Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering
Fondation 2iE

PROPOSITION D'UN SYSTEME OPTIMAL DE TELEGESTION DES SYSTEMES PRIVES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

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

OPTION : Energie et Génie des procédés industriels

Présenté et soutenu publiquement le par ***:***

COMPAORE Ulrich Landry

Travaux dirigés par :

- **Dr. Yao AZOUMAH**
- **Ing. Henry KOTTIN**
- **Ing. Francis ZAGRE**

UTER : Génie Energétique et Industriel (GEI)

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Ahmed BAGRE**

Membres et correcteurs : **Yao AZOUMAH**
Mariam PABYAM
Francis ZAGRE

Promotion [2010/2011

REMERCIEMENTS

Ce projet tire sa réussite grâce à la disponibilité de certains acteurs dont nous tenons à leur présenter vivement nos remerciements. Nous pensons particulièrement à :

- Dr Yao AZOUMAH pour sa coordination;
- M. Henry KOTTIN et M. Daniel YAMEGUEU pour leur suivi et encadrement ;
- Tout le personnel du LESEE pour leur assistance ;
- M. Francis ZAGRE pour son aide ;
- Et enfin à tous mes camarades de promotion pour leur soutien inconditionnel.

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

LESEE : Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie

BT : Basse tension

HTA : Haute tension A ou moyenne tension

CCPI : Coupe-circuit principal individuel

AGCP : Alimentation générale de commande et de protection

SIG : système d'information géographique

MDP : Mécanisme de développement durable

GPS : Global positioning system (système de positionnement mondial)

CNC : Centre National de Contrôle

RESUME/ABSTRACT

Résumé

L'étude réalisée a pour but de permettre l'injection d'électricité dans le réseau Sonabel en sollicitant les groupes autonomes des operateurs privés de la ville de Ouagadougou. Ce projet est une initiative du laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) du 2iE qui permettra à terme d'accroitre le potentiel énergétique de la ville de Ouagadougou tout en réduisant les multiples délestages dont sont confrontées les populations pendant les périodes chaudes. Un recensement à permis de mobiliser 85 groupes électrogènes répartis sur 62 sites à travers la ville de Ouagadougou totalisant une puissance d'environ 23,7MW. A l'issu du recensement, une cartographie de la ville, des postes de transformation HTA et des groupes électrogènes a été réalisée à l'aide des coordonnées géographiques prises par le GPS. De l'étude technique réalisée, il ressort sept stratégies d'intégration des groupes électrogènes au réseau et plusieurs équipements à installer, notamment des dispositifs de protection, de mesure, de séparation afin d'assurer en toute sécurité le couplage.

Cette étude a permis de mettre en exergue certaines contraintes liées à la réalisation du projet à savoir la disponibilité des équipements électriques sur le marché local (synchro coupleur, transformateurs de haute puissances, compteurs) et leur coût relativement élevé

Abstract

The study performed in this thesis aims to strengthen the Sonabel electricity grid by requesting autonomous diesel generators of private operators of Ouagadougou. This project is an original initiative of the Solar Energy and Energy Saving Laboratory (SEESL) of 2iE which will permits to increase the energy potential of the city while reducing the multiple powers cut that populations face during warm periods. An inventory enabled to deduct 85 private diesel generators sets in 62 locations of a total power of about 23.7 MW available in the city of Ouagadougou. From the technical study made, seven strategies for the integration of diesel generators to the national grid and the different components necessary to ensure a safe operation of the grid are being selected.

Also, this study point out that some constraints like the availability of the electrical equipments (synchronizer, high power transformers, meters) on the local market and their relatively high cost should be taken into account for the durability of the project.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS ..... *ii*

LISTE DES ABREVIATIONS ..... *iii*

RESUME/ABSTRACT ..... *iv*

SOMMAIRE *1*

LISTE DES TABLEAUX *3*

LISTE DES FIGURES *4*

INTRODUCTION *5*

I. CADRE D'ETUDE ET OBJECTIFS DU PROJET *6*

1. CADRE D'ETUDE DU PROJET 6
2. OBJECTIFS DE L'ETUDE 8
3. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL 8

II. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE *9*

1. Presentation du réseau SONABEL 9
2. Système de raccordement au réseau 11
3. Réflexions sur l'intégration au réseau 14
4. La télégestion 27

III. RECENSEMENT ET CARTOGRAPHIE DES GROUPES *30*

1. Le recensement 30
2. La cartographie 31
3. Dimensionnement des dispositifs de protection, de connexion et de mesure (calcul disj.xlsx) .. 34
4. Etude de coûts du raccordement dans le réseau 39

CONCLUSION *44*

BIBLIOGRAPHIE *45*

ANNEXE *47*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Récapitulatif des puissances de délestage de l'année 2010 (Source : SONABEL-dispatching) 10
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des différentes stratégies retenues 24
Tableau 3 : Choix des disjoncteurs et section des câbles 35
Tableau 4: Calcul des chutes de tension pour une distance de 50m 36
Tableau 5 : Calcul des chutes de tension pour une distance de 100m 37
Tableau 6 : Calcul des chutes de tension pour une distance de 150m 37
Tableau 7 : détermination des transformateurs 38
Tableau 8 : Montant disjoncteurs, transformateur de puissance et transformateur de courant 40
Tableau 9 : Prix de câbles 41
Tableau 10 : Coût total des équipements (stratégie 1 et 5) 42
Tableau 11 : Coût total des équipements (stratégie 2 et 4) 42
Tableau 12 : Coût total des équipements (stratégie 3 et 6) 43

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Equipe dynamique du LESEE 7
Figure 2 : Organigramme de la SONABEL 10
Figure 4: Injection du surplus de production 12
Figure 5 : Injection de la totalité de la production nette 13
Figure 6 : Schéma simplifié de la stratégie 4 16
Figure 7 : Schéma simplifié de la stratégie 5 17
Figure 8 : Schéma simplifié de la stratégie 6 19
Figure 9 : Schéma simplifié de la stratégie 1 21
Figure 10 : Schéma simplifié de la stratégie 2 22
Figure 11 : Schéma simplifié de la stratégie 3 24
Figure 12 : Carte de Ouagadougou avec la position des groupes électrogènes 33

INTRODUCTION

La production d'énergie est un défi de grande ampleur pour les années à venir. En effet, les nécessités énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent de s'intensifier. Les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur essor. De nos jours, la grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une expansion de la nuisance environnementale. Le risque complémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles diminue les réserves de ce type d'énergie de façon critique pour les générations futures.

Comme l'ensemble des pays pauvres, le Burkina Faso souffre d'une indépendance faible de production d'énergie électrique, ce qui paralyse le développement économique et social de cette région. Cette situation est due à l'effet combiné de multiples facteurs :

- La demande sans cesse croissante de la consommation énergétique (par exemple, 10% moyenne annuelle au Burkina),
- l'incapacité des sociétés nationales de production d'électricité à répondre à la demande,
- la vétusté de certains équipements de production d'électricité (c'est le cas des groupes de production des centrales datant des années 80; fonctionnant avec des rendements très faibles),
- la mauvaise gestion des centrales de production d'électricité existante et plus encore le prix du combustible est très élevé grâce à l'instabilité des pays producteurs (Lybie, Afghanistan, Nigeria et autres).

A cause de la faiblesse de production électrique, le Burkina Faso est confronté aux problèmes énergétiques en période de forte chaleur. A Ouagadougou par exemple, nous rencontrons des délestages intempestifs pendant les mois de Mars et Avril. En effet, de nombreux particuliers installent des sources autonomes de production d'électricité afin d'assurer une continuité de service. Face à ces enjeux et dans le but d'anticiper les délestages, le laboratoire LESEE en collaboration avec la SONABEL a décidé de rechercher des stratégies adéquates pour palier à cette entrave en s'appuyant sur la sollicitation du parc privé des groupes électrogènes existants dans la ville.

I. CADRE D'ETUDE ET OBJECTIFS DU PROJET

1. CADRE D'ETUDE DU PROJET

Le projet soumis à notre étude est une initiative du **LESEE (Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie)** situé sur le site 2iE de Kamboinsé à environ 15 km de Ouagadougou. **Le LESEE est un laboratoire** de l'Unité Thématique de Recherche et d'Enseignement Génie Energétique et Industrielle (UTER GEI) de l'Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) de Ouagadougou.

L'objectif principal du **LESEE** est de contribuer à l'innovation industrielle dans le domaine du solaire pour une production et une utilisation rationnelle d'énergies électrique et thermique en Afrique.

Le projet scientifique du laboratoire se résume en trois principaux axes à savoir :

Axe 1 : Etude des centrales solaires à concentration. Pour répondre au manque de données d'ensoleillement fiables sur le continent, de mieux dimensionner les installations solaires et de répondre aux besoins des pays concernés, une part importante de nos activités porte sur l'évaluation précise de la ressource solaire et des besoins énergétiques en Afrique. Le contexte climatique et économique assez particulier du continent africain amène à envisager également dans cet axe à concevoir et étudier les cycles de nouveaux modèles de centrales solaires adaptés et moins coûteux : centrales hybrides solaire/biomasse, couplage des technologies existantes, centrales à cycles combinés…

Axe 2 : Habitat, architecture bioclimatique et systèmes solaires photovoltaïque (PV). Dans la perspective de la raréfaction des ressources énergétiques conventionnelles, il s'agit tout d'abord de développer des concepts pour la durabilité énergétique et environnementale dans les bâtis au sud du Sahara et de développer des outils pour une intégration optimale de l'énergie solaire PV dans l'architecture. Le second volet de nos travaux porte sur la production d'électricité à grande échelle via des centrales hybrides PV/groupe électrogène et l'étude des problèmes liés à la connexion des systèmes solaires aux réseaux électriques existants.

Axe 3 : Conception optimale et optimisation thermodynamique des systèmes énergétiques. Cet axe porte sur l'efficacité énergétique. Il s'agit ici de développer des outils pour une meilleure intégration des procédés énergétiques et/ou une conception optimale de ces procédés en s'appuyant sur des approches d'optimisation thermodynamique couplées à l'utilisation des méthodes d'optimisation géométrique multi-échelle.

EQUIPEMENTS

Une station météo entièrement équipée (pyranomètre, pyrhéliomètre, anémomètre, girouette, hygromètre)

Une station de pompage photovoltaïque (800Wc, HMT 45m)

Un prototype de centrale hybride solaire PV / groupe électrogène (2,8kWp, 11,5kVA)

Une plateforme solaire PV composée de : champ PV, bancs de test de modules PV, simulateur/analyseur de réseaux. (En cours d'acquisition)

Une plateforme solaire à concentration composée d'un héliostat de 25 m2, d'une tour de 10 m et d'un bloc électrique de petite puissance (en cours d'acquisition)

Mon travail s'inscrit dans le troisième axe de ce laboratoire qui traite de l'efficacité énergétique car produire de l'énergie c'est bien mais savoir l'utiliser c'est encore mieux.

Dans le but d'atteindre de manière encore plus efficace ses objectifs, le LESEE dispose de plusieurs partenaires dont Kwame NKrumah University of Science and Technology (Ghana), PROMES-CNRS/Université de Perpignan (France); INES/CEA (France), LOCIE/Université de Savoie (France), John Research Center- ISPRA (Italie) ; Duke University (USA), les Entreprises MicroSow (BF), PPI (BF) et bien d'autres ….

L'équipe dynamique du LESEE à ce jour est composée de plusieurs membres représentés dans la figure ci-dessous.

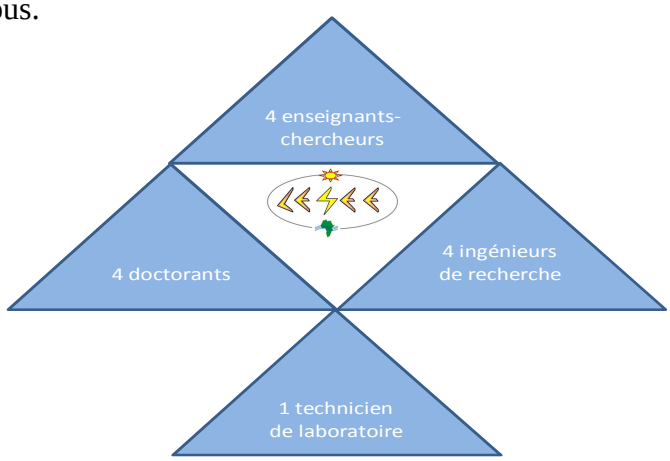


Figure 1 : Equipe dynamique du LESEE

Il fait partie des six laboratoires de recherche de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) et dépend de l'Unité Thématique de Recherche et d'Enseignement Génie Energétique et Industrielle (UTER GEI). Créé en novembre 2008, le LESEE est depuis lors dirigé par le docteur Yao AZOUMAH.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif principal de notre étude est de pouvoir anticiper les délestages dans la ville de Ouagadougou en se basant sur les productions d'électricités à partir de ressources privées existantes dans cette ville. Il s'agit en effet de proposer un système optimal de télégestion des groupes électrogènes d'une puissance d'au moins égale à 100KVA afin de pouvoir les gérer et les commander à distance. Nous envisageons à l'issue des travaux, apporter les arguments convaincants pour intégrer la proposition à travers les programmes nationaux de développement au Burkina Faso.

3. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour atteindre les objectifs fixés, quatre étapes seront suivis successivement:

- Etude bibliographique détaillée du réseau SONABEL, des systèmes de raccordement des générateurs au réseau et le système de télégestion en dégageant les avantages et les inconvénients;
- Recensement et cartographie des groupes électrogènes privés de la ville de Ouagadougou
- Dimensionnement et choix des équipements
- Etude économique de la technologie retenue.

II. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. PRESENTATION DU RESEAU SONABEL

La société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) est une société d'état ; elle assure la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique au BURKINA FASO. La société a connu de nombreuses mutations, tant au niveau de son capital que sa dénomination, ainsi qu'il est indiqué ci-après :

1954 : l'Energie AOF, société privée française, débute l'activité de production et de distribution de l'énergie électrique à Ouagadougou et à Bobo-Dioulasso respectivement en février et octobre ;
1956 : extension de l'activité de distribution d'eau dans les deux villes ;
1960 : reprise de l'ensemble des activités par la Société d'Economie Mixte Multinationale-SAFELEC- au capital de 150 millions de Francs CFA ;
1968 : la société anonyme de droit voltaïque dénommée << Société Voltaïque d'Electricité >> (VOLTELEC) dotée d'un capital social de 1 million de francs CFA assure la relève au plan national ;
1970 : abandon de la distribution d'eau par la VOLTELEC au profit de la Société Nationale des Eaux (SNE), actuelle ONEA ;
1976 : la VOLTELEC prend la forme d'établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) (décret n°76/344/PRES/MTP/URB), avec un capital de 1 387 628 FCFA ;
1984 : suite au changement de nom du pays, la VOLTELEC devient Société Nationale d'Electricité du Burkina en abrégé SONABEL ;
1995 : la SONABEL devient Société d'Etat (décret n°95/160/PRES/MICM/TPHU du 14 Avril 1995) ;
1997 : les statuts de la SONABEL comme Société d'Etat sont approuvés (déctret n°97-599/PRES/PM/MEM/MCIA du 31 Décembre 1997) ;
1998 : ouverture du sous secteur de l'électricité au privé ;
2001 : autorisation de privatisation de la SONABEL et Interconnexion BOBO (BF) – FEREKESSE (CI) ;
2004 : à 50 ans, la SONABEL compte 55 centres électrifiés.

La SONABEL couvre tout le territoire national et œuvre à assurer une bonne qualité de son énergie fournie veillant ainsi sur un équilibre entre la demande de la clientèle et son électricité produite.

Pour ce faire, un dispatching surveille l'évolution de la demande en électricité et joue une sorte de régulateur entre la clientèle et les centrales de production tant hydroélectriques (Bagré, Kompienga, Tourni et Niofila) que thermiques (KOSSODO, OUAGA I, OUAGA II …).

Cette société exerce également des activités d'ingénierie et d'appui. Le suivi de ces activités est assuré par diverses grandes directions qui sont : la direction des études, de la planification et de l'équipement ; la direction de la production et du transport ; la direction des centres extérieurs ; la direction des ressources humaines ; la direction financière et comptable et la direction de la distribution.

L'organigramme de la SONABEL, se présente comme suit :

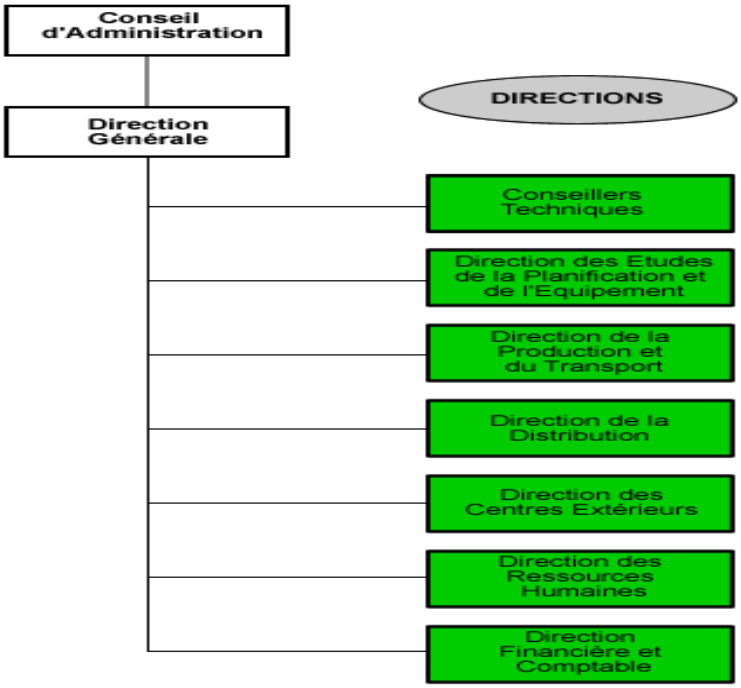


Figure 2 : Organigramme de la SONABEL

Le tableau 1 ci-dessous présente diverses informations dont notamment la puissance maximale délestée au cours de chaque mois de l'année 2010 (en MW) :

Tableau 1: Récapitulatif des puissances de délestage de l'année 2010 (Source : SONABEL-dispatching)

MOIS	DATE	IMPORT RCI(MW)	DELESTAGE (MW)	REALISATIONS (MW)	ESTIMATIONS (MW)	PREVISIONS (MW)
JANVIER	JANV-10	39,2	23,64	125,2	125,2	127,4
FEVRIER	FEVR-10	35,03	25,35	138,24	138,24	147
MARS	MARS-10	45,3	29,65	139,25	139,25	148

MOIS	DATE	IMPORT RCI(MW)	DELESTAGE (MW)	REALISATIONS (MW)	ESTIMATIONS (MW)	PREVISIONS (MW)
AVRIL	AVR-10	60,5	66,88	149,5	149,5	158
MAI	MAI-10	66,1	36,8	141,23	141,23	163
JUIN	JUIN-10	85,03	26,24	140,9	140,9	144
JUILLET	JUIL-10	92,4	3,98	138,27	138,27	140
AOUT	AOUT-10	72,48	13,73	127,81	127,81	125,03
SEPTEMBRE	SEPT-10	103	-	134,22	134,22	138
OCTOBRE	OCT-10	105,8	33,74	138,84	138,84	144
NOVEMBRE	NOV-10	94,9	44,3	137,92	137,92	142
DECEMBRE	DEC-10	86,87	13,43	129,66	129,66	128,8
	MAXIMUM	105,8	66,88	149,5	149,5	163

De ce tableau on peut voir que le délestage maximal est atteint en avril, ce qui correspond au mois le plus chaud.

On peut également remarquer que les délestages maximaux sont de l'ordre de grandeur de quelques dizaines de MW. Ceci mis en parallèle avec le résultat du recensement actuel (environ 29625 kVA ce qui fait environ 23,7 MW) nous montre que le projet peut avoir un impact considérable.

2. SYSTEME DE RACCORDEMENT AU RESEAU

2.1 Généralités

Le système de raccordement au réseau couramment appelé branchement producteur-consommateur est un branchement desservant une installation qui comprend une source de production d'énergie électrique pouvant fonctionner couplée avec le réseau de distribution publique.

Un producteur comporte en général une part de consommation liée à des usages auxiliaires ou autres. Un coupe-circuit principal individuel (CCPI) doit être prévu pour permettre à l'installation d'être séparée du réseau de distribution publique. Ce coupe-circuit doit être accessible à tout moment aux agents du gestionnaire du réseau de distribution.

2.2 Injection du surplus de production

Le branchement comporte un seul point de raccordement au réseau et un seul point de livraison à l'utilisateur. Il permet le soutirage (la fourniture par le réseau de tout ou partie de la consommation) ou l'injection vers le réseau de distribution de tout ou partie de la production de l'installation en fonction de la production et de la consommation du moment.

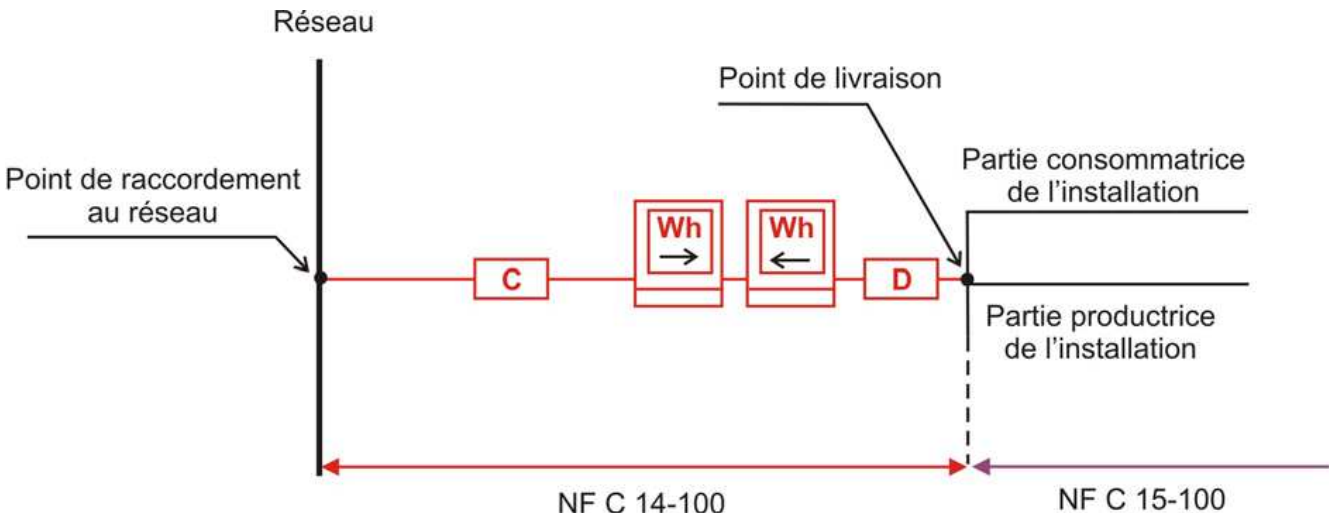


Figure 3: Injection du surplus de production

C : CCPI,

D : AGCP,

.

2.3 Injection de la totalité de la production nette

Pour répondre à une demande de l'utilisateur, d'injection sur le réseau de la totalité de la production nette avec soutirage simultané sur le réseau, le branchement comporte :

- Une liaison au réseau commune aux deux dérivations individuelles indiquées ci après ;
- Une dérivation individuelle et un point de livraison spécialisé « Soutirage » de la consommation ;
- Une dérivation individuelle et un point de livraison spécialisé « Injection » de la production nette (production brute de la source d'énergie électrique de l'utilisateur moins la consommation des auxiliaires).

L'utilisation du point de livraison soutirage pour alimenter la partie productrice de l'installation est strictement interdite. L'utilisation de la source d'injection comme source de remplacement pour l'ensemble de l'installation reste possible sous réserve des dispositions appropriées pour le couplage.

(NFC 15-100 PARTIE 5-55, GUIDES UTE C 15-400 ET UTE C 15-712).

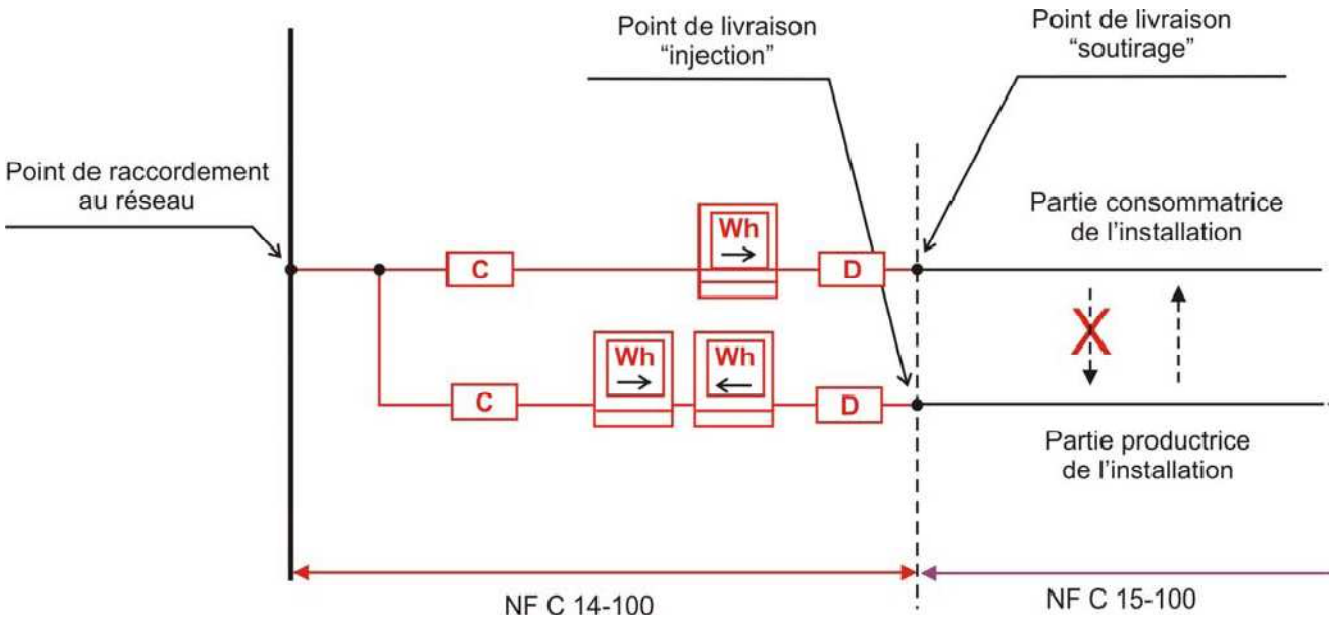


Figure 4 : Injection de la totalité de la production nette

C : CCPI,

D : AGCP,

Il faut noter qu'un dispositif de protection de découplage doit être installé selon les normes en vigueur. Selon le **décret n°2008-386 du 23 Avril 2008** relatif aux prescriptions techniques Générales de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'installations de production aux réseaux publics d'électricité.

ARTICLE 5 - II:

« Seules peuvent être raccordées à un réseau public d'électricité les installations de production dotées d'un dispositif de protection leur permettant d'être séparées automatiquement du réseau public d'électricité dans certaines situations anormales ».

De plus, les **prescriptions techniques applicables dans le cas général** stipulent en :

ARTICLE 7 - I:

« Toute installation de production doit disposer, par conception, d'une fonction de Protection, dite « protection de découplage » permettant de séparer automatiquement l'installation de production du réseau public de distribution d'électricité en cas d'apparition sur ce dernier de l'un ou plusieurs simultanément des défauts suivants :

- *Défaut HTA à la terre*
- *Défaut entre phases pour la HTA*
- *Défaut entre conducteurs pour la BT*

- *Création d'un sous-réseau séparé*
- *Tout défaut autre que les défauts susmentionnés survenant pendant le régime spécial d'exploitation instauré lors de travaux sous tension effectués sur le réseau aérien HTA »*

ARTICLE 7 - III:

« La fonction de protection visée à l'article 7-I ne doit pas interférer avec le fonctionnement normal des protections et automatismes installés par le gestionnaire du réseau public d'électricité. En outre, les seuils des phénomènes qui la déclenchent doivent être coordonnés avec ceux du dispositif de protection du gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité de manière à respecter l'aptitude de l'installation de production à poursuivre son fonctionnement en cas d'atteinte des valeurs extrêmes de fréquence et de tension du réseau (régime exceptionnel)…. »

3. REFLEXIONS SUR L'INTEGRATION AU RESEAU

Le recensement des groupes électrogènes a permis de constater que les puissances des générateurs privés varient considérablement. Ceux-ci s'étendent de quelques dizaines de kW à plusieurs centaines de kW.

Puisque les puissances des groupes électrogènes sont différentes dans chaque cas, de même que les contrats d'abonnement des compagnies (et donc la technologie utilisée pour les raccordements), il est nécessaire de procéder au cas par cas afin d'étudier quelle est la stratégie d'intégration la mieux adaptée pour une compagnie donnée.

Au jour d'aujourd'hui, on peut uniquement citer les stratégies d'intégration au réseau possibles *techniquement*, faute d'existence de réglementations officielles prenant en compte aussi bien des critères techniques que juridiques. Celles-ci sont au nombre de sept :

Pour les compagnies alimentées en moyenne tension :

Stratégie 1 : Raccordement du groupe électrogène au réseau BT voisin via un branchement dédié à la production. La totalité de l'électricité produite est alors injectée.

Stratégie 2: Raccordement du groupe au réseau HTA alimentant la compagnie via le branchement et le transformateur utilisés pour la consommation. La compagnie consomme et c'est le surplus de l'électricité produite qui est injectée dans le réseau.

Stratégie 3 : Raccordement du groupe au réseau HTA via un branchement et un transformateur qui lui est dédié. La totalité de l'électricité produite peut alors être injectée dans le réseau SONABEL.

Pour les compagnies alimentées en basse tension :

Stratégie 4 : Injection du surplus d'électricité dans le réseau BT via le circuit déjà existant (moyennant quelques modifications) ;

Stratégie 5 : Injection de la totalité de l'électricité produite dans le réseau BT via le circuit déjà existant (moyennant quelques modifications) ;

Stratégie 6 : Injection de la totalité de l'électricité produite dans le réseau HTA via un transformateur dédié.

Pour les deux types de compagnies (alimentées en basse ou moyenne tension) :

Stratégie 7 : Principe de l'effacement : la compagnie propriétaire d'un groupe électrogène s'autoalimente lors des pics de demande en électricité afin d'empêcher les délestages.

3.1 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIFFERENTES STRATEGIES RETENUES

Pour réaliser cette étude il faut noter que des organes de séparation, de protection et de comptage sont nécessaires pour assurer la fiabilité et la stabilité du réseau. Les équipements que nous mettrons en place seront fonction de la stratégie prise en compte et du courant qui y transite.

Pour les compagnies alimentées en basse tension :

Stratégie 4 : Injection du surplus d'électricité dans le réseau BT via le circuit déjà existant (moyennant quelques modifications). Vu que l'installation existe déjà avec les dispositifs de séparation et de protection (coupe circuit principale, sectionneur, appareil générale de commande et de protection) amont et aval ; nous n'aurons plus besoin d'acheter ces éléments. Par contre un certain nombre de dispositifs doit être placé obligatoirement à savoir :

- une protection de découplage pour la vérification des conditions de couplage (tension, fréquence, amplitude),
- une protection de retour de puissance pour éviter l'entrainement du groupe électrogène,
- un dispositif de comptage (injection/soutirage) pour assurer la facturation,
- un synchro coupleur (pour la vérification des conditions de couplage au réseau)
- des câbles de raccordement du lieu de production au point de livraison dimensionné en fonction de la distance et des chutes de tensions.

- Régulateur de courant et de tension

L'avantage de ce système est que la modification n'est pas si grande ce qui réduit les coûts, le client peut recevoir de l'énergie à partir de la Sonabel si sa production est inférieure à sa consommation et vice versa, de plus le producteur pourrait alimenter son voisin le plus proche en injecter le surplus de production ce qui assure une compensation du point de vue énergétique.

En effet, si les conditions ne sont pas respecter l'instabilité du réseau est menacé et s'en suit une détérioration du groupe. Il faudrait également que la puissance produite soit supérieure à celle souscrite afin que le surplus soit réinjecté.

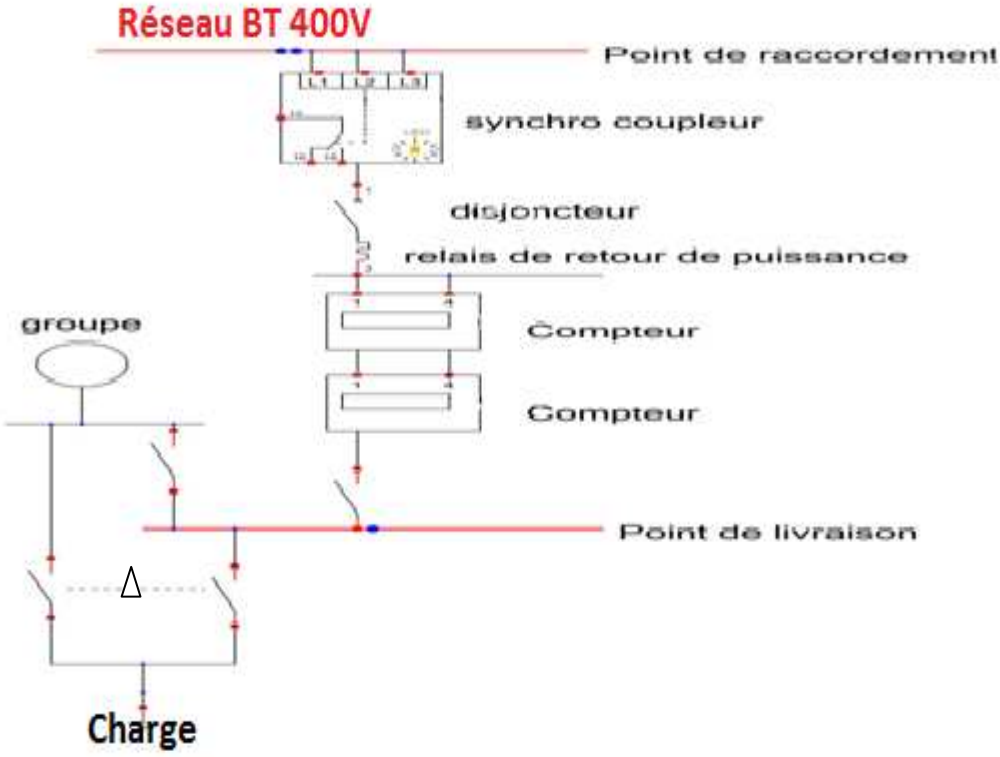


Figure 5 : Schéma simplifié de la stratégie 4

Stratégie 5 : Injection de la totalité de l'électricité produite dans le réseau BT via le circuit déjà existant (moyennant quelques modifications). Vu que le circuit existe déjà, les dispositifs à mettre en place sont les suivants :

- une protection de découplage pour la vérification des conditions de couplage (tension, fréquence, amplitude),
- une protection de retour de puissance pour éviter l'entrainement du groupe

électrogène,

- un dispositif de comptage (injection/soutirage) pour assurer la facturation,
- un synchro coupleur (pour la vérification des conditions de couplage au réseau)
- des câbles de raccordement du lieu de production au point de raccordement dimensionné en fonction de la distance et des chutes de tensions.
- Régulateur de courant et de tension

Ce type de raccordement est interdit par la norme NFC14-100(*obligation d'un second circuit en cas d'injection de la totalité).*Pour palier à cette interdiction il faut obligatoirement créer un second circuit (coûts supplémentaires) commençant du point de production au point de raccordement et non au point de livraison. De plus on ne pourrait pas servir le client qui se trouve alimenté à partir d'un autre poste BT que celui du producteur ; la compensation est locale.

L'avantage est que le producteur peut injecter au réseau la totalité de la production et soutirer au réseau la totalité de sa consommation. Étant donné que c'est la totalité de la production nous avons un maximum de puissance injectée sur le réseau par le producteur.

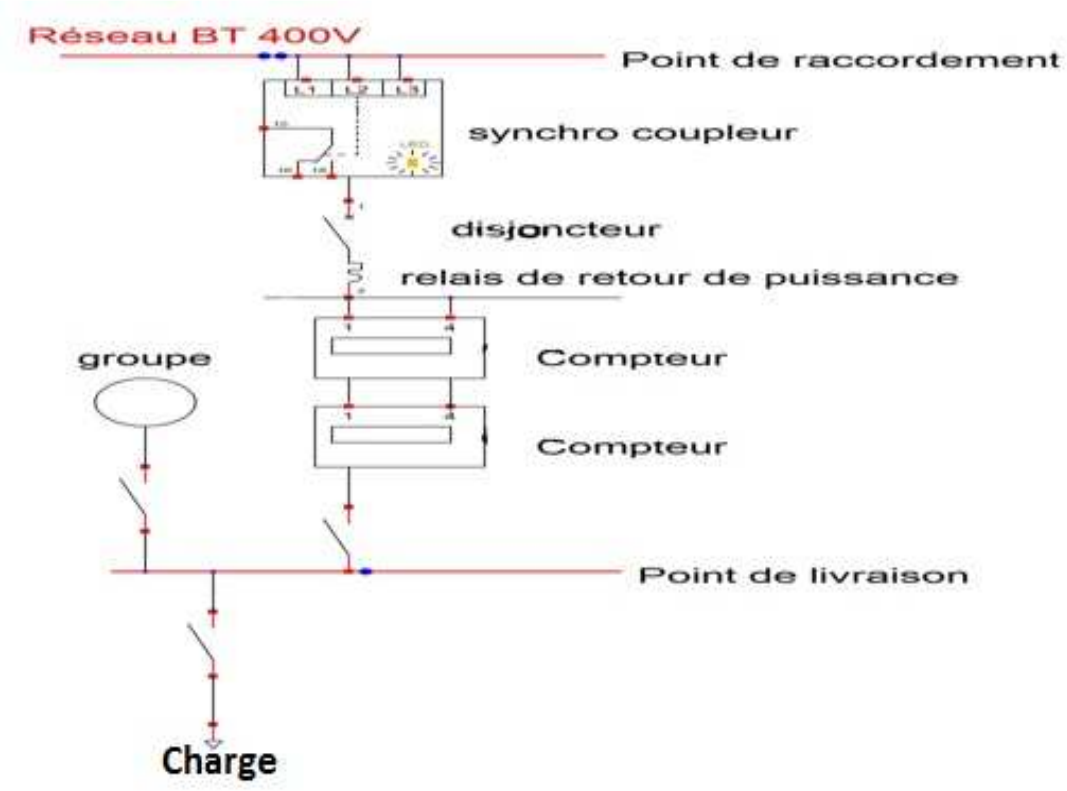


Figure 6 : Schéma simplifié de la stratégie 5

Stratégie 6 : Injection de la totalité de l'électricité produite dans le réseau HTA via un transformateur dédié. La totalité de l'électricité produite peut alors être injectée dans le réseau SONABEL. Vu qu'un second circuit doit être réalisé les dispositifs à mettre en place sont les suivants :

- Les dispositifs de séparation et de protection (coupe circuit principale, sectionneur, appareil général de commande et de protection) amont et aval
- Un ou plusieurs transformateurs élévateurs pour ramener le niveau de tension de 400V à 15kV
- une protection de découplage pour la vérification des conditions de couplage (tension, fréquence, amplitude),
- une protection de retour de puissance pour éviter l'entrainement du groupe électrogène,
- un dispositif de comptage (injection/soutirage) pour assurer la facturation,
- un synchro coupleur (pour la vérification des conditions de couplage au réseau)
- des câbles de raccordement du lieu de production au point de raccordement dimensionné en fonction de la distance et des chutes de tensions.
- Régulateur de courant et de tension

Ce type de raccordement conduit le plus souvent à des modifications plus importantes(installation d'un nouveau transformateur et réalisation d'un second circuit avec des dispositifs de protection et de séparation en plus de ce qui existe déjà sur le premier circuit) de l'installation de l'Utilisateur ce qui entraine des coûts de réalisation plus élevés que l'injection du surplus, il est interdit d'alimenter la partie productive à partir du point de livraison (soutirage) ce sont les inconvénients majeurs. Puisque la totalité de la production est injectée dans le réseau HTA, le client le plus proche ou le plus lointain peut recevoir du courant.

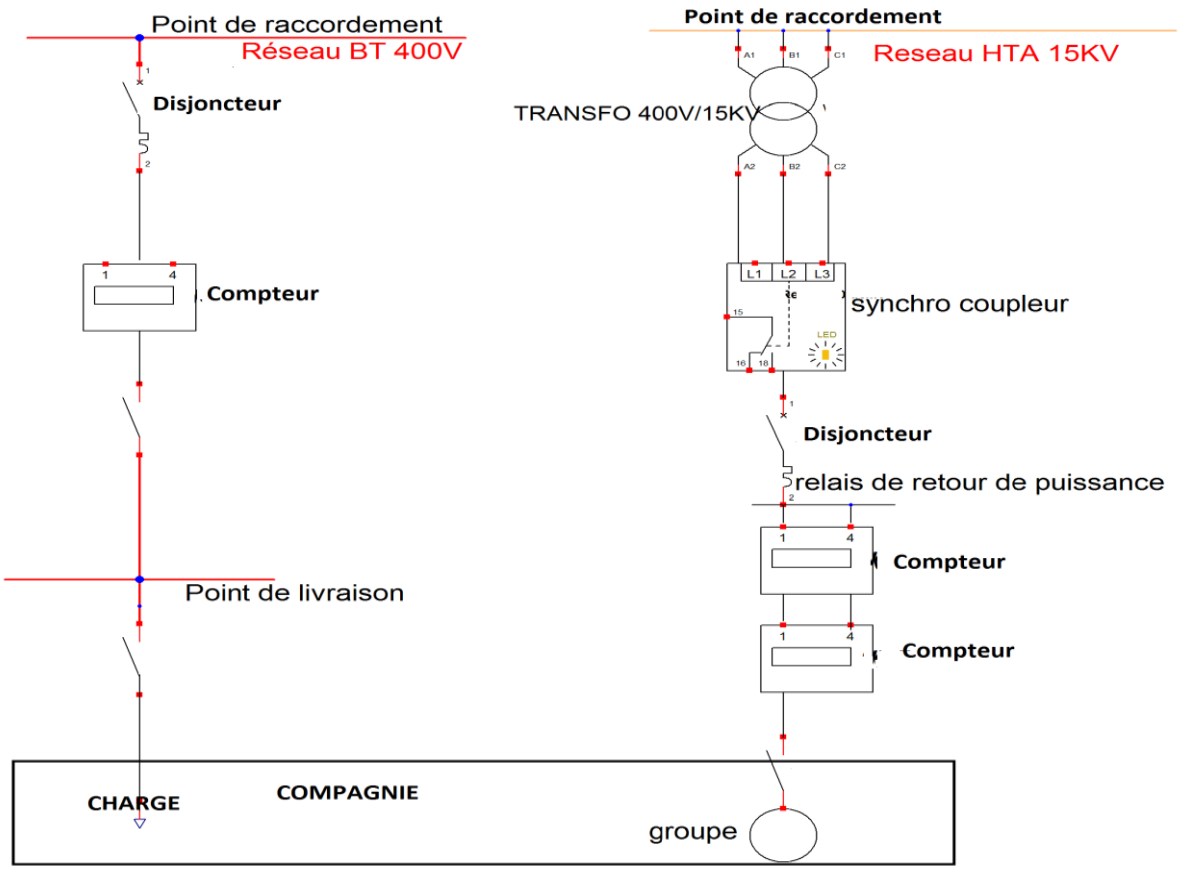


Figure 7 : Schéma simplifié de la stratégie 6

Pour les compagnies alimentées en moyenne tension :

Stratégie 1 : Raccordement du groupe électrogène au réseau BT voisin via un branchement dédié à la production. La totalité de l'électricité produite est alors injectée. Un circuit distinct de celui utilisé pour le soutirage de l'utilisateur est nécessaire il est nommé circuit production. Il faut noter que le circuit consommation ne subira aucune modification. Vu qu'un second circuit doit être réalisé les dispositifs à mettre en place sont les suivants :

- Les dispositifs de séparation et de protection (coupe circuit principale, sectionneur, appareil générale de commande et de protection) amont et aval
- une protection de découplage pour la vérification des conditions de couplage (tension, fréquence, amplitude),
- une protection de retour de puissance pour éviter l'entrainement du groupe électrogène,
- un dispositif de comptage (injection/soutirage) pour assurer la facturation,
- un synchro coupleur (pour la vérification des conditions de couplage au réseau)
- des câbles de raccordement du lieu de production au point de raccordement

dimensionnés en fonction de la distance et des chutes de tensions.

- Régulateur de courant et de tension

Comparé à l'achat des excédents, ce type de raccordement conduit le plus souvent à des modifications plus importantes (réalisation d'un second circuit avec des dispositifs de protection et de séparation en plus de ce qui existe déjà sur le premier circuit) de l'installation de l'utilisateur ce qui entraine des coûts de réalisation plus élevés que l'injection du surplus, il est interdit d'alimenter la partie productive à partir du point de livraison (soutirage). De plus on ne pourrait pas servir le client qui se trouve alimenté à partir d'un autre poste BT que celui du producteur ; la compensation est locale.

L'avantage est que le producteur peut injecter au réseau la totalité de la production et soutirer au réseau la totalité de sa consommation. Étant donné que c'est la totalité de la production nous avons un maximum de puissance injectée sur le réseau.

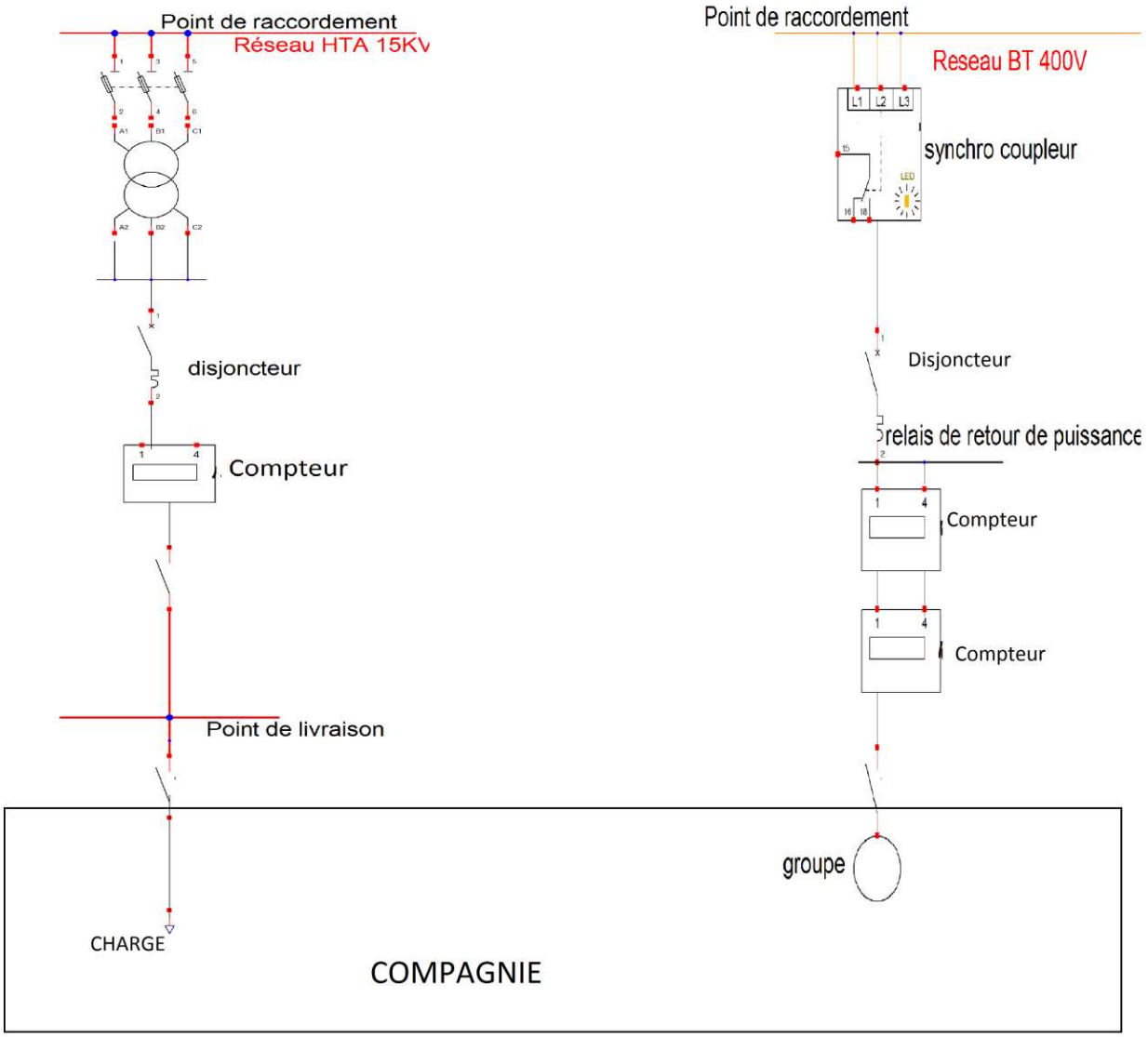


Figure 8 : Schéma simplifié de la stratégie 1

Stratégie 2: Raccordement du groupe au réseau HTA alimentant la compagnie via le branchement et le transformateur utilisés pour la consommation. La compagnie consomme et c'est le surplus de l'électricité produite qui est injectée dans le réseau. L'installation existe déjà avec le transformateur, les dispositifs de séparation et de protection (coupe circuit principale, sectionneur, appareil générale de commande et de protection) amont et aval nous n'aurons plus besoin d'acheter ces éléments. Par contre un certain nombre de dispositifs doit être placé obligatoirement à savoir :

- une protection de découplage pour la vérification des conditions de couplage (tension, fréquence, amplitude),
- une protection de retour de puissance pour éviter l'entrainement du groupe

électrogène,

- un dispositif de comptage (injection/soutirage) pour assurer la facturation,
- un synchro coupleur (pour la vérification des conditions de couplage au réseau)
- des câbles de raccordement du lieu de production au point de livraison dimensionné en fonction de la distance et des chutes de tensions.
- Régulateur de courant et de tension

L'avantage de ce système est que la modification n'est pas si grande ce qui réduit les coûts, le client peut recevoir de l'énergie à partir de la Sonabel si sa production est inférieure à sa consommation et vice versa, de plus le producteur pourrait alimenter son voisin le plus proche en injectant le surplus de production ce qui assure une compensation du point de vue énergétique. Comme le transformateur est réversible, le courant peut transiter des deux sens (injection et soutirage).

En effet, si les conditions ne sont pas respecter l'instabilité du réseau est menacé et s'en suit une détérioration du groupe. Il faudrait également que la puissance produite soit supérieure à celle souscrite afin que le surplus soit réinjecté (exemple : Hôtel Lybia, BIB, BCEAO).

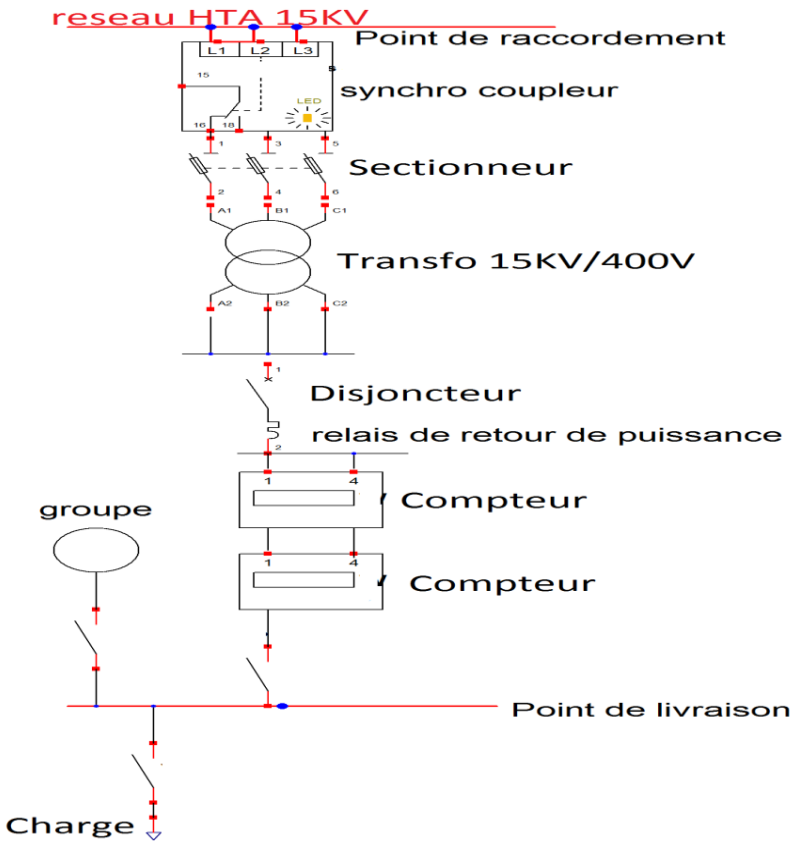


Figure 9 : Schéma simplifié de la stratégie 2

Stratégie 3 : Raccordement du groupe au réseau HTA via un branchement et un transformateur qui lui est dédié. La totalité de l'électricité produite peut alors être injectée dans le réseau SONABEL. Vu qu'un second circuit doit être réalisé les dispositifs à mettre en place sont les suivants :

- Les dispositifs de séparation et de protection (coupe circuit principale, sectionneur, appareil générale de commande et de protection) amont et aval
- Un ou plusieurs transformateurs élévateurs pour ramener le niveau de tension de 400V à 15kV
- une protection de découplage pour la vérification des conditions de couplage (tension, fréquence, amplitude),
- une protection de retour de puissance pour éviter l'entrainement du groupe électrogène,
- un dispositif de comptage (injection/soutirage) pour assurer la facturation,
- un synchro coupleur (pour la vérification des conditions de couplage au réseau)
- des câbles de raccordement du lieu de production au point de raccordement dimensionné en fonction de la distance et des chutes de tensions.
- Régulateur de courant et de tension

Comparé à l'achat des excédents, ce type de raccordement conduit le plus souvent à des modifications plus importantes(installation d'un nouveau transformateur et réalisation d'un second circuit avec des dispositifs de protection et de séparation en plus de ce qui existe déjà sur le premier circuit) de l'installation de l'Utilisateur ce qui entraine des coûts de réalisation plus élevés que l'injection du surplus, il est interdit d'alimenter la partie productive à partir du point de livraison(soutirage) ce sont les inconvénients majeurs. Puisque la totalité de la production est injecté dans le réseau HTA, le client le plus proche ou le plus lointain peut recevoir du courant.

Exemple : un producteur à kossodo peut alimenter un consommateur logé à Gounghin en injectant sur le réseau HTA vu que ce réseau est interconnecté.

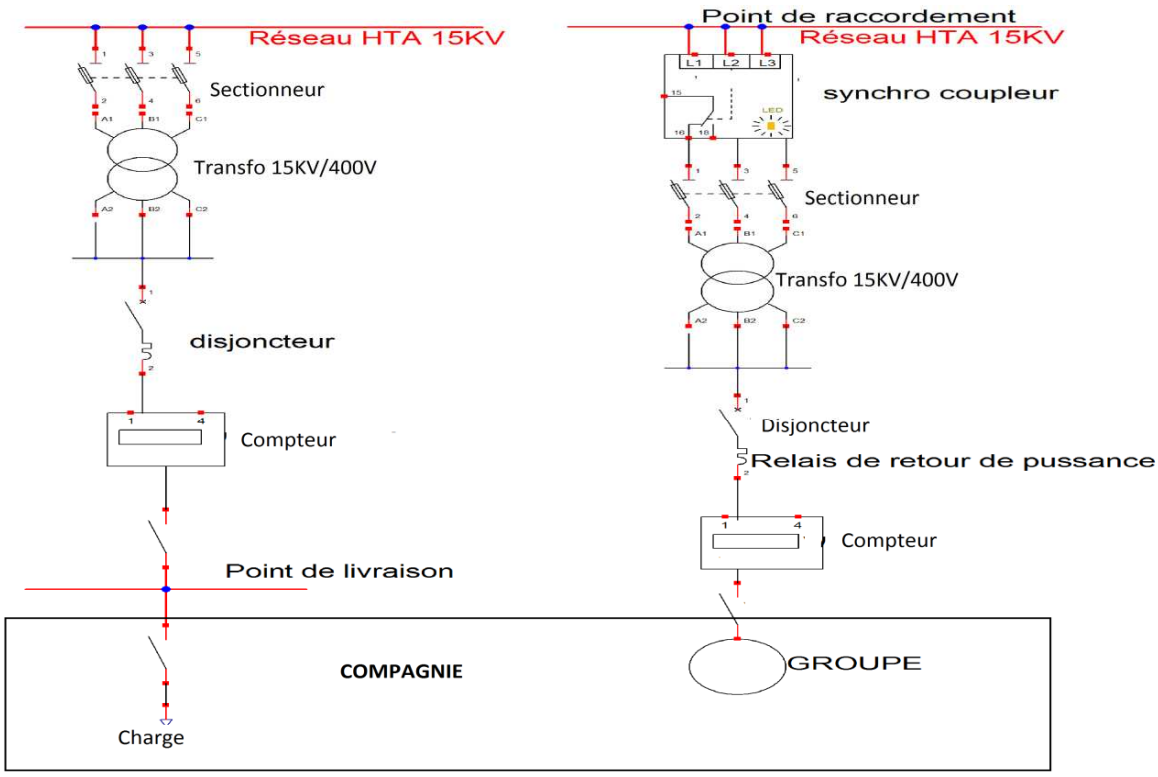


Figure 10 : Schéma simplifié de la stratégie 3

Pour les deux types de compagnies (alimentées en basse ou moyenne tension) :

Stratégie 7 : Principe de l'effacement : la compagnie propriétaire d'un groupe électrogène s'autoalimente lors des pics de demande en électricité afin d'empêcher les délestages. Nous n'avons pas besoin de modifier le circuit existant, il suffit de remplacer le compteur existant par un autre compteur électronique dont le réglage tiendra compte de la consommation de la compagnie en cas de forte demande constatée par la Sonabel. Il faut noter que nous ne pourrions pas profiter de toute la puissance si la compagnie a un surplus non utilisé.

SYNTHESE

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des différentes stratégies retenues

Stratégies	Equipements	Avantages	Inconvénients
1 Raccordement du groupe électrogène au réseau BT voisin via un branchement dédié à la production (totalité)	**-Les dispositifs de séparation et de protection** **-une protection de découplage** **-une protection contre le retour de puissance (relais de retour de puissance)** **-un dispositif de comptage** **-un synchro coupleur** **-des câbles de raccordement** **-Régulateur de courant et de tension** **-Transformateur de courant**	**-injection du maximum de la puissance produite dans le réseau** **- peut injecter au réseau la totalité de la production et soutirer au réseau la totalité de sa consommation**	**-création d'un circuit secondaire nécessitant des coûts supplémentaires** **-possibilité de délestage de la compagnie productrice si le déficit de puissance n'est pas surmonté** **-Pas possible d'alimenter un client non connecté au poste BT recevant la puissance injectée**
2 Raccordement du groupe au réseau HTA alimentant la compagnie via le branchement et le transformateur utilisés pour la consommation (surplus)	**-une protection de découplage** **-une protection contre le retour de puissance (relais de retour de puissance)** **-un dispositif de comptage** **-un synchro coupleur** **-des câbles de raccordement** **-Régulateur de courant et de tension** **-Transformateur de courant**	**-Si le surplus est inférieur à la puissance souscrite ; pas besoin de changer le circuit existant** **-Possibilité d'alimenter un client situé très loin du lieu de production ou raccordé à partir d'un poste différent**	**-Si surplus supérieur à la puissance souscrite nécessité de changer les connexions et les organes de protection du circuit**

Stratégies	Equipements	Avantages	Inconvénients
3 Raccordement du groupe au réseau HTA via un branchement et un transformateur qui lui est dédié (totalité)	**-Les dispositifs de séparation et de protection** **-Un ou plusieurs transformateurs élévateurs** **-une protection de découplage** **-une protection contre le retour de puissance (relais de retour de puissance)** **-un dispositif de comptage** **-un synchro coupleur** **-des câbles de raccordement** **-Régulateur de courant et de tension (réglé à un statisme très grand)** **-Transformateur de courant**	**-injection du maximum de la puissance produite dans le réseau** **-Possibilité d'alimenter un client situé très loin du lieu de production ou raccordé à partir d'un poste différent**	**-création d'un circuit secondaire nécessitant des coûts supplémentaires**
4 Injection du surplus d'électricité dans le réseau BT via le circuit déjà existant (moyennant quelques modifications).	**-une protection de découplage** **-une protection de retour de puissance (relais de retour de puissance)** **-un dispositif de comptage** **-un synchro coupleur** **-des câbles de raccordement** **-Régulateur de courant et de tension** **-Transformateur de courant**	**-Si le surplus est inférieur à la puissance souscrite ; pas besoin de changer le circuit existant**	**-Si surplus supérieur à la puissance souscrite nécessité de changer la connexion et les organes de protection du circuit** **-Pas Possible d'alimenter un client situé très loin du lieu de production (l'alimentation est locale i.e. une zone précise)**

Stratégies	Equipements	Avantages	Inconvénients
5 Injection de la totalité de l'électricité produite dans le réseau BT via le circuit déjà existant (moyennant quelques modifications).	**-Les dispositifs de séparation et de protection** **-une protection de découplage** **-une protection contre le retour de puissance (relais de retour de puissance)** **-un dispositif de comptage** **-un synchro coupleur** **-des câbles de raccordement** **-Régulateur de courant et de tension** **-Transformateur de courant**	**-injection du maximum de la puissance produite dans le réseau** **-pas très coûteux**	**-création d'un circuit secondaire nécessitant des coûts supplémentaires** **-possibilité de délestage de la compagnie productrice si le déficit de puissance n'est pas surmonté**
6 Injection de la totalité de l'électricité produite dans le réseau HTA via un transformateur dédié	**-Les dispositifs de séparation et de protection** **-une protection de découplage** **-une protection contre le retour de puissance (relais de retour de puissance)** **-un dispositif de comptage** **-un synchro coupleur** **-des câbles de raccordement** **-Régulateur de courant et de tension** **-un transformateur 400V/15KV** **-Transformateur de courant**	**-injection du maximum de la puissance produite dans le réseau** **-Possibilité d'alimenter un client situé très loin du lieu de production**	**-création d'un circuit secondaire et un transformateur nécessitant des coûts supplémentaires** **-coût élevé**
7 effacements	**-compteur électronique** **-Transformateur de courant**	**pas coûteux**	**-si la charge de la compagnie est faible à un instant donné on ne peut pas profité du maximum de puissance** **-Applicable que pour les compagnies dont la puissance produite est inférieur ou égale à la puissance souscrite**

4. LA TELEGESTION

4.1 Définition

La télégestion désigne l'ensemble des produits qui mettent en œuvre les technologies de l'informatique, de l'électronique et des télécommunications, afin de permettre un contrôle à distance d'installations techniques géographiquement réparties ou isolées. La télégestion répond aux besoins de nombreux domaines d'applications, et offre une panoplie d'outils de :

- **Téléalarme** : être alerté automatiquement en cas de panne ou de défaut de fonctionnement d'une installation,
- **Télé contrôle** : contrôler en permanence et à distance le fonctionnement d'une installation,
- **Télécommande** : agir à distance sur les équipements contrôlés,
- **Télégestion** : enregistrer les informations afin d'analyser, d'optimiser et de gérer à distance le fonctionnement des installations contrôlées.

Un système de télégestion se compose :

D'équipements d'acquisition d'informations appelés généralement Postes Locaux de Télégestion. Ces équipements se présentent sous forme de coffrets électroniques installés à proximité des équipements à contrôler. Les informations contrôlées sont acquises soit par des contacts dans les armoires électriques, soit par l'intermédiaire de capteurs (de niveau, pression, débit…), automates programmables, régulateurs, compteurs… Les Postes Locaux de télégestion effectuent ensuite des traitements sur ces informations, qui permettent par exemple :

- De prévenir une personne d'astreinte en cas d'alarme,
- D'établir automatiquement des outils synthétiques de suivi d'exploitation (relevés périodiques des états, des index de comptage, des mesures…) et de bilans d'exploitation : calculs périodiques de nombres d'apparitions et durées sur des états, de moyennes, mini et maxi sur des mesures, de différences d'index sur des compteurs…

- De commander à distance les équipements contrôlés.

De multiples capacités de communication qui permettent d'acheminer les informations contrôlées vers un système de centralisation ou de diffusion de données.

D'équipements de centralisation de données appelés généralement Postes Centraux de télégestion. Ces équipements sont généralement installés au bureau de contrôle central du réseau. Ils se présentent sous forme d'un micro ordinateur et de logiciels d'exploitation et de restitution de données (tableaux, courbes, synoptiques et graphiques…).

D'équipements de transmission d'informations vers le personnel d'astreinte ou de maintenance tels que : radiomessageries, téléphone portables, PC ou terminaux portables…

Comment allons-nous procéder pour assurer le control et la commande à distance de nos équipements ?

Étant donné que la Sonabel fait des prévisions sur l'évolution de la charge suivant chaque période, nous connaissons à priori la puissance demandée par la charge et la puissance disponible, le déficit de puissance peut être déduit. En connaissant la puissance manquante nous démarrons à distance autant de groupes électrogènes possible grâce à des automates programmables (programmés en langage LADDER, GRAFCET, liste d'instruction ou en texte structuré selon nos besoins) afin de minimiser ou éviter le déficit de puissance. Il faut noter qu'avant le démarrage un control de contraintes liées aux groupes couplés au réseau doit être fait par les automates pour assurer en toute sécurité la gestion. A tout moment, l'automate doit être informé par des capteurs sur l'état du système à télé-gérer avant toutes actions; les vérifications qui doivent être faites sont principalement :

- La fréquence, la tension, l'intensité du réseau et du groupe électrogène
- La mesure horaire de fonctionnement et de maintenance des groupes électrogènes
- La température d'eau de refroidissement du radiateur
- La pression et la température d'huile
- Le niveau de fuel dans le réservoir

La liste des défauts doit être visualisée par l'opérateur via un ordinateur pour le control afin d'assurer éventuellement une action (coupure générale par exemple) en cas de nécessité.

4.2 Les avantages

La télégestion nous permet :

- **Optimiser le fonctionnement des équipements**

24H/24, la télégestion surveille notre réseau et nous aide en permanence à en contrôler le bon fonctionnement**.** En cas de panne ou de défaut, l'alerte est automatiquement et immédiatement transmise au personnel de maintenance. La décentralisation des données (archivage local au niveau des postes locaux) offre un atout supplémentaire pour faire face à d'éventuels incidents de sauvegarde du poste central. La possibilité d'établir un diagnostic immédiat et de pouvoir agir à distance nous permet de réduire des temps d'interruption de service. Sur apparition d'une panne, le personnel de maintenance intervient sur l'installation en connaissant l'origine de l'incident, et prévoit éventuellement le matériel de rechange adéquat. La possibilité d'envoyer des alarmes sur

téléphone portable est mieux vécue par le Personnel d'astreinte, car il reste libre de tout mouvement pendant son service.

- **Des gains d'exploitation**

La réduction des coûts d'énergie (consommation électrique durant les heures de tarification électrique réduite, optimisation en fonction des besoins réels…) et des coûts de déplacement (plus de visite systématique) nous permettent de dégager des économies certaines.
Par le contrôle continu, une connaissance croissante de nos installations et des actions correctives, nous améliorons le rendement de nos réseaux, tout en prolongeant la durée de vie de nos équipements (maintenance préventive). La télégestion nous livre toutes les données concernant notre réseau sous forme de bilans complets, qui reflètent son «état de santé» : durée de vie des groupes (nombre de démarrages et temps de fonctionnement…), rendement du réseau …
Des informations statistiques précises nous servent également à prévoir des installations complémentaires à notre réseau et à les quantifier (ex. : mise en place de compteur en fonction de la puissance injectée sur le réseau électrique).

- **A satisfaire encore mieux les abonnés**

La télégestion offre des solutions nous permettant d'améliorer le fonctionnement de nos réseaux et d'en réduire les coûts d'exploitation et de gestion. Elle permet également d'améliorer les conditions de travail du personnel chargé d'assurer le bon fonctionnement des installations et contribue à augmenter la qualité du service rendu aux usagers.

III. RECENSEMENT ET CARTOGRAPHIE DES GROUPES

1. LE RECENSEMENT

1.1 Mode opératoire

Comme il a été précisé précédemment, le stage a débuté par un recensement des différents groupes électrogènes privés de la ville. Afin de limiter les recherches, la puissance minimale de 100 kVA a été sélectionnée. Cela signifie que seuls les groupes supérieurs à cette puissance n'ont été considérés.
Une première liste de compagnies ayant potentiellement un tel générateur a été établie à partir de l'annuaire téléphonique de la ville. Les différents hôtels, hôpitaux et cliniques, universités,… étaient alors tous des candidats potentiels. Cette liste est contenue dans la 1ère feuille du fichier Excel

« Recensement.xlsx ». Suite à l'élaboration de cette première liste, des contacts téléphoniques ont été effectués afin de savoir si effectivement les compagnies possédaient un groupe électrogène d'une puissance supérieure à 100 kVA. Une seconde liste, plus courte, en est donc ressortie (feuille 2 du fichier « Recensement.xlsx »).

Enfin, nous nous sommes déplacé dans chaque compagnie pour prélever la puissance, le modèle et la marque des différents générateurs ainsi que la position géographique à l'aide d'un récepteur GPS (feuille 3 du fichier « Recensement.xlsx »).

Au fur et à mesure que le recensement se déroulait, il était possible de se concentrer davantage sur certains secteurs d'activité plutôt que sur d'autres. En guise d'exemple, il a pu être constaté que les hôpitaux/cliniques possèdent rarement des générateurs ayant une puissance supérieure à 100 kVA, tandis que les hôtels, les banques et industries possèdent généralement de gros groupes électrogènes.

1.2 Résultats

Trouver les compagnies qui ont potentiellement un groupe électrogène et rencontrer les bonnes personnes (responsable technique,…) sont des activités qui prennent beaucoup de temps. Par conséquent le recensement devrait s'étendre sur plusieurs mois, en même temps que le reste du projet avance.

Un recensement effectué a permis de lister :

85 groupes électrogènes, situés sur 62 sites différents à travers la capitale Burkinabé et Cumulant une puissance de 23679,2 kW, soit environ 23,7 MW.

Davantage d'informations sur ces groupes et les compagnies qui les possèdent sont présentes dans le fichier Excel « Recensement.xlsx » (3ème feuille).

Prenant en compte ce point et le fait que le recensement au niveau de Ouagadougou n'est pas terminé, il est fortement envisageable que la puissance cumulée totale des générateurs privés augmente considérablement (en continuant de s'intéresser à tous les générateurs supérieurs à 100 kVA).

2. LA CARTOGRAPHIE

2.1 Mode opératoire ***(voir annexe10)***

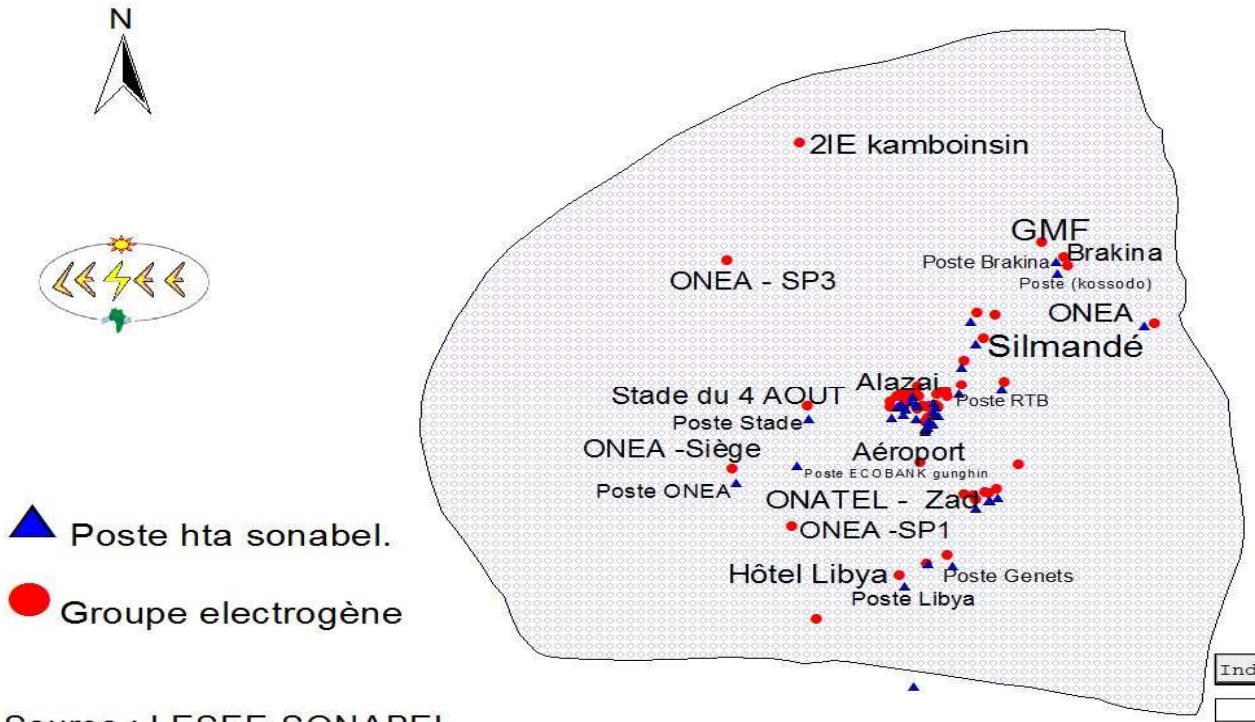
En parallèle du recensement, une cartographie des groupes électrogènes a été établie avec le logiciel de SIG Arcview. L'objectif est de voir dans quels quartiers se situent les différents générateurs, les puissances cumulées dans un certain périmètre,…

Les informations sont regroupées dans le projet « *mémoire de fin cycle* ». Ce dernier contient une carte représentant la ville de Ouagadougou sur laquelle se superpose une couche contenant les positions des différents générateurs et les postes HTA de la SONABEL.

2.2 Résultats

Ce procédé nous a permis d'avoir rapidement et gratuitement une carte de Ouagadougou exploitable. Toutefois, la qualité n'est pas assez bonne pour pouvoir l'insérer dans des documents officiels tels que des recherches de subventions, il nous manque certaines données notamment le réseau HTA et BT de la Sonabel se qui rend son utilisation limitée. En effet, il est intéressant de voir dans quels quartiers se situent les générateurs et à quelle distance ils se situent les uns des autres, mais il est également très important de pouvoir estimer les distances des générateurs par rapport aux différents réseaux de la ville (moyenne tension (HTA) et basse tension (BT)).
La figure 12 ci-dessous représente la cartographie actuelle

CARTE DE OUAGADOUGOU AVEC LA LOCALISATION DES GROUPES



Indi	Compagnie	Nombredegrou	Puissance des grou
1	Hôpital Yalgado	3	15 . 75 et 100 kVA
2	Brakina	1	1250 kVA
3	Sonapost	2	60 et 220 kVA
4	Hôtel Splendid	1	400 kVA
5	Hôtel Pacific	1	180 kVA
6	Air France	1	60 kVA
7	Polyclinique Nina	1	60 kVA
8	Imprimerie de l'aven	1	40 kVA
9	ONEA -Siège Social	1	450 kVA
10	ONEA - station de po	1	300 kVA
11	ONEA - station de po	1	400 kVA
12	ONEA - station de po	1	300 kVA

Figure 11 : Carte de Ouagadougou avec la position des groupes électrogènes

Chaque point rouge représente un site où se situent un ou plusieurs groupes électrogènes. Les points bleus par contre représentent les postes de transformation HTA situés dans la ville

3. Dimensionnement des dispositifs de protection, de connexion et de mesure (CALCUL DISJ.XLSX)

3.1 Choix des disjoncteurs et section des câbles

Tous les groupes recensés ont un courant compris entre 127A et 1500A.

Le choix du disjoncteur de source dépend essentiellement du réglage de magnétique. Pour ceci, nous devons calculer le courant de court-circuit aux bornes du générateur égal à :

Icc = In/X'd

In : courant nominal à puissance nominale

X'd : réactance transitoire = 30 % maxi.

Pour le choix des disjoncteurs, nous nous sommes basés sur le catalogue SCHNEIDER ***(voir annexe 1 et 2)*** qui montre le choix du disjoncteur en fonction de la puissance apparente. Ensuite nous avons calculé le courant nominal par la formule :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\vartheta}, \qquad \textbf{(1)}$$

Puis déterminer le courant admissible en fonction des exigences extérieures de la manière suivante :

$$I_Z = \frac{I}{K1 * K2 * K3} \qquad \textbf{(2)}$$

Avec K1, K2, K3 les facteurs de correction qui sont fonction des contraintes extérieures. A l'aide de ces formules, nous avions pu déduire la section des câbles grâce au catalogue SCHNEIDER ***(voir annexes 3 et 4).***

K1	K2	K3
0,9	1	0,96

NB : Nous avons considéré des câbles aériens en cuivre isolant PR pour la détermination des facteurs de correction.

K1 : câble multiconducteur,

K2 : 1 circuit,

K3 : température ambiante de 35°C.

Tableau 3 : Choix des disjoncteurs et section des câbles

Disjoncteur	NS160N STR22G E160	NS250N STR22G E250	NS400NS TR23SE/ NS800	NS400N STR23S E/NS80 0	NS400N STR23S E/NS80 0	NS630N STR23S E/NS80 0	NS630N STR23S E/NS80 0	NS630N STR23S E/NS80 0
PUISSANCE (KVA)	110	150	180	220	275	300	375	400
COURANT (A)	127,017	173,205	207,84	254,03	317,54	346,41	433,01	461,88
Courant de court circuit	423,39	577,35	692,82	846,78	1058,47	1154,70	1443,37	1539,60
courant admissible (A)	147,01	200,46	240,56	294,021	367,52	400,93	501,17	534,58
SECTION (mm^2)	25	35	50	70	95	120	150	185

Disjoncteur	NS800N /NT08H - NW08N/ H	NS800N/ NT08H- NW08N/ H	NS1000 N/NT10 H- NW10N /H	NS1250 N/NT12 H- NW12N /H	NS1600 N/NT16 H- NW16N /H	NS2000 N/NT20 H- NW20N /H	NS2000 N/NT20 H- NW20N /H
PUISSANCE (KVA)	450	500	650	800	850	1100	1250
COURANT (A)	519,61	577,35	750,55	923,76	981,49	1270,17	1443,37
Courant de court circuit	1732,05	1924,501	2501,85	3079,201	3271,65	4233,902	4811,25
courant admissible (A)	601,406	668,22	868,69	1069,16	1135,99	1470,10	1670,57
SECTION (mm^2)	240	240	400	500 ou 2*300	630 ou 3*240	3*240	3*240

Remarque : Les sections de 400 à 720 mm² sont pas favorables pour une réalisation en aérien car les supports que nous devons utiliser seront très gros et nécessiteront des coûts élevés.

3.2 Calcul des chutes de tension

Après avoir déterminé la section des câbles, il faut tenir compte des chutes de tensions afin de minimiser les pertes en ligne. Les chutes de tension ne doivent pas excéder 6% selon la norme NFC15-100. Pour ce faire, nous nous sommes fixés des hypothèses et en procédant par la formule

suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * L * (R\cos\vartheta + X\sin\vartheta) \quad \textbf{(3)}$$

$$X = reac\tan ce\ du\ conducteur\ en\ \Omega / km = 0{,}08\Omega / km$$

ET

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

avec

$R = résis\tan ce\ du\ conducteur\ en\ \Omega$

$L = longueur\ du\ conducteur\ en\ km$

$S = sec tion\ du\ conducteur\ en\ mm^2$

$\rho = résistivité\ du\ conducteur\ en\ \Omega.mm^2 / km$

$\rho_{cuivre} = 22{,}5\Omega.mm^2 / km \quad \rho_{alu\min ium} = 36\Omega.mm^2 / km$

Hypothèse 1 : Distance entre le lieu de production et le poste de raccordement le plus proche égale à 50m

Tableau 4: Calcul des chutes de tension pour une distance de 50m

Intensité (A)	longueur (m)	section (mm^2)	ΔU	ΔU/U(%)
147,01	50	25	9,78	2,44
200,47	50	35	9,76	2,44
240,56	50	50	8,50	2,12
294,02	50	70	7,77	1,94
367,53	50	95	7,56	1,89
400,94	50	120	6,88	1,72
501,17	50	150	7,29	1,82
534,58	50	185	6,73	1,68
601,41	50	240	6,41	1,60
668,23	50	240	7,12	1,78

Conclusion : pas de problème car la chute de tension est inférieur à 6% ; les câbles tiendront et les pertes seront négligeables.

Hypothèse 2 : Distance entre le lieu de production et le poste de raccordement le plus proche égale à 100m

Tableau 5 : Calcul des chutes de tension pour une distance de 100m

Intensité (A)	longueur (m)	section (mm^2)	ΔU	ΔU/U
147,01	100	25	19,56	4,89
200,47	100	35	19,52	4,88
240,56	100	50	17,00	4,25
294,02	100	70	15,54	3,88
367,53	100	95	15,12	3,78
400,94	100	120	13,75	3,44
501,17	100	150	14,58	3,65
534,58	100	185	13,45	3,36
601,41	100	240	12,81	3,20
668,23	100	240	14,24	3,56

Conclusion : pas de problème car la chute de tension est inférieur à 6% ; les câbles tiendront et les pertes seront négligeables.

Hypothèse 3 : Distance entre le lieu de production et le poste de raccordement le plus proche égale à 150m

Tableau 6 : Calcul des chutes de tension pour une distance de 150m

Intensité (A)	longueur (m)	section (mm^2)	ΔU	ΔU/U
147,01	150	25	29,333	7,33
200,47	150	35	29,286	7,32
240,56	150	50	25,500	6,37
294,02	150	70	23,310	5,83
367,53	150	95	22,675	5,67
400,94	150	120	20,625	5,16
501,17	150	150	21,875	5,47

Intensité (A)	longueur (m)	section (mm^2)	ΔU	ΔU/U
534,58	150	185	20,180	5,05
601,41	150	240	19,219	4,80
668,23	150	240	21,354	5,34

Conclusion : Il y'a problème car la chute de tension dans certain cas (valeur en rouge) est supérieur à 6% ; il faut changer les sections des câbles si nous devons éviter les pertes en ligne.

3.3 CHOIX DES TRANSFORMATEURS ELEVATEURS

La puissance du transformateur doit être supérieure à celle du groupe électrogène, nous avons choisi arbitrairement un ratio de 0,8 pour ainsi dire que le transformateur doit supporter 20% de plus que la puissance transitée en cas de défauts. C'est une marge de sécurité que nous nous fixons pour assurer la protection des transformateurs.

$$S_{TRANSFORMATEUR} = \frac{S_{GROUPE}}{0,8}$$

Tableau 7 : détermination des transformateurs

PUISSANCE groupe (KVA)	110	150	180	220	275	300	375	400	450	500	650	800	850	1100	1250
PUISSANCE transfo (KVA)	137,5	187,5	225	275	343,75	375	468,75	500	562,5	625	812,5	1000	1062,5	1375	1562,5
Valeur normalisée(KVA)	160	250	250	400	400	400	630	630	630	630	1000	1000	1250	1250	1600

3.4 Choix des relais de protection et du synchro-coupleur

Notre choix porte sur le relais MFR-13/GP car il assure la protection du générateur en cas de surtension et sous-tension, de sur-fréquence et sous-fréquence, et aussi en cas d'asymétrie de tension, de retour de puissance, de puissance réduite, de surcharge, de déséquilibre de charge, de perte d'excitation, de Cos phi et assure une protection indépendante pendant les temps de surintensité **(*Voir annexe 8*)**. Nous choisirons le synchro-coupleur vitesse et phase de type SPM-A ; il adapte automatiquement la fréquence et la phase. Les synchroniseurs SPM-A génèrent automatiquement un signal pour polariser la vitesse du moteur d'un générateur autonome pour qu'ainsi sa fréquence et sa phase s'harmonisent avec celles du bus. Un contrôle rigoureux est assuré en entrant les signaux de polarisation de la vitesse du synchroniseur directement dans

l'amplificateur d'écart de vitesse de la commande électronique plutôt que dans un potentiomètre. Le synchroniseur émet automatiquement un signal pour fermer le disjoncteur connectant l'unité autonome au bus quand la phase et la fréquence sont couplées dans les limites données **(*voir schéma de câblage Annexe 5*).**

4. ETUDE DE COUTS DU RACCORDEMENT DANS LE RESEAU

1.1 Hypothèses de coûts de notre étude

Dans le but de calculer un coût d'investissement pour chacune de nos stratégies, des gammes de puissance et de proposer une analyse économique de qualité, il est nécessaire de réaliser une étude de coûts de nos installations. Dans notre étude, nous avons estimé les coûts d'investissement d'un raccordement sur le réseau au nombre de trois :

- Les coûts liés aux équipements principaux (dispositifs de protection, de séparation et de mesure).
- Les coûts liés aux équipements connexes (connexion réseau, câblage).
- Les coûts annexes, qui regroupent les dépenses annexes (comme par exemple l'achat d'un transformateur Haute Tension dans le cas d'une injection dans le réseau HTA), mais aussi une marge d'erreur que nous ne pouvons éviter.

Nous avons subdivisé les différents coûts de deux manières à savoir des coûts fixes et des coûts variables. Les coûts fixes ne subissent aucune variation au cours du temps contrairement aux coûts variables.

COUT FIXE

Il s'agit des prix de dispositifs tel que Disjoncteurs, Synchro coupleur, transformateur de puissance, compteur électrique, de relais de protection et transformateur de courant. Les coûts sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 : Montant disjoncteurs, transformateur de puissance et transformateur de courant

Disjoncteur	NS160NSTR22GE160	NS250NSTR22GE250	NS400NSTR23SE/NS800	NS630NSTR23SE/NS800	NS800N/NT08H-NW08N/H	NS1000N/NT10H-NW10N/H	NS1250N/NT12H-NW12N/H
Prix disjoncteur (FCFA)[1]	110000	115000	375000	1375000	1500000	1850000	2000000

Puissance transfo (KVA)	160	250	400	630	1000
Prix du [2]transformateur	4593275	4775532	7380737	7977900	8340785

transfo de courant	150/5	200/5	300/5	400/5	500/5	600/5	1000/5
[2]Prix transformateur de courant FCFA	239109	248400	271853	242648	242648	242648	618275

Nous choisirons des compteurs double tarifs (électronique) certifiés c'est à dire autorisés pour la facturation de l'électricité. Ces compteurs intègrent tous les paramètres à savoir la mesure de la puissance active, la puissance réactive, le courant, l'énergie produite ou consommée etc. Sur le marché ces compteurs triphasés électroniques coûtent 300 EURO soit environ 200000 FCFA[3]

COUT VARIABLE

Il s'agit des câbles de connexion électrique que nous utiliserons pour le raccordement. Il faut dire que le prix des câbles dépend de la distance. Etant donnée que nous ne savons pas avec exactitude

[1] Prix des disjoncteurs (source : comptoir burkinabè du bâtiment CBB)
[2] Prix des transformateurs de puissance et de courant (source SONABEL district service : étude de devis)
[3] Prix des compteurs (http://www.bis.electic.com)

la distance entre le lieu de production et le point de raccordement au réseau, nous ferons des scenarios selon que nous sommes à une distance de 50m et de 100m afin d'évaluer le coût d'acquisition de ces équipements. Les valeurs sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Prix de câbles

Courant admissible (A)	**147,01**	**200,47**	**240,56**	**294,021**	**367,53**	**400,94**	**501,17**	**534,58**
SECTION (mm^2)	25 ou 5*6	35 ou 4*10	50 ou 5*10	70 ou 5*16	95 ou 4*25	120	150	185
Prix câble FCFA/m	5000	4350	6500	9950	14000	14000	18750	20000
Prix câble FCFA (50m)	250000	217500	325000	497500	700000	700000	937500	1000000
Prix câble FCFA (100m)	500000	435000	650000	995000	1400000	1400000	1875000	2000000

Courant admissible (A)	**601,405**	**668,2295**
SECTION (mm^2)	240	240
Prix câble FCFA/m	22500	22500
Prix câble FCFA (50m)	1125000	1125000
Prix câble FCFA (100m)	2250000	2250000

Plus la distance entre le lieu de production et le point de raccordement au réseau est grande plus le coût des câbles est élevés. Il faut noter que le coût de raccordement au réseau est fonction de la puissance injectée, de la stratégie à adopter et de la distance entre le lieu de production et le point de raccordement. En effet, pour une puissance donnée nous aurons un coût approximatif donné. Les stratégies (1 et 5), (2 et 4), (3 et 6) ont les mêmes coûts d'acquisition; le tableau ci-dessous résume les différents montants :

Tableau 10 : Coût total des équipements (stratégie 1 et 5)

STRATEGIE 1 et 5											
PUISSANCE groupe (KVA)	110	150	180	220	275	300	375	400	450	500	650
Investissement (FCFA) distance câble de 50m	**999109**	**980900**	**1371853**	**1544353**	**1717648**	**2717648**	**2955148**	**3017648**	**3267648**	**3267648**	**5293275**
Investissement (FCFA) distance câble de 100m	1249109	1198400	1696853	2041853	2417648	3417648	3892648	4017648	4392648	4392648	7718275

Tableau 11 : Coût total des équipements (stratégie 2 et 4)

STRATEGIE 2 et 4											
PUISSANCE groupe (KVA)	**110**	**150**	**180**	**220**	**275**	**300**	**375**	**400**	**450**	**500**	**650**
Investissement (FCFA) distance câble de 50m	2208218	2111800	3368706	4058706	4810296	7810296	8760296	9010296	9885296	9885296	16886550
Investissement (FCFA) distance câble de 100m	**2458218**	**2329300**	**3693706**	**4556206**	**5510296**	**8510296**	**9697796**	**10010296**	**11010296**	**11010296**	**19311550**

Tableau 12 : Coût total des équipements (stratégie 3 et 6)

STRATEGIE 3 et 6											
PUISSANCE groupe (KVA)	110	150	180	220	275	300	375	400	450	500	650
Investissement (FCFA) distance câble de 50m	**5592384**	**5756432**	**6147385**	**8925090**	**9098385**	**10355582**	**10593082**	**10655582**	**11245548**	**11245548**	**13634060**
Investissement (FCFA) distance câble de 100m	5842384	5973932	6472385	9422590	9798385	11055582	11530582	11655582	12370548	12370548	16059060

Nous pouvons dire par analogie que les stratégies (1 et 5) sont moins coûteuses par rapport aux stratégies (2 et 4) et (3 et 6). Cependant une étude économique plus poussée doit être faite pour déterminer le gain annuel de l'énergie qui peut être injecté dans le réseau afin de savoir si le projet est rentable ou pas et calculer un temps de retour sur investissement.

CONCLUSION

Ce projet nous a permis d'étudier le système de couplage des groupes autonomes des producteurs privés pour l'injection d'énergie dans le réseau Sonabel. L'étude bibliographique nous a conduits à plusieurs stratégies d'intégration au réseau à partir desquelles nous avons fait une étude technico-économique pour choisir les équipements électriques à installer enfin d'assurer en toute sécurité le couplage et déterminer les différents coûts d'acquisition qui en découlent.

L'injection d'énergie dans le réseau permettra d'accroitre le potentiel énergétique afin de minimiser les délestages répétitifs que connait la ville de Ouagadougou. Cependant cette intégration au réseau des groupes électrogènes privés accroît la production de gaz à effet de serre à cause du combustible utilisé. Toutefois il est possible de substituer le gasoil par du biodiesel via quelques modifications au niveau des moteurs des groupes électrogènes, ce qui peut rendre ce projet éligible sur le marché des MDP et permettre éventuellement de bénéficier des subventions.

Il faut dire que l'injection d'énergie dans le réseau Sonabel pourrait aussi bien se faire en utilisant d'autre source d'énergie notamment le solaire. Nous pensons que le gouvernement burkinabè doit se pencher sur le système d'injection d'électricité des producteurs privés dans le réseau en autorisant et en incitant ces producteurs à coupler leur systèmes de production par des subventions et des projets de recherche approfondies ; cela pourrait conduire à une autosuffisance énergétique et accroitre les activités économiques du pays. De plus, des recherches de pointe doivent être faites concernant la télégestion des groupes électrogènes pour mieux les gérer et les commander afin d'assurer une fiabilité et une stabilité totale du système à mettre en place.

BIBLIOGRAPHIE

[1]. EDF (Référentiel Technique – SEI REF 04). (11/09/2008, Septembre 11). Arrêté du 23 avril 2008. *Prescriptions techniques applicables dans le cas général* . France.

[2]. Schneider Electric. (2009). *Guide de l'installation électrique : Chapitre B, raccordement au réseau de distribution publique HTA.*

[3]. Schneider Electric. (2009). *Guide de l'installation électrique: Chapitre C,raccordement au réseau de distribution publique BT(page C5 et C6).*

[4]. Shneider Electric. (2009). *NFC 15-100 partie 5-55, Guides UTE C 15-400 et UTE C 15-712.*

[5]. Sirea. (2007, Juin 29). télémetrie et téléconduite. France. Récupéré sur http://sirea.fr.

[6]. SOFREL, G. L. (1987). *http://www.sofrel.com/societe.html*. Consulté le MARS 15, 2011, sur http://sofrel.com.

[7]. EDF GDF Services, *Accès au réseau basse-tension pour les installations photovoltaïques* (2003) (page 12)

[8]. Electricité de Strasbourg Réseaux, *Guide des solutions techniques de raccordement d'une installation de production à basse tension* (2010) (pages 12 et 13)

[9]. UEM, Etude de la protection de découplage pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA (2006) (page 1)

[10]. EDF GDF Services, *Accès au réseau basse-tension pour les installations photovoltaïques* (2003) (page 9)

[11]. Hespul, *Pistes de réflexion pour choisir entre les options de raccordement : vente du surplus/vente de la totalité* (2006)

[12]. Electricité de Strasbourg Réseau, *Développement et dimensionnement des postes HTA/BT et des réseaux* BT (2010) (page 5)

[13]. Sicae Oise, Raccordement d'une production décentralisée au réseau basse tension – Branchement à puissance surveillée > 36 kVA (2006) (page5)

[14]. http://www.energiepropre.net/savoirpv.htm (Online) (visité: Lundi 14 mars 2011)

[15]. Terence HAZEL, Schneider Electric, *Génération électrique intégrée aux sites industriels et bâtiments commerciaux* (2000)

ANNEXE

Sommaire des annexes

Annexe 1 : protection des générateurs petites et moyennes puissances 48
Annexe 2 : protection des générateurs moyennes et fortes puissances 48
Annexe 3 : Détermination de la section des câbles en fonction du courant admissible 49
Annexe 4 : Détermination des facteurs de correction selon les contraintes extérieures 50
Annexe 5 : Caractéristiques générales et schémas de câblage Synchro coupleur CHAUVIN ARNAUX 51
Annexe 6 : Transformateur de courant 52
Annexe 7 : Compteur électronique double tarif 54
Annexe 8: caractéristiques des relais de protections type MFR-1 55
Annexe 9 : Application relais de protection MFR-13/GP 56
Annexe 10 : Etape de création de la carte sur Arcview 56

Annexe 1 : protection des générateurs petites et moyennes puissances

Protection des générateurs petites et moyennes puissances

puissance maximum continue du générateur en kVA				
230 V 3Ph	400 V 3Ph	415 V 3Ph	440 V 3Ph	disjoncteur
6	10	11	12	C60N 16 A
7,5	13	14	15	C60N 20 A
9 à 9,5	15 à 16	16,5 à 17,5	17,5 à 20	C60N 25 A
11,5 à 12	20 à 21	22 à 23	23,5 à 24	C60N 32 A
13 à 16	22 à 28	23 à 29	24 à 30	C60N 40 A/NS100N TM40G
20 à 25	35 à 44	36 à 45	38 à 48	C120N 50 A/NS100N TM63G
6 à 16	11 à 28	11 à 29	12 à 30	NS100N STR22GE40(1)
16 à 40	27 à 69	29 à 72	30 à 76	NS100N STR22GE100(1)
25 à 64	44 à 110	45 à 115	49 à 120	NS160N STR22GE160(1)
40 à 100	70 à 173	72 à 180	76 à 191	NS250N STR22GE250(1)

Annexe 2 : protection des générateurs moyennes et fortes puissances

Protection des générateurs moyennes et fortes puissances

puissance maximum continue du générateur en kVA				
230 V 3Ph	400 V 3Ph	415 V 3Ph	440 V 3Ph	disjoncteur(1)
85 à 159	149 à 277	154 à 288	163 à 305	NS400N STR23SE / NS800
135 à 251	234 à 436	243 à 453	257 à 480	NS630N STR23SE / NS800
241 à 305	416 à 520	451 à 575	481 à 610	NS800N / NT08H-NW08N/H
306 à 380	521 à 650	576 à 710	611 à 760	NS1000N / NT10H-NW10N/H
381 à 480	651 à 820	711 à 900	761 à 960	NS1250N / NT12H-NW12N/H
481 à 610	821 à 1050	901 à 1150	961 à 1220	NS1600N / NT16H-NW16N/H
611 à 760	1051 à 1300	1151 à 1400	1221 à 1520	NS2000N / NW20N/H
761 à 950	1301 à 1650	1401 à 1800	1521 à 1900	NS2500N / NW25N/H
951 à 1220	1651 à 2100	1801 à 2300	1901 à 2400	NS3200N / NW32N/H

Annexe 3 : Détermination de la section des câbles en fonction du courant admissible

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm^2)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
	500					749	868	946		1 083
	630					855	1 005	1 088		1 254
section aluminium (mm^2)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
	300		351	381	406	440	497	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
	630					711	808	899		996

Annexe 4 : Détermination des facteurs de correction selon les contraintes extérieures

Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	■ câbles multiconducteurs	0,90
	■ vides de construction et caniveaux	0,95
C	■ pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	■ autres cas	1

Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2 — nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		

Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	–	0,61	0,76
60	–	0,50	0,71

Annexe 5 : Caractéristiques générales et schémas de câblage Synchro coupleur CHAUVIN ARNAUX

Normes de référence	Protection	Chocs mécaniques	Tenue aux vibrations	Environnement	Montages	Matériaux	Masse	Domaine d'utilisation
CEI 61010 - 1 (sécurité), DIN 43700 (dimensions EN 61326 - 1 (CEM) Fonction A.N.S.I. n° [25] et [90] Catégorie d'installation P III Degré de pollution 2	**IP 54 en façade, référence CEI 60529**	**Référence CEI 60068-2-27**	**Référence CEI 60068-2-6**	**Référence CEI 60068-1 Température d'utilisation : -10 °C à + 65 °C Température de stockage : - 40 °C à + 70 °C Humidité relative : < 90 % à 40 °C**	**Montage par l'avant sur panneau Epaisseur du panneau : 8 mm maxi Raccordement dans cage pour fil 2,5 mm2**	**Fût et collerette : ABS noir auto-extinguible Face avant : polycarbonate gris clair**	**0,5 kg**	**Mesure • tension nominale : 480 Vac maxi • fréquence 35...80 Hz • consommation < 500 _A Alimentation auxiliaire • tension - 10 % / + 15 % • fréquence 35 ... 450 Hz • consommation 10 VA Relais à contact inverseur hermétique • 8 A - 250 Vac / 5 A - 30 Vdc**

■ Mesure

• angle d'écart de phase : ± 0,5 °

• fréquence : ± 0,01 Hz

• tension (RMS) CI 1 ± 2 digits.

■ Affichage

• de l'écart d'angle par 30 leds disposées en cercle

• des tensions, des fréquences, des écarts (en %) par 4 digits

• visualisation de l'écart en fréquence + ou -, de l'état du relais de couplage, des conditions atteintes en phase, fréquence et tension.

■ Commande

• un relais pour commander le couplage en manuel assisté ou automatique avec ajustage de sa temporisation

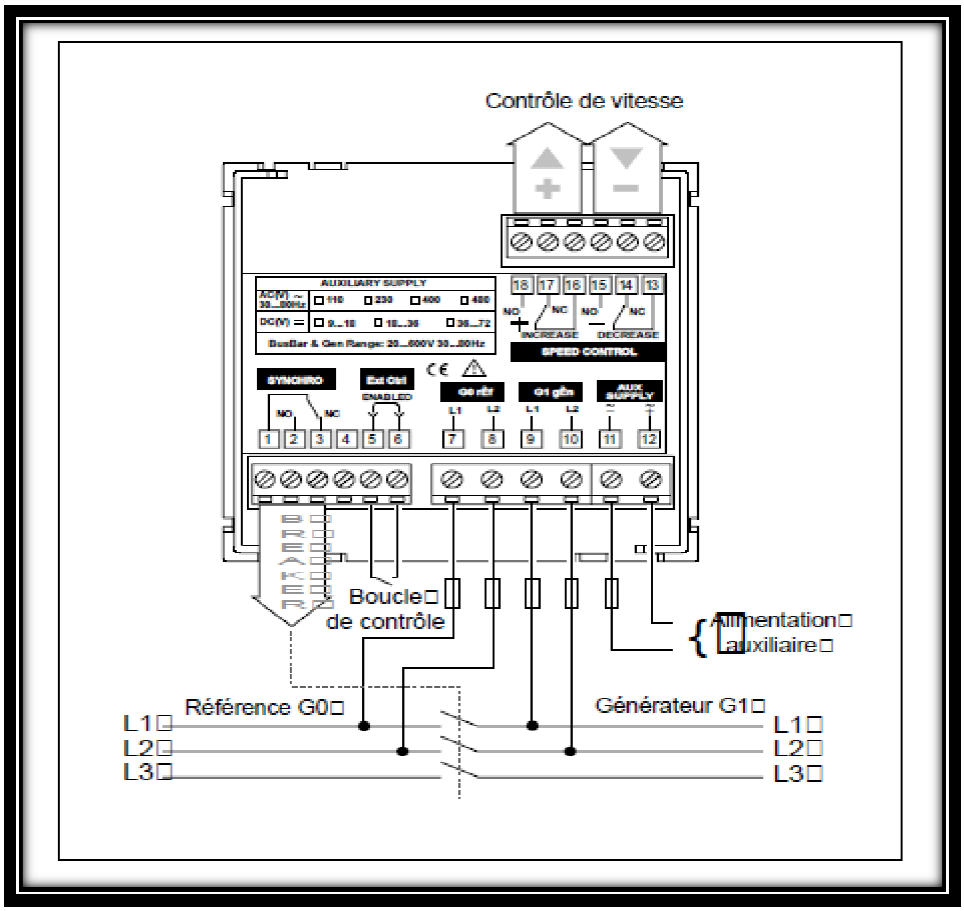
• deux relais de commande (+ ou - vite) pour la régulation de

vitesse (proportionnelle et intégrale)

• une boucle de contrôle externe pour ouvrir le relais de couplage

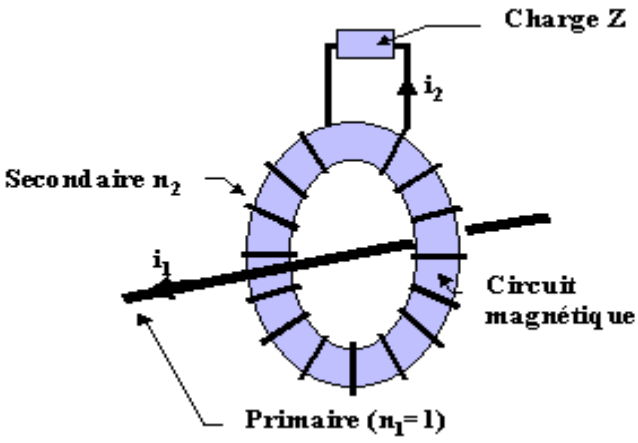
• quatre touches en façade pour la programmation, les affichages et les messages (mot de passe possible).

CABLAGE SYNCHRO COUPLEUR CHAUVIN ARNAUX



Annexe 6 : Transformateur de courant

PRINCIPE : L'enroulement primaire comportant n_1 spires, est parcouru par le courant i_1, l'enroulement secondaire, parcouru par le courant i_2, débite dans une charge Z le courant i_2.



On a : $n_1.i_1 = n_2.i_2 + n_1.i_{10}$

La précision sur la mesure de i_1 est d'autant meilleure que le courant magnétisant i_{10} est faible.

Dimension (135 × 135)

Transformateur de courant AC 150/5amp

Annexe 7 : Compteur électronique double tarif

Compteur certifié MID, autorisé pour la refacturation de l'électricité et se monte sur rail DIN. Affichage LED 5+2 digits (99999,99 kWh), largeur 4 modules. Ce compteur ne peut pas être remis à zéro, même en cas de coupure de courant il conserve le total, mais il possède une remise à zéro partielle (comme un compteur kilométrique).

POLIER-INGENIERIE
40, rue des Binelles
92310 SEVRES
France
Tél. : 01 46 26 27 51
Fax : 01 46 26 27 84
http://compteur-electrique.eu

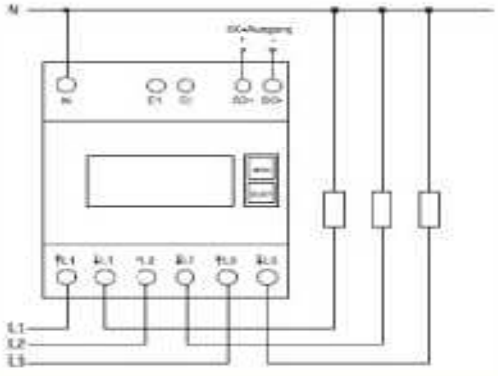
MTRDT65LMZ

MTRDT65LMZ : Compteur électrique triphasé 65 A double tarif MID

Caractéristiques techniques :

	MTRDT65LMZ
Intensité nominale (Intensité max)	3x10(65) A
Homologations Normes et directives	62053-21 et MID
Tension	3x230/400V
Intensité de démarrage	40 mA
Précision	Classe B (1%)
Fréquence	50 Hz
Température fonctionnement	-10,+50°C
Affichage	7 digits dont 2 décimale
Montage	Modulaire EN 50 470
Largeur	4 modules (70mm)
Section max branchement phase/neutre	16 mm²
Nombre d'impulsions	10 imp./kWh
Caractéristiques des impulsions	DIN EN 62053-31 longueur 30ms
Consommation interne	0.4 W/Phase

Schémas :



Double tarif :
Pour basculer sur deuxième tarif : brancher 230 V +- 20% entre les bornes E1 et E2

Sortie d'impulsion :
Les bornes So+ et So- sont les sorties d'impulsion. Cette dernière sert à transmettre les valeurs mesurées sur un ordinateur. Elles ne sont pas connectées dans la plupart des cas. Ces impulsions sont conformes à la norme EN 52 053-31.

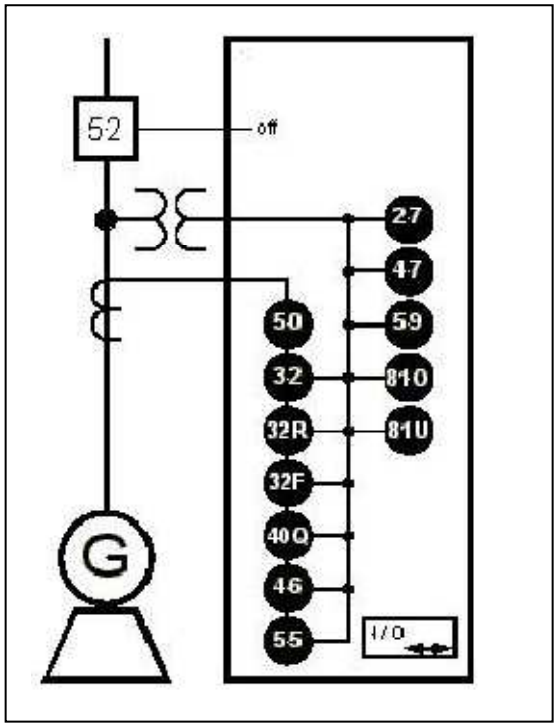
Annexe 8: caractéristiques des relais de protections type MFR-1

Tableau des caractéristiques du MFR-1

Panorama des fonctions	ANSI	MRF 11/MP	MRF 11/G59	MRF 12/CP	MRF 13/GP	MRF 13/GPX	MRF 15/SY	MRF 15/SYN
Surtensions réseau	59	X	X					
Surtensions générateur	59				X	X	X	X
Sous-tensions réseau	27	X	X					
Sous-tensions générateur	27				X	X	X	X
Sur-fréquences réseau	810	X	X					
Sur-fréquences générateur	810				X	X	X	X
Réseau contre les sous-fréquences	81U	X	X					
Générateur de sous-fréquence	81U				X	X	X	X
Déphasage réseau et changement de vecteur	78		X					
Asymétrie de tension	47	X	X		X	X	X	X
Df/dt (rocof)	81RL		X					
Retour de puissance	32R				X	X	X	X
Puissance réduite	32F/37				X	X	X	X
Surcharge	32				X	X	X	X
Déséquilibre de charge	46				X	X	X	X
Perte d'excitation	40Q				X	X	X	X
Cos phi	55				X	X	X	X
Surintensité instantanée	50			X	X	X	X	X
Surintensité temporisée	51			X	X	X		
Relais défaut de terre	50N			X				
contrôle de la synchronisation	25					X		
Synchronisation	25						X	X
Contrôle V, Hz, P, Cos phi							X	X
Partage VAR et du traitement								X
Relais de sorties		3	3	3	3	8	3	3
Sorties analogiques							3	3
Relais d'alarme	74	X	X	X	X	X	X	X
Interface RS232		X	X	X	X	X	X	X

Annexe 9 : Application relais de protection MFR-13/GP

. Relais surtension (59)
· Relais sous-tension (27)
· Sur-fréquence (81O)
· Sous-fréquence (81U)
· Déséquilibre de tension (47)
· Inversion de puissance (32R)
· Protection surcharge (32)
· Réduction de puissance (32F)
· Déséquilibre de charge (46)
· Perte d'excitation (40)
· Surveillance facteur de puissance(55)
· Temporisation surintensité (50)



Annexe 10 : Etape de création de la carte sur Arcview

Nous allons développer brièvement la stratégie mise en place pour réaliser la cartographie afin de permettre à un prochain lecteur de faire des modifications si nécessaire.

Celle-ci s'est effectuée en trois étapes :

Nous disposons de la carte du Burkina Faso mais nous avons seulement besoin de la carte de Ouagadougou afin d'importer les données GPS recensées. Pour ce faire, Arcview nous a permis par une requête SQL d'identifier l'ensemble des départements relevant de la province de Kadiogo en cliquant sur : Thème → Querry (requête SQL)→ choisir le champ de calcul (Nom province) = Kadiogo

Nous visualisons une vue montrant sept départements à savoir : Pabre, saaba, Ouagadougou, Tanghin-Dassouri, Koubri, Komsilga et Kompi Ipala.

Une fois que la carte de la province de Kadiogo est obtenue, il nous faut la découper pour visualiser seulement celle de Ouagadougou puisque le recensement s'est effectuer que dans ce département du

Burkina; ainsi nous avons procédé par un géo-référencement de la carte de Kadiogo grâce à l'extension « geoprocessing » enfin d'obtenir celle de Ouagadougou uniquement.

Par la suite nous avons visualisé dans Arcview en même temps que le plan de Ouagadougou un ensemble de point dont les coordonnées ont été déterminées par GPS sur le terrain. Tout d'abord un report à la main des coordonnées relevées avec leur identifiant (numéro) dans un fichier Excel fut fait. Nos coordonnées étaient exprimées en « degré, minute, seconde) nous avons fait directement la conversion en « degrés décimaux » en utilisant la formule ci-dessous :

$$1° = 60' \quad \text{et} \quad 1' = 60''$$

Il faut noter que toute virgule fut transformée en point et l'enregistrement de la feuille Excel fut faite au format (Txt) sous le nom de GPS arcview ; en procédant de cette manière le logiciel pourra reconnaitre le fichier. Nous avons importé le fichier GPS arcview en cliquant sur :

View→ Ajouter un thème de localisation→ une fenêtre apparait, on Choisit la table « Txt », importer « longitude » pour les champs X et « latitude » pour les champs Y

En validant nous voyons apparaitre sur la vue les points relevés qui sont localisés.