

*République du Sénégal*  
*Université Cheikh Anta DIOP*



Gm.0050

*Ecole Supérieure Polytechnique*

*Centre de THIES*

*Département Génie Electromécanique*

**Projet de Fin d'Etudes**

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception

**Interconnexion de la S.E.I.B. sur le réseau  
30kV de la SENELEC**

**Présenté par : Kalidou TRAORE**  
**Directeur interne : M. Cheikh WADE**  
**Directeur externe : M. Mballo DIOP**

Juillet 2003

## Dédicaces

Je dédie ce travail:

- A toutes les personnes qui me sont chères, en particulier aux membres de ma famille pour leur soutien sans cesse et leur encouragement pour une persévérance et une rigueur,
- A mon cher père, pour qui la réussite est au bout de la discipline et de la patience,
- A ma chère mère, qui nous manque beaucoup, que la Terre de Yoff lui soit légère,
- A l'ensemble des camarades de la 4<sup>e</sup> promotion pour leur encouragement mutuel,
- A l'ensemble des élèves de l'Ecole Supérieure Polytechnique, centre de Thiès.

## Remerciements

Mes remerciements vont d'abord à Monsieur Mballo DIOP, chef du service maintenance à la SONACOS E.I.B., sans qui ce projet n'aurait pas vu le jour, pour m'avoir bien encadré tout au long de l'année. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude pour m'avoir apporté son aide avec autant de rigueur.

Je tiens aussi à remercier très sincèrement:

Monsieur Malick GUEYE, directeur de la SONACOS E.I.B. d'avoir bien voulu me recevoir à l'usine dans le cadre de l'étude.

Monsieur Mamadou Bamba DIOUF, responsable de la Qualité et de la Formation à la SONACOS E.I.B. d'avoir facilité mon adaptation aux réalités de l'usine.

Nous portons une mention particulière à Monsieur Cheikh WADE, professeur à l'E.S.P. centre de Thiès pour les remarques et contributions qu'il a eues à apporter.

Enfin que tous ceux qui moralement ou matériellement ont contribué à l'aboutissement de ce travail trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

## Sommaire

Ce rapport s'inscrit dans le cadre de la recherche de solutions aux problèmes d'énergie électrique de notre pays. En effet, la SONACOS E.I.B. (S.E.I.B.), grande entreprise sénégalaise, autonome en électricité, a proposé l'étude de l'interconnexion de son réseau sur le réseau de la SENELEC. En fait, cette dernière dispose du monopole du transport et de la distribution sur le périmètre de sa concession. Elle devient ainsi incontournable lorsqu'il s'agit de transport d'électricité vers d'autres utilisateurs.

Il n'est pas fréquent de voir le réseau national recevoir de l'énergie de la part de producteurs indépendants dont la vocation première n'est pas de produire de l'électricité. Ainsi, il se présente une spécificité quant au sens du flux énergétique.

Nous sommes partis du schéma détaillé de l'installation et il est apparu dans l'étude que la S.E.I.B. dispose effectivement d'un surplus d'énergie. Ainsi, nous avons proposé une solution pour injecter ce surplus sur le réseau de la SENELEC.

L'étude de la rentabilité de l'application de cette solution a été faite sur la base du délai de recouvrement des capitaux pour évaluer le risque et aussi par le calcul de la valeur actuelle nette qui représente l'argent entré par le projet. Elle permettra d'éclairer les autorités compétentes de la SONACOS par rapport à un investissement éventuel.

## Liste des figures

Figure 1 : Réseau actuel de la S.E.I.B.....	10
Figure 2 : Dispositif de secours de la vinaigrerie .....	11
Figure 3 : Réseau de la S.E.I.B. après réhabilitation du turboalternateur.....	11
Figure 4 : Schéma d'interconnexion des réseaux de la S.E.I.B. et de la SENELEC .....	25

## Liste des tableaux

Tableau 3.1: Consommation départ CENTRALE en marche globale .....	15
Tableau 3.2: Consommation départ ANNEXES en marche globale .....	16
Tableau 3.3: Consommation départ TRITURATION en marche globale .....	17
Tableau 3.4 : Consommation totale en marche globale .....	17
Tableau 3.5 : Consommation départ ANNEXES en marche partielle .....	18
Tableau 3.6 : Consommation départ TRITURATION en marche partielle .....	18
Tableau 3.7 : Consommation départ CENTRALE en marche partielle .....	19
Tableau 3.8: Consommation totale en marche partielle .....	19

## Liste des abréviations

QA: Jeu de barres Annexes

QT: Jeu de barres Trituration

QC: Jeu de barres Centrale

IT: neutre isolé de la terre

$I_{cc}$ : Courant de court-circuit

S.E.I.B. : SONACOS Etablissement Industriel du Baol

SONACOS : Société Nationale de Commercialisation

des Oléagineux du Sénégal

HBA : Huile Brute d'Arachide

HRA : Huile Raffinée d'Arachide

HBV : Huile Brute Végétale

HRV : Huile Raffinée Végétale

CDH : Conditionnement des huiles

T.E : Tableau Eclairage

T.D : Tableau Distribution

## Table des matières

<b>Dédicaces .....</b>	<b>I</b>
<b>Remerciements .....</b>	<b>II</b>
<b>Sommaire .....</b>	<b>III</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Présentation de la S.E.I.B.....</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre 2 : Cadre économique et technique du projet .....</b>	<b>6</b>
2.1 Contexte économique .....	6
2.2 Contexte technique.....	7
2.2.1 Présentation de la centrale thermique de la SEIB.....	7
2.2.1.1 La production de vapeur .....	7
2.2.1.2 L'utilisation de la vapeur.....	7
2.2.1.3 L'interconnexion des groupes.....	8
2.2.2 Le réseau électrique de la S.E.I.B.....	8
2.2.3 L'organisation de la maintenance.....	12
<b>Chapitre 3 : Bilan énergétique .....</b>	<b>13</b>
3.1 Estimation de la consommation .....	13
3.2 Les capacités de production .....	20
3.2.1 Fonctionnement avec une seule chaudière .....	20
3.2.1.1 Marche partielle .....	20
3.2.1.2 Marche globale .....	21
3.2.2 Fonctionnement avec les deux chaudières .....	21
3.2.2.1 Marche partielle .....	21
3.2.2.2 Marche globale .....	21



<b>Chapitre 6 :</b>	<b>Etude économique.....</b>	<b>35</b>
6.1	Calcul de l'investissement.....	35
6.2	Calcul du délai de recouvrement.....	36
6.3	Calcul de la valeur actuelle nette VAN.....	37
6.4	Conclusion partielle.....	37
<b>Chapitre 7 :</b>	<b>Conclusion et recommandations .....</b>	<b>38</b>
7.1	Conclusion .....	38
7.2	Recommandations.....	38

## **Bibliographie**

### **Annexes :**

Annexe 1: Caractéristiques électriques des récepteurs et sources

Annexe 2: Extension au niveau des différents ateliers

Annexe 3: Carte électrique du Sénégal

## Introduction

Le Sénégal connaît un grand déficit en terme d'énergie électrique. Cela est dû d'une part à la dégradation par le temps des appareils de la SENELEC qui est l'entreprise qui détient le monopole du transport. Mais aussi à une augmentation considérable de la consommation qui a connu une croissance de 10% pendant la période 2001-2002.

Ainsi, les consommateurs, et particulièrement les industries sont confrontées à de multiples délestages surtout pendant les périodes de grandes chaleurs allant de mai à octobre.

Par rapport à cette situation, la connexion des grandes entreprises, autonomes en électricité, sur le réseau national demeurent une alternative pour combler une partie du déficit.

Ce projet s'inscrit dans ce cadre; il a pour objectif d'étudier la possibilité technico-économique de l'interconnexion du réseau de la S.E.I.B. sur le réseau 30 kV de la SENELEC. En effet, la S.E.I.B., située à l'entrée de la région de Diourbel en provenance de Thiès est autonome en énergie électrique et s'est proposée de déverser son surplus énergétique sur le réseau national.

Nous avons commencé par une présentation de l'installation de la S.E.I.B. à partir de laquelle les puissances consommées et produites ont été ressorties. La connaissance de ces deux valeurs permettent de connaître la puissance disponible à transiter et par conséquent passer au dimensionnement du réseau de transfert. Ce réseau doit en effet respecter un certain nombre de contraintes qui amènent à choisir le dispositif de protection adéquat.

Les étapes suivies en détail sont d'abord de ressortir la puissance disponible par la différence entre la consommation et les capacités de production de l'usine. Ensuite, nous allons passer au dimensionnement du réseau de transfert en prenant soin de préciser les dispositifs de protection à mettre en place. Enfin, le calcul du délai de recouvrement permettra de renseigner sur la rentabilité.

La consommation de l'usine est connue à partir de son schéma électrique, de même que les capacités de production.

Pour le dimensionnement du réseau de transfert, il faudrait voir les priorités de l'entreprise en terme de production et la configuration de l'usine pour pouvoir préciser le chemin à suivre par les câbles et les protections à adopter. L'étude se termine par des indications portant sur la détermination du délai de recouvrement (DRC) et de la Valeur Actuelle Nette (VAN) qui permettront aux autorités de la SONACOS de prendre des décisions par rapport à un financement éventuel.

En effet, la mise en place du réseau de raccordement engendre des coûts dont la connaissance permet, en se fixant le prix de vente du kWh de donner le délai de recouvrement qui représente la durée de retour de l'investissement.

# Chapitre 1

## Présentation de la SEIB

La **SONACOS E.I.B.** est née de l'absorption de la Société Electrique et Industrielle du Baol en 19....

Elle appartient au groupe SONACOS créé en octobre 1975 à la suite de la reprise des activités d'usines dont les anciens propriétaires sont des européens. La SONACOS est constituée par 5 unités :

- Dakar (trituration, raffinage, conditionnement d'huiles alimentaires, savonnerie),
- Kaolack (trituration des graines d'arachides et de coton),
- Ziguinchor (trituration des graines d'arachides et de palmistes),
- Diourbel (raffinage et conditionnement d'huiles alimentaires, production de vinaigre, eau de javel, moutarde, dentifrice, parfums, margarines, aliment bétail et volaille)
- Louga (production d'arachide de bouche)

Quelques activités principales développées à la SONACOS E.I.B. sont les suivantes :

**Javellerie** : c'est la fabrication du javel. Avec de la soude caustique NaOH dissoute dans de l'eau, on attaque le Chlore pour créer une réaction exothermique. L'atelier est constitué en gros de cuves pour contenir ces produits.

La cadence de fabrication dépend des commandes ; des réalités commerciales.

**Vinaigrerie** : Elle consiste en une réaction bactériologique. Les contenus de deux cuves, l'une contenant de l'alcool 90° dilué avec de l'eau et l'autre appelée cuve d'ensemencement contenant des bactéries, sont mélangés dans un fermentateur appelé Acétator. La quantité tirée de chaque cuves est bien calculée. Cette opération permet de diminuer l'acidité de l'alcool en maintenant les bactéries vivantes dans l'acétator avec de l'acidozime. Ensuite viennent la clarification, le filtrage et la dilution avec du carmer(colorant) pour obtenir le produit final.

**Trituration** : consiste à presser l'arachide décortiquée après l'avoir chauffé dans des chauffoirs. L'arachide est ainsi écrasée pour en recueillir une partie de l'huile.

**Extraction** : Les tourteaux sortis de la trituration sont lavés avec de l'eau . Cette eau est attaquée avec de l'hexane qui a la propriété d'évaporer l'eau et ainsi obtenir le reste de l'huile.

**Pelletisation** : A partir des tourteaux retirés de l'extraction, on fabrique des aliments de volaille, des vermicelles, etc.

**HPS(Hand Pnut Select)**: Cet atelier reçoit à l'entrée des graines de coque. Elles sont nettoyées au niveau d'un atelier de dessablage pour enlever le sable, les pierres et les particules métalliques. Ensuite, elles sont décortiquées dans une décortiqueuse : les coques

vont vers la chaudière et les graines vers une table densimétrique qui permet de séparer les graines suivant leur densité. Les coques entrent dans un repasseur pour retirer le reste des graines mélangées avec les coques.

Après avoir fait passer toutes les graines par la table densimétrique, les graines de formes correctes sont séparées selon leurs grandeurs par un gradeur (ou calibreur). Enfin une trieuse électronique permet de détecter les mauvaises graines dans chaque grade.

**Raffinage** : Le raffinage reçoit à son entrée des huiles brutes et sort de l'huile raffinée.

Elle comprend trois parties :

1. La neutralisation
2. La décoloration
3. La désodorisation

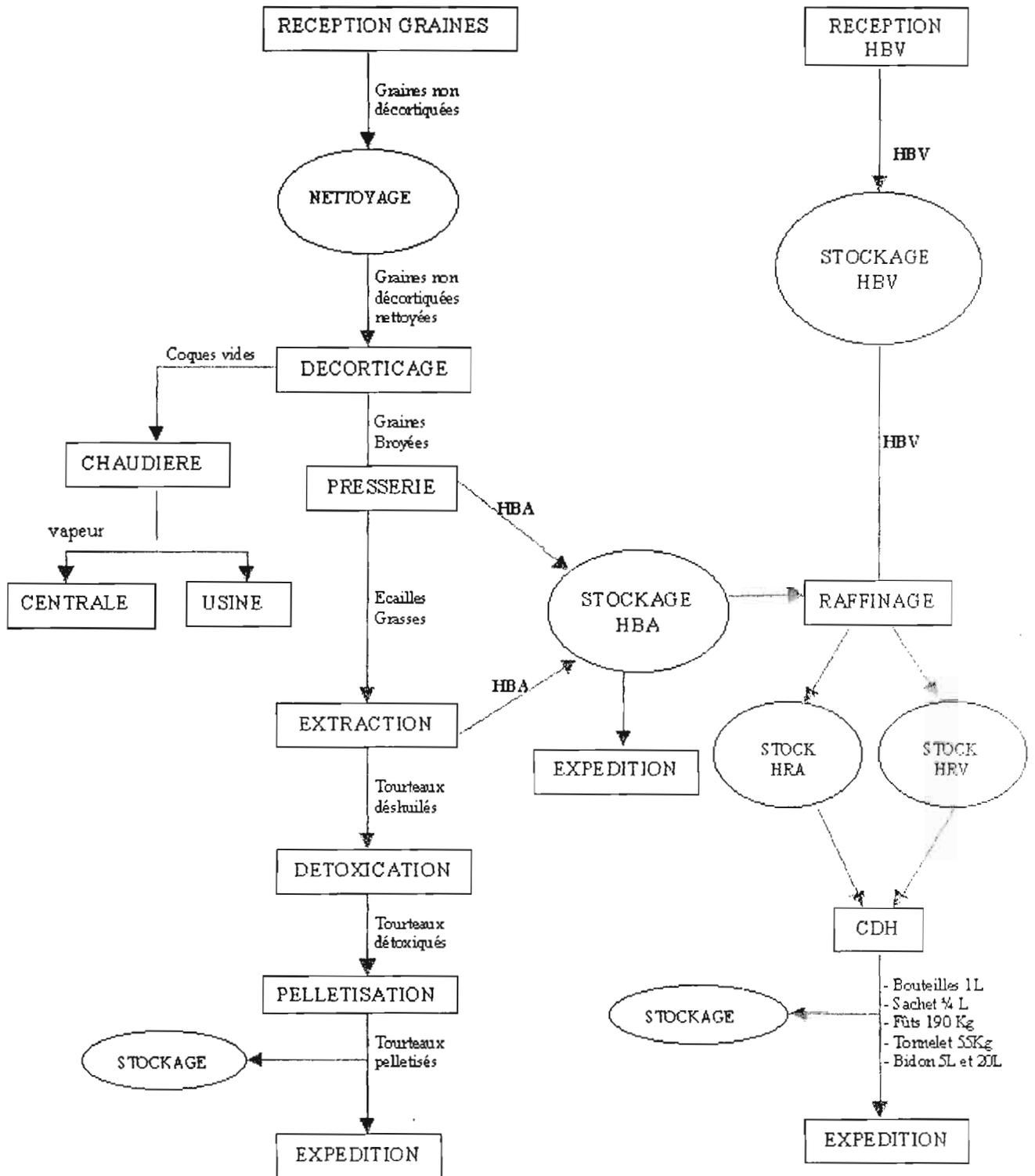
La neutralisation consiste à attaquer l'huile brute avec de l'acide phosphorique pour créer une réaction de saponification. Les éléments non comestibles tels que le savon sont enlevés par utilisation d'une centrifugeuse.

La décoloration se fait en deux étapes. La décoloration chimique se fait avec de la terre décolorante capable de capter les pigments. Ensuite on utilise un filtre pour enlever cette terre.

La désodorisation se fait dans une cuve appelée désodoriseur par envoi de la vapeur à 28 bars pour volatiliser les acides gras. Après cela, un vide est créé pour aspirer les vapeurs d'acide. Cette étape constitue la partie chimique de la décoloration.

Ces activités donnent une idée de la grande utilisation de l'électricité à la S.E.I.B. Pour répondre à ce besoin la S.E.I.B. dispose d'une centrale thermique qui fournit l'énergie nécessaire au bon fonctionnement des activités de production.

### Synoptique de la production



## Chapitre 2

### Cadre économique et technique du projet

#### 2.1 Contexte économique :

L'électricité joue un rôle central dans le développement économique et social de nos pays. En effet, elle se transforme directement en toute autre forme d'énergie – mécanique, thermique, chimique – avec d'excellents rendements, quelles que soient les quantités mises en jeu. D'autre part, elle se présente comme un flux continu et, de ce fait, elle est aussi facile à subdiviser, sinon plus, que les autres flux énergétiques. L'électricité est donc la forme la mieux appropriée à la distribution de l'énergie.

La consommation d'énergie électrique est étroitement corrélée avec le développement économique de chaque pays. Ainsi, une étude au Sénégal prévoit une croissance de 10% de la consommation d'énergie électrique par an durant la période 2001-2011.

Cependant, pour satisfaire cette demande en électricité, les investissements annuels nécessaires demeurent élevés. Pour donner une idée ; la production d'électricité absorbe 40% du volume total des produits pétroliers importés. En plus, malgré une production brute totale de 1476.32 Gwh en 2000, cette production reste insuffisante et ne permet pas de satisfaire la demande. En effet, de nombreux délestages, principalement au cours de la période de grande chaleur, pénalisent les industries sénégalaises.

Une alternative pour résoudre ce problème est un recours aux producteurs décentralisés qui ne présentent certes pas les avantages des réseaux interconnectés qui permettent de disposer de la pleine puissance des sources en jeu. Mais, ils permettent d'une part une grande économie sur la production par rapport au combustible utilisé et une réduction du coût du transport de l'énergie du fait de leur situation géographique. D'autre part, ces combustibles utilisés sont en général, moins polluants que les combustibles classiques que sont notamment le fuel et le diesel oil. Pour les producteurs décentralisés, l'intérêt de fournir de l'électricité au réseau national est avant tout d'ordre économique. Compte tenu de la Compétitivité croissante de l'électricité du réseau, cet intérêt économique de ce type de production n'est pas toujours évident et doit être examiné avec attention. Cependant, nous dirons à priori, que leur contribution au bilan énergétique national ne peut être que modeste.

L'objectif de ce projet est alors d'étudier la possibilité de fournir une certaine quantité d'énergie électrique pour le territoire national en cherchant à optimiser le prix du Kwh. La SENELEC est un partenaire incontournable car elle a actuellement le monopole du transport

sur l'ensemble du territoire national ainsi que le monopole de la distribution dans le périmètre de sa concession.

## **2.2 Contexte technique :**

### **2.2.1 Présentation de la centrale thermique de la SEIB :**

#### **2.2.1.1 La production de vapeur :**

La S.E.I.B. dispose deux grandes chaudières produisant la vapeur utilisée que ce soit pour le process ou pour le turboalternateur. Ces deux chaudières sont de puissance 22t/h et donne de la vapeur à 28 bars.

L'eau utilisée par les chaudières pour la production de vapeur vient d'une pompe de forgeage. La qualité de cette eau brute est insuffisante pour permettre son utilisation sans préparation. En effet, cette eau contient notamment de l'oxygène, agent de corrosion qui doit être éliminé. Ainsi, elle est traitée dans un atelier de distillation d'eau (évaporation, condensation, dégazage...) appelé KESTNER, pour éviter les dépôts dans les tubes des chaudières (type tubes à eau). Après traitement, l'eau est recueillie dans la bache alimentaire qui sert de tampon d'eau entre la chaudière et le dispositif de traitement. L'eau de la bache est ensuite injectée dans la chaudière pour compenser celle utilisée.

#### **2.2.1.2 L'utilisation de la vapeur :**

La vapeur utilisée dans l'entreprise, que ce soit pour le turbo-alternateur ou le process, est produite par 2 chaudières mixtes qui utilise aussi bien de la coque d'arachide que du fuel, à une pression de 28 bars. Elle est ensuite envoyée au niveau d'un barillet haute pression qui l'envoie au niveau de l'alternateur. Un second barillet moyenne pression reçoit la vapeur détendue à 14 bars issue du premier pour l'envoyer vers les différents points d'utilisation. Il s'agit de l'éjecteur pour vide aérocondenseur, du réchauffage bache alimentaire et du process.

Le turboalternateur et la raffinerie sont les seuls à utiliser de la vapeur à la pression de 28 bars.

Actuellement, en l'absence du turbo-alternateur en réparation, la vapeur produite sert seulement pour le process. Ainsi, pour la détente de la vapeur à 13 bars se fait à partir d'un poste de détente, constitué par une vanne, avant utilisation.

En présence du turbo-alternateur, la vapeur à 13 bars est obtenue par soutirage au niveau de la turbine. Il faut signaler que le fonctionnement du turbo-alternateur est une condition sine qua non pour l'étude du projet. En effet, les groupes doivent servir a priori pour le secours et l'on imaginerait pas la SEIB courir des risques pour ses installations alors que sa vocation n'est pas de vendre de l'électricité.

L'énergie produite par la SEIB est très économique si l'on sait qu'elle utilise de la coque d'arachide comme combustible au moment où les produits pétroliers représentent 40% du volume total des produits importés du Sénégal.

### **2.2.1.3 L'interconnexion des groupes :**

La centrale thermique de la SEIB fonctionne actuellement avec trois (3) groupes électrogènes SDMO (1500kVA, 400V), CATERPILAR (1250kVA, 220V), MAN (1100kVA, 220V).

Ces groupes électrogènes remplacent un turboalternateur de 4375 kVA qui servait de source de fonctionnement normale pour l'alimentation de l'usine. En effet, ce turboalternateur est en réparation et devrait revenir à la fin de cette année 2003. Sa réhabilitation et sa mise en service est une condition sine qua non de l'application de ce projet.

Les groupes électrogènes débitent sur un jeu de barres de 6600 V par l'intermédiaire de transformateurs élévateurs. Cette tension sert de tension de distribution jusqu'au niveau des tableaux secondaires QA, QT et QC.(Fig3) Les trois groupes sont connectés en parallèle sur le jeu de barres principal de 6600 V par de transformateurs élévateurs.( Fig1).

Un dispositif de relaiage permet de faire fonctionner le nombre de groupes nécessaire pour assurer l'alimentation de l'usine. Ainsi, le groupe SDMO, le groupe le plus puissant et le meilleur en état fournit l'énergie de base; il fonctionne quelle que soit la demande de l'usine. Lorsque cette dernière augmente jusqu'à dépasser la capacité du groupe SDMO, le groupe CATERPILAR est mis en réseau. Le groupe MAN, en raison de son ancienneté, n'est utilisé qu'à une puissance maximale de 500kW pour éviter de le surcharger.

### **2.2.2 Le réseau électrique de la S.E.I.B. :**

En cas de défaillance des sources normales constituées par les trois groupes, un autre groupe de secours à démarrage automatique CATERPILAR (250kVA, 400V) prend la relève pour alimenter certaines parties de l'installation, notamment Q16 et Acétator qui ne doit pas être coupé plus de 3mn, sinon la chaîne de production de vinaigre est interrompue et le vinaigre est détruit.

Si ce groupe aussi se trouve en défaillance, on aura recours au réseau de la SENELEC pour secourir encore une fois Acétator et la Vinaigrerie, par l'intermédiaire d'un poste sur poteau H61( 50kVA, 30kV/B2) ( Fig3). Dans cette situation, le réseau informatique de la direction est aussi alimenté.

Trois autres transformateurs triphasés abaisseurs (6600V/400V) permettent d'alimenter les trois jeux de barres QA, QC et QT qui montrent la distribution radiale de l'installation. Ces transformateurs ne se différencient que par la puissance qu'ils peuvent faire transiter.

L'éclairage est assurée par l'intermédiaire d'autotransformateurs 380/220V qui alimentent des tableaux d'éclairage T.E.

Dans chaque atelier se trouve un tableau sectoriel relié à un tableau de distribution T.D. alimenté à partir d'un disjoncteur général.

Ces tableaux de distribution sont constitués par une partie relaying et commande avec des contacteurs alimentés en 48V et une partie puissance constituée par des relais et des sectionneurs. Le dispositif de relaying offre la possibilité de marche indépendante des ateliers.

La distribution à l'intérieur de l'usine est faite en schéma IT avec des câbles souterrains en avrithène. Ce type de distribution comporte de lourdes exigences. Ainsi, Les transformateurs abaisseurs couplés en triangle-étoile ont le neutre de leur secondaire relié à un dispositif de surveillance permanente de l'isolement actionnant une alarme pour permettre la recherche et l'élimination rapide d'un premier défaut à la terre par un personnel d'entretien qualifié. Un limiteur de tension (Cardew) est connecté entre le réseau et la terre. Ce limiteur de surtension assure l'écoulement à la terre des surtensions d'origine externe ou résultant d'un amorçage entre l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire du transformateur. Si un deuxième défaut à la terre intervient alors que le premier n'a pas encore été repéré et réparé, il sera éliminé par les protections de courant de phase (comme pour le schéma TN).

Cette technique permet de profiter de la possibilité de ne pas couper lors d'un premier défaut d'isolement. Elle privilégie la continuité de la production de l'usine. C'est d'ailleurs, le régime de neutre utilisé dans la grande partie des entreprises de production du fait de la possibilité de marche après un premier défaut.

Un sectionneur de mise à la terre permet d'isoler chaque génératrice. Sa fermeture est commandée par un inverseur qui ouvre en même temps le disjoncteur de protection.

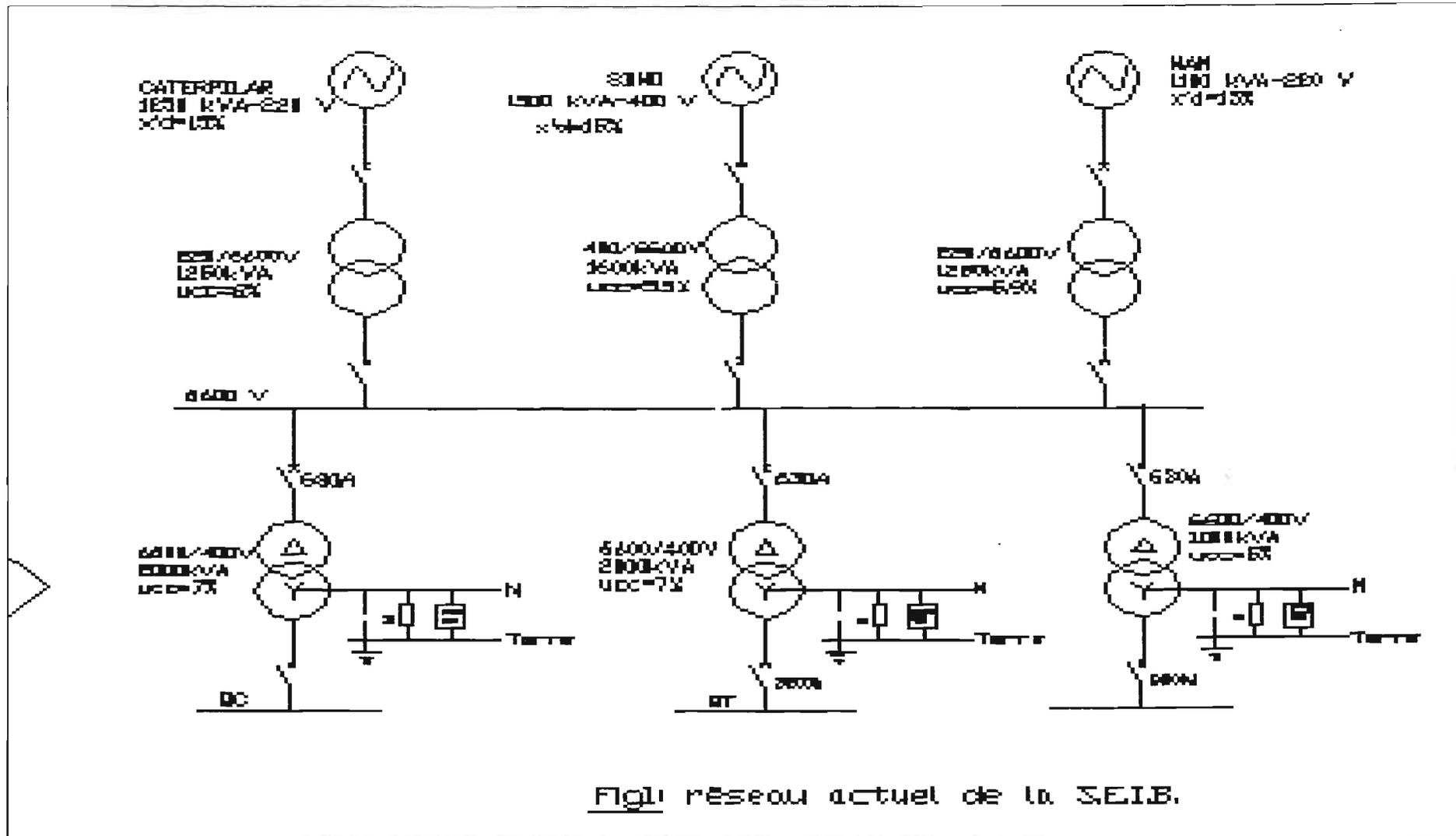


Fig.1 réseau actuel de la S.E.I.B.

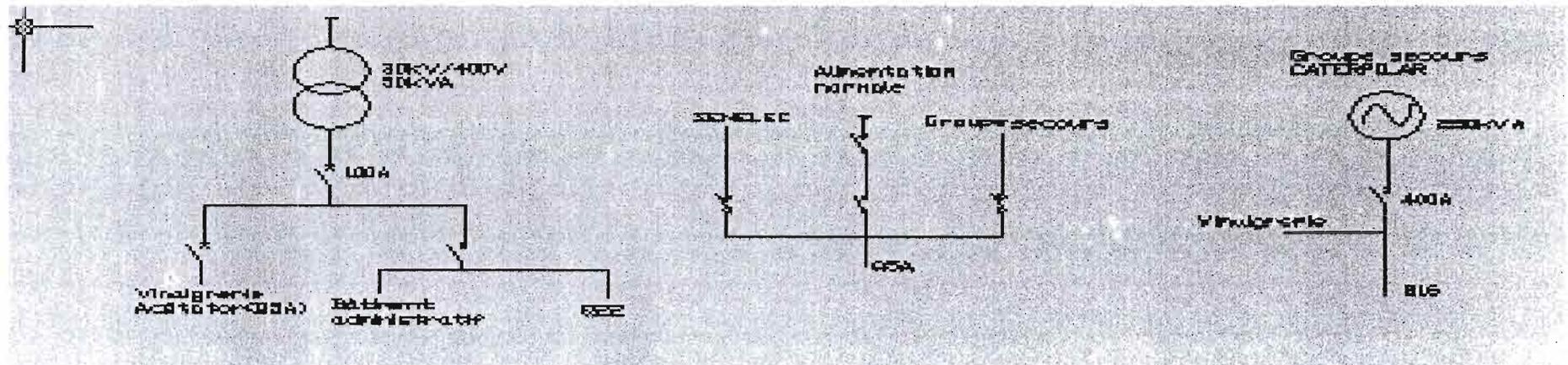


Fig 2 Dispositif de secours de la vinalgrenie

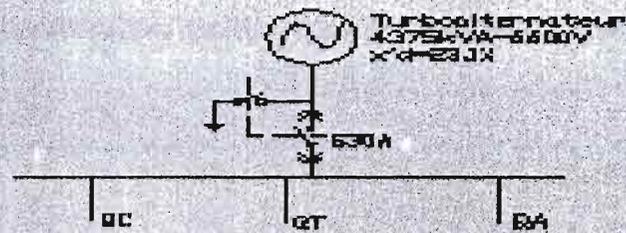


Fig 3 Réseau de la S.E.I.B. après réhabilitation du turboalternateur

### **2.2.3 L'organisation de la maintenance :**

Le service de la maintenance de la SONACOS E.I.B. dispose d'une section électricité. Ce dernier est constitué par des sous-sections à la tête desquels se trouvent un chef d'équipe.

L'existence de la sous-section régulation-instrumentation et de sous-section intervention montre l'importance attachée à l'alimentation en énergie électrique de l'usine.

A priori, la SONACOS E.I.B. est assez bien équipée que ce soit en matériel ou personnel pour envisager une interconnexion. Néanmoins, une formation du personnel ou une augmentation du personnel en vue du contrôle sont à envisager. Les solutions proposées pour l'interconnexion permettront de préciser les modifications organisationnels à faire au niveau du personnel.

## Chapitre 3

### Bilan énergétique

Le but de ce chapitre est de déterminer la quantité d'énergie électrique que la SONACOS EIB doit pouvoir injecter sur le réseau de la SENELEC sans porter atteinte à sa propre production. Ainsi nous calculerons tout d'abord la puissance consommée dans l'usine, ensuite nous passerons en revue l'ensemble des capacités de production de la S.E.I.B. en donnant les combinaisons possibles et pertinentes des générateurs. A la fin de ce chapitre, il sera possible de donner la quantité d'énergie électrique à transiter en faisant la différence entre la production et la consommation.

#### 3.1 Estimation de la consommation en énergie électrique

La consommation de l'usine pouvait être estimée en utilisant les relevés des compteurs placés au niveau de chaque tableau secondaire. Mais, il se trouve que ces compteurs ne sont plus fonctionnels et les configurations des ateliers ont changé entre temps.

C'est pourquoi, l'approche que nous adoptons ici est le calcul de la puissance d'utilisation à partir du schéma unifilaire de l'installation de l'usine. Ce schéma a été établi dans un projet de fin d'étude en 1987 intitulé : optimisation des installations de la S.E.I.B [1].

Dans une usine, la puissance électrique installée qui est la somme des puissances électriques nominales dans les différents ateliers est toujours supérieure à la puissance d'utilisation, qui reflète mieux la réalité. L'estimation de cette dernière demande une bonne connaissance de l'installation et conditions d'exploitation. Ainsi, on détermine la puissance consommée en appliquant à chaque puissance installée des facteurs d'utilisation et de simultanéité pour tenir compte des cas de marche de chaque récepteurs.

La norme UTE.63-410 recommande l'utilisation du tableau ci-dessous pour le choix des facteurs de simultanéité. E nombre de départs pour chaque jeu de barres permet d'en déterminer le facteur de simultanéité.

Nombre de circuits	facteur de simultanéité FS
2 et 3	0.9
4 et 5	0.8
6 à 9	0.7
10 et plus	0.6

Les facteurs d'utilisation pour chaque départ a été choisi égale à 1 pour l'éclairage, les système de ventilation et la pomperie d'incendie. Pour tous les autres un facteur de 0.75 a été

adopté. Ce sont les coefficients recommandés quand l'on ne connaît pas le contenu exact de chaque ateliers.

Par ailleurs, le schéma disponible a subi plusieurs modifications et mérite alors d'être mis à jour. En effet, certains ateliers sont maintenant à l'arrêt consécutivement dans certains cas à des pannes dont la réparation demande notamment de gros investissement ou dans d'autres à une centralisation d'une activité donnée au niveau d'une seule des unités de la SONACOS.

Dans le cadre de cette centralisation, la S.E.I.B. a vu l'augmentation de ces équipements, dans certains ateliers, composés principalement de compresseurs, de chaudières et de ventilateurs.

D'autres activités consommatrices d'électricité tel que HPS se sont développées du fait de l'automatisation de la production.

Dès lors, deux cas sont à considérer dans le calcul de la consommation :

- Marche globale de tous les ateliers ajoutés des extensions
- Marche avec les extensions en enlevant les ateliers à l'arrêt

Les résultats des calculs par rapport à ces cas sont donnés dans les tableaux qui suivent.

Dans les calculs nous considérons un facteur de puissance de 0.8 pour les appareils autres que ceux de l'éclairage.

Utilisation	Puissances installées(kW)	Coefficient d'utilisat° max	Puissances d'utilisat° max (kW)	Coefficient de simultanéité	Puissances d'utilisation 1er niveau(kW)		
Chaudière 1	144	0,75	108	0,6	967,17		
Chaudière 2	144	0,75	108				
Communs chaudières	120	0,75	90				
Aérocondenseur	128	0,75	96				
Eclairage (centrale, chauf.)	100	1	100				
Diésel MAN 2	16	0,75	12				
Diésel MAN 3	16	0,75	12				
Pont roulant	20	0,75	15				
Tableau chargeur	4	0,75	3				
Pomperie (incendie, forage)	208	1	208				
Pompe (eau brute, aéro.)	68	0,75	51				
Evaporateur	40	0,75	30				
Chaudière Wanson 700	65	0,75	48,75				
Traitements effluents	56	1	56				
Atelier garage + magasin	64	0,75	48				
P.C. stockage arachides	16	0,75	12				
Réserve	72	0,75	54				
HPS(récept°, net.)	8	0,75	6				
HPS(décorticage)	120	0,75	90				
Locaux sociaux	80	0,75	60				
Extraction	144	0,75	108				
Bureau	136	0,75	102				
Eclairage(récept°, netto., décort.)	100	1	100				
ventilation	36	1	36				
Départ centrale chaufferie	72	0,75	54				
Pompe à huile turboalternateur	5,6	0,75	4,2				
			<b>1611,95</b>				

Tableau 3.1: Consommation départ CENTRALE en marche globale

Utilisation	Puissances installées(kW)	Coefficient d'utilisat° max	Puissances d'utilisat° max (kW)	Coefficient de simultanéité	Puissances d'utilisation 1er niveau(kW)
Embouteillage huile	11,2	0,75	8,4	0,6	654,63
Dosette Ninal	12	0,75	9		
Production eau glacée	160	1	160		
Fabrication bouteille	92	0,75	69		
Eclairage	100	1	100		
Aérosols(Oréal)	16	0,75	12		
Fabrication vinaigre	40	1	40		
Nouveau Acétator	47	1	47		
Dosette vinaigre	4	1	4		
Pastis	7,2	0,75	5,4		
Dentifrice	16	0,75	12		
Parfumerie	13,6	0,75	10,2		
Fabrication javel	24	0,75	18		
embouteillage javel	6,4	0,75	4,8		
Chaudière Wanson 90	45	0,75	33,75		
Tonnellerie	280	0,75	210		
Service vente(clim.)	10	1	10		
Margarinerie	180	0,75	135		
Compresseur et sécheurs	270	0,75	202,5		
			<b>1091,05</b>		

Tableau 3.2: Consommation départ ANNEXES en marche globale

Utilisation	Puissances installées(kW)	Coefficient d'utilisat° max	Puissances d'utilisat° max (kW)	Coefficient de simultanéité	Puissances d'utilisation 1er niveau(kW)
Communs trituration	264	0,75	198	0,8	825,58
Trituration Presses I et II	256	0,75	192		
Trituration Presses III et IV	256	0,75	192		
Eclairage triturat° raffinage	50	1	50		
Raffinage(neutrali.)	72	0,75	54		
Raffinage(décolo. désodo.)	40	0,75	30		
Pomperie n° 2	48	0,75	36		
Stockage huile et floculation	24	0,75	18		
Chaudière Vaporex 1000	5,3	0,75	3,975		
Pelletisation	304	0,75	228		
Eclairage pelletis.	30	1	30		
			<b>1031,975</b>		

Tableau3.3: Consommation départ TRITURATION en marche globale

Utilisation	Puissances d'utilisation globales (kW)	Coefficient de simultanéité	Puissances d'utilisat° max (kW)
CENTRALE	967,17	0,9	2202,642
TRITURATION	825,58		
ANNEXES	654,63		
	<b>2447,38</b>		

Tableau 3.4 : Consommation totale en marche globale

Utilisation	Puissances installées(kW)	Coefficient d'utilisat° max	Puissances d'utilisat° max	Coefficient de simultanéité	Puissances d'utilisation
-------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------------------	--------------------------

			(kW)		1er niveau(kW)
Embouteillage huile	11,2	0,75	8,4		
Dosette Ninal	12	0,75	9		
Production eau glacée	160	1	160		
Fabrication bouteille	92	0,75	69		
Eclairage	100	1	100		
Fabrication vinaigre	40	1	40		
Nouveau Acétator	47	1	47		
Dosette vinaigre	4	1	4		
Dentifrice	16	0,75	12	0,6	633,39
Fabrication javel	13,6	0,75	10,2		
embouteillage javel	6,4	0,75	4,8		
Chaudière Wanson 90	45	0,75	33,75		
Tonnellerie	280	0,75	210		
Service vente(clim.)	10	1	10		
Margarinerie	180	0,75	135		
Compresseur et sécheurs	270	0,75	202,5		
			<b>1055,65</b>		

Tableau 3.5 : Consommation départ ANNEXES en marche partielle

Utilisation	Puissances installées(kW)	Coefficient d'utilisat° max	Puissances d'utilisat° max (kW)	simultanéité	d'utilisation 1er niveau(kW)
Eclairage triturat° raffinage	50	1	50		
Raffinage(neutral.)	72	0,75	54		
Raffinage(décolo. désodo.)	40	0,75	30	0,8	153,58
Pomperie n° 2	48	0,75	36		
Stockage huile et floculation	24	0,75	18		
Chaudière Vaporex 1000	5,3	0,75	3,975		
			<b>191,975</b>		

Tableau 3.6 : Consommation départ TRITURATION en marche partielle

Utilisation	Puissances installées(kW)	Coefficient d'utilisat° max	Puissances d'utilisat° max (kW)	Coefficient de simultanéité	Puissances d'utilisation 1er niveau(kW)
-------------	---------------------------	-----------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Chaudière 1	144	0,75	108	0,6	807,57
Aérocondenseur	128	0,75	96		
Eclairage (centrale, chauf.)	100	1	100		
Diesel MAN 2	16	0,75	12		
Pont roulant	20	0,75	15		
Tableau chargeur	4	0,75	3		
Pomperie (incendie, forage)	208	1	208		
Pompe (eau brute, aéro.)	68	0,75	51		
Evaporateur	40	0,75	30		
Chaudière Wanson 700	65	0,75	48,75		
Atelier garage + magasin	64	0,75	48		
P.C. stockage arachides	16	0,75	12		
Réserve	72	0,75	54		
HPS(récept°, net.)	8	0,75	6		
HPS(décorticage)	120	0,75	90		
Locaux sociaux	80	0,75	60		
Extraction	144	0,75	108		
Bureau	136	0,75	102		
Eclairage(récept°, nettoy., décort.)	100	1	100		
ventilation	36	1	36		
Départ centrale chaufferie	72	0,75	54		
Pompe à huile turboalterateur	5,6	0,75	4,2		
			<b>1345,95</b>		

Tableau 3.7 : Consommation départ CENTRALE en marche partielle

Utilisation	Puissances d'utilisation globales (kW)	Coefficient de simultanéité	Puissances d'utilisat° max (kW)
CENTRALE	807,57	0,9	1435,086
TRITURATION	153,58		
ANNEXES	633,39		
<b>1594,54</b>			

Tableau 3.8: Consommation totale en marche partielle

En résumé, nous avons en marche globale une puissance active consommée de 2.2 MW et en marche partielle, une puissance égale à 1.44 MW.

Ces puissances sont à rapporter à la compensation de la puissance globale de l'usine pour connaître la puissance réactive consommée.

Le facteur de puissance de l'usine est relevé à une valeur de 0.88. Ainsi, la puissance réactive consommée est donnée par  $Q = P \tan\phi$ , soit en marche globale  $Q = 1187.43$  kVar et en marche partielle  $Q = 777.23$  kVar.

Les puissances apparentes correspondantes sont respectivement 2.5 MVA et 1.64 MVA.

### **3.2 Les capacités de production d'énergie électrique :**

Comme il a été dit dans le chapitre 1, la SONACOS E.I.B. dispose d'un turboalternateur de 3.5 MW débitant sous 6600V, de groupes électrogènes SDMO (1500kVA, 400V), MAN (1100kVA, 220V), CATERPILAR (1250kVA, 220V).

Le turboalternateur peut fournir sa pleine puissance à condition que la deuxième chaudière soit réhabilitée ; il pourra ainsi recevoir 40t/h de vapeur.

S'il fonctionne avec une seule chaudière, il reçoit 22t/h de vapeur et ne pourra produire que 2.66 MW.

La vocation de la SONACOS E.I.B. n'est pas de vendre de l'électricité. C'est pourquoi, sa priorité d'assurer la continuité de sa production en maintenant une bonne sécurité sur son réseau. Ainsi lorsque le turboalternateur fonctionne, les groupes électrogènes vont retrouver leur fonction de base c'est à dire constitué le réseau de secours. Cette configuration est celle considérée alors dans l'étude.

Le fonctionnement ou non de la deuxième chaudière conditionne une étude en considérant ces deux situation.

#### **3.2.1 Fonctionnement avec une seule chaudière :**

##### **3.2.1.1 Marche partielle:**

C'est la situation de marche à court terme ; le turbo alternateur est fonctionnel avec la chaudière1. Dans le calcul de la consommation, on ne tient pas compte des ateliers à l'arrêt, en plus on met à jour toutes les extensions opérées par rapport au schéma électrique précité.(Voir tableau consommation).

Le turbo alternateur en fonctionnement avec une seule chaudière de puissance 22t/h peut fournir une puissance de 2.66MW.

La puissance disponible pour être transitée sur le réseau de la SENELEC est égale à :

$$2.66 - 1.44 = 1.22 \text{ MW}$$

Cette puissance est acceptable. Cependant, la considération de cette situation de fonctionnement présente un risque. En effet, les ateliers à l'arrêt peuvent redémarrer d'un jour

à l'autre; si nous savons que leurs démarrages ne peut dépendre que d'une décision des autorités de l'entreprise d'investir pour la réparation de certains équipement ou de centraliser une activité à la S.E.I.B.. Toutefois, les résultats trouvés dans ce cas montrent la fiabilité du choix des facteurs d'utilisation et de simultanéité ; la consommation trouvée est bien inférieure à la capacité des groupes et des transformateurs qui alimentent l'usine dans la situation de marche actuelle.

### **3.2.1.2 Marche globale:**

C'est une démarche plus prudente que la première. Toutefois, le turbo alternateur peut ne pas fournir ces 2.66MW si tous les tous les ateliers à l'arrêt ne redémarrent pas. Ainsi, l'énergie électrique sera disponible sans être utilisée.(Voir tableau consommation).

La puissance disponible pour être transitée sur le réseau de la SENELEC est égale à :

$$2.66 - 2.2 = 0.46 \text{ MW}$$

Cette puissance est assez faible pour envisager de la vendre à la SENELEC.

### **3.2.2 Fonctionnement avec les deux chaudières :**

#### **3.2.2.1 Marche partielle :**

Dans ce cas la puissance disponible est :

$$3.5 - 1.44 = 2.06 \text{ MW}$$

#### **3.2.2.2 Marche globale :**

La puissance disponible est :

$$3.5 - 2.2 = 1.3 \text{ MW}$$

### **3.3 Conclusion partielle :**

Etant donné que les termes du contrat d'interconnexion doivent être bien défini, la marche globale est la situation la plus raisonnable à considérer. En effet, il ne faudrait pas quitter de vue la vocation de la S.E.I.B. qui est de produire ; ainsi la priorité est donnée à cette production.

Par ailleurs , la puissance disponible en marche avec une seule chaudière est faible pour envisager une interconnexion.

Dans la suite de l'étude, nous considérerons alors une marche globale de l'usine avec les deux chaudières où nous avons une puissance disponible de 1.3 MW.

En marche globale, elle est capable de donner jusqu'à une puissance de 1.3 MW lorsque la deuxième chaudière est réhabilitée. Cette puissance active correspond à une puissance apparente de 1.477 MVA.

En marche globale, elle est capable de donner jusqu'à une puissance de 1.3 MW lorsque la deuxième chaudière est réhabilitée. Cette puissance active correspond à une puissance apparente de 1.477 MVA.

## Chapitre 4

### Dimensionnement du réseau de transfert

#### 4.1 Introduction :

L'objectif de ce chapitre est d'assurer le transfert de la puissance disponible ; calculée dans le chapitre 2 sur le réseau national. Ainsi, nous allons choisir la tension pertinente pour le raccordement et dimensionner les différents câbles et les dispositifs de coupure. Mais, un alternateur en parallèle avec le réseau public qui contient beaucoup d'autres générateurs comporte des risques liés notamment à la sécurité et à la stabilité lors d'un court-circuit sur ce réseau. Cela impose la mise en place d'un dispositif de protection dont le rôle serait de séparer à temps du réseau l'installation de l'usine, pour ne pas compromettre la stabilité de son alimentation par sa propre source et pour éviter d'alimenter le défaut.

#### 4.2 Les contraintes de raccordement :

L'énergie électrique est délivrée sous forme de tensions constituant un système sinusoïdal triphasé. Les paramètres caractéristiques de ce système sont donc les suivants :

- la fréquence
- l'amplitude des trois tensions
- la symétrie du système triphasé, caractérisée par l'égalité des modules des trois tensions et de leurs déphasages relatifs.

Lors du raccordement, la S.E.I.B. doit assurer ces contraintes en assurant l'égalité de ces 3 paramètres entre son réseau et celui de la SENELEC.

#### 4.3 Les solutions d'interconnexion :

##### 4.3.1 solution1 : Utilisation du poste suspendu H61 :

Comme il a été dit dans le chapitre 1, la SENELEC permet de secourir la vinaigrerie par l'intermédiaire d'un transformateur sur poteau H61 de puissance (50 kVA , 30 kV/400 V).

Sa grande simplicité, la rapidité de son exécution et le peu d'espace qu'il occupe en font une solution pour les alimentations rapides à moindre coût.

Une solution envisagée pour l'interconnexion avec le réseau de la SENELEC est l'utilisation de ce poste qui a l'avantage de conserver une ligne déjà existante entre la vinaigrerie et le réseau national. Cependant, le transformateur sur poteau ne peut être alimenté que par un réseau aérien nu en moyenne tension ; il ne doit pas être alimenté par un câble moyenne tension souterrain. Alors que, la ligne existante entre la vinaigrerie et le transformateur H61 est une ligne enterrée.

Par ailleurs, la puissance transitée ne peut pas excéder 50kVA imposée par le transformateur ; ce qui est loin de la puissance disponible à transiter. Ainsi, cette solution est à priori écartée car elle ne permet pas d'atteindre notre objectif qui est de déverser la totalité de la puissance disponible sur le réseau.

#### **4.3.2 Solution 2 : Alimentation à partir du jeu de barres de 6600V :**

C'est la solution la plus simple. A partir du jeu de barres principal de 6600V, on alimente le réseau de la SENELEC à partir d'une ligne tirée directement sur le jeu de barres principal de 6600 V.

Elle a comme avantage d'éviter des modifications sur l'installation existante de l'usine. Les chutes de tension sont moindres par rapport à une connexion sur un des jeu de barres 400 V.

Les seuls inconvénients seront la fabrication d'une nouvelle ligne et d'un nouveau poste pour le passage en 30kV.

#### **4.4 Conclusion partielle :**

La solution retenue est la solution 2 qui demande de moindres modifications sur l'installation existante de l'usine.

#### **4.5 Etude de la solution 2 :**

Deux notions s'imposent à propos du matériel électrique de raccordement au réseau de la SENELEC.

- un rôle majeur de liaison entre les 2 réseaux en minimisant les chutes de tension.
- une fiabilité certaine qui demeure la qualité principale d'un réseau.

##### **4.5.1 Les contraintes de fonctionnement:**

L'interconnexion vient du fait que la S.E.I.B. voudrait fournir au réseau de la SENELEC une certaine puissance tout en conservant le secours provenant du même réseau pour la vinaigrerie.

Ainsi, le schéma proposé pour assurer ces contraintes est celui de la figure 4.

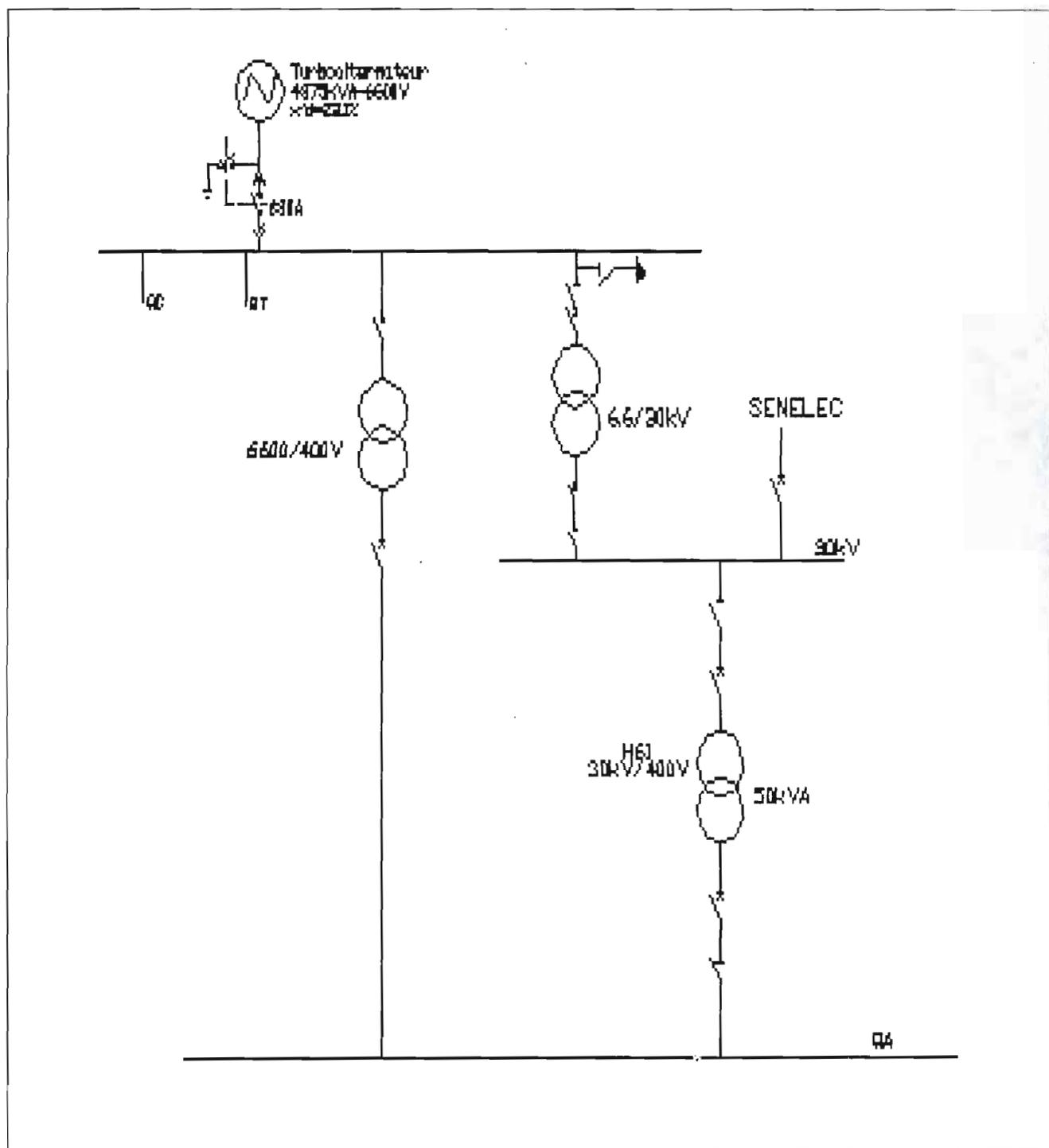


Fig. 4: Schéma de l'interconnexion

#### 4.5.2 Choix du câble de raccordement :

Le raccordement au jeu de barres de 6600 V se fait en souterrain pour des raisons de sécurité jusqu'au poste. La sortie du poste s'effectue en aérien avant la liaison à la ligne de la SENELEC. La température de fonctionnement en souterrain est de 50°C.

La valeur du courant permanent est  $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n}$  donc  $I_n = 129.22$  A

Le courant admissible pour les câbles en Almélec est 150 A se qui est correcte quant au courant à transiter.

La chute de tension maximale imposée sur la ligne MT de la SENELEC est de 7.5%. Pour répondre à ces contraintes nous choisissons des câbles recommandées dans la norme HN.33 S.22.

Les caractéristiques de ce types de câbles sont:

Type au câble : câble tripolaire armé CORONEX MT

Ame en cuivre

Tension nominale 36 kV

Section 35 mm<sup>2</sup>

Epaisseur isolant 8.6 mm

Protection mécanique 2×0.5 mm

Diamètre de l'âme : 7.1 mm

Diamètre isolant : 25.8 mm

Diamètre protection mécanique : 64.2 mm

Diamètre externe : 72.0 mm

Masse théorique conducteur : 970 kg/km

Masse théorique câble : 7080 kg/km

Rayon minimal courbure : 58 cm

Résistance linéique max à 90°C en C.A. : 0.668 Ω/km

Inductance nominale : 0.368 mH/km

Capacité théorique : 0.23 μF/km

Intensité de court-circuit dans l'écran : 950 A pour durée t = 1 s

1250 A pour durée t = 0.5 s

Intensité maximale admissible en régime permanent : 150 A

Le sol est considéré avec une température de 20°C et une résistivité thermique de 100°C cm/W.

Vérification de la chute de tension en régime permanent:

Nous adoptons la section de  $35 \text{ mm}^2$  qui est une section normalisée pour voir si nous restons dans les limites permises pour les chutes.

$$\text{Le moment unitaire est donné par } M_1 = \frac{U_L^2}{10^5(R_1 + X_1 \text{tg}\phi)} = 436 \text{ kW.km}$$

L'utilisation est la SENELEC qui est en bout de ligne, d'où le moment électrique engendré est  $M = P \times l$

$$M = 1.3 \cdot 10^6 \times 0.2 = 260 \text{ kW.km}$$

$$\text{La chute de tension } u = \frac{M}{M_1} = \frac{100Pl}{U_L^2}(R_1 + X_1 \text{tg}\phi)$$

$$u = 0.596 \%$$

Nous en concluons que la section adoptée de  $35 \text{ mm}^2$  est bien adaptée quant à la chute de tension permise et au courant admissible en régime permanent.

$$0.596 \% < 7.5 \% \text{ et } 129.22 \text{ A} < 150 \text{ A}$$

Cette vérification de la chute de tension sur le câble n'est malgré tout pas le facteur prédominant lors du raccordement sur le réseau de la SENELEC. En effet, une des paramètres à respecter étant l'égalité des tensions lors du raccordement, il est impératif de répondre à cette contrainte.

#### 4.5.3 Dispositif de synchronisation :

La synchronisation entre les deux réseaux sera effectuée par l'intermédiaire d'un synchronostat.

#### 4.5.4 Description et emplacement du poste :

Pour l'évacuation correcte de l'énergie sur le réseau 30 kV qui passe tout juste devant l'usine, il faudra prévoir :

- un transformateur triphasé élévateur 6.6/30 kV
- un disjoncteur 6.6 kV en amont
- un disjoncteur 30 kV en aval

Le transformateur, outre son rôle d'élévateur de tension, joue pour le moins quatre rôle :

- Il protège le turboalternateur en amortissant les chocs au cas de mauvaise prise en parallèle.
- Il annule, lorsque l'alternateur présente un défaut à la masse, l'apport du réseau en courant de terre vers la génératrice.

- Il atténue dans le réseau les à-coups provenant de l'alternateur.
- Et enfin, il permet de réduire le supplément de puissance de court-circuit apporté par l'installation de l'usine au réseau MT.

Les deux disjoncteurs protégeant le transformateur permettent d'éviter les répercussions sur le réseau en cas d'incident sur l'installation de l'usine, en assurant la coupure au point de liaison.

Et pour la sécurité lors de l'entretien, un sectionneur de mise à la terre est mise en place.

Le raccordement se fera sur la dérivation 30 kV rentrant dans l'usine tout juste en amont du transformateur suspendu H61 alimentant le départ qui sert de secours à la vinaigrerie.

#### **4.5.4.1 Caractéristiques du transformateur triphasé :**

Le transformateur est couplé en Yd11 imposé par les normes internationales pour les transformateurs élévateurs de tension au départ des centrales électriques.

- Type cabine immergé
- Régime nominal (NF C52-100)
- Puissance assignée  $S_n$  : 2000 kVA
- Tension assignée d'un enroulement  $U_n$  : 30 kV
- Chute de tension 5%
- Prise de réglage  $\pm 2.5\%$
- Courant assigné  $I_n$  129.22A
- Fréquence assignée 50Hz
- Couplage Yd11
- Neutre du secondaire à la terre pour adaptation au régime de la SENELEC
- Raccordement en passe barre
- Mode de refroidissement ONAN
- Classe d'isolation 105°C
- Courant d'enclenchement
  - . côté BT : 16 à  $t = 300$  ms
  - . côté HT : 8 à  $t = 450$  ms

#### **4.5.4.2 Caractéristiques des disjoncteurs de raccordement :**

Les disjoncteurs sont choisis en fonction des caractéristiques du réseau, en respectant les règles de protection des personnes et des matériels.

Sa tension est la tension entre phase et neutre et sa fréquence, celle du réseau c'est à dire 50Hz. Cette dernière a une influence sur le pouvoir de coupure du disjoncteur qui évolue en

sens inverse. Ce pouvoir de coupure doit être supérieur au courant de court-circuit maximal que le disjoncteur peut avoir à couper : soit le courant de court-circuit de l'endroit où il est installé, soit le courant limité par le dispositif placé en amont dans le cas de la filiation.

Le calibre du disjoncteur et celui de son déclencheur est choisi supérieur à l'intensité permanente du courant de l'artère d'interconnexion.

La valeur du courant permanent est  $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} = 129.22 \text{ A}$

- Disjoncteur amont
  - Tension nominale 6.6 kV
  - Nombre de pôles: 3
  - Fréquence 50Hz
  - $P_{cc}$  ( donné par le calcul du courant de court-circuit)
  - Calibre 129.22 A
  - Sectionneur
    - . courant nominal 129.22 A
    - . tension nominal 6.6 kV
    - . tension d'essai
  - Déclencheur
    - . courant nominal 129.22 A
    - . courant de déblocage : 155 à 258 A
- $I_{ccmax} \geq 1500 I_n$

- Disjoncteur aval
  - Tension nominale 30 kV
  - Nombre de pôles: 4
  - Fréquence 50Hz
  - $P_{cc}$  ( donné par le calcul du courant de court-circuit)
  - Calibre 28.43 A
  - Sectionneur
    - . courant nominal 28.43 A
    - . tension nominal 30 kV
    - . tension d'essai
  - Déclencheur

.courant nominal 28.43 A

.courant de déblocage: 34 A à 56.84 A

. $I_{ccmax} \geq 1500I_n$

#### 4.5.4.3 Emplacement du système de comptage :

Un dispositif de comptage de l'énergie transférée est mis en place pour évaluer la puissance transitée sur le réseau de la SENELEC.

Dans le souci de faire un comptage d'autant plus précis que la quantité d'énergie livrée est plus importante, le comptage se fera côté SENELEC pour tenir compte des pertes dans le transformateur.

Les conditions auxquelles doit satisfaire l'emplacement du tableau de comptage sont définies dans la norme NF C13-100. Ainsi, le tableau de comptage est placé le plus près possible des transformateurs de mesure qui lui servent d'intermédiaire avec le réseau.

#### Caractéristiques des transformateurs de mesure :

- classe 0.5
- puissance de précision 15 VA minimum
- tension assignée d'isolement minimum : 36 kV
- fréquence 50Hz
- calibre 20/5 pour comptage en 30 kV
- rapport des transformateurs de tension  $\frac{30.000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}}$

Ces transformateurs de mesure seront vérifiés et éventuellement essayé par la division « Mesures » en ses laboratoires de Dakar avant la mise en place.

#### 4.6 Calcul de défauts :

Les défauts sont des modifications accidentelles affectant le fonctionnement normal d'une installation ou d'un réseau électrique.

Ces défauts sont de deux types :

- Les surtensions
- Les surintensités

Les surtensions internes ne dépendent que du réseau que du réseau lui-même. Elles sont consécutives notamment à des phénomènes de résonance des éléments inductifs et capacitifs du réseaux ou à un retard à l'ouverture des circuits.

Les surtensions d'origine externe comprennent essentiellement les surtensions atmosphériques liées aux orages.

Les surintensités peuvent être brusques ou lentes selon leurs causes. Elles ont pour conséquence un échauffement anormal du matériel et, dans le cas de court-circuit franc, des forces électrodynamiques pouvant mener à la destruction physique.

Les courants de défaut doivent être connus à leur valeur maximale pour le dimensionnement des matériels et à leur valeur minimale pour le calibrage du système de protection.

#### 4.6.1 Calcul du courant de court-circuit aux bornes du disjoncteur général :

##### Valeurs des impédances absolues :

On prend la tension 6600 V comme tension de base  $U_b$ .

$$\text{Générateur } Z_{gb} \quad Z_{gb} = \frac{U_b^2}{S} x_g = 2.29 \Omega$$

$$\text{Transformateur } Z_{Tb} \quad Z_{Tb} = \frac{U_b^2}{S_T} u_{cc} = 1.089 \Omega$$

$$\text{Ligne } Z_{Lb} \quad Z_{Lb} = X_L \left( \frac{U_b}{U} \right)^2 = 0.02 \Omega$$

##### Calcul des courants de court-circuit triphasé :

Ce défaut est constitué par la mise en court-circuit des trois phases. Il est équilibré; le courant  $I_{cc3}$  circulant dans chaque phase est le même.

- Disjoncteur amont:

$$I_{cc3} = \frac{1.1 U_b}{\sqrt{3}(Z_{gb} + Z_{Lb})} \text{ soit } 1.81 \text{ kA}$$

- Disjoncteur aval

$$I_{cc3} = 0.271 \text{ kA}$$

##### Calculs des courants de court-circuit biphasé :

Ce défaut est constitué par un court-circuit entre deux phases. C'est un défaut déséquilibré; la phase saine est parcouru par un courant nul alors que les deux autres phases sont parcourues par des courants égaux et opposés de valeur  $I_{cc2}$ .

- Disjoncteur amont:

$$I_{cc2} = I_{cc2b} \times \frac{U_b}{U_T} \text{ soit } 1.42 \text{ kA}$$

- Disjoncteur aval

$$I_{cc2} = 0.213 \text{ kA}$$

### Défauts à la terre :

La présence d'un courant homopolaire est caractéristique d'un défaut à la terre dans un réseau triphasé équilibré. En effet, le courant homopolaire est égal au tiers de la somme des courants de phases et cette somme ne peut être que nulle en l'absence de liaison à la terre (loi de Kirchhoff) si le neutre n'est pas distribué.

### Puissance de court-circuit :

La connaissance de la puissance de court-circuit permet de choisir le disjoncteur adéquat pour le branchement d'interconnexion.

D'après le calcul des courants de défauts triphasés, nous avons :

$P_{cc} = \sqrt{3} \times U_N \times I_{cc}$  d'où  $P_{cc} = 2.07 \text{ MVA}$  et  $1.41 \text{ MVA}$  respectivement pour le disjoncteur amont et le disjoncteur aval.

### **4.6.2 Défauts sur les alternateurs :**

L'alternateur couplé au réseau national comportant d'autres sources peut fonctionner en moteur si la turbine qui l'entraîne est défaillante. Ce fonctionnement anormal est décelé par un relais à retour de puissance active dont les caractéristiques seront définies dans le chapitre suivant.

Le réglage du seuil de ce relais est fait au dessous de la puissance active absorbée en moteur à vide.

Dans les réseaux urbains et pour le réseau interconnecté, la SENELEC utilise la technique triphasée classique à 3 conducteurs de phase; ce qui ne présente pas d'inconvénients quant à la mise à la terre du neutre éventuel de l'alternateur.

## Chapitre 5

### Choix des dispositifs de protection

Les protections ont pour rôle essentiel de prévenir les installations électriques contre les effets nocifs des conditions anormales survenant dans les réseaux. Il s'agit notamment des surtensions et des surintensités.

La protection est assurée par deux fonctions:

- La détection par des relais alimentés par TC
- La coupure effectuée à la suite d'une détection quelconque par des disjoncteurs.

#### 5.1 Détection des défauts :

La protection se fera par relais de protection. Le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un circuit électrique, avec pour objectif l'élimination des défauts afin de limiter les contraintes électriques (surtensions, surintensités), et les contraintes mécaniques auxquelles ces défauts soumettent les matériels; cette élimination est obtenue en isolant la plus petite partie possible du réseau où est apparu un défaut.

#### 5.2 Raccordement des relais :

Le début de la chaîne de protection est constitué par les capteurs des grandeurs électriques, c'est à dire les transformateurs de courant et les transformateurs de tension.

Les relais de protection sont situés entre les réducteurs de mesure qui leur fournissent les grandeurs à surveiller.

##### 5.2.1 Protection contre les surcharges et les surintensités :

Un relais de surcharge ampérimétrique à temps constant, réglé à  $1.2 I_n$  est placé sur le départ de la SENELEC pour la protection contre les surcharges.

Ce relais permet avec un réglage adéquat de la temporisation d'obtenir une ouverture du départ de la SENELEC sans porter atteinte à l'installation de l'usine.

Le temps de réglage doit être inférieur au temps de réglage du relais en amont du jeu de barres de 6600 V.

L'intensité de réglage est fixée à  $1.2 I_n$  soit 154 A.

La protection contre les surintensités est assurée par relais à maximum de courant à temporisation indépendante, réglé à  $2I_n$  et à 0.1s.

Ces types de relais permettent d'obtenir un retard par rapport au moment d'alimentation de leur bobine.

### 5.2.2 La protection contre le retour de puissance :

Quand l'alternateur fait l'objet d'une panne d'énergie motrice, il peut être alimenté par le réseau de la SENELEC et ainsi fonctionner en moteur synchrone.

Cette marche en moteur est détectée par un relais de retour de puissance avec un seuil entre 1 à 10% de la puissance de l'alternateur soit entre 3.5 kW et 35 kW.

Lorsque les disjoncteurs ne s'ouvrent pas assez rapidement pour permettre le secours unique de la vinaigrerie le cas échéant ce même relais doit encore détecter cette situation .

La connexion de la SEIB n'est normalement pas prévu pour renvoyer de l'énergie vers le réseau de distribution ; un relais directionnel de courant ou d'énergie active est utilisé à cet effet pour forcer le sens du flux énergétique. Ce relais doit assurer la déconnexion en instantané entre le réseau public et celui de la SEIB dès que le sens du courant ou de l'énergie va de la SENELEC.

### 5.2.3 Protection contre les variations de tension :

Ces variations de tension sont détectées par :

 3 relais à minimum de tension entre phase réglés à  $0.8 U_n$ , pour les défauts polyphasés et les marches en réseau séparé à une tension trop basse.

 1 relais à maximum de tension réglé à  $1.2 U_n$ , pour les marches en réseau séparé à une tension trop élevée.

### 5.2.4 Relais de surveillance de la fréquence :

La surveillance de l'alimentation en énergie électrique implique également la détection des baisses et excès de fréquence. En effet, un déficit de la production d'énergie, par rapport à la consommation, se traduit par une chute de fréquence.

Par ailleurs, la marche à vide des machines provoque une survitesse donc une augmentation de la fréquence.

Ce défaut est détecté par 1 relais à minimum et maximum de fréquence.

## Chapitre 6

### Etude économique

L'étude économique est une étape très importante dans un projet. Ainsi, après l'étude technique, il nous revient de déterminer la rentabilité financière du projet.

Dans un premier temps, nous calculerons le délai de recouvrement des capitaux permettant de ressortir le risque encouru.

Dans une seconde étape, le calcul de la valeur actuelle nette donnera des informations sur l'argent éventuel amené par le projet.

#### 6.1 Calcul de l'investissement I :

Il faut noter tout d'abord que le prix du matériel électrique varie très souvent en fonction de leurs caractéristiques mais aussi quelquefois des constructeurs.

L'investissement I englobe les dépenses pour l'achat de matériel majoré de 30% pour tenir compte de la main d'œuvre.

La réparation de la deuxième chaudière estimée à 700.000.000 FCFA ne sera pas prise en compte dans les investissements à engager. En effet, cette réparation peut se faire indépendamment de l'application du projet. Cela n'écarte néanmoins pas que la réparation de cette chaudière peut être accélérée en vue d'une éventuelle vente d'énergie.

Sans vouloir donner un détail du matériel à acheter, nous présentons une liste de l'ensemble du matériel dont le prix influe beaucoup sur les investissements.

L'étude technique déjà faite, nous pouvons maintenant passer à une évaluation financière du projet afin de déterminer le prix de vente du kWh à la SENELEC.

Pour cela, l'ensemble des dépenses entreprises doivent être recensées que ce soit de l'achat de matériels ou des travaux. un devis sera présenté dans ce cadre.

0.5 km de câble à 1000 FCFA le m soit 50.000 FCFA

1 Transformateur au puissance 6.6/30 kV : 15.000.000 FCFA

1 Disjoncteur 30 kV : 5.000.000 FCFA

1 Disjoncteur 6600 V : 5.000.000 FCFA

1 Compteur

1 Relais de retour de puissance

3 relais maximum de tension

1 relais minimum de tension

1 relais maxi-mini de fréquence

2 relais ampérimétriques

5 sectionneurs : 1.500.000 FCFA

1 sectionneur de mise à la terre : 1.500.000 FCFA

1 Jeu de barres .

Nous considérons dans les calcul un investissement majoré à une valeur de 50.000.000 FCFA étant donné que nous ne disposons pas de tous les prix.

En prenant 30% pour la main d'œuvre incluant la pose souterraine, on obtient  $I = 65.000.000$  FCFA.

## 6.2 Calcul du délai de recouvrement :

Le délai de recouvrement des capitaux représente la durée de retour des investissements.

Il est donné par  $DRC (P_v - C) \times P = I$

$P_v$  est le prix de vente du kWh à la SENELEC.

$P_v$  doit être choisi en prenant en compte le prix moyen auquel vend la SENELEC soit 73.7 FCFA/ kWh HT durant la période 200-2001.

$P$  est la puissance déversée dans le réseau; elle correspond alors à une valeur de 1.3 MW.

$C$  est le coût du kWh est calculé en considérant que les chaudières fonctionnent uniquement avec de la coque d'arachide.

D'après un projet de fin d'études portant sur "L'étude de l'interconnexion du réseau de la S.E.I.L. avec celui de la SENELEC" [2], il était ressorti un coût de la coque de 16.5 F/kWh pour une production de vapeur à 25t/h , 26 bars et 420°C.

A défaut d'avoir des informations précises sur la production à la production à la SEIB et étant donné que les caractéristiques de la vapeur ne changent pas considérablement, nous adoptons un coût majoré de 20F/kWh.

A ce coût de la coque s'ajoute un coût d'entretien et d'exploitation annuel estimé à 2% des investissements  $I$ .

$$\text{Finalement } C = 20 \text{ FCFA} + \frac{2\%I}{(360 \times 24) \times P} = 20.115 \text{ FCFA.}$$

Nous obtenons le tableau suivant :

Investissement (FCFA)	Coût du kWh (FCFA)	Prix de vente du kWh (FCFA)	DRC (ans)
65.000.000	20.115	30	7 mois 6 jours
65.000.000	20.115	40	3 mois 15 jours

65.000.000	20.115	50	2 mois 22 jours
------------	--------	----	-----------------

Ces valeurs correspondent à une fourniture d'énergie continue. La définition exacte du contrat de fourniture d'énergie permettra de fixer les heures de fourniture.

### 6.3 Calcul de la valeur actuelle nette VAN :

La VAN est calculée en connaissant la valeur des recettes et des dépenses actualisées. Elle donnée par la formule suivante :

$$VAN = \text{Recettes actualisées} - \text{Dépenses actualisées} - I$$

L'actualisation des valeurs se fait en utilisant un taux d'actualisation de 13 %.

Les recettes correspondent aux entrées d'argent à partir des vente, et les dépenses aux coûts d'exploitation et d'entretien.

L'investissement correspond toujours à une valeur der 65.000.000 FCFA.

La VAN est donnée par l'expression suivante :

$VAN = (Pv - C) (24 \times 360) \times [(1 - 1.13^{-n})/0.13] - 65.000.000$  qui permet d'obtenir le tableau suivant:

Nombre d'années	C(FCFA)	Pv (FCFA)	VAN (FCFA)
1	20.115	50	33.255.200
2	20.115	50	120.207.000
3	20.115	50	197.155.000

### 6.4 Conclusion partielle :

Malgré que les prix donnés ne soient pas très précises, cette analyse financière donne un aperçu sur les retours financiers du projet. Il s'ajoute à cela l'aspect économique lié à la participation à combler le déficit énergétique du Sénégal.

## Chapitre 7

### Conclusion et recommandations

#### 7.1 Conclusion :

Dans ce travail, nous sommes partis du schéma électrique de l'installation de la S.E.I.B. pour calculer la puissance consommée. Il en est sorti que la S.E.I.B. disposait effectivement d'un surplus de puissance qui peut être déversé sur le réseau de la SENELEC.

La connaissance de ce surplus a amené à dimensionner le réseau de transfert en tenant compte des contraintes technico-économiques. En effet, la conservation de la ligne de secours SENELEC pour la vinaigrierie et la considération de marche ou non de certains ateliers sont des aspects de l'étude qui lui confèrent le plus de difficulté. Nous avons ainsi fait les choix nécessaires en rapport avec les priorités de production. Dans ce cadre, le choix de la protection n'est pas évident car il doit se faire par coordination de plusieurs paramètres tels que la durée de temporisation autorisée et le régime de neutre.

Les indications faites pour le calcul du délai de recouvrement permettront sans doute d'évaluer la rentabilité du projet dès que les coûts pour le calcul de l'investissement seront obtenus.

A la fin de ce travail, nous nous proposons de donner les recommandations suivantes:

#### 7.2 Recommandations :

- Contacter la SENELEC pour discuter d'une manière précise des modalités de raccordement en collaboration avec la Commission de Régulation du Secteur de l'Electricité (C.R.S.E.).
- Envisager un financement de la réparation de la deuxième chaudière par la SENELEC.
- Fournir de préférence l'énergie pendant la nuit ou pendant les grands événements tels que le magal de Touba étant donné qu'avec le démarrage de Manantali, la SENELEC a réussi à combler une bonne partie du déficit qu'elle avait.
- Penser à une formation du personnel de la SONACOS E.I.B. du fait des multiples exigences sur le réseau de la SENELEC.
- Exploiter la possibilité de fournir plus d'énergie à moindre coût dans le cas de la marche partielle de l'usine. Il faudrait alors se fixer un minimum d'années avant le redémarrage des ateliers, grands consommateurs d'énergie telle que la trituration.

## Bibliographie

- Site : Fédération Professionnelle des Producteurs et distributeurs d'Electricité de Belgique
- Théodore WILDI : Electro -Technique (1978)  
Quatrième impression – novembre 1983
- Les installations électriques en moyenne tension  
J. BOULOUVARD. Entreprise moderne d'édition
- Guide de l'ingénierie électrique des réseaux internes d'usine,  
Technique et Documentation
- Techniques de l'ingénieur, traité Génie électrique D4
- Site : [allafrica.com](http://allafrica.com) (information SENELEC)
- Les réseaux d'énergie électrique – Les aspects techniques du service  
Tome 1 – René PELISSIER
- Transport et distribution d'énergie électrique  
Xuan-Dai DO – Ecole polytechnique de Montréal  
Septembre 1983 – 2<sup>e</sup> édition
- Cours de réseaux, Cheikh WADE – Ecole Supérieure Polytechnique (2002-2003)
- Rapport de P.F.E., Moustapha MBAYE - E.S.P. centre de Thiès, (1986-1987) [1]
- Rapport de P.F.E., Abdoullahi KANE – E.S.P. centre de Thiès, (1998-1999) [2]

## Annexe 2

### Caractéristiques électriques des récepteurs et sources

#### Alternateurs :

##### turboalternateur

Constructeur : JEUMONT SCHNEIDER

Type : AC-710-L4

Service : Continu

Protection : IP44

Echauffement : StB RtF

Vitesse d'emballement : 1800 tr/mn

Mode d'excitation : AERT

Classe d'isolement : stator F – rotor F

Nombre de phase : 3

Couplage :  $\Delta$ -Y

Tension : 6600 V

Courant : 383 A

Puissance apparente : 4375 kVA

$\cos\varphi = 0.8$

Vitesse : 1500 tr/mn

Fréquence : 50Hz

Tension d'excitation : 128 V

Courant d'excitation : 104 A

## Groupes électrogènes

MAN II :

Constructeur : JEUMONT SCHNEIDER

Type :

Service :

Protection :

Echauffement :

Vitesse d'emballement : 660 tr/mn

Mode d'excitation :

Classe d'isolement : stator B – rotor B

Nombre de phase : 3

Couplage :  $\Delta$ -Y

Tension : 220 V

Courant : 2890 A

Puissance apparente : 1100 kVA

$\text{Cos}\varphi = 0.8$

Vitesse : 500 tr/mn

Fréquence : 50Hz

Tension d'excitation : 88 V

Courant d'excitation : 110 A

Moteur Diesel : 1275 CV

500 tr/mn

**Transformateurs**MAN II :

Numéro : G 64300 – M

Livré en: 1979

Puissance nominale : 1250 kVA

Fréquence : 50Hz

Symbole de couplage : Y d 11

Tension de court- circuit : 5.90 %

Liquide isolant : Huile

Mode de refroidissement : ONAN

Haute tension      Basse tension

	22	2.5
	60	
Tension nominale	6765	
	6600	214.5
	6435	
Courant nominal (A)	109.4	3365

Caractéristiques des disjoncteurs

Désignation	Type	Déclencheurs		calibre fusibles associés	Pdc de l'association (kA)
		Irth (A)	Irm (A)		
Q1C	DSA1	3200		-	85
Q2C	H500	D320		1600/3200	50
Q3C	H500	D320		1600/3200	50
Q4C	H500	D250		1250/2500	50
Q5C	H500	D320		1600/3200	50
Q6C	H100	-	10/15	-	50
Q7C	H100	-	25/40	-	50
Q8C	H250	A200		-	50
Q9C	N100H	-	40/60	-	50
Q10C	H500	D400	400	2000/4000	50
Q11C	N100H	-	24/40	-	50
Q12C	H500G	G500	500	1000/2000	50
Q13C	H250	A200		-	50
Q14C	H250	A125		-	50
Q15C	H250	A160		-	50
Q16C	H250	A200		-	50
Q17C	N100H	-	25/40	80	50
Q18C	N100H	-	25/40	40	50

Désignation	Type	Déclencheurs			calibre fusibles associés	Pdc de l'association (kA)
			Irth (A)	Irm (A)		
Q19C	H500	D320	320	1600/3200	-	50
Q20C	H500	D400	400	2000/4000	-	50
Q21C	H500	G320	320	640/1280	-	50
Q22C	H250	G200	200	500/1000	-	50
Q23C	N100H	-	55/80	-	125	50
Q24C	H250	A160			-	50
Q25C	N100H	-	25/40	-	80	50
Q29C	N100H	-	15/25	-	40	50
Q30C						50
Q31C	N100H	-	.10/15	-	40	50
Q32C	N100H	-	.10/15	-	40	50
Q1T	DSA1	3200			-	85
Q2T	C1250	D630	630	3150/6300	-	50
Q3T	H630G	G630	630	1250/2500		50
Q4T	H630G	G630	630	1250/2500	-	50
Q5T	C1250G	G630	630	1250/2500	-	50
Q6T	H250	A200	200			50
Q8T	H250	A200	200			50
Q9T	H250	A125	125		-	50
Q10T	N100H	-	40/60		80	50

Désignation	Type	Déclencheurs			calibre fusibles associés	Pdc de l'association (kA)
			Irth (A)	Irm (A)		
Q11T	H250	A125	125		-	50
Q12T	N100H	-	40/60		80	50
Q1A	DSA1	2000			-	63
Q2A	N100H	-	25/40		80	50
Q3A	H500	D400	400	2000/4000	-	50
Q4A	H250	A200	200		-	50
Q5A	H250	A125	125		-	50
Q6A	N100H	-	15/25	-	40	50
Q7A	N100H	-	25/40	-	80	50
Q8A	N100H	-	25/40	-	80	50
Q9A	N100H	-	40/60	-	80	50
Q10A	N100H	-	10/15	-	40	50
Q11A	H630G	G630	630	1250/2500	-	50
Q12A	H500G	G400	400	800/1600-	-	50
Q15A	N100H	-	25/40	-	80	50
Q13A	H250	A200	200		-	50

## Annexe 2

### Extension au niveau des différents ateliers

#### Départ ANNEXES

- Acétator P = 47 kW
- Dosette Vinaigre P = 4 kW
- Dosette Ninal P = 12 kW
- Chaudière Wanson 90 P = 45 kW
- Service vente (climatiseurs) P = 10 kW

#### Ateliers

- Fabrication Vinaigre
- Fabrication Vinaigre
- Embouteillage huile
- Tonnellerie
- Tonnellerie

#### Départ TRITURATION

- Chaudière Vaporex1000 P = 5.3 kW
- Compresseurs + sécheurs P = 270 kW

- Désodo Raffinage
- Trituration

#### Départ CENTRALE

- Chaudière Wanson 700 P = 65 kW

- Evaporation

