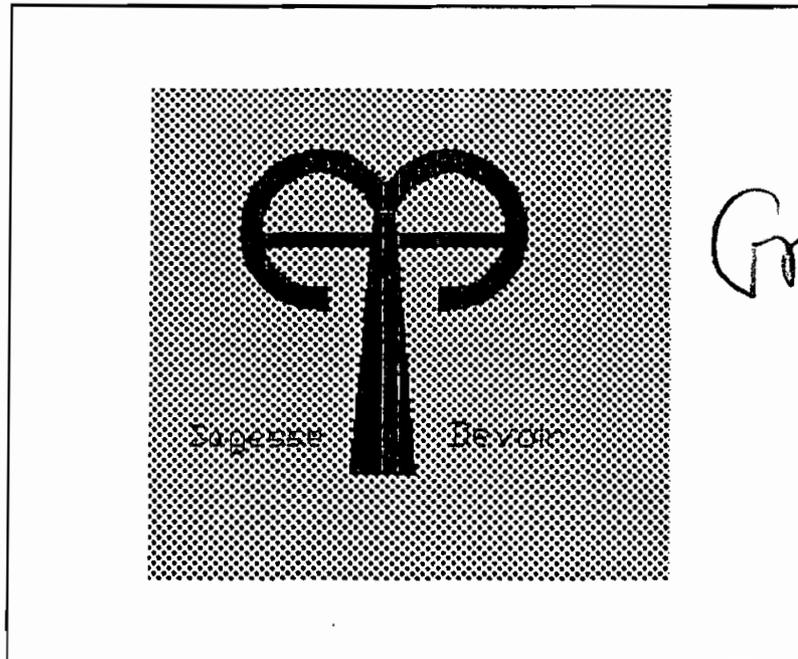


REPUBLIQUE DU SENEGAL



**Ecole Polytechnique de Thiès**

PROJET DE FIN D'ETUDES  
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION  
EN GENIE MECANIQUE

**TITRE: ETUDE DE LA SELECTIVITE DES PROTECTIONS  
ELECTRIQUES AU NIVEAU DE LA CENTRALE  
THERMIQUE CIII DE CAP DES BICHES (SENELEC)**

**AUTEUR: Cheikh Ahmed Tidiane GUEYE**

**COLLABORATEUR: Abdel Kader KOUNDOUL**

**DIRECTEUR: Igor SABATIN ,Ing,Ph.D**

**CO-DIRECTEUR: Idrissa NIASS ,Ing  
Chef de service Exploitation  
(SENELEC)**

**JUIN 1991**

## **DEDICACE**

- A mon père
- A ma mère
- A mes frères et soeurs
- A ma future épouse
- A mes amis
- Et a tous ceux qui me sont chers.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier monsieur Idrissa Niass, monsieur Serigne Diop, monsieur Abdoulaye Dia, monsieur Codé Samb et monsieur Pape N'DIAYE et tout le personnel des services de la direction de la production et du transport de la SENELEC pour leurs suggestions et leurs participations actives sur le fond et la forme de la présente étude.

Nous remercions monsieur Igor Sabatin pour son encadrement et pour le long travail de correction dont il s'est chargé.

Nos remerciements vont également à messieurs Diarra et Cheikh Wade pour les documents qu'ils ont mis à notre disposition.

Nous associons aussi les élèves de la 18<sup>ème</sup> promotion pour l'assistance qu'ils nous ont apportée pour le traitement de textes et les dessins.

Nous remercions enfin toutes les autres personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail.

## **SOMMAIRE**

Ce travail est le fruit d'une étude de la coordination des protections au niveau de la CENTRALE THERMIQUE CIII DE CAP DES BICHES (SENELEC). Il a pour but de proposer une protection sélective après avoir déterminé :

- les combinaisons de groupes les plus probables pour déterminer les puissances de court-circuit maximale et minimale .

- les caractéristiques des différents éléments de réseau interconnecté

- les courants de court- circuit à chaque niveau de tension

Une étude de la protection actuelle sera faite et nous proposerons un ensemble de solutions aux différents cas que nous allons rencontrer.

## TABLE DE MATIERES

	PAGES
DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
SOMMAIRE.....	iii
TABLE DES MATIERES.....	iiii
CHAPITRE I : Introduction.....	
CHAPITRE II : Présentation de la centrale ....	
I- Structure topologique du schéma unifilaire.....	
II- Les éléments du schéma unifilaire.....	
a- Les groupes turbo-alternateurs	
b- Les transformateurs	
c- Les moteurs asynchrones	
CHAPITRE III: Calcul des impédances et de courants de court circuit .....	7
I- Hypothèses de calcul.....	
a- Sur les générateurs	
b- Sur les pompes et les ventilateurs	
II- Méthode de calcul .....	
a- Les grandeurs de base et le courant de court circuit	
b- Calcul des impédances relatives des éléments:générateurs,transformteurs et moteurs	
b1-Les générateurs	
b2-Les transformateurs	

b3-Les moteurs

III- Calcul des impédances relatives.....

IV- Calcul des courants de court circuit..

**CHAPITRE IV: Vérification des sections de cables**

I-Echauffement normal  $S_j$

II-Condition de chute de tension admissible  $S_z$

III-Condition de surcharges en court circuit  $S_c$

**CHAPITRE V: Généralités sur la protection.....**

I- Nécessité d'un système de protection .

II- Pourquoi un système de protection....

III- Les relais de protection et organes  
de coupure.....

IV - But de la coordination et type  
de sélectivité.....

V- Critère de choix d'un relais  
de protection.....

VI- Qualité d'un relais de protection.....

**CHAPITRE VI: Etude de la protection actuelle.....**

I- Les relais thermiques type ST.....

II- Les relais temporisés à maximum  
de courant type S.....

**CHAPITRE VII: Protection des éléments**

**fonctionnels.....**

I- Protection des moteurs.....

II- Protection des transformateurs.....

III- Protection des alternateurs.....

IV- Protection du réseau.....

**CHAPITRE VIII: Proposition d'un système**

**de protection.....**

- I- Protection de la tranche 303.....
- II- Protection des tranches 302 et 303.....
- III- Protection contre un défaut à la terre ....
- IV- Protection avec neutre isolé.....
- V- Justifications de la proposition.....
  - a- Etude de la protection entre phases
  - b- Précaution à prendre
  - c- Protection entre phase et terre

**CHAPITRE IX: Conclusions et recommandations.....**

## CHAPITRE I:INTRODUCTION

L'économie industrielle repose essentiellement sur l'utilisation massive d'énergie mécanique . Cette énergie se présente sous diverses formes dont une des plus importantes à l'heure actuelle est l'énergie électrique.

Celle ci peut être produite de plusieurs façons. Un des moyens classique est l'utilisation de l'énergie calorifique des combustibles.

La centrale thermique C III de Cap des biches est constituée de trois tranches de vapeur et deux turbines a gaz. Ce qui représente une puissance installée de 155 MVA soit 57.195% de la puissance totale du parc de production du réseau interconnecté de la SENELEC.

(voir schema parc de production)

Ces chiffres montrent des lors l'importance que nous devons et que nous avons accordée à l'étude de la coordination des protections électrique de cet ensemble complexe.

Dans ce projet nous nous proposons d'étudier la sélectivité (la coordination) des protections c'est à dire l'aptitude à déclencher uniquement la partie du réseau affectée par le défaut, de permettre ainsi la continuité du service des autres appareils et de protéger le personnel et le matériel.

La procédure à suivre est de la suivante:

-Recherche des données sur le circuit à étudier et voir ses interactions avec les autres éléments du réseau interconnecté afin de définir les hypothèses de calcul.

-Faire le calcul des courants de défaut et proposer un réglage et une coordination des protections

-Comparer si possible avec le réglage existant pour en tirer des conclusions et faire des recommandations .

**PARC DE PRODUCTION RESEAU INTERCONNECTE  
SENELEC**

**BEL AIR**

<b>CII</b>	
4 GROUPES VAPEUR	→ 64 MVA
2 GROUPES DIESEL	→ 12.5 MVA
<hr/>	
23.61 %	

BH91

BH92

**HANN**

CH91

CH92

CH93

CH94

**CAP DES BICHES**

**CIII**

3 GROUPES VAPEUR	G301, G302, G303	155 MVA
2 TURBINES A GAZ	TAG1, TAG2	
<hr/>		
57.195%		

**CIU**

2 GROUPES DIESEL	52 MVA
<hr/>	
19.19%	

## **CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA CENTRALE**

### **I- Structure topologique du schéma unifilaire**

Le schéma montre que l'ensemble de la centrale est un réseau constitué par deux sous ensemble:

-les tranches 301 et 302 constituent un réseau bouclé en haute tension (12.5 Kv ,tableaux 2P et P) et en moyenne tension (3.3 Kv,tableaux 2A,B et A) .

La turbine à gaz est reliée au TGS qui sert aussi de transformateur de secours pour les tranches 301 et 302.

- La tranche 303 constitue à elle seule un réseau en antenne.

### **II-les éléments du schéma unifilaire**

Chaque tranche est constituée :

- d'un générateur (groupe turbo alternateur)
- de transformateur éleveur de tension 12.5 KV / 90 KV
- de transformateurs abaisseurs de tension 12.5 KV / 3.3 KV et 3.3 KV / 380 V.
- de pompes alimentaires
- de pompes de circulation
- de ventilateurs de soufflage pour les chaudières à pression (302 ,303)
- de ventilateurs de tirage pour les chaudières à dépression (301)
- et des auxiliaires basse tension

### **a- Les groupes turbo alternateur**

Nous avons deux types de groupe: les groupes vapeur et les turbines à gaz

La turbine à vapeur (à combustion externe) détend

la vapeur sortant de la chaudière sous une haute pression (80bars) et une température très élevée(500°C). Cette énergie est utilisée pour entraîner en rotation l'arbre de la turbine. Et par application de la loi de LENZ (variation de flux ,création de tension induite) on produit ainsi une tension de 12.5 KV.

Pour les turbines à gaz la combustion est interne;et on utilise l'énergie cinétique des gaz brûlés pour produire de l'énergie électrique.

### **b- Les transformateurs**

La tension de 12.5 KV produite aux bornes de l'alternateur est élevée par un transformateur 12.5/90 KV afin de faire le transport de l'énergie en haute tension .

Leurs enroulements sont reliés en triangle étoile avec neutre à la terre.

Les transformateurs 12.5/3.3 KV abaissent la tension produite par l'alternateur afin de servir les moteurs et les jeux de barres moyenne tension.

Leurs enroulements sont reliés en étoile triangle avec le neutre à la terre.

Les transformateurs 3.3 KV / 380 V servent à alimenter les auxiliaires basse tension.

Leurs enroulements sont reliés en étoile triangle avec neutre à la terre .

**c- Les moteurs asynchrones**

-Les ventilateurs

Ils servent à fournir de l'air de combustion au niveau de la chaudière.

-Les pompes alimentaires

Elles alimentent la chaudière en eau distillée.

-Les pompes de circulation

L'eau de mer venant de l'appontement par le canal d'amenée est aspirée par une pompe de circulation qui la refoule dans le condenseur d'où elle sort par le canal de retour .

(Voir schéma de principe d'une centrale thermique )

## **CHAPITRE III CALCUL DES IMPEDANCES ET DE COURANTS DE COURT CIRCUIT**

Pour faire le calcul de courants de court-circuit nous avons tenu compte de certaines conditions d'exploitation .

### **I HYPOTHESES DE CALCUL**

#### **a-Sur les générateurs**

Selon les prescriptions du **SERVICE EXPLOITATION**:

- \* Les groupes vapeur travaillent à 80% de leurs puissances nominales ,
- \* Les groupes diésel fonctionnent à 100% de leurs puissances nominales,
- \* Les turbines à gaz ne fonctionnent que pour écrêter une pointe.

#### **b- Pour les pompes et les ventilateurs.**

Pour une continuité du service et une fiabilité dans la production nous avons sur chaque tranche des machines doublées (deux pompes alimentaires, deux pompes de circulation , deux ventilateurs de soufflage).

Dans nos calculs nous aurons une machine en marche et l'autre au repos.

### **II METHODE DE CALCUL**

#### **a - Les grandeurs de base et les courants de court circuit**

Le courant de court circuit n'étant limité que par les impédances entre les sources et le point de défaut , sa détermination requiert préalablement celles des impédances .

La méthode de calcul utilisée et celle des impédances

relatives que l'on appelle per unit system (pu).

La méthode consiste à choisir parmi les quatre grandeurs électriques ( une tension de ligne U ,une intensité de ligne I une impédance de phase Z et une puissance apparente S) deux grandeurs de base et à déterminer les deux autres de base à l'aide des relations usuelles .

Dans notre étude ,nous choisirons une tension de base de 12.5kv en haute tension et 3.3 kv en moyenne tension avec une puissance de base Sb de 100MVA .

L'impédance de base Zb et Ib seront données par les formules

$$I_b = S_b / \sqrt{3} \cdot U_b \qquad Z_b = U_b / \sqrt{3} \cdot I_b$$

Connaissant les grandeurs de base on calcule les grandeurs relatives correspondantes suivant la relation générale :

Grandeur relative = grandeur réelle/grandeur de même nature de base

Pour les transformateurs ,les moteurs et les alternateurs ; les impédances relatives seront calculées par la relation :

$$X_{pu} = S_b / P_{cc}$$

avec  $X_{pu}$ =reactance relative de l'élément

$$P_{cc} = \text{Puissance de court circuit en MVA} = S_n / e$$

avec  $S_n$ =puissance nomimale en MVA

e=tension de court circuit en % pour les transformateurs

= Réactance subtransitoire pour les alternateurs et les moteurs ;

$$\text{donc } X_{pu} = S_b / S_n \cdot e$$

Tension relative  $U_{pu}$

$$U_{pu} = U_{\text{service}} / U_{\text{base}}$$

en haute tension  $U_{pu} = U_{service} / 12,5kv$

$U_{pu} = 1$  pour les appareils 12.5kv

$U_{pu} = 90/12.5 = 7,2$  pour les appareils 90kv

en moyenne tension  $U_{pu} = 3,3kv/3,3kv = 1$  .

Enfin le courant de court circuit boulonné stationnaire en un point sera donné par  $I_{cc} = U_{pu} * I_b / X_{put}$

$I_{cc} \text{ assy} = F_m I_{cc} \text{ syn}$

$F_m = \text{facteur de multiplication} = 1.6$

(voir annexes :TABLEAU N°2)

avec  $U_{pu} = \text{tension relative existant au point de défaut avant court circuit}$

$X_{put} = \text{impédance relative totale entre les sources et le point où l'on calcule le défaut . Cette impédance inclut les sources .}$

$*I_b = \text{courant de base ; il dépend du niveau de tension ou du point où l'on calcule le courant de court circuit donc en haute tension } I_b = S_b / \sqrt{3} * U_b = 100 \text{ MVA} / \sqrt{3} * 3.3kv = 17.50 \text{ kA}$

Ainsi la réactance de base est donnée par :

$$Z_b = U_b / \sqrt{3} * 4.62 = X_b$$

en haute tension :  $12.5 / \sqrt{3} * 4.62 = 1.562$

en moyenne tension :  $3.3 / \sqrt{3} * 17.5 = 0.109$

**b - Calcul des impédances relatives des éléments : Générateur**

**Transformateurs et Moteurs**

**b-1 GENERATEURS**

$$X_{pu} = S_b * X'' / S_n$$

$S_b = 100 \text{ MVA}$

$S_n = \text{la puissance en MVA}$

X": réactance subtransitoire en pourcentage

\* remarque : pour les deux groupes diésel de Bel-AIR, nous avons approximé leur réactance subtransitoire.

(Voir annexes:TABLEAU N°1)

#### **b-2 les transformateurs**

$$X_{pu} = S_b \cdot U_{cc} / S_n$$

U<sub>cc</sub> = Tension de court circuit

#### **b-3 les moteurs asynchrones**

Un moteur asynchrone brusquement désalimenté (U=0) se comporte comme un générateur pendant une courte durée. Ainsi en cas de faute aux bornes, il contribue au courant de court circuit.

Dans notre étude nous considérons que la contribution des moteurs basse tension est négligeable: ainsi seuls les moteurs moyennes tensions seront considérés.

L'impédance relative est donnée par la formule

$$X_{pu} = S_b \cdot X'' / P$$

S<sub>b</sub> = puissance de base choisie = 100 MVA

P = puissance électrique nominale du moteur en MVA

$$P = p_n / R \cdot \cos\phi$$

P<sub>n</sub> = puissance mécanique en kw

cosφ = facteur de puissance

R = Rendement

X'' = Réactance subtransitoire du moteur = I<sub>n</sub>/I<sub>d</sub>

I<sub>n</sub> = courant normal

I<sub>d</sub> = courant de démarrage

Sauf indication contraire, on prend I<sub>d</sub> = 6\*I<sub>n</sub> d'où X'' = 17%

Ainsi on peut écrire pour un moteur

$$X_{pu} = S_b * R * \cos\phi * X'' / 100 * P_n$$

R = rendement du moteur

### **III CALCUL DES IMPEDANCES RELATIVES**

Voir les Tableaux

- Calcul des impédances des groupes
- Calcul des impédances des transformateurs
- Calcul des impédances des moteurs asynchrones

Pour les câbles haute tension le calcul des impédances a été déjà fait par la division **QUALITE DU SERVICE (SENELEC HANN)**. Ainsi nous avons les valeurs suivantes :

\* Bel-Air ---- Hann :  $Z_{eq} = 0.2937 + 0.9j \Omega$

\* Hann -----Cap Des Biches :  $Z_{eq} = 0.5421 + 1.66j \Omega$

$$Z_{total} = 0.8358 + 2.561j \Omega \quad |Z_{tot}| = 2.694$$

$$Z_{pu} = Z/Z_b = 2.694/1.562 = 1.725$$

### **IV CALCUL DU COURANT DE COURT CIRCUIT**

Avant de faire le calcul du courant de court-circuit proprement dit , nous allons déterminer d'abord les réactances totales vues au point de défaut. Pour cela on utilisera les relations générales du circuit électrique.

Réactances en série:  $X_{eq} = X_1 + X_2$

Réactances en parallèles :  $1/X_{eq} = 1/X_1 + 1/X_2$

#### **a- Cas de l'hypothèse de puissance de court circuit minimale**

Pour faire ce calcul nous avons tenu compte des minima de productions ainsi nous avons une puissance installée de 78.5 MW et une puissance produite de 67.184 MW avec la combinaison suivante

\* CI et CII à l'arrêt

## CALCUL DES IMPEDANCES DES GROUPEES

Sb : puissance de base du circuit

Ub : tension de base 12.5Kv

Pcc = Sn/e : puissance de court circuit d'un module

X"d = Ucc = e : reactance subtransitoire oire ou tension  
de court circuit en %

Zpu = ( Sb/Sn ) \* e : impédance par unité (per unit)

Cr coefficient de reduction de puissance

GROUPE	Sn(Mva)	Cr	X"d(%)	Zpu
<b>BEL-AIR</b>				
G101	16.00	0.80	21.50	1.68
G102	16.00	0.80	21.50	1.68
G103	16.00	0.80	21.50	1.68
G104	16.00	0.80	21.50	1.68
D101	6.25	1.00	25.00	4.00
D102	6.25	1.00	25.00	4.00
<b>CAP DES BICHES CIII</b>				
G301	33.00	0.80	17.00	0.64
G302	37.50	0.80	12.00	0.40
G303	37.50	0.80	12.00	0.40
TAG1	21.00	0.80	14.20	0.85
TAG2	26.00	0.80	17.10	0.82
<b>CAP DESICHES CIV</b>				
G401	26.00	0.80	28.00	1.35
G402	26.00	0.80	28.00	1.35

## CALCUL DES IMPEDANCES DES TRANSFOS

TRANSFO	Sn (MVA)	Ucc	Zpu
<b>BEL AIR</b>			
ATR1	10.00	0.80	0.08
ATR2	10.00	0.80	0.08
ATR3	10.00	0.80	0.08
TR1	10.00	11.80	1.18
TR2	10.00	11.80	1.18
TR3	10.00	11.80	1.18
<b>CAP DES BICHES CIII</b>			
TG1	37.50	12.40	0.33
TG2	37.00	12.80	0.35
TG3	37.00	13.00	0.35
TGS	37.50	12.40	0.33
TrTAG2	26.00	13.00	0.60
Tr301	33.00	12.90	0.39
Tr302	33.00	12.90	0.39
Tr3	2.50	6.18	2.47
Tdo	2.50	6.18	2.47
Tr9	2.50	6.18	2.47
Tr10	2.50	6.18	2.47
Tr5	2.50	6.18	2.47
Tr4	2.50	6.18	2.47
Ts3	2.50	6.18	2.47
<b>TRANSFO 3.3/.38 Kv</b>			
Tr11	0.63	4.00	6.35
Tr7	0.63	4.00	6.35
Tr8	0.63	4.00	6.35
Tr32	0.63	4.00	6.35
Tr31	0.63	4.00	6.35
Tro	0.63	4.00	6.35
<b>CAP DES BICHES CIV</b>			
TR401	26.00	12.00	0.46
TR402	26.00	12.00	0.46

## CALCUL DES IMPEDANCES DES MOTEURS ASYNCHRONNES

MOTEURS	COSQ	REND	Pn(Mw)	Sn(Mva)	X"d(%)	Zpu
<b>TRANCHI01</b>						
VT1	0.85	0.94	0.25	0.31	17.00	54.33
VS1	0.85	0.93	0.20	0.25	17.00	67.19
PA1	0.92	0.92	0.55	0.65	17.00	26.16
PC1	0.84	0.90	0.20	0.26	17.00	64.26
VT2	0.85	0.94	0.25	0.31	17.00	54.33
VS2	0.85	0.94	0.20	0.25	17.00	67.91
PA2	0.92	0.92	0.55	0.65	17.00	26.16
PC2	0.84	0.90	0.20	0.26	17.00	64.26
<b>TRANCHE 302</b>						
PA1	0.92	0.92	0.60	0.71	17.00	23.98
PC1	0.84	0.90	0.20	0.26	17.00	64.26
PA2	0.92	0.92	0.60	0.71	17.00	23.98
PC2	0.84	0.90	0.20	0.26	17.00	64.26
VS	0.85	0.93	0.60	0.76	17.00	22.40
<b>TRANCHE 303</b>						
PA1	0.92	0.92	0.60	0.71	17.00	23.94
PC1	0.84	0.92	0.20	0.26	17.00	65.69
VS	0.85	0.93	0.60	0.76	17.00	22.40
PA2	0.92	0.93	0.60	0.70	17.00	24.24
PC2	0.84	0.90	0.20	0.26	17.00	64.26

\* CIII : G301, G302

\* CIV : G404

(voir schéma : combinaison de groupes pour  
puissance de court circuit minimale)

Les résultats sont donnés par les tableaux ( calcul des  
courants de court circuit suivants).

**b- Cas de l'hypothèse de puissance de court-circuit maximale**

Nous avons choisie l'hypothèse

\* CII: G201, D101, D102

\* CIII: G301, G302, G303,

TAG1 (pour écréter la pointe (5MW)

\* CIV : G401,et G402

donc soit une puissance installée de 145 MW et une puissance  
produite de 137.6MW .

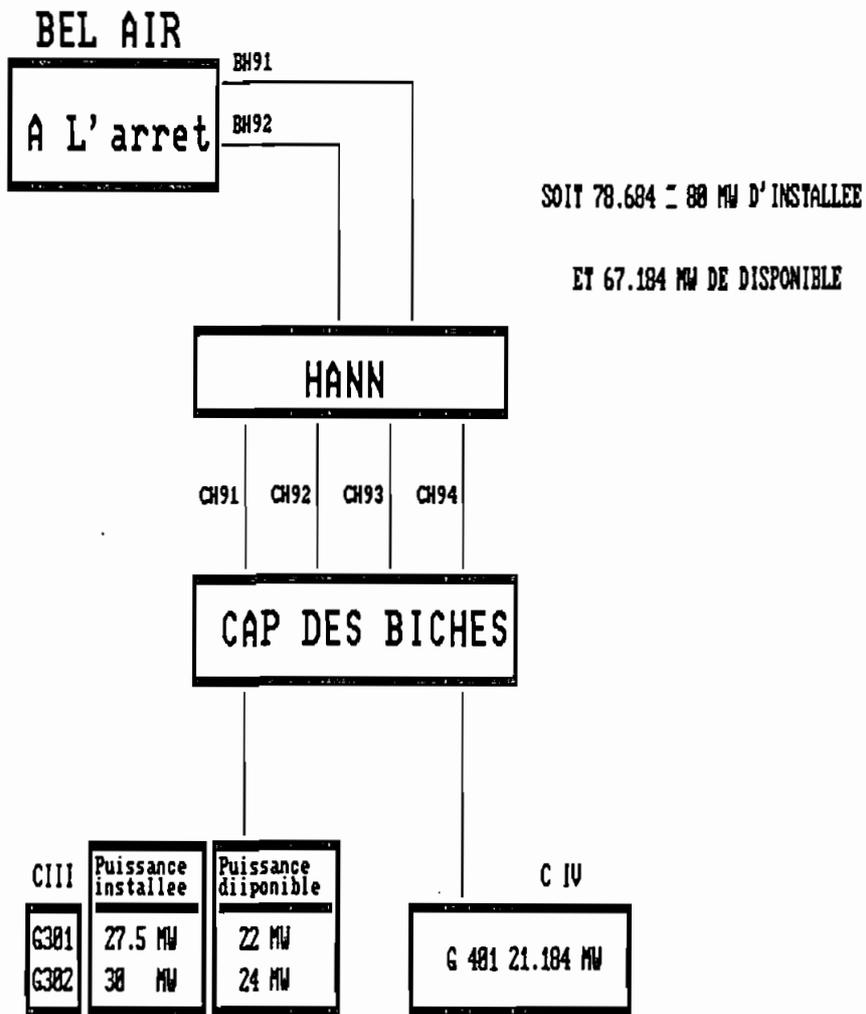
(voir combinaison de groupes pour puissance  
de court circuit maximale)

Les hypothèses de puissance de court circuit maximale et minimale  
concordent avec les valeurs trouvées à partir de la monotone de  
charge du réseau interconnecté de la SENELEC pour l'année 1990.

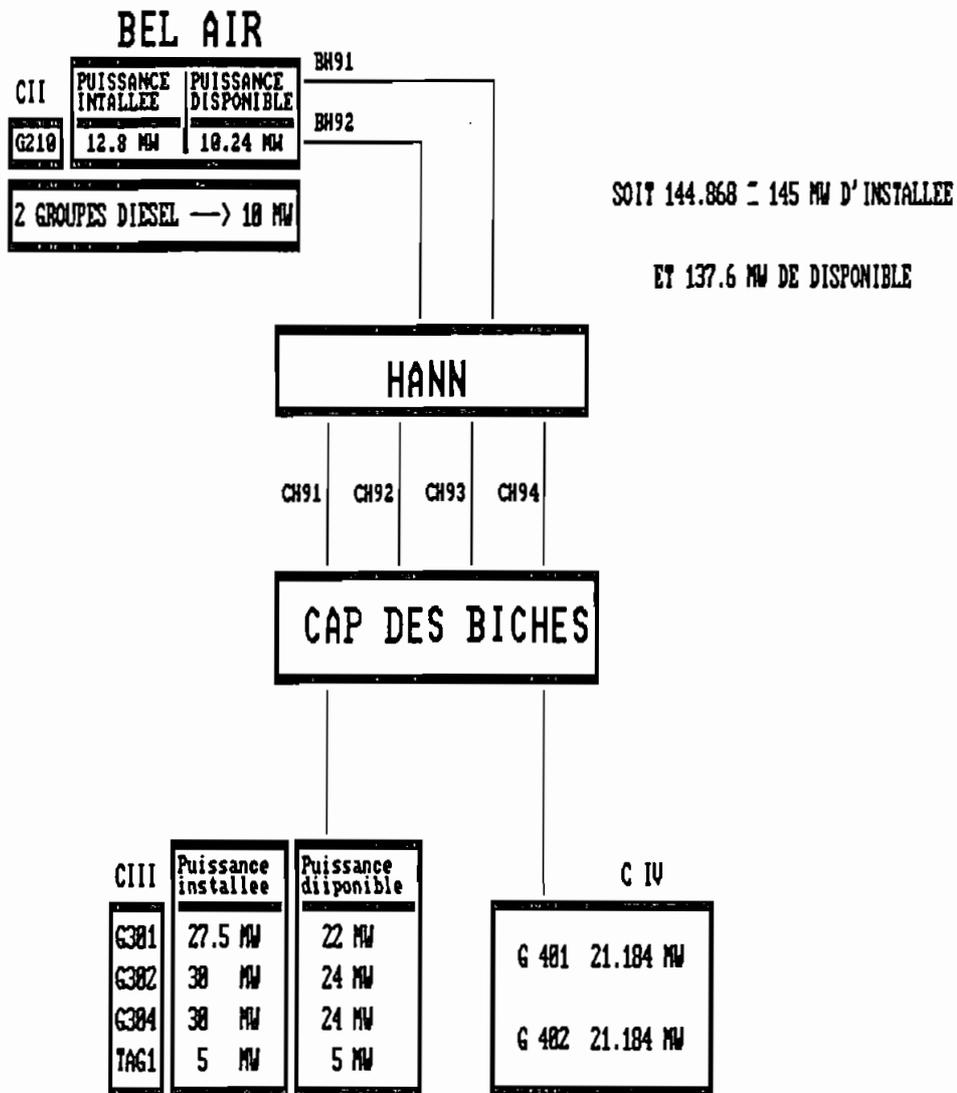
Pour 8500 heures dans l'année, on produit 65 MW et la puissance  
maximale est obtenue à 132 MW.

Les résultats sont donnés par les tableaux de Calcul des courants  
de court circuit .

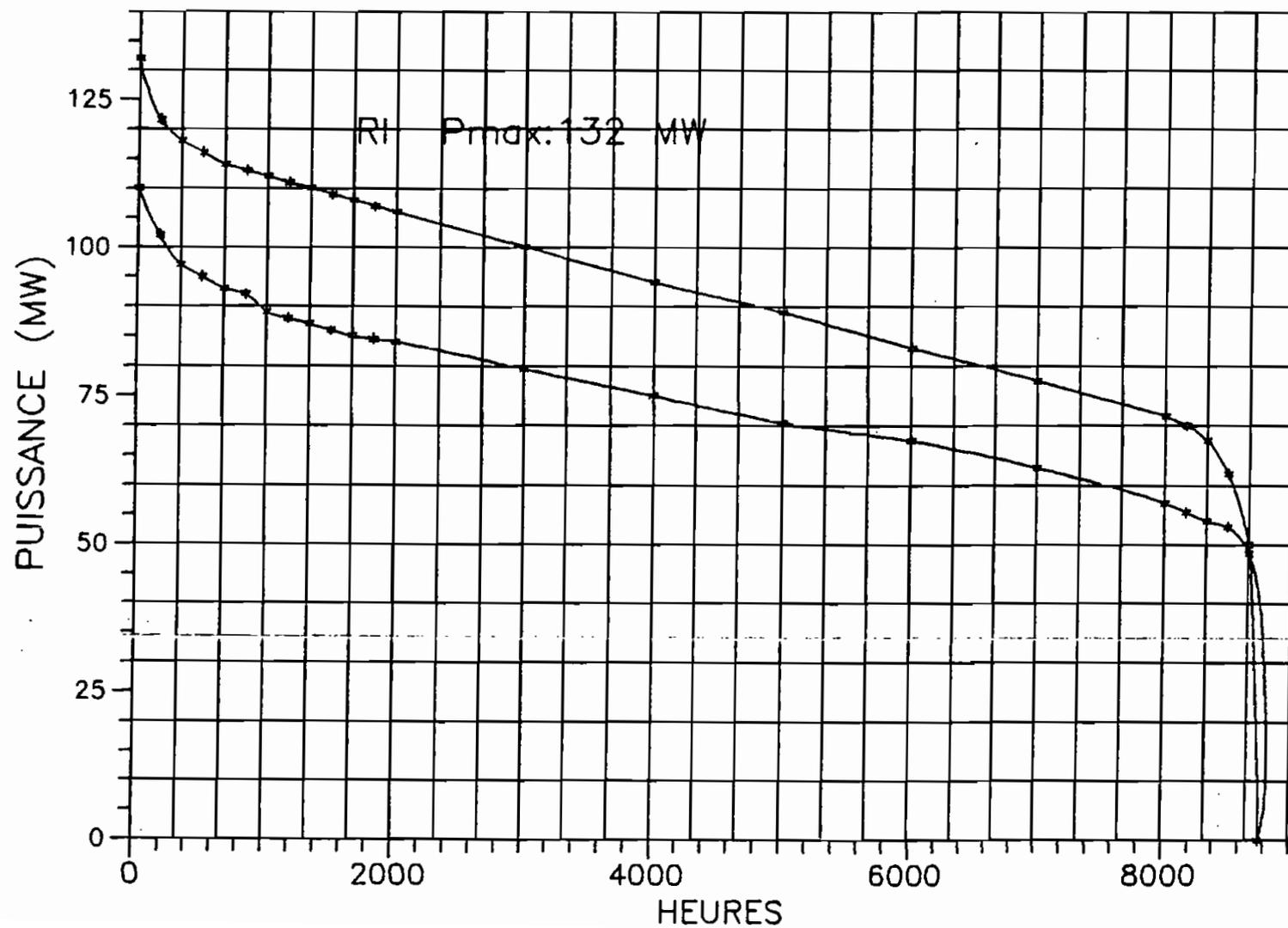
COMBINAISON DE GROUPES POUR PUISSANCE DE COURT CIRCUIT MINIMALE



COMBINAISON DE GROUPES POUR PUISSANCE DE COURT CIRCUIT MAXIMALE



MONOTONES DES CHARGES 1990  
RESEAU INTERCONNECTE  
CAP DES BICHES CIII



**EXEMPLE DE CALCUL:** Faute sur jeu de barres 90 KV . Cas de puissance de court circuit minimale

<u>éléments</u>	<u>X</u>		<u>1/X</u>
S301	1.235		
(TR4 TR5)	<u>11.48</u>		
	12.715	----->	0.07865
G301	0.64	----->	<u>1.5625</u>
	0.609	----->	1.6411
TG1	<u>0.33</u>		
	0.939	----->	1.065*
S303	9.845		
TS3	<u>2.47</u>		
	12.315	----->	0.0812
G303	0.4	----->	<u>2.5</u>
	0.3874	----->	2.5812
TG3	<u>0.35</u>		
	0.7374	----->	1.356*
CIV	1.54	----->	0.649

---

Xput	0.326	----->	3.07
------	-------	--------	------

**CALCUL DES COURANTS DE COURT CIRCUIT**  
**(hypothese de puissance de court circuit minimale)**  
**306.748 MVA**

TRANCHE 301

FAUTES	U(KV)	Xput	lcc sym KA	lcc assym KA	lcc propre base KA
F1	90	0.326	102.036	163.258	3.15
F2	12.5	0.351	13.1623	21.0598	21.0598
F3	12.5	0.269	17.1747	27.4795	27.4795
F4	12.5	0.269	17.1747	27.4795	27.4795
F5	12.5	0.351	13.1623	21.0598	21.0598
F6	3.3	2.25	7.77777	12.4444	12.444
F7	3.3	2.25	7.77777	12.4444	12.444
F8	3.3	1.4	12.5	20	20
F9	3.3	1.4	12.5	20	20
F10	3.3	1.4	12.5	20	20
F11	3.3	1.4	12.5	20	20
F12	3.3	1.4	12.5	20	20
F13	3.3	1.4	12.5	20	20
F14	3.3	1.4	12.5	20	20
F15	3.3	1.4	12.5	20	20
F16	3.3	1.4	12.5	20	20
F17	3.3	1.4	12.5	20	20
F18	3.3	1.4	12.5	20	20
F19	3.3	1.4	12.5	20	20
F20	3.3	1.4	12.5	20	20
F21	.38	7.73	0.26069	0.41710	31.4
F22	.38	7.73	0.26069	0.41710	31.4

**CALCUL DES COURANTS DE COURT CIRCUIT**  
**(hypothese de puissance de court circuit minimale)**  
**306.748 MVA**

**TRANCHE 303**

FAUTES	U(KV)	Xput	lcc sym KA	lcc assym KA	lcc propre base KA
F1	90	0.326	102.037	163.259	3.150
F2	12.5	0.274	16.861	26.978	26.978
F3	12.5	0.274	16.861	26.978	26.978
F4	12.5	0.274	16.861	26.978	26.978
F5	3.300	2.150	8.140	13.023	13.023
F6	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F7	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F8	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F9	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F10	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F11	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F12	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F13	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F14	3.3	2.150	8.140	13.023	13.023
F15	0.380	8.490	0.237	0.380	28.600
F16	0.380	8.490	0.237	0.380	28.600
F17	0.380	8.490	0.237	0.380	28.600

**CALCUL DES COURANTS DE COURT CIRCUIT**  
**(hypothese de puissance de court circuit minirmale)**  
**306.748 MVA**

**TRANCHE 302**

FAUTES	U(KV)	Xput	lcc sym KA	lcc assym KA	lcc propre base KA
F1	90	0.326	102.037	163.259	3.150
F2	12.5	0.351	13.162	21.060	21.060
F3	12.5	0.351	13.162	21.060	21.060
F4	12.5	0.269	17.175	27.480	27.480
F5	12.5	0.269	17.175	27.480	27.480
F6	3.3	2.250	7.778	12.444	12.444
F7	3.3	2.250	7.778	12.444	12.444
F8	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F9	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F10	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F11	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F12	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F13	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F14	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F15	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F16	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F17	3.3	1.140	15.351	24.561	24.561
F18	.38	7.730	0.261	0.417	31.400
F19	.38	7.730	0.261	0.417	31.400

**CALCUL DES COURANTS DE COURT CIRCUIT**  
**(hypothèse de puissance de court circuit maximale)**  
**606.061 MVA**

**TRANCHE 301**

FAUTES	U(KV)	Xput	lcc sym KA	lcc assym KA	lcc propre base KA
F1	90	0.165	201.600	322.560	6.220
F2	12.5	0.162	28.519	45.630	45.630
F3	12.5	0.144	32.083	51.333	51.333
F4	12.5	0.144	32.083	51.333	51.333
F5	12.5	0.162	28.519	45.630	45.630
F6	3.3	2.130	8.216	13.146	13.146
F7	3.3	2.130	8.216	13.146	13.146
F8	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F9	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F10	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F11	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F12	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F13	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F14	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F15	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F16	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F17	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F18	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F19	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F20	3.3	1.230	14.228	22.764	22.764
F21	.38	7.580	0.266	0.425	32.100
F22	.38	7.580	0.266	0.425	32.100

**CALCUL DES COURANTS DE COURT CIRCUIT**  
**(hypothese de puissance de court circuit maxi male)**  
**606.061 MVA**

TRANCHE 302

FAUTES	U(KV)	Xput	lcc sym KA	lcc assym KA	lcc propre base KA
F1	90	0.165	201.600	322.560	6.200
F2	12.5	0.162	28.519	45.630	45.630
F3	12.5	0.162	28.519	45.630	45.630
F4	12.5	0.144	32.083	51.333	51.333
F5	12.5	0.144	32.083	51.333	51.333
F6	3.3	2.130	8.216	13.146	13.146
F7	3.3	2.130	8.216	13.146	13.146
F8	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F9	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F10	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F11	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F12	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F13	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F14	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F15	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F16	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F17	3.3	1.230	14.228	22.764	22.769
F18	.38	7.580	0.266	0.425	32.100
F19	.38	7.580	0.266	0.425	32.100

**CALCUL DES COURANTS DE COURT CIRCUIT**  
**(hypothese de puissance de court circuit maximale)**  
**606.061 MVA**

**TRANCHE 303**

FAUTES	U(KV)	Xput	lcc sym KA	lcc assym KA	lcc propre base KA
F1	90	0.165	202.909	324.655	6.220
F2	12.5	0.229	20.175	32.279	32.279
F3	12.5	0.229	20.175	32.279	32.279
F4	12.5	0.229	20.175	32.279	32.279
F5	3.300	2.120	8.255	13.208	13.208
F6	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F7	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F8	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F9	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F10	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F11	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F12	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F13	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F14	3.3	2.120	8.255	13.208	13.208
F15	0.380	8.470	0.238	0.381	28.700
F16	0.380	8.470	0.238	0.381	28.700
F17	0.380	8.470	0.238	0.381	28.700

#### CHAPITRE IV : VERIFICATION DES SECTIONS DE CABLES

La détermination de la section technique de l'ame d'un câble consiste à déterminer quelle est la section normalisée satisfaisant aux conditions suivantes :

##### I- Echauffement normal (Sj)

L'intensité transportée par chaque conducteur produit une quantité de chaleur dont la dissipation dépend de la nature des matériaux constitutifs et de l'environnement .

Un équilibre thermique établi , détermine la température de fonctionnement du câble relevée à la surface de séparation de l'ame conductrice et de l'isolant (température de l'âme).

$$\theta_c < \theta_{\max} \text{ admissible des matériaux}$$

$$Q \text{ développée} = R I^2 n \quad (W)$$

$$Q \text{ développée} = Q \text{ accumulée} + Q \text{ évacuée}$$

$$Q \text{ évacuée} = \alpha_t S_{\text{latérale}}$$

avec  $\alpha_t$  : conductivité thermique

$S_{\text{latérale}}$  : surface latérale du conducteur

$\theta_c$  : température du conducteur

$\theta_o$  : température du milieu (standard)

=20° pour les câbles enterrés

=30° pour les câbles à l'air libre

à  $\theta_c = t_{\max}$   $Q \text{ évacuée} = Q \text{ développée}$

$$\Rightarrow \alpha_t \cdot \pi \cdot d_c \cdot l_c (\theta_{\max} - \theta_o) = \int \frac{l_c}{(\pi d_c^2 / 4)} I^2_{\max}$$

$$\Rightarrow \boxed{dc = \left[ \frac{4 \int I^2 \max}{\pi^2 \alpha_t (\theta_{\max} - \theta_0)} \right]^{1/3}}$$

$$\boxed{S_j = \pi d^2 / 4}$$

$I_{\max} = I_n$  disjoncteur

$\theta_{\max} = 90^\circ$  en regime permanent,  $250^\circ$  en court circuit

$\theta_0 \approx 30^\circ$

$\int_{Cu} = 0.01724 \text{ } \Omega \text{mm}^2 / \text{m}$        $\alpha_t = \alpha_{Cu}$

$\alpha_{Cu} = 0.0043 / ^\circ \text{C}$

$$dc = \left[ \frac{4 \times 0.01724}{\pi^2 \times 0.0043 t (90 - 30)} I^2 \max \right]^{1/3} = 0.3^3 \sqrt{(I^2 \max)}$$

$$S_j = \pi d^2 / 4$$

## II- Condition de chute de tension admissible

La tension à l'arrivée conditionne la bonne marche des appareils alimentés par la liaison qui doivent fonctionner sous une tension bien déterminée.

Les chutes de tension admissibles sont données en pourcentage de la tension du réseau:

$\Delta V_a = 3\%$  pour l'éclairage

$\Delta V_a = 5\%$  pour force motrice

$\Delta V_a = 10\%$  pour démarrage des moteurs

et  $S_z = \frac{100 \int I_c \cdot P}{\Delta V_a (\%) \cdot U_n^2}$

$$\Delta V_a (\%) \cdot U_n^2$$

Nous n'allons pas utiliser cette méthode pour vérifier les sections

des câbles car les distances sont courtes ( < 50m) donc les chutes de tension sont très faibles.

### III- Conditions de surcharges en court circuit Sc

Les réseaux électriques sont presque toujours équipés de relais temporisés qui coupent les circuits quelques dixièmes de secondes après l'apparition de la surcharge. Ce retard est volontairement prévu pour que des coupures ne soient pas produites par les courts circuits fugitifs, cause de 90% des incidents des réseaux. Le câble doit résister à une intensité plus grande que celle prévue dans le régime normal, pendant le temps correspondant au réglage du relais temporisé.

On admet que la chaleur dégagée par effet Joule pendant la durée de la surcharge reste concentrée dans le conducteur. Le courant de court circuit maximal étant très élevé et le temps de réglage très faible, on peut supposer que le processus est adiabatique.

Donc  $Q$  évacuée = 0 ;  $Q$  développée =  $Q$  accumulée

$$Q = I_{cc}^2 \int (lc/s_c) * t_{cc} = C * M(\theta_{cc} - \theta_n)$$

M: masse du conducteur

C: chaleur spécifique

$\int$ : résistivité

D'où

$$I_{cc}^2 \int (lc/s_c) t_{cc} = C (\pi d^2 c/4) * lc * \delta (\theta_{cc} - \theta_n)$$

$\delta$ : masse volumique

On alors

$$s_c = \frac{1}{K \sqrt{(\theta_{cc} - \theta_n)}} \frac{I_{cc}}{t_{cc}}$$

avec  $K = \int / (C \delta)$

K=11 pour cuivre

K=7.4 pour Aluminium

I<sub>cc</sub> courant de court circuit maximal

t<sub>cc</sub> temps de réglage de la protection.

θ<sub>n</sub> température ambiante (30° C )

θ<sub>cc</sub> température de court circuit (250° C)

$$S_c = \frac{1}{11 \sqrt{\frac{250-30}{t_{cc}}}} I_{cc} = 0.006129 I_{cc} \sqrt{t_{cc}} \text{ (mm}^2 \text{)}$$

avec une durée de surcharge en court circuit de 2 secondes

on a S<sub>c</sub> = 0.00866 I<sub>cc</sub> (I<sub>cc</sub> en (A) )

On choisira la section la plus grande pour les deux méthodes (échauffement normal, et court circuit) et faire la comparaison avec les sections de câbles existantes.

Selon les calculs les cables existantes satisfont bien aux conditons d'echauffement et de court cicuit.

Remarque: Une autre méthode plus pratique est de déterminer les temps de tenue en court circuit des câbles existants.

$$t = (S_{cc} * I_{cc} / 0.006129)_2$$

Ces temps pourront nous permettre de voir les câbles surdimensionnés. (voir tableau temps de tenue en court circuit

## TEMPS DE TENUE EN COURT-CIRCUIT DES CABLES

TRANCHE: 301

CABLES	lccmax(A)	Sc (mm2)	TEMPS (s)
C3	51333	400	1.621152
C4	51333	400	1.621152
C6	13146	400	24.71894
C7	13146	400	24.71894
C11	22764	210	2.272158
C12	22764	210	2.272158
C13	22764	210	2.272158
C14	22764	210	2.272158
C15	22764	210	2.272158
C16	22764	210	2.272158
C17	22764	210	2.272158
C18	22764	210	2.272158
C19	22764	210	2.272158
C20	22764	210	2.272158
C21	32400	2700	185.4106
C22	32400	2700	185.4106

**TEMPS DE TENUE EN COURT-CIRCUIT DES CABLES**

TRANCHE: 302

CABLES	Iccmax(A)	Sc (mm <sup>2</sup> )	TEMPS (s)
C4	27480	400	5.656967
C5	27480	400	5.656967
C6	12444	400	27.58653
C7	12444	400	27.58653
C11	24561	210	1.951837
C12	24561	210	1.951837
C13	24561	210	1.951837
C14	24561	210	1.951837
C15	24561	210	1.951837
C16	24561	210	1.951837
C17	24561	210	1.951837
C18	32400	2700	185.4106
C19	32400	2700	185.4106

## TEMPS DE TENUE EN COURT-CIRCUIT DES CABLES

TRANCHE: 303

CABLES	I <sub>ccmax</sub> (A)	Sc (mm <sup>2</sup> )	TEMPS (s)
C4	13208	450	30.9918
C5	13208	400	24.4874
C7	13208	400	24.4874
C8	13208	400	24.4874
C9	13208	210	6.74934
C10	13208	210	6.74934
C11	13208	210	6.74934
C12	13208	210	6.74934
C13	13208	210	6.74934
C14	13208	210	6.74934
C15	13208	210	6.74934
C16	28700	2700	236.298
C17	28700	2700	236.298

## VERIFICATION DES SECTIONS DES CABLES

TRANCHE:301

CABLES	ECHAUFFEMENT NORMAL			COURT CIRCUIT		Smax(mm2)	Sactuelle
	I <sub>max</sub> (A)	d <sub>j</sub> (mm)	S <sub>j</sub> (mm <sup>2</sup> )	I <sub>ccmax</sub> (A)	S <sub>c</sub> (mm <sup>2</sup> )		
C3	800	23.3	422	51333	444.5	444.5	3*1*400 <sup>2</sup>
C4	800	23.3	422	51333	444.5	444.5	3*1*400 <sup>2</sup>
C6	800	23.3	422	13146	444.5	444.5	3*1*400 <sup>2</sup>
C7	800	23.3	422	13146	444.5	444.5	3*1*400 <sup>2</sup>
C11	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C12	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C13	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C14	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C15	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C16	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C17	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C18	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C19	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C20	400	14.6	166.25	22764	197.1	197.1	3*70 <sup>2</sup>
C21	1000	26.9	563.4	32400	280.584	563.4	3*9*300 <sup>2</sup> /N*300 <sup>2</sup>
C22	1000	26.9	563.4	32400	280.584	563.4	3*9*300 <sup>2</sup> /N*300 <sup>2</sup>

## VERIFICATION DES SECTIONS DES CABLES

TRANCHE:302

CABLES	ECHAUFFEMENT NORMAL			COURT CIRCUIT		Smax(mm2)	Sactuelle
	Imax (A)	dj (mm)	Sj (mm2)	Iccmax(A)	Sc (mm2)		
C4	800	23.3	422	27480	238	422	3*1*400 <sup>2</sup>
C5	800	23.3	422	27480	238	422	3*1*400 <sup>2</sup>
C6	800	23.3	422	12444	107	422	3*1*400 <sup>2</sup>
C7	800	23.3	422	12444	107	422	3*1*400 <sup>2</sup>
C11	400	14.6	166.25	24561	212	212	3*70 <sup>2</sup>
C12	400	14.6	166.25	24561	212	212	3*70 <sup>2</sup>
C13	400	14.6	166.25	24561	212	212	3*70 <sup>2</sup>
C14	400	14.6	166.25	24561	212	212	3*70 <sup>2</sup>
C15	400	14.6	166.25	24561	212	212	3*70 <sup>2</sup>
C16	400	14.6	166.25	24561	212	212	3*70 <sup>2</sup>
C17	400	14.6	166.25	24561	212	212	3*70 <sup>2</sup>
C18	1000	26.9	563.4	32400	280.584	563.4	3*9*300 <sup>2</sup> /N*300 <sup>2</sup>
C19	1000	26.9	563.4	32400	280.584	563.4	3*9*300 <sup>2</sup> /N*300 <sup>2</sup>

## VERIFICATION DES SECTIONS DES CABLES

TRANCHE:303

CABLES	ECHAUFFEMENT NORMAL			COURT CIRCUIT			
	$I_{max}$ (A)	$d_j$ (mm)	$S_j$ (mm <sup>2</sup> )	$I_{ccmax}$ (A)	$S_c$ (mm <sup>2</sup> )	$S_{max}$ (mm <sup>2</sup> )	$S_{actuelle}$
C4	800	23.3	422	13208	114.4	422	3*150 <sup>2</sup>
C5	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*1*400 <sup>2</sup>
C7	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*1*400 <sup>2</sup>
C8	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*1*400 <sup>2</sup>
C9	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*70 <sup>2</sup>
C10	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*70 <sup>2</sup>
C11	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*70 <sup>2</sup>
C12	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*70 <sup>2</sup>
C13	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*70 <sup>2</sup>
C14	400	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*70 <sup>2</sup>
C15	1000	14.6	166.25	13208	114.4	166.25	3*70 <sup>2</sup>
C16	1000	26.9	563.4	28700	248.542	563.4	3*9*300 <sup>2</sup> /N*300 <sup>2</sup>
C17	1000	26.9	563.4	28700	248.542	563.4	3*9*300 <sup>2</sup> /N*300 <sup>2</sup>

## **CHAPITRE V GENERALITES SUR LA PROTECTION**

Toute installation , même exécutée dans les règles de l'art avec des matériaux de choix ,peut être affectée par des dérangements de causes et d'effets divers .

Toutes perturbations influent sur les diverses grandeurs électriques caractérisant le fonctionnement normal de l'installation . Dès l'hors il est nécessaire de mettre en exergue des appareils de protection susceptibles de détecter et annihiler rapidement les types de fautes pouvant survenir dans une installation électrique . Le classement suivant la grandeur électrique la plus affectée donne respectivement les surintensités, les manques de tensions , les surtensions .

### **I- NECESSITE D'UN SYSTEME DE PROTECTION**

Il est nécessaire de protéger un réseau électrique industriel pour:

- préserver la sécurité des biens et des personnes (dangers d'électrocution par élévation du potentiel des masses) .
- préserver la stabilité du réseau et la continuité d'exploitation de l'usine (élimination des défauts électriques dans un temps minimal) .
- éviter la destruction partielle ou totale du réseau par l'accroissement dangereux des temps causés par le fonctionnement anormal des composantes du réseau .
- éviter les risques d'incendie ou d'exploitation dû à l'amorçage d'un arc entre conducteur .

## II- POURQUOI UN SYSTEME DE PROTECTION

IL doit être à mesure de diagnostiquer les fonctionnements anormaux développés par :

- les défauts d'isolement entre un conducteur et la terre ( défaut monophasé ) .
- deux conducteurs ( défauts biphasés ).
- aux surcharges prolongées .
- aux surtensions .
- aux déséquilibres .

Le réseau électrique est assurément protégé lorsque les parties défectueuses sont mises hors tension le plus rapidement possible par les dispositifs de coupure en charge (disjoncteur , contacteur, fusible ,...)

Ce travail peut-être aussi effectué directement à partir des éléments incorporés au dispositif de coupure ( relais magnéto - thermique . ) , soit indirectement à partir d'ensembles extérieurs au dispositif de coupure composé d'éléments suivants : réducteur de mesure et transformateur de courant ou de tension , nécessaire à l'alimentation des dispositifs de mesure et de comptage .

Leur but est d'isoler le réseau des dispositifs précités , qui sont d'un niveau d'isolement inférieur et de délivrer à ce faible niveau d'isolement du courant de ( 5 à 1 Ampère ) ou tension de (100 à  $100 \cdot 3^{-1}$ ) par transformation des grandeurs primaires appartenant au réseau .

### III- LES RELAIS DE PROTECTION

Les relais de protection sont des appareils qui comparent en permanence les grandeurs électriques des réseaux ( courant , tension , puissance , fréquence , impédance...) à des valeurs prédéterminées et qui donnent automatiquement des ordres logiques lorsque la grandeur surveillée atteint la valeur de fonctionnement. L'ensemble cohérent des relais de protection englobe l'élément de base d'un système de protection d'une installation .

Le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un circuit électrique avec pour objectif suivant : l'enlèvement des défauts afin de minimiser les contraintes électriques (surintensités , surtensions ... ) et les contraintes mécaniques sur le matériel du réseau ; cette élimination est obtenue en isolant la plus petite partie possible du réseau où est apparu un défaut : c'est le rôle des relais de protection contre les défauts.

D'autre part ils surveillent les grandeurs électriques du réseau pour contrôler en permanence la qualité de l'énergie fournie et assurer la protection des personnes contre les dangers de l'électricité . C'est le rôle des relais d'exploitation ou de surveillance .

Les relais à prendre pour assurer le bon fonctionnement de chaque unité fonctionnelle sont judicieusement choisis en tenant compte de la structure et des conditions d'exploitation du réseau.

A ce propos les systèmes suivants sont presque tous disponibles dans le marché de dispositifs de protection .

Il est à noter les systèmes suivants :

- ampéremétrique
- volumétrique
- directionnel
- différentiel
- à verrouillage

**a- RELAIS A MAXIMUM DE COURANT**

Ce sont les plus simples et les plus utilisés . Ils sont destinés à détecter les court-circuits biphasés ou triphasés.

Les ordres de sortie peuvent-être instantannés , mais le plus souvent , une temporisation intégrée permet de réaliser la coordination de la protection . La temporisation peut-être à temps constant ( indépendant ) ou à temps inverse ( dépendant ) .

**b- RELAIS A MAXIMUM DE COURANT HOMOPOLAIRE**

Ils mesurent les courants de défauts qui se referment par la terre en dehors du trajet normal des conducteurs .

**c- RELAIS DIRECTIONNELS DE COURANT**

Lorsque l'élimination coordonnée d'une faute implique le diagnostic du sens d'écoulement du jus de puissance , il est recommandé des relais à maximum de courant mais augmenté d'un équipement directionnel . Cet élément se sensibilise sur le chemin de la puissance nourrissant le défaut , en comparant la phase du courant de défaut à celle d'une tension prise comme référence .

Le relais fonctionne quand les conditions de sens d'écoulement de puissance et d'amplitude du courant de défaut sont simultanément respectés .

#### **d- LES RELAIS DIFFERENTIELS DE COURANT**

La protection par relais différentiel consiste à comparer les courants à l'entrée et à la sortie d'un élément du réseau .

Ces relais ont l'avantage de pratiquer une protection intrinsèque car opérant simplement pour les défauts affectant l'élément du réseau surveillé . Leur domaine d'application sont les câbles , les transformateurs , les jeux de barre ( JDB ) , les alternateurs, les moteurs ...

#### **e- LES RELAIS DE SURCHARGE**

Les surcharges contribuent à l'échauffement des machines au-delà de leur température normale d'utilisation . Les effets de cet échauffement développent le vieillissement prématuré des isolants des câbles et enroulements . La protection des surcharges est obtenue suivant différentes formes:

- Relais ampéremétrique à temps constant ou dépendant
- Relais à maximum de courant ou à sonde thermique .

\* Les relais à temps dépendant dont le temps de réponse est d'autant plus court que le temps de surcharge sont importants et protègent plus sur la possibilité thermique des enroulements que les relais ampéremétriques à temps constant .

\* Le relais à image thermique cherche à reproduire une image de l'échauffement moyen des enroulements de la machine .

On les confie surtout aux moteurs en régime de discontinuité ( démarrage , surcharge , fonctionnement à vide ou arrêts...)

\* Les relais à maximum de température surveillent directement la température des enroulements de la machine . Ils utilisent des sondes à résistance placées dans les enroulements qui

sont à leur tour surveillé par des ponts de wheatstone (un pont ,une sonde ) En plus il est équipé d'un dispositif de protection capable d'assurer la continuité de service .

#### **f- LES RELAIS DE SURVEILLANCE DE LA TENSION**

Ils sont utilisés pour le contrôle de la valeur de la tension . Une tension trop forte est le siège de mauvais fonctionnement des machines , une cause de vieillissement pour le matériel et une importante augmentation de pertes .

De même une tension trop basse est un facteur de mauvaise qualité de l'énergie fournie . Le principe de fonctionnement est le même pour les relais à courant mais la différence est que le jus représente la tension .

On note également des relais de déséquilibre , de retour de puissance active , de contrôle d'isolement à la masse du rotor .

#### **g-RELAIS DE DESIQUILIBRE**

Lorsque des courants dans les trois phases d'une machine (moteur ou alternateur ) , une coordonnée inverse de courant apparait et développe un champ tournant dans le sens contraire de rotation de la machine .

Ce champ inverse produit dans le rotor un courant induit à une fréquence double de celle de la machine tournante (100Hz ) et l'ensemble de ces courants produit un effet joule dans le rotor , ce qui permet de diagnostiquer les conditions de dysfonctionnement du système .

#### **h- LES RELAIS RETOUR DE PUISSANCE**

Ils interviennent dans le cadre du sens d'écoulement de la

puissance ( ceci peut-être véhiculé par un relais directionnel de puissance ). On rencontre ces situations lorsqu'un générateur, couplé au réseau ou d'autres machines est en panne d'énergie motrice , il opère en régime moteur synchrone qui puise son alimentation sur le réseau et entraîne les turbines ou moteur Diesel . Ce qui est à l'origine de la cause des avaries dangereuses telles que échauffements et ruptures mécaniques .

#### **i- LES RELAIS DE CONTROLE D'ISOLEMENT ENTRE ROTOR ET MASSE**

Dans ce cadre il faut qu'il y ait deux à trois défauts dans la masse du rotor pour que leurs présences puissent donner des situations alarmantes qui se tradiraient par l'existence d'un court circuit .

Le relais de contrôle détecte le défaut par injection permanente dans le rotor d'une tension à 4Hz . Dès que le défaut commencera son murissement il apparait dans le circuit d'injection un courant qui sera détecté par le relais .

Après avoir développé brièvement les différents types de relais pouvant faire l'objet de protection , il s'ensuit un circuit de déclenchement qui aura pour fonction de transmission à l'organe de coupure ( Disjoncteur , Contacteur , Interrupteur , Fusible ) l'ordre issu du relais .

Avant de continuer l'étude nous allons essayer de définir brièvement les organes de coupures .

#### **j- LES DISJONCTEURS**

C'est un appareil qui sert à établir ou interrompre tout courant pouvant apparaître dans un circuit :

- les courants de charge normaux

- les courants de surcharge anormaux ou normaux
- les courants de défauts

En pratique il est demandé trois fonctions de base pour un disjoncteur : la fonction protection , la fonction commande , la fonction sectionnement , la fonction différentielle et la fonction coupure de sécurité . Donc il est normal d'installer un disjoncteur en tout point d'un réseau , capable de remplir toutes ses fonctions.

#### LA FONCTION PROTECTION

Il se traduit par la protection contre les surcharges en guise de déclenchement thermique .

- Leur seuil de réglage de fonctionnement très voisin de la valeur de réglage leur permet de détecter de faibles surcharges sans sauter . C'est une caractéristique absente chez la fusible .

- Le courant conventionnel de non fonctionnement est la valeur de courant que peut supporter le déclencheur thermique de coupure sans provoquer l'ouverture du disjoncteur .

Exemple : un disjoncteur compact C125/100A traversé par un courant  $1.05I_n$  (105A) ne doit pas déclencher en moins de deux heures .

- Le courant conventionnel de fonctionnement est la valeur du courant qui peut provoquer le déclenchement thermique avant l'expiration du temps alloué .

Les court-circuits sont protégés par les déclencheurs électromagnétiques .

Dans le cas où le pouvoir de coupure du disjoncteur est insuffisant alors il est préconisé l'utilisation de la technique de la filiation qui stipule l'installation en amont d'un disjoncteur

limiteur ( C32L,C125L,...,C100L ) jouant un rôle de barrière pour les forts courants de court-circuit .

FONCTION COMMANDE : fermeture et ouverture de circuits .

Une proposition d'utilisation se dégage : le Disjoncteur standard de télécommande type TC160.

#### **k- LE CONTACTEUR**

C'est un appareil qui réalise la fonction commande ,il est capable d'établir , d'interrompre et de supporter tout courant normal parcourant un circuit , y compris les courants de surcharge en service . Avant son utilisation était destinée à la commande des moteurs car il se dégage l'aspect de démarrage ( courants pics et de surcharge ) .

Maintenant il est couplé avec les fusibles pour des réseaux de forts courants de court-circuit . Son domaine d'utilisation la plus fréquente est la basse tension.

#### **l- l'INTERRUPTEUR**

C'est un appareil servant à couper ou établir un circuit parcouru par un courant de charge normale de manière volontaire . Il réalise donc la fonction " commande " , et peut simplement établir et non pas pour couper les courants anormalement élevés tels que les courants de court-circuit .

Son domaine principal d'utilisation se retrouve en basse et moyenne tension jusqu'à 36Kv . En haute tension les interrupteurs sont d'usage très peu fréquents et ne sont pas envisagés ici .

#### **m- LES COUPE-CIRCUITS**

Les coupes circuits à fusible assurent la protection des circuits par une fusion rapide d'un filament de telle manière que le courant

de circuit ne puisse pas atteindre sa valeur maximale .

Le seul désavantage est l'apparition de surtensions causées par le temps très faible de fonctionnement .

Les coupe-circuits sont utilisés sur les réseaux de distribution jusqu'à 72.5Kv notamment pour la protection :

- des transformateurs de puissance de l'ordre des centaines de kilovoltampère
- des transformateurs de potentiel
- des groupes auxiliaires de condensateurs (amélioration du facteur de puissance )

En haute tension les types de coupe-circuit à fusible à préconiser dans le cadre du projet peuvent-être recherchées dans la classe de fusible suivante :

- coupe-circuit à fusion libre
- coupe-circuit à expulsion  
(par le gaz formé à la coupure ou à ressort )
- coupe-circuit à fusion enfermée

Il faut noter que les prix varient par ordre croissant suivant les types de coupe-circuit cités précédemment .

Maintenant en connaissant les différents organes de coupure il est maintenant possible de passer à la notion de coordination en tant que tel qui se traduit par son but et les différents types de sélectivité .

#### IV BUT DE LA COORDINATION

Elle vise à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée par un défaut , et uniquement cette partie , en

laissant sous tension toutes les parties non avariées du réseau .  
Il existe plusieurs méthodes pour assurer une bonne coordination.

La coordination par :

- les courants
- les temps
- le temps et courant combinés
- échange d'information
- relais différentiel

#### **a- SELECTIVITE AMPEROMETRIQUE**

Au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source le courant de défaut diminue . Ceci dans le cas de la circulation du courant entre une source de puissance et un point de défaut .

La figure( ) nous édifie dans le principe de fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique . En effet si le réseau est en entente , le courant de court-circuit diminue quand on s'éloigne de la source . La sélectivité ampèremétrique consiste à régler le seuil de chaque relais à une valeur inférieure à la valeur de courant de court-circuit minimal provoqué par un défaut situé sur le domaine surveillé ,supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un défaut situé en aval , au delà de la zone surveillée . En disposant , chaque relais ampèremétrique au départ de chaque tronçon , leur réglage permet à chacun d'eux d'opérer pour les défauts situés immédiatement en aval de leur position ;et reste insensible pour tous les défauts situés au delà de leurs emplacements .Pratiquement , dans un tel circuit il n'y a pas de différence notable de courant pour un défaut situé à l'extrémité d'une section et un défaut situé au début d'une section suivante. Il est difficile dans ces conditions de définir les réglages de

deux protections en cascade pour assurer une bonne sélectivité , indépendante du type de défaut , des conditions d'alimentation et de précision des relais .

Ce type de sélectivité s'applique potentiellement pour les réseaux en entente , caractérisé par la décroissance du courant de court-circuit entre deux zones voisines .

Les avantages qu'offrent cette sélectivité sont :

- sa simplicité
- son coût réduit
- sa rapidité ( déclenchement sans retard des relais )

#### **b- LA SELECTIVITE PAR LE TEMPS**

Dans cette méthode , le critère de fonctionnalité est la surintensité dans les phases de la ligne protégée . la coordination est obtenue en donnant des temporisations différentes aux relais ampèremétriques échelonnés tout le long du réseau .

Quelque soient les conditions d'exploitations du réseau , les relais de mise en route doivent fonctionner pour n'importe quel défaut .

Pour avoir une bonne sélectivité il faudrait bien élaborer l'intervalle de sélectivité entre deux protections voisines .

La différence des temps de fonctionnement ( DT ) entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité . Il doit tenir compte des critères suivants :

- le temps de coupure des disjoncteurs (  $t_{coupure}$  )
- des tolérances des temporisations ( dt )
- des temps de retour au repos des relais (  $t_r$  )

$DT \geq t_{\text{coupure}} + t_r + dt(c) + dt(d)$  ( voir annexe )

Ce type de sélectivité présente l'avantage d'assurer son propre secours car s'il y a avarie au niveau d'un relais ou un appareil de coupure le dispositif de protection situé immédiatement en amont se chargera de l'élimination de la ligne défaillante , mais en contre partie la suppression d'une ligne saine est effective . Ce type de sélectivité est simple mais aussi limité par la présence de plusieurs relais en cascade .

En effet le relais situé le plus en amont est réglé suivant un temps de fonctionnement qui ne peut-être inférieur à la somme des différents intervalles de sélectivité . Mais vu la durée un peu importante du court-circuit , certains matériaux ne peuvent pas résister à des courants aussi importants. Les domaines d'utilisation de ce type de sélectivité sont les réseaux:

- Bouclé
- en Entenne

Mais dans le cadre des réseaux bouclés il faudra y ajouter un critère de directionalité .

#### **c- SELECTIVITE PAR LE TEMPS ET LE COURANT**

Dans ce cadre-ci , le temps de fonctionnement est d'autant plus court que le courant est important , permet de réduire cet inconvénient véhiculé par la complémentarité résidant entre la temporisation et la protection maxi-intensité .

Pour un tel relais le temps d'élimination est plus court pour les défauts les plus évidents c'est à dire localisés plus près de la source .

#### d- SELECTIVITE PAR ECHANGE LOGIQUE

Il est utilisé lorsque le nombre de relais en cascade devient trop grand pour permettre une simple sélectivité par le temps . Ce principe d'échange d'information permet de supprimer les intervalles de sélectivité entre deux postes successifs .

Le principe de fonctionnement est le suivant : son application est courante dans les réseaux en antenne, ainsi lors d'un défaut les protections situées en amont d'un point de faute sont sollicitées tandis que celles situées en aval sont inertes .

Donc il y a un moyen plus rapide de localiser rapidement le défaut et de définir le seul disjoncteur à commander .Celui qui est en aval de la dernière protection sollicitée ou en amont de la première qui ne l'est pas .Chaque protection doit faire impérativement les opérations suivantes :

- Verrouillage ou mettre en attente la protection située immédiatement en amont qui n'est pas à intervenir .
- Ordonner au disjoncteur qui lui est associé un déclenchement .

Ce phénomène intervient si aucun ordre d'attente n'est reçu de la protection située immédiatement en aval . Afin d'obtenir une sélectivité parfaite , les disjoncteurs associés à chacun des relais sont actionnés de manière légèrement temporisé par un contact qui tient compte du temps d'exécution du verrouillage Il est à prévoir un secours de déclenchement temporisé pour pallier à la destruction ou au non fonctionnement d'une liaison d'échange d'information .

Le domaine d'utilisation de ce type de sélectivité est le

réseau en antenne , mais aussi peut faire l'objet d'une association avec un autre type de protection sélective .

#### **e- SELECTIVITE DIFFERENTIELLE AVEC ECHANGE**

##### **D'INFORMATION ANALOGIQUE**

Ces protections comparent les tronçons aux extrémités de réseau surveillé .

Si le domaine est sain cela entraîne un même courant sur les deux extrémités ( aux courants capacitifs près ) .

S'il y a une différence d'amplitude ou phase entre ces deux courants , il se traduit par la présence d'un défaut .

C'est donc une protection auto-sélective car ne réagissant que pour un défaut situé dans le tronçon dont il assure la surveillance .

Ce dispositif de sélectivité possède un avantage recherché :

- la suppression d'intervalle sélectif quelque soit le type de configuration du réseau ( en antenne , bouclé ... ) . Mais néanmoins il y a des précautions à prendre pour un bon fonctionnement de ce type de protection
- Le choix des transformateurs de courant (TC)
- la liaison
- le seuil minimal de réglage
- l'isolation galvanique
- la protection contre les perturbations

#### **f- SELECTIVITE DIRECTIONNELLE**

Dans les réseaux bouclés un défaut dans un tronçon est alimenté à la fois par les deux extrémités .

Pour le détecter et l'enlever , il faut impérativement utiliser un

relais sensible au sens d'écoulement du courant de défaut .

Pour compléter le processus d'élimination de la partie fautive du réseau il faut lui associer une sélectivité ampèremétrique s'il s'agit d'un réseau en antenne ou bien une sélectivité temporisée s'il y a bouclage .

#### V- LES CRITERES DE CHOIX D'UN RELAIS DE PROTECTION

Le choix d'un relais est guidé par plusieurs critères :

- fonction du relais de protection : mesure du courant , de tension , de fréquence , de puissance
- la plage de réglage : l'intervalle compris entre le plus petit et le plus grand courant nominal
- l'alimentation : le type , la fréquence , la tension des grandeurs de mesure et les auxiliaires.
- condition de l'ambiance : comportement aux conditions particulières, de température, atmosphère explosive , parasites électromagnétiques , surtensions de manoeuvre , vibrations , chocs , séisme .

#### VI- QUALITES D'UN RELAIS DE PROTECTION

Les qualités recherchées sont :

- la fiabilité
- la fidélité
- la rapidité
- la sensibilité

Par fiabilité il faut entendre son aptitude à remplir son rôle en tout instant sans défaillance pendant de nombreuses années.

La fidélité est recherchée comme tout appareil de mesure doit

donner le même résultat dans les mêmes conditions de test .

La sensibilité va se traduire par un fonctionnement dans des circonstances où les courants de défauts se trouvent réduits par des résistances de défauts .

La qualité rapide est recherchée pour limiter les dommages dus aux arcs et aux courants de court-circuits intenses .

Il doit-être indifférent aux petites anomalies qui ne nécessitent pas le déclenchement des relais .

Une protection contre les défauts triphasés ne peut fonctionner que pour les défauts triphasés et uniquement .

## CHAPITRE VI ETUDE DE LA PROTECTION ACTUELLE

Nous tenons à signaler d'abord que nous n'avons pas pu avoir toutes les données sur le réglage de la protection et moins encore les courbes des relais qui pourraient nous permettre de faire le diagramme sélectif.

Cependant nous nous proposons de faire l'étude des informations dont nous disposons afin de donner une bonne vision sur la protection actuelle.

Les relais les plus utilisés sont:

\*Les relais thermiques secondaires type ST (BROWN BOVERIE) contre les surcharges ;

\*Les relais temporisés à maximum de courant type S (BROWN BOVERIE).

### I-Les relais thermiques type ST.

Le relais thermique secondaire, type ST, contient un organe thermique pour la protection contre les surcharges et un relais de courant limite pour la protection contre les courts circuits.

Le réglage de ce relais portera principalement sur trois paramètres: la constante de temps du relais, le courant d'ajustement et le courant de déclenchement limite.

- Constante de temps

La constante de temps du relais est le temps au bout duquel le relais, partant de l'étape froid atteint 63% de l'échauffement permanent lors de l'alimentation au courant de réglage.

- Le courant d'ajustement

Le courant dit d'ajustement amène le relais normal en un échauffement permanent de 60°. Il est réglable entre 4 et 5 ampères . Ce courant d'ajustement doit correspondre au maximum admissible dans l'objet à protéger.

$$I_{\text{réglage}} = I_{(60^\circ \text{ à } 70^\circ)} / TI$$

$I_{(60^\circ \text{ à } 70^\circ)}$ : courant d'ajustement réglé à environ 5° ou 10° au dessus de l'échauffement permanent.

TI: transformateur d'intensité.

- Déclenchement instantané au courant limite.

La valeur de fonctionnement ajustée pour le déclenchement au courant limite doit se trouver au dessous du courant de court circuit minimal et au dessus de la plus forte pointe que peut atteindre le courant de service.

L'étendu de réglage du relais et de 3 à 10 fois le courant de réglage et l'infini pour le contact de fermeture au courant limite. Le déclenchement au courant limite est bloqué lors du réglage sur l'infini .

Le déclenchement au courant limite est destiné à la protection contre les courts-circuits . Il peut agir directement sur le déclenchement du disjoncteur dans tous les cas où aucun échelonnement du temps n'est nécessaire :c'est par exemple le cas pour les moteurs ,étant donné que comme purs consommateurs,ils représentent les extrémités naturelles de la distribution .

Pour le réglage nous ne pouvons pas agir sur la constante de temps

de ces relais à cause des problèmes pratiques posés par la détermination de l'échauffement permanent des moteurs à protéger .

Pour ce qui est du courant d'ajustement, le réglage se fera à partir du courant nominal et du rapport de transformation du transformateur d'intensité .

Une fois le courant déterminé, un rhéostat inclus dans le relais permet d'effectuer le réglage .

Le courant de déclenchement limite sera estimé à partir du courant de court-circuit biphasé au niveau des différents moteurs.

## **II- Relais temporisés maximum de courant type S.**

Le relais temporisé à maximum de courant, type S est un relais secondaire à raccorder à un transformateur de courant . Il sert à la protection des machines et des réseaux non maillés en cas de court-circuit .

La sélectivité sera réalisée par l'échelonnement du temps de fonctionnement du relais .

Pour les départs:

$$1.3 \text{ Intc} < \text{Ir} < 0.8 \text{ Iccb}$$

Intc = Intensité nominal du primaire des transformateurs d'intensité .

1.3 : pour tenir compte de la surcharge des transformateurs d'intensité .

0.8 = coefficient de sécurité .

Pour les arrivées :

$$\text{Ir} > (1.25 \text{ Int} * 100 * 1.1) / p .$$

Int = Intensité nominale du transformateur

p = pourcentage de retour du relais

1.25 = possibilité de surcharge du transformateur

1.1 = coefficient de sécurité

REMARQUE: Pour palier aux problèmes de données que nous avons rencontrés au cours de notre étude, nous proposons des exemples de fiches de suivi de réglage des relais.

(voir tableaux : fiche de suivi de réglage de relais type S et type ST)

**FICHE DE SUIVI DE REGLAGE DES RELAIS  
TYPE S**

**SUR TRANSFO:**

DATE	In (A)	TI	TEMPORISE			INSTANTANE		observations
			Crt	Irt (A)	temps (s)	Crinst	Iinst(A)	

**In = intensité nominale du relais**  
**TI= rapport de transformation du transformateur d'intensité**  
**Crt=coefficient de réglage temporisé**  
**Irt=intensité de réglage temporisé**  
**Crinst=coefficient de réglage instantané**  
**Iinst=intensité de réglage instantané**

**FICHE DE SUIVI DE REGLAGE DES RELAIS  
TYPE ST**

**SUR MACHINE**

DATE	I60 (A)	TI	TEMP (°c)	Crinst	Irinst(A)	observations

**I60 (A)=courant d'ajustement du relais  
TI= rapport de transformation du transformateur d'intensité  
Crinst=coefficient de réglage instantané  
Irinst=intensité de réglage instantané  
TEMP=température de réglage (60à70°c)**

## CHAPITRE VII PROTECTION DES ELEMENTS FONCTIONNELS

Le cadre de la SENELEC s'identifie à une centrale électrique qui a pour vocation de produire de l'électricité presque dans la totalité du territoire national .

La SENELEC doit donc être à mesure de fonctionner en régime continu , ce qui suppose un dispositif de protection efficace capable d'isoler la partie avariée sans pour autant perturber le fonctionnement du reste du réseau .

La proposition que nous avons estimée optimale se traduit par la mise en protection individuelle des appareils tels que les transformateurs , les moteurs , les alternateurs .

En plus des appareils , il faut penser à la protection du type de réseau , en d'autres termes sur le type de configuration du réseau.

La proposition qui va suivre même si elle est coûteuse vaut sa réalisation car une centrale thermique est une installation pour laquelle, les arrêts représentent des pertes financières énormes .

Les appareils du schéma unifilaire sont identiques dans presque toute les tranches , c'est pourquoi nous allons procéder à l'étude complète d'une tranche pour ensuite se projeter sur les autres tranches .

Pour chaque composante du réseau il est à développer de manière optimale le besoin en éléments de protection qu'il peut appeler.

Dans les moteurs industriels , les types de défauts qui pourraient survenir sont de différentes sortes :

- les surcharges
- défaut monophasé
- défaut biphasé

- baisse de tension
- renvoi de puissance
- coupure de phase

#### **a- PROTECTION DES MOTEURS**

Pour les surcharges , les types de relais à utiliser sont soit le relais à maximum de courant (I) à temps constant , soit le relais à maximum de I à temps inverse .

Il y a aussi les relais à image thermique avec les sondes thermiques et suivant le type , la marque et la classe du moteur les réglages sont adoptés et avec un seuil de  $1.2 I_n$  pour un temps inférieur à 5 secondes .

Le défaut monophasé ou défaut entre d'isolement entre enroulement et masse est protégé par un relais à maximum de courant (I) avec éventuellement un filtre harmonique .

Le réglage est obtenu avec un seuil et une temporisation variant respectivement entre  $.05$  à  $.5 I_n$  et  $.3$  à 1 seconde .

Pour les défauts entre phases les relais de protection qui sont proposés sont :

- les fusibles
- les relais à maxi de I à temps constant avec un réglage qui a seuil dans la plage de 4 à 16  $I_n$  suivant un temps de 0.1 seconde
- un relais différentiel avec un pourcentage de 10%

La baisse de tension est associée aux relais suivants :

- le relais à minimum de tension à temps constant
- le relais à minimum de tension à temps inverse suivant un réglage

adoptant un seuil de 0.7 à 0.8Vn avec un temps variant entre 1 et 3 secondes .

Pour les coupures de phase les types de relais proposés sont :

- le relais à minimum de tension avec un seuil de 0.7 à 0.8Vn suivant un temps de 1 à 3 secondes
- un relais à maximum de composante de courant à temps inverse avec un seuil qui suit un rapport des courants  $I_j/I_n$  supérieur à 0.2 jusqu'à 0.5 .

Le défaut du type renvoi de puissance sera associé à une protection véhiculé par un relais directionnel suivant un seuil de 5 à 40% de la puissance du réglage du relais ( Pn ) suivant une temporisation de 1 à 5 secondes .

#### **b- PROTECTION DES TRANSFORMATEURS**

Les types de défauts qui peuvent endommager les transformateurs sont :

- surcharge , échauffement
- surtension
- isolement entre enroulement et masse
- entre phase
- surtension de manoeuvre ou atmosphérique .

Pour la surcharge - échauffement , la protection est assurée par les relais du type :

- maximum de courant (I) à temps constant avec un seuil de 1.2 In (courant nominal du relais) suivant un temps de 20 secondes dans le cadre du réglage

- maximum de courant (I) à temps inverse
- à image thermique

- à maximum de température dont le réglage est choisi suivant la constante de temps des enroulements

Les surtensions sont protégées soient par :

- des relais à maximum de tension à temps constant
- des relais à maximum de tension à temps inverse

dans un réglage de seuil  $1.2 U_n$  (tension de fonctionnement du relais) suivant une temporisation de 3 secondes .

Pour le défaut d'isolement entre enroulement et masse les quatre types de relais mis en place sont :

- les relais à maximum de courant résiduel de 5 à 20% du courant nominal ( $I_n$ )
- les relais différentiels homopolaire
- masse cuve
- le relais Buccholz

#### **c - PROTECTION DES ALTERNATEURS**

Les alternateurs sont des éléments qui ont une importance capitale dans une centrale électrique car ils sont à la base du courant électrique qui est produit à partir de la puissance donnée à l'arbre de la turbine suivant le cycle de Rankine ou autres .

Les types de défaut pouvant faire l'objet de protection sont :

- les surcharges
- surintensité sur défaut externe
- défaut d'isolement entre enroulement stator et masse
- défaut d'isolement entre phases et spire d'une même phase
- Marche en moteur
- défaut d'isolement entre enroulement rotor et masse

- surtension
- baisse de tension
- variation de fréquence
- charges déséquilibrées
- surveillance du circuit d'excitation
- perte de synchronisme

Pour les surcharges-échauffement il existe quatre types de relais de protection :

- les relais à maximum de courant  $I$  à temps constant dont le réglage suit un seuil de  $1.2 I_n$  et un temporisation de 10 secondes.
- les relais à maximum de courant à temps inverse
- les relais à image thermique
- les relais à image thermique dont le réglage est spécifié suivant la classe des isolants

Deux types de relais sont proposés concernant la protection contre la surintensité sur défaut externe

- les relais à maximum de courant à temps constant et un minimum de tension un seuil de  $I_n$  et  $.8V_n$  et selon une temporisation d'une à deux secondes.
- le relais à minimum d'impédance

Le défaut entre enroulement stator et masse est protégé par un relais à maximum de courant homopolaire filtré contre les harmoniques suivant un seuil de 10% du courant de limitation de la terre dans le cadre de son réglage .

Il est aussi associé pour le défaut d'isolement entre phase un relais différentiel qui suit un réglage dont le pourcentage s'échelonne à 10% .

Pour la protection entre spire d'une même phase le relais de tension résiduelle est appliqué .

Pour la marche du moteur la protection est assurée par un relais de type retour de puissance et le réglage se fait suivant un seuil dont la puissance nominale ( $P_n$ ) du relais varie entre 1 et 10% .

Concernant le défaut d'isolement entre entre enroulement rotor et la masse la protection est véhiculée par un relais d'isolement par injection de BF et le réglage s'articule sur un seuil d'isolement inférieur à la plage de 5 à 10 kohms selon une temporisation de 5 à 10 secondes .

Il est à préconiser pour la surtension

- un relais à maximum de tension à temps constant ou inverse dont le réglage a une temporisation de de cinq secondes suivant un seuil de  $1.2 U_n$ . Pour la baisse de tension nous avons proposé :

- un relais à minimum de tension à temps inverse et selon un réglage de la tension nominale de fonctionnement du relais à  $0.7V_n$  avec une temporisation de 1 à 3 secondes.

Le défaut de variation de la fréquence est détecté par un relais à maximum et minimum de fréquence avec un réglage dont le seuil est plus ou moins de 1 à 3 hertz selon une temporisation dans la plage de 1 à 5 secondes .

Pour les charges déséquilibrées , les relais de protection qui leurs sont associés correspondent aux relais de déséquilibre soit à temps constant , soit à temps inverse dont le réglage seuil dépend du type et de la puissance de la machine suivant un rapport de courant  $I_i/I_n$  variant de 5 à 20% suivant une temporisation de 10 secondes .

Pour le défaut concernant la surveillance du circuit d'excitation il faudrait placer des relais suivants :

- maximum de tension continue dont dont le réglage suit un seuil de l'ordre de  $1.2 U_n$  et une temporisation de 10 secondes

- minimum de tension continue

- relais d'impédance capacitive

Pour la perte de synchronisme les relais proposés pour la protection sont :

- un relais de mesure de l'angle interne

- un relais de mesure des oscillations de puissance active

#### **d- PROTECTION DU RESEAU**

Les défauts qu'on pourrait rencontrer dans un réseau sont de deux sortes : les défauts entre phase et les défauts entre phase et terre. Ainsi suivant le régime du neutre et la configuration du réseau les relais qui vont suivre seront proposés en guise de protection .

Dans notre cas ,l'étude du schéma unifilaire donne deux types de réseaux dans les trois tranches .

- un réseau bouclé par la combinaison des tranches 301 et 302

- un réseau en antenne pour la tranche 303 .

Comme la tranche 303 est en antenne , pour l'étude des défauts entre phase et pour tous les régimes de neutre les relais proposés pour la protection sont :

- le relais à maximum de courant à temps indépendant dont le réglage suit une temporisation de 0.1 à 2 secondes avec un seuil de  $2$  à  $16 I_n$  ou

- le relais à maximum de courant à temps dépendant selon un réglage

de seuil 1.5 à 6 In suivant un temps qui dépend des caractéristiques du réseau .

Dans l'étude des défauts entre phase et terre , si le neutre est mis à la terre nous avons proposé le placement d'un relais à maximum de courant suivant un seuil qui a une plage de variation de 0.1 à 0.5 In avec un temps de 0.3 à 3 secondes .

Si le neutre est isolé la détection du défaut est assurée par un relais à maximum de courant sensible plus un élément directionnel dont le seuil est inférieur au courant capacitif du réseau suivant une temporisation de 0.3 à 3 secondes suivant une directionnalité de  $135 \pm 90^\circ$ .

Pour les réseaux bouclés , suivant tous les types de neutre nous avons préconisé soit :

- un relais à maximum de courant indépendant plus un élément directionnel dont le seuil varie entre 2 à 16 In et un temps de 0.1 à 2 seconde ou ( In : courant nominal du relais )
- un relais à maximum de courant à temps dépendant plus un élément directionnel dont le seuil de réglage est de 1.5 à 6 In avec une temporisation qui dépend des caractéristiques du réseau. Pour les défauts entre masse et terre suivant un neutre mis à la terre nous avons proposé un relais à maximum de courant plus un élément directionnel dont le réglage a un seuil de 0.1 à 0.5 In suivant une temporisation de 0.3 à 3 secondes et une direction de  $135 \pm 90^\circ$  .

Si le neutre est isolé nous avons proposé un relais différentiel à courant résiduel dont le seuil est supérieur au courant capacitif de la ligne surveillée .

## **CHAPITRE VIII PROPOSITION D'UN SYSTEME DE PROTECTION**

Nous allons procéder par l'étude de la tranche 303 qui est un réseau en antenne , donc son étude de protection sera plus facile.

Les tranches 301 et 302 se trouvent assujetties à des bouclages en haute et moyenne tensions (90kv pour la haute tension et 12.5 et 3.3 kv pour la moyenne tension ).

L' étude va s'articuler sur deux niveaux : la protection entre phases et la protection contre un défaut à la terre .

### **a- Protection de la tranche 303**

(Voir schéma suivant la tension de base 12.5 kv).

Comme nous ne disposons pas de courant nominal de la ligne mais du calibre simplement ,et il n'est pas possible actuellement à notre niveau d'estimer le courant de service d'un tronçon quelconque donc nous nous baserons sur les courants de court-circuit minima pour proposer une protection.

Ainsi avec un rapport de transformation adéquat de courant, ce dernier est rapporté à celui du relais qui agirait comme si c'était le courant de court-circuit réel du circuit.

La sélectivité adoptée dans cette tranche est dite ampèremétrique suivant un temps constant ou inverse .

L'intervalle de sélectivité entre deux disjoncteurs est fixé à 0,5 secondes quand on sait que la borne inférieure des intervalles de sélectivité minimal entre deux disjoncteurs est de 0.3 secondes.

Pour chaque élément du circuit nous avons allouer les seuils de courants de déclenchement de leurs organes de coupure:

- Transformateurs TG3 ---> Seuil : 1,2 In
- Alternateur G303 ---> Seuil : 1,2 In
- Transformateur TS3 ---> Seuil : 1,2I n
- Moteur PA1 ---> Seuil : 4 à 16 In
- Moteur PC2 ---> Seuil : 4 à 16 In
- Moteur VS ---> Seuil : 4 à 16 In
- Transformateur TR31 ---> Seuil : 1,2 In
- Transformateur TR32 ---> Seuil : 1,2 In
- Transformateur TRO ---> Seuil : 1,2In

(In = Courant nominal du relais ).

La tenue en court circuit des câbles est vérifiée dans la partie

précédente .

#### **b- Protection de la tranche 301 et 302.**

Dans cette partie du réseau il existe des circuits bouclés. A ce type de circuit correspond une protection particulière c'est à dire la mise en évidence des éléments directionnels combinés avec les relais ampèremétriques. Le type de protection (voir schéma suivant ) fonctionnera de cette manière. Ce type de réseau ne se justifie en cas de réseau bouclé où l'alimentation est en continue et suivant l'élément directionnel de sens de détection sont indiquées sur le schéma par des flèches et s' il advient dans n'importe quelle partie du réseau un défaut , cette partie avariée est éliminée et le régime de distribution d'électricité continue.

#### **\*Principe de fonctionnement**

A1 et A sont des protections à maximum de courant triphasé ou biphasé sans éléments directionnels .

B,C,D,B1,C1,D1 sont des protections à maximum de courant triphasé ou biphasé avec éléments directionnels.

Les temporisations sont croissantes de l'aval à l'amont avec des intervalles de sélectivité de 0,5 secondes.

Un défaut sur un élément quelconque du circuit est alimenté par les deux côtés de la maille. Le schéma d'élimination est le suivant : le processus d'élimination du défaut est vu d'une part par les protections A et B (B1 ne voit rien), d'autre part pour les protections A1, B1, C1.( D et C ne voient rien ).

Du fait de la temporisation échelonnée , C1 s'ouvre le premier puis

B .Le tronçon B --> C1 est éliminé et l'exploitation de la partie saine du réseau peut continuer .

#### **c- PROTECTION CONTRE UN DEFAUT A LA TERRE**

Dans le cadre de la protection contre un défaut à la terre la mesure de ce courant de défaut est perturbé par l'existence de courants capacitifs dans chaque conducteur qui comme les courants de défauts se referment aussi à la terre .

Ainsi un relais mesurant le courant de faute sera perturbé par les courants capacitifs , ce qui est la cause d'erreur lors de l'élaboration d'une protection sélective .

Donc la solution serait de régler le relais homopolaire au dessus de la valeur du courant capacitif estimé à trois fois le courant homopolaire .

Dans certains cas les valeurs de réglage peuvent être trop élevées , ce qui se traduit par l'utilisation d'autres types de relais .

Ainsi le relais directionnel se voit utiliser du fait de son action qui produit une nette différenciation entre le courant capacitif et le courant de défaut en diagnostiquant leurs sens d'écoulement respectifs .

#### **V- JUSTIFICATION DE LA PROPOSITION**

##### **a- étude de la protection entre phase**

Le but de cette étude est d'insister sur la coordination entre les réglages pour obtenir une bonne sélectivité .

Le phénomène se matérialise par le non déclenchement des appareils de protection qui ne sont pas intéressés par un défaut situé au niveau de leur domaine inférieur .

Dans ce schéma unifilaire (tension de base 12.5 kv) nous avons :

- un poste 90kv qui assure la fourniture en électricité
- un alternateur G303 37.5MVA
- un transformateur TS3 2.5MVA
- un JDB 3.3KV alimentant divers départs ,trois transformateurs TR32,TR31,TRO,ayant les mêmes caractéristiques 630KVA , 3.3/.38kv , trois moteurs (pompe alimentaire PA1(600KW),pompe de circulation PC1(200kw),ventilateur de soufflage VS(600kw) .

Cette protection est assurée par des relais temporisés à temps indépendant à retards échelonnés .

les seuils et temporisation sont définis en commençant à l'aval du réseau .

Pour chacun des départs du jeu de barre les seuils et temporisations doivent intégrer les caractéristiques propres aux charges alimentées .

Pour tous les moteurs , leurs relais ne doivent pas empêcher le démarrage des différents moteurs .

Comme nous le savons , au démarrage le courant du moteur acquiert un pic qui peut avoisiner deux fois le courant de démarrage .

C'est pourquoi il est généralement adopté un courant seuil pratiquement égal à 1.5 fois le courant de démarrage avec un temps de 0.1 secondes .

Pour les moteurs de plus faible puissance la protection est soit avec un disjoncteur ou une association de fusible et de contacteur avec une parfaite coordination entre le fusible et l'organe de coupure (le fusible protège les court-circuits).

Pour les transformateurs la protection coté primaire doit-être sélective avec celle du côté secondaire situé en basse tension

selon un réglage adopté correspondant à un courant seuil égal à 5 fois le courant nominal du réseau avec une temporisation de 0.1 secondes .

Le courant de seuil ( $I_{s7}$ ) à l'arrivée doit-être tel que :

avec  $I_{s1}$  le courant de seuil correspondant au réglage le plus élevé .

$$I_{s7} \geq 1.2 ( I_{s1} + I_{n4} + I_{n1} + I_{n5} + I_{n6} )$$

Les valeurs des temporisations et les seuils sont résumés sur le tableau suivant .(voir page suivante)

La sélectivité est assurée par le seuils et par les temps qui sont déterminés suivant cette méthodologie .

En effet il faudrait que  $I_{s7}$  soit supérieur au courant de seuil le plus élevé des différents départs du jeu de barre.

Dans ce JDB c'est le moteur de 750KVA.

Ce qui implique :

$$I_{s7} > 1.2 * (I_{s2} + I_{s4} + I_{n1} + I_{n5} + I_{n6}) \text{ A}$$

$$I_{s7} > 1.2 * (656 + 656 + 110 + 110 + 110) \text{ A}$$

$$I_{s7} > 1970.4 \text{ A}$$

On prendra  $I_{s7} = 2000 \text{ A}$  et une temporisation de 0.5 seconde pour tenir compte de départ . Ce qui nous donne un intervalle sélectif de 0.5 secondes par rapport à la plus longue temporisation (départ 2ou4).

#### b- PRECAUTIONS A PRENDRE

Cette protection doit assurer le démarrage des moteurs sans déclenchement et la mise sous tension des transformateurs et des surcharges passagères.

Le seuil de chaque protection doit avoir une valeur inférieure au courant de court-circuit minimal avec une certaine marge de sécurité pour tenir compte des approximations pour mener à bien la détection et la vue des défauts.

Pour cela le courant de court-circuit triphasé est pris comme égal à 0.8 fois le courant biphasé .

Comme dans le circuit l'impédance inverse est égale à l'impédance directe ( $Z_d = Z_i$ ) alors  $I_{ccb} = (1.732/2) * V/Z_d$  avec  $V$  la tension simple qui est égale à  $3300/1.732$ .

$Z$  est l'impédance de court-circuit calculé dans la première partie du projet , c'est à dire l'impédance entre le point du défaut jusqu'à la source .

Il suffit de transformer l'impédance trouvée dans la base de calcul (3.3kv).

En F15 ,  $X_{pu} = 2.14$

$X_{pu} = Z/Z_B$        $Z_B = \text{IMPEDANCE DE BASE}$

$X_{pu} = Z_d * 100 / (3.3)^2$

100 = PUISSANCE DE BASE dans l' hypothèse de calcul de courant de défaut ce qui donne donc :

$$\begin{aligned} Z_d &= X_{pu} * Z_b = 2.14 * 3.3 * 3.3 / 100 \\ &= 0.23 \text{ ohms} \end{aligned}$$

$$I_{ccb \text{ biphasé}} = 3300 / 0.46 = 7174 \text{ ampères} = 7.17 \text{ Ka}$$

Le courant de court circuit triphasé calculé pour une tension de base de 3.3 Kv est égal à 8.15 Ka ,qui est en effet supérieur au courant biphasé , ce qu'il fallait vérifier .

Donc notre courant de réglage va se baser sur les 7.17 Ka .

On adopte le même principe de calcul au niveau des autres JDB ,c'est à dire la vérification des protections suivant le courant biphasé . L'étude sera finalisée par le tracé des courbes sélectives sur un même diagramme appelé diagramme sélectif suivant une même tension de base afin de tenir compte sur la sensibilité des autres courants de base du circuit. Ainsi comme nous n'avons pas de JDB à 12.5KV , mais simplement une rencontre de plusieurs barres la protection de l'alternateur et les secondaires des transformateurs TG3 et TS3 est faite au niveau 90kv .

Ainsi pour la protection du JDB 90KV , nous avons établis le tableau suivant .

1 un départ transformateur 90kv	calibre (A) 1250	In :(A) courant nominal 481	Is courant seuil >5In	temporisat ion 0.2 seconde
---------------------------------	---------------------	--------------------------------	--------------------------	-------------------------------

Il suffit maintenant de vérifier que  $I_{cctri}$  de réglage est inférieur à 0.8 fois le courant de court-circuit biphasé.

En effet la tension de base est prise égale à 90kv alors l'impédance directe sera égale à :  $Z_d = X_{pu} * (base\ kv)^2 / base\ MVA$

donc

$$I_{ccb} = 1.732 * V / (2 * Z_d)$$

avec  $V = 90000 / 1.732$

$$I_{ccb} = 90000 * 100 / (2 * 0.326 * 90^2)$$

$$I_{ccb} = 1704\ A$$

avec  $X_{pu} = 0.326$  (voir faute en f1) et  $I_{cctri} = 1.97\ ka$

ce qu'il fallait vérifié .

### c- protection entre phase et terre

Quand le neutre est mis à la terre , c'est le cas de la centrale de cap des biches , et pour le cas de la tranche 303 , la connaissance de cette résistance permet de donner une valeur limite au courant de défaut.

Supposons que le courant de défaut limitatif est  $I_0$  alors il faudrait que le courant seuil soit compris entre 2 fois le courant capacitif et la moitié du courant de limitation avec une temporisation de 0.1 secondes .

Ainsi pour chaque départ 3.3 kv la protection est assurée par un relais à maxi I avec un seuil supérieur au courant capacitif et inférieur au courant de limitation voir ci-dessus .

L'arrivée est protégée par surveillance du courant dans la résistance de mise à la terre par un relais réglé à une valeur inférieure au courant de limitation avec une temporisation de 0.4 seconde .( intervalle de sélectivité de 0.3 seconde avec les départs ).

Ce relais assure la protection contre les défauts à la terre du transformateur et du jeu de barre 3.3 kv . Mieux il sert de secours pour la protection des départs . Suivant la configuration des transformateurs l'enroulement triangle n'est pas traversé par un courant homopolaire , donc il n'est pas nécessaire d'assurer la sélectivité entre les niveau 90 et 3.3 kv.

Ce même procédé est utilisé en prenant chaque tranche de manière autonome .

## CHAPITRE IX CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce projet n'a pas été effectué sans difficulté . La principale contrainte s'est matérialisée dans la recherche effreinée de données, ce qui nous a valu presque l'utilisation de presque 80% de notre temps.

Mais néanmoins nous avons pu tirer de ces informations les besoins nécessaires afin d'étudier la protection actuelle et de proposer une alternative possible de dispositifs de protections .

En effet l'étude s'est basée sur les hypothèses de puissance de court-circuit maximale et minimale .

L'hypothèse minimale permet de déterminer le courants de court-circuit pour le calibrage des relais suivant leur seuil tandis que l'hypothèse maximale contribue à déterminer les durées de court-circuit par vérification de la tenue en court-circuit des câbles. Nous avons d'abord étudié les possibilités de protection des différents éléments fonctionnels dans une large gamme de défauts ( surcharges-échauffements , défauts entre phase , les déséquilibres , les renvois de puissance....) pour déboucher sur l'étude de la protection entre phase et entre phase et terre de courant .

L'exemple de la tranche 303 a été illustré suivant un réglage avec des relais ampèremétriques à temporisation constante suivie d'une vérification de la proposition .

Concernant les tranches 301 et 302 , l'étude est basée en adoptant une séparation fictive entre les tranches , ce qui se manifeste par l'ouverture des disjoncteurs reliant les deux tranches pour pouvoir appliquer le même principe de résolution élaborée avec la tranche

303 .

Ainsi le dispositif élaboré est capable de fonctionner en régime continu de réduire jusqu'à supprimer les intervalles sélectifs en exploitant potentiellement les relais différentiels, directionnels, les informations logiques et analogiques.

La configuration bouclée des tranches 301 et 302 est à l'origine de l'utilisation des relais directionnels dans chaque zone de bouclage permettant de diagnostiquer le sens des courants de défaut .

La solution n'est pas effective à 100% , à cause du manque de données , ce qui a occasionné souvent l'utilisation de valeurs approximatives .

Un projet , quelque soit son objectif , d'installation , de réhabilitation ou de vérification suppose de données précises et dans leur plus grande totalité pour tenir compte de tous les paramètres afin d'effectuer une étude efficace et efficiente.

C'est pourquoi nous recommandons à la SENELEC d'investir d'avantage dans la gestion de base de données techniques par l'établissement de fiches de suivie de tout l'appareillage , et de leur mise à jour.

**TABLEAU : 1**  
**REACTANCES STANDARDS EXPRIMEES SELON**  
**LA PROPRE BASE DES APPAREILS**

Types d'appareil	Réactance sous-tran sitoire X''d	Réactance transitoi re X'd
<b>Turbine génératrice</b>		
2 pôles (3600 tr/mn)	.09	.15
4 pôles (1800 tr/mn)	.15	.23
<b>Générateur à pôles saillants</b>		
12 pôles ou moins (600 tr/mn)	.16	.33
14 pôles ou plus (<=514 tr/mn)	.21	.33
<b>Moteurs synchrones</b>		
6 pôles (1200 tr/mn)	.15	.23
8-14 pôles (514-900 tr/mn)	.20	.30
Condensateur synchrone	.24	.37
<b>Moteur à induction</b>		
>600 volts	.17	
<=600 volts	.25	

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Guide de l'ingenierie électrique des réseaux internes  
d'usines GERARD SOLIGNAC (ELECTRA)
- 2 - Protection ,automatisme et coordination de la protection  
Cours assité par ordinateur (HYDRO-QUEBEC)  
RODRIGUE TREMBLAY
- 3- Technologie d'électricité (tome 3)  
Technique de l'appareillage et ses applications  
HEINY et NAUDY (FOUCHER)
- 4- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)  
Recommanded Practice for Electrical Power Systems in  
Commercial Buildings. STD 241-1983
- 5- Cours réglage des protections  
ESIE 1985
- 6- Cours installations éléctiques (ELEC 421 EPT)  
IGOR SABATIN
- 7- Rapport annuel DIVISION QUALITE DU SERVICE (SENELEC)  
DAME LO
- 8-Extraits de catalogue de relais type S et Type ST