valeur de la vallée du Sourou
CAPIEL	Comité de coordination des associations de constructeurs d'appareillage
CO	Monoxyde de carbone
CO2	dioxyde de carbone
EFF	Ancienne classification des moteurs
GEI	Guide de l'Electricité Industrielle
IE	International Efficiency
LCC	Life Cycle Cost
LS	électrique industriel de l'Union Européenne
LSMV	Leroy SOMER Moto Variateur
MALT	Mise à la terre
MOB	Maitrise d'Ouvrage de Bagré
NF	Norme Française
Pdc	Pouvoir de coupure
PPS	Projet Production Solaire
SONABEL	Société Nationale d'Electricité du Burkina
SP	Station de pompage
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature

GRANDEURS ET UNITES

Grandeurs	Symboles	Unités
Couple	C	N.m
Courant électrique	I	A
Déphasage	Φ	rad
Energie	E	kWh
Facteur de puissance	$\text{Cos}\varphi$	-
Force électromotrice	E	V
Fréquence	F	Hz
Impédance	Z	Ω
Inductance	L	H
Puissance	P	W
Réactance	X	Ω
Rendement	H	-
Résistance	R	Ω
Résistivité	R	$\Omega.m$
Température	T	$^{\circ}\text{C}$
Temps	T	s
Tension	U	V
Vitesse	V	m/s
Vitesse de rotation	N	min^{-1}

Table des matières

1. Identification et diagnostic du matériel installé.....	8
1.1 Le pompage à vis d'Archimède.....	8
1.1.1 Principe de fonctionnement.....	8
1.1.2 Avantage et inconvénient	9
1.2 Situation de la zone de projet.....	9
1.3 diagnostic du matériel installé	9
1.4 Organisation des usagés	10
2. Matériels et Méthodes	11
2.1 Présentation du cahier des charges	11
2.1.1 Travaux de génie civil	11
2.1.2 Travaux d'électromécanique	11
2.2 Dimensionnement des stations	11
2.2.1 Systèmes de pompage	11
2.2.2 Réseau Basse Tension interne	16
2.3 Evaluation économique et environnementale.....	21
2.3.1 Elaboration du plan d'exécution des travaux	21
2.3.2 Evaluation des coûts de production.....	21
2.3.3 Impact environnemental	22
3. Résultats.....	23
3.1 Résultat du diagnostic de fonctionnement	23
3.2 Résultats du dimensionnement des équipements	24
3.2.1 Appareils de puissance	24
3.2.2 Appareils de contrôle et de commande	26
3.2.3 Conducteurs et protections	27
3.2.4 Câblage et Systèmes d'alimentation.....	30
3.3 Evaluation économique et environnementale.....	32
3.3.1 Impact environnemental	32
3.4 Gestion du projet.....	33
3.5 Cas pratique : Station SPouest	34
3.5.1 Schémas unifilaires	34
3.5.2 Exécution des travaux	34

3.5.3	Résultats des essais	35
4.	<i>Discussion et Analyses</i>	35
4.1	Choix des appareils	35
4.1.1	Choix des moteurs	35
4.1.2	Choix des variateurs	36
4.1.3	La compensation	38
4.1.4	Conducteurs et protections	38
4.1.5	Système d'alimentation	38
4.2	Evaluation économique et environnementale	39
4.2.1	Impact socio-économique	39
4.2.2	Impact environnemental	40
4.3	Management du projet	40
5.	<i>Conclusions</i>	42
6.	<i>Recommandations - Perspectives</i>	44
<i>Annexes</i>	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Programme et variété des cultures	10
Tableau 2: Hypothèses primaires de dimensionnement	12
Tableau 3: constante de dimensionnement lignes aériennes	17
Tableau 4: constantes de dimensionnement lignes enterrées	17
Tableau 5: K en volts par ampère et par km dans un circuit (extrait Fig. G29 GEI 2010)	18
Tableau 6: Résistivité (Ωm) de différents terrains (d'après NF C 15-100)	20
Tableau 7: résumé d'état des lieux.....	23
Tableau 8: Puissances en jeu	24
Tableau 9: Classes et indice de choix des moteurs	25
Tableau 10: Consommations et pertes annuelles d'énergie	25
Tableau 11: Résumé coût du cycle de vie des moteurs.....	26
Tableau 12: Consommations et pertes d'énergie par cycles de démarrage	26
Tableau 13: Tailles des variateurs Unidrives choisis	26
Tableau 14: Transformateurs et compensations	27
Tableau 15: Calcul électrique lignes aériennes	27
Tableau 16: Calcul électrique des conducteurs enterrés	28
Tableau 17: Résultats de calcul des protections.....	29
Tableau 18 : Production annuelle de CO2	33
Tableau 19: variété de culture et périodes d'activités.....	33
Tableau 20: Planning type d'exécution des travaux sur une station.....	33
Tableau 21: Résultat des essais station SPOUEST	35
Tableau 22: composition des équipes d'intervention.....	40
Tableau 23: liste du matériel de travail	41
Tableau 24: Planning d'exécution des travaux	41
Tableau 25: Bilan et état des lieux	51
Tableau 26: Puissances à développées	56
Tableau 27: Consommations et pertes des moteurs LSMV	58
Tableau 28: Consommation et Perte des moteurs classiques.....	59
Tableau 29: Bilan de Puissances des périmètres	60
Tableau 30: Calculs électriques des lignes aériennes.....	61
Tableau 31: Calcul électrique des lignes enterrées	63

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Connexion minimale pour la mise en service du variateur de vitesse Unidrive M200	30
Figure 2: Circuit de puissance	31
Figure 3: Schémas d'alimentation du système.....	31
Figure 4: circuit de commande du système	32
Figure 5: Schémas unifilaire des installations de la station SP50	34
Figure 8: Coût cumulés des opérations annuelles	36
Figure 7: Evolution comparée des LCC des moteurs IE1 et IE2	36
Figure 9:Alimentation pour réseau triphasé AC d'un variateur unidrive selon norme de sécurité EN 954-1	39
Figure 10: carte de situation des périmètres irrigués.....	48
Figure 11: Système de pompage à vis	49
Figure 12: intégration du moteur au système de pompage.....	50
Figure 13: Moto pompe thermique station SP50	69
Figure 14: Motoréducteur électrique LSMV 180LU	70
Figure 15: Armoire de commande câblé (périmètre 500 SP1).....	71

Introduction

Contexte international

Il y a dans le monde, différents systèmes de classification du rendement des moteurs à induction. A fin de créer un système unique, la IEC (International Electrotechnical Commission) a publié en octobre 2008 la norme CEI 60034-30 “Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code)”. Cette classification CEI remplace la CEMEP (pour plus de clarté, celle des moteurs “Eff.1, Eff.2 et Eff.3”). Le tableau 1 présente la correspondance entre les différentes classifications.

Tableau 1: Classification IE et CEMP à 50Hz (CAPIEL, Août 2010)

KW	Hp	classes de rendement CEI 60034-20:2008 (à 50Hz)									classes de rendement accord volontaire CEMEP					
		IE-1 standard efficiency			IE-2 high efficiency			IE-3 premium efficiency			Eff.3		Eff.2		Eff.1	
		2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	2 poles	4 poles	2 poles	4 poles
0,75	1	72,1	72,1	70,0	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9	-	-	-	-	-	-
1,1	1,5	75,0	75,0	72,9	79,6	81,4	78,1	82,7	84,1	81,0	<76,2	<76,2	≥76,2	≥76,2	>82,8	>83,8
1,5	2	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5	<78,5	<78,5	≥78,5	≥78,5	>84,1	>85,0
2,2	3	79,7	79,7	77,7	83,2	84,3	81,8	85,9	86,7	84,3	<81,0	<81,0	≥81,0	≥81,0	>85,6	>86,4
3	4	81,5	81,5	79,7	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6	<82,6	<82,6	≥82,6	≥82,6	>86,7	>87,4
4	5,5	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8	<84,2	<84,2	≥84,2	≥84,2	>87,6	>88,3
5,5	7,5	84,7	84,7	83,1	87,0	87,7	86,0	89,2	89,6	88,0	<85,7	<85,7	≥85,7	≥85,7	>88,6	>89,2
7,5	10	86,0	86,0	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1	<87,0	<87,0	≥87,0	≥87,0	>89,5	>90,1
11	15	87,6	87,6	86,5	89,4	89,8	88,7	91,2	91,4	90,3	<88,4	<88,4	≥88,4	≥88,4	>90,5	>91,0
15	20	88,7	88,7	87,7	90,3	90,6	89,7	91,9	92,3	91,2	<89,4	<89,4	≥89,4	≥89,4	>91,3	>91,8
18,5	25	89,3	89,3	88,6	90,9	91,2	90,4	92,4	92,6	91,7	<90,0	<90,0	≥90,0	≥90,0	>91,8	>92,2
22	30	89,9	89,9	89,2	91,3	91,6	90,9	92,7	93,0	92,2	<90,5	<90,5	≥90,5	≥90,5	>92,2	>92,6
30	40	90,7	90,7	90,2	92,0	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9	<91,4	<91,4	≥91,4	≥91,4	>92,9	>93,2
37	50	91,2	91,2	90,8	92,5	92,7	92,2	93,7	93,9	93,3	<92,0	<92,0	≥92,0	≥92,0	>93,3	>93,6
45	60	91,7	91,7	91,4	92,9	93,1	92,7	94,0	94,2	93,7	<92,5	<92,5	≥92,5	≥92,5	>93,7	>93,9
55	75	92,1	92,1	91,9	93,2	93,5	93,1	94,3	94,6	94,1	<93,0	<93,0	≥93,0	≥93,0	>94,0	>94,2
75	100	92,7	92,7	92,6	93,8	94,0	93,7	94,7	95,0	94,6	<93,6	<93,6	≥93,6	≥93,6	>94,6	>94,7
90	120	93,0	93,0	92,9	94,1	94,2	94,0	95,0	95,2	94,9	<93,9	<93,9	≥93,9	≥93,9	>95,0	>95,0
110	150	93,3	93,3	93,3	94,3	94,5	94,3	95,2	95,4	95,1	-	-	-	-	-	-
132	180	93,5	93,5	93,5	94,6	94,7	94,6	95,4	95,6	95,4	-	-	-	-	-	-
160	220	93,8	93,8	93,8	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6	-	-	-	-	-	-
200	270	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-
250	335	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-
315	423	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-
355	483	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-

En Europe, elle est considérée comme un pas en avant dans l’application de la Directive 2009/125/CE « établissant un cadre pour la fixation d’exigences en matière d’écoconception applicables aux produits liés à l’énergie ». De cette directive est né en 2009 le règlement CE 640/2009. L’article 3 de ce dit règlement stipule que :

- **à partir du 16 juin 2011** : Les moteurs doivent avoir un rendement supérieur ou égal au niveau de rendement IE2, tel que défini à l’annexe I, point 1 ;
- **à partir du 1er janvier 2015** : Les moteurs d’une puissance nominale comprise entre 7,5 et 375 kW doivent soit avoir un rendement supérieur ou égal au niveau de rendement IE3 défini à l’annexe I, point 1, soit atteindre le niveau de rendement IE2 défini à l’annexe I, point 1, et être équipés d’un variateur de vitesse ;
- **à partir du 1er janvier 2017** : Tous les moteurs d’une puissance nominale comprise entre 0,75 et 375 kW doivent soit avoir un rendement supérieur ou égal au niveau de

rendement IE3 défini à l'annexe I, point 1, soit atteindre le niveau de rendement IE2 défini à l'annexe I, point 1, et être équipés d'un variateur de vitesse.

Les normes appliquées en Afrique étant généralement calquées sur celles européennes, il est donc possible de supposer une transposition future de ce règlement en Afrique. Nous nous sommes proposé d'étudier la pertinence de son application dans un contexte de pompage au Burkina Faso.

Contexte national

Pour atteindre l'autosuffisance alimentaire, il est impératif d' moderniser l'irrigation. Cette modernisation, passe par le développement de l'irrigation intensive. Le pompage pourrait se définir dans ce contexte comme le sous secteur énergétique de l'agriculture. Selon de rapport d'analyse de la compétitivité de la filière riz local au Burkina Faso du Ministère de l'agriculture de l'hydraulique et des ressources halieutiques de 2013, son coût représentait en moyenne 52% du coût de production du riz en 2013. Selon le même rapport, les moteurs thermiques alimentés au Diesel sont la principale source d'énergie des systèmes de pompage. Cette prédominance du Diesel fut longtemps due à la faiblesse du taux de couverture du réseau national interconnecté. Mais ces dernières années avec l'expansion du réseau SONABEL, de plus en plus de OUEA se tourne vers l'électricité. Pour une transition efficace, il est donc impératif d'effectuer une étude comparative des deux systèmes d'alimentation.

Dans ce contexte, les anciennes stations de pompage à vis d'Archimède de l'AMVS sont un sujet d'étude intéressant. En effet, ils offrent de nombreuses données sur plus de vingt ans de service et leur projet de réhabilitation sont conforme au règlement CE640/2009.

Contexte du projet

L'intérêt de la vallée du Sourou comme pôle de développement socioéconomique tiré par l'accroissement de la production agricole remonte à peu près à la fin de la première guerre mondiale. Mais il faudra attendre 1986 pour voir un engagement du gouvernement burkinabé avec la mise en place de l'Autorité de Mise en valeur de la Vallée du Sourou (UICN, 2013).

L'Autorité de Mise en valeur de la Vallée du Sourou (AMVS) a pour principaux objectifs de promouvoir le développement de l'agriculture irriguée, d'accroître les productions agricoles du pays et de contribuer ainsi à la réalisation de l'autosuffisance et de la sécurité alimentaires. Elle est chargée de mettre à la disposition des agriculteurs des infrastructures fiables et durables. Le plan directeur d'aménagement des bassins du Sourou réalisé en 1994 par le Gouvernement du Burkina Faso avec l'appui technique de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA) a révélé un potentiel de terres aménageables estimé à 41 000 ha, dont 36 402 ha ont été retenus pour être aménagés. Actuellement, l'AMVS a pu aménager environ 4 000 ha, soit 12.7% du potentiel (UICN, 2013).

L'alimentation en eau des surfaces agricoles se fait par vis d'Archimède. Ce système de pompage, qui jadis était entraîné par des moteurs thermiques, est vieillissant et en proie à des pannes. Les couts de maintenance et de fonctionnement élevés et la baisse de rendement de ce système se répercutent durement sur la productivité et les coûts finaux des produits agricoles

de la vallée du Sourou et par ricochet sur le coût des céréales burkinabé.

C'est dans l'optique de redynamiser la production agricole que l'AMVS adopte une politique de développement de l'irrigation intensive à partir d'une parfaite maîtrise de l'eau dans les périmètres hydroagricoles. Le projet phare de cette politique est la réhabilitation du système de pompage des anciennes stations de pompage. Il fut question de remplacer l'ancien système à moteurs thermiques par un nouveau doté de moteurs électriques.

Ce sont en tout vingt (20) stations à vis d'Archimède et sept (07) à pompes immergées qui sont concernés par ce projet. Notre intégration à PPS ayant débuté le 02 février 2015, le projet était assez bien avancé. Le premier volet, l'étude et l'installation des pompes immergées, était presque achevé. Il nous a été confié la suite des travaux électriques concernant les vingt (20) stations de pompages à vis. Il fut question pour nous de vérifier le dimensionnement des motoréducteurs, des conducteurs, des protections, de concevoir le système de contrôle et de commande, de suivre les travaux de réalisation de deux stations d'essai et d'estimer la durée des travaux sur l'ensemble des vis d'Archimède. Outre ces travaux, nous nous sommes penchés sur l'impact économique et environnemental de ce projet.

1. IDENTIFICATION ET DIAGNOSTIC DU MATERIEL INSTALLE

1.1 LE POMPAGE A VIS D'ARCHIMEDE

1.1.1 Principe de fonctionnement

Le principe d'une pompe à vis d'Archimède consiste en un tube incliné équipé de pales hélicoïdes qui, en tournant, amènent le liquide à un niveau plus élevé. L'équipement complet comprend un moteur (électrique ou thermique), un motoréducteur, une vis sans fin et des paliers supérieurs et inférieurs. La figure 1 présente le schéma d'une vis d'Archimède.

En plus du pompage en irrigation, elles s'adaptent à de nombreuses applications telles que : les pompes et les recirculations des Boues, Circulation en systèmes d'aération et le drainage

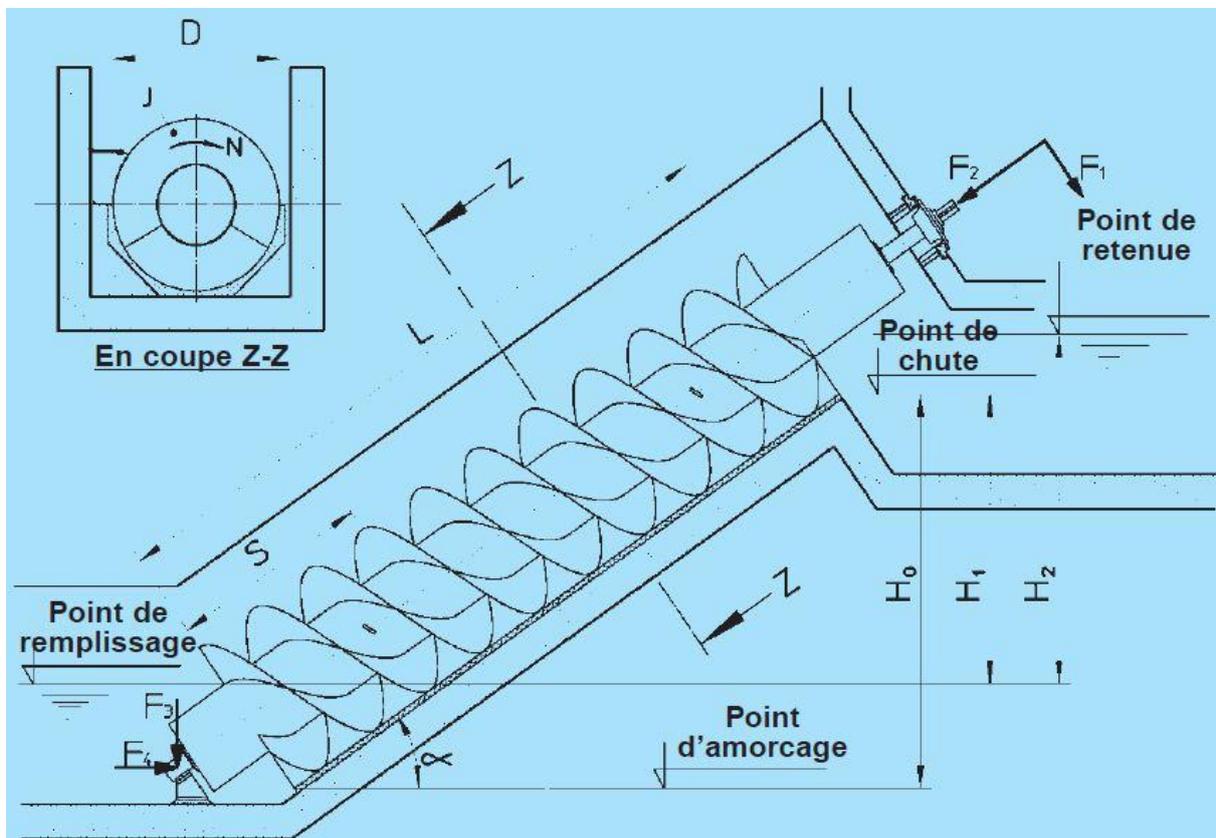


Figure 1: schémas d'une vis d'Archimède (Landustrie Sneek BV, 2005)

D : Diamètre

J : Nombre de filets

N : vitesse de la vis

S : pas de la vis

L : Longueur des spires

H : Hauteur d'élévation

F : Puissance

α : Angle d'inclinaison

1.1.2 Avantage et inconvénient

Suivant la période de l'année, la viscosité et la densité de l'eau du Sourou varient. L'avantage principal de la pompe à vis d'Archimède est qu'il n'est pas possible de bloquer le système car la construction n'est pas enfermée dans un boîtier. Contamination et pollution ne pourront pas influencer le rendement de la pompe à vis d'Archimède. Comme le système ne peut pas se bloquer, il est possible d'installer le dégrilleur en aval de la pompe à vis d'Archimède, ce qui diminuera les coûts de génie civil lors de la construction. De plus, la pompe à vis d'Archimède conserve son rendement avec des débits variables.

Enfin la construction robuste du corps de pompe à vis et des paliers, ainsi que l'usage de composants standards comme des moteurs électriques et des motoréducteurs à faible nombre de tours, sont à l'origine d'une fiabilité unique. Même en utilisation intensive, elles ont une durée d'utilisation de plus de 20 ans. L'avantage supplémentaire de cette fiabilité exceptionnelle est qu'il n'est pas nécessaire de prévoir une pompe à vis de réserve.

Le principal bémol de ce système de pompage la faiblesse de sa hauteur de charge. La charge maximale de pompage est limitée par la taille réelle de la vis d'Archimède. De plus des dispositions particulières sont à prendre pour la prévention d'accidents.

1.2 SITUATION DE LA ZONE DE PROJET

Située à 310 km de routes de Ouagadougou, la vallée du Sourou est la deuxième région agricole du Burkina Faso avec un potentiel agricole aménageable de 30000ha. L'irrigation intensive y est pratiquée l'aide trois types de pompes : les pompes immergeables à Guiédougou, les motopompes à Sono et les vis d'Archimède à Niassan et Dédé, objets de notre étude. *Voir annexe 2*

Afin de s'acquérir de l'état des appareillages auxquels nous aurons affaire nous avons effectué deux voyages à Niassan.

- La première, pour l'installation de systèmes tests, se déroula du 15 Mai au 25 juin 2015. Elle a permis de faire le tour des périmètres de la localité de Niassan et d'effectuer l'installation de deux (02) motoréducteurs électriques tests, raccordés au réseau SONABEL. Nous avons donc pu apprécier le temps mis pour l'exécution l'ensemble des travaux d'électromécaniques et de génie civil liés à l'installation des motoréducteur et apprécier de visu l'état des autres stations de pompage des périmètres de Niassan.
- La deuxième visite, du 12 au 20 juillet 2015, avait pour but de faire un check-up des systèmes installés lors de la première visite et de récolter des données supplémentaires sur les stations non visitées lors de la première visite notamment celles de Dédé.

1.3 DIAGNOSTIC DU MATERIEL INSTALLE

Les critères de détermination d'usure des pièces des stations sont : le niveau de rouille, les fissures, l'étanchéité, le rendement et le bruit.

Le bilan des visites sur l'état des lieux des stations visitées sont confinés dans le tableau d'état des lieux en annexe 3 (*Bilan et état des lieux*).

1.4 ORGANISATION DES USAGES

L'autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou est un établissement public à caractère administratif. Elle agit sous la tutelle technique du ministère de l'agriculture et des ressources halieutiques. Créée par kiti n°86-286/CNR/PRES du 14 juin 1986, elle a pour principale tâche la mise place et le suivi technique des infrastructures de production agricole de la vallée du Sourou. La production agricole est l'activité des paysans regroupés en collectivités agricoles. C'est à ces collectivités (Organisation des Usagés de l'Eau Agricole OUEA) qu'il revient l'exploitation des infrastructures. Elles s'occupent des coûts opérationnels de fonctionnement (énergie, entretien) et reversent des taxes à l'état.

Dans notre zone d'intervention, cinq plantes sont principalement cultivées représentant à elles seules 86% des produits agricoles de la zone. Ce sont :

Tableau 2: Programme et variété des cultures

	Variété	Maturation	Epiaison	Irrigation	Semis	Récoltes
Culture		Jours	jours	heures/jour	Période	Période
Riz irrigué	FKR 28	125	90	6-8	Fin janvier	début Juin
Riz pluvial	FKR 47N	100	64	2-4	Début juillet	Fin septembre
Maïs CS¹	FKM 16	121	86	5-7	Fin janvier	début Juin
Maïs pluvial	-	97	59	1-3	Mai	Début Août
Oignons	-		52	3-5	*	*

(*) Les périodes de culture des oignons varient en fonction des stations et s'étalent généralement deux fois dans l'année (en mars et en octobre).

¹ Maïs CS : Maïs de contre saison

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 PRESENTATION DU CAHIER DES CHARGES

2.1.1 Travaux de génie civil

Ces travaux consisteront à :

- Aménager la plate-forme devant recevoir le moteur électrique
- Adapter le local actuel (contenant le moteur) pour une meilleure ventilation des équipements
- Aménager un local magasin pour le stockage de l'outillage des pièces de rechange
- A construire un local devant contenir l'armoire électrique de commande du moteur

Cette partie a été sous traité.

2.1.2 Travaux d'électromécanique

Ces travaux comprendront :

- Le remplacement des moteurs diesel par des moteurs électriques à haut rendement
- La réalisation des circuits d'éclairage et des prises de courant
- Réaliser les puits de terre pour relier toutes les masses
- Le raccordement entre les postes de comptage SONABEL et l'armoire d'alimentation des moteurs

2.2 DIMENSIONNEMENT DES STATIONS

2.2.1 Systèmes de pompage

A raison de ses nombreux avantages, l'AMVS souhaite conserver le système de pompage à vis d'Archimède. De ce fait, ce qui suit est le dimensionnement des appareillages électromécaniques nécessaires à l'entraînement des vis d'Archimède. Ce système est composé, pour chaque vis, d'un motoréducteur, un variateur de vitesse et des condensateurs de compensation.

2.2.1.1 Les motoréducteurs

2.2.1.1.1 Conditions d'utilisation

La détermination des conditions d'utilisation d'un moteur est impérative pour son dimensionnement. Elles permettent le choix des indices de protection donc de sa gamme et des dispositifs de protections particulières à prévoir. Ainsi pour les stations étudiées on a :

- Une installation sous hangar : les motoréducteurs électriques seront fixés sur un affleurement de la tige de la vis. Il est prévu la construction d'un hangar ouvert sur les quatre cotés offrant une protection contre le rayonnement solaire mais pas des rafales de vent et des projections d'eau et de boues dues au pompage et aux travaux champêtres.

- Utilisation de variateur de vitesse : Pour limiter les courants de démarrage et offrir une maîtrise de la vitesse d'utilisation des moteurs

2.2.1.1.2 Calcul des puissances

Constantes

Pour la détermination des puissances des moteurs adaptées à l'entraînement, nous avons dans un premier temps déterminé des caractéristiques globales en fixant des rendements et des constantes hypothétiques. Ces hypothèses nous donnent une idée des niveaux de puissances à développer.

Nous avons supposé :

Tableau 3: Hypothèses primaires de dimensionnement

Constantes primaires	Valeurs choisies
Gravité (g)	9,81 N/kg
Masse volumique de l'eau (ρ)	1100 ² kg/m ³
Facteur de puissance (cos Φ)	0,8
Rendement vis η_{vis}	0,75
Rendement mécanique motoréducteur η_{moto}	0,85

Calcul des puissances

On obtient de premières valeurs approximatives des puissances du système par :

- Puissance hydraulique (P_h en Watt) nécessaire à la vis pour faire monter Q (m³/s) débit d'eau à une hauteur h (m)

$$P_h = \rho * g * h * Q \quad (2.1)$$

- Puissance mécanique (P_m en Watt) à développer pour faire tourner la vis :

$$P_m = \frac{P_h}{\eta_{vis}} \quad (2.2)$$

- Puissance électrique (P_e en Watt) requis par le moteur pour l'entraînement :

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_{moteur}} \quad (2.3)$$

2.2.1.1.3 Etude économique des moteurs

Le dimensionnement passe également par la justification du choix des appareillages. Notre objectif ici est de fournir un moteur fiable, énergétiquement efficace tout en restant compétitif dans le budget du projet. En fonction du rendement, la norme CEI60034-31 classe les moteurs comme suit :

² On a affaire à de l'eau de ruissellement.

IE1 : rendement standard
 IE2 : Haut rendement
 IE3 : Rendement premium
 IE4 : Rendement super premium

La contrainte de prix limite nos choix de moteurs aux deux premières classes. Nous compareront donc les moteurs classiques EFF3³, assimilable aux moteurs IE1 (moins chère) et les moteurs LSMV IE2 du constructeur LeroySOMER.

L'évaluation des moteurs électriques à choisir se fera principalement sur l'efficacité énergétique, le coût du cycle de vie et le temps de rentabilité pour une durée de 8000h.

Efficacité énergétique

Nous avons supposé dans cette partie que les autres éléments des circuits restent inchangés. Les pertes d'énergie sont évaluées au moteur et en ligne en fonction des rendements et des facteurs de puissance.

$$Prt_{moteur} = P_e * (1 - \eta_{moteur}) \quad (2.4)$$

$$Prt_{ligne} = \frac{I * R_{ligne}}{1000} \quad (2.5)$$

Avec

Prt_{moteur} : la puissance perdue dans le moteur en kilowatts

Prt_{ligne} : la puissance perdue en ligne en kilowatts

P_e : la puissance électrique du moteur en kilowatts

η_{moteur} : le rendement du moteur

I : l'intensité en ligne due au moteur ($I = \frac{P_e}{\sqrt{3}U * \cos\phi * \eta}$) en ampères

R : la résistance de la ligne ($R = r * L$) avec r la résistance des conducteurs en fonction des sections en ohms

Le coût du cycle de vie (LCC)

Le coût du cycle de vie LCC⁴ est évalué sur une durée de fonctionnement de huit mille heures. C'est la durée de vie garantie par le constructeur. Ce critère prend en compte les coûts d'achat et d'installation, de maintenance, de consommation et des pertes d'énergie. On obtient le LCC par :

$$LCC = Coût_{initial} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{Coûts_{opérations}}{(1+I)^i} \right) - RV \quad (2.6)$$

Avec

$Coûts_{opérations}$: Coûts annuel des opérations (consommation d'énergie + maintenance)

I : le taux d'actualisation des valeurs économiques de l'énergie 10% (Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie, 2008)

RV : le prix de revente du matériel remplacé

Les frais de maintenances⁵ pondérés et rapportés au temps de fonctionnement des moteurs

³ Ancienne norme de classification des moteurs. Les moteurs EFF3 ont à peu près les mêmes caractéristiques que les moteurs classés IE1. Ce sont les plus répandus en Afrique subsaharienne.

⁴ LCC : Coût du cycle de vie (en anglais : life cycle cost)

⁵ Confère fiches technique des moteurs LSMV et LSFLS. Les prix sont rapportés au contexte burkinabé et tiennent compte de l'isolement des sites.

s'estiment à environ 3,2 FCFA/kWh pour les LSMV et 3,8 FCFA/kWh pour les moteurs classiques.

Le temps de rentabilité

Le retour sur investissement évalue le temps à partir duquel les moteurs LSMV deviennent rentables. C'est le rapport de la différence des coûts d'investissement sur la somme des différences des coûts de fonctionnement.

$$\text{Rentabilité} = \frac{(\text{Coût}_{\text{initial LSMV}} - \text{Coût}_{\text{initial EFF3}})}{(\text{Coûts}_{\text{opérations EFF3}} - \text{Coûts}_{\text{opérations LSMV}})} \quad (2.7)$$

2.2.1.2 Variateurs de vitesse

2.2.1.2.1 Choix des variateurs de vitesse

Le variateur de vitesse a pour principal rôle de réguler la cadence du moteur afin de l'adapter aux besoins. En outre, il permet réduire fortement les appels de courant avec un démarrage progressif et un arrêt en douceur. Les principaux critères de choix des variateurs sont la puissance du moteur, sa tension d'alimentation et ses courants de crête. Tous ces critères sont disponibles dans la fiche technique du moteur. En fonction du couple, il existe deux types de variateur :

- Les variateurs à couple standard : Le sur-couple et la surintensité associés sont limités par le variateur à une valeur typique de 1,2 à 1,4 fois le courant nominal du variateur pendant 60 s. Ce choix est compatible avec des applications telles que : pompes centrifuges, ventilateurs, convoyeurs.
- Les variateurs à fort couple : utilisé dans les installations nécessitant un sur-couple durant les phases transitoires d'accélération et décélération. Le sur-couple et la surintensité associés sont limités par le variateur à une valeur typique de 1,5 à 1,7 fois le courant nominal du variateur pendant 60 s. Ce choix est compatible avec des applications telles que : manutentions, broyeurs, pompes avec couple de décollage élevé.

-

2.2.1.2.2 Selfs de ligne

Les selfs de ligne d'entrée réduisent les risques de dommages au variateur dus à un mauvais équilibrage de phase ou à de fortes perturbations sur le réseau d'alimentation. Dans notre cas les perturbations pourraient être dues aux condensateurs de compensation et au démarrage des moteurs installés en aval d'un même transformateur. Nous les utiliseront donc pour les stations à deux (02) et trois (03) vis. Pour tous les calibres du variateur, les selfs de ligne de 2 % permettent aux variateurs de fonctionner avec un déséquilibre de l'alimentation pouvant aller jusqu'à 3,5 % de composante inverse ce qui équivaut à un déséquilibre de tension de 5 % entre les phases.

Le choix de la self de ligne se fait en fonction de l'inductance d'entrée nécessaire qui se détermine par :

$$L = \frac{Y \cdot V}{100 \cdot 2\pi \cdot F \cdot I_n \cdot \sqrt{3}} \quad (2.8)$$

Avec :

L : Inductance d'entrée nécessaire (H)

Y : Déséquilibre autorisé entre phases (5%)

V : Tension entre phases en (V)

F : Fréquence du réseau en (Hz)

I_n : Courant nominal d'entrée du variateur (A)

2.2.1.2.3 Résistance de freinage

Pendant le freinage, l'énergie est renvoyée vers le variateur qui ne peut absorber qu'une énergie équivalente à ses pertes propres. Il est bon de rappeler au passage qu'il s'agit de l'entraînement d'une vis de station de pompage ; les charges varient fortement en fonction de la densité de l'eau et les vis ne sont pas couverts. Si le moteur doit décélérer rapidement (en cas d'accident), il est alors nécessaire de raccorder une résistance de freinage. Nous avons choisit les résistances de freinage adaptées aux moteurs dans le catalogue du constructeur LeroySOMER en fonction de la puissance crête du variateur et de la puissance du moteur à alimenter.

2.2.1.2.4 Technico-économique des variateurs de vitesse

Cette brève étude nous permettra d'apprécier les économies d'énergie réalisées grâce aux variateurs de vitesse. Cette estimation se fera en fonction des cycles de démarrage-arrêt. Ces estimations qui ne considèrent que les phases de démarrages et d'arrêts.

Démarrage

Le temps de démarrage correspond au temps mis par le moteur pour atteindre sa vitesse nominale. On l'estime par :

$$t_d = \frac{\pi}{30} * N * \frac{J}{C_m + C_r} \quad (2.9)$$

Avec

t_d : temps de démarrage (s)

N : la vitesse de rotation (min⁻¹)

J : le moment d'inertie global (kg/m²)

C_m : le couple moteur (N/m)

C_r : le couple résistant (N/m)

Freinage

Le freinage du système muni de variateur de vitesse s'obtient grâce à la résistance de freinage. Le moteur se comporte alors comme une génératrice et l'énergie mécanique est dissipée dans la résistance de freinage sans augmentation des pertes dans le moteur. Le temps de freinage est donc imposé par celle-ci et donnée par le rapport Temps de démarrage sur temps de freinage du variateur. L'intensité de freinage sensiblement égale à l'intensité de démarrage.

Si nous n'utilisons pas de variateur, nous opterions pour un freinage par contre-courant. Ce type de freinage, simple à installer, est assez efficace surtout quand il est associé à un relais de mesure de fréquence. Pour les moteurs LSMV, il donne :

- Une intensité de freinage : $I_f = 5I_n$
- Un temps de freinage : $9 \text{ sec} < t_f < 15 \text{ sec}$

Le calcul de l'énergie perdue au démarrage et au freinage est donné par l'équation (2.10)

$$Pr_{t_{dem-frei}} = (I_d t_d + I_f t_f) * \sqrt{3} * U * \cos\phi \quad (2.10)$$

2.2.1.3 Compensation en énergie réactive

La grande majorité des charges sont des moteurs électriques. Nous jugeons nécessaire d'installer des batteries de condensateurs pour compenser l'énergie réactive inductive consommée par les moteurs. Notre objectif de compensation est d'atteindre un $\cos\Phi_2$ de 0,96. Le compensateur d'énergie réactive est déterminé principalement en fonction du niveau de pollution harmonique du réseau électrique et de la puissance réactive à compenser.

Le rapport $\frac{G_h}{S_n}$ permet d'obtenir le niveau de pollution :

$$\frac{G_h}{S_n} \leq 15\% \rightarrow \text{Réseau standard}$$

$$15\% \leq \frac{G_h}{S_n} \leq 25\% \rightarrow \text{Réseau pollué}$$

$$25\% \leq \frac{G_h}{S_n} \rightarrow \text{Réseau fortement pollué}$$

La puissance réactive à compenser se détermine par :

$$Q_{compensé} = P * (tg\Phi_1 * tg\Phi_2) \quad (2.11)$$

Avec :

G_h : la puissance apparente des appareils générateurs d'harmoniques (kVA)

S_n : la puissance apparente du transformateur (kVA)

$Q_{compensé}$: Puissance réactive à compenser (kVAr)

P : Puissance active de la charge à compenser (kW)

$tg\Phi_1$: Tangente induite du facteur de puissance initial

$tg\Phi_2$: Tangente induite du facteur de puissance final

2.2.2 Réseau Basse Tension interne

2.2.2.1 Bilan des puissances

On a comme données de calcul :

η : rendement électrique du moteur, fournie par la fiche technique des moteurs choisis.

$\cos\phi$: facteur de puissance des moteurs choisies est aussi fournie par leurs fiches techniques.

K_s et K_u : le facteur de simultanéité de fonctionnement des stations et le coefficient d'utilisation des moteurs des vis sont choisis en fonction des installations. On se référera à la norme NFC 15-100. On obtiendra :

- la puissance apparente par moteur en kVA par : $S_m = \frac{P_m}{\eta * \cos\Phi}$ (2.12)
- la puissance apparente par station en kVA par : $S_{Stat} = S_m * Ku * Ks1 + S_{aux}$ (2.13)
- la puissance apparente par périmètre en kVA par : $S_{Péri} = S_{stat} * Ks2$ (2.14)
- Les courants d'emploi de chaque niveau⁶ en A par $I_b = 1000 * \frac{P_{apparent\ du\ niveau}}{U\sqrt{3}}$ (2.15)

2.2.2.2 Dimensionnement et choix des conducteurs

Tous les conducteurs BT seront à âme en cuivre et gaine en Polyéthylène Réticulé (PR). Pour des raisons de sécurité, nous recommandons d'enterrer les conducteurs des tronçons Variateurs-Motoréducteurs dans des tubes PVC. La liaison entre les transformateurs et les stations peut se faire par ligne aérienne.

2.2.2.2.1 Hypothèses et constantes de dimensionnement

Pour les lignes aériennes on a :

Tableau 4: constante de dimensionnement lignes aériennes

Coefficient	Désignation	Contrainte	Valeur retenue
F1	Mode de pose	Aérien auto porteur (17F)	0,9
F2	Température/ Gaine câble	45°/PR	0,87
F3	Neutre chargé	Circuit supposé équilibré	1
F4	Zone à risque	Non	1

Pour les lignes enterrées on a :

Tableau 5: constantes de dimensionnement lignes enterrées

Coefficient	Désignation	Contrainte	Valeur retenue
F1	Mode de pose	dans conduit PVC (61D)	0,8
F2	Température du sol	35°	0,84
F3	Nature du sol	Humide	1,21
F4	Neutre chargé	Circuit supposé équilibré	1
F5 ₁	Groupement circuit 1 Vis	1 Circuit	1
F5 ₂	Groupement circuit 2 Vis	2 Circuits tubes séparé 0,25m	0,93
F5 ₃	Groupement circuit 3 Vis	3 Circuits tubes séparé 0,25m	0,87
K ₁	Protection	Disjoncteur	1
K ₂	Protection	Fusible	1,3

⁶ On entend par niveau ici la partie du système entre deux nœuds

2.2.2.2 Sections des conducteurs

Courant admissible

Le courant admissible I_z est l'intensité maximale que les conducteurs peuvent supporter en continue. Il se détermine par :

$$I_z = \frac{I_b * K}{F1 * F2 * F3 * F4 * F5} \quad (2.16)$$

On choisira un câble de section admettant I_z dans le tableau 52G de la norme NFC 15-100. Ce choix sera validé ou invalidé par le calcul de la chute de tension.

Chutes de tension

La chute de tension ΔU permet d'estimer la tension consommée par les conducteurs de courant. On estime par ΔU :

$$\Delta U = \sqrt{3} * \frac{(R \cos \Phi + X \sin \Phi)}{S} * I_b * L \quad (2.17)$$

Avec

R : la résistance linéique du câble en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ (0,0225 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ pour le cuivre et 0,036 $\Omega \cdot \text{m}^2/\text{km}$ pour l'aluminium)

X : la réactance linéique du câble en ($\Omega \cdot \text{m}/\text{km}$)

S : la section du câble (mm^2)

L : la longueur de câble (m)

Le tableau 5 donne un coefficient K qui est une approximation de la résistance linéique des câbles en cuivre en fonction de la section.

Avec $K \approx \sqrt{3} * \frac{(R \cos \Phi + X \sin \Phi)}{S}$, la chute de tension devient :

$$\Delta U = K * I_b * L \quad (2.18)$$

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas 8% pour les clients alimentés par poste MT/BT privé.

Tableau 6: K en volts par ampère et par km dans un circuit (extrait Fig. G29 GEI 2010)

Section en mm^2	Circuit triphasé équilibré	
	Normal	Démarrage
Cuivre	$\text{Cos} \phi = 0,8$	$\text{Cos} \phi = 0,3$
10	3,2	1,5
16	2,05	1
25	1,3	0,65
35	1	0,52
50	0,75	0,41
70	0,56	0,32
95	0,42	0,26

2.2.2.3 Dispositifs de protection

Protection court-circuit et surcharges

Nous prévoyons une sélectivité ampéremétrique pour les dispositifs de protection. Les calibres des dispositifs de protection se déterminent à partir des courants d'emploi et des pouvoirs de coupure. Le courant court-circuit I_{cc} est la valeur du courant en cas de contact direct entre phases. Le calcul du courant de court-circuit triphasé maximal est utilisé pour la vérification du pouvoir de coupure du dispositif de protection et la vérification des contraintes thermiques des conducteurs lorsque le dispositif de protection est un disjoncteur. On l'obtient par :

$$I_{cc} = \frac{100 * I_b}{U_{cc}} \quad \text{et} \quad P_{dc} \geq I_{cc} \quad (2.19)$$

Avec

I_{cc} : le courant de court-circuit en A

P_{dc} : le pouvoir de coupure du disjoncteur (A)

I_b : le courant d'emploi maximal (A)

U_{cc} : la tension de court-circuit (V)

En plus de l' I_{cc} et de l' I_b on vérifie la courbe de déclenchement à utiliser. Le choix de cette courbe est fonction du type d'installation ici industrielle.

- La courbe B : Les valeurs de déclenchement sont comprises entre 3.2 In et 4.8 In. Elle assure la protection des personnes, des générateurs, des lignes de grande longueur, où il n'y a pas de pointes de courant.
- La courbe C : Les valeurs de déclenchement sont comprises entre 7 In et 10 In. Elle assure la protection générale des circuits.
- La courbe D : Les valeurs de déclenchement sont comprises entre 10In et 14 In. Elle assure la protection des circuits à fort courant d'appel: transformateurs, moteurs.

L'installation de variateurs de vitesse nous offre des courants de démarrage relativement faible, nous choisirons des disjoncteurs de la courbe B pour les moteurs et de courbe C pour les prises.

Parafoudre

Le parafoudre est un appareil électrique qui protège une installation électrique contre les surtensions d'origine atmosphérique. Les parafoudres permettent de réaliser la protection de tête pour certains, ou la protection fine, et se classent de la façon suivante :

- les parafoudres de **type 1** : avec une très forte capacité d'écoulement, ils sont destinés à la protection de tête des bâtiments équipés de paratonnerres.
- les parafoudres de **type 2** : avec une forte capacité d'écoulement, ils servent pour la protection de tête en l'absence de paratonnerre.
- les parafoudres de **type 3** : ils sont exclusivement réservés à la protection fine des récepteurs et s'installent derrière un type 1 ou un type 2.

Dans nos installations il n'a pas de paratonnerre. Nous utiliserons donc les parafoudres de

type 2. En plus du type, on choisira le parafoudre en fonction de:

- La surtension résiduelle U_p : 2500V
- Le courant nominal de décharge I_n
- La capacité d'écoulement I_{max} : 25kA

Régime du neutre et mise à la terre

Le régime du neutre doit tenir compte des caractéristiques générales des installations et des conditions d'utilisation.

Ici nous avons affaire à une installation industrielle, la norme nous laisse le choix entre le régime TT et le régime IT. Les utilisateurs étant des paysans donc un personnel supposé non-qualifié, notre choix se porte donc sur le régime TT.

La technologie que nous recommandons pour cette installation, la mise à la terre par piquet verticaux. La norme NFC 15-100 recommande une résistance de prise de terre de 50Ω au maximum. La profondeur de la mise à la terre se déduit de la relation⁷ :

$$L = \frac{\rho}{R} \quad (2.20)$$

Avec

L = la profondeur de la mise à la terre

P = la résistivité de la terre (100 Ω m car limon et sable argileux humide)

R = la résistance de la mise à la terre

Tableau 7: Résistivité (Ω m) de différents terrains (d'après NF C 15-100)

Nature du terrain	Résistivité en Ω m
terrains marécageux	1 à 30
tourbe humide	5 à 100
humus	10 à 150
argile plastique	50
sables argileux	50 à 500
sables siliceux	200 à 300

2.2.2.2.4 Commande et contrôle

Pour la commande de chaque vis, le client requiert :

- Deux modes de mise sous tension : manuel ou automatique
- Des voyants indiqueront la mise sous tension, la marche et l'arrêt. Un avertisseur sonore pour un arrêt dû à une surcharge.
- Un transistor pour la modulation du débit
- Un compteur pour indiquer le temps de fonctionnement du moteur

⁷ Tiré de NFC 15-100 partie 5-54 annexe C

2.3 EVALUATION ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

2.3.1 Elaboration du plan d'exécution des travaux

Le gros de cette partie a été réalisé à l'aide du logiciel Microsoft MS Project. Les estimations des temps de réalisation et la composition des équipes sont principalement basées sur les travaux de réalisation des installations d'essai sur les stations de pompage SP50 et SPOUEST. Les temps ont été synchronisés sur les périodes inter-saisonnières et le temps d'épiaison des semences.

2.3.2 Evaluation des coûts de production

Cette évaluation fait une comparaison entre les moteurs électriques choisis et les moteurs thermiques utilisés jusque-là. Les coûts de fonctionnement se définissent comme l'ensemble des dépenses liées au fonctionnement du matériel installé. Ce sont les coûts qui concernent directement la production agricole et permettront d'apprécier les économies réalisées et de faire une projection sur les coûts de production et d'évaluer le retour sur investissement global du projet.

2.3.2.1 Stations à moteurs électriques

Pour les moteurs électriques nous partirons des temps de fonctionnement des stations tirés du programme des activités agricoles et des puissances pour faire une estimation des consommations annuelles et des factures prévisionnelles.

En posant $Conso_{station} = \sum(P_i * t_i)$ (2.22)

Avec

P_i = Puissance des récepteurs en kilowatts (voir bilan de puissance)

t_i = temps de fonctionnement des récepteurs⁸ en Heures

$Conso_{station}$ = consommation des stations

On déduit donc coût de l'énergie par : $Coût_{energie} = \sum Conso_{station i} * Coût_{kWh i}$ (2.23)

Avec

$Coût_{kWh}$ = le prix du kilowattheure en fonction de la plage horaire de consommation en FCFA

La souscription est de type double tarif D2 industriel avec des prix de kilowattheure de 54FCFA en heure creuse et 118FCFA en heure pleine.

A la facturation de l'électricité nous devons ajouter des frais de maintenance. Pour le type de moteur choisi, on a une maintenance préventive annuelle et une maintenance générale⁹ toutes

⁸ Les temps de fonctionnement des motoréducteurs sont estimés à partir des cycles de croissance des cultures

⁹ La maintenance générale fait en plus des autres un check-up complet des installations et un graissage des pièces rotatives.

les huit milles (8000) heures. Ces frais sont évalués à partir des prestations de notre structure d'accueil. Pour une évaluation plus précise, nous avons rapportés ces coûts au temps de fonctionnement et des puissances des machines. Ainsi on a pour chaque moteur on détermine le coût de maintenance horaire par:

$$C_{Mh} = \frac{C_M}{P * T}$$

Avec

C_{Mh} : Le coût de maintenance horaire du moteur (FCFA/kWh)

C_M : Le coût de maintenance périodique (FCFA)

P : La puissance du moteur (KW)

T : La période de maintenance (h)

2.3.2.2 Stations à moteurs thermiques

Les mesures et les renseignements recueillis auprès des agriculteurs nous ont fournis les consommations moyennes de carburant et le rapport de fonctionnement 2013 de l'AMVS renseigne sur les coûts de maintenance des groupes. Voir *feuille de calcul 'consommations'*. Les coûts de fonctionnement s'estiment donc en faisant la somme de coûts de carburant et ceux de la maintenance.

2.3.3 Impact environnemental

Les moteurs thermiques utilisés pour le pompage sont tous des moteurs Diesel. Au cours de leurs fonctionnements ces moteurs produisent des gaz à effet de serre tel que le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO₂). L'absence de système de traitement des pièces usées et des huiles de vidanges, l'ignorance des utilisateurs sur les normes environnementales et le vieillissement font des moteurs thermiques une importante source de pollution des eaux et des sols. Notre étude environnementale sera principalement orientée vers la production de gaz toxiques notamment le CO₂.

Le gasoil est le combustible utilisé dans les moteurs thermiques. La quantité de CO₂ produite se détermine par :

$$M_{CO2GS} = m_{CO2GS} * V_{gasoil} \quad (2.24)$$

Avec

M_{CO2GS} : masse de dioxyde de carbone produite

m_{CO2GS} : quantité de CO₂ produite par masse de gasoil = 2,67kg/l (Office national des forêts, 2015)

Les moteurs électriques seront connectés au réseau de distribution électrique local. Avec des groupes électrogènes de meilleurs rendements et 15% d'hydroélectricité et une importation énergie plus propre, le réseau électrique national produit environ 0,51kg de CO₂ par kWh (SONABEL, 2013).

3. RESULTATS

Les calculs ayant été réalisés à l'aide du tableur EXCEL les détails et résultats intermédiaires ont été mis en annexe.

3.1 RÉSULTAT DU DIAGNOSTIC DE FONCTIONNEMENT

Tableau 8: résumé d'état des lieux

Info Générales			Moteurs Etat des accessoires connexes					Réducteur de vitesse	Vis d'archimède	
N°	Périmètres	Station	Puissance	Vitesse	Refroidissement	Etat	Stock de pièces	Etats	HMT	Débit
			KW	trs/mn					m	l/s
1	910	SP_pr	133	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Bon	4,8	1500
		SP_coll	89	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Moyen	4,8	750
			89	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Moyen	4,8	750
2	450	SP5	35	1500	Air	Moyen	Inexistant	Moyen	2,41	360
		SP6	39	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Moyen	2,41	360
			35	1500	Air	Moyen	Inexistant	Moyen	2,45	310
			39	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Moyen	2,45	310
3	460	SP1	7,5	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	2	324
		SP2	11	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	2	486
			11	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	2	324
			11	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	2,25	324
			7,5	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	2,25	162
4	610	SPA	89	1500	Eau	moyen	Inexistant	Bon	11,8	400
		SPB	89	1500	Eau	moyen	Inexistant	Bon	12,3	400
		SPC	39	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Moyen	2,41	360
		SPD	35	1500	Air	Moyen	Inexistant	Moyen	2,45	310
5	500	SP1	29	1500	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,2	300
			29	1500	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,2	300
			29	1500	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,2	300
		SP2	29	1500	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,2	300
			29	1500	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,2	300
6	475	SP1-9	35	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,34	300
			39	1500	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,34	300
			29	-	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,34	300
		SP2-9	35	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,34	300
			35	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	4,34	300
7	200	SP200	39	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Moyen	7,3	300
			89	1500	Eau	Moyen	Inexistant	Moyen	7,3	300
8	140	SP EST	39	1500	Eau	Mauvais	Inexistant	Mauvais	6,7	210
		SP OUEST	35	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	6,7	210
9	50	SP50	17	1500	Air	Mauvais	Inexistant	Mauvais	5	150

De l'étude de l'état des lieux on peut retenir que :

- la plus part des moteurs sont surdimensionnés.
- Tous les réseaux électriques des moteurs sont soit hors d'usage soit en très mauvais état.
- Malgré le vieillissement des appareils, il n'existe pas de stocks de matériel de remplacement.
- les motoréducteurs des stations SP_pr, SP_coll, SP200, SP5 (460ha), SP6 (460ha), SPA SPB SPC et SPD sont encore en bon état de marche. Leur remplacement n'est pas obligatoire mais présente de nombreux avantages. Ils peuvent être revendus ou réutilisé pour mettre en valeur d'autres périmètres agricoles.

L'état général des stations est mauvais et il est urgent d'intervenir sur les stations SP5¹⁰ et SPOUEST.

3.2 RESULTATS DU DIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENTS

3.2.1 Appareils de puissance

Évaluation des puissances à installer

Le résultat du calcul des puissances nous donne :

Tableau 9: Puissances en jeu

Stations			Moteur → Réducteur → Vis						
Périmètres	Stations	Vi s	Ph (W)	Pmec (W)	Pe (kW)	Pmot (kW)	Rapport de fonction	Vitesse moteur (tr/min)	rapport de réduction Max
910	SP_pr	a	77695	103594	115,1	132	0,87	1500	45
	SP_coll	a	38848	51797	57,6	75	0,77	1500	47
		b	38848	51797	57,6	75	0,77	1500	47
450	SP5	a	9362	12483	14,7	15	0,98	1500	34
		b	9362	12483	14,7	15	0,98	1500	34
	SP6	a	8196	10928	12,9	15	0,86	1500	34
		b	8196	10928	12,9	15	0,86	1500	34
460	SP1	a	6993	9323	11,0	15	0,73	1500	33
		b	10489	13985	16,5	22	0,75	1500	34
	SP2	a	6993	9323	11,0	15	0,73	1500	34
	SP3	a	7867	10489	12,3	15	0,82	1500	34
	SP4	a	3933	5244	6,2	7,5	0,82	1500	33
610	SPA	a	50934	67911	75,5	90	0,84	1500	40

¹⁰ La vis de la station SP50 n'a pas tourné depuis 1996.

	SPB	a	53092	70789	78,7	90	0,87	1500	44
	SPC	a	9362	12483	14,7	15	0,98	1500	34
	SPD	a	8196	10928	12,9	15	0,86	1500	34
500	SP1	a	13597	18129	21,3	22	0,97	1500	35
		b	13597	18129	21,3	22	0,97	1500	35
		c	13597	18129	21,3	22	0,97	1500	35
	SP2	a	13597	18129	21,3	22	0,97	1500	35
		b	13597	18129	21,3	22	0,97	1500	35
	475	SP1-9	a	13597	18129	21,3	22	0,97	1500
b			14050	18733	22,0	22	1,00	1500	35
c			14050	18733	22,0	22	1,00	1500	35
SP2-9		a	14050	18733	22,0	22	1,00	1500	35
		b	14050	18733	22,0	22	1,00	1500	35
200		SP200	a	14050	18733	22,0	22	1,00	1500
	b		23632	31510	37,1	37	1,00	1500	33
140	SP EST	a	13145	17527	20,6	22	0,94	1500	32
	SP OUEST	a	13145	17527	20,6	22	0,94	1500	32
50	SP50	a	8093	10791	12,7	15	0,85	1500	33

Normes de choix

Le choix des moteurs se fait conformément aux normes d'environnement et d'alimentation et de protection.

Tableau 10: Classes et indice de choix des moteurs

Critères	Spécifications	Classes et indices
Type de moteur	Asynchrone	-
Alimentation	Triphasé	400V
Isolation (CEI 60034-5)	Poussière et dépôts nuisibles Jets d'eau dans toutes les directions	IP 55
Protection mécanique	Énergie de choc 5J	IK 8
Échauffement	Température de fonction 40° à 50°	F

Efficacité énergétique

Le calcul des pertes générales offre une comparaison et permet d'avoir une évaluation concrète de l'efficacité des deux moteurs.

Tableau 11: Consommations et pertes annuelles d'énergie

Moteurs LSMV			Moteurs classiques		
Pertes Moteurs (kWh)	Pertes en ligne	consommation (kWh)	Pertes moteurs (kWh)	Pertes en ligne (kWh)	consommation (kWh)

(kWh)					
96044	84767	1 871 153	177 364	92 923	2 038 956

Coût du cycle de vie

Les coûts évalués ci-dessous sont en millions de fCFA.

Tableau 12: Résumé coût du cycle de vie des moteurs

Temps (ans)	Coût annuels des opérations			LCC			Rapport LCC %	
	LSMV (Moteurs IE2)	LSFSL (Moteurs IE1)	Moteurs thermiques	LSMV (Moteurs IE2)	LSFSL (Moteurs IE1)	Moteurs thermiques	LSMV (Moteurs IE2)	LSFSL (Moteurs IE1)
0	115	126	251	226	198	314	16,35	22,79
1	244	268	534	355	340	598	25,45	27,52
2	390	429	855	501	500	919	29,39	29,50
3	555	610	1 219	667	682	1 282	31,59	30,60
25	21 455	23 410	47 697	21 566	23 482	47 761	37,78	34,08

Pour le calcul des coûts annuels des opérations et le LCC nous avons supposé que le rendement des moteurs et le taux d'actualisation¹¹ (12%) du Burkina Faso restent constants.

3.2.2 Appareils de contrôle et de commande

3.2.2.1 Variateurs

Les pertes et consommations calculées ci-dessous sont ceux pour un cycle de démarrage-arrêt.

Tableau 13: Consommations et pertes d'énergie par cycles de démarrage

Démarrage - Freinage avec variateur						Démarrage - Freinage sans variateur					
Id	Td moyen (sec)	If	Tf moyen (sec)	Conso dém-frei (kWh)	Pertes ligne (kWh)	Id (A)	Td moyen (sec)	If (A)	Tf moyen (secondes)	Conso dém-frei (kWh)	Pertes lignes (kWh)
2*In	3,64	1,7*In	4,86	3,97	0,041	7,3*In	4,31	5*In	6,32	15,34	0,164
				4,02						15,50	

Pour ce projet nécessitera donc:

Tableau 14: Tailles des variateurs Unidrives choisis

Moteurs	Puissances	Variateurs / modèles	Nombre
LSMV 132 M	7,5 kW	M200 / 05400270	1

¹¹ Le taux d'actualisation est fonction de l'inflation et de l'intérêt. Au Burkina Faso on a une inflation moyenne de 3,1% pour le coût de l'électricité et de 3,3% le coût du gasoil.

LSMV 160 LU	15 kW	M200 / 05400270	9
LSMV 180 LU	22 kW	M200 / 06400420	15
LSMV 250 ME	37 kW	M400 / 07400660	2
LSMV 280 SC	75 kW	M400 / 08401340	2
LSMV 280 MK	90 kW	M600 / 10402000	2
LSMV 315 MR	132 kW	M600 / 10402700	1

3.2.2.2 Condensateurs de compensation

Du calcul de la puissance réactive absorbée et niveau de pollution il ressort que les réseaux de toutes les stations sont fortement pollués par les harmoniques.

Tableau 15: Transformateurs et compensations

Tension (V)	400	910	450	460	610	500	475	200	140	50		
Transfo	S non compensé (KVA)	168,8	144,5	71,4	99,5	112,8	123,3	93,8	119,8	69,1	58,3	24,0
	Puissances installées (kVA)	160	160	100	100	100	160	160	100	100	100	50
Compensation	S compensé	141	120	59	83	94	103	78	100	58	49	20
	Q (kVAr) à compenser ==> 0,96	61,9	53,0	26,2	36,5	41,4	45,2	34,4	43,9	25,3	21,4	8,8
	Niveau de pollution	0,82	0,76	0,51	0,69	0,86	0,63	0,55	0,57	0,49	0,43	0,30
	Modules utilisés (harmonique à 5%)	P650 SAH	P650 SAH	P400 SAH								

3.2.3 Conducteurs et protections

3.2.3.1 Conducteurs

Conducteurs aériens

Le calcul électrique de câbles aériens reliant chaque transformateur à sa station de pompage donne :

Tableau 16: Calcul électrique lignes aériennes

Stations			Moteur	Transfo - station					
Périmètres	Stations	Vis	P moteur (kW)	Ib (A) max Station	In (A) Disjoncteur Station	Section mini mm ²	Section choisie mm ²	L_tronçons (m)	chute de tension %
910	SP_pr	a	132	245	250	70	70	21,00	0,74
	SP_coll	a	75	274	300	70	70	21,00	0,88
		b	75						
450	SP5	a	15	57	63	10	50	183,75	2,17
		b	15						
	SP6	a	15	57	63	10	50	183,75	2,17
		b	15						

460	SP1	a	15	70	63	10	50	210,00	2,48
		b	22						
	SP2	a	15	28	50	4	35	21,00	0,26
	SP3	a	15	28	50	4	70	219,45	2,15
	SP4	a	8	15	20	1,5	50	105,00	2,54
610	SPA	a	90	164	160	70	70	21,00	0,47
	SPB	a	90	164	160	70	70	57,75	1,29
	SPC	a	15	28	50	4	35	162,75	2,03
	SPD	a	15	28	50	4	35	21,00	0,26
500	SP1	a	22	124	160	35	50	21,00	0,63
		b	22						
		c	22						
	SP2	a	22	82	100	25	50	21,00	0,39
		b	22						
475	SP1-9	a	22	124	150	70	70	21,00	0,44
		b	22						
		c	22						
	SP2-9	a	22	82	100	25	50	21,00	0,39
		b	22						
200	SP200	a	22	111	125	35	50	21,00	0,49
		b	37						
140	SP EST	a	22	41	50	10	35	21,00	0,26
	SP OUEST	a	22	41	50	10	35	21,00	0,26
50	SP50	a	15	28	50	4	35	21,00	0,26

Conducteurs enterrés

Le calcul électrique de câbles et des protections enterrés reliant chaque local technique à chaque moteurs de à sa station de pompage donne :

Tableau 17: Calcul électrique des conducteurs enterrés

Stations			Moteur	Local tech – moteurs					Câbles choisis
Périmètres	Stations	Vis	Pmoteur (kW)	Iz'	Section mm ²	L_tronçons (m)	ΔU tronçon (%)	ΔU_total (%)	
910	SP_pr	a	132	290	70	20,60	0,72	1,46	HO7 RNF 3G70
	SP_coll	a	75	204	50	20,60	0,48	1,36	HO7 RNF 3G50
b		75	204	50	30,90	0,72	0,72		
450	SP5	a	15	52	16	20,60	0,34	2,51	HO7 RNF 3G16
		b	15	52	16	20,60	0,34	0,34	
	SP6	a	15	52	16	20,60	0,34	2,51	
		b	15	52	16	20,60	0,34	0,34	
460	SP1	a	15	52	16	20,60	0,34	2,82	
		b	22	52	16	20,60	0,34	0,34	
	SP2	a	15	37	16	20,60	0,34	0,60	
	SP3	a	15	37	16	20,60	0,34	2,49	
	SP4	a	8	23	16	20,60	0,21	2,76	
610	SPA	a	90	186	50	20,60	0,62	1,09	HO7 RNF 3G50
	SPB	a	90	199	50	20,60	0,62	1,91	

	SPC	a	15	37	16	20,60	0,34	2,37	HO7 RNF 3G16
	SPD	a	15	40	16	20,60	0,34	0,60	
500	SP1	a	22	100	16	20,60	0,53	1,16	
		b	22	100	16	20,60	0,53	0,53	
		c	22	100	16	20,60	0,53	0,53	
	SP2	a	22	82	16	20,60	0,53	0,92	
b		22	82	16	20,60	0,53	0,53		
475	SP1-9	a	22	100	16	20,60	0,53	0,97	
		b	22	100	16	20,60	0,53	0,53	
		c	22	100	16	20,60	0,53	0,53	
	SP2-9	a	22	82	16	20,60	0,53	0,92	
b		22	82	16	20,60	0,53	0,53		
200	SP200	a	22	82	16	20,60	0,53	1,02	HO7 RNF 3G25
		b	37	131	25	20,60	0,54	0,54	
140	SP EST	a	22	58	16	20,60	0,53	0,79	HO7 RNF 3G16
	SP OUEST	a	22	58	16	20,60	0,53	0,79	
50	SP50	a	15	37	16	20,60	0,34	0,60	

Tableau 18: Résultats de calcul des protections

Périmètres	Station	Vis	Station			Moteur			
			Ib (A) max Station	In (A) Disjoncteur Station	Icc Station (kA)	Puissance moteur (kW)	Ib (A) moteur	In (A) Disjoncteur Moteur	Icc moteur (kA)
910	SP_pr	a	245	250	4,08	132	245	250	4,08
	SP_col	a	274	250	4,57	75	125	125	2,28
		b				75	125	125	2,28
450	SP5	a	57	63	0,95	15	28	32	0,47
		b				15	28	32	0,47
	SP6	a	57	63	0,95	15	28	32	0,47
		b				15	28	32	0,47
460	SP1	a	70	63	1,17	15	28	32	0,47
		b				22	28	32	0,69
	SP2	a	28	50	0,47	15	28	32	0,47
	SP3	a	28	50	0,47	15	28	32	0,47
	SP4	a	15	20	0,24	7,5	15	20	0,24
610	SPA	a	136	160	2,73	90	136	160	2,73
	SPB	a	164	180	3,43	90	136	160	2,73
	SPC	a				15	28	32	0,47
	SPD	a	28	50	0,47	15	28	32	0,47
500	SP1	a	124	160	2,06	22	41	50	0,69
		b				22	41	50	0,69
		c				22	41	50	0,69
	SP2	a	82	100	1,37	22	41	50	0,69
		b				37	41	50	1,17
475	SP1-9	a	124	150	2,06	22	41	50	0,69
		b				22	41	50	0,69
		c				22	41	50	0,47
	SP2-9	a	82	100	1,37	22	41	50	
b		22				41	50		
200	SP200	a	111	125	1,85	22	41	50	0,69

		b				37	70	80	0,69
140	SP EST	a	41	50	0,69	22	41	50	
	SP OUEST	a	41	50	0,69	22	41	50	
50	SP50	a	28	50	0,47	15	28	32	

3.2.4 Câblage et Systèmes d'alimentation

Les schémas de commande et de contrôle sont assez semblables. Pour la description, nous nous appuierons sur la commande d'un moteur le reste n'est qu'une analogie et une adaptation des protections amont.

La figure 1 présente la connexion minimale pour la mise en service d'un variateur électronique Unidrive M200. On comprend que pour démarrer le moteur il faudrait alimenter les bornes 11 et 12.

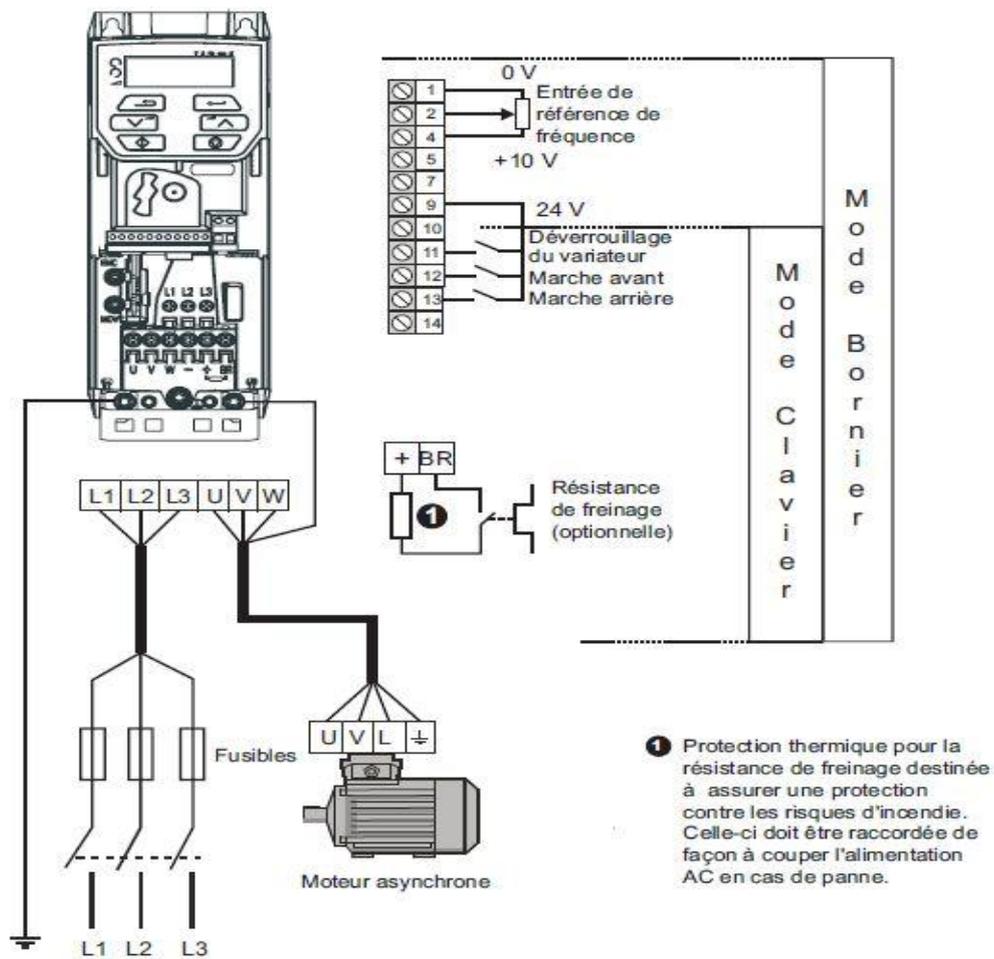


Figure 2: Connexion minimale pour la mise en service du variateur de vitesse Unidrive M200

Pour le système de commande, nous avons choisi une tension d'alimentation de 230V.

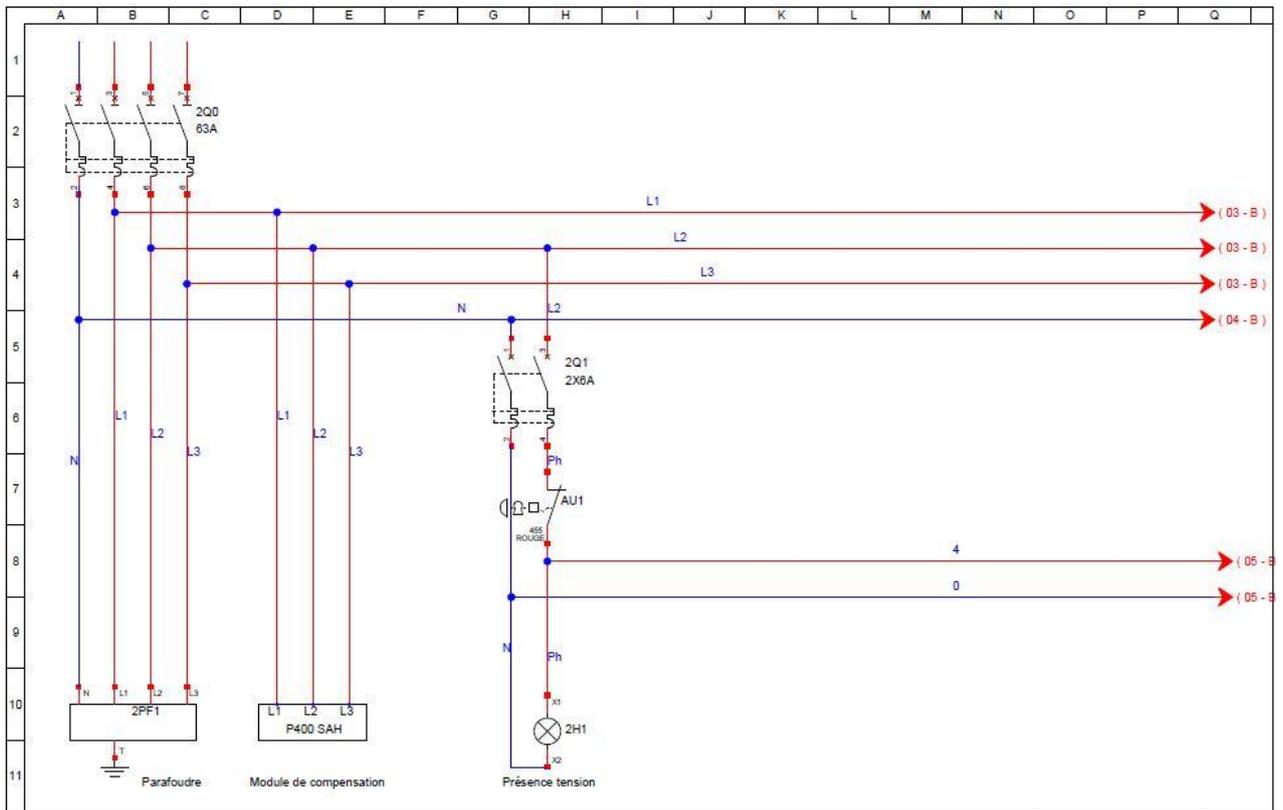


Figure 4: Schémas d'alimentation du système

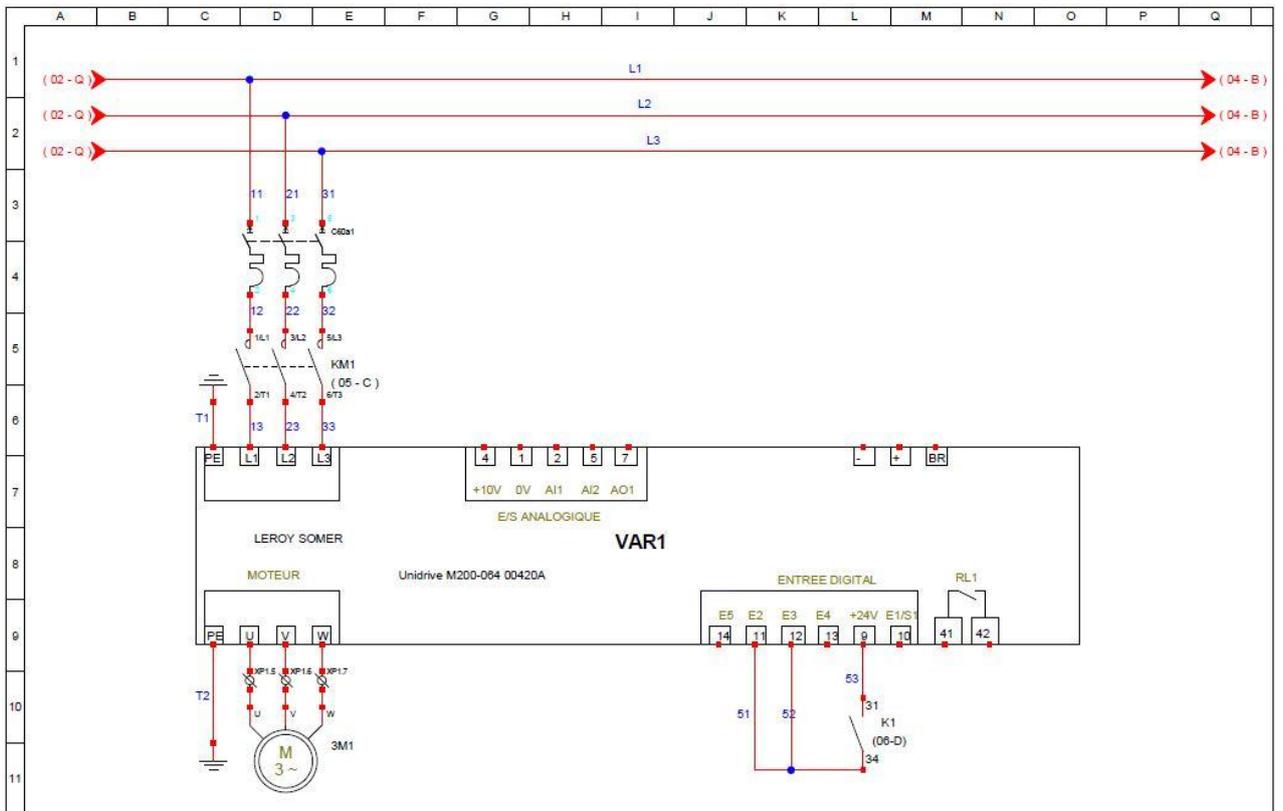


Figure 3: Circuit de puissance

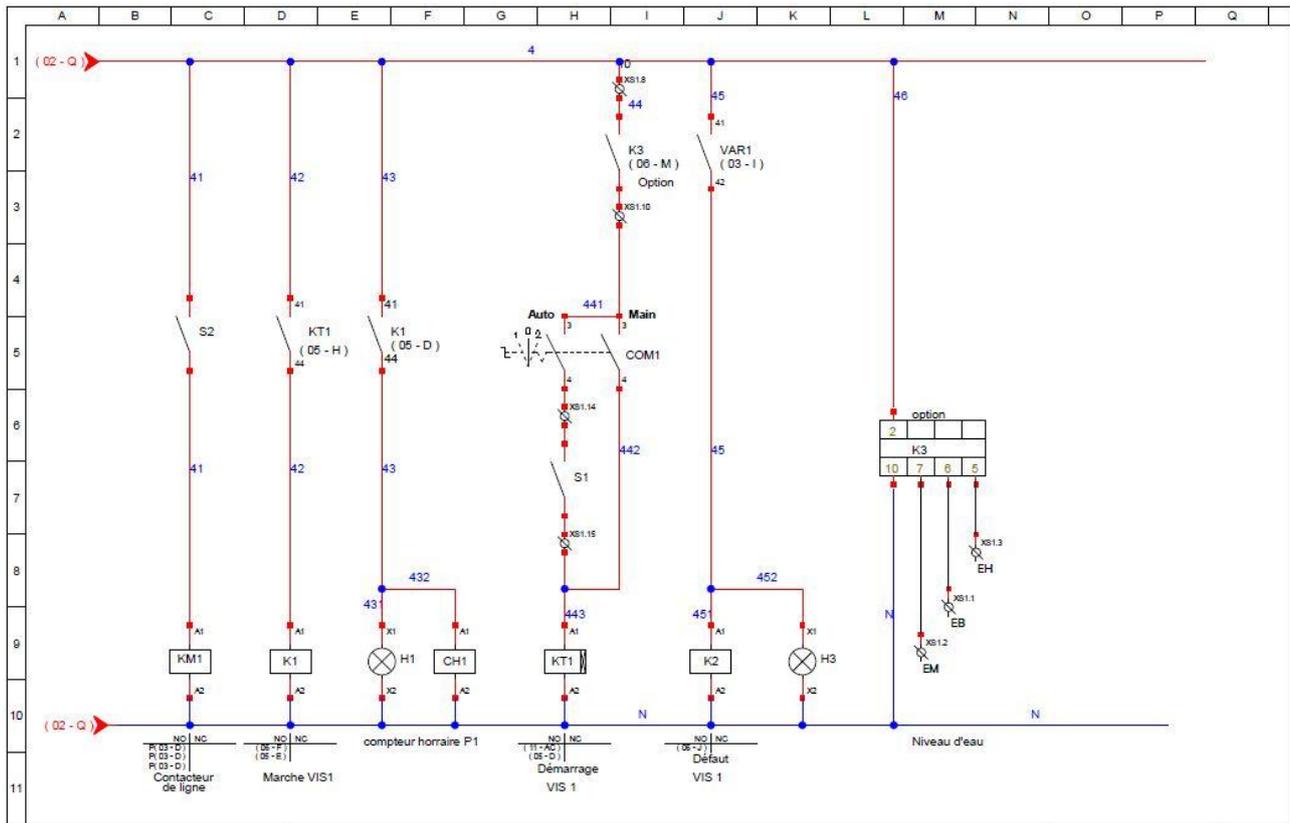


Figure 5: circuit de commande du système

Fonctionnement

- Fermeture des dispositifs de protection (Q0, Q1, Q2 et Q3) pour alimenter les circuits en courant électrique
- Alimentation du circuit de puissance à travers KM1 à l'aide du contact S2.
- Démarrage du moteur par le commutateur COM1 en position 1 ou 2 à travers le relais K1.
En mode Auto la fermeture de S1 est commandée par la sonde de niveau K3 (option)
- Le temps de marche sera comptabilisé par le compteur CH1
- Le système s'arrête en ramenant le commutateur au niveau 0
- En cas de manque d'eau dans le bassin inférieur, la sonde K3 arrête le système
- En cas de défaut out de surcharge le variateur ouvre le circuit d'alimentation de K2 qui ferme son contact NF et déclenche la signalisation.
- En cas d'accident il est possible d'arrêter tous le système grâce au bouton d'arrêt d'urgence AU1

3.3 EVALUATION ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

3.3.1 Impact environnemental

Le tableau 18 montre le résultat de l'étude des émissions de dioxyde de carbone des systèmes diesel et électrique.

Tableau 19 : Production annuelle de CO2

Moteur	consommation totale	Coefficient de production de CO2	CO2 produit (t/an)	Δ CO2 (t/an)
Moteur LSMV	1 871 153 kWh	0,51 g/kWh	954,21	233,25
Moteur Thermique	439 802 l	2,7 kg/l	1 187,46	

3.4 GESTION DU PROJET

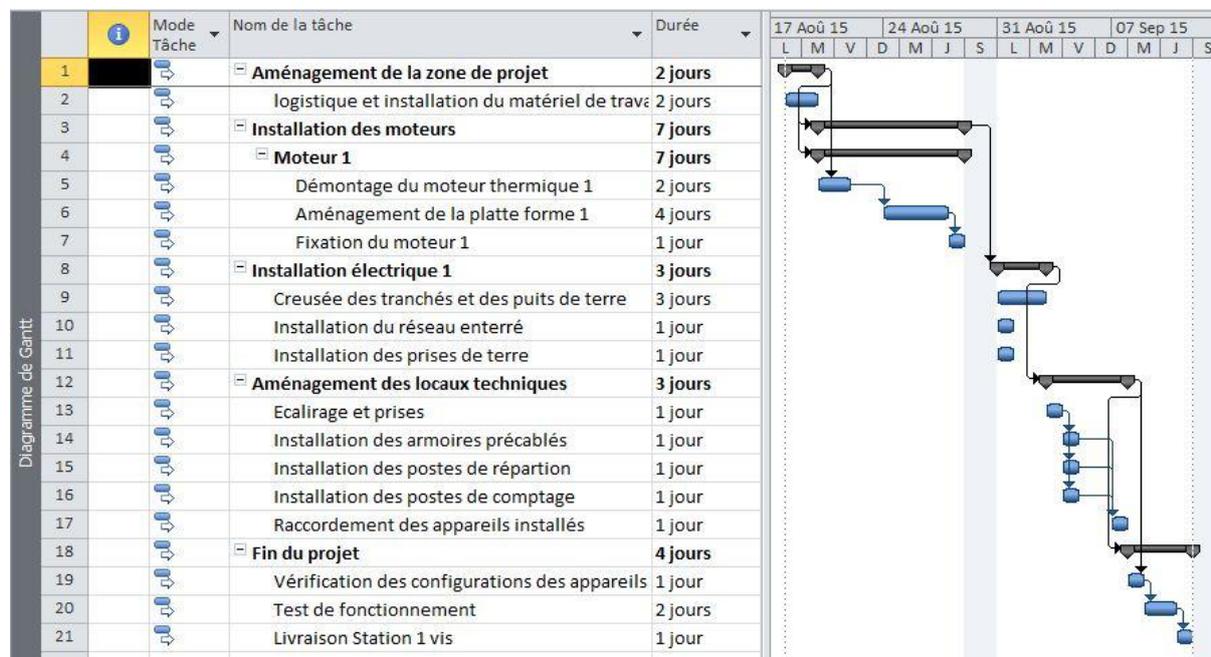
Les principales variétés de plantes dont on a pris compte dans nos calculs sont ceux répertoriés dans le tableau 19. Le *tableau 26 en annexe* montre leur répartition sur le terrain durant la campagne 2013-2014.

Tableau 20: variété de culture et périodes d'activités

Culture	Variété	Maturation Jours	Epiaison Jours	Irrigation heures/jour	Semis Période	Récoltes Période
Riz irrigué	FKR 28	125	90	6-8	Fin janvier	début Juin
Riz pluvial	FKR 47N	100	64	2-4	Début juillet	Fin septembre
Maïs CS	FKM 16	121	86	5-7	Fin janvier	début Juin
Maïs pluvial	-	97	59	1-3	Mai	Début Août
Oignons	-	52		3-5	*	*

Le tableau 20 montre la chronologie des tâches :

Tableau 21: Planning type d'exécution des travaux sur une station



Les estimations des temps ont été faites en fonctions des travaux réalisés sur les travaux des stations SPOUEST et SP50 par une équipe pluridisciplinaire de 8 personnes.

Notons que les durées d'exécution des tâches « démontage du moteur thermique » varient de 1 à 4 jours suivant l'état du moteur. La tâche « aménagement de la plate forme » inclue l'usinage des pièces à réutiliser tels que les accouplements, les réducteurs et les anneaux de sécurité et le temps de transport qui va avec. Cette tâche peut prendre jusqu'à 7 jours.

3.5 CAS PRATIQUE : STATION SPOUEST

3.5.1 Schémas unifilaires

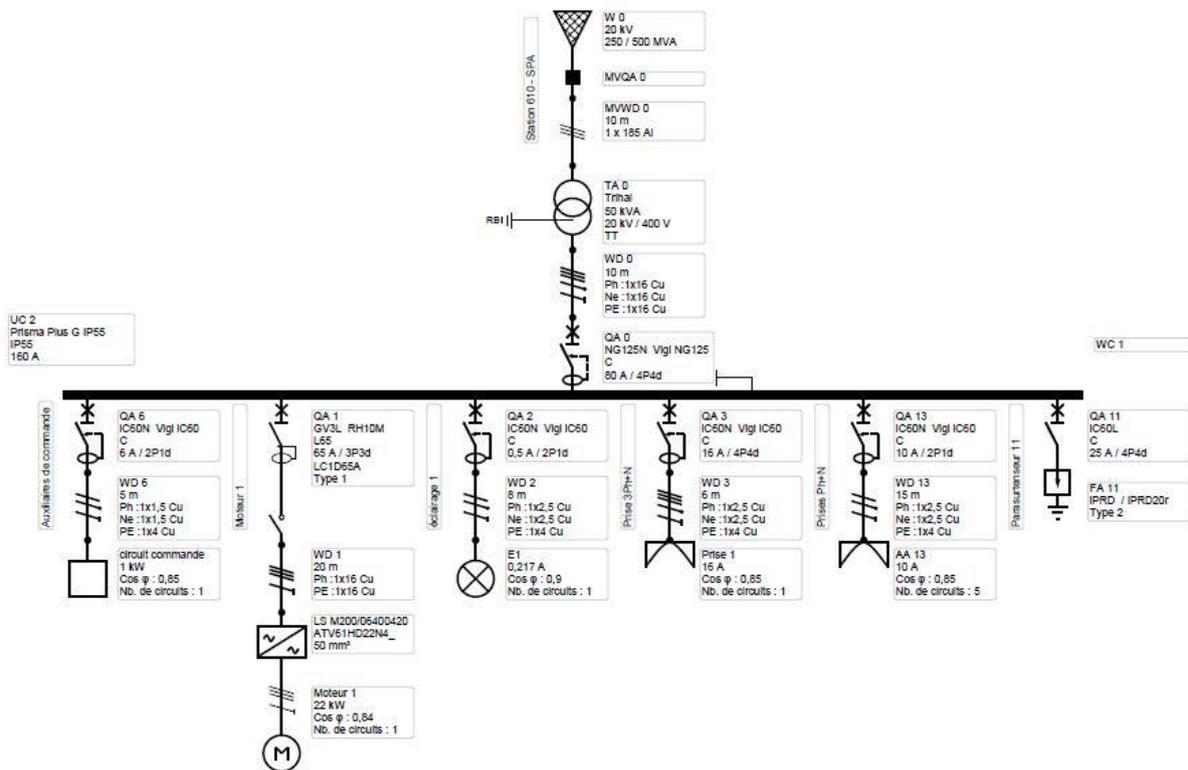


Figure 6: Schémas unifilaire des installations de la station SP50

Remarque : En dépit de notre dimensionnement, l'AMVS a souhaité l'installation d'un motoréducteur de 22kW (LSMV180LU) et un variateur M200 taille 6.

3.5.2 Exécution des travaux

3.5.2.1 Installation du moteur

Les travaux d'installation du moteur traitent de principalement du remplacement du moteur thermique par le moteur électrique. Cette tâche a marqué le début effectif des travaux. Elle a nécessité 05 jours de travail :

Un jour pour désolidariser de moteur thermique de la vis.

Il était prévu deux jours pour aménager la plate-forme et l'adapter pour recevoir le moteur électrique. Mais cette tâche a pris au final 05 jours car il a fallu envoyer certaines pièces mécaniques telles que les accouplements réducteur-vis pour un usinage à Ouagadougou.

3.5.2.2 Installation électrique

Le poste de transformation MT/BT et le réseau aérien BT sont installés par la SONABEL. Durant les trois jours, Notre tâche fut donc d'installer les prises de terre et le circuit électrique enterré.

3.5.2.3 Aménagement des locaux techniques

L'aménagement du local technique a pris 04 jours. Les tâches initialement prévues étaient d'installer les armoires de commandes (précâblés) et de raccorder tous les appareils électriques entre eux. Mais en plus de ces tâches il a fallu reconstruire le hangar moteur.

3.5.3 Résultats des essais

Tableau 22: Résultat des essais station SPOUEST

Désignations	Valeurs
HMT	5,2 m
Débit normal	210 l/s
Courant de démarrage	47,7 A
In	38,8 A
Temps de démarrage	6,3 s
Id/In	1,23
Surcharge du variateur de vitesse	8,1 %
P moteur à Débit normal	23,8 W
Débit à P moteur nominal	288 l/s

4. DISCUSSION ET ANALYSES

4.1 CHOIX DES APPAREILS

4.1.1 Choix des moteurs

Le calcul des puissances en jeu a servi à déterminer les puissances électriques des moteurs à utiliser pour le pompage. Les coûts opérationnels sont estimés en fonction des coûts de l'électricité et de maintenance. La *figure 6* nous illustre l'évolution du cumul des coûts opérationnels des stations. On constate une supériorité nette des coûts de fonctionnement et d'entretien des moteurs thermiques par rapport aux moteurs électriques.

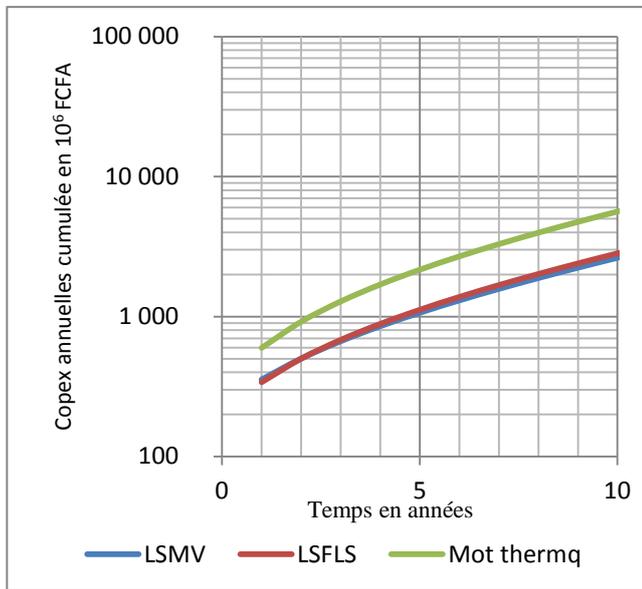


Figure 7: Coût cumulés des opérations annuelles

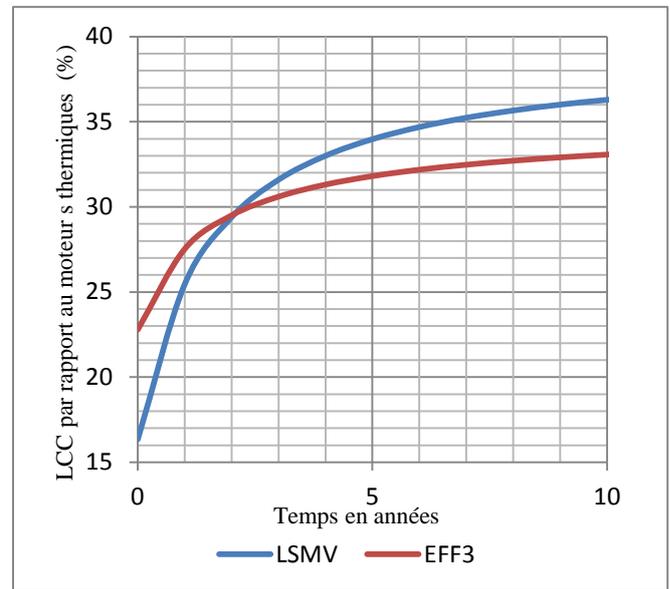


Figure 8: Evolution comparée des LCC des moteurs IE1 et IE2

Les moteurs classiques (LSFLS de Leroy Somer) coûtent en moyenne 40% moins chères à l'achat que les LSMV. Ils ne sont pas spécialement conçus pour une utilisation en variation de vitesse mais ils donnent un rendement acceptable avec des variateurs universels UNIDRIVE. Les LSMV, en plus d'être des moteurs hauts rendements, sont spécialement conçus pour une utilisation en variation de vitesse. Il est donc à prévoir des frais de maintenance réduits et une durée de vie plus longue par rapport aux moteurs classiques. De plus ils sont moins énergivores. La figure 7 fait illustrer les différences entre le LCC des moteurs thermiques et deux types de moteurs électriques en comparaison. On constate qu'à partir de la 3^{ème} année la différence de prix d'investissement initial de 40% est rattrapée par la différence des coûts des opérations des moteurs LSMV. Ce sont donc les moteurs LSMV qui sont retenus pour les installations.

4.1.2 Choix des variateurs

Le choix de l'utilisation de variateurs est moins évident que celui des moteurs. Sur base des économies d'énergie on obtient un retour après 43160 cycles de démarrage-arrêt. Cela est plutôt négligeable car en supposant 10 cycles de démarrage-arrêt par jour on a un retour direct sur 20 ans.

Néanmoins nous recommandons l'utilisation de variateur de vitesse. Nous sommes confrontés à un système de pompage. L'eau étant pompée depuis la rivière, cela implique des niveaux variables en amont de la vis et donc des différences de charges. De plus l'eau pompée est déversée directement dans des canaux pour une irrigation en surface libre. Il est donc primordial de pouvoir adapter les débits aux besoins, ce qui implique des couples moteurs variables. Enfin les variateurs permettent d'améliorer la protection du système.

Notre choix de variateurs s'est porté sur les variateurs universels Unidrive de Leroy SOMER précisément des gammes M200 pour les moteurs de moins de 37kW et M400 pour les 37kW à 75kW et M600 pour les plus gros. Ce choix se justifie par leur conception robuste (IP 21) avec des circuits imprimés protégés par verni (impératif pour une utilisation en milieu humide) et une forte résistance aux surcharges (180% pendant 3 secondes et 150% pendant 60 secondes). De plus, les variateurs Unidrive de série M offrent une optimisation de la productivité et une conformité aux exigences de sécurité des machines grâce à leur large

plages de tension d'alimentation et leurs offrent deux modes de fonctionnement: boucle ouverte et RFC-A.

4.1.2.1 Mode de fonctionnement

Mode RFC-A

Le mode Rotor Flux Control pour moteurs asynchrones (RFC-A) est un contrôle vectoriel en boucle fermée sans capteur de retour de position. Le contrôle du flux du rotor offre un contrôle boucle fermée sans la nécessité d'un retour de position, en utilisant les paramètres de courant, de tensions et du moteur pour estimer la vitesse du moteur. Cela peut éliminer l'instabilité généralement associée au contrôle en boucle ouverte, par exemple en cas d'utilisation de gros moteurs avec faibles charges à basses fréquences.

Mode Boucle ouverte

Le variateur adapte le courant du moteur aux fréquences spécifiées par l'utilisateur. La vitesse du moteur dépend de la fréquence de sortie du variateur et du glissement occasionné par la charge mécanique. Le variateur peut améliorer le contrôle de la vitesse du moteur en appliquant une compensation de glissement. Les performances obtenues à vitesse réduite varient selon que le mode vectoriel boucle ouverte ou le mode U/F est sélectionné.

- **Mode vectoriel** : la tension appliquée au moteur est directement proportionnelle à la fréquence, exceptée à basse vitesse où le variateur utilise les paramètres moteurs pour appliquer la tension appropriée et maintenir ainsi un flux constant dans des conditions de charge variables. Normalement, un couple de 100 % est disponible à partir d'1 Hz pour un moteur à 50 Hz.
- **Mode U/F**: la tension appliquée au moteur est directement proportionnelle à la fréquence (U/F fixe) ou proportionnelle au carré de la tension (U/F quadratique), exceptée à basse vitesse où une augmentation de la tension (boost) peut-être paramétrée par l'utilisateur. Ce mode est adapté au pompage avec des caractéristiques de charge quadratiques.

4.1.2.2 Optimisation

Pour le contrôle de nos moteurs nous choisirons le mode boucle ouverte U/F quadratique. Ce mode correspond parfaitement à l'utilisation prévue en pompage avec un couple de démarrage progressif en offrant des optimisations à plusieurs niveaux :

- **Courant** : en réglant le paramètre courant nominal sur le courant permanent maximum du moteur on assure la protection thermique du moteur, le contrôle de tension en mode Vectoriel, la Compensation de glissement et le contrôle dynamique U/F.
- **Facteur de puissance** : Le facteur de puissance sert conjointement au courant nominal du moteur pour calculer le courant actif nominal et le courant magnétisant du moteur. Le courant nominal actif sert notamment au contrôle du variateur et le courant magnétisant à la compensation de la résistance statorique en Mode Vectoriel. Il est important de bien régler ce paramètre. Le variateur peut mesurer le facteur de puissance nominal en effectuant un autocalibrage avec rotation.
- **Démarrage** : les variateurs de la série M assurent des démarrages doux avec un courant de démarrage proche du courant nominal ($I_d < 1,7I_n$).

- **Freinage** : l'intégration de résistance de freinage réduit grandement le temps de freinage et accroît le niveau de sécurité des installations en permettant des arrêts d'urgence plus efficace.

4.1.3 La compensation

Les moteurs utilisés sont tous à haut rendement IE2 donc avec des facteurs de puissance supérieurs à 0,8. Pour les stations Mais l'utilisation des variateurs de vitesse crée une pollution harmonique sur le réseau. Cette pollution est d'autant plus importante que les principales charges des systèmes sont des moteurs. De plus on constate dans le tableau 22 que l'utilisation de module de compensation permet de réduire charge de certains transformateurs et même la taille pour d'autre. Les modules de compensation utilisés offrent une protection contre la pollution harmonique et les excès d'énergies réactives.

Tableau 23: Etudes de compensation

Tension (V)	400	910	450	460	610	500	475	200	140	50		
Transfo	S non compensé (KVA)	168,8	144,5	71,4	99,5	112,8	123,3	93,8	119,8	69,1	58,3	24,0
	Puissances installées (kVA)	160	160	100	100	100	160	160	100	100	50	50
Compensation	S compensé	141	120	59	83	94	103	78	100	58	49	20
	Q (kVAr) à compenser ==> 0,96	61,9	53,0	26,2	36,5	41,4	45,2	34,4	43,9	25,3	21,4	8,8
	Niveau de pollution	0,82	0,76	0,51	0,69	0,86	0,63	0,55	0,57	0,49	0,43	0,30
	Modules utilisés (harmonique à 5%)	P650 SAH	P650 SAH	P400 SAH								

4.1.4 Conducteurs et protections

Compte tenu de la nouveauté des installations et du niveau de qualité exigé par le client, nous sommes assurés d'obtenir une chute de tension de moins de 3% en en tout point en aval des transformateurs. Cette marge n'est pas trop coûteuse vis-à-vis de l'investissement initial. Elle permet d'obtenir une chute de tension générale acceptable car les sites sont éloignés des postes de production et le transport se fait en 33kV. Enfin des sections légèrement surdimensionnées permettent d'éviter la reprise du câblage en cas d'augmentation des charges.

L'utilisation de variateur de vitesse pour le démarrage et l'arrêt réduisant fortement les appels de courant, la courbe la mieux adaptée à notre système est la courbe B. Les disjoncteurs choisis dans le *tableau 17* sont ceux ayant nécessité une étude approfondie. Ils protègent les équipements de puissance contre les courts-circuits et les surcharges. Nous avons donc choisi des disjoncteurs magnétothermiques de la gamme GV¹² de Schneider Electric.

4.1.5 Système d'alimentation

Le système d'alimentation choisi s'appuie sur le système standard recommandé par la norme

¹² La gamme GV est une gamme de disjoncteurs magnétothermiques industrielles spécialement conçu par Schneider electric pour la protection des moteurs.

EN954-1 (Figure 8). Nous l'avons modifié afin d'y ajouter un mode de démarrage automatique, un poste de comptage et un démarrage moteur temporisé.

Le mode de démarrage automatique permettra au système de démarrer ou s'arrêter en fonction du niveau d'eau sans l'intervention d'un moniteur. Cela permet de protéger le système des abus d'utilisation.

Le poste de comptage horaire permettra de gérer les temps de pompage et préciser son adaptation aux besoins des cultures.

Le démarrage temporisé vient quant à lui protéger le moteur contre les délestages intempestifs.

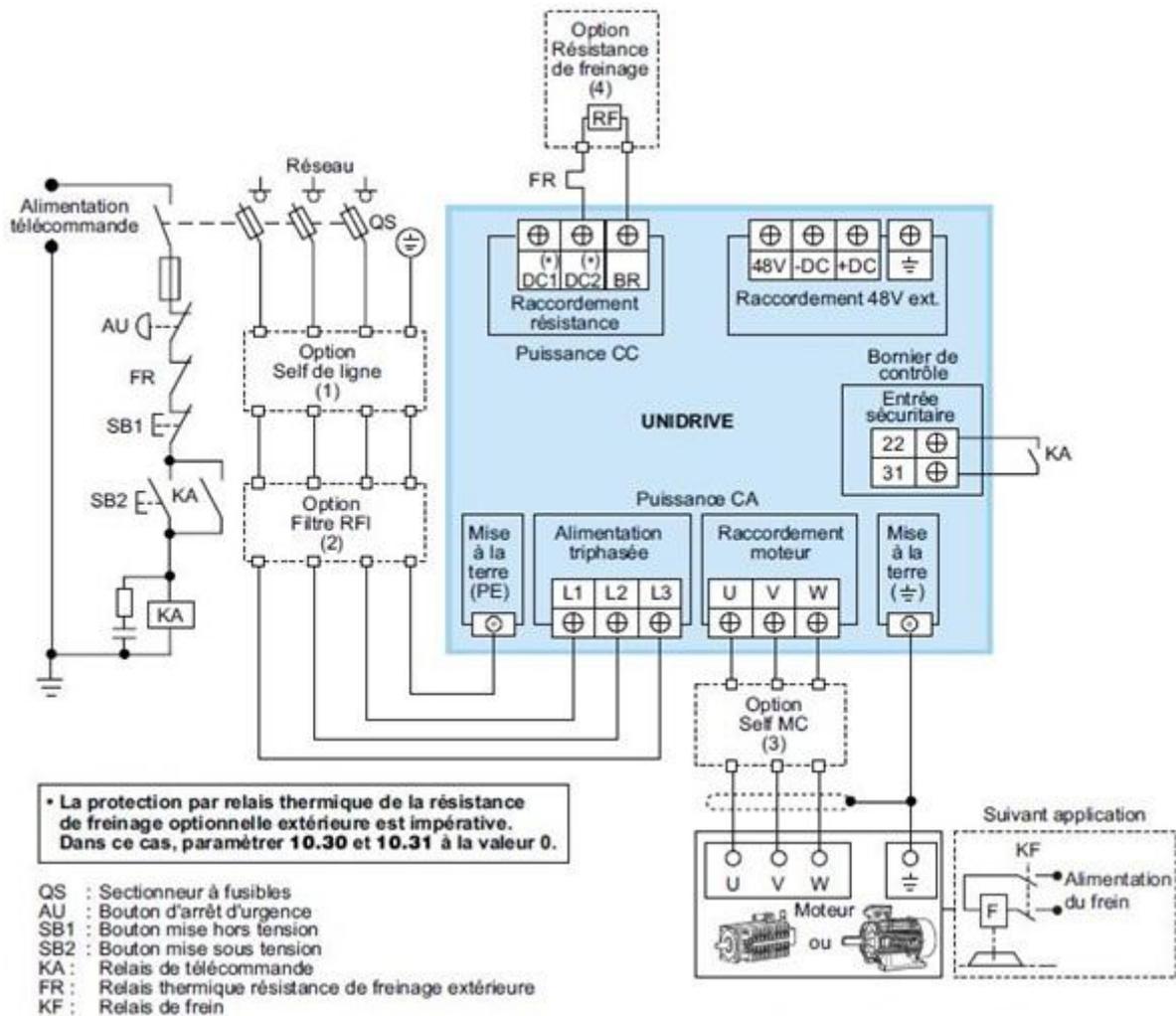


Figure 9:Alimentation pour réseau triphasé AC d'un variateur unidrive selon norme de sécurité EN 954-1

4.2 EVALUATION ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

4.2.1 Impact socio-économique

Nous estimons à partir des consommations calculées à 160 223 637 FCFA les économies annuelles réalisées sur le pompage à moteur thermique. Cela représente 52% des coûts liés au pompage. Le rapport d'analyse de la compétitivité de la filière riz locale au Burkina Faso (MASA, 2009) estime à 39% en moyenne la part du pompage dans le prix de production du

riz. On déduit donc une baisse globale de 20% des coûts de production du riz au Sourou. On estime à 3956 le nombre producteurs de la zone d'opération. En considérant un rapport moyen de dépendance¹³ de 2,7 par producteur (MASA, 2009) on obtient un accroissement de revenu annuel de 15 020 FCFA par personne.

Le coût total du projet est estimé à 1 milliard 12 millions. En supposant les stations amorties (de valeur financière nulle) on peut estimer un retour sur investissement en 6 ans à 7 ans. Cependant nous précisons que ce temps dépend grandement de la gestion des infrastructures.

4.2.2 Impact environnemental

Du *tableau 18* on déduit une réduction de 233t/an les émissions de CO₂ dans l'atmosphère. La politique de promotion des énergies renouvelables du ministère de l'énergie, des mines et carrières du Burkina la rend encore plus intéressante. Il est prévu la construction de plusieurs centrales solaires et hydroélectrique. A terme, les énergies renouvelables représenteront environ 42% de la production totale de la SONABEL. De plus une production localisée des gaz à effet de serre facilite leur gestion. Ce projet permet donc de réduire l'emprunte carbone des produits de la vallée du Sourou. Cela accroît leur compétitivité et demeure atout pour une labélisation internationale.

4.3 MANAGEMENT DU PROJET

Nous avons divisé l'exécution des travaux en trois (03) phases en tenant compte de l'urgence de l'exécution des travaux, de la disponibilité et de l'accessibilité des stations.

La **phase 1** concerne les stations nécessitant une intervention urgente. Les installations des stations tests font partie de cette phase.

La **phase 2** traite des stations moins urgentes mais accessibles en moins d'une heure de route depuis la base de vie à Niassan.

La **phase 3** traite des stations en assez bon état de marche.

Le *tableau 24* nous résume le planning d'exécution des travaux. Il a été élaboré à partir des observations d'exécution des travaux de stations SP50 et SP-OUEST. Nous en déduisons que pour rentrer dans les délais d'exécution sans trop perturber les différentes filières agricoles, il faudrait employer deux équipes supervisées par un ingénieur. Elles travailleraient sur différentes stations d'un même périmètre, afin d'économiser en logistique et de permettre un soutien mutuel en cas de nécessité. Le planning prévoit une durée d'exécution des travaux de 10 mois avec une pause de 3 mois entre les phases 2 et 3. Ce qui nous fait un total de 13 mois.

Tableau 24: composition des équipes d'intervention

Composition des équipes d'intervention	Niveau d'étude	Nombre
--	----------------	--------

¹³ Le rapport de dépendance est le nombre de personnes dont la subsistance est directement lié au revenu d'un seul travailleur.

Chef d'équipe Mécanicien Soudeur	Bac+3/TS	1
Mécaniciens-soudeurs	Bac F/BEP	2
Chef d'équipe électricien	Bac+3/TS	1
Electricien	Bac F/BEP	2
Chauffeur	PL	1
Total		7

Les tableaux 22 et 23 présentent la composition des équipes et du matériel nécessaire au bon déroulement des travaux.

Tableau 25: liste du matériel de travail

Matériel par équipe	Quantité
Trousse soudure	1
Trousse mécanique	2
Trousse électricité	1
Camion grue	1
Voiture Pick up	1
Echafaudage	2
Groupe électrogène 7,5KVA	1

Tableau 26: Planning d'exécution des travaux

		Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin
1	✓		Construction des locaux techniques	1 jour	Lun 04/05/15	Lun 04/05/15
2			Phase 1 du projet	82,29 jours	Lun 11/05/15	Ven 21/08/15
3	✓		+ Début de la phase 1 des installations	9 jours	Lun 11/05/15	Jeu 21/05/15
6			+ Périmètre 50 SP50 (test 1)	19 jours	Jeu 21/05/15	Sam 13/06/15
29			+ Périmètre 140	60 jours	Lun 08/06/15	Ven 21/08/15
76			+ SP200	21 jours	Ven 24/07/15	Mer 19/08/15
102			Phase 2 du projet	90,71 jours	Mer 19/08/15	Jeu 10/12/15
103			+ Périmètre 500	55 jours	Mer 19/08/15	Mar 27/10/15
181			+ Périmètre 475	55 jours	Mer 19/08/15	Mar 27/10/15
237			+ Périmètre 600	36 jours	Mar 27/10/15	Jeu 10/12/15
300			Phase 3 du projet	118 jours	Lun 13/06/16	Mar 08/11/16
301			+ Périmètre 450	53 jours	Lun 13/06/16	Mer 17/08/16
356			+ Périmètre 460	29 jours	Jeu 18/08/16	Ven 23/09/16
449			+ Périmètre 910	36 jours	Ven 23/09/16	Mar 08/11/16

5. CONCLUSIONS

De cette étude, il ressort que le choix des appareils électriques de tout système de production peut et doit être guidé par une étude d'optimisation.

Une approche purement technique, basée sur les consommations et les pertes d'énergie, permet d'apprécier les économies réalisées. Mais en se basant uniquement sur une telle approche, l'utilisation d'un système d'entraînement à vitesse variable pour le pompage à vis ne serait ni économiquement rentable ni nécessaire pour une éventuelle protection de l'environnement. Le règlement CE 640/2009 de la commission européenne imposant l'utilisation d'un variateur de vitesse à tous les moteurs de puissances comprises entre 7,5 et 375 kW n'est pas directement transposable à un système de pompage à vis d'Archimède dans le contexte économique (prix d'équipements, coût de l'énergie et de la main d'œuvre) burkinabé.

En associant à ce point de vue purement technique, une approche fonctionnelle du système, nous avons utilisé un système à variation de vitesse. Le choix de ce système se justifie par l'économie réalisée sur les différents équipements (conducteurs et protections), l'accroissement de la durée de vie des moteurs et les différents avantages offerts en termes de données statistiques et de gestion des ressources en eau.

Les mesures effectuées durant des tests de fonctionnement des stations de pompage d'essai SP50 et SP-OUEST sont au delà de nos espérances. La surcharge de démarrage (-18%) et de freinage sont très bien gérés par le variateur. Grâce aux variateurs Unidrives, on a une baisse de facteur de puissance au démarrage de 4% et 6% (inférieur aux de 10% garanties par le constructeur) et un courant de démarrage $I_d \approx 1,3I_n$ (contre 2,1 utilisé pour le dimensionnement) Les variateurs Unidrives de la série de M200 sont dotés d'une bonne résistance interne. Une configuration adéquate des variateurs suffit à se passer de résistance de freinage externe. Les modèles de variateurs utilisés, tailles supérieures à 4, sont dotés d'une self d'équilibrage interne, il n'y a pas besoin de Self de ligne AC, excepté en présence de déséquilibres de phase excessifs ou dans des conditions extrêmes d'alimentation. Dans la pratique on observe une nette amélioration du volume d'eau pompé, ce qui permet de réduire les temps de fonctionnement journalier et donc d'accroître soit l'économie d'énergie soit la productivité des périmètres.

Les résultats de notre étude sur les consommations et les économies d'énergie permettront au service d'analyse financière de préciser leur projection de l'évolution des filières céréalières de la vallée du Sourou.

De plus, ce type de projet permet en plus de redynamiser la production agricole, de rendre les céréales burkinabés, notamment le riz et le maïs, plus compétitifs face aux céréales importées. Enfin, pour les entreprises d'ingénierie du Burkina Faso, ils ouvrent un marché intéressant pour les études et les installations.

Personnellement, ce stage à « Projet Production Solaire » nous a été très instructif. Sur le plan intellectuel, nous avons eu l'occasion d'accroître nos connaissances sur les appareils et les installations tant sur systèmes solaires que sur les systèmes industriels. Sur le plan social et managérial, nous avons développé notre capacité d'adaptation et de travail d'équipes aux cours de nombreuses sorties sur le terrain en zone rurale.

6. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

Les installations réalisées sont de type industriel. Pour une optimisation des économies il est impératif d'effectuer le pompage durant les heures creuses de la SONABEL. Cela nécessite une autre étude qui prendra en compte les besoins journaliers de pompage corrélés au nombre d'heures creuses disponibles par jour, à la capacité des stations de pompage et à la capacité de stockage existant.

Pour un meilleur déroulement des travaux à venir, il faudrait impliquer les bénéficiaires directs. En effet les travaux de réhabilitation des stations d'essais ont été grandement retardés à cause du manque d'information des exploitants des stations et des agents de l'AMVS.

Les installations sont faites en zone rurale et leurs exploitations sont confiées à un personnel non qualifié, nous recommandons d'employer des contrôleurs de station ou de former les gestionnaires actuel à l'utilisation de matériel électrique.

La puissance totale à installer pour ce projet avoisine le mégawatt. Il est donc nécessaire d'effectuer une étude stabilité du réseau pour voir le comportement des centrales les plus proches face à cette nouvelle demande.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

Denis MARQUET, Didier MIGNARDOT, Jacques SCHONEK (2010), Guide de l'installation électrique 2010, SCHNEIDER

Philippe SAUER, Moteurs électriques à haut rendement : quel impact sur l'appareillage, Journal CAPIEL 2010, Août 2010.

Cadre de Coopération du G8 Pour L'appui à La « Nouvelle Alliance pour la Sécurité Alimentaire et la Nutrition » au Burkina Faso, Amélioration de la sécurité et de la souveraineté alimentaires, 2013.

Programmation régionale MEPRED 2008, Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie Ouagadougou, Burkina Faso, Novembre 2008.

Rapport d'activité de l'autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou, campagne 2013-2014, Ministère de l'agriculture de l'hydraulique et des ressources halieutiques, Secrétariat général, Direction Générale AMVS Mars 2015.

Rapport d'activité de la Société Nationale d'Electricité du Burkina 2013, SONABEL Ouagadougou, Octobre 2014

Analyse de la compétitivité de la filière riz local au Burkina Faso, Ministère de l'agriculture de l'hydraulique et des ressources halieutiques, Secrétariat général, Direction des études et de la planification (DEP), Ouagadougou Octobre 2013

Jacques SOMDA, Abdoulaye ZONON, Jean Marie OUABDA, David HUBERMAN, Valeur économique de la vallée du Sourou, UICN 2013

Normes et décret

NFC 15-100 : Installations électriques basses tension, 2008

CEI 60034-31 : Machines électriques tournantes, Partie 1 : caractéristiques assignées caractéristiques de fonctionnement, 2011

Sites internet

<http://www2.schneider-electric.com/documents/technical-publications/fr/shared/automatismes/automatismes-reseaux-information/ct208.htm>

15/05/2015

<http://www.variateur-frequence.fr/11-variateur-tri.htm> 18/05/2015

[http://media.salon-](http://media.salon-energie.com/Presentation/826_GDA_Moteur_haut_rendement_278081.htm)

[energie.com/Presentation/826_GDA_Moteur_haut_rendement_278081.htm](http://media.salon-energie.com/Presentation/826_GDA_Moteur_haut_rendement_278081.htm) 20/06/2015

http://www.amvs.bf/IMG/pdf/presentation_complete_de_l_amvs.pdf 21/07/2015

[http://www.indexmundi.com/fr/burkina_faso/taux_d_inflation_\(indice_des_prix_a_la_consommation\).html](http://www.indexmundi.com/fr/burkina_faso/taux_d_inflation_(indice_des_prix_a_la_consommation).html) 09/08/2015

ANNEXES

Annexe I : Localisation de zone d'intervention

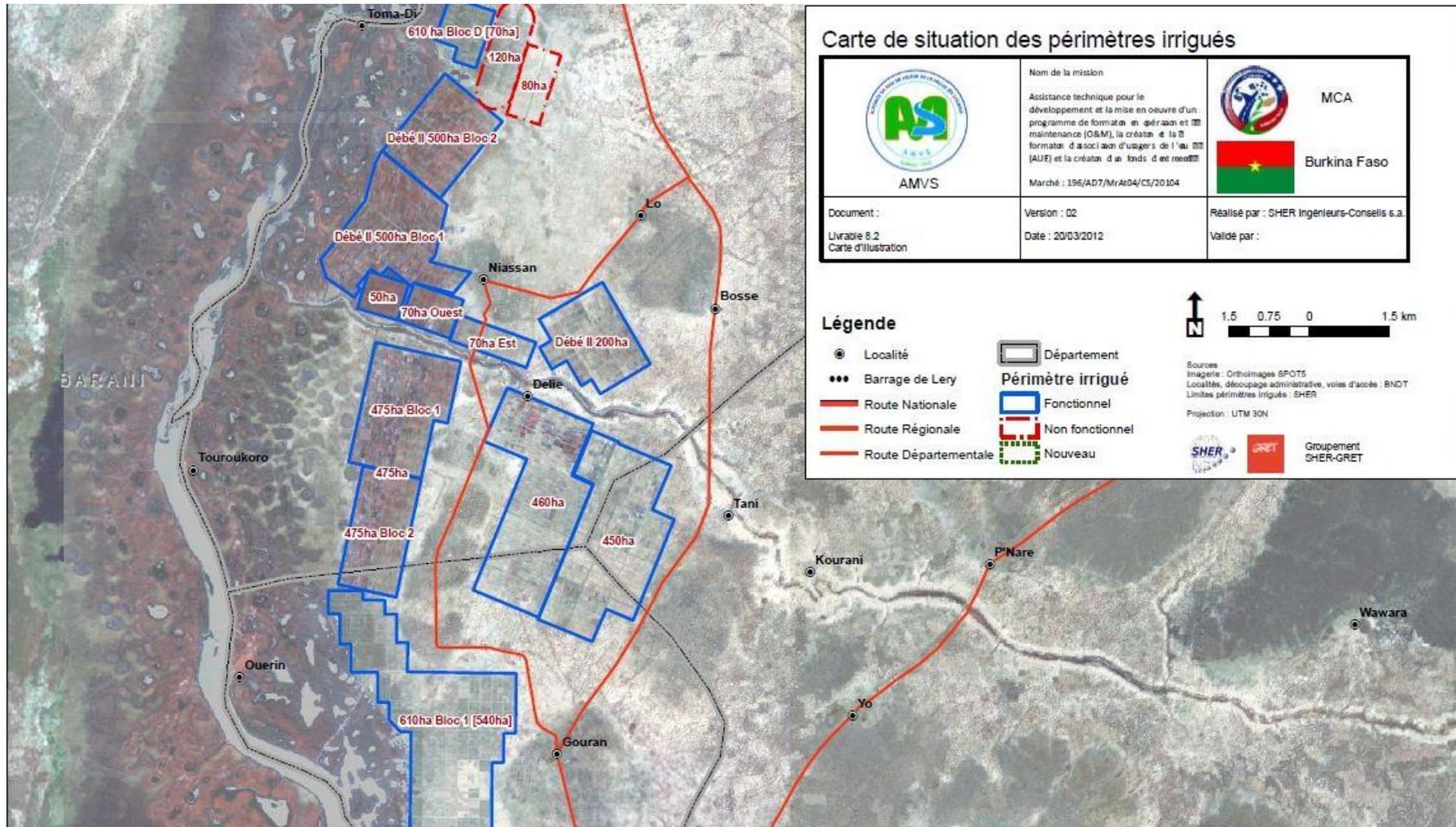


Figure 10: carte de situation des périmètres irrigués

Annexe II : Vis d'Archimède

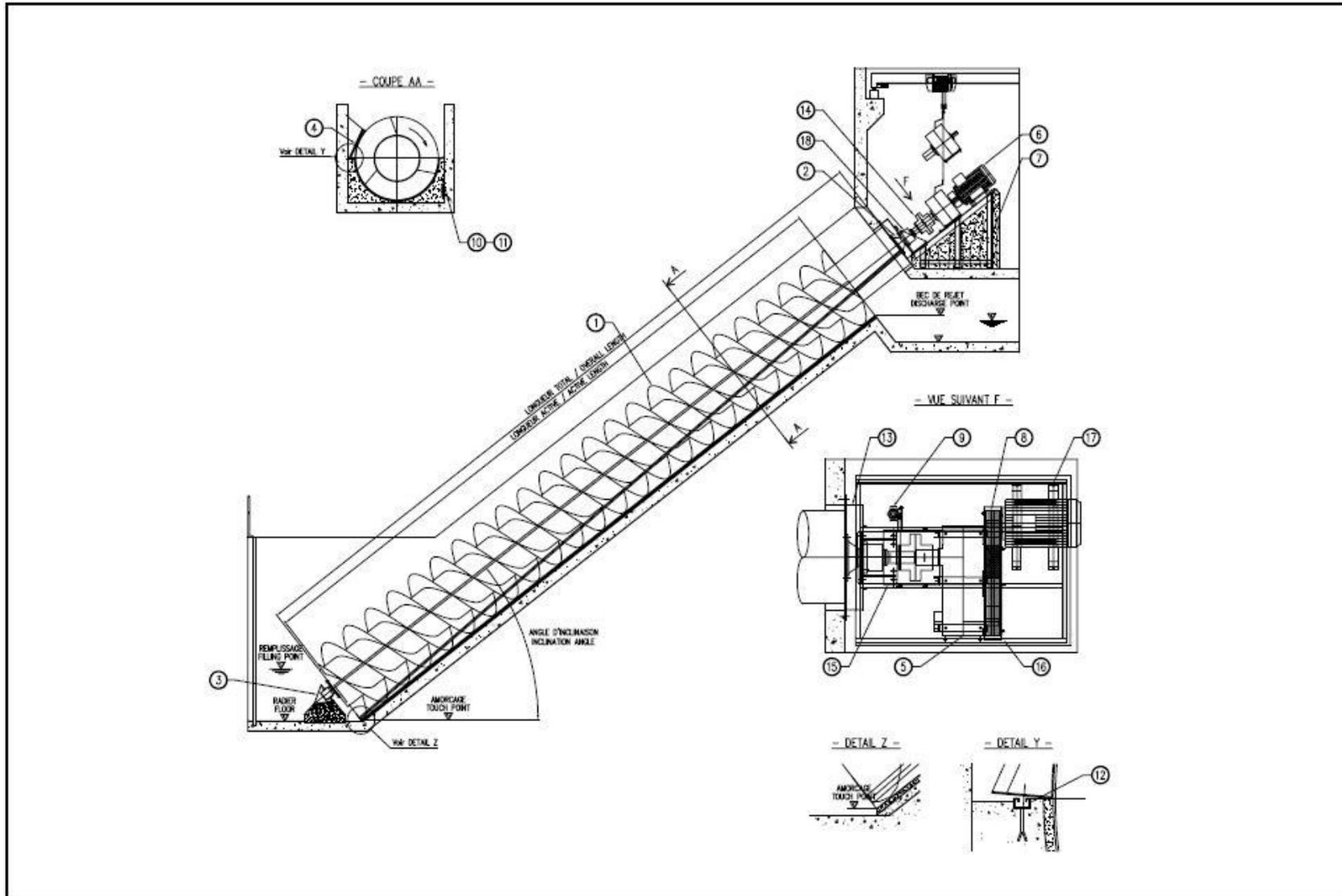


Figure 11: Système de pompage à vis

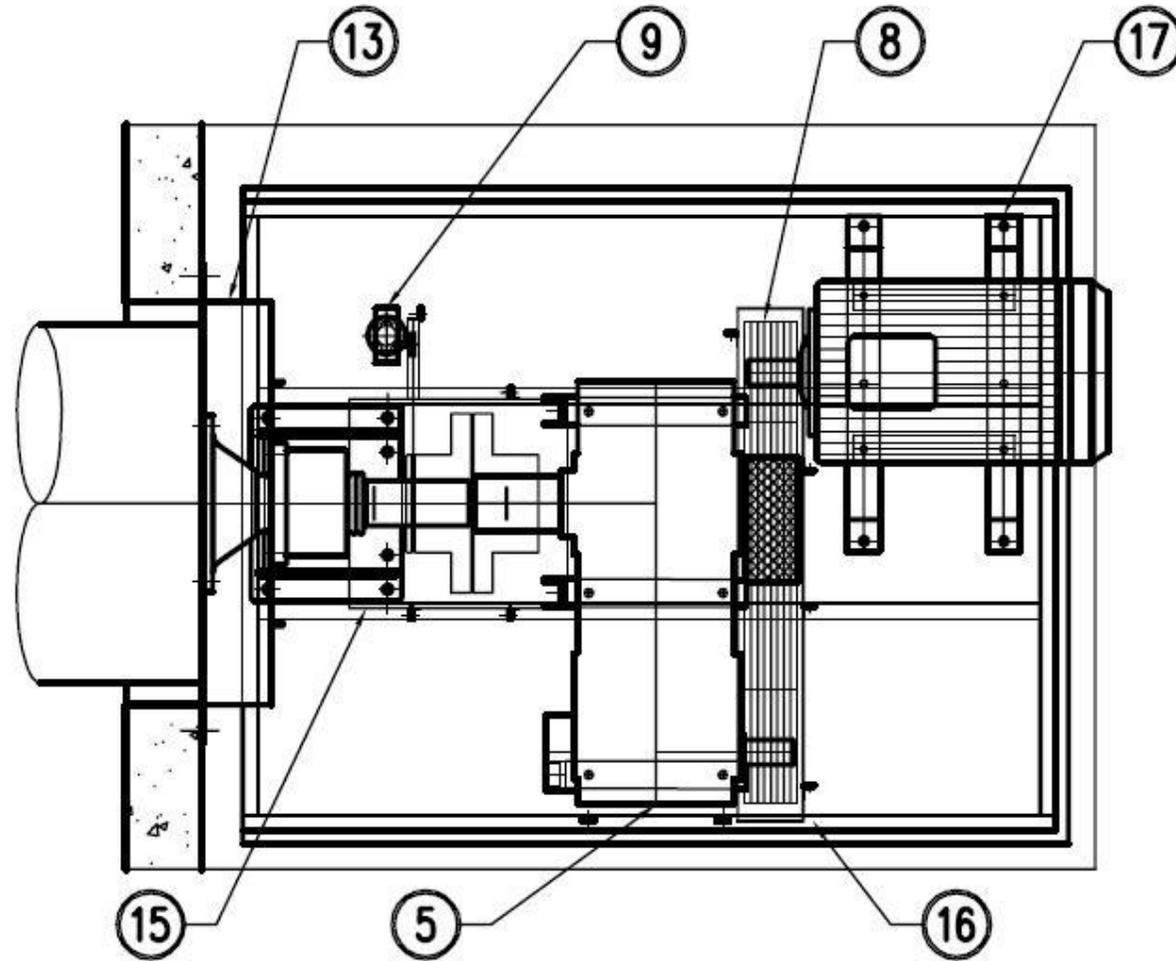


Figure 12: intégration du moteur au système de pompage

Annexe III : Bilan état des lieux

Tableau 27: Bilan et état des lieux

Moteur											
Marque	Type	N° Série	Puissance	Vitesse	Refroidissement	Energie	Etat	Remplacement du moteur			
			KW	trs/mn				Oui/non	Nbre	Date	Neuf/usagé
ASHOK LEYLAND	ALGP680TC.E4	YPHM471578	133	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2009	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGP412TCA.E4	YPEM072721	89	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2009	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGP412TCA.E4	YPEM071825	89	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2009	Neuf
DEUTZ	F4L912	53389774	35	1500	Air	Gasoil	Moyen	Oui	1	2007	Occasion
ASHOK LEYLAND	ALGP04DMK1E	ZPHM464380	39	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2009	Neuf
DEUTZ	F4L912	53389774	35	1500	Air	Gasoil	Moyen	Oui	1	2007	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGW04DMK1E4	ZPHM464401	39	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2009	Neuf
LISTER	TR1	-	7,5	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Non	-	-	-
LISTER	TR2	-	11	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Non	-	-	-
LISTER	TR2	-	11	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Oui	1	2006	Neuf

LISTER	TR2	-	11	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Oui	1	2007	Neuf
LISTER	TR1	-	7,5	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Oui	1	2007	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGP412TCA,E4	WPEM072733	89	1500	Eau	Gasoil	moyen	Oui	1	2010	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGP410TCA,E4	YPEM071853	89	1500	Eau	Gasoil	moyen	Oui	1	2011	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGP04DMK1E	ZPHM464380	39	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2008	Neuf
IVECO aifo1	8035E00*700*	53389774	35	1500	Air	Gasoil	Moyen	Non	-	-	-
LISTER PETER	CRK3 -02	4900012CRK3A02	29	1500	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	1	1999	Neuf
LISTER PETER	CRK3 -02	4900013CRK3A02	29	1500	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	1	1999	Neuf
LISTER PETER	CRK3 -02	4900010CRK3A02	29	1500	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	1	1999	Neuf
LISTER PETER	CRK3 -02	4900011CRK3A02	29	1500	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	1	1999	Neuf
LISTER PETER	CRK3 -02	4900014CRK3A02	29	1500	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	1	1999	Neuf
DEUTZ	F4L912	-	35	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Oui	2	2008	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGPWO4DMK1-E4	ZPHM464278	39	1500	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	2	2010	Neuf
LISTER PETER	CRK3 -02	-	29	-	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	2	2010	Neuf
DEUTZ	F4L912	-	35	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Oui	2	2010	Neuf
DEUTZ	F4L912	-	35	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Oui	2	2010	Occasion
ASHOK LEYLAND	ALGPWO4DMK1.E4	ZPHM464405	39	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2008	Neuf

ASHOK LEYLAND	ALGP4122TCA.E4	YPEM071834	89	1500	Eau	Gasoil	Moyen	Oui	1	2008	Neuf
ASHOK LEYLAND	ALGPWO4DMK.E4	ZRHM464408	39	1500	Eau	Gasoil	Mauvais	Oui	1	2008	Neuf
DEUTZ	F4L912	555579	35	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Oui	1	1992	Occasion
LISTER PETER	HR2	-	17	1500	Air	Gasoil	Mauvais	Non	1	1992	-

Réducteur de vitesse					Vis d'archimède							
Marque	Type	N° Série	Rapport de réduction	Etats & Observation	Ø Ext/int.	Vitesse	Hauteur	Angle (°) incli.	Débit	Type auge	Gris de protection	Etats & Observation
					Mm	tr/mn	m		l/s			
FLENDER	RNF33 - BRRY - 50	R03A106957	51,56	Bon	2200/ 1016	33,3	4,8	30	1500	Béton	Non	Bon
FLENDER	B3SH08A	S403503393-1-2	46,44	Moyen	1800/ 914	32,2	4,8	30	750	Béton	Non	Bon
FENDER	B3SH08A	S403503393-1-1	46,44	Moyen	1800/ 914	32,2	4,8	30	750	Béton	Non	Bon
FLENDER	B3SH04A	S4353393-2-1	32,10	Moyen	1200/ 609	43,5	2,41	30	360	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S4353393-2-2	32,10	Moyen	1200/ 609	43,5	2,41	30	360	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S4353393-3-1	32,10	Moyen	1200/ 609	43,5	2,45	30	310	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S4353393-3-2	32,10	Moyen	1200/ 609	43,5	2,45	30	310	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	-	-	-	Mauvais	1100/ 508	45	2	30	324	Métallique	Oui	Moyen
FLENDER	-	-	-	Mauvais	1300/ 711	44	2	30	486	Métallique	Oui	Moyen

FLENDER	-	-	-	Mauvais	1300/ 711	44	2	30	324	Métallique	Oui	Moyen
FLENDER	-	-	-	Mauvais	1300/ 711	44	2,25	30	324	Métallique	Oui	Moyen
FLENDER	-	-	-	Mauvais	1100/ 609	45	2,25	30	162	Métallique	Oui	Moyen
FLENDER	B3SH7A	4035793-0060-001	39,9	Bon	1500/812	37,594	11,8	30	400	Métallique	Non	Bon
FLENDER	B3SH9A	409867-0020-001	44,2	Bon	1800 /814	33,94	12,3	30	400	Métallique	Non	Bon
FLENDER	B3SH04A	S4353393-2-2	32,10	Moyen	1200/ 609	43,5	2,41	30	360	Métallique	Non	Bon
FLENDER	B3SH04A	S4353393-3-1	32,10	Moyen	1200/ 609	43,5	2,45	30	310	Métallique	Non	Bon
HANSEN -SIT	JKN 82C	3RC094/01/C	25 / 1	Mauvais	1200/ 609	43	4,2	30	300	Métallique	Oui	Bon
HANSEN -SIT	JKN 82C	3RC094/01/A	25 / 1	Mauvais	1200/ 609	43	4,2	30	300	Métallique	Oui	Bon
HANSEN -SIT	JKN 82C	3RC094/01/D	25 / 1	Mauvais	1200/ 609	43	4,2	30	300	Métallique	Oui	Bon
HANSEN -SIT	JKN 82C	3RC094/01/B	25 / 1	Mauvais	1200/ 609	43	4,2	30	300	Métallique	Oui	Bon
HANSEN -SIT	JKN 82C	3RC094/01/E	25 / 1	Mauvais	1200/ 609	43	4,2	30	300	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S403503393-1-1	36,66	Mauvais	1200/609	43	4,34	30	300	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S403503393-1-2	36,66	Mauvais	1200/609	43	4,34	30	300	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S403503393-1-3	36,66	Mauvais	1200/609	43	4,34	30	300	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S403503393-5-2	36,66	Mauvais	1200/609	43	4,34	30	300	Métallique	Oui	Bon
FLENDER	B3SH04A	S403503393-5-1	36,66	Mauvais	1200/609	43	4,34	30	300	Métallique	Oui	Bon

HANSEN -SIT	RNC33TAN RY/ 32.089	3RD12401A	32,10	Moyen	1200/ 609	45,3	7,3	30	300	Béton	Oui	Bon
HANSEN -SIT	RNC33TAN RY/ 32.089	3RD12401B	32,10	Moyen	1200/ 609	45,3	7,3	30	300	Béton	Oui	Bon
HANSEN JUNIOR	JKN 80C	JK0A097876	32	Mauvais	1000/ 508	46,875	6,7	30	210	Béton	Non	Bon
HANSEN JUNIOR	JKN 80C	JK0A097877	32	Mauvais	1000/ 508	46,875	6,7	30	210	Béton	Non	Bon
-	-	-	-	Mauvais	1000/ 508	-	5	30	150	Béton	Non	Mauvais

Annexe IV: Feuilles de calculs

Tableau 28: Puissances à développées

Périmètres	Stations		Vis	Vis					MotoRéducteurs				
	Stations	Superficie ha		Débit Q(l/s)	Débit Q(m3/s)	Ph (W) hydraulique	Pm (W) mécanique	P (W) moteur	P (kW) moteur	P_sélect moteur (kW)	Rapport de fonctionnement	Vitesse du moteur	rapport de rduction Max
910	SP_pr	460	a	1500	1,5	77695	103594	115104	115,1	132	0,87	1500	45
	SP_coll	450	a	750	0,75	38848	51797	57552	57,6	75	0,77	1500	47
			b	750	0,75	38848	51797	57552	57,6	75	0,77	1500	47
450	SP5	240	a	360	0,36	9362	12483	14686	14,7	15	0,98	1500	34
			b	360	0,36	9362	12483	14686	14,7	15	0,98	1500	34
	SP6	210	a	310	0,31	8196	10928	12856	12,9	15	0,86	1500	34
			b	310	0,31	8196	10928	12856	12,9	15	0,86	1500	34
460	SP1	160	a	324	0,324	6993	9323	10969	11,0	15	0,73	1500	33
			b	486	0,486	10489	13985	16453	16,5	22	0,75	1500	34
	SP2	120	a	324	0,324	6993	9323	10969	11,0	15	0,73	1500	34
	SP3	120	a	324	0,324	7867	10489	12340	12,3	15	0,82	1500	34
	SP4	60	a	162	0,162	3933	5244	6170	6,2	7,5	0,82	1500	33
610	SPA	134	a	400	0,4	50934	67911	75457	75,5	90	0,84	1500	40
	SPB	207	a	400	0,4	53092	70789	78654	78,7	90	0,87	1500	44
	SPC	203	a	360	0,36	9362	12483	14686	14,7	15	0,98	1500	34
	SPD	70	a	310	0,31	8196	10928	12856	12,9	15	0,86	1500	34
500	SP1	300	a	300	0,3	13597	18129	21328	21,3	22	0,97	1500	35
			b	300	0,3	13597	18129	21328	21,3	22	0,97	1500	35

			c	300	0,3	13597	18129	21328	21,3	22	0,97	1500	35
	SP2	200	a	300	0,3	13597	18129	21328	21,3	22	0,97	1500	35
			b	300	0,3	13597	18129	21328	21,3	22	0,97	1500	35
475	SP1-9	275	a	300	0,3	13597	18129	21328	21,3	22	0,97	1500	35
			b	300	0,3	14050	18733	22039	22,0	22	1,00	1500	35
			c	300	0,3	14050	18733	22039	22,0	22	1,00	1500	35
	SP2-9	200	a	300	0,3	14050	18733	22039	22,0	22	1,00	1500	35
			b	300	0,3	14050	18733	22039	22,0	22	1,00	1500	35
200	SP200	200	a	300	0,3	14050	18733	22039	22,0	22	1,00	1500	33
			b	300	0,3	23632	31510	37070	37,1	37	1,00	1500	33
140	SP EST	70	a	200	0,2	13145	17527	20620	20,6	22	0,94	1500	32
	SP OUEST	70	a	200	0,2	13145	17527	20620	20,6	22	0,94	1500	32
50	SP50	50	a	150	0,15	8093	10791	12695	12,7	15	0,85	1500	33

Tableau 29: Consommations et pertes des moteurs LSMV

Moteurs				Moteur LSMV				
Puissance moteurs (kW)	Temps de fonction (heures/an)	η (%)	$\text{Cos}\phi$	In (A) moteurs	Puiss absorbée (kW)	Pertes moteurs (kWh)	Pertes en ligne (kWh)	consommation (kWh)
132	1072,4	95%	0,82	244,58	138,95	7078	3372	181716
75	1072,4	94%	0,84	136,95	79,70	4745	2266	101753
75	1072,4	94%	0,84	136,95	79,70	4745	1983	101753
15	1072,4	91%	0,84	28,39	16,52	1480	3253	21090
15	1072,4	91%	0,84	28,39	16,52	1480	856	21090
15	1072,4	91%	0,84	28,39	16,52	1480	3253	21090
15	1072,4	91%	0,84	28,39	16,52	1480	856	21090
15	1072,4	91%	0,84	28,39	16,52	1480	3596	21090
22	1072,4	91%	0,84	41,63	24,23	2171	1256	30932
15	1072,4	91%	0,84	28,39	16,52	1480	1248	21090
15	1072,4	91%	0,84	28,39	16,52	1480	2901	21090
8	1072,4	89%	0,83	14,67	8,44	893	1150	10900
90	1857,2	95%	0,84	163,65	95,24	9193	4689	210567
90	1857,2	95%	0,84	163,65	95,24	9193	8108	210567
15	1857,2	91%	0,84	28,39	16,52	2563	6736	36525
15	1857,2	91%	0,84	28,39	16,52	2563	2161	36525
22	1857,2	92%	0,84	41,18	23,97	3350	2839	52986
22	1857,2	92%	0,84	41,18	23,97	3350	2151	52986
22	1857,2	92%	0,84	41,18	23,97	3350	2151	52986
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2882	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2183	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2682	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2183	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2183	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2882	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2183	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2882	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	2183	53776
37	1884,9	93%	0,82	70,11	39,83	4952	2379	91550
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	3181	53776
22	1884,9	92%	0,84	41,18	23,97	3400	3181	53776
15	1884,9	91%	0,84	28,39	16,52	2601	2193	37069
964,50	48488,00		totaux		1038,07	105111	85818	1 894 209

Tableau 30: Consommation et Perte des moteurs classiques

Stations		Moteurs Classiques						
Périmètres	Stations	η (%)	Cosp	In (A) moteurs	Puiss absorbée (kW)	Pertes moteurs (kWh)	Pertes en ligne (kWh)	consommation (kWh)
910	SP_pr	92%	0,80	260,28	144,26	12032,33	3588,75	193384
	SP_coll	91%	0,82	144,91	82,33	7158,27	2397,68	107668
		91%	0,82	144,91	82,33	7158,27	2097,97	107668
450	SP5	84%	0,82	31,32	17,79	2525,50	3589,73	23271
		84%	0,82	31,32	17,79	2525,50	944,67	23271
	SP6	84%	0,82	31,32	17,79	2525,50	3589,73	23271
		84%	0,82	31,32	17,79	2525,50	944,67	23271
460	SP1	84%	0,82	31,32	17,79	2525,50	3967,60	23271
		84%	0,82	45,94	26,10	3704,07	1385,51	34130
	SP2	84%	0,82	31,32	17,79	2525,50	1376,51	23271
	SP3	84%	0,82	31,32	17,79	2525,50	3201,07	23271
	SP4	84%	0,81	15,93	8,94	1294,92	1249,16	11835
610	SPA	92%	0,82	173,14	98,36	14207,58	4961,02	222775
	SPB	92%	0,82	173,14	98,36	14207,58	8578,44	222775
	SPC	84%	0,82	31,32	17,79	4373,71	7432,07	40300
	SPD	84%	0,82	31,32	17,79	4373,71	2383,87	40300
500	SP1	84%	0,82	45,94	26,10	6414,77	3167,27	59107
		86%	0,82	45,13	25,64	5801,89	2357,50	58074
		86%	0,82	45,13	25,64	5801,89	2357,50	58074
	SP2	86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	3158,32	58940
		86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	2392,66	58940
475	SP1-9	86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	2939,56	58940
		86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	2392,66	58940
		86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	2392,66	58940
	SP2-9	86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	3158,32	58940
		86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	2392,66	58940
200	SP200	86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	3158,32	58940
		86%	0,80	77,71	43,07	9833,52	2636,69	101486
140	SP EST	86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	3486,45	58940
	SP OUEST	86%	0,82	45,13	25,64	5888,43	3486,45	58940
50	SP50	84%	0,82	31,32	17,79	4438,94	2419,43	40901
Totaux					1095,47	177 364	93 585	2 050 771

Tableau 31: Bilan de Puissances des périmètres

Tension (V)		400		910				450				460				610				500				475				200		140		50								
Stations		SP_pr		SP_coll		SP5		SP6		SP1		SP2		SP3		SP4		SPA		SPB		SPC		SPD		SP1		SP2		SP1-9		SP2-9		SP200		SPES		SP QUES		SP50
Vis		a	a	b	a	b	a	b	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	c	a	b	c	a	b	a	b	a	a	a			
Bilan STATION	Moteurs	P moteur (kW)	132	75	75	15	15	15	15	15	22	15	15	7,5	90	90	15	15	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	15	
		η (%)	95%	94%	94%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	89%	95%	95%	91%	91%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	91%	
		cosφ	0,82	0,84	0,84	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,84	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,84	0,84	0,84
		In (A)	242	137	137	28	28	28	28	28	28	41	28	28	14	161	161	28	28	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	68	41	41	28
		Puiss absorbée (kW)	145	80	80	17	17	17	17	17	24	17	17	8	95	95	17	17	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	17	
		Facteur d'utilisation Ku	0,9	0,85	0,85	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	
		Facteur de simultané (Ks)	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	
		Puissance Moteur Sta	131	61	61	13	13	13	13	13	19	15	15	7,6	86	86	15	15	17	17	17	18	30	22	22	22	15													
	Auxiliaires	Puissance alouée (kW)	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	2	1,5	2	1,5	1	1	1	1																						
	Eclairage Local tech	Nbre luminaires	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
		Puissance lampes (W)	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44		
	Eclairage extérieur	Puissance absorbée (kW)	0,18																																					
		Nbre luminaires	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
		Puissance lampes (W)	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44		
	Prises Ph+N	Puissance absorbée (kW)	0,09																																					
		In (A)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10			
		Ks	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4			
	Prises 3Ph+N	Puissance prises (kW)	1,36	1,4	1,36	1,36	1,4	1,36	1,4																															
		In (A)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16				
		Ks	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2				
Puissance Total station (kW)		135	128	128	32	32	32	38	19	19	12	90	90	19	19	60	23	63	43	55	26	26	19																	
Bilan PERIMETRE	Facteur de simultanéité (Ks)	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9				
Puissances périmètres (kW)		135	116	116	57	57	57	80	19	19	12	90	99	19	75	75	75	96	55	47	19																			
Transfo	S non compensé (KVA)	168,8	144,5	144,5	71,4	71,4	71,4	99,5	36,5	36,5	24,0	112,8	123,3	21,5	93,8	93,8	93,8	119,8	69,1	58,3	24,0																			
Puissances installées (kVA)		160	160	160	100	160	50	160	160	160	160	100	100	100	50																									
Compensation	S compensé	141	120	120	59	59	59	83	18	18	20	94	103	18	78	78	78	100	58	49	20																			
	Q (kVar) à compenser ==> 0,96	61,9	53,0	53,0	26,2	26,2	26,2	36,5	8,9	8,9	8,8	41,4	45,2	8,9	34,4	34,4	34,4	43,9	25,3	21,4	8,8																			
		P650 SAH	P650 SAH	P650 SAH	P400 SAH																																			

Tableau 32: Calculs électriques des lignes aériennes

Stations				Moteur	Transfo – station													
Périmètres	Stations	Superficie ha	Vis	P moteur (kW)	In moteur (A)	Ib (A) max Station	In (A) Disjoncteur Station	Icc (kA)	K1	K2	K3	Iz'	Section mini mm ²	Section choisie mm ²	Distance (m)	L_tronçons (m)	K	chute de tension %
910	SP_pr	460	a	132	245	245	250	4,08	1,00	0,82	0,87	350,43	70	70	20,00	21,00	0,56	0,74
	SP_coll	450	a	75	137	274	300	4,57	1,00	0,82	0,87	420,52	70	70	20,00	21,00	0,56	0,88
			b	75	137													
450	SP5	240	a	15	28	57	63	0,95	1,00	0,82	0,87	88,31	10	50	175,00	183,75	0,75	2,17
			b	15	28													
	SP6	210	a	15	28	57	63	0,95	1,00	0,82	0,87	88,31	10	50	175,00	183,75	0,75	2,17
			b	15	28													
460	SP1	160	a	15	28	70	63	1,17	1,00	0,82	0,87	88,31	10	50	200,00	210,00	0,75	2,48
			b	22	42													
	SP2	120	a	15	28	28	50	0,47	1,00	0,82	0,87	70,09	4	35	20,00	21,00	1,00	0,26
	SP3	120	a	15	28	28	50	0,47	1,00	0,82	0,87	70,09	4	70	209,00	219,45	0,56	2,15
SP4	60	a	8	15	15	20	0,24	1,00	0,82	0,87	28,03	1,5	50	100,00	105,00	0,75	2,54	
610	SPA	134	a	90	164	164	160	2,73	1,00	0,82	0,87	224,28	70	70	20	21,00	0,56	0,47
	SPB	207	a	90	164	164	160	2,73	1,00	0,82	0,87	224,28	70	70	55	57,75	0,56	1,29
	SPC	203	a	15	28	28	50	0,47	1,00	0,82	0,87	70,09	4	35	155	162,75	1,00	2,03
	SPD	70	a	15	28	28	50	0,47	1,00	0,82	0,87	70,09	4	35	20	21,00	1,00	0,26
500	SP1	300	a	22	41	124	160	2,06	1,00	0,82	0,87	224,28	35	50	20,00	21,00	0,75	0,63

			b	22	41													
			c	22	41													
	SP2	200	a	22	41	82	100	1,37	1,00	0,82	0,87	140,17	25	50	20,00	21,00	0,75	0,39
			b	22	41													
475	SP1-9	275	a	22	41	124	150	2,06	1,00	0,82	0,87	210,26	70	70	20,00	21,00	0,56	0,44
			b	22	41													
			c	22	41													
	SP2-9	200	a	22	41	82	100	1,37	1,00	0,82	0,87	140,17	25	50	20,00	21,00	0,75	0,39
		b	22	41														
200	SP200	200	a	22	41	111	125	1,85	1,00	0,82	0,87	175,22	35	50	20,00	21,00	0,75	0,49
			b	37	70													
140	SP EST	70	a	22	41	41	50	0,69	1,00	0,82	0,87	70,09	10	35	20,00	21,00	1,00	0,26
	SP OUEST	70	a	22	41	41	50	0,69	1,00	0,82	0,87	70,09	10	35	20,00	21,00	1,00	0,26
50	SP50	50	a	15	28	28	50	0,47	1,00	0,82	0,87	70,09	4	35	20,00	21,00	1,00	0,26

Tableau 33: Calcul électrique des lignes enterrées

Stations				Moteur	Local tech – moteurs														chute de tension tronçon (%)	ΔU_total (%)
Périmètres	Stations	Superficie ha	Vis	P moteur (kW)	In Disjoncteur Moteur	Icc (kA)	F1	F2	F3	F4	F5	Iz'	Section mini mm ²	Section choisie mm ²	Distance (m)	L_tronçons (m)	K			
910	SP_pr	460	a	132	250	4,08	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	290	70	70	20,00	20,60	0,56	0,72	1,46	
	SP_coll	450	a	75	125	2,28	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	204	50	50	20,00	20,60	0,75	0,48	1,36	
			b	75	125	2,28	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	204	50	50	30,00	30,90	0,75	0,72	0,72	
450	SP5	240	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	52	6	16	20,00	20,60	2,05	0,34	2,51	
			b	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	52	6	16	20,00	20,60	2,05	0,34	0,34	
	SP6	210	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	52	6	16	20,00	20,60	2,05	0,34	2,51	
			b	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	52	6	16	20,00	20,60	2,05	0,34	0,34	
460	SP1	160	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	52	6	16	20,00	20,60	2,05	0,34	2,82	
			b	22	32	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	52	6	16	20,00	20,60	2,05	0,34	0,34	
	SP2	120	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	37	4	16	20,00	20,60	2,05	0,34	0,60	
	SP3	120	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	37	4	16	20,00	20,60	2,05	0,34	2,49	
	SP4	60	a	8	20	0,24	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	23	2,5	16	20,00	20,60	2,05	0,21	2,76	
610	SPA	134	a	90	160	2,73	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	186	50	50	20,00	20,60	0,75	0,62	1,09	
	SPB	207	a	90	160	2,73	0,80	0,89	1,13	1,00	1,00	199	50	50	20,00	20,60	0,75	0,62	1,91	
	SPC	203	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	37	4	16	20,00	20,60	2,05	0,34	2,37	
	SPD	70	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,13	1,00	1,00	40	4	16	20,00	20,60	2,05	0,34	0,60	
500	SP1	300	a	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,58	100	16	16	20,00	20,60	2,05	0,53	1,16	

			b	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,58	100	16	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,53
			c	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,58	100	16	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,53
	SP2	200	a	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	82	10	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,92
			b	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	82	10	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,53
475	SP1-9	275	a	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,58	100	16	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,97
			b	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,58	100	16	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,53
			c	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,58	100	16	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,53
	SP2-9	200	a	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	82	10	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,92
			b	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	82	10	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,53
200	SP200	200	a	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	82	10	16	20,00	20,60	2,05	0,53	1,02
			b	37	80	1,17	0,80	0,89	1,21	1,00	0,71	131	25	25	20,00	20,60	1,30	0,54	0,54
140	SP EST	70	a	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	58	6	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,79
	SP OUEST	70	a	22	50	0,69	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	58	6	16	20,00	20,60	2,05	0,53	0,79
50	SP50	50	a	15	32	0,47	0,80	0,89	1,21	1,00	1,00	37	4	16	20,00	20,60	2,05	0,34	0,60

Annexe V : Fiches techniques

Tableau 34: fiche technique des moteur LSMV

4
pôles

IP 55 - S1

Cl. F - ΔT 80 K

ALIMENTATION 400 V Y											50 Hz
Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Intensité nominale	Intensité à vide	Facteur de puissance	Rendement	Couple maximal / Couple nominal	Moment d'inertie	Masse	
	P_n kW	N_N min ⁻¹	C_n N.m	$I_N(400V)$ A	I_0 A	$\cos \varphi$	η	M_M / M_N	J kg.m ²	IM B3 kg	
LSMV 132 SM	5,5	1460	37	10,4	4,4	0,87	86	3,3	0,0334	48	
LSMV 132 M	7,5	1455	49,4	14	4,7	0,89	87	2,8	0,035	54	
LSMV 132 M	9	1460	58,8	16,8	6,5	0,88	88	3,1	0,0385	65	
LSMV 160 MR	11	1460	71,7	20,2	6,6	0,88	89	3,2	0,069	100	
LSMV 160 LU	15	1465	97,8	28,3	11,7	0,85	90,7	3,8	0,093	109	
LSMV 180 M	18,5	1468	120	34,4	14,1	0,84	92,4	3	0,123	136	
LSMV 180 LU	22	1468	143	40,7	16,9	0,84	92,8	3,2	0,145	155	
LSMV 200 L	30	1476	194	55,8	22,9	0,83	93	3	0,24	200	
LSMV 225 SR	37	1474	240	68,1	26,2	0,84	93,3	2,9	0,29	235	
LSMV 225 MG	45	1483	290	82,9	34,9	0,83	94,3	3,2	0,63	320	
LSMV 250 ME	55	1481	354	100	38,5	0,84	94,2	2,9	0,73	340	
LSMV 280 SD	75	1482	483	137,1	55,1	0,83	94,9	3,2	0,96	430	
LSMV 280 MK	90	1488	577	161	58,1	0,85	95,2	3,3	2,32	655	
LSMV 315 SP	110	1489	706	200	81	0,84	95,4	3,6	2,79	750	
LSMV 315 MR	132	1490	846	242	102	0,83	95	3,8	3,25	860	

Tableau 35: Classe de rendement CEI 60034-20

KW	Hp	classes de rendement CEI 60034-20:2008 (à 50Hz)									classes de rendement accord volontaire CEMEP					
		IE-1 standard efficiency			IE-2 high efficiency			IE-3 premium efficiency			Eff.3		Eff.2		Eff.1	
		2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	6 poles	2 poles	4 poles	2 poles	4 poles	2 poles	4 poles
0,75	1	72,1	72,1	70,0	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9	-	-	-	-	-	-
1,1	1,5	75,0	75,0	72,9	79,6	81,4	78,1	82,7	84,1	81,0	<76,2	<76,2	≥76,2	≥76,2	>82,8	>83,8
1,5	2	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5	<78,5	<78,5	≥78,5	≥78,5	>84,1	>85,0
2,2	3	79,7	79,7	77,7	83,2	84,3	81,8	85,9	86,7	84,3	<81,0	<81,0	≥81,0	≥81,0	>85,6	>86,4
3	4	81,5	81,5	79,7	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6	<82,6	<82,6	≥82,6	≥82,6	>86,7	>87,4
4	5,5	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8	<84,2	<84,2	≥84,2	≥84,2	>87,6	>88,3
5,5	7,5	84,7	84,7	83,1	87,0	87,7	86,0	89,2	89,6	88,0	<85,7	<85,7	≥85,7	≥85,7	>88,6	>89,2
7,5	10	86,0	86,0	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1	<87,0	<87,0	≥87,0	≥87,0	>89,5	>90,1
11	15	87,6	87,6	86,5	89,4	89,8	88,7	91,2	91,4	90,3	<88,4	<88,4	≥88,4	≥88,4	>90,5	>91,0
15	20	88,7	88,7	87,7	90,3	90,6	89,7	91,9	92,3	91,2	<89,4	<89,4	≥89,4	≥89,4	>91,3	>91,8
18,5	25	89,3	89,3	88,6	90,9	91,2	90,4	92,4	92,6	91,7	<90,0	<90,0	≥90,0	≥90,0	>91,8	>92,2
22	30	89,9	89,9	89,2	91,3	91,6	90,9	92,7	93,0	92,2	<90,5	<90,5	≥90,5	≥90,5	>92,2	>92,6
30	40	90,7	90,7	90,2	92,0	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9	<91,4	<91,4	≥91,4	≥91,4	>92,9	>93,2
37	50	91,2	91,2	90,8	92,5	92,7	92,2	93,7	93,9	93,3	<92,0	<92,0	≥92,0	≥92,0	>93,3	>93,6
45	60	91,7	91,7	91,4	92,9	93,1	92,7	94,0	94,2	93,7	<92,5	<92,5	≥92,5	≥92,5	>93,7	>93,9
55	75	92,1	92,1	91,9	93,2	93,5	93,1	94,3	94,6	94,1	<93,0	<93,0	≥93,0	≥93,0	>94,0	>94,2
75	100	92,7	92,7	92,6	93,8	94,0	93,7	94,7	95,0	94,6	<93,6	<93,6	≥93,6	≥93,6	>94,6	>94,7
90	120	93,0	93,0	92,9	94,1	94,2	94,0	95,0	95,2	94,9	<93,9	<93,9	≥93,9	≥93,9	>95,0	>95,0
110	150	93,3	93,3	93,3	94,3	94,5	94,3	95,2	95,4	95,1	-	-	-	-	-	-
132	180	93,5	93,5	93,5	94,6	94,7	94,6	95,4	95,6	95,4	-	-	-	-	-	-
160	220	93,8	93,8	93,8	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6	-	-	-	-	-	-
200	270	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-
250	335	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-
315	423	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-
355	483	94,0	94,0	94,0	95,0	95,1	95,0	95,8	96,0	95,8	-	-	-	-	-	-

Tableau 36: Fiches variateurs M200

Modèle		Surcharge réduite				Surcharge maximum				
		Courant de sortie permanent maximum	Puissance nominale à 400 V	Puissance moteur à 460 V	Courant crête	Courant de sortie permanent maximum	Courant crête en boucle ouverte	Courant crête RFC	Puissance nominale à 400 V	Puissance moteur à 460 V
		A	kW	HP	A	A	A	A	kW	HP
Taille 2	02400013					1,3	2	2,3	0,37	0,5
	02400018					1,8	2,7	3,2	0,55	0,75
	02400023					2,3	3,5	4,1	0,75	1
	02400032					3,2	4,8	5,8	1,1	1,5
	02400041					4,1	6,2	7,4	1,5	2
Taille 3	03400056					5,6	8,4	10,1	2,2	3
	03400073					7,3	11	13,1	3	3
	03400094					9,4	14,1	16,9	4	5
Taille 4	04400135					13,5	20,3	24,3	5,5	7,5
	04400170					17	25,5	30,6	7,5	10
Taille 5	05400270	30	15	20	33	27	40,5	54	11	20
	05400300	31	15	20	34,1	30	45	60	15	20
Taille 6	06400350	38	18,5	25	41,8	35	52,5	70	15	25
	06400420	48	22	30	52,8	42	63	84	18,5	30
	06400470	63	30	40	69,3	47	70,5	94	22	30

380/480 V AC ±10 %										
Désignation	Réseau d'alimentation	Surcharge maximum			Surcharge réduite					
		Courant permanent maximum (A)	Puissance à l'arbre moteur (kW)	Puissance à l'arbre moteur (HP)	Courant permanent maximum (A)	Puissance à l'arbre moteur (kW)	Puissance à l'arbre moteur (HP)			
M400-024 00013	3	1,3	0,37	0,5	Pour les applications en surcharge réduite, utiliser les valeurs nominales de surcharge maximum.					
M400-024 00018	3	1,8	0,55	0,75						
M400-024 00023	3	2,3	0,75	1						
M400-024 00032	3	3,2	1,1	1,5						
M400-024 00041	3	4,1	1,5	2						
M400-034 00056	3	5,6	2,2	3						
M400-034 00073	3	7,3	3	3						
M400-034 00094	3	9,4	4	5						
M400-044 00135	3	13,5	5,5	7,5						
M400-044 00170	3	17	7,5	10						
M400-054 00270	3	27	11	20				30	15	20
M400-054 00300	3	30	15	20				30	15	20
M400-064 00350	3	35	15	25				38	18,5	25
M400-064 00420	3	42	18,5	30	48	22	30			
M400-064 00470	3	47	22	30	63	30	40			
M400-074 00660	3	66	30	50	79	37	50			
M400-074 00770	3	77	37	60	94	45	60			
M400-074 01000	3	100	45	75	112	55	75			
M400-084 01340	3	134	55	100	155	75	100			
M400-084 01570	3	157	75	125	184	90	125			
M400-094 02000	3	200	90	150	221	110	150			
M400-094 02240	3	224	110	150	266	132	200			

Tableau 37: Fiche variateurs M600

380/480 V AC ±10 %						
Désignation	Surcharge maximum			Surcharge réduite		
	Courant permanent maximum (A)	Puissance à l'arbre moteur (kW)	Puissance à l'arbre moteur (HP)	Courant permanent maximum (A)	Puissance à l'arbre moteur (kW)	Puissance à l'arbre moteur (HP)
M600-034 00025 A	2,5	0,75	1	3,4	1,1	1,5
M600-034 00031 A	3,1	1,1	1,5	4,5	1,5	2
M600-034 00045 A	4,5	1,5	2	6,2	2,2	3
M600-034 00062 A	6,2	2,2	3	7,7	3	5
M600-034 00078 A	7,8	3	5	10,4	4	5
M600-034 00100 A	10	4	5	12,3	5,5	7,5
M600-044 00150 A	15	5,5	10	18,5	7,5	10
M600-044 00172 A	17,2	7,5	10	24	11	15
M600-054 00270 A	27	11	20	30	15	20
M600-054 00300 A	30	15	20	30	15	20
M600-064 00350 A	35	15	25	38	18,5	25
M600-064 00420 A	42	18,5	30	48	22	30
M600-064 00470 A	47	22	30	63	30	40
M600-074 00660 A	66	30	50	79	37	50
M600-074 00770 A	77	37	60	94	45	60
M600-074 01000 A	100	45	75	112	55	75
M600-084 01340 A	134	55	100	155	75	100
M600-084 01570 A	157	75	125	184	90	125
M600-094 02000 A	200	90	150	221	110	150
M600-094 02240 A	224	110	150	266	132	200
M600-104 02000 A	200	90	150	221	110	150
M600-104 02240 A	224	110	150	266	132	200
M600-104 02700 A	270	132	200	320	160	250
M600-104 03200 A	320	160	250	361	200	300
M600-114 03770 A	377	185	300	437	225	300
M600-114 04170 A	417	200	300	487	250	400
M600-114 04800 A	480	250	400	585	315	450

Tableau 38: Selfs lignes

Variateurs utilisés avec	Référence de la self	Phases d'alim	Inductance mH	Courant efficace permanent A	Courant de crête A	Poids kg	Dimensions (mm)		
							L	P	H
02200056	4402-0228	3	1,0	15,4	47,4	3,8	150	90	150
02200075									
03200100									
03400056									
03400073									
03400094									
04200133									
04400135									
05200250	4402-0229	3	0,4	24,6	49,2	3,8	150	90	150
04200176	4402-0232	3	0,6	27,4	54,8	6	180	100	190
04400170									
05400270									
05400300									
06200330	4400-0240**	3	0,45	46	92	11	190	150	225
06400350									
06400420									
06200440	4400-0241**	3	0,3	74	148	15	250	150	275
06400470									

Tableau 40: modules de compensation

réseaux 400/415 V (50 Hz)	réseaux			support pour jeu de barres vertical	dimensions armoires (mm)		types d'armoires
	standard	pollué	fortement pollué		profondeur minimale	largeur minimale	
modules	types						
	standard	H	SAH (self intégrée)				
P400	25...90 kvar	25...70 kvar		non	400	600	universelle Prisma Prisma Plus Okken
			12,5...50 kvar	oui	400	700	universelle Prisma Prisma Plus Okken
L600	25...60 kvar	25...50 kvar		oui	400	600	universelle Prisma Prisma Plus Okken
P650			50 et 100 kvar	oui	650	700	universelle Okken (1)

Tableau 39: Fiche Parafoudre

PRD



Parafoudres de types 2 et 3 à cartouche débrochable avec report à distance de l'information "cartouche à changer". Ces parafoudres sont conçus pour les schémas de liaison à la terre (régimes de neutre) TT, TNS, IT et TNC.

certification	NF, KEMA KEUR, OVE
normes	NF EN 61643-11 Type 2 CEI 61643-1
dispositif de déconnexion	déconnexion obligatoire du parafoudre à réaliser avec disjoncteur (à commander séparément, voir tableau ci-dessous)
signalisation de fin de vie	blanc : en fonctionnement rouge : en fin de vie
report de signalisation de fin de vie	par contact NO, NF (250 V / 0,25 A)
température d'utilisation	-25... +60 °C
raccordement	bornes à cage de 2,5 à 35 mm ²

type	nombre de pôles	largeur en pas de 9 mm	tension nominale du réseau Un (V)	courant court-circuit Icc (kA)	courant maximal de décharge I _{max} (kA)	courant nominal de décharge I _n (kA)	niveau de protection en tension U _p (kV)		tension maximale de régime permanent U _c (V)		référence
							MC(1) L/⊕	MD(2) L/N	MC(1) L/⊕	MD(2) L/N	
parafoudres pour schémas de liaison à la terre TT et TNS											
PRD65r	1P+N	4	230	25	65	20	≤ 1,5	≤ 1,5	340	340	16557
	3P+N	8	230/400	25	65	20	≤ 1,5	≤ 1,5	340	340	16559
PRD40r	1P+N	4	230	15	40	15	≤ 1,4	≤ 1,4	340	340	16562
	3P+N	8	230/400	15	40	15	≤ 1,4	≤ 1,4	340	340	16564
PRD20r	1P+N	4	230	15	20	5	≤ 1,4	≤ 1,1	340	340	16672
	3P+N	8	230/400	15	20	5	≤ 1,4	≤ 1,1	340	340	16674
PRD8r (type 3)	1P+N	4	230	15	8	2,5	≤ 1,0	≤ 1,1	340	340	16677
	3P+N	8	230/400	15	8	2,5	≤ 1,0	≤ 1,1	340	340	16679

Annexe V : images des installations



Figure 13: Moto pompe thermique station SP50



Figure 14: Motoréducteur électrique LSMV 180LU



Figure 15: Armoire de commande câblé (périmètre 500 SP1)