

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

Département Génie Electromécanique



Gm. 0522

## PROJET DE FIN D'ETUDES

(EN VUE D'OBTENIR LE DIPLOME D'INGENIEUR DE  
CONCEPTION)

Titre:

"Possibilités du Remplacement du Contrat  
d'Abonnement de la Sénébec par  
l'Implantation d'une Centrale électrique au  
niveau de la mini-acierie de SOSETRA

Auteur: ~~Mohamed~~ Mohamed Lamine  
Mbaye

Date: Juin 98

Directeur: Omar Diallo  
Co-Directeur: Banda Hadye  
Cheick Wade

## REMERCIEMENTS

J'aimerais exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail : à ceux toutes ces personnes sans qui ce travail n'aurait jamais abouti :

Mr Oumar Diallo Ing M.Sc .A , pour l'appui et l'encadrement et à travers sa personne remercier tout le personnel de la SOSETRA

J'aimerais aussi exprimer ma gratitude à mon directeur interne

Mr Paul Demba professeur à l'EPT

Je remercierais enfin toutes ces personnes ,il s'agit de :

Mr Niang Alioune à la SOSETRA

Mr Diop Mohamed à MATFORCE

A tous ceux que j'ai oublié de citer.

## SOMMAIRE

Le but de ce travail est d'étudier les possibilités du remplacement du contrat d'abonnement à la SENELEC , par l'implantation d'une centrale électrique au niveau de la mini aciérie de la SOSETRA.

En effet , la construction de la nouvelle unité de production a nécessité une puissance installée de plus de 10MW et une consommation estimée à près de 3 GWh par mois ,lorsque les capacités de production seront atteintes. Cette consommation est évaluée à plus de 150.000.000'f CFA par mois .

Il s'agira donc ,de trouver un compromis technico-économique avec une solution ,qui pourrait satisfaire nos deux principaux objectifs à savoir :

1. La réduction des coûts de l'énergie
2. Une adaptation de la centrale autonome à la sous station actuellement en place.

Pour ce qui est du premier objectif , l'application des techniques d'évaluation des projets d'ingénierie nous permettra de comparer nos différentes solutions. Quant au deuxième objectif à savoir la faisabilité technique , une étude de praticabilité suivie d'une étude théorique nous ont permis de mieux classer les solutions .

Notre étude a révélé que le remplacement par une centrale DIESEL est parmi celles étudiées la plus rentable au pont de vue économique ,et elle présente aussi une fiabilité technique satisfaisante .

Dans nos conclusions nous avons retenu la solution de remplacement par une centrale DIESEL, et l'actuel contrat avec la SENELEC sera annulé, pour ne plus payer cette même valeur de prime fixe ,et un nouveau contrat de secours sera signé avec toujours la SENELEC.

## TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX-----	i
LISTES DES FIGURES-----	ii
LITES DES SYMBOLES-----	iii
INTRODUCTON-----	1
CHAPITRE 1 PRESENTATION DE LA SOSETRA-----	3
1 - 1 ) présentation de la SOSETRA , site de BEL AIR-----	3
1 - 2) présentation du process de fabrication de la mini aciérie de MBAO-----	4
CHAPITRE 2 ETUDE DE PRATICABILITE-----	6
2 - 1 )Praticabilité et facteurs physiques et techniques-----	6
2 - 2 ) praticabilité et facteurs économiques-----	6
2 - 3 )praticabilité et facteurs de temps-----	7
2 - 4 ) praticabilité et facteurs environnementaux-----	7
CHAPITRE 3 EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES-----	8
3 - 1 ) Etablissement du bilan de puissance et des consommations spécifiques-----	8
3 - 1 - 1 ) le four de fusion-----	10
3 - 1 - 2 )machine à coulée continue en opération-----	11
3 - 1 - 3 ) machine à coulée continue en attente-----	11
3 - 1 - 4 ) Laminoir 6 et 8-----	12
3 - 1 - 5 ) Laminage diamètres moyens (10 et 12)-----	14
3 - 1 - 6 ) Laminage grand diamètre (14,16,20)-----	15
3 - 1 - 7 ) Laminage des profilés et des diamètres supérieurs -16	
3 - 1 - 8 ) Atelier de fabrication mécanique-----	16
3 - 1 - 9 ) les autres charges-----	17
3 - 2 ) Estimation des consommations spécifiques à court terme----	18
3 - 3 ) Estimations des coûts énergétiques-----	25
CHAPITRE 4 ETUDE TECHNIQUE DES DIFFERENTES SOLUTIONS-----	27
4 - 1 ) étude de la centrale DIESEL-----	28

4 - 1 - 1 )schéma de principe-----	28
4 - 1 - 2 )Principe de fonctionnement-----	28
4 - 1 - 3 )Composantes d'une centrale DIESEL-----	29
4 - 2 ) étude de la turbine à gaz-----	38
4 - 2 - 1 ) Schéma de principe -----	38
4 - 2 - 2 ) principe de fonctionnement d'une Turbine à gaz----	38
4 - 2 - 3 )les composantes d' une turbine à gaz-----	41
CHAPITRE 5 EVALUTION DE LA SOLUTION ACTUELLE -----	42
5 -1 ) présentation de la sous station électrique--7-----	42
5 - 2 )Evaluation des charges de la sous station électrique-----	45
5 - 2 - 1 ) L'investissement initial-----	45
5 - 2 - 2 ) Les coûts d'entretien et de maintenance-----	45
5 - 2 - 3 ) les charges du personnel du poste-----	46
5 - 2 - 4 ) Le coût de l'électricité-----	46
5 - 2 - 5) calcul du prix de revient du kWh-----	46
CHAPITRE 6 EVALUATION DE LA SOLUTION CENTRALE DIESEL -----	47
6 - 1 ) Investissement initial-----	47
6 - 2 )Les coûts d'exploitation -----	49
6 - 3 ) Calcul de l'amortissement mensuel-----	50
6 - 4 ) coût d'entretien et de réparation-----	51
6 - 5) Les charges du personnel-----	52
6 - 6) calcul du prix de revient du kWh-----	53
CHAPITRE 7 DISCUSSION SUR LA SOLUTION CENTRALE	
TURBINE A GAZ-----	54
CHAPITRE 8 ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES SOLUTIONS----	55
8 - 1 ) Délai de récupération du capital ou DRC-----	55
8 - 2 ) la valeur actuelle nette du projet ( VAN )-----	58
8 - 3 ) Calcul du taux de rendement interne du projet ( TRI )-----	59
CHAPITRE 9 PROPOSITION DE CONFIGURATIONS CENTRALE	
DIESEL SOUS STATION ELECTRIQUE-----	60
9 - 1 ) étude technique du Poste-----	60
9 - 1 - 1 ) Sécurité de fonctionnement d'une installation-----	61
9 - 1- 2 ) Rôle d'un système de protection-----	61

## LISTE DES TABLEAUX

3 - 1 ) bilan de puissance du four	10
3 - 2 ) bilan de puissance de la machine à coulée continue en opération	11
3 - 3 ) bilan de puissance de la machine à coulée continue en attente	11
3 - 4) bilan de puissance laminage petit diamètre	12
3 - 5) bilan de puissance laminage moyen diamètre	14
3 - 6) bilan de puissance laminage gros diamètre	15
3 - 7) charge au niveau de l'atelier fabrication mécanique	17
3 - 8) charges auxiliaires	17
3 - 9)récapitulatif des puissances maximales et des consommations par tonne	17
3 - 10 )estimation de la production et de la consommation durant le 1 <sup>er</sup> mois	18
3 - 11 )estimation de la production et de la consommation durant le 2 <sup>ième</sup> mois	19
3 - 12 )estimation de la production et de la consommation durant le 3 <sup>ième</sup> mois	19
3 - 13 )estimation de la production et de la consommation durant le 4 <sup>ième</sup> mois	19
3 - 14)estimation de la production et de la consommation durant le 5 <sup>ième</sup> mois	20

3 - 15 )estimation de la production et de la consommation durant le 6 <sup>ième</sup> mois	20
3 - 16)estimation de la production et de la consommation durant le 7 <sup>ième</sup> mois	20
3 - 17 )estimation de la production et de la consommation durant le 8 <sup>ième</sup> mois	21
3 - 18)estimation de la production et de la consommation durant le 9 <sup>ième</sup> mois	21
3 - 19)estimation de la production et de la consommation durant le 10 <sup>ième</sup> mois	21
3 - 20 )estimation de la production et de la consommation durant le 11 <sup>ième</sup> mois	22
3 - 21 )estimation de la production et de la consommation durant le 12 <sup>ième</sup> mois	23
3 - 22 )tarif hors taxes appliqué par la SENELEC	25
3 - 23) tableau des coûts énergétique avec la SENELEC	25
5 - 1) investissement initial de la sous station électrique	45
5 - 2) tableau récapitulatif des coûts de la SSE	46
6 - 1 ) liste des équipements vendus avec les groupes	47
6 - 2 ) Tableau récapitulatif des coût d'investissement dans Le cas d'une centrale DIESEL	51
6 - 3 )tableau des coûts d'entretien et de réparation	51

6 - 3 ) tableau récapitulatif des coûts d'exploitation de la centrale DIESEL	53
8 - 1) tableau des coûts d'exploitation des options et du DRC	56

9 - 1 - 3 )	Circuit de déclenchement-----	61
9 - 1 - 4 )	Qualités d'un système de protection-----	62
9 - 1 - 5 )	Structure d'un système de protection indirect..-----	63
9 - 1 - 5 - 1 )	Réducteur de mesure-----	63
9 - 1 - 5 - 2 )	Relais de protection-----	63
9 - 2 )	implantation physique de la centrale-----	64
9- 3 )	configuration connexion sur 90 KV-----	65
9 - 4 )	configuration branchement sur 11KV-----	67
9 - 5 )	configuration sortie centrale à 11.000 V-----	69
CONCLUSIONS- RECOMMANDATIONS-----		70
REFERENCES ET ANNEXES		

## LISTE DES FIGURES

3 - 1	évolution de la puissance durant les 12 premiers mois	23
3 - 2	évolution des consommations énergétiques durant les 12 premiers mois	24
4 - 1	schéma de principe d'une centrale DIESEL	28
4 - 2	schéma d'une de refroidissement	33
4 - 3	schéma d'un transformateur triphasé	34
4 - 4	schéma d'un alternateur triphasé	36
4 - 5	schéma de principe de la turbine à gaz	38
4 - 6	diagramme thermodynamique décrit par une turbine à gaz	40
5 - 1	configuration de la station électrique	44
7 - 1	évolution des coûts de l'énergie selon la solution	57
9 - 1	schéma d'implantation physique de la centrale	64
9 - 2	schéma configuration N° 1 connexion sur 90KV	66
9 - 3	schéma configuration N°2	68
9 - 4	schéma configuration N°3	69

## **Introduction**

La SOSETRA est une entreprise qui comporte dans son unité de production de MBAO des équipements à grande consommation électrique, tels qu'un four à induction, des laminoirs, une machine à coulée continue etc ...

Cette nouvelle unité équivaut à une puissance installée de plus de 10 mégawatt (MW) et une consommation d'électricité estimée à environ près de trois gigawattheures (3 GWh) par mois.

Pour s'approvisionner en électricité la SOSETRA a signé un contrat d'abonnement avec la SENELEC. L'usine est actuellement connectée au réseau de 90.000 Volts de la SENELEC par le biais d'une sous station électrique qui fait le dispatching de l'énergie dans la plate-forme. En effet la sous station électrique a permis avec un investissement moyen de l'ordre de 750 millions de francs CFA de s'approvisionner en électricité. L'évaluation des besoins énergétiques a révélé que la consommation électrique est estimée à plus de cent cinquante millions (150.000.000 FCFA) par mois, lorsque les objectifs de production seront atteints. Le coût très élevé de l'électricité est essentiellement dû au paiement de la prime fixe basée sur la puissance maximale appelée à la période concernée, mais aussi du prix du kilowattheure ( kWh ).

Pour remédier à cela, nous nous proposons de trouver un moyen de production d'énergie qui permette de répondre à la demande de puissance et présentant un coût d'exploitation meilleur que la situation actuelle. La meilleure solution sera sans doute celle qui va intégrer l'actuel poste de livraison et qui n'engendrera point de profondes modifications de ce dernier. Ce rapport porte sur l'étude des possibilités de remplacement de l'abonnement à la SENELEC, par l'implantation d'une centrale autonome. Nous avons abordé ce projet en faisant une présentation de la SOSETRA. En deuxième partie nous présentons l'étude de Praticabilité qui consiste à jauger la faisabilité du projet.

Cette partie contient entre autres des études sur :

- la praticabilité et les aspects physiques et techniques
- la praticabilité et les aspects économiques
- la praticabilité et les aspects de temps

- la praticabilité et les aspects environnementaux

Dans la troisième partie nous avons réévalué les besoins énergétiques et les charges de la sous station électrique. Elle nous a permis de mesurer les consommations énergétiques par produits et mais aussi de faire des projections sur la consommation totale lorsque les objectifs de production seront atteints.

La quatrième partie quant à elle présente l'étude technique des différentes solutions préconisées à savoir :

- le contrat de la SENELEC
- les groupes DIESEL
- la turbine à gaz

La cinquième partie fait l'évaluation de la solution actuelle .

La sixième partie est consacrée à l'évaluation de la solution centrale DIESEL. La septième partie présente une discussion sur la solution turbine à gaz .

La huitième quant à elle fait une étude comparative des différentes .La neuvième partie fera une étude d'implantation de la solution retenue.

### **1 - 1 ) présentation de la SOSETRA , site de BEL AIR**

Née seulement il y a six (6) années des anciennes tréfileries de Dakar gérées à l'époque par des étrangers, la SOSETRA est devenue un fleuron de l'industrie sénégalaise, un leader du secteur métallurgique avec une couverture de plus de 80 % du marché sénégalais et des exportations dans les différents pays de l'UEMOA.

Elle constitue l'illustration vivante de l'existence d'un génie sénégalais par sa réussite exemplaire dans un environnement fortement concurrentiel. La SOSETRA est avant tout un défi de l'histoire mais aussi, un pari économique à des opérateurs privés nationaux.

Elle met à la disposition de sa clientèle une gamme variée de treize produits que sont :

- le fer à béton, il constitue le principal produit de l'entreprise et est obtenu à partir du fil machine qui sera trié, décalaminé, tréfilé et cranté avant d'être coupé en longueur standard de douze mètres.
- le fil clair obtenu par réduction de diamètre s'effectuant sur des bancs de treillage et cela à partir du fil machine.
- le fil recuit qui est le résultat d'une nouvelle réduction de diamètre et d'un passage dans un four à une température de 800°C en atmosphère normale.
- le fil galvanisé est tissé pour donner des grillages galvanisés simples de mailles de quarante cinq (45).
- les pointes qui sont obtenues à partir du fil clair
- les tiges filetées issues toujours du fil clair vont ensuite subir un traitement chimique pour galvanisation .
- les treillis soudés sont confectionnés en rouleaux standard de 50 m \* 2.40m et sont prisés dans le milieu de la construction civile.
- les fils barbelés ou ronces artificielles sont aussi obtenues à partir du fil galvanisé.
- le fer carré qui a été longtemps importé est aujourd'hui fabriqué par la SOSETRA et satisfait entièrement les besoins de la menuiserie métallique.
- les baguettes de soudure maintenant à BEL AIR.
- le fil tapade qui est le résultat d'un tréfilage sur l'acier galvanisé
- enfin le fil litier

Avec l'implantation de la nouvelle unité en cours d'installation à MBAO la SOSETPA va augmenter considérablement sa capacité de production.

L'unité permettra de baisser fortement les coûts de production et par la même occasion d'augmenter les rendements de production

### **1 - 2) présentation du process de fabrication de la mini aciérie de MBAO**

L'unité comportera essentiellement :

- Une sous station pour l'approvisionnement en énergie électrique
- 2 fours à induction servant à la fusion de la ferraille
- Une machine à coulée continue pour la coulée du métal liquide obtenu au four
- Les stands de laminage où seront réalisés les différents produits

S'agissant principalement d'une mini aciérie de récupération, la ferraille sera composée de rébus d'origine assez variée qui devront être triées et minutieusement classées. La teneur en carbone sera le principal critère de sélection. Les aciers concernés seront donc ceux à faible et moyenne teneur en carbone ou acier de construction (EN 275). D'autres éléments additionnels seront ajoutés à l'alliage pour obtenir les caractéristiques mécaniques voulues. La ferraille sera alors compactée et ensuite découpée et entreposée. La ferraille présélectionnée sera chargée de manière progressive dans le four jusqu'à l'obtention de la charge nominale. Pendant et à la fin de la fusion, le laitier est soigneusement enlevé à la surface du liquide bouillant avant que des prises d'échantillon ne soient effectuées, le bain liquide en cours de fusion est alors analysé pour en corriger la composition chimique. Un thermocouple placé à l'intérieur par intervalle de temps régulier permet de suivre la température du métal et de faire déverser le contenu du four dans le pot de coulée si la température est proche de 1680°C. Les pots de coulée seront transportés par un pont roulant jusqu'au niveau de la machine à coulée continue où se fera la coulée. Pendant la coulée, le répartiteur sera installé dans le chariot et la buse de coulée bien centrée sur la lingotière. Le métal liquide passe dans un moule avant d'en sortir solidifié grâce à un refroidissement intense s'effectuant à ce niveau à l'aide d'eau. Le lingot d'acier obtenu sera encore pulvérisé d'eau à sa sortie

du moule par des gicleurs avant d'être redressé ensuite coupé en longueur désirée.

Ces lingots seront réchauffés au niveau du four de préchauffage avant d'effectuer leur premier passage au niveau du laminoir brut. Ensuite s'en suivra différents stands de laminage qui donneront des produits assez variés que sont le fer à béton ,le fil machine ,les cornières les fers à U et charpentes....

## **Introduction**

**1 - 1 ) présentation de la SOSETRA , site de BEL AIR**

**1 - 2) présentation du process de fabrication de la mini aciérie de MBAO**

**2 - 1 )Praticabilité et facteurs physiques et techniques**

**2 - 2 ) praticabilité et facteurs économiques**

**2 - 3 )Praticabilité et facteurs de temps**

**2 - 4 ) praticabilité et facteurs environnementaux**

**3 - 1 ) Etablissement du bilan de puissance et des consommations spécifiques**

**3 - 1 - 1 ) le four de fusion**

**3 - 1 - 2 )machine à coulée continue en opération**

**3 - 1 - 3 ) machine à coulée continue en attente**

**3 - 1 - 4 ) Laminoir 6 et 8**

**3 - 1 - 5 ) Laminage diamètres moyens (10 et 12)**

**3 - 1 - 6 ) Laminage grand diamètre (14,16,20)**

**3 - 1 - 7 ) Laminage des profilés et des diamètres supérieurs**

**3 - 1 - 8 ) Atelier de fabrication mécanique**

**3 - 1 - 9 ) les autres charges**

**3 - 2 ) Estimation des consommations spécifiques à court terme**

**3 - 3 ) Estimations des coûts énergétiques**

**4 - 1 ) étude de la centrale DIESEL**

**4 - 1 - 1 )schéma de principe**

**4 - 1 - 2 )Principe de fonctionnement**

**4 - 1 - 3 )Composantes d'une centrale DIESEL**

**4 - 2 ) ETUDE DE LA TURBINE A GAZ**

**4 - 2 - 1 ) Schéma de principe**

**4 - 2 - 2 ) principe de fonctionnement d'une Turbine à gaz**

**4 - 2 - 3 )les composantes d' une turbine à gaz**

**5 - 1 ) présentation de la sous station électrique**

**5 - 2 ) Evaluation des charges de la sous station électrique**

**5 - 2 - 1 ) L'investissement initial**

**5 - 2 - 2 ) Les coûts d'entretien et de maintenance**

**5 - 2 - 3 ) les charges du personnel du poste**

**5 - 2 - 4 ) Le coût de l'électricité**

**5 - 2 - 5) calcul du prix de revient du kWh**

**6 - 1 ) Investissement initial**

**6 - 2 ) Les coûts d'exploitation**

**6 - 3 ) Calcul de l'amortissement mensuel**

**6 - 4 ) coût d'entretien et de réparation**

**6 - 5) Les charges du personnel**

**6 - 6) calcul du prix de revient du kWh**

**8 - I ) Délai de récupération du capital ou DRC**

**8 - 2 ) la valeur actuelle nette du projet ( VAN )**

**8 - 3 ) Calcul du taux de rendement interne du projet ( TRI )**

**9 - 1 ) étude technique du Poste**

**9 - 1 - 1 ) Sécurité de fonctionnement d'une installation**

**9 - 1 - 2 ) Rôle d'un système de protection**

**9 - 1 - 3 ) Circuit de déclenchement**

**9 - 1 - 4 ) Qualités d'un système de protection**

**9 - 1 - 5 ) Structure d'un système de protection indirect..**

**9 - 1 - 5 - 1 ) Réducteur de mesure**

**9 - 1 - 5 - 2 ) Relais de protection**

**9 - 2 ) implantation physique de la centrale**

**9 - 3 ) configuration connexion sur 90 KV**

**9 - 4 ) configuration branchement sur 11KV**

**10 - 5 ) configuration sortie centrale à 11.000 V**

**CONCLUSIONS**

**RECOMMANDATIONS**

Dans l'étude que nous allons mener , nous allons proposer plusieurs solutions qui pour l'instant paraissent réalisables. Cette partie va porter sur les questions suivantes :

1. Dans quelle mesure chacune de ces solutions serait - elle concrètement réalisable ?
2. Les solutions sont- elles scientifiquement, techniquement et économiquement réalisables ?
3. Respectent-elles les contraintes de temps ?
4. Sont-elles compatibles ?

### **2 - 1 )Praticabilité et facteurs physiques et techniques**

Les solutions proposées dans ce rapport sont :l'utilisation d'une centrale DIESEL ou d'une centrale à turbine à gaz. Il faut noter simplement que ces techniques sont déjà mises au point et exploitées , ce qui constitue une attestation de leur faisabilité technique . Les technologies utilisées sont assimilées . Leur maintenabilité en bon état de fonctionnement peut être assurée par les techniciens sur place. Les performances enregistrées dans ces domaines ont fait que ces solutions seront aussi fiables que le réseau de la SENELEC.

Au chapitre de la compatibilité avec les ressources existantes , elle est plus que satisfaisante . Ces solutions sont très modifiables , d'où leur adaptation facile face à des changements futurs .

Sur le plan réglementaire : la libéralisation de la production énergétique autorise à chacun de produire individuellement sur site .

Ces solutions ont plusieurs avantages parmi lesquels:

- Satisfactions aux exigences minimales établies
- Confort minimal des utilisateurs de ces équipements
- Fiabilité du produit dans les conditions d'utilisation normale

### **2 - 2 ) praticabilité et facteurs économiques**

Le facteur déterminant dans l'étude que nous allons mener sera bien sur celui de la rentabilité économique . Donc sera retenue , la solution qui présentera une rentabilité supérieure car toutes ces solutions aux égards des autres facteurs sont voisines . Il sera globalement question de démontrer la praticabilité économique des différentes solutions . Leur praticabilité

économique dépendra surtout de leur rentabilité c'est à dire , d'offrir un coût de l'énergie meilleur que celui de la SENELEC avec un investissement moyen ,un délai de récupération des capitaux ou payback dans le moyen terme

### **2 - 3 ) praticabilité et facteurs de temps**

Ces facteurs n'interviendront que si le projet est rentable c'est à dire au cas où le contrat avec la SENELEC serait moins rentable que l'installation d'une centrale autonome .Dans cette situation tout délai dans la réalisation du projet serait une source de pertes dues au manque à gagner

### **2 - 4 ) praticabilité et facteurs environnementaux**

Il s'agit de cerner les impacts du projet sur l'environnement général .A ce point aucune législation en vigueur dans notre pays n'interdit l'utilisation des moteurs thermiques mêmes si l'on connaît leurs effets néfastes sur l'environnement .Il est devenu même fréquent de voir des entreprises locales installées leurs propres centrales de production , à cause du prix très élevé du kWh de la SENELEC mais aussi par les crises sociales que traversent cette entreprise depuis un certain nombre d'années .

### **3 - 1 ) Etablissement du bilan de puissance et des consommations spécifiques**

L'estimation et la mesure de ces valeurs constituent le premier travail à effectuer :elles doivent être réalisées avec soin et le plus de précisions possibles. Ces données seront concrétisées par un plan et un graphique indiquant la puissance totale en fonction de l'époque, depuis la mise en service et au moins pendant les premières années d'exploitation. Elles doivent prendre en compte les extensions et les évolutions de l'unité.

Cette partie présente le calcul des puissances et l'évaluation des besoins énergétiques et des coûts de production en terme d'énergie consommée par produits fabriqués.

Ces données vont représenter dans le cadre de ce projet les éléments de base.

Les charges comprennent l'ensemble des appels de puissance au niveau de toutes les ressources matérielles locales .Ces ressources sont constituées de celles utilisées pour les besoins de la production mais aussi de celles déployées dans le cadre de la mise en place de conditions favorables au travail .Par ces dernières il faudra entendre les équipements de bureau : ordinateurs ,climatiseurs, éclairage de bureau mais aussi des hangars et des locaux techniques .

Pour les charges productives , elles sont constituées de l'ensemble des équipements électriques sur le processus de production .Ainsi ,pour l'évaluation des charges ,nous considérons à chaque fois un processus d'obtention d' un produit et nous recensons l'ensemble des équipements électriques sur la ligne de production .

Pour le calcul ,nous tiendrons compte des facteurs d'utilisation pour exprimer le rapport du temps d'utilisation sur le temps d'immobilisation de l'équipement .Nous tiendrons aussi compte des facteurs de simultanéité qui exprime la probabilité d'utiliser en même temps des appareils sur la même source .

Donc la puissance installée est donnée par la somme directe de toutes les puissances sur la même ligne de fabrication

$$P_{\text{installée}} = \sum P_i \quad (3 - 1)$$

$P_i$  = puissance installée unitaire

$P_{\text{installée}}$  = puissance totale installée

La puissance tirée est obtenue en faisant la somme des puissances productives en tenant bien sur compte de ces facteurs énumérés ci dessus

$$P_{\text{utile}} = \sum P_i * F_u * F_s \quad (3 - 2)$$

$F_u$  = facteur d'utilisation

$F_s$  = facteur de simultanéité

Connaissant les puissances utiles de toutes les lignes de fabrication on peut facilement déterminer la crête de puissance qui ne sera rien d'autre que le maximum de la somme de ces puissances sur les différentes lignes de production.

La puissance maximale tirée est prépondérante dans le dimensionnement du réseau interne de l'usine mais aussi dans la vérification de la puissance du transformateur, dans le calcul de la puissance réactive à installer

Elle intervient aussi dans la facturation de l'énergie électrique consommée notamment au niveau du calcul de la prime fixe qui lui est directement proportionnelle. En effet la prime fixe est calculée en multipliant par 6197,85F CFA la puissance maximale tirée depuis le début de l'abonnement.

L'évaluation des charges tient compte des aspects suivants :

- Le four de fusion fonctionne en continu.
- La machine à coulée continue fonctionne avec deux niveaux de puissances.
- Les puissances consommées lors de la coulée et de l'attente de la fin de la prochaine fusion sont différentes.

Pour les laminoirs trois niveaux de consommations sont calculés concernant le laminage des petits diamètres ( 6 et 8 ), des diamètres moyens ( 10 et 12 ) et des grands diamètres ( > 14 )

**3 - 1- 1 ) le four de fusion**

tableau 3 - 1 ) bilan de puissance du four

Désignation	Puissance installée ( kW )	Facteur d'utilisation	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée kW
Fours à induction	10.000	1	0,5	5.000
Pompe hydraulique	18,5	0,9	1	16,65
Pompe DM four	15	0,9	1	13,5
Pompe DM salle pompe	7,5	0,9	1	6,75
Ventilo T de R	22,5	0,9	1	20,25
Pompe reser/échan/four	30	0,9	1	27
Pompe Echang/réservoir	22	0,9	1	19,8
Pompe Réserv/adouci	2,2	0,9	1	1,98
Pont de 30 T	71	0,9	0,8	51,12
Pont de 25 T		0,9	0,8	0
Pont de 10 T	11,6	0,9	0,8	8,352
Presse cissaille	500	09	0.34	152
Compresseur	7,5	0,75	1	5,625
TOTAL	10701,8			5324

Connaissant les données suivantes , la consommation énergétique par tonnes de produit est obtenue

- durée de la fusion 2 heures
- masse de métal liquide 12 tonnes
- puissance du four 5324 kW
- énergie consommée / fusion 7800kWh ( donnée réelle )
- énergie consommée par tonne 650 kWh /T (donnée réelle)

Donc il faut 650 kWh pour produire une tonne de métal liquide.

**3 - 1 - 2 ) machine à coulée continue en opération**

Tableau 3 - 2 ) bilan de puissance de la machine à coulée continue en opération

Désignation	Puissance installée ( kW )	Facteur d'utilisation	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée kW
Tundish	3,75	0,9	1	3,375
Mould oscill sys	8	0,9	1	7,2
Alumi feeder	0,375	0,9	1	0,3375
Straightner (1+1)	15	0,9	0,8	10,8
Steam exhaust	15	0,9	0,8	10,8
Pre-cut	0,75	0,9	1	0,675
Discharge	7,5	0,9	1	6,75
Sump	11	0,9	1	9,9
Primary tank	37	0,9	0,8	26,64
Cooling T	22	0,9	0,8	15,8
Secondary	44	0,9	0,8	31,6
TOTAL	164,375			124

**3 - 1 - 3 ) machine à coulée continue en attente**

tableau 3 - 3 ) bilan de puissance de la machine à coulée continue en attente

Désignation	Puissance installée ( kW )	Facteur d'utilisation	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée kW
Straightner (1+1)	15	0,9	0	0
Steam exhaust	15	0,9	0	0
Pre-cut	0,75	0,9	0	0
Discharge	7,5	0,9	0	0
Sump	11	0,9	1	9,,9
Primary tank	37	0,9	0	0
Cooling T	22	0,9	0	0
Secondary	44	0,9	0	0

TOTAL	152,25			9,9
-------	--------	--	--	-----

-durée attente	1,09 heures
-durée coulée	0,91heure
-masse coulée	12 tonnes
-puissance attente	9,9 kW
-puissance coulée	124 kW
-énergie consommée en attente	10,791 kWh
-énergie consommée en coulée	112,84 kWh

Ainsi pour un cycle de coulée il faut 10,32 kWh / T

Remarque :cette valeur est obtenue par calcul .

L'obtention d'une billette nécessite une fusion et une coulée , alors la consommation totale par tonne de billettes est égale à la somme des consommations par tonne au cour de la fusion et à la machine à coulée continue qui est donc de 660,32 kWh / T

NB :La machine à coulée fonctionne actuellement avec une seule ligne de coulée,mais il est prévu d'aménager à court terme une seconde ligne.

### 3 - 1 - 4 ) Laminoir 6 et 8

Tableau 3 - 4) bilan de puissance laminage petit diamètre

Désignation	Puissance installée ( kW )	Facteur d'utilisation	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée kW
PUSHER	22,37	0,9	1	20,133
Chauf+pompe	7,456	0,9	1	6,7104
Ventilo de souff	22,37	0,9	1	20,133
Fuel	7,456	0,9	1	6,7104
M-cooler (2)	7,456	0,9	1	6,7104
Convoyeur	14,9	0,9	1	13,41
M-cooler(2)	7,456	0,9	1	6,7104
Ejecteur (1+1)	11,185	0,9	1	8,948
Roller table (4)	29,8	0,9	1	26,8443
m-cooler (3)	11,185	0,9	1	10,0665

Moteur 1000HP	750	0,67	0,8	400
Y table	22,37	0,9	1	20,133
Transporteur	14,9	0,9	1	13,42
Lubrification	5,592	0,9	1	5,03
M-cooler	7,456	0,9	1	6,7104
Cisaille rotative	22,37	0,9	1	17,896
Pince à rouleaux	22,37	0,9	1	17,896
Transporteur	14,9	0,9	1	13,42
M-cooler	3,728	0,9	1	3,3552
Lubrification	5,592	0,9	1	5,0328
Moteur 1000HP	750	0,67	0,8	400
Moteur 400HP	300	0,9	0,9	140
Moteur 400HP	300	0,52	0,9	140
M-Cooler	3,728	0,9	1	3,3552
Pince à rouleaux	14,9	0,9	1	11,92
Cisaille rotative	7,456	0,9	1	5,96
Coiler pinch roll	11,185	0,9	1	10,0665
Coiler	14,9	0,9	1	13,41
Cv boiler pump	3,728	0,9	1	3,3552
Convoyeur	15	0,9	1	13,5
Oil tank coiler	3.728	0,9	1	3,3552
M-cooler (4+3)	15	0,9	1	13,5
Atelier galet	70	0,9	1	63
Pont roulant 5T	29,8	0,9	1	26,82
Pompes (4)	88	0,9	0,5	39,6
TOTAL	2638,39			1500

Energie consommée par tonne produite 150 kWh (donnée réelle )

Pour le laminoir petits diamètres on estime alors la consommation à  
150kWh /T

**3 - 1 - 5) Laminage diamètres moyens (10 et 12)**

Tableau 3 - 5 bilan de puissance laminage moyen diamètre

Désignation	Puissance installée ( kW )	Facteur d'utilisation	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée kW
PUSHER	22,37	0,9	1	20,133
Chauf+pompe	7,456	0,9	1	6,7104
Ventilo de souff	22,37	0,9	1	20,133
Fuel	7,456	0,9	1	6,7104
M-cooler (2)	7,456	0,9	1	6,7104
Convoyeur	14,9	0,9	1	13,41
M-cooler(2)	7,456	0,9	1	6,7104
Ejecteur (1+1)	11,185	0,9	1	8,948
Roller table (4)	29,8	0,9	1	26,8443
M-cooler (3)	11,185	0,9	1	10,0665
Moteur 1000HP	750	0,467	0.8	280
Y table	22,37	0,9	1	20,133
Transporteur	14,9	0,9	1	13,42
Lubrification	5,592	0,9	1	5,03
M-cooler	7,456	0,9	1	6,7104
Cisaille rotative	22,37	0,9	1	17,896
Pince à rouleaux	22,37	0,9	1	17,896
Transporteur	14,9	0,9	1	13,42
M-cooler	3,728	0,9	1	3,3552
Lubrification	5,592	0,9	1	5,0328
Moteur 1000HP	750	0,467	0,8	280
Moteur 400HP	300	0,23	1	80
M-cooler	3,728	0,9	1	3,3552
Pince à rouleaux	14,9	0,9	1	11,92
Cisaille rotative	7,456	0,9	1	5,96
Cv boiler pump	3,728	0,9	1	3,3552
Convoyeur	15	0,9	1	13,5

Oil tank coiler	3.728	0,9	1	3,3552
M-cooler (4+3)	15	0,9	1	13,5
Atelier galet	70	0,9	1	63
Pont roulant 5T	29,8	0,9	1	26,82
Pompes (4)	88	0,9	0,5	39,6
TOTAL	2312,3			1040

Donc lors du processus d'obtention de produits de laminage moyen diamètre la puissance maximale appelée est 1040kW ( donnée réelle)

La consommation moyenne mesurée par tonne de métal laminé est de 145,21 kWh.

### 3 - 1 - 6 ) Laminage grand diamètre (14,16,20 )

Tableau 3 - 6 bilan de puissance laminage gros diamètre

Désignation	Puissance installée ( kW )	Facteur d'utilisation	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée kW
PUSHER	22,37	0,9	1	20,133
Chauf+pompe	7,456	0,9	1	6,7104
Ventilo de souff	22,37	0,9	1	20,133
Fuel	7,456	0,9	1	6,7104
M-cooler (2)	7,456	0,9	1	6,7104
Convoyeur	14,9	0,9	1	13,41
M-cooler(2)	7,456	0,9	1	6,7104
Ejecteur (1+1)	11,185	0,9	1	8,948
Roller table (4)	29,8	0,9	1	26,8443
M-cooler (3)	11,185	0,9	1	10,0665
Moteur 1000HP	750	0,467	0.8	280
Y table	22,37	0,9	1	20,133
Transporteur	14,9	0,9	1	13,42
Lubrification	5,592	0,9	1	5,03
M-cooler	7,456	0,9	1	6,7104
Cisaille rotative	22,37	0,9	1	17,896

Pince à rouleaux	22,37	0,9	1	17,896
Transporteur	14,9	0,9	1	13,42
M-cooler	3,728	0,9	1	3,3552
Lubrification	5,592	0,9	1	5,0328
Moteur 1000HP	750	0,467	0,8	280
M-cooler	3,728	0,9	1	3,3552
Pince à rouleaux	14,9	0,9	1	11,92
Cisaille rotative	7,456	0,9	1	5,96
Cv boiler pump	3,728	0,9	1	3,3552
Convoyeur	15	0,9	1	13,5
Oil tank coiler	3.728	0,9	1	3,3552
M-cooler (4+3)	15	0,9	1	13,5
Atelier galet	70	0,9	1	63
Pont roulant 5T	29,8	0,9	1	26,82
Pompes (4)	88	0,9	0,5	39,6
TOTAL	2012.30			1040

La consommation moyenne mesurée par tonne laminée est de 95,34 kWh avec une pointe de puissance 1040 kW.

### **3 - 1 - 7 ) Laminage des profilés et des diamètres supérieurs à 20**

Cette section est en phase de montage ,mais on estime la pointe de puissance à 1040 kW et une consommation de 250 kWh /T basée sur une cadence de quatre (4) tonnes par heure.

### **3 - 1 - 8 ) Atelier de fabrication mécanique**

Tableau 3 - 7) charge au niveau de l'atelier fabrication mécanique

Désignation	Puissance installée ( kW )	Facteur d'utilisation	Coefficient de simultanéité	Puissance consommée kW
Mortaiseuse	2.25	0.5	1	1.125
Machine à tailler engrenage	1.875	0.5	1	0.9375

Rectifieuse cylin	3.4125	0.5	1	1.70625
Fraiseuse universelle	5.625	0.5	1	2.8125
Poinçonneuse cisaille	1.875	0.5	1	.09375
Cisaille guillotine	8.25	0.5	1	4.125
Machine à rouler	3.75	0.5	1	1.875
Presse plieuse	7,5	0.5	1	3.75
Tour // à chariot	2.25	0.5	1	1.125
<b>TOTAL</b>	36.7875			18.39375

### 3 - 1 - 9 ) les autres charges

Elles sont constituées du bâtiment administratif , de l'éclairage des hangars et de la sous station. Pour chacune de ces charges on a estimé les appels de puissance .

Tableau 3 - 8) charges auxiliaires

Charge	Puissance appelée en kW
Bâtiment administratif	22
Eclairage hangars	50
Sous station électrique	30
<b>TOTAL</b>	102

Tableau 3 - 9 )tableau récapitulatif des puissances maximales et des consommations par tonne

	Métal fondu	Billettes	Petit diamètre	Moyen diamètre	Grand diamètre
Puissance maximale en kW	5426	5550	7050	6590	6590
Consommation par tonne en kWh	650	660.32	810.32	805.32	755.66

Nous pouvons mentionné au passage que puisque nous disposons d'un transformateur de 10 MVA ,avec un cosinus phi de 0.85 , il est donc

possible d'en tirer 8.5 MW ce qui est supérieur à 7.05 MW ( la puissance crête).

### 3 - 2 ) Estimation des consommations spécifiques à court terme

La puissance crête est appelée lors de l'exploitation des laminoirs petit diamètre en même temps que s'effectue les processus de coulée et de fusion . Cette puissance est évaluée à :  $P_{max} = 7050,00 \text{ kW}$

A la valeur de puissance maximale déterminée, nous appliquerons une majoration de 20 % . Cette majoration se justifie par les extensions qui seront opérées ultérieurement , mais aussi par le fait que l'ensemble des lignes de production n'est pas encore mis en place . Elle s'imposerait aussi dans le cadre d'une augmentation des capacités de production . Par exemple l'aménagement d'une seconde ligne de coulée est prévu au niveau de la machine à coulée continue . En appliquant la majoration de 20% on obtient une puissance maximale de 8460 ,00 kW

La consommation d'énergie est connue en fixant des objectifs de productions et les cadences de production globale (fusion , coulée , laminage ) .

A ce stade il convient de faire remarquer que les laminoirs peuvent fonctionner avec des billettes importées ou produites localement par fusion et coulée. Alors la consommation énergétique dépendra de la provenance des billettes . Ainsi on y inclura ou non la consommation des processus de fusion et coulée .

Les tableaux 3 - 10 à 3 - 21 donnent les estimations de la production sur douze mois . Le tableau 3 - 23 donne les coûts énergétiques durant les douze (12) premiers mois.

Tableau 3 - 10 ) estimation de la production et de la consommation durant le 1<sup>er</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	1500	1500	500	990480
6 et 8	0	0	0	0
10 et 12	2000	1500	500	290000
Gros diam	0	0	0	0

TOTAL				1280480
-------	--	--	--	---------

Tableau 3 – 11 )estimation de la production et de la consommation durant le 2<sup>ème</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	1500	1500	2000	990480
6 et 8	1060	1060	0	159000
10 et 12	2290	440	1850	332050
Gros diam	150	0	150	14280
TOTAL				1495810

Tableau 3 – 12 )estimation de la production et de la consommation durant le 3<sup>ème</sup> mois

diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	1500	1500	2000	990480
6 et 8	1060	1060	0	159000
10 et 12	2290	440	1850	332050
Gros diam	150	0	150	14280
TOTAL				1495810

Tableau 3 – 13 )estimation de la production et de la consommation durant le 4<sup>ème</sup> mois

diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	2500	2500	1000	1650800
6 et 8	1060	1060	0	159000
10 et 12	2290	1440	850	332050
Gros diam	150	0	150	14280
TOTAL				2156130

Tableau 3 – 14) estimation de la production et de la consommation durant le 5<sup>ème</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	2500	2500	1000	1650800
6 et 8	1055	1050	0	158250
10 et 12	2290	1445	845	332050
Gros diam	155	0	150	14619.6
TOTAL				2155719.6

Tableau 3 – 15) estimation de la production et de la consommation durant le 6<sup>ème</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	2500	2500	1000	1650800
6 et 8	1050	1050	0	157500
10 et 12	2290	1450	840	332050
Gros diam	160	0	160	15251.2
TOTAL				2155601.2

Tableau 3 – 16) estimation de la production et de la consommation durant le 7<sup>ème</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	3000	3000	500	1980960
6 et 8	1060	1060	0	159000
10 et 12	2290	1940	350	332050
Gros diam	150	0	150	14298
TOTAL				2486308

Tableau 3 – 17) estimation de la production et de la consommation durant le 8<sup>ème</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	3000	3000	500	1980960
6 et 8	1175	1175	0	176250
10 et 12	2200	1825	375	319000
Gros diam	125	0	125	11915
TOTAL				2488125

Tableau 3 – 18) estimation de la production et de la consommation durant le 9<sup>ème</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	3000	3000	500	1980960
6 et 8	1180	1180	0	177000
10 et 12	2200	1820	380	319000
Gros diam	120	0	120	11438.4
TOTAL				2488398.4

Tableau 3 – 19) estimation de la production et de la consommation durant le 10<sup>ème</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	3500	3500	0	2311120
6 et 8	1060	1060	0	159000
10 et 12	2290	1940	0	332050
Gros diam	150	150	0	14298
TOTAL				2816468

Tableau 3 – 20 )estimation de la production et de la consommation durant le 11<sup>ième</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	3500	3500	0	2311120
6 et 8	1060	1060	0	159000
10 et 12	2290	1940	0	332050
Gros diam	150	150	0	14298
TOTAL				2816468

Tableau 3 – 21 )estimation de la production et de la consommation durant le 12<sup>ième</sup> mois

Diamètre	Production en T	Billette locale	Billette importée	Cons énergétique en kWh
Billette	3500	3500	0	2311120
6 et 8	1060	1060	0	159000
10 et 12	2290	1940	0	332050
Gros diam	150	150	0	14298
TOTAL				2816468

Le graphique 3 – 1) indique l'évolution de la puissance maximale durant les douze (12) premiers mois

Le graphique 3 – 2 ) indique les variations des consommations énergétiques durant les douze (12) premiers mois .





Pour ce qui est de l'étude c'est la situation en régime permanent qui nous intéresse car elle est la plus longue mais aussi la plus déterminante .

Nous pouvons voir sur le tableau que dès le neuvième mois nous pourrions atteindre les capacités de production. Cela devrait se traduire par une puissance et une consommation maximale et qui devront se stabiliser à ces mêmes valeurs limites si les capacités ne sont pas augmentées .

Quand ce régime sera atteint le coût mensuel de énergie sera de :156,265 millions de francs CFA

Ce qui correspond à :1875 ,18 millions de francs CFA par année.

Il faut signaler que ce coût ne tient compte que de la consommation d'énergie électrique fournie par la SENELEC .

Les autres charges telles que l'amortissement de l'investissement au niveau de la sous station électrique , des coûts d'entretien et les charges du personnel ne sont pas prises en compte à ce niveau.

Pour les coûts d'entretien , il faut noter qu'ils ne sont pas trop importants mais vont être tout de même intégrés dans nos calculs .

Une grande variété de procédés a été mise au point pour produire de l'énergie au niveau de l'industrie ,mais aussi pour les besoins de la société. L'étude des turbines à vapeur a révélé la lourdeur de ces systèmes dans l'industrie due surtout aux problèmes tels que des démarrages assez longs et leur encombrement spatial. D'autres procédés seront plus tard mis en œuvre tels que les groupes DIESEL, les turbines à gaz, le solaire etc...

Les groupes DIESEL et les turbines à gaz vont amener de nettes améliorations sur le mode de transfert de l'énergie en utilisant directement les produits de la combustion.

Ces systèmes sont simples à entretenir et à exploiter. Nous limiterons notre étude sur ces deux choix .

**3 - 3 ) Estimations des coûts énergétiques**

tableau 3 - 22 ) tarif hors taxes appliqué par la SENELEC

Prime fixe	6197,85
Tarif hors pointe	36.48
Tarif point	46.55

La moyenne pondérée utilisée ici est de :39,696

Tableau 3 - 23 ) tableau des coûts énergétique avec la SENELEC

MOIS	Puissance crête en kW	Consommation en kWh	Prime fixe En millions de francs CFA	Coût des kWh en millions de francs CFA	Coût total en millions de francs CFA	Tonnage à MBO en tonnes
1 <sup>er</sup> mois de production	5426	1341520	33,629	53,62	87,25	2500
2 <sup>ème</sup> mois de production	5426	1495810	33,629	59,79	93,419	3500
3 <sup>ème</sup> mois de production	5426	1495810	33,629	59,79	93,419	3500
4 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2156130	43,695	86,17	129,865	3500
5 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2155719.6	43,695	86,16	129,864	3500
6 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2155601.2	43,695	86,15	129,863	3500
7 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2486308	43,695	99,37	143,065	3500
8 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2488125	43,695	99,448	143,143	3500
9 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2488398.4	43,695	99,459	143,154	3500
10 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2816468	43,695	112,57	156,265	3500
11 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2816468	43,695	112,57	156,265	3500
12 <sup>ème</sup> mois de production	7050	2816468	43,695	112,57	156,265	3500

#### 4 - 1 ) étude de la centrale DIESEL

##### 4 - 1 - 1 ) schéma de principe

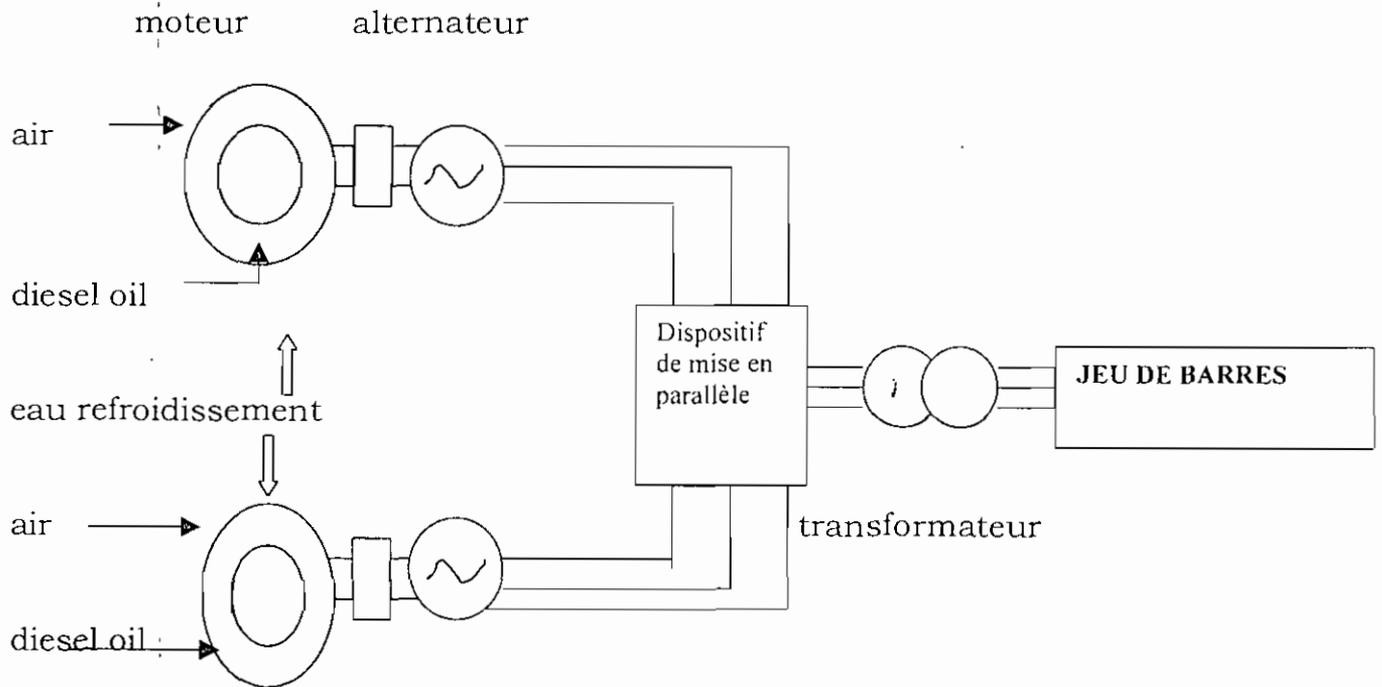


figure N° 4 - 1) schéma de principe d'une centrale DIESEL

##### 4 - 1 - 2 ) Principe de fonctionnement

Par ce moyen l'énergie chimique du mélange combustible air est d'abord transformée en énergie mécanique , par combustion à partir d'un moteur DIESEL, qui va fournir à sa sortie un couple mécanique .

Dans ce moteur on brûle un combustible à l'intérieur des cylindres , l'énergie dégagée lors de ces réactions est transmise à un piston qui le transmet à son tour à un vilebrequin. A l' aide d'un système bielle manivelle on convertit le mouvement alternatif du piston en un mouvement rotatif .Ce couple une fois transmis à un alternateur sera converti en énergie électrique : l'alternateur étant donc la machine qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique .Les sorties de tous les groupes électrogènes seront alors connectées à l'aide d'un dispositif de mise en parallèle qui va permettre la synchronisation de toutes phases .Au cas où les groupes les groupes débitent une tension différente de celle du réseau, un transformateur s'impose pour les mettre au même potentiel. Le jeu de barres va faciliter la distribution de l'énergie dans le réseau .

### 4 - 1 - 3 ) Composantes d'une centrale DIESEL

#### a ) Le moteur DIESEL

Le moteur DIESEL fonctionne suivant le cycle mécanique à quatre temps :

Le temps d'admission

Le temps de compression

Le temps de combustion

Le temps d'échappement

Le temps d'admission

Lors de cette phase le piston se déplace vers le bas et la soupape d'admission est ouverte .La descente du piston crée un vide partiel dans le cylindre, la pression atmosphérique pousse le mélange gazeux au travers de la soupape d'admission ,remplissant le cylindre de mélange . Une fois que le piston arrive aux alentours du PMB la soupape d'admission se ferme et une autre phase démarre

*Le temps de compression*

Pendant cette phase toutes les deux soupapes sont fermées et le piston se déplace vers le PMH , comprimant ainsi le mélange aspiré . Il s'en suit une augmentation de pression dans le cylindre mais aussi de la température qui reste toujours en dessous de la température d'auto-inflammation

*Le temps de combustion*

Les deux soupapes restent toujours fermées.

La combustion est déclenchée par la bougie qui produit une étincelle une fois que le piston s'approche du point mort haut ( PMH) . L'étincelle allume le mélange il s'en suit une forte augmentation de la température et de la pression Cette pression pousse le piston vers le bas, elle est ensuite transmise au vilebrequin qui obtient un mouvement rotatif.

*Le temps d'échappement*

La soupape d'échappement est ouverte pendant que la soupape d'admission est fermée. Lorsque le piston atteint le PMB à la fin de la course de détente le piston commence alors à se déplacer vers le PMH , chassant ainsi les gaz brûlés se trouvant dans le haut du cylindre. Lorsque le piston atteint le PMH la soupape d'échappement se ferme et la soupape d'admission s'ouvre et le cycle recommence.

Tout ce processus sert à produire un couple mécanique  $C_m$  à la sortie du moteur.

Le moteur DIESEL constitue un moteur à combustion interne :c'est à dire que la combustion s'opère à l'intérieur du moteur.

Les cylindres

La plupart des moteurs sont équipés de plusieurs (4, 6, 8, 16...) , disposés en ligne , en V, en étoile ou en plat .Le cylindre est une poche d'air de forme cylindrique ,dans lequel le piston s'adapte parfaitement , gardant suffisamment de jeu pour pouvoir glisser à l'intérieur du cylindre en assurant l'étanchéité de la poche .C'est à l'intérieur de cette dernière que s'effectue la transformation de l'énergie chimique en énergie mécanique à partir de l'explosion du mélange air carburant aspiré lors de la phase d'aspiration.

Les pistons et les segments

Le piston est un bouchon métallique constitué d'un alliage d'aluminium logé dans le cylindre, se déplaçant sans cesse vers le haut et vers le bas donnant naissance à un mouvement alternatif. Le piston doit être assez solide pour pouvoir supporter les fortes pressions de la combustion dans le cylindre.

Les pistons supportent ainsi essentiellement les efforts :

- pression de gaz et température de l'explosion
- réaction de l'axe de la bielle et de l'axe de piston
- réaction de la paroi
- force d'inertie
- doit être résistant pour supporter la pression de combustion
- doit être le plus léger possible pour présenter une faible inertie.

Il faut signaler l'existence de pistons coniques. Cette solution est actuellement la plus courante. La jupe est conique pour équilibrer les dilatations, compte tenu des différences de température entre le haut et le bas de la jupe.

Les segments insérés dans les cannelures des pistons vont servir à assurer un joint coulissant entre le cylindre et le piston, assurant l'échancité.

## Les soupapes

Les soupapes permettent de réaliser les différentes phases du moteur. En effet pendant ces temps moteurs les soupapes sont guidées par un arbre à came qui les met dans une position de fermeture ou d'ouverture pour qu'ait lieu le temps moteur normal.

### **b )Le système de graissage**

Les contacts entre deux surfaces mobiles se heurtent et s'arrachent mutuellement, cela occasionnant perte de puissance, usure rapide, échauffement, grippage, rupture, etc.

Dans de pareilles situations un lubrifiant est interposé entre les deux surfaces animées de mouvement relatif pour atténuer ou supprimer les effets du frottement.

Les avantages du graissage sont :

- Economie de force motrice
- Protection contre la corrosion
- Utilisation prolongée des machines
- Réduction des frais et prix de revient :en garantissant un bon entretien

### **c ) les réservoirs de carburant**

Ils constituent une réserve permanente de carburant. En effet le carburant est contenu dans les réservoirs peut à tout moment être véhiculé au niveau du moteur du groupe à l'aide de pompes .Ainsi le groupe peut marcher pendant des durées indéterminées sans qu'il ne soit nécessaire de l'arrêter pour l'alimenter carburant car cela se faisant par un circuit mise en place à cet effet.

### **d ) Le système de refroidissement**

La combustion dans les cylindres a pour effet immédiat un fort dégagement de chaleur. Cette chaleur a pour effet si elle n'est pas dégagée :

- de favoriser la vaporisation du carburant
- d'accélérer la combustion donc réduire le rendement
- mais surtout de diminuer le taux de remplissage (et par suite la puissance du moteur).

La chaleur aura pour effet aussi de décomposer l'huile de graissage de dilater certains organes (feux,). Elle détériore les bougies (auto allumage).

Il existe plusieurs méthodes de refroidissement :

- condenseur à air pour les petits systèmes d'évacuation de chaleur
- condenseur à eau pour les systèmes moyens et grands mais surtout quand il y a abondance d'eau
- les tours de refroidissement en milieu aride pour les grands systèmes.

Pour les grands systèmes tels que les unités de production d'énergie nous utilisons généralement les tours de refroidissement. On utilise alors l'eau en circuit fermé.

Tour de refroidissement (voir figure N° 4 - 2 ) . Lorsque la centrale est en milieu aride ou éloignée d'une voirie, il convient d'utiliser l'eau pour refroidir l'installation.

Nous utilisons dans ces applications le phénomène d'évaporation pour obtenir le refroidissement requis. Nous avons appris que lorsque l'eau s'évapore, cela occasionne une perte d'une importante quantité de chaleur.

Ainsi nous obtenons une baisse de 5°C chaque fois que l'on fait évaporer 1% d'une masse d'eau donnée.

Pour provoquer l'évaporation, il suffit de présenter une surface d'eau aussi grande que possible à l'air ambiant. La meilleure façon de la faire est de fractionner la masse d'eau en gouttelettes et de souffler de l'air à travers la pluie ainsi créée. Dans les tours on évapore environ 2% de l'eau de refroidissement requise, si bien que cette perte doit être compensée par un appoint d'eau.

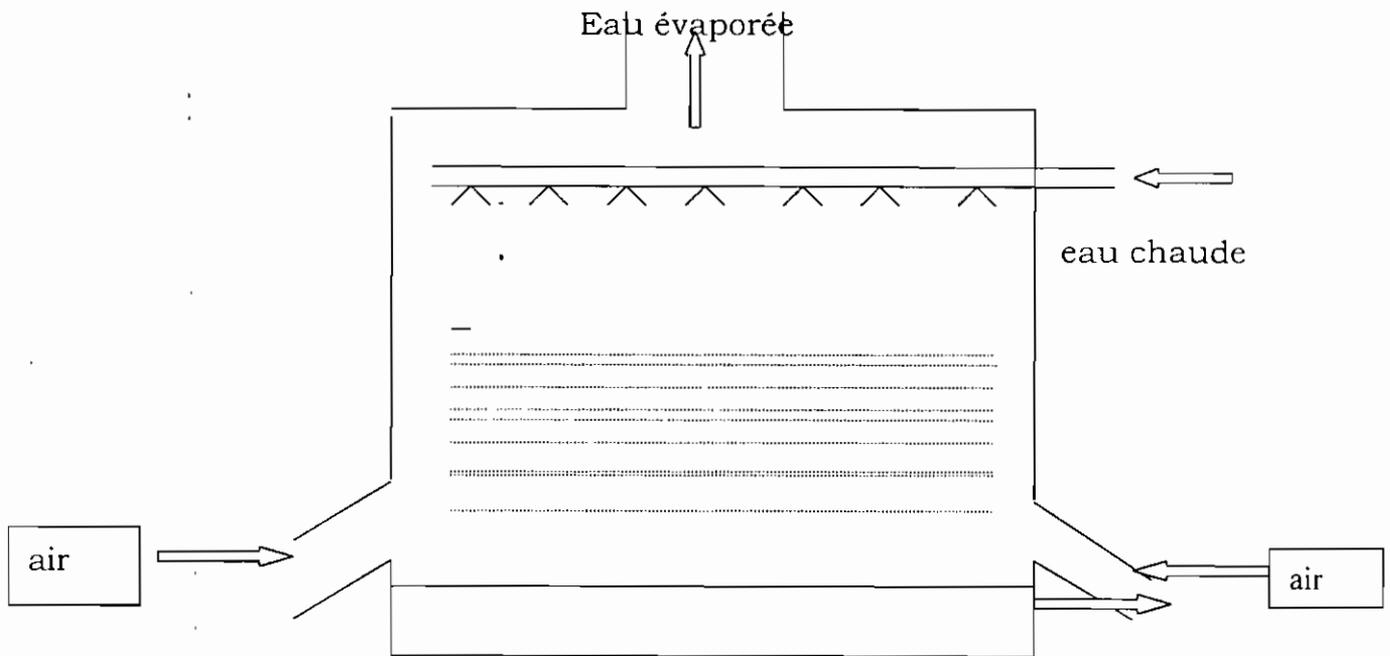


figure 4 - 2 ) schéma d'une tour de refroidissement

eau refroidie

### e -) le système de mise en parallèle

Ce système pilote l'ensemble des groupes en faisant une lecture isolée sur tout les groupes avant de les synchroniser : il s'agit d'une colonne de synchronisation automatisée. Il permet une synchronisation automatique de tous les groupes , et ce sans l'intervention du responsable .

## f ) Le transformateur

schéma de principe

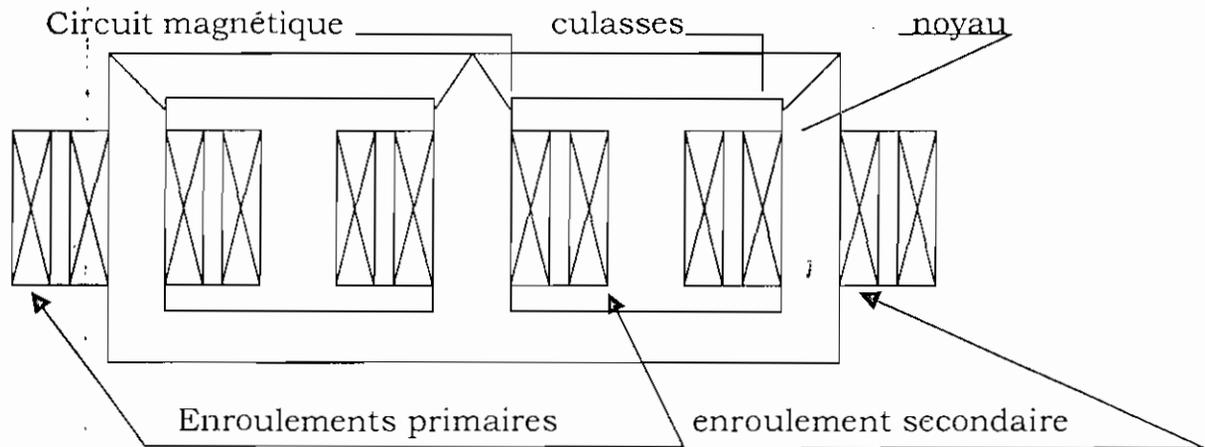


Figure N° 4 - 3 ) schéma d'un transformateur triphasé

Principe du transformateur

Un transformateur est essentiellement composé d'un circuit magnétique en tôle composée de grande perméabilité magnétique, comportant des parties actives nommées noyaux et des pièces de liaison entre noyaux nommées culasses, et d'enroulements électriques, reliés aux circuits primaire et secondaire, placés concentriquement aux noyaux.

L'application d'une tension alternative à l'un des enroulements provoque dans le noyau la création d'un flux alternatif de même fréquence ; ce flux provoque à son tour, aux bornes de l'autre enroulement d'une autre tension alternative également de même fréquence, cette tension est proportionnelle au flux induit et nombre de spires de l'enroulement considéré .

Soit  $U_1$  la tension appliquée aux bornes de l'enroulement inducteur ou primaire .

Soit  $U_2$  , la tension recueillie aux bornes de l'enroulement induit ou secondaire .

Si  $N_1$  et  $N_2$  sont les nombres de spires respectifs de ces enroulements , on peut écrire en première approximation :

$$U_1 = k * N_1 * \varphi \quad (4-1)$$

### g) L'alternateur

Les alternateurs triphasés sont la source primaire de toute l'énergie électrique que nous consommons ; ces machines constituent les plus gros convertisseurs d'énergie au monde .Elles transforment l'énergie mécanique en énergie électrique avec des puissances allant jusqu'à 1500MW.Donc l'alternateur sert à produire du courant électrique .Il est constitué principalement d'un stator ou induit où prend naissance le courant électrique et d'un rotor ou inducteur.

Schéma de principe d'un alternateur

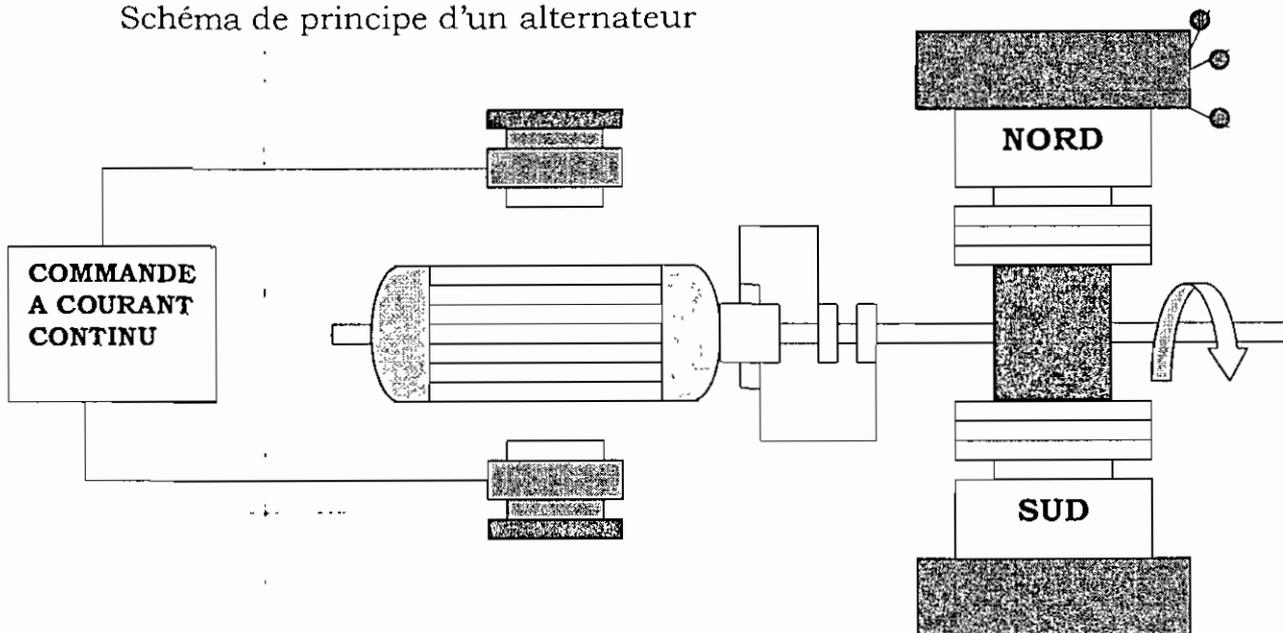


Figure N° 4 - 4) schéma d'un alternateur triphasé  
les principales composantes d'un alternateur

1. Une excitatrice
2. Un rotor ou inducteur
3. Un stator ou induit
4. Le nombre de pôles

#### Principe de fonctionnement des alternateurs

Dans les alternateurs on utilise le principe de l'induction électromagnétique pour produire de l'électricité. En effet on place des enroulements à l'intérieur d'un champ magnétique tournant ce qui d'après les principes de l'induction

électromagnétique donne naissance à une force électromagnétique à l'intérieur de ces enroulements.

Les alternateurs peuvent être construits avec un inducteur fixe ou avec un inducteur mobile.

Dans un alternateur à inducteur fixe, les pôles saillants produisent le champ magnétique, qui est coupé par les conducteurs situés dans l'induit. L'induit porte un enroulement triphasé dont les bornes sont connectées à trois bagues montées sur l'arbre. Un groupe de balais fixes recueille la tension triphasée qui est appliquée à la charge. L'induit peut être entraîné par un moteur à explosion ou toute autre source de forces motrices. Les alternateurs à inducteurs fixes sont utilisés pour les puissances inférieures à 5 KVA. Pour des puissances plus importantes, il est plus économique, plus sécuritaire et plus pratique de fabriquer des alternateurs à inducteur mobile.

Dans les alternateurs de grande puissance, utilisés dans les centrales, on obtient le même résultat en laissant les spires fixes et en faisant tourner les pôles. Le stator constitue l'induit et le rotor l'inducteur. Une génératrice à courant continu, appelée génératrice, habituellement montée sur le même arbre que l'alternateur, fournit le courant d'excitation aux électro-aimants inducteurs.

#### **h) les systèmes de protection de conduite et de surveillance**

Ces systèmes permettent aux installations de respecter les exigences minimales requises. Il s'agit essentiellement de protéger les équipements, les personnes et l'environnement. Ces systèmes sont constitués de relais de protection, de disjoncteurs, de transformateurs de tension et courant, mais aussi de tout autre équipement servant à acquiescer les exigences citées.

## 4 - 2 ) ETUDE DE LA TURBINE A GAZ

### 4 - 2 - 1 ) Schéma de principe

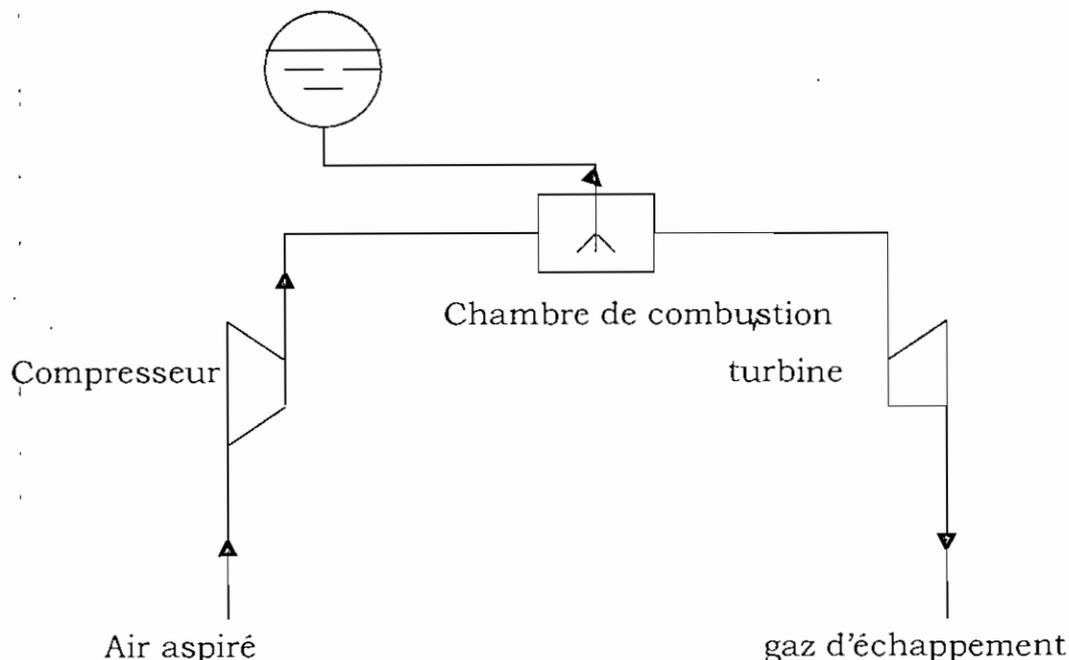


Figure 4 - 5 : La turbine à combustion interne ou à circuit ouvert

### 4 - 2 - 2 ) principe de fonctionnement d'une Turbine à gaz

C'est un ensemble moteur constitué essentiellement d'une chambre de combustion ou générateur de gaz chauds sous pression et d'une turbine proprement dite dans laquelle s'effectue la détente des gaz chauds.

Les gaz chauds sont produits par combustion dans le générateur de gaz. Ils peuvent aussi provenir d'un appareil indépendant.

Le cycle décrit est le suivant :

- une compression
- un échauffement isobare dans la chambre de combustion
- une détente dans la turbine
- un refroidissement isobare qui s'effectue dans l'atmosphère extérieure et qui constitue l'évolution fictive qui assure la fermeture du circuit.

Il faut noter que dans ce cycle le fluide moteur ne subit aucune condensation au cours de toutes les transformations qui forment le cycle thermodynamique de la turbine à gaz. Le combustible utilisé peut être gazeux (gaz naturel, gaz de haut fourneau, gaz de cokène...) mais il est le

plus souvent liquide, dans certains cas particuliers, le combustible peut même être solide (charbon ou tourbe).

Donc le fonctionnement de la turbine à gaz, le fluide est soumis successivement à une compression et à une détente. Ces deux opérations sont séparées par un réchauffage à l'aide de la chaleur fournie par le combustible. Pour que cet ensemble d'opération ait un rendement positif, il suffit que le travail fourni par la détente soit supérieur à celui qui est absorbé lors de la compression.

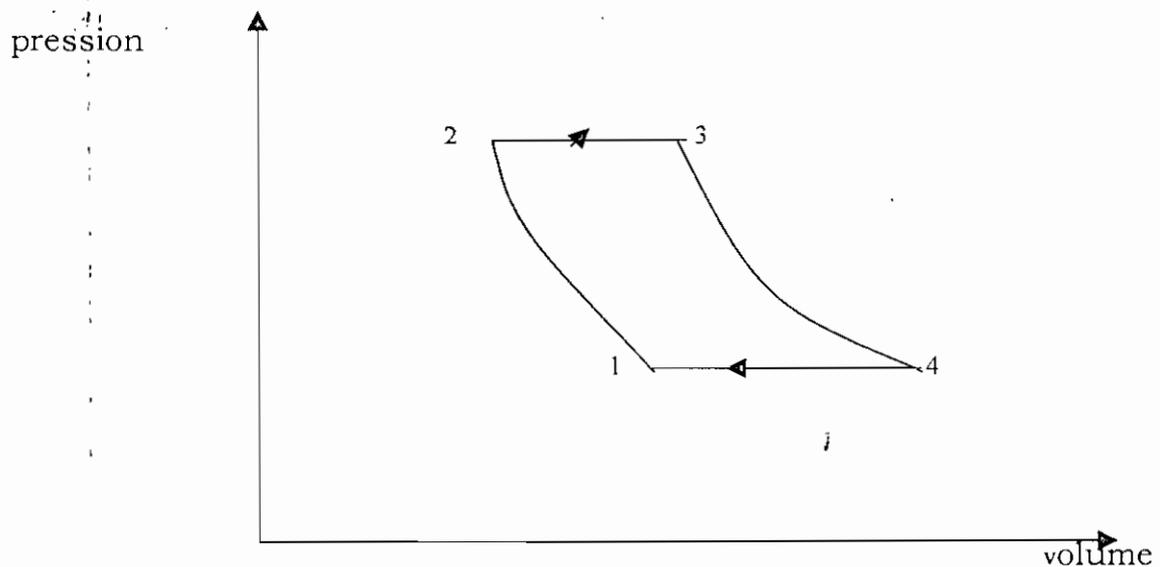


figure 4 – 6 : évolution de la pression en fonction du volume dans la turbine en considérant un circuit fermé (fictif)

On distingue deux types de turbines à gaz

- La turbine à combustion interne ou à circuit ouvert.
- La turbine à combustion externe ou à circuit fermé.

Dans la turbine à combustion interne les gaz chauds sont des fumées de combustion et seront évacués après leur détente dans la turbine au dehors soit directement , soit après passage dans un échangeur de chaleur où s'effectue la récupération d'une partie de leur chaleur.

Nous pouvons distinguer deux types de turbine à gaz à combustion interne du à la réalisation du générateur de gaz.

- le générateur de gaz réalisé à pression constante qui est la plus utilisée
- le générateur de gaz réalisé à volume constant.

Ici le fluide traversant la turbine proprement dite diffère de celui qui traverse le compresseur aussi bien par son débit – masse que par sa nature. Le fluide traversant la turbine est un mélange de gaz de combustion alors que celui du compresseur est de l'air.

Dans la turbine à combustion externe le fluide évoluant reçoit sa chaleur d'une source extérieure par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur, se détend ensuite dans la turbine puis après refroidissement convenable est repris par un compresseur qui le renvoie dans l'échangeur où il reçoit un nouvel apport de chaleur ,le fluide circule donc en circuit fermé.

Donc toutes les parties de l'installation sont traversées par un fluide dont aussi bien la nature que le débit - masse restent invariables.

#### **4 - 2 - 3 )les composantes d' une turbine à gaz**

La turbine à circuit ouvert comprend essentiellement

a ) le compresseur

un compresseur rotatif aspirant de l'air atmosphérique et le refoulant dans une chambre de combustion,

b )la chambre de combustion

une chambre de combustion qui aspire l'air et le gaz combustible ( génère la chaleur). La température à laquelle sont portés les gaz par la combustion dans le générateur de gaz peut atteindre pour une combustion totale 1600 à 1800° C avec un excès d'air de 30 à 40%.

Mais cette valeur est trop élevée pour une tenue correcte des ailettes de la turbine. Il est donc nécessaire de les refroidir jusqu'à une valeur assez basse pour éviter le risque de fluage des ailettes sous l'effet des contraintes thermiques prolongées qu'elles subissent pendant la marche .

Pour réaliser ce refroidissement on effectue la combustion avec un excès d'air allant jusqu'à 600% et même 800%.

Il en résulte que le rapport du poids du combustible au poids de l'air introduit dans la chambre de combustion est voisin de 1.5%

c) la turbine proprement dite

- une turbine où sera récupérée une partie de la chaleur fournie au mélange venant de la chambre de combustion : c'est la détente. Les turbines axiales sont composées essentiellement de :
  - d'un tore d'admission qui canalise le fluide vers l'entrée,
  - d'un stator portant des aubes fixes (du distributeurs) où l'énergie thermique du fluide se transforme entièrement (cas de la turbine à action) ou partiellement (cas de la turbine à réaction) en énergie cinétique.
  - d'un rotor portant des aubes où l'énergie cinétique et l'énergie thermique restante se transforment en énergie mécanique.

### **5 -1 ) présentation de la sous station électrique**

Il s'agit d'un poste de livraison ,qui permet actuellement à la SOSETRA de s'approvisionner en énergie électrique .Le poste est alimenté par le réseau 90 KV de la SENELEC par le biais d'une coupure d'artère .La connexion par coupure d'artère permet d'effectuer des permutations tridirectionnelles . Elle présente les avantages suivants

1. Une bonne fiabilité d'alimentation .
2. Une souplesse d'utilisation et d'affectation de puissance soit en provenance de HANN ou du CAP des BICHES
3. Les extensions et la maintenance sont possibles .

La sous station est composée de :

- D'un portique d'ancrage qui permet de recevoir la ligne provenant de HANN , mais aussi celle provenant du cap des biches
- De six (6 ) parafoudres pour les trois phases de chaque ligne : ils protègent contre les surtensions et ondes de choc
- Deux sectionneurs de lignes pour chaque arrivée : ils permettent une ouverture visuelle et une permutation de source .
- D'un jeu de barres équipé d'un sectionneur de barre pour permettre la permutation.
- D'un sectionneur de travée De trois transformateurs de tensions et trois transformateurs de courant: ils permettent de contrôler la tension et l'intensité du courant. Ils permettent d'abaisser ces grandeurs à des valeurs raisonnables pour la mesure, le comptage .
- Un transformateur pour abaisser la tension de 90 KV jusqu'à 11KV
- Des cellules départs et arrivées alimentées en 11 KV

- un tableau synoptique pour le contrôle et la conduite .

Le schéma unifilaire de la sous station électrique est montré à la figure 5 - 1)

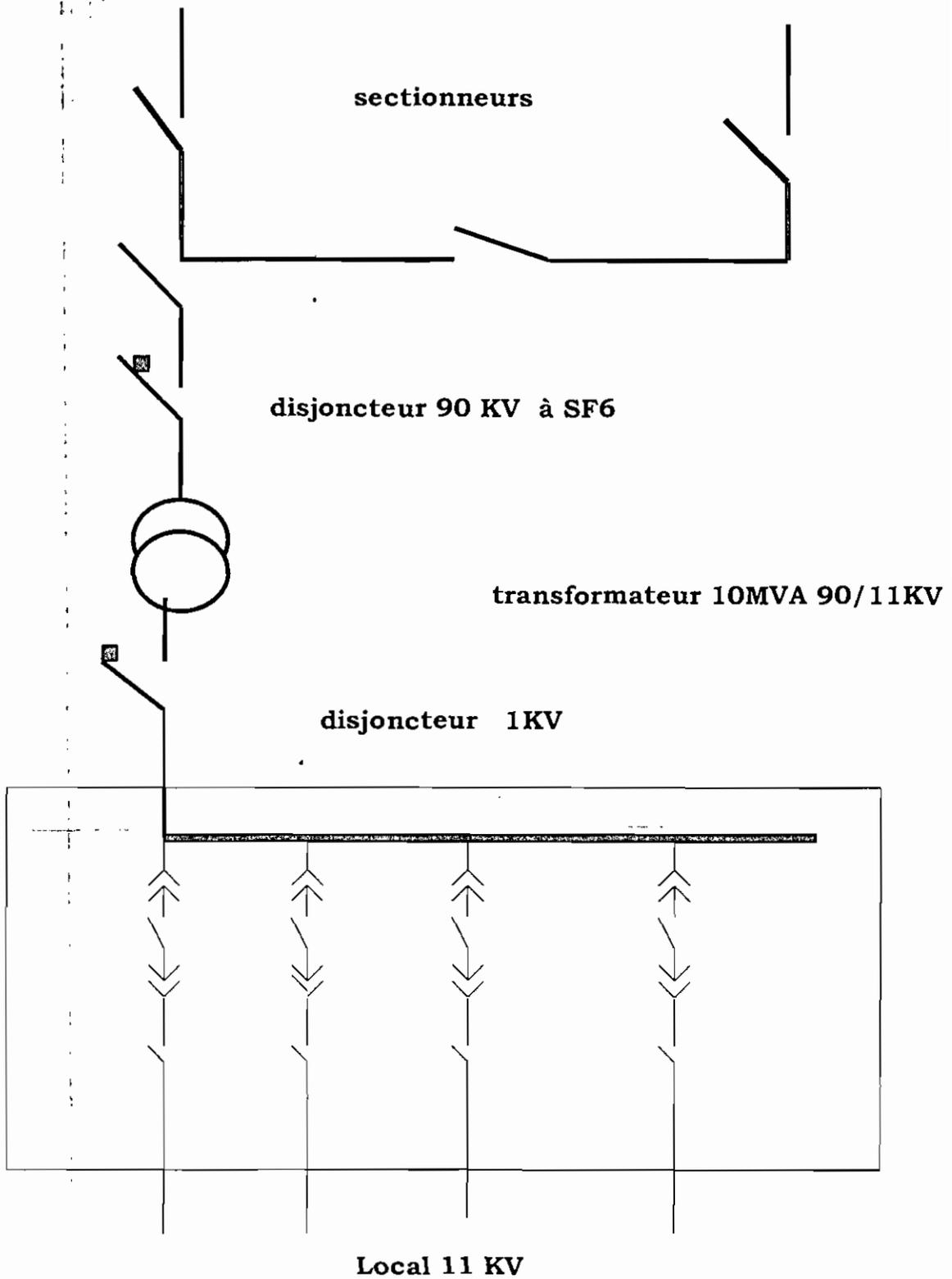


Schéma 5 - 1: configuration de la sous station électrique

**5 - 2 - 3 ) les charges du personnel du poste**

Le personnel du poste est composé de trois ( 3 ) personnes pour une masse salariale = 650.000 F CFA par mois

**5 - 2 - 4 ) Le coût de l'électricité**

Nous avons vu que quand les objectifs de production seront atteints la consommation électrique sera de = 156.265.000 f CFA par mois voir chapitre 3.

**5 - 2 - 5) calcul du prix de revient du kWh**

Tableau 5 - 2) tableau récapitulatif des coûts

Investissement initial	713.218.283
Amortissement linéaire sur 25 ans (durée de vie technique)par mois	2.377.394,277
Charge du personnel	650.000
Coût d'entretien mensuel	6.384.500
Coût de la consommation électrique	156.265.000
Coût direct d'exploitation de la sous station électrique (sans amortissement)	163.299.500
Coût net du kWh	57,98
Coût total d'exploitation	166.676.894 ,3
Coût total du kWh	59,179

Remarque :Le coût net du kWh correspond au rapport du coût direct d'exploitation sans les charges d'amortissement à la consommation.

### 6 - 1 ) Investissement initial

Cette proposition consiste en l'achat de douze (12 ) groupes ayant une puissance individuelle de 1250 KVA, identifiés sous le nom commercial de CP 1250-KTA 50

Les groupes sont livrés par la compagnie CUMMINS .Ce choix est basé sur l'évaluation de la puissance totale projetée avec les équipements suivants : voir tableau 6 - 1

tableau 6 - 1) liste des équipements vendus avec les groupes

CUMMINS engine	Moteur CUMMINS
Engine protection	Protection du moteur : températures et pressions
Lubricating oil system	Système de lubrification
Fuel system	Système d'alimentation en fuel
Cooling system	Système de refroidissement
Exhaust system	Système d'évacuation des gaz
Alternator	Alternateur
Bedframe	Châssis
Starting system	Système de démarrage
Power command control system	Système de contrôle à microprocesseur
Digital governor & voltage regulation	Régulateur digital
Ampsentry alternator protection	Protection alternateur contre sur intensité, surcharge, surtension sous tension et court circuit
Battery monitoring system	Moniteur de batteries d'allumage
Smart starting control system constumer	Système de contrôle du fuel et du champ d'excitation de l'alternateur
Control & adjustment switches	Système de contrôle et de test des disjoncteurs
Engine monitoring equipment	Contrôleur conditions au moteur T, P

## 5 - 2 ) Evaluation des charges de la sous station électrique

### 5 - 2 - 1 ) L'investissement initial

L'investissement total est s'élève 713.218.283 F CFA HTVA . ce coût est composé de plusieurs parties regroupées sur le tableau 5 - 1)

Tableau 5 - 1) investissement initial de la sous station électrique

Désignation	Coût HTVA
Génie civil lot N° 1	93.400.000
Matériel poste MT	190.678.550
Matériel poste HT	286.477.362
Main d'œuvre de montage lot N°2	82.662.371
Pièces détachées	60.000.000
Total	713.218.283

### 5 - 2 - 2 ) Les coûts d'entretien et de maintenance

Le service entretien a prévu trois (3) arrêts annuels pour effectuer l'entretien du poste, donc un arrêt tous les quatre (4) mois . Un entretien nécessite une journée d'arrêt de production donc il y a un manque à gagner .

Production par jour = 3500 /30

Production par jour = 116 tonnes

Le prix d'achat moyen du fer est de 220.000 F CFA la tonne

Cela a une incidence sur les ventes de :

$$\text{Perté} = 116 * 220000 = 25.520.000$$

L'entretien est assuré par une équipe de dix ( 10 ) journaliers payés quotidiennement à raison de 1800 F la journée

$$\text{Ce qui revient à } 10 * 1800 = 18.000 \text{ F CFA}$$

Donc le coût d'entretien par mois = (25.520.000 + 18.000) / 4

$$6.384.500 \text{ F CFA par mois}$$

	utilités ,tension batterie
Digital metering display	Lecteur de paramètres sortie alternateur U,I,P,cos φ
Aanalogic Acoutput metering	Unité de mesures analogiques en % de valeurs nominales U,I ,P, F
Alarm & status message display	Alarme
Adjustment menu	Menu d'ajustement pour opérateur
High ,low fuel alarm	Alarme combustible
Master control model DMC 200	Système de mise en parallèle et accessoires
System operation	Système opératoire
Switchgear distribution cubicle	disjoncteur
Neutral grounding resistor	Résistance de MALT

Prix d'un groupe =222.826.144 F CFA HTVA

Prix des douze (10) groupes =2.673.913.726 F CFA HTVA

Ce total correspond au prix de revient après livraison des équipements.

Dans cette somme est incluse le coût de toutes les protections , aussi bien de l'engin que de l'alternateur .Cette protection concerne les équipements de production et de transport jusqu'au transformateur principal.

Les équipements complémentaires à acheter sont :

- Un transformateur pour relever la tension de sortie des alternateurs jusqu'à 11.000 V ou à 90.000 V selon la configuration qui va être choisie.
- Un disjoncteur pour la protection du transformateur (prix par estimation 20.000.000 F CFA)

Il est aussi prévu de construire un local pour abriter les groupes. Nous avons mentionné dans l'étude technique que, puisqu'il s'agit d'un milieu industriel et que le niveau de bruit était acceptable, donc il n'était pas nécessaire de capoter et d'insonoriser les groupes.

Les douze (12) groupes devraient être équipés d'un digital master control ou paralleling control ( unité de contrôle et de mise en parallèle )qui va assurer la mise en parallèle des groupes et leur supervision .

Il est recommandé d'acheter des alternateurs ayant à leur sortie une tension de 3.300 V .

Le transformateur aura les caractéristiques suivantes :

- Entrée 3.300 V
- Sortie : 11000 V ou 90.000 V
- Puissance 15 MVA
- Coût 180.000.000 F CFA par estimation

## **6- 2 )Les coûts d'exploitation**

### **Inventaire des intrants**

- Diesel Oil :combustible
- Huile SAE 40 : huile de lubrification
- Eau : refroidisseur

### **consommation en diesel oil**

Le diesel oil, nécessite avant utilisation une centrifugation d'où l'achat d'une centrifugeuse.

Calculons la consommation spécifique des groupes :

Etant donné qu'un groupe de 1008 kW qui marche pendant une heure consomme 254 l et a fourni une puissance de 1008 kWh

Consommation spécifique =  $(1008 / 254) = 3,9685$  kWh /litre

Consommation en Diesel oil pour une consommation énergétique de 2.816.468, kWh par mois

Evaluons la quantité de combustible consommée par mois sachant que la consommation énergétique mensuelle en régime permanent est de 2.816.468 kWh / mois

La consommation de combustible équivalente est

$$=(2.816.468) / (3,9685) =709.705,94 \text{ litres}$$

La tonne de diesel oil coûte 81974 F CFA HTVA (source Direction de l'énergie) Sa densité est proche de 0,85 kg/litre Donc une tonne de diesel oil équivaut à 1176,47 litres

La consommation en tonnes de diesel oil est alors de 603,25 tonnes / mois  
Ce qui est équivalent à : 49.450.843,84 F CFA / mois de combustibles

### **Consommation en huile de lubrification**

L'huile de chaque groupe CUMMINS doit être vidangée après 250 heures de marche. La capacité d'un groupe est 177 litres

Calcul du nombre d'heures de marche dans le mois

$$=(2.816.468) / 1008 \text{ (kWh/KW)}$$

$$=2794,12 \text{ heures de marche}$$

le nombre de vidange par mois est par le rapport du nombre d'heures de marche par mois sur la durée du cycle de vidange

$$\text{nombre de vidange} = (2794,12) / 250 = 11,176 \text{ vidanges}$$

Puisqu'il faut changer l'huile toutes les 250 heures donc il y aura dans le mois 12 vidanges .

La consommation mensuelle est de :

$$\text{CONS} = 12 * 177 \quad (12 \text{ vidanges} * \text{volume d'un vidange} )$$

$$\text{CONS} = 2124 \text{ litres d'huile de lubrification / mois}$$

Le prix d'un litre d'huile SAE 40 est de 850,216 F CFA HTVA (source MOBIL OIL )

Ce qui correspond à une somme de : 1.805.858,784 F CFA pour l'huile de lubrification

Les groupes sont refroidis par des radiateurs à eau. L'eau des radiateurs n'étant pas régulièrement changée, les coûts engendrés ne sont pas tout à fait déterminant et sont même négligeables.

Le coût des intrants des groupes tenant compte que du combustible et de l'huile de lubrification sera de :

$$\text{COÛT DES INTRANTS} = 51.256.702,62 \text{ F CFA/ mois}$$

**Remarque :** Il faudra maintenant tenir compte des coûts d'entretien des charges du personnel et de l'amortissement.

### **6 - 3 ) Calcul de l'amortissement mensuel**

Nous avons choisi d'appliquer un amortissement linéaire, qui n'est pas le plus avantageux .Mais puisque nous évaluons la rentabilité d'un projet , nous prenons les conditions les plus pessimistes dans notre évaluation .Dans ce projet nous pourrions prendre un amortissement dégressif qui serait dans ce cas le plus avantageux pour notre projet. La durée de vie technique des groupes est estimée à 25 ans de fonctionnement.

Amortissement = (investissement) / (durée d'amortissement)

La durée d'amortissement pouvait être différente de la durée de vie utile des équipements, avec remise en état neuf périodiquement.

Nous prévoyons une somme de 100.000.000 F CFA pour servir à la construction d'un local pour abriter les groupes mais aussi des autres charges imprévues.

Tableau 6 - 2 ) Tableau récapitulatif des coût d'investissement dans Le cas d'une centrale DIESEL

Désignation	Prix HTVA F CFA
12 groupes électrogènes (protection poste de contrôle et supervision )	2.673.913.726
Transformateur principal	180.000.000
Disjoncteur	20.000.000
Marge d'investissement	100.000.000
Investissement initial	2.973.913.726

En ce qui concerne l'investissement initial vue la durée de vie assez longue de ces équipements il n'est pas trop significatif sur le prix de revient du kWh, seulement il faut reconnaître qu'il constitue un facteur encourageant s'il est à la portée du porte feuille de la SOSETRA.

Amortissement mensuel = (2.973.913.726) / (25\*12)

$$= 9.913.045,753 \text{ F CFA}$$

#### 6 - 4 ) coût d'entretien et de réparation

Pour les coûts d'entretien, les références en matière de maintenance suggèrent un coût total d'entretien de 3,8 % de la valeur initiale (source document séminaire sur la maintenance industrielle organisé par les ingénieurs associés).

Nous avons choisi pour ce qui est du projet un pourcentage de 5 % : ce qui est très sécuritaire.

Tableau 6 - 3 ) tableau des coûts d'entretien et de réparation

Répartition des coûts	F CFA
Coût total d'entretien sur la durée de vie	$0,05 * 222.826.144$ $=11.141.308$
Coût d'entretien mensuel	37.138
Coût pour les 12 groupes	445.653
coût de réparation par mois	2.000.000

Le coût de réparation est une charge fictive incluse dans nos calculs pour faire face à d'éventuelles pannes : il faut noter qu'à ce point la fréquence des pannes peut être fortement réduite si les entretiens sont bien effectués. Mais puisque la probabilité pour qu'une machine tombe en panne n'est jamais nulle le coût de réparation constitue une charge à prévoir même si elle n'est toujours à supporter.

#### **6 - 5) Les charges du personnel**

Pour les charges du personnel, nous estimons que l'exploitation de la centrale DIESEL pourrait être assurée par une équipe de dix (10) techniciens pour une charge salariale de 2.000.000 F CFA

Charges du personnel	2.000.000 F CFA
----------------------	-----------------

Les charges sociales ne sont pas prises en compte .

**6 - 6 ) Calcul du prix de revient du kWh DIESEL**

Tableau 6 - 3 ) tableau récapitulatif des coûts d'exploitation de la centrale DIESEL

Désignation	F CFA
Investissement initial	2.973.913.720.
Amortissement mensuel	9.913.046
Charge du personnel	2.000.000
Coût d'entretien	445.653
Coût de réparation	2.000.000
Coût du combustible par mois	49.450.843.84
Coût de l'huile de lubrification	1.805.858,784
Valeur de revente	0,00
Coût direct d'exploitation	55.702.355,62
Coût net du kWh	19.777
Coût total d'exploitation	65.615.398,62
Prix de revient du kWh	23,297

La particularité de la turbine à gaz est sa vitesse de rotation élevée, qui atteint 10.000 à 20.000 tours par minute. A la vérité, cette vitesse de rotation élevée ne constitue pas un avantage, car, dans la plupart des applications, elle entraîne, pour la commande des appareils d'utilisation, la nécessité d'un réducteur de vitesse, engin très bruyant et dont la présence contribue à baisser le rendement mécanique de l'installation.

La haute température à laquelle sont portés les gaz dans la chambre de combustion constitue un lourd handicap pour les turbines à gaz, même si cela peut être partiellement résolu par un excès d'air. Cet excès d'air aura comme conséquence une chute de rendement de la combustion et donc du rendement global de la turbine à gaz.

Au niveau des rendements, il faut noter que les turbines à gaz classiques présentaient des rendements très faibles. Mais de nos jours, pour augmenter leur efficacité, on réalise d'une part la compression en plusieurs étages (avec refroidissement intermédiaires entre étages), et d'autre part la détente en plusieurs étages (avec réchauffages intermédiaires entre étages).

Ainsi toutes les turbines à gaz à haut rendement fonctionnent sur ce principe, avec une régénération des produits de la combustion (gaz d'échappement).

Ces dispositifs complémentaires aura pour première conséquence une augmentation considérable du poids des turbines à gaz.

Les turbines à gaz constituent des équipements d'un niveau technologique très avancé et difficile à entretenir.

La technologie n'est pas maîtrisée par les techniciens locaux et son entretien peut durer plusieurs mois : ce qui fait que pour les applications industrielles on installe le double de la puissance totale requise.

Le doublement de la puissance à installer va augmenter l'investissement.

Pour sa fourniture, aucune entreprise sénégalaise ne travaille avec un fabricant de turbine à gaz, et donc aucune donnée économique leur concernant n'est à notre disposition.

C'est pour cela d'un commun accord avec la direction externe du projet nous avons décidé d'abandonner l'étude sur la possibilité de remplacement par une turbine à gaz.

Ce chapitre nous permettra de porter notre choix sur une solution bien définie. À l'issue de l'étude économique que nous avons menée nous avons établi que l'installation d'une centrale DIESEL présentait un coût d'exploitation direct meilleur que celui de l'abonnement à la SENELEC. En effet la solution centrale DIESEL bien que ayant présenté des coûts d'exploitation très encourageants nécessite un investissement initial très considérable. Pour pouvoir affirmer davantage la rentabilité du projet nous allons devoir appliquer les techniques d'évaluation des projets en ingénierie

### 8 - 1 ) Délai de récupération du capital ou DRC

Cette méthode permet de savoir quand sera récupéré le capital investi aujourd'hui connaissant ce capital et les cash flow des différentes années de vie du projet. Il exprime le risque dans un projet. Le DRC est calculé à partir de l'expression suivante :

$$\text{DRC} = (\text{investissement initial} / \sum (\text{Cash flow net})) \quad (8 - 1)$$

Remarque : le cash flow est donné ici par le manque à gagner en continuant l'abonnement à la SENELEC plus l'amortissement

Cash flow net = (manque à gagner - impôt- dép - ) + amortissement

Ici le taux d'imposition est nulle parce le manque à gagner n'est pas une entrée d'argent mais plutôt un coût différentiel une économie réalisée en optant pour la solution centrale DIESEL.

Mais cet économie réalisée doit être imposée au niveau du bénéfice global réalisé par l'entreprise. En considérant un taux nul nous perdons en valeur ajoutée ce qui met toujours le projet dans les conditions les plus pessimistes.

Il faut signaler que la méthode du DRC ne permet pas de retenir un projet, mais plutôt de le rejeter au cas où son DRC était théoriquement infini c'est à dire plus long que la durée de vie du projet. Par ailleurs la méthode ne tient pas compte de la valeur de l'argent dans le temps.

**TABLEAU 8 - 1) tableau des coûts d'exploitation des options et du DRC**

	Quantité	Unités
Coût net du kWh cas SENELEC	57.98	F CFA
Coût net du kWh cas centrale DIESEL	19.777	F CFA
Consommation énergétique	2816468	kWh
Coût de revient net cas SENELEC (direct)	163.299.500	F CFA
Coût de revient net cas centrale DIESEL (direct)	55.702.358,62	F CFA
Manque à gagner	107.597.141,4	F CFA
Investissement initial DIESEL	2.973.913.720	F CFA
PAYBACK	27,04	Mois

Le graphique (8 – 1) joint à ce tableau livre le coût total d'exploitation en fonction de la consommation depuis l'installation de l'usine .

La courbe caractéristique d'une option est donnée par :

$\text{COUT TOTAL} = \text{Investissement} + \text{Coût net du kWh} * \text{Energie consommée}$

Pour le cas de la SENELEC

$\text{COUT TOTAL} = 713.218.283 + \text{Energie consommée} * 57,116$  en F CFA

Pour le cas de la centrale DIESEL

$\text{COUT TOTAL} = 2.973.913.720 + \text{Energie consommée} * 19,98$  en F CFA



## 8 - 2 ) la valeur actuelle nette du projet ( VAN )

La VAN utilise la technique du flux monétaire actualisé ,qui intègre la valeur de la monnaie dans le temps .

Elle consiste à trouver la valeur actuelle du flux monétaire net attendu d'un investissement actualisé au coût du capital et de soustraire de cette valeur la mise de fonds initiaux du projet .

$$VAN = \sum (Rt / (1 + k)^t) - C \quad (8 - 2)$$

Avec :  $k$  = coût du capital

$C$  = investissement initial

$VAN$  = valeur actuelle nette

$Rt$  = manque à gagner ou cash flow

Ici pour savoir le coût du capital , il faut d'abord connaître la structure de l'investissement initial , c'est à dire donner la valeur due aux fonds propres et celle due aux créditeurs (banquiers ..) .Connaissant , en plus le coût du capital pour chaque part nous ferons une moyenne pondérée .Mais dans ce projet l'investissement n'est pas encore en place et peut provenir de n'importe quel financement nous ne pouvons pas savoir à priori les coûts et leurs valeurs , nous allons supposer un coût très lourd qui est de 10 % et que l'investissement vienne intégralement de prêt bancaire.

En matière de prêt bancaire , le coût du capital le plus élevé est inférieur à 10% :ce qui équivaut au taux d'intérêt très lourd pour le crédeur .En général les prêts sont fait avec des taux inférieur à 10 %.

Dans l'étude de ce projet nous nous plaçons dans cette situation où le taux de remboursement est le plus défavorable :dans ce cas  $k = 10 \%$

$$Rt = 107.342.053,8 * 12$$

$$Rt = 1.288.104.646 \text{ F CFA}$$

$$\text{ANNUITE} = 9.077$$

$$VAN = 8.718.212.150 \text{ F CFA}$$

La VAN est une valeur algébrique et qui signifie selon qu'elle est :

Si  $VAN = 0$  le projet considéré est sans perte ,ni profit

Si  $VAN < 0$  , donc négative :le projet en question ne va engendré que des pertes .

Si  $VAN > 0$  donc positive : le projet peut être retenu car engendre des bénéfices.

Le projet présente une VAN très grande et positive nous pouvons donc dire que le projet est rentable et retenu.

### 8 - 3 ) Calcul du taux de rendement interne du projet ( TRI )

C'est le taux d'intérêt pour lequel la VAN des recettes futures escomptées est égale au coût du capital .

Dans l'équation de la VAN

$$VAN = \sum (Rt / (1 + r)^t) - C = 0 \quad (8 - 4)$$

$$\sum (Rt / (1 + r)^t) = C \quad (8 - 5)$$

$$r = TRI$$

Remarque : ce projet devrait offrir un TRI au moins supérieur au coût du capital pour être retenu car nous avons déjà démontré qu'il était rentable . La résolution de cette équation à une inconnue se fait par approximations (essais) successives .

Après calcul nous obtenons TRI = 42.059 %

TRI = 42,059 % > k = 10 % donc le projet est retenu .

Il s'agit dans cette partie de trouver une configuration de la centrale qui va garantir la meilleure réutilisation du poste actuel .Il convient dès lors de s'appuyer sur l'existant pour concevoir un nouveau poste sans profonde modification. Il devrait respecter toute exigence de fonctionnement de l'usine et permettre une permutation facile et rapide de sources d'approvisionnement ( centrale DIESEL ou SENELEC).

Pour se faire nous avons étudié trois ( 3 ) configurations possibles du poste . Le choix de la configuration définitive devra faire l'objet d'une optimisation, en ayant en vue :

- Une possible modification de la sous station
- L'achat de nouveaux équipements de mesure ou la réutilisation des équipements actuels.
- Le choix de la gamme complémentaire de nouveaux transformateurs de puissance

Nous nous proposons des configurations d'implantation, le choix définitif nécessite une étude complémentaire

### **9 - 1 ) étude technique du Poste**

La conception d'un réseau électrique doit assurer aux procédés une continuité d'alimentation compatible avec les contraintes de production. Elle doit impérativement assurer la sécurité du personnel de l'unité industrielle et de son environnement. Elle doit aussi prendre en compte la préservation de l'outil de travail. On prévoit donc une conception permettant d'agir en toute sécurité dans un temps déterminé pour retrouver la fiabilité initiale. Enfin la conception doit réserver à l'installation la possibilité de répondre à des évolutions sans remise en cause profonde.

L'utilisation d'une source autonome permanente peut s'imposer pour des raisons de sécurité ou de continuité d'exploitation en fonction de la puissance et du niveau de qualité disponibles sur le réseau distribution.

Mais la plupart du temps c'est pour des raisons économiques que l'utilisation de source autonomes se justifie.

Le poste doit être conçu et dimensionné de manière à assurer au moindre coût et dans les meilleures conditions, le démarrage et le fonctionnement en

régime permanent des différentes installations : en cas d'incident, il doit aussi être capable d'assurer la réalimentation des charges.

Il ne s'agit pas nécessairement de réaliser l'investissement initial minimal, mais plutôt de concevoir le réseau qui s'avère le plus économique compte tenu à la fois de l'investissement initial et des frais d'exploitation ultérieurs, en particulier des coûts de pertes d'énergie.

### **9 - 1 - 1 ) Sécurité de fonctionnement d'une installation**

Accroître la sécurité de fonctionnement consiste à réduire la probabilité d'occurrence des risques d'accidents d'une installation et minimiser leurs conséquences.

Il est donc nécessaire de protéger l'installation pour :

- préserver la sécurité des personnes et des biens (danger d'électrocution par élévation du potentiel des masses).
- Préserver la stabilité du réseau et de la continuité d'exploitation de l'usine (élimination des défauts électriques dans un temps minimal).
- Eviter la destruction partielle ou totale du réseau par l'élévation dangereuse des températures due au fonctionnement anormal des éléments.
- Eviter les risques d'incendie ou d'exploitation dues à l'amorçage d'un arc entre conducteurs.

### **9 - 1 - 2 ) Rôle d'un système de protection**

Le système de protection doit détecter les fonctionnements électriques anormaux dus :

- aux défauts d'isolement neutre :
  - un conducteur et la terre (défaut monophasé),
  - deux conducteurs (défaut biphasé),
  - trois conducteurs (défauts triphasé).
- aux surcharges prolongées,
- aux surtensions,
- aux déséquilibres.

La protection du réseau est assurée lorsque les éléments défectueux sont mis hors tension le plus rapidement par des dispositifs de coupure en charge (disjoncteur, contacteur, fusible).

### **9 - 1 - 3 ) Circuit de déclenchement**

Il s'entend depuis le ou les contacts du relais de protection jusqu'au dispositif de manœuvre de l'organe du coupure. Sa fonction est de transmettre à cet organe l'ordre issu du relais. Cet ordre peut être relayé pour rendre compatibles les différents matériels.

### **9 - 1 - 4 ) Qualités d'un système de protection**

Un bon système de protection doit :

- Être sélectif (chronométrique, ampèremétrique à verrouillage ).
- Être rapide pour limiter les dégâts dus aux arcs et aux courants de court circuit internes aux matériels.
- Avoir le comportement le plus indépendant possible de la configuration du réseau.
- Être indifférent aux anomalies de fonctionnement du réseau qui ne sont pas celles pour lesquelles la protection doit agir.
- Être sensible pour fonctionner dans des circonstances où les courants de défauts se trouvent réduits par une résistance de défaut.
- Être fiable c'est-à-dire prêt à remplir son rôle à tout instant sans défaillance pendant de nombreuses années, ce qui n'exclut pas les contrôles périodiques et préventifs.

La fiabilité d'un relais est liée à :

- Sa robustesse,
- la qualité de ses composants pour les relais électroniques,
- la qualité du circuit de sortie à contacts pour le déclenchement,
- les relais doivent aussi avoir une faible consommation pour réduire les puissances demandées aux réducteurs de mesure et leur coût.

Ce rôle peut être assuré → soit directement à partir d'élévation incorporée aux dispositifs du coupure (relais magnéto - thermique),,

→ soit indirectement à partir d'ensembles extérieurs aux dispositifs de coupure comprenant les éléments suivants :

- réducteurs de mesure,
- relais de protection,

- circuit de déclenchement.

### **9 - 1 - 5 ) Structure d'un système de protection indirect..**

#### **9 - 1 - 5 - 1 ) Réducteur de mesure**

Ils sont composés de transformateurs, soit de courants, soit de tension nécessaire à l'alimentation des dispositifs de mesure et de comptage.

Ils ont pour but :

- D'isoler le réseau des dispositifs précités, qui sont d'un niveau d'isolement inférieur.

- De délivrer à ce faible niveau d'isolement des courants (5A ou 1A) et des tensions (100 V ou 100/V<sub>3</sub>) par transformation des grandeurs primaires correspondantes de réseau.

#### **9 - 1 - 5 - 2 ) Relais de protection**

Un relais de protection est un dispositif de surveillance continue de l'état électrique d'un réseau. Il est destiné à donner des ordres de mise hors tension du circuit de ce réseau ; siège d'un fonctionnement anormal lorsque la grandeur électrique où l'alimentation franchissent un seuil prédéterminé.

Cette surveillance est généralement confiée à un ensemble de relais élémentaires judicieusement associés et choisis en fonction de la structure et des conditions d'exploitation du réseau. A cet effet, on dispose des systèmes suivants : ampéremétriques, volumétriques, directionnels, différentiels, à verrouillage etc.

### 9 - 2 ) implantation physique de la centrale

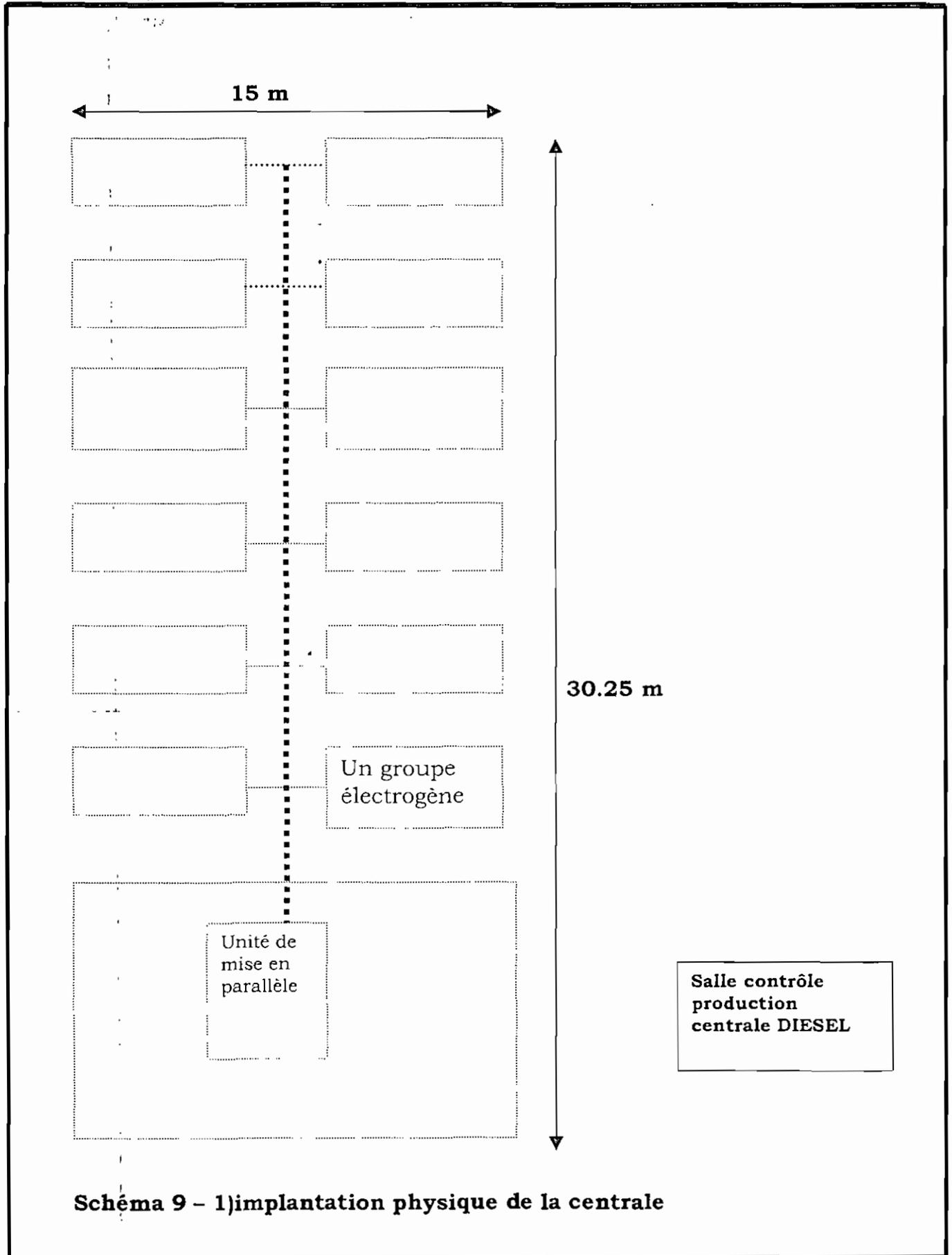


Schéma 9 - 1) implantation physique de la centrale

### **9 - 3 ) configuration connexion sur 90 KV**

Pour cette configuration il faut nécessairement un transformateur pour élever la tension de sortie des alternateurs de 3300 V à 90000 V. Elle fait l'économie d'un disjoncteur pour la protection en amont de ce même transformateur .Elle permet une utilisation facile de la centrale DIESEL , mais aussi l'utilisation de la SENELEC en secours. Et les équipements mis en place pour l'utilisation de l'énergie de la SENELEC seront utilisés quelque soit la source ( SENELEC ou centrale DIESEL). Cependant cette option met en série deux transformateurs , ce qui va engendrer beaucoup de pertes. Ces pertes peuvent être évaluées de l'ordre de 20 % de la puissance transitante ,ce qui avec le temps constitue un coût énorme.

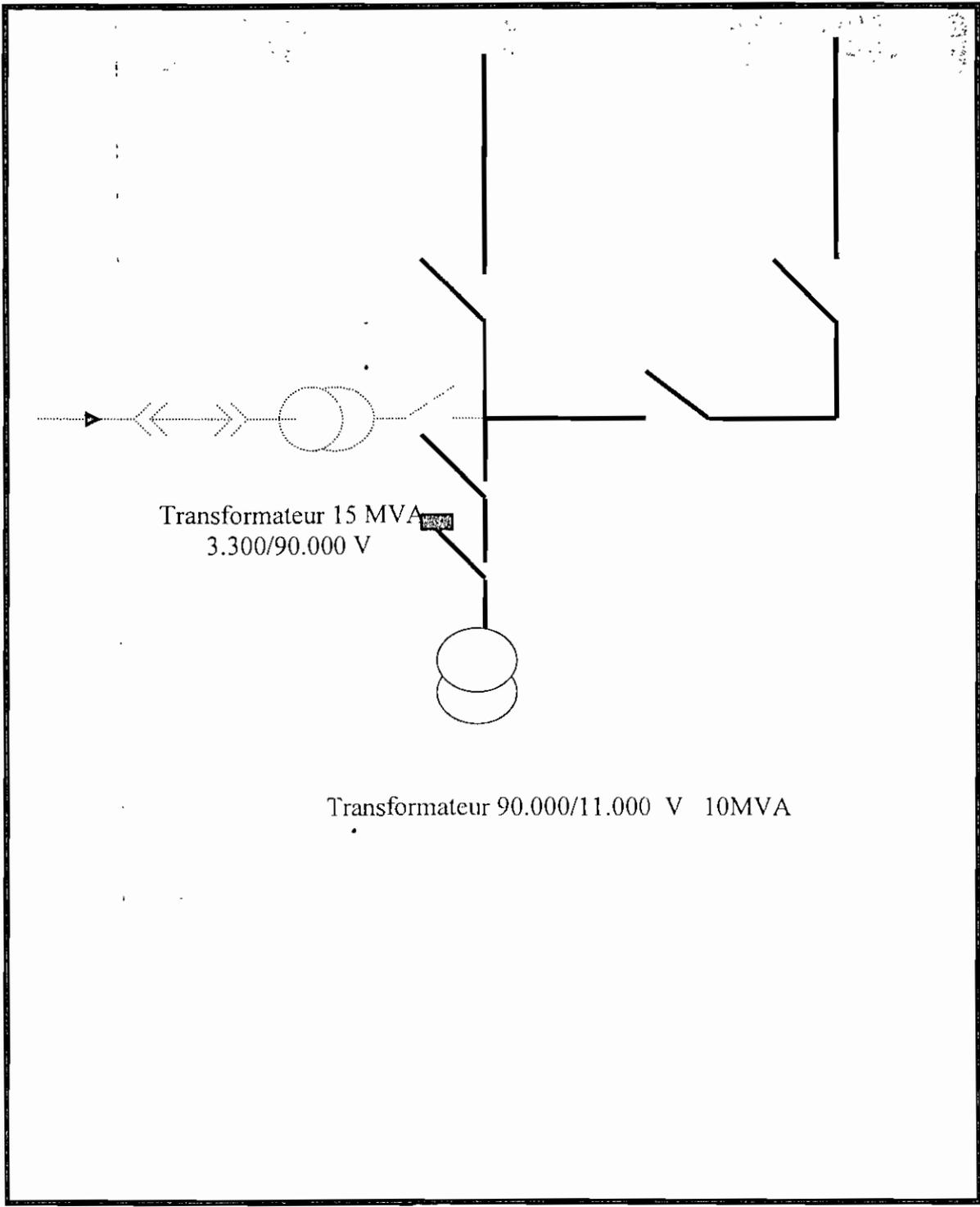
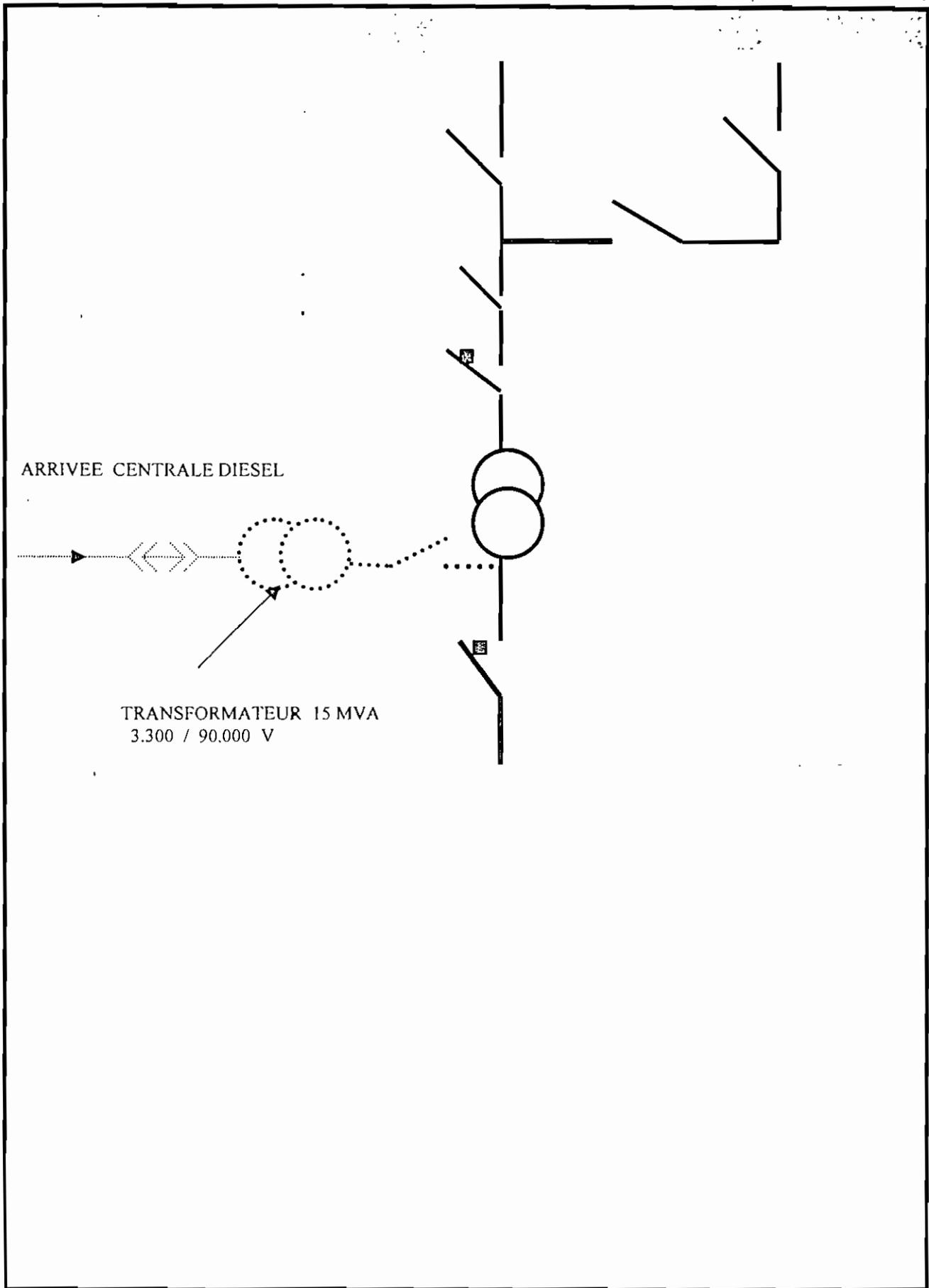


Figure 9 - 2 configuration connexion à 90KV

**9 - 4 ) configuration branchement sur 11KV**

Elle nécessite l'achat d'un transformateur élévateur 3300/11000V . Il faudra cependant acheter tous les dispositifs de mesure tels que des transformateurs de tension et des transformateurs de courant , et de relayage pour la commande des disjoncteurs .Un sectionneur sera aussi nécessaire pour la connexion à la cellule arrivée salle 11KV. Cependant les pertes dues aux deux transformateurs la rendent moins performantes .Il faut signaler que nous enregistrons les mêmes pertes que dans la situation actuelle .(ordre 20% de la puissance qui transite )

Il faudra aussi un disjoncteur pour la protection en amont du transformateur .



**9 -5 ) configuration sortie centrale à 11.000 V**

Cette option reste sans doute une bonne dans la mesure où elle fait l'économie d'un transformateur mais aussi les pertes sont réduites à moins de 10% Elle présente une situation meilleure qu'actuellement au plan des pertes dans le réseau . Mais il faudra acheter tous les réducteurs de mesure et les relais de protection.

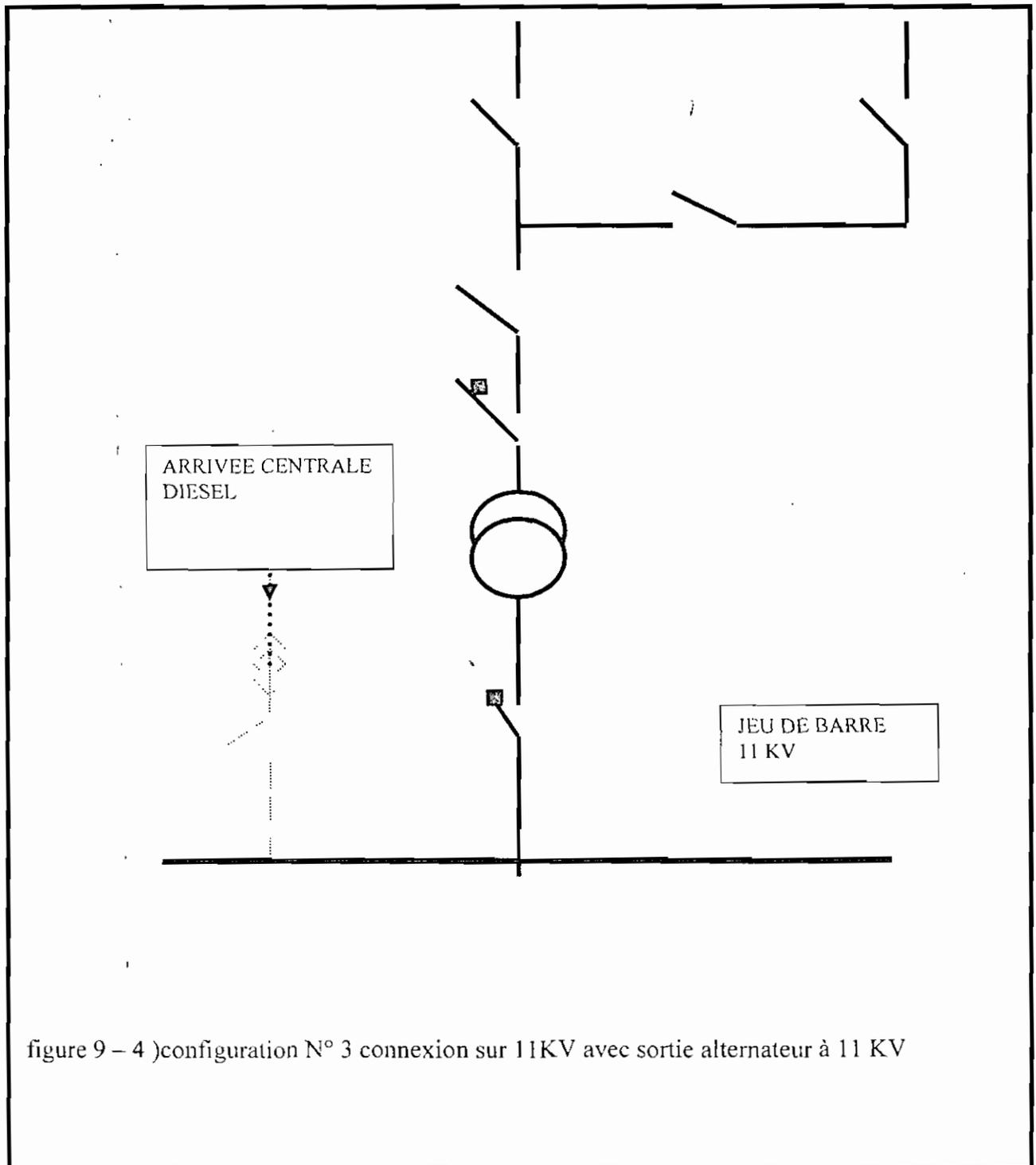


figure 9 - 4 ) configuration N° 3 connexion sur 11KV avec sortie alternateur à 11 KV