

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Electrotechnique



Mémoire

De fin d'études
En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique
Option : Réseaux Electriques

Thème

Calcul et dimensionnement de l'alimentation de secours
des pompes d'huile turbine au sein de
la centrale de Cap-Djinet

Proposé par :
Mr: S.CHERIFI
(Sonelgaz)

Dirigé par :
Mr: C.BIROUCHE

Présenté par :
M^{lle} Dj. BALOUL
M^{lle} R. AMI

Promotion 2008/2009

REMERCIEMENT

Nos vifs remerciements à notre promoteur M^r: C.BIROUCHE et copromoteur M^r: S.CHERIFI qui nous ont orientés et soutenu pour l'élaboration de ce travail.

Nos remerciements à tout le personnel de la SONELGAZ pour leurs encouragements durant toute la période de notre stage.

Nous remercions aussi tous les enseignants pour leurs orientations durant la réalisation de notre travail.

Nos remerciement vont également à M^{me} la présidente et les membres de jury qui évalueront notre travail.

On n'oubliera pas aussi de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

SOMMAIRE

Introduction Générale	01
------------------------------	----

Partie Théorique

Chapitre I : Généralités sur la production de l'énergie électrique

Introduction	03
I-1- Contraintes d'équilibre entre production et consommation	03
I-1-1- Centrales de bases	04
I-1-2- Centrales mixtes	04
I-1-3- Centrale de pointe	04
I-2- Les différentes formes d'énergies	05
I-3- Evolution de la consommation mondiale d'énergie primaire	05
I- 4- Production de l'énergie électrique	06
I-4-1- Centrale hydro-électrique	06
I-4-2- Centrale éolienne	06
I-4-3- Centrale marémotrice	07
I-4-4- Centrale thermique	07
I-4-4-1- Centrale nucléaire	07
I-4-4-2- Centrale thermique à flammes	08
I-4-4-3- Centrale récupérant de la chaleur	08
I-5- Transport d'énergie	09
I-5-1- Schéma général du transport et de la distribution	10
I-6- La distribution de l'énergie électrique	10
I-7- Avantages de l'interconnexion	11
Conclusion	12

Chapitre II : Description et fonctionnement de la centrale de Cap-Djinet

Introduction	13
II -1- Présentation de la centrale de Cap-Djinet	13
II-1-1- Principe d'une centrale thermique	13
II-1-2- Plan de masse	14
II-1-3- Choix du site	15
II-1-4- Etape de réalisation	15
II-1-5- Le combustible principal	16
II-2- Les principaux composants d'une tranche	16
II-2-1- La chaudière	16

II-2-1-1- Economiseur	17
II-2-1-2- Ballon chaudière	17
II-2-1-3- Colonnes de descente et tube écrans	17
II-2-1-4- Surchauffeurs et resurchauffeurs	17
II-2-1-5- Préchauffeur d'air à vapeur	18
II-2-1-6- Réchauffeur rotatif	18
II-2-1-7- Ventilateur de soufflage	18
II-2-1-8- Ventilateur de recyclage	18
II-2-1-9- Les brûleurs	18
II-2-1-10- La chambre de combustion	18
II-2-2- La turbine	18
II-2-2-1- Corps HP	19
II-2-2-2- Corps MP	19
II-2-2-3- Corps BP	19
II-2-2-4- Soutirage	19
II-2-2-5- Circuit d'huile	19
II-2-2-6- Pompes plein débit de premier secours (pompe auxiliaires)	20
II-2-2-7- Pompes de deuxième secours	20
II-2-2-8- Pompes de soulèvement	20
II-2-2-9- Vireur hydraulique	20
II-2-3- L'alternateur	20
II-2-3-1- Le groupe d'excitation	20
II-2-3-2- Caractéristiques du groupe (alternateur)	21
II-2-4- Evacuation de l'énergie	24
II-2-5- Commande et contrôle	24
II-3- Circuit, système Eau-Vapeur et autres systèmes	24
II-3-1- Système Eau-Vapeur	24
II-3-2- Eau de refroidissement	24
II-3-2-1- Circuit eau de circulation	24
II-3-2-2- Circuit de refroidissement « NORIA » VG	25
II-3-3- Circuit d'incendie UJ	25
II-3-3-1- Alimentation en eau	25
II-3-4- Système d'eau déminéralisée UD	26
II-3-5- Circuit du condensat principal	26
II-3-6- Système d'eau d'alimentation	26
II-3-7- Circuit de vapeur vive RA	27
II-3-8- Conduite de vapeur à resurchauffer RC	27
II-3-9- Circuit de vapeur resurchauffée	27
II-3-10- Circuit de vapeur (auxiliaire)	27
II-3-11- Description du cycle thermique	28
II-4- Distribution électrique dans la centrale	30
II-4-1- Evacuation d'énergie électrique	30
II-4-2- Alternateur AP 01	30
II-4-3- Disjoncteur d'alternateur	31
II-4-4- Transformateur principal	32
II-4-5- Réfrigération	32

II-4-6- Disjoncteur ligne 245 kV AD 01	33
II-5- Alimentation et distribution électrique en centrale	34
II-5-1- Alimentation par ligne 220 kV	34
II-5-1-1- Transformateur de soutirage	34
II-5-1-2- Les auxiliaire de tranche 6, 3 kV	36
II-5-1-3- Les moteurs moyenne tension	38
II-5-1-4- Les transformateurs MT/BT	39
II-5-1-5- Les auxiliaires de tranches 400 V	41
II-5-1-6- Les auxiliaires de tranche secours 400 V	42
II-5-1-7- Commande à distance	43
II-5-1-8- Auxiliaires secours 220 V	44
II-5-1-9- Courant continu 220 V	45
II-5-1-10- Courant continu 24 V	47
II-5-1-11- Les auxiliaires communs	49
II-5-2- Alimentation par la ligne 63 kV	50
II-5-2-1- Transformateur de réseau	50

Partie Pratique

Chapitre III : Calcul et dimensionnement de l'alimentation des pompes d'huile.

Introduction	51
III-1- Estimation du bilan de puissance du jeu de barre secours (CF)	51
III-1-1- Puissance installé	51
III-1-2- Puissance consommée	51
III-1-3- Coefficient d'utilisation K_U	51
III-1-4- Coefficient de simultanéité K_S	52
III-2- Calcul de la puissance absorbée	52
III-3- Choix du mode de pose	54
III-4- Schéma retenu pour l'alimentation des pompes	55
III-5- Calcul des sections des câbles	56
III-5-1- Détermination de la section S_j à partir des surcharges	56
III-5-2- Détermination de la section S_{cc} des conducteurs à partir du courant de court-circuit	63
III-5-3- Vérification de la section d'après la chute de tension	71
III-5-4- Détermination de la section économique S_e des conducteurs	72
III-6- Désignation des câbles choisit	73
Conclusion	73

Chapitre VI : Protection électrique des pompes d'huile

Introduction	74
IV- 1- Différentes perturbations touchant les réseaux électriques	74
IV-1-1- Le court-circuit	74
IV-1-2- Les surtensions	76

IV-1-3- Les surcharge	77
IV-1-4- Le déséquilibre	78
IV-2- Appareillage de protection	78
IV-2-1- Qualité d'un appareil de protection	79
IV-2-1-1- Relais de protection	79
IV-2-1-2- Fusible	80
IV-2-1-3- Disjoncteur	82
IV-3- Contacts indirects	85
IV-3-1- Neutre à la terre : TT	85
IV-3-2- Neutre isolé : IT	86
IV-3-3- Mise au neutre : TN	86
IV-3-3-1- Schéma TNC	87
IV-3-3-2- Schéma TNS	88
IV-3-3-3- Explication de la protection	88
IV-3-3-4- Courbes de sécurités	88
IV-3-3-5- Calcul de la protection par disjoncteur	94
Conclusion	96
Conclusion Générale	97

INTRODUCTION GENERALE

22 est généralement produite dans des centrales électriques situées en majorité loin des grands centres de consommation. Cette énergie est amenée jusqu'aux consommateurs au moyen des réseaux électriques.

Les producteurs d'énergie électrique doivent prendre en compte deux importants facteurs à savoir :

- La disponibilité de l'énergie (continuité de service);
- Qualité de l'énergie : délivrer de l'électricité à une tension et fréquence bien précises sans de grandes fluctuations.

Notre travail a été réalisé au niveau d'une centrale thermique à vapeur relativement importante. Cette importance recommande des équipements variés mais fiables de point de vue : technique, sécurité et économique. Même si des problèmes techniques en perturbations n'arrivent que rarement, il faut les prévenir et prendre les mesures nécessaires pour les solutionner.

Notre thème concerne le calcul et dimensionnement de l'alimentation électrique des pompes d'huile turbine dont l'arrêt peut provoquer des dégâts matériels importants (blocage de l'arbre turbo-alternateur). Notons que ces pompes ne sont pas à l'origine alimentées à partir des groupes électrogènes de secours et dans le cas d'absence de tension 220kV, 63kV et déclenchement de l'alternateur, il n'y aura plus d'alimentation électrique pour les pompes d'huile qui maintiennent l'arbre sur vitesse de virage (150 tr/min) pour baisser les températures des corps et l'arbre de la turbine uniformément jusqu'à 100°C « température acceptable pour l'arrêt de l'arbre » (amener la température de 540 °C jusqu'à 100°C nécessite une rotation à 150 tr / min pendant une durée moyenne d'une semaine).

Notre mémoire se divise en deux parties ;

La première est théorique, elle est composée de deux chapitres, le premier est consacré aux généralités sur la production, consommation et distribution de l'énergie électrique, le deuxième est une description de la centrale de Cap-Djinet.

La deuxième partie est une application consacrée au calcul du poste d'alimentation des pompes d'huile à partir des groupes électrogènes, cette partie est aussi subdivisée en deux chapitres, le premier traite le calcul et le dimensionnement de l'alimentation des pompes d'huile, le deuxième est consacré à la protection des pompes d'huile.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralités sur la production de l'énergie électrique

Introduction

Les centrales électriques ont pour but principal de fournir de l'énergie électrique aux entreprises industrielles et à la population. Les centrales thermiques fournissent en outre de la vapeur et de l'eau chaude à certaines industries et aux immeubles.

Le fonctionnement des centrales électrique se caractérise par cette particularité que la quantité d'énergie produite doit être pratiquement égale à la quantité d'énergie fournie cela se justifie par le fait que l'énergie électrique ne se stocke pas. Nous devons donc la produire au fur et à mesure des besoins.

Cette nécessité d'assurer en permanence l'équilibre entre consommation et production d'énergie, exige aux centrales électriques une excellente sécurité de fonctionnement, étant donné que toute interruption dans la fourniture de courant électrique a une répercussion non seulement sur les indices économiques de la centrale elle-même, mais aussi sur ceux des entreprises industrielles et des centres urbains dont elle est appelée à satisfaire la consommation. Pour assurer la continuité de la fourniture de l'énergie électrique et répartir équitablement les appels de puissances, les centrales d'une région sont couplées de manière à constituer un système énergétique (un réseau d'énergie électrique).

I-1- Contraintes d'équilibre entre production et consommation [5]

L'énergie électrique joue un rôle très important dans tous les secteurs de l'économie.

Les producteurs de l'énergie électrique s'appuient sur des calculs statistiques qui leur permettent de prévoir plusieurs années à l'avance, les investissements (centrales, générateurs, lignes,...) pour faire face à la demande sans cesse croissante de l'énergie.

L'adaptation doit enfin tenir compte de variations annuelles avec un creux, le mois d'août, et une pointe, le mois de décembre, et les mois les plus chargés sont situés d'octobre à mars et des variations journalières qui se répartissent inégalement au cours des 24 heures d'une journée ; Elle présente deux pointes de consommation :

de 6 heures à 9 heures et de 16 heures à 20 heures, surtout en hiver ; il ya un creux important la nuit, entre 2 heure et 4 heures, et des variations régionales (la consommation est proportionnelle à la richesse générale de la région).

Toutes ces variations prévisibles sont souvent faussées ou perturbées par des accidents ou des phénomènes imprévisibles tels que la sècheresse, les inondations, tremblement de terre...etc. Ce qui se traduit par un déficit énergétique considérable qu'il faut palier au plus vite.

Pour toutes ces raisons, nous sommes amenés à classer les différentes centrales (hydrauliques et thermiques) en trois grandes catégories :

- a. Centrales de base
- b. Centrales mixtes
- c. Centrales de pointe

I-1-1- Centrales de base [6]

Elles travaillent sur un programme établi à l'avance. Elles fonctionnent en permanence à leur régime nominal et assurent en moyenne 80% de la demande d'énergie.

Ces centrales sont en général des centrales hydro-électriques ou centrales thermiques à vapeur.

I-1-2- Centrales mixtes

Elles fonctionnent généralement lors des périodes de fortes demandes d'énergie. Elles sont volontairement mises à l'arrêt pendant les périodes creuses.

I-1-3- Centrales de pointe

Elles interviennent au moment ou la consommation est maximale.

Elles sont en principe situées près des grandes zones de consommation. En situation normale, elles sont à l'arrêt (pour causes du coût élevé du KWh produit par ces centrales « consommation spécifique élevé »).

Une centrale de pointe doit répondre à la rapidité et à la facilité de démarrage, les plus indiquées sont les centrales thermiques à turbine à gaz.

I-2- Les différentes formes d'énergie

Les différentes formes d'énergie peuvent se classer suivant le niveau et la nature des transformations. On distingue l'énergie primaire, l'énergie intermédiaire et l'énergie utile.

a) L'énergie primaire disponible dans l'environnement avant toute transformation à savoir énergie hydraulique, marine, éolienne, rayonnement solaire, uranium, etc.

b) L'énergie intermédiaire qui a subi une ou plusieurs transformations et peut être transportée ou distribuée sous différents aspects (combustible fossile, carburants, électricité) vers le consommateur final. (ménager, industriels, services, etc.), d'où le terme énergie distribuée, on parle aussi des consommations finales d'énergie.

c) L'énergie utile, désirée par le consommateur (lumière, chaleur, travail mécanique, etc.), s'obtient en transformant l'énergie intermédiaire dans les appareils tels que les cuisinières, les lampes électriques, les chaudières, etc.).

D'une manière générale, toutes les transformations d'énergie s'opèrent à travers des équipements ou procédés énergétiques. Une chaîne énergétique est une succession d'appareils utilisés pour différentes opérations (extraction, stockage, transport, distribution, utilisation finale) permettant de faire passer de sa forme primaire à sa forme utile avec un certain rendement global.

I-3-Evolution de la consommation mondiale d'énergie primaire [5]

L'évolution de la consommation mondiale d'énergie primaire dépend principalement des facteurs suivants

a) L'évolution démographique

b) Les mutations économiques dans les pays industrialisés se manifestent par l'utilisation de technologies moins consommatrices d'énergie. Il s'ensuit une tendance à la baisse des intensités énergétiques.

I-4-Production de l'énergie électrique [6]

L'énergie électrique est produite dans des centrales (de production d'énergie) électrique qui est un site destiné à la production d'électricité, les centrales électriques transforment différents sources d'énergie naturelles en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs.

Toutes ces centrales comportent un ou plusieurs groupes tournant constitué chacun par une machine motrice entraînant un alternateur, celui-ci produit du courant électrique triphasé sous une tension insuffisante qui sera élevée par des transformateurs situés dans un poste de départ.

Les centrales génératrices diffèrent entre elles par l'origine de la force et la nature de la machine motrice d'où la classification suivante :

I-4-1 Centrales hydro- électrique

L'énergie hydraulique est depuis longtemps une solution mise en œuvre dans la production d'électricité (appelée aussi hydro- électricité) car elle utilise une énergie renouvelable.

Au pied des barrages qui retient de l'eau, on utilise des turbines reliées à des alternateurs. On alimente en eau sous pression les turbines par un système de canalisation et de régulateurs de débit.

Il ya différents type de centrales hydro- électrique, notamment les micro-centrales, installées sur des rivières en tête de bassin, certaines avec un fort impact écologique.

Il existe également des centrales hydro- électriques de pompage turbinage qui permettent d'accumuler l'énergie venant d'autres sites de production peu flexibles lorsque la consommation est basse, pour la restituer lors des pics de consommation.

I-4-2 Centrales éoliennes

L'énergie éolienne présente les avantages d'être gratuite inépuisable et non polluante, elle a le défaut d'être irrégulière.

Elle est transformée en énergie électrique par des aérogénérateurs (moulin à vent)

L'énergie éolienne dépend de l'énergie solaire, en effet les masses d'air proches de la terre sont le mieux chauffées par le soleil, cette air chaude à tendance à se déplacer, ce qui provoque le vent, ces centrales éoliennes sont positionnés idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées.

I-4-3 Centrales marémotrices

Hydroliennes ou maréthermiques, ces centrales utilisent l'énergie des marées pour produire de l'électricité.

Les marées proviennent de l'attraction qui exerce sur les masses terrestre, les masses de la lune et du soleil.

Les grandes marées se produisent lorsque le soleil et la lune sont en syzygie.

Il existe trois familles d'énergie utilisée pour produire de l'électricité :

- Energie marémotrice : l'énergie potentielle des marées est utilisée.
- Energie hydrolienne : l'énergie cinétique des courants de marée, des grands courants océaniques voir des rivières est utilisée.
- Energie maréthermique : les différences de température de l'eau à différente profondeur est utilisée.

I-4-4 Centrales thermique

Une centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur. Cette source peut être un combustible brulé (tels un gaz naturel, certaines huiles minérales, charbon, déchets industriels, déchets ménager).

Les centrales thermiques se répartissent en trois grandes catégories, selon la nature de leurs sources de chaleur.

I-4-4-1 Centrales nucléaires

La réserve de charbon, de pétrole et de gaz s'épuisera un jour, c'est pourquoi de nombreux pays désirent construire des centrales nucléaires, leur fonctionnement est assez économique.

Une centrale nucléaire est un site industriel utilisant la fission de noyaux atomiques (uranium, plutonium) pour produire de la chaleur, dont une partie est transformée en électricité (entre 30 % et 40 %) en fonction de la différence de températures entre la source froide et chaude).

I-4-4-2 Centrales thermiques à flammes

Les centrales thermiques à flammes utilisent des combustibles chimiques pour produire de la chaleur transformée en énergie mécanique par un cycle moteur thermodynamique, lui-même alimentant un alternateur, les combustibles sont généralement fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel).

a) Centrales au fuel

Ce type de centrale brûle du fuel et en tire la chaleur destinée à faire de la vapeur, cette vapeur fait tourner une turbine qui entraîne un alternateur et produit de l'électricité.

b) Centrales à gaz

Elle joue un rôle peu important, le fluide de travail est généralement de l'air, ce dernier est utilisé pour la combustion de fuel-oil ou le gaz naturel et le gaz de combustion transmettant leur énergie vers les turbines à gaz.

Les turbines à gaz sont peu coûteuses à construire, elles ont l'avantage de démarrer très rapidement. Néanmoins leur rendement faible (30 % au mieux) empêche de les utiliser directement pour la production de l'électricité sans valoriser leur chaleur résiduelle. Sauf en appoint lors de pics de demande ou à toute petite échelle.

I-4-4-3- Centrales récupérant de la chaleur (préexistante)

Ce type de centrale se répartisse en deux catégories :

a) Centrales géothermiques

L'énergie géothermique représente l'énergie des eaux chaudes infiltrées tout au fond de la terre, de véritables réservoirs d'eau se forment ainsi, d'autant plus chauds qu'il se trouve plus profondément, ces nappes atteignent 70 à 80 °C.

Les régions ou les volcans sont toujours actifs, ou bien les tremblements de terre fréquents, représentent des geysers (sources chaudes), c'est ce genre de gisements qui transforment l'eau en jets brûlants (gisement de haute énergie), ils peuvent produire de l'électricité en utilisant une turbine à vapeur même si dans l'avenir, se réaliseront des progrès techniques dans son exploitation, l'énergie géothermique ne pourra pas satisfaire les besoins mondiaux.

b) Centrales solaire thermiques

Une centrale solaire thermique produit de l'énergie par le rayonnement solaire, ce dernier est réfléchi par des héliostats qui suivent la trajectoire du soleil et renvoient son images sur un immense miroir parabolique vers le foyer se trouvant sur une tour qui permet d'échauffer une quantité d'eau, la chaleur dégagée est utilisée dans une turbine à vapeur. Depuis 1964 il existe des convertisseurs « Photovoltaïques » (cellules solaires) qui transforment directement l'énergie solaire en courant électrique, le rendement des convertisseurs solaires est modeste, mais leur prix est très élevé.

I-5- Transport d'énergie

L'énergie produite dans les centrales électriques doit être transférée des lieux de production aux lieux de consommation. Ce transfert comportera fréquemment deux stades : un transport d'un point à un autre d'une énergie donnée, par une ou plusieurs lignes ; ensuite une distribution de l'énergie à de nombreux consommateurs.

Quelle que soit l'importance de l'énergie à transférer, cette opération ne sera économiquement intéressante que si elle peut s'effectuer avec un rendement satisfaisant.

Dans le transport et la distribution de l'énergie électrique, on utilise deux types de lignes

- La ligne aérienne
- Câble souterrain

I-5-1- Schéma général du transport et de la distribution [4]

L'énergie électrique est actuellement produite dans les centrales, comme le transport à distance de quantités importantes d'énergie exige des tensions beaucoup plus élevées, on adjoint à la centrale un poste de transformation qui élève la tension.

En un point judicieusement choisi de chaque région à desservir, on établira un poste de transformation abaisseur, qui alimentera à partir de la très haute tension un réseau de distribution primaire, ce réseau sert à amener l'énergie aux diverses cabines, où cette tension est encore une fois abaissée jusqu'à la valeur d'utilisation.

De ces cabines part le réseau de distribution secondaire ou le réseau à basse tension.

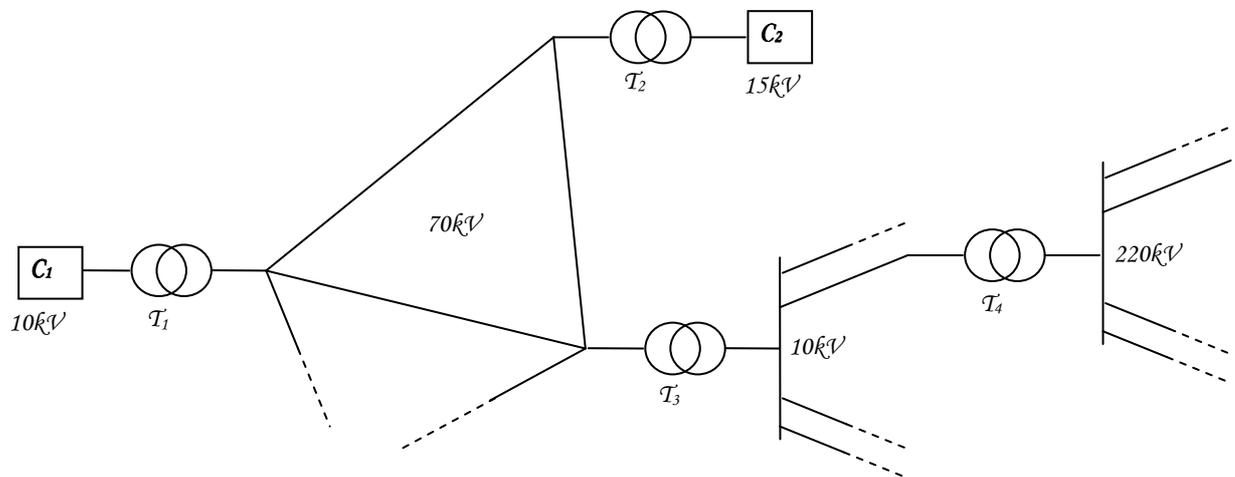


Fig : 1

I-6- La distribution de l'énergie électrique [5]

Comme il n'est pas possible de stocker l'énergie électrique, le distributeur doit fournir à chaque instant une énergie égale à celle réclamée par le consommateur, et comme la consommation varie suivant :

- 1- L'énergie de l'année (été ou hiver).
- 2- L'heure de la journée (heure de pointe et heure creuses).
- 3- Les conditions météorologiques.

Le distributeur doit faire des prévisions pour tenir en réserve des unités de production d'appoint. Pour résoudre facilement le problème de régulation, on interconnecte par les lignes à haute tension les centrales productrices d'énergie électrique, ce qui permet les échanges d'énergie d'une région à l'autre, ce réseau est également interconnecté avec celui des pays voisins.

En effet, la puissance électrique transporté est égale au produit de la tension (V) par le courant (I), or le transport à longue distance de cette puissance induit des pertes par effet joule qui deviennent prohibitives, pour diminuer ces pertes, on peut diminuer la résistance du support et cela imposerait d'augmenter la section des conducteurs, mais c'est une solution coûteuse, on est donc obligé de diminuer l'intensité du courant transporté, ce n'est possible que grâce aux tensions élevés, et ce d'autant plus que la distance est plus grande.

Grâce aux transformateurs, on élève la tension au départ et on l'abaisse à l'arrivée de façon à permettre à une utilisation commode, on arrive ainsi à transporter des puissances importantes à des centaines de kilomètres.

I-7- Avantages de l'interconnexion

Il est plus facile d'exploiter économiquement des réseaux interconnectés que des réseaux indépendants, en effet, il est possible d'utiliser les centrales dont le coût de production est le plus faible, pour ne faire appel qu'aux heures de pointe à celle dont le coût est plus élevé.

L'interconnexion apporte une grande sécurité d'exploitation. En effet, en cas de défaillance d'une centrale provoquée, soit par incident mécanique ou électrique, soit

par une demande anormale de la centrale, il est donc possible de mettre en service une unité de réserve.

A côté des avantages de l'interconnexion, il faut signaler un inconvénient, en effet dans le cas d'une rupture d'une ligne de transport, la perturbation peut se propager par la liaison d'interconnexion mettant ainsi en difficulté l'ensemble du réseau, pour réduire ces risques, il faut ouvrir rapidement les liaisons d'interconnexion par l'action d'automatique.

Conclusion

Ce chapitre est consacré aux généralités sur les différents types centrales électriques, à la consommation et à la distribution de l'énergie électrique.

CHAPITRE II

*Description et fonctionnement de la
Centrale de Cap - Djinet*

Introduction

La centrale de Cap-Djinet est située à proximité de la ville de Cap-Djinet à l'est d'Alger (environ 80 km) dans la wilaya de Boumerdès, sa superficie est 35 hectares.

Cette centrale a été réalisée entre 1980 et 1986 en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays.

La première fourniture d'énergie au réseau est effectuée le 17 Juin 1986.

Cette centrale se compose principalement de quatre tranches identiques pouvant délivrer une puissance brute de 176 MW chacune, la puissance nette délivrée au réseau national est de $168 \text{ MW} \times 4$ (672 MW) (chacune des tranches soutire 8 MW pour ses propres consommations (auxiliaire)).

II-1- Présentation de la centrale de Cap – DJINET [8]

II-1-1- Principe d'une centrale thermique

Une centrale thermique a pour rôle de produire de l'électricité à partir d'une énergie primaire qui se présente sous forme d'un combustible le processus de transformation s'effectue selon les étapes suivantes :

1^{ère} étape : Transformation de l'énergie chimique du combustible en énergie thermique au cours d'une réaction (combustion, fission nucléaire,...etc.) ; cette réaction se déroule soit dans une chaudière s'il s'agit de combustion (de charbon, de fuel, de gaz natureletc.), soit dans un réacteur s'il s'agit de fission nucléaire (Uranium, Plutonium).

2^{ème} étape : Transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique, par l'intermédiaire d'une machine thermique et suivant un cycle fonctionnant entre deux niveaux de température (source chaude et source froide).

3^{ème} étape : Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique dans une machine électrique qui est le plus souvent un alternateur.

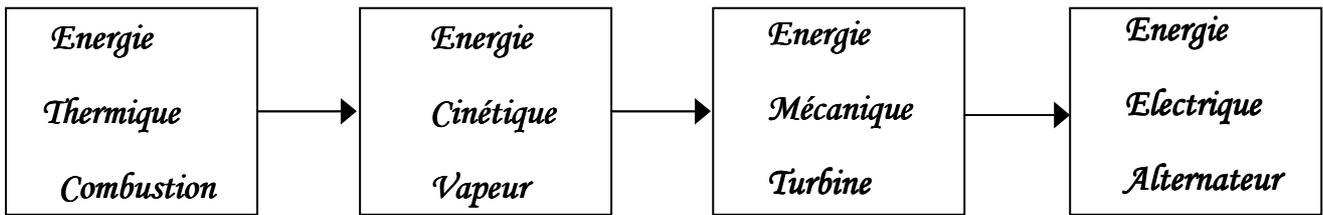


Fig II-1: transformation de l'énergie dans une centrale

II-1-2- Plan de masse

Les principaux constituants de la centrale sont:

1. Salle des machines
2. Chaudière
3. Locaux des auxiliaires électriques
4. Locaux des auxiliaires mécaniques
5. Tour de prise d'eau de mer
6. Station détente gaz
7. Réservoir stockage fuel
8. Station pompage et dépotage fuel
9. Poste d'alimentation en hydrogène
10. Station de pompage
11. Station de chloration
12. Déminéralisation
13. Dessalement d'eau de mer
14. Pompage d'eau déminéralisée

II-1-3- Choix du site

Il s'est fait sur la base des critères suivants:

- a) Proximité de mer.
- b) Proximité des consommateurs importants situés dans la zone industrielle de Rouïba, Reghaïa.
- c) Possibilité d'extension future.
- d) Condition du sous sol favorable, ne nécessitant pas de fondations profondes.

e) Située sur la route nationale Dellys–Alger, cela favorise son alimentation, par voie routière en fuel-oil domestique en cas d’indisponibilité de gaz naturel.

II-1-4-Etape de réalisation

Les principaux contacts ont commencé en 1980.

Les travaux de terrassement ont démarré en Mars 1981. Le début du montage de la centrale s’est effectué en Mars 1984.

- 1^{ère} tranche : Décembre 1985.
- 2^{ème} tranche : Avril 1986.
- 3^{ème} tranche : Septembre 1986.
- 4^{ème} tranche : Décembre 1986.

La Sonelgaz a confié certains travaux de réalisation du projet aux opérateurs nationaux suivants : ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, PRASIDER, ENATUB, SNIC et autres intervenants, chacun dans son domaine d’activité.

- SOGEP, SAPIBAD et SID.
- GTP, ALEIP, CEN et SONATRAM.

En ce qui concerne la participation étrangère plusieurs intervenants ont contribué à la réalisation du projet, il s’agit de :

- CONSORSIUM AUSTRO-ALLEMAND.
- SIEMENS D’AUTRICHE.
- DRAGADOS, Entreprise ESPAGNOLE.

II-1-5- Le combustible principal [9]

Le gaz utilisé dans les chaudières est le gaz naturel de Hassi-R’mel, un débit de 160000 m³/ h de gaz est nécessaire pour assurer la pleine charge des quatre groupes, en cas d’indisponibilité, le secours est assuré par du fuel-oil domestique à l’aide d’un dispositif d’alimentation à partir de deux réservoirs de 10000 m³ chacun.

II-2- Les principaux composants d'une tranche

Les principaux composants d'une tranche sont :

- La Chaudière
- La turbine
- L'alternateur

II-2-1- La Chaudière

La chaudière ou générateur de vapeur a pour rôle de transformer l'eau d'alimentation en vapeur à haute pression pour alimentation des turbines.

La chaudière est constituée principalement de :

- a) La chambre de combustion formée des tubes écrans ou vaporisateurs.
- b) Ballon.
- c) Surchauffeurs et resurchauffeurs.
- d) L'économiseur.
- e) Colonnes de descente.
- f) Brûleurs.

Les caractéristiques nominales sont :

- Pression de service 160 bars
- Température de la vapeur 540 °C
- Débit de la vapeur 523 tonnes / h

II-2-1-1- Economiseur

L'économiseur est un échangeur (eau fumée), il a pour fonction principale la réception, le réchauffement et le guidage de l'eau d'alimentation vers le ballon chaudière.

II-2-1-2- Ballon Chaudière

Le ballon chaudière sert à recevoir l'eau d'alimentation et la vapeur remontant à partir des tubes écrans, il est rempli à 50 % de vapeur et 50 % d'eau.

II-2-1-3- Colonnes de descente et tubes écrans

Les colonnes de descentes sont raccordées à la partie inférieure du ballon et conduisent l'eau à la partie inférieure de l'écran vaporisateur, ou elle est chauffé grâce aux brûleurs, le mélange eau-vapeur résultant au niveau des tubes écrans ayant un poids spécifique plus faible va remonter au niveau du ballon chaudière (convection naturelle).

II-2-1-4- Surchauffeurs et resurchauffeurs

a) Surchauffeurs

Les surchauffeurs en nombre de trois en série servent à surchauffer la vapeur venant du ballon chaudière pour lui extraire l'humidité et faire monter sa température avant d'être admise à la turbine (corps HP).

b) Resurchauffeurs

Une fois la vapeur vive (RA) aura subit une détente au niveau du corps HP, sa pression et sa température diminuent (RC : vapeur à resurchauffer), on la renvoie à la chaudière pour la resurchauffée à travers deux resurchauffeurs en série (RB : vapeur resurchauffée).

II-2-1-5- Préchauffeur d'air à vapeur

Ils servent à augmenter la température d'air de combustion (échangeur air-vapeur).

II-2-1-6- Réchauffeur rotatif

Il sert à réchauffer l'air de combustion par récupération de chaleur des fumées (échangeur air-fumée), entraîné par moteur triphasé

II-2-1-7- Ventilateur de soufflage

Les ventilateurs de soufflage en nombre de deux ont pour rôle de fournir l'air de combustion au générateur de vapeur

II-2-1-8- Ventilateurs de recyclage

Ils ont pour rôle de recycler une partie de la fumée, ils l'envoient à la partie inférieure de la chaudière pour régler la température à la sortie des resurchauffeurs.

II-2-1-9- Les brûleurs

Le générateur est équipé de huit brûleurs au gaz naturel et au fuel, les brûleurs sont disposés sur quatre étages de la face avant de la chaudière, le gaz naturel arrive à partir du post gaz, par contre le fuel est transféré par des pompes à partir de la station fuel, ce dernier est stocké dans deux bâches (réservoirs) ayant chacune une capacité de 10 000 m³.

II-2-1-10- La chambre de combustion

La chambre de combustion est la partie principale du générateur de vapeur, c'est dans cette enceinte qu'ont lieu les principaux échanges de chaleur.

II-2-2- La Turbine

Transforme l'énergie thermique de la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre.

Le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur.

La turbine est de type à condensation, elle est à une seule ligne d'arbre composée de trois corps (HP, MP, BP) séparés.

Les caractéristiques de la turbine sont:

- La Longueur 16,125 m
- La largeur 13 m
- La puissance 176 MW
- La pression 138,2 bars
- La température vapeur 535 °C
- La vitesse 3000 tr /min

II-2-2-1- Corps HP

Le corps HP est à simple flux, il reçoit la vapeur vive (RA) venant de la chaudière.

II-2-2-2- Corps MP

Le corps MP est à double flux, il reçoit la vapeur resurchauffée (RB).

II-2-2-3- Corps BP

Le corps BP est à doubles flux, il reçoit la vapeur sortante du corps MP, puis il la dirige vers le condenseur après avoir subi une détente à son niveau.

II-2-2-4- Soutirages

Les soutirages au nombre de six, ils ont pour rôle principal de réchauffer l'eau à travers les différents réchauffeurs.

II-2-2-5- Circuit d'huile

Le circuit d'huile remplit les fonctions suivantes :

- Graissage et refroidissement des paliers.
 - Actionnement des organes de réglage et des dispositifs desécurhydrolique (huile de commande).

II-2-2-6- Pompes plein débit de premier secours (pompes auxiliaires)

En période de virage, de démarrage ou de mise à l'arrêt, une des deux pompes plein débit de premier secours (pompes auxiliaires) entraînées par un moteur alternatif triphasé alimente le circuit d'huile.

II-2-2-7- Pompes de deuxième secours

L'une entraîné par un moteur à courant continu, l'autre par un moteur à courant alternatif, assure l'alimentation du circuit de graissage si les pompes de premier secours sont défailantes.

II-2-2-8- Pompes de soulèvement

Les pompes de soulèvement au nombre de deux à courant alternatif triphasé, assurent un film d'huile entre le rotor et les coussinets des paliers lors de démarrage et de la mise à l'arrêt du groupe turbo-alternateur.

II-2-2-9- Vireur hydraulique

Il a pour fonction de faire tourner la ligne d'arbre à une vitesse suffisante avant le démarrage et après l'arrêt du groupe turbo-alternateur.

II-2-3 L'alternateur [10]

L'alternateur est une machine synchrone à pôles lisse (deux pôles) tournant à une vitesse de 3000 tr / min refroidit à l'hydrogène qui échange ses calories avec l'eau du procès à travers des échangeurs (au nombre de quatre).

II-2-3-1- Le groupe d'excitation

Le groupe d'excitation comprend les principaux composants suivants :

- Une excitatrice pilote à aimant permanent.
- Une roue à diode.
- Une armoire de régulation de tension.
- Excitatrice principale (alternateur inverse)

L'excitatrice principale est alimentée par l'excitatrice pilote à travers un régulateur à thyristors qui se trouve dans l'armoire de régulation.

L'excitatrice principale fournit le courant d'excitation à l'alternateur à travers les diodes tournantes.

Dans le cas d'une indisponibilité de régulation électronique ou de l'excitatrice pilote, l'excitatrice principale est alimentée par le réseau des auxiliaires à travers le régulateur manuel de tension.

II-2-3-2- Caractéristiques du groupe (Alternateur)

- **Excitatrice principale**

Excitatrice principale type ELR 70 / 62. 30 / 6. 10		
420 V- 600 V	3200 A – 4500 A	1300 kW – 2700 kW
Fréquence 50 HZ		
Classe d'isolant F	IP 44	
Poids : 25 350 kg		

- **Excitatrice pilote**

3 Phases	Type: ELP 60 / 29. 20. 16			
Y	235 V + 10 %	105A	400 HZ	40 kVA
Classe d'isolant : F	IP 44			

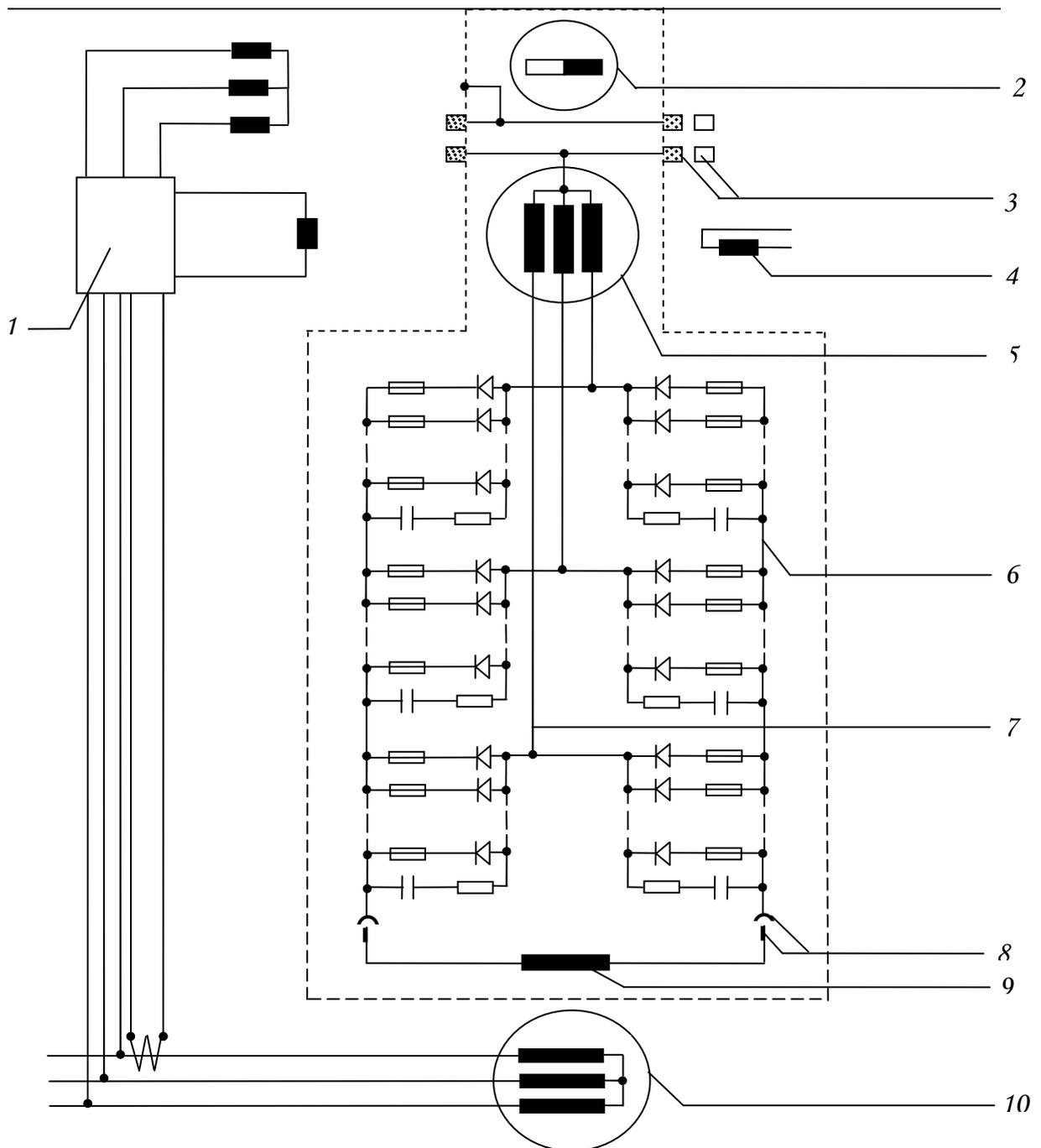


Fig II-2 : Schéma de principe du système d'excitation

1 régulateur

2 excitatrice pilote à aimants permanents

3 bagues de mesure et balais associés pour

Le contrôle de l'isolement

4 mesure inductive du courant d'excitation

5 excitatrice triphasé (alternateur inverse)

6 pont redresseur à diodes au silicium

7 connecteur courant triphasé

8 connexion multicontact

9 enroulement rotor

10 enroulement stator

II-2-4- Evacuation de l'énergie [12]

Chaque tranche évacue l'énergie électrique par l'intermédiaire d'un transformateur principal et d'un avant poste SF6 à une tension de 220 kV vers le poste de Boudouaou situé à 45 km environ de la centrale.

Chaque alternateur est raccordé par l'intermédiaire d'un disjoncteur machine, par des gaines à barres à un transformateur élévateur (15,5 kV/220 kV) d'une puissance de 220 MVA.

II-2-5- Commande et contrôle

La centrale de Cap-Djinet est caractérisée par un degré élevé d'automatisme et de centralisation des commandes (deux salles de commande).

II-3- Circuits (systèmes eau- vapeur et autres systèmes) [11]

II-3-1- Système eau-vapeur

L'exploitation d'une centrale thermique nécessite d'importantes quantités d'eau que ce soit pour les besoins du cycle eau-vapeur ou pour le système de refroidissement.

Dans le cas de la centrale de Cap-Djinet, tous les besoins en eau proviennent de l'eau de mer récupérée au niveau de la station de pompage.

Cette eau est prélevée à 7m de profondeur, la prise d'eau se trouve à 900 m de la côte, elle arrive à la station de pompage dans trois conduites en béton de 2,7 m de diamètre.

II-3-2- Eau de refroidissement

II-3-2-1- Circuit eau de circulation

Le circuit de circulation (VC) sert principalement au refroidissement de la vapeur dans le condenseur.

Le procédé de refroidissement est en circuit ouvert. L'eau de mer est pompée à la station de pompage par l'intermédiaire de deux pompes de circulation, elle est en suite refoulée dans des réfrigérants et le condenseur pour enfin retourner à la mer par le canal de rejet.

II-3-2-2- Circuit de refroidissement « NORIA » VG [11]

Le circuit de refroidissement « NORIA » (utilisant l'eau déminéralisée) est utilisé pour le refroidissement des :

- réfrigérants.
- Huile turbine.
- Huile d'étanchéité.
- L'excitatrice.
- Les pompes alimentaires.
- Palier réchauffeur rotatif.
- Ventilateur de recyclage.
- Ballon des purges continues.
- Compresseurs d'air de travail.

L'eau de refroidissement arrive par gravitation au niveau des trois pompes « NORIA » à partir de la bêche surélevée.

L'eau utilisée dans ce circuit fermé est de l'eau déminéralisée.

II-3-3- Circuit d'incendie UJ

Le circuit incendie de la centrale de Cap- Djinet est composé de :

- L'alimentation en eau.
- La tuyauterie d'alimentation principale.
- Bouche d'incendie.
- L'installation de mousse.
- L'installation d'arrosage des bâches fuel.
- Systèmes d'arrosages en douche.

II-3-3-1- Alimentation en eau

Pour l'alimentation en eau, on dispose :

- D'une alimentation en eau douce par réservoir surélevé.
 - D'une alimentation en eau douce par réservoir de 500 m³ et une autre en eau dessalée par réservoir (2700 m³).
- D'une alimentation en eau de mer.

II-3-4- Systèmes d'eau déminéralisée UD

La production d'eau pour le système eau-vapeur est réalisée à partir d'eau de mer.

Pour cela, on utilise quatre unités de dessalement utilisant chacune une pompe d'alimentation en eau de mer au niveau de la station de pompage.

Chaque unité à une capacité de production quotidienne de 500 m³. L'eau de mer dessalée est stockés dans deux réservoirs de 2700 m³ chacun ; puis elle est amenée à l'installation de déminéralisation. L'eau dessalée est conduite jusqu'aux filtres à résines, elle est ensuite stockée dans deux réservoirs, d'une capacité de 1500 m³ chacun. L'eau déminée est refoulée vers des bâches surélevées (deux bâches de 40 m³ chacune), chaque bâche dessert deux groupes.

II-3-5- Circuit du condensat principal

Le circuit commence à la sortie du condenseur pour aboutir au niveau du dégazeur de la bâche alimentaire. Il passe par les pompes d'extraction, le condenseur des buées, les éjecteurs de vapeur de service et les réchauffeurs basse pression.

L'eau à la sortie du condenseur est transférée dans le circuit par l'intermédiaire d'une des pompes d'extraction à une pression de 16,8 bars (deux pompes une en service et l'autre en réserve).

II-3-6- Système d'eau d'alimentation

L'aspiration de l'eau d'alimentation commence à partir des conduites d'aspiration de la bâche alimentaire jusqu'à l'entrée de la chaudière. Elle passe à travers les pompes alimentaires et les réchauffeurs haute pression.

L'eau d'alimentation est prise de la bâche alimentaire par gravitation jusqu'à la pompe nourricière, cette dernière augmente la pression de l'eau d'alimentation de 5 bars à 11bars, elle passe ensuite par la pompe principale (pompe centrifuge six étages) pour être refoulée à une pression de 170 bars et un débit de 263 tonnes / h (trois pompes, deux en service et une en réserve).

L'eau alimentaire traverse les réchauffeurs haute pression (HP5, HP6) et l'économiseur pour aboutir au ballon chaudière.

II-3-7- Circuit de vapeur vive RA

La vapeur surchauffée sort de la chaudière à une température de 540 °C et à une pression de 160 bars. Elle va être acheminée à travers le circuit de vapeur vive RA jusqu'aux vannes d'arrêt du corps HP de la turbine.

Sur le circuit de la vapeur vive est installé un contournement (by pass HP) qui permet au démarrage, le conditionnement de la vapeur et le refroidissement des resurchauffeurs.

Ce by pass entre en service aussi au moment de l'ilotage et à une charge inférieure à celle du minimum technique (charge 44 MW).

II-3-8- Conduite de vapeur à resurchauffer RC [11]

La vapeur d'échappement en partie détendue est refroidie (40 bars et 357 °C) dans la partie HP de la turbine (SA11) est renvoyée à la chaudière par la conduite de vapeur à resurchauffer. Cette conduite va de la sortie de partie haute pression de la turbine jusqu'au niveau de l'entrée du resurchauffer.

II-3-9- Circuit de vapeur resurchauffée

La vapeur resurchauffée sort du resurchauffer (37 bars et 540 °C) à travers deux conduites RB11 et RB12.

La vapeur va être acheminée jusqu'aux vannes d'arrêt MP (moyenne pression de la turbine). Sur cette conduite est pris un piquage pour l'alimentation du barillet (collecteur) de vapeur auxiliaire (principalement pour les éjecteurs).

II-3-10- Circuit de vapeur (auxiliaire)

Le circuit de vapeur auxiliaire RQ prend sa source au collecteur RQ10

- En marche normale par le soutirage turbine (RF58).
 - Pendant le démarrage, il est alimenté par de la vapeur resurchauffée RB21. Cette vapeur sert principalement à alimenter les éjecteurs de services

et de démarrage (fluide moteur pour les éjecteurs qui servent à vider le condenseur).

II-3-11- Description du cycle thermique

L'eau est aspirée par les pompes d'extraction à partir du condenseur et refoulée à travers des réchauffeurs BP (en nombre de trois) dans la bache alimentaire.

Les réchauffeurs BP sont des échangeurs alimentés par des soutirages pour augmenter la température d'eau.

Les pompes alimentaires aspirent l'eau de la bache alimentaire et la refoulent à haute pression dans le ballon chaudière.

Lors de son acheminement de la bache alimentaire vers la chaudière l'eau est réchauffée une seconde fois dans le réchauffeur HP5 et HP6 avant son introduction dans le ballon chaudière.

Une fois l'eau alimentaire est dans le ballon chaudière, elle sera acheminée vers les tubes écrans à travers les colonnes de descente.

L'eau subira au niveau des tubes écrans une vaporisation partielle, le mélange eau-vapeur remontera au ballon chaudière (convection naturelle).

Au niveau du ballon la vapeur sera séparée de l'eau par l'intermédiaire des séparateurs à cyclone est envoyée à travers les surchauffeurs pour être asséchée (augmentation de température).

La vapeur surchauffée sera dirigée vers le corps HP à travers quatre systèmes de vannes-soupapes régulatrices qui permettent de régler le débit vapeur en rapport avec la puissance demandée par le réseau.

En sortant du corps HP, la vapeur est renvoyée vers la chaudière ou elle sera resurchauffée à la même pression mais à une température plus élevée et sera admise dans le corps MP.

Après le corps MP, la vapeur continuera sa détente au niveau du corps BP pour aboutir au condenseur ou elle subira une condensation complète.

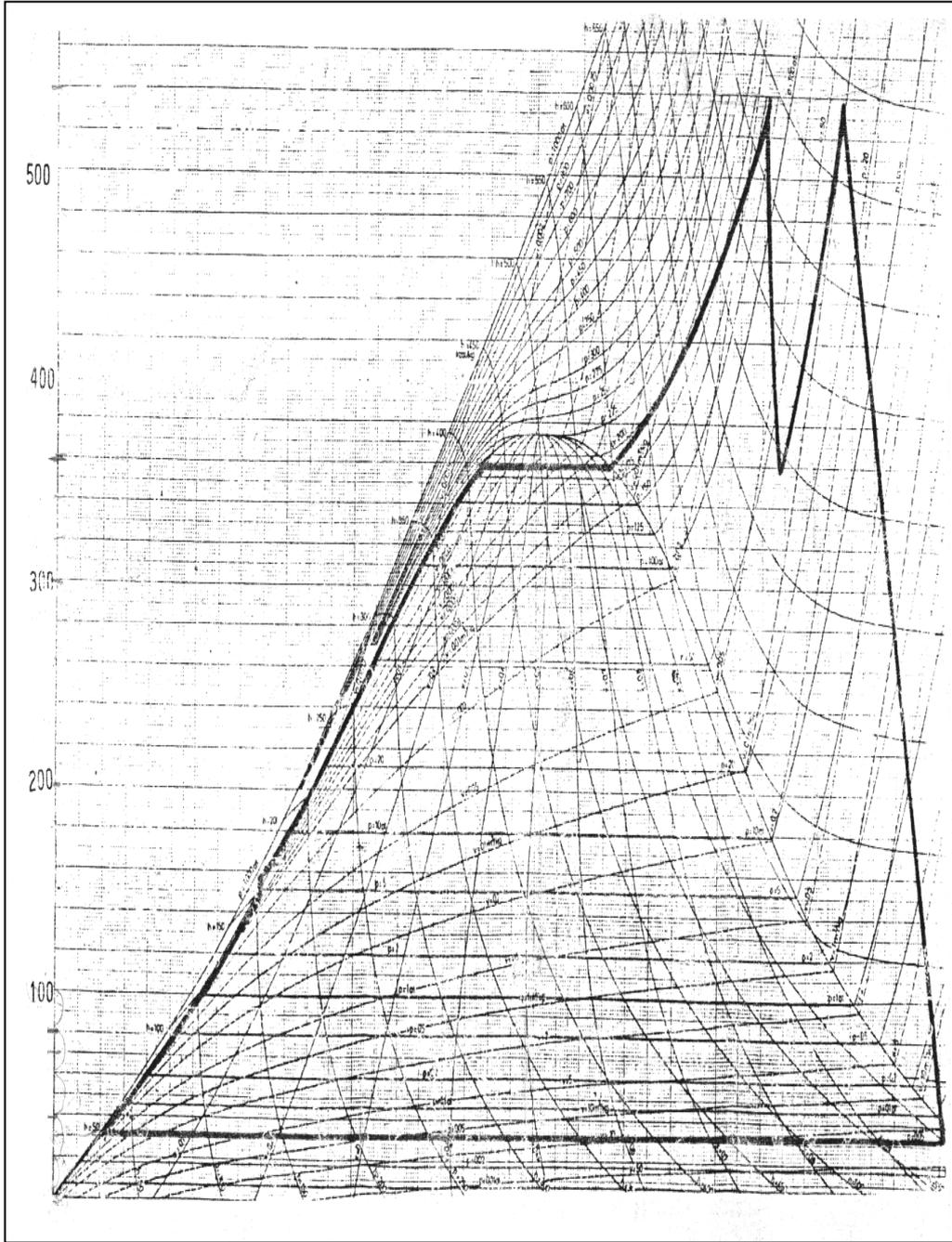


Fig II-3 : Diagramme température-entropie (T, S)

Cycle de Cap-Djinet

II-4- Distribution électrique dans la centrale [12]

II-4-1- Evacuation d'énergie électrique

L'énergie électrique produite par l'alternateur est fournie au réseau électrique national 225 kV par la dérivation de l'alternateur et le transformateur de bloc.

Un disjoncteur machine est installé comme organe de commutation entre l'alternateur et le transformateur de bloc.

Le transformateur de bloc est relié à la ligne aérienne haute tension par une installation au SF6.

L'énergie électrique générée par l'alternateur est transmise au transformateur de bloc par des conducteurs sous tube aluminium.

II-4-2- Alternateur AP 01

a) Caractéristiques

Type : HDTGD 215 / 2 - 470

Tension nominale : 15,5k V \pm 10 %

Intensité nominale : 8195 A

Fréquence nominale : 50 Hz

Puissance nominale : 220 MVA

Cos φ : 0,8

Classe d'isolement : F

Classe de protection : IP 44

Vitesse : 3000 tr / mn

Couplage : Y

Refroidissement hydrogène : 3 bars

Poids : stator couplet 198 tonnes, rotor 35 tonnes

Norme : VDE 0530

Excitation propre

- Tension : 240 V
- Intensité : 2450 A

II-4-3- Disjoncteur d'alternateur

a) Rôle et description

Disjoncteur pneumatique fonctionnant à une pression de 28,4 bars monté entre l'alternateur et le transformateur principal.

La commande (fermeture, ouverture) et le soufflage de l'arc électrique sont assurés par de l'air comprimée produite par une station commune aux deux groupes.

La commande du disjoncteur peut se faire manuellement

Ce disjoncteur assure les fonctions suivantes :

- Séparer l'alternateur de l'alimentation des auxiliaires pendant les opérations de mise en marche ou d'arrêt.
- Permettre la synchronisation du côté 15,5 kV
 - Couper le circuit en cas de défauts dans le transformateur principal, l'alternateur, le transformateur de soutirage, et aussi en cas de perturbation sur les lignes aériennes reliant la centrale au poste de Boudouaou.
- Assurer la parfaite sécurité de l'alimentation des auxiliaires de la centrale.

1. Alternateur
2. Disjoncteur d'alternateur
3. Transformateur principal
4. Disjoncteur de ligne
5. Transformateur de soutirage
6. Disjoncteur 6,3 kV
7. Evacuation ligne 220 kV
8. Jeu de barres auxiliaire de tranche

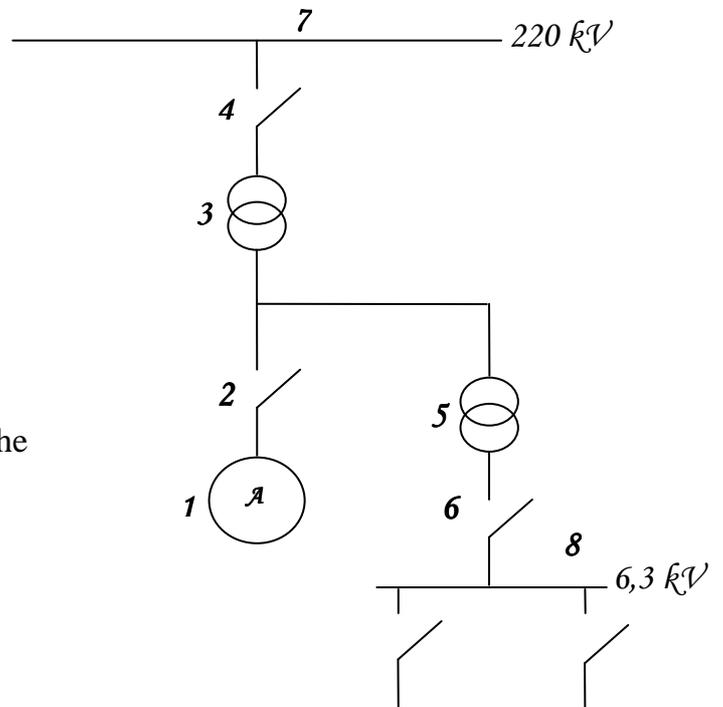


Fig II-4

II-4-4- Transformateur principal [12]

a) Caractéristiques principales

Puissance nominale : 220 MVA

Tension nominale : $235 \text{ kV} \pm 2 \times 2,5 \% / 15,5 \text{ kV}$

Poids : 145 tonnes

Refroidissement : ODAF

Couplage : YND 1

Coté basse tension (BT) : $P_n = 220 \text{ MVA}$, $U_n = 15,5 \text{ kV}$ et $I_n = 8195 \text{ A}$

b) Généralités

Le transformateur du type TDQ est un transformateur triphasé à bain (cuve) d'huile avec ajusteur de tension intégré pour le réglage à vide de la tension du coté 235 kV.

II-4-5- Réfrigération

La dissipation de la chaleur perdue (878 kW) se fait par trois réfrigérants d'huile à air soufflant horizontalement.

Ils sont montés sur le coté longitudinal haute tension et un sur chaque coté du transformateur, chaque réfrigérant est équipé de trois ventilateurs et d'une pompe.

a) Commande des réfrigérants

L'alimentation des moteurs, ventilateurs et des pompes en $3 \times 380 \text{ V}$, 50 Hz se fait à partir d'une armoire de commande montée sur le transformateur, dans laquelle se trouvent également tous les appareils nécessaires pour la commande.

Chaque réfrigérant (3 ventilateurs + 1 pompe) est commuté par un contacteur- interrupteur K1-K4, et chaque moteur est protégé par un disjoncteur Q1-Q16 avec le commutateur sélecteur S1, la présélection des réfrigérants qui seront mis en service se fait automatiquement par des thermo-contacts de surveillance de température des enroulements.

Si une défaillance d'un réfrigérant survienne il est mis hors service automatiquement.

Nota : Même lors de la marche à vide du transformateur, il faut absolument qu'au moins un réfrigérant soit mis en service.

II-4-6- Disjoncteur ligne 245 kV (AD 01)

a) Caractéristiques

Type : 8DV 401

Tension nominale : 245 kV

Tension de tenue aux chocs de foudre : 1050 kV

Tension de tenue à fréquence industrielle : 460 kV

Fréquence nominale : 50 Hz

Courant nominal : 1250 A

Courant de courte durée admissible nominale : 40 kV

Durée nominale du court circuit : 1 sec

Pouvoir de coupure sur court circuit : 40 kA

Pouvoir de coupure en opposition de phases : 10 kA

Pression effective du SF6 à 20 °C :

- Disjoncteur : 6,5 bars
- Sectionneur de Jeu de barres : 3,2 bars

Température ambiante : -5 ÷ + 45 °C

Référence : CEI – publ. 56, 129, 517, VDE 0670

b) Rôle et description

Disjoncteur triphasé à commande hydraulique indépendante des pôles.

Le soufflage de l'arc électrique et l'isolement des pièces sont effectués dans un gaz isolant SF6 (Hexafluorure de soufre) à une pression de 6,5 bars pour le compartiment disjoncteur (chambre de coupure), 3 bars pour les raccordements intermédiaires et les prises de mesure (TI, TP).

La commande (ouverture, fermeture) est faite :

- En local par bouton poussoir ouverture fermeture.

- A distance du pupitre ou par protections électriques.

Ce disjoncteur assure les fonctions suivantes :

- Séparer l'installation de production du réseau en cas de défauts électriques externes.
- Permettre la synchronisation du groupe du coté 235 kV.
 - Eliminer les défauts monophasés fugitifs survenus sur la ligne 235 kV sans interruption d'énergie, grâce à une ouverture et fermeture rapide du pôle en défaut.
- Utiliser le réseau 235 kV pour le démarrage du groupe.

II-5- Alimentation et distribution électrique dans la centrale

Les auxiliaires électriques de la centrale peuvent être alimentés de deux façons :

- Soit par la ligne 220 kV à partir du transformateur de soutirage.
 - Soit par un réseau de secours 63 kV en utilisant un transformateur identique au transformateur de soutirage; appelé transformateur de réseau.
-

II-5-1- Alimentation par ligne 220kV

II-5-1-1- Transformateur de soutirage

a) Caractéristiques

Puissance nominale : 20 MVA

Tension nominale : $15,5 \pm 9 \times 1,2 \% 6,3$ kV

Type TDQ 204

Mode de marche : continu

Refroidissement : ONAN / ONAF

Couplage Yd11

b) Généralités

Le transformateur de soutirage est un transformateur triphasé à bain (cuve) d'huile avec ajusteur de tension intégré (pour le réglage de la tension 6,3 kV).

c) Réfrigération

L'évacuation de la chaleur dégagée à l'intérieur du transformateur est assurée par une circulation naturelle d'huile, l'huile est refroidie par l'air ambiant dans les radiateurs installés sur le transformateur.

La circulation naturelle de l'air (Type de refroidissement : ONAN) est intensifiée par des ventilateurs à partir d'une charge de transformateur de 14 MW (type de refroidissement ONAF)

d) Régleur en charge du transformateur de soutirage

Le transformateur de soutirage est équipé d'un régleur en charge à 19 positions repérées de -9 à +9.

Il est équipé d'un régulateur statique 6GC16 avec ajusteur de consigne intégré.

Au moyen du régleur intégral, on obtient une réaction rapide lors des grandes variations de tension, et une réaction lente lors des petites perturbations de tension

Il est protégé par relais Buchholz à deux stades, dont le fonctionnement et le câblage sont identiques à celui du transformateur.

• Schéma de principe de régleur en charge

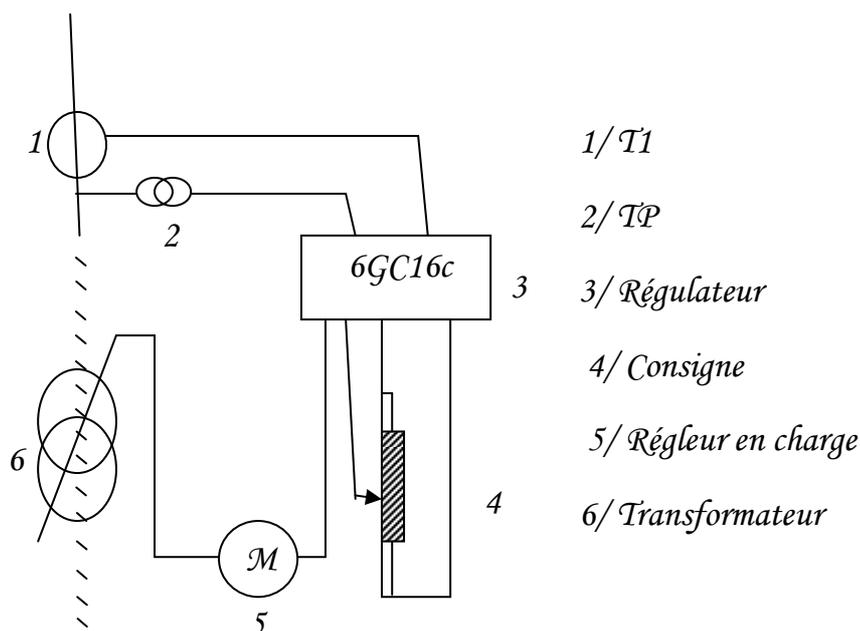


Fig II-5

II-5-1-2- Les auxiliaires de tranche 6,3kV

Le jeu de barres 6,3 kV alimente directement les moteurs asynchrones moyennes tensions des gros mécanismes de commandes (pompes alimentaires...etc.) ; par l'intermédiaire de transformateurs à imprégnation de résine synthétique, les installations de distribution basse tension.

Le système triphasé (MT) est isolé par rapport à la terre.

Le jeu de barres est équipé de disjoncteurs tripolaires à faible volume d'huile et à accumulation d'énergie.

a) Caractéristiques principales des disjoncteurs

Type T3AC

Commandes électrique EK, EV

$U_n = 7,2 \text{ kV}$

$U_{chocs} = 75 \text{ kV}$

$I_{cc} = 40 \text{ kA}$

$I_n = 2500 \text{ A}$

b) Commutation automatique 7VU1

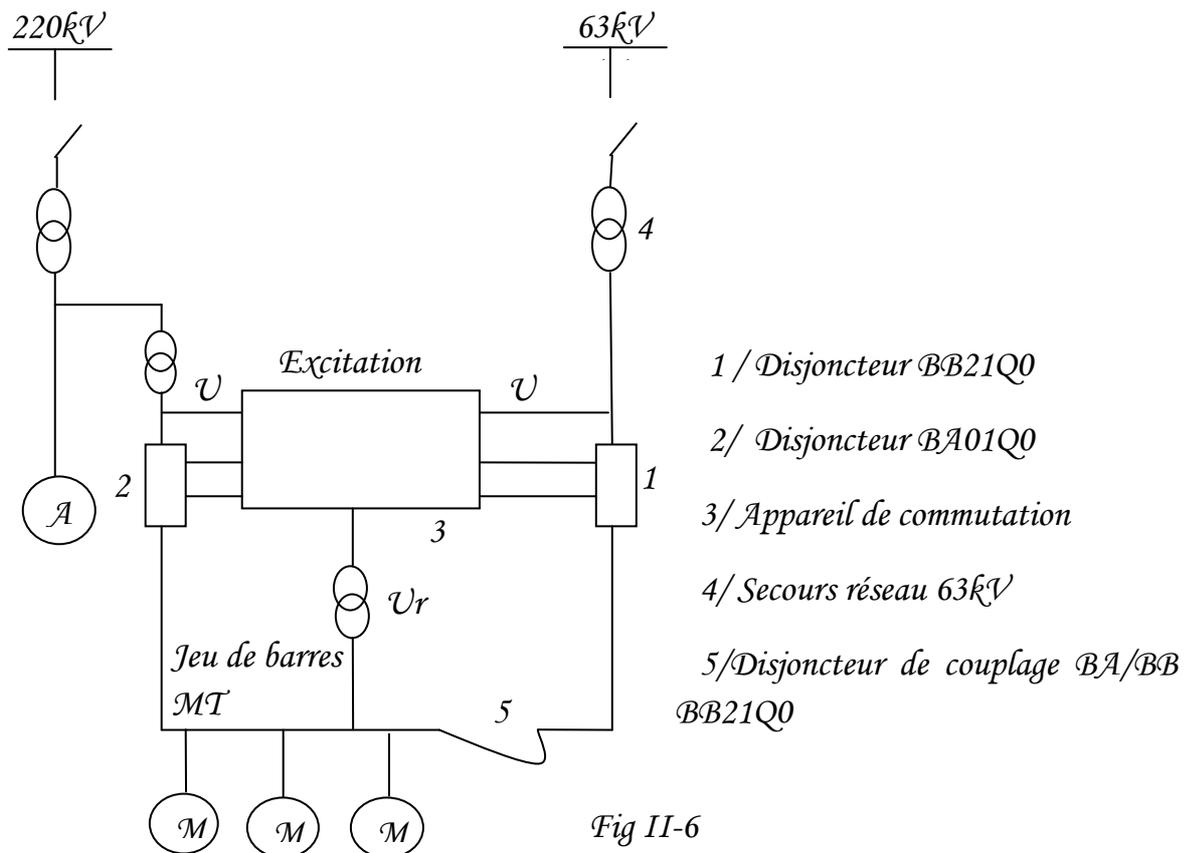
Le jeu de barres 6,3 kV est divisé en deux parties.

- L'une appelée BA alimentée par le réseau 220 kV à travers le transformateur de soutirage.

- L'autre appelée BB alimentée par le réseau 63 kV à travers le transformateur de réseau.

Les deux demi-jeux de barres peuvent être couplés au moyen un disjoncteur de couplage de même caractéristiques que les deux autres.

- Schéma de principe d'alimentation du jeu de barres MT



c) Fonctionnement

En fonctionnement normal le jeu de barres est alimenté par le transformateur de soutirage, le disjoncteur de couplage étant fermé.

Cet appareil sert à la commutation automatique de l'alimentation de jeu de barres sur une source de secours.

Ce passage d'une source à une autre est provoqué par certaines protections électriques (ou par commande manuelle du pupitre).

II-5-1-3- Les moteurs moyenne tensions

a) Caractéristiques

- Moteurs pompes alimentaire (nbre : 3)

$$P_n = 3 \text{ MW}$$

$$U_n = 6,3 \text{ kV}$$

$$I_n = 33 \text{ A}$$

- Moteurs ventilateurs de recyclage (nbre : 2)

$P_n = 280 \text{ kW}$

$U_n = 6,3 \text{ kV}$

$I_n = 35 \text{ A}$

- Moteurs ventilateurs de soufflage (nbre: 2)

$P_n = 1200 \text{ kW}$

$U_n = 6,3 \text{ kV}$

$I_n = 139 \text{ A}$

- Moteurs pompes d'extraction (nbre: 2)

$P_n = 300 \text{ kW}$

$U_n = 6,3 \text{ kV}$

$I_n = 34 \text{ A}$

- Moteurs pompes de circulation (nbre: 2)

$P_n = 700 \text{ kW}$

$U_n = 6,3 \text{ kV}$

$I_n = 90 \text{ A}$

b) Protection

Tous ces moteurs sont protégés par des protections électriques qui sont :

- Maximum d'intensité : F10 réglé à $1,1 \times I_n$ à temps inverse, déclenche le moteur et donne une alarme en salle de commande sous le nom de : BA....XM67.
- Court circuit : F10 réglé à $7,5 \times I_n$ instantané, déclenche instantanément le moteur suivi d'une alarme en salle de commande sous le nom de BA....XM67.
- Coupe-circuit automatique : Tous les coupe- circuits automatiques utilisés dans le compartiment basse tension des disjoncteurs 6,3 kV sont signalés en salle de commande sous le nom de BA....XM87.
- Différentielle : Elle est utilisée seulement pour les moteurs entrainant les pompes alimentaires, réglé à $0,4 \times I_n$, déclenche le moteur et donne une alarme sous le nom de BA....XM69 .

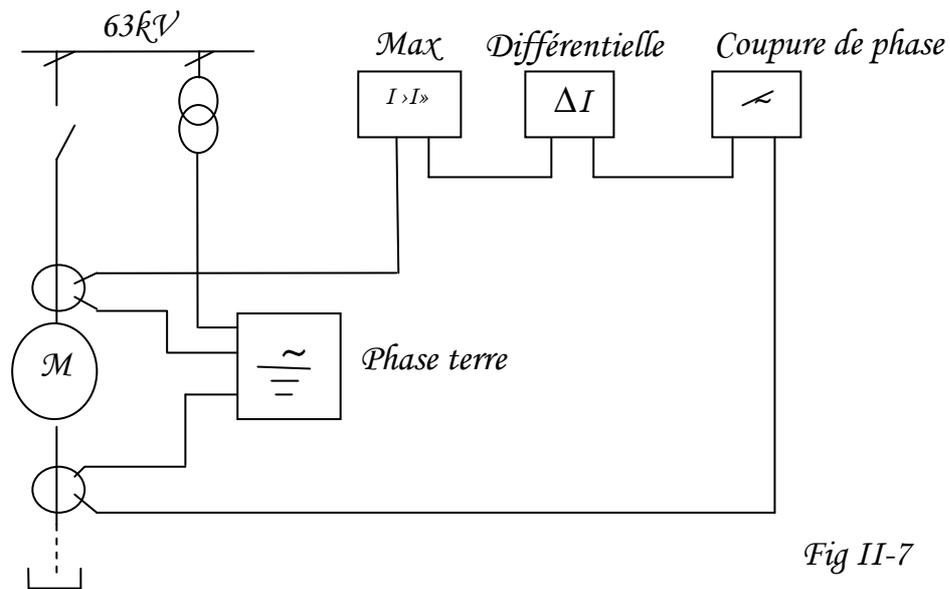


Fig II-7

II-5-1-4- Les transformateurs MT/BT

Transformateurs à imprégnation de résine synthétique, de puissance 1250 kVA, 630 kVA, 230 kVA, sous 6,3 kV.

a) Caractéristiques

Puissance	1250kVA	630kVA	230kVA
U MT	6300 V + 2 × 2,5 %	6300V + 2 × 2,5 %	380 V
U BT	400 V	400V	400 V
I MT	114,5 A	57,75 A	349,5A
IB T	1804 A	900,5 A	332 A
Vcc	6 %	4 %	4 %
Couplage	DYN 11	DYN 11	DYN 11
Refroidissement	AN	AN	AN

b) Protections

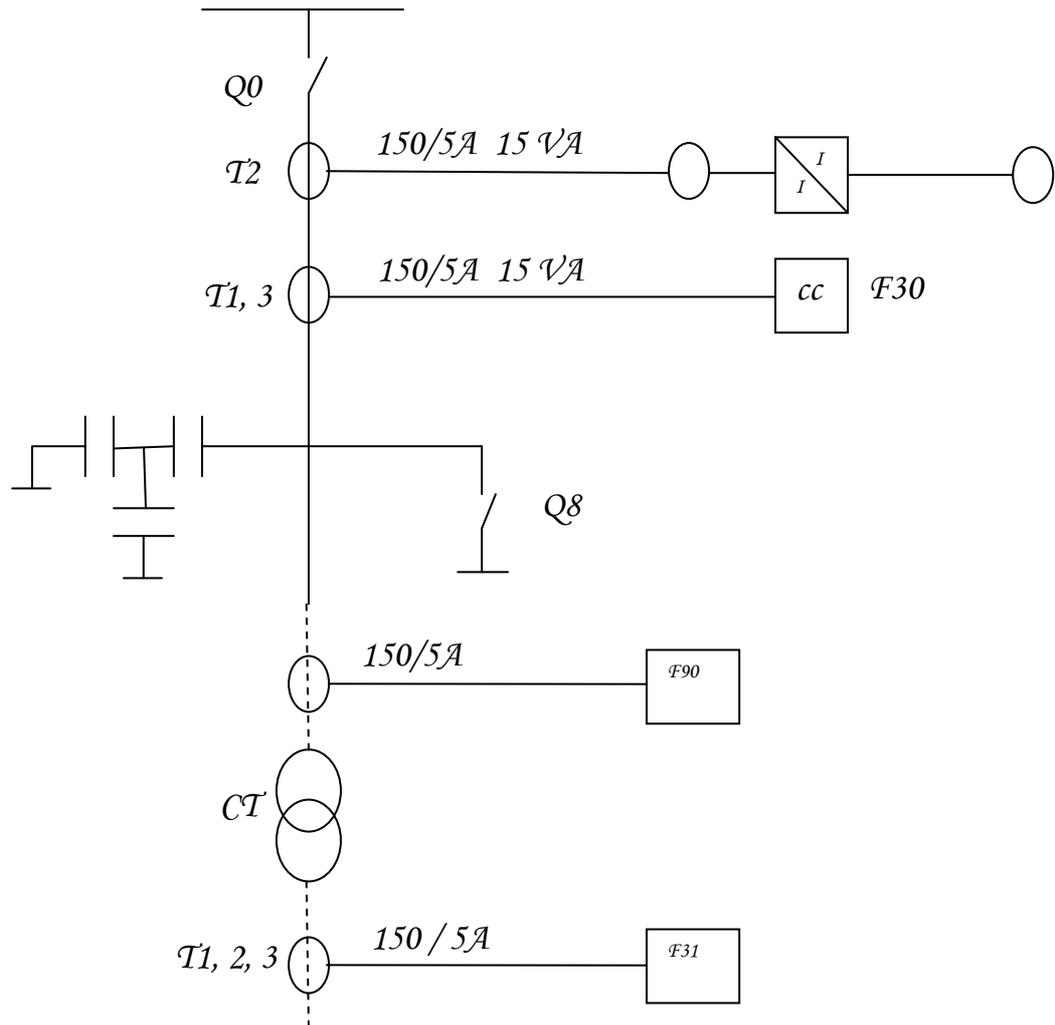


Fig II-8

- Max intensité réglé à $2 \times I_n$ temporisé à 1,5 s déclenche transformateur et donne une alarme en salle de commande sous le nom de BA....XM66.
- Court-circuit réglé à $11 \times I_n$ en instantané déclenche le transformateur et donne une alarme BA....XM67 .

II-5-1-5- Les auxiliaires de tranche 400V

- Schéma de principe

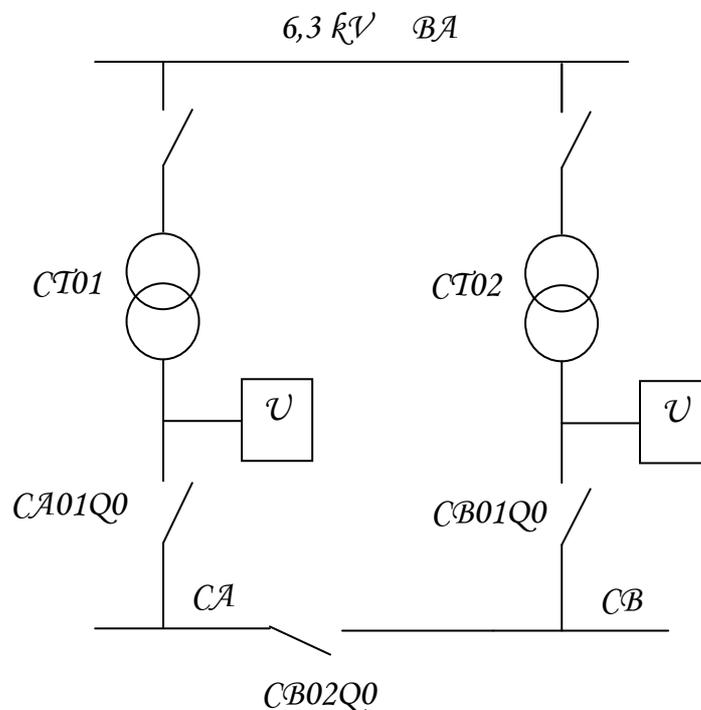


Fig II-9

a) Caractéristiques

- Disjoncteurs CA01Q0, CB01Q0, CB02Q0 :
- Disjoncteurs tripolaires en version débrochable $I_n = 2500$ A.
 - Commande à servomoteur 220 Vcc, avec déclencheur à maximum de courant thermique retardé 1400-2500 A, électromagnétique non retardé 3000-12000 A.
- Deux blocs de contacts auxiliaires.
- Déclencheur à émission de courant.

b) Commutation et fonctionnement

En fonctionnement normal chaque transformateur alimente un demi-jeu de barres.

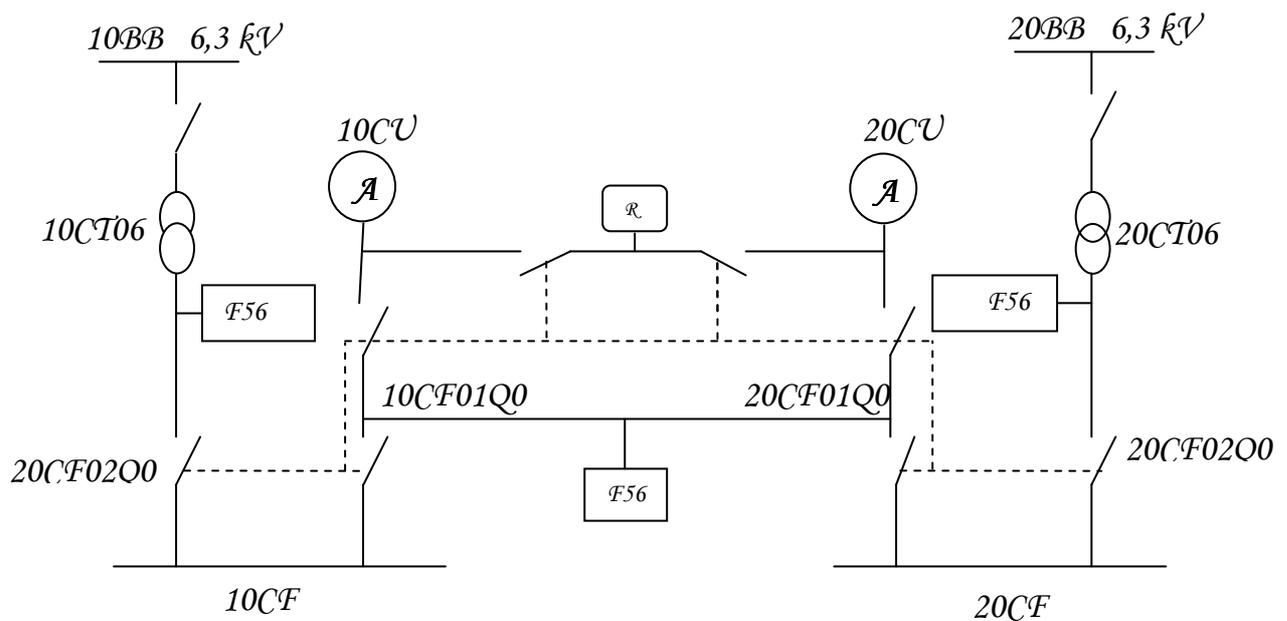
Les disjoncteurs CA01Q0 et CB01Q0 étant fermés, le disjoncteur de couplage CB02Q0 est ouvert.

En cas de baisse de tension à 70 % de U_n mesurée à la sortie des transformateurs CT01 et CT02 : (1,5 sec).

- Ouverture du disjoncteur d'alimentation de demi-jeu de barres où la baisse de tension à été détectée.
- Ouverture de tous les départs alimentés par ce demi-jeu de barres.
- Fermeture de disjoncteur de couplage.
- Fermeture par groupe de tous les départs déjà déclenchés lors de la baisse de tension.

II-5-1-6- Les auxiliaires de tranche secourus 400V

- **Schéma de principe**



F56 : Relais de minimum de tension

Fig II-10

a) Caractéristiques ,

$P_n = 1250VA$

$U_n = 6,3 kV + 2 \times 2,5 \% / 400 V$

10CF02Q0, 20CF02Q0 : disjoncteur tripolaire en version débrochable,

$I_n = 1900A$

- Commande à servomoteur 220 Vcc.
- Déclencheurs à maximum de courant :
- Thermique retardé 900 à 1600 A.
- Electromagnétique non retardé 3000 à 12000 A.

10CF01Q0, 20CF01Q0 : disjoncteur tripolaire en version débrochable,
In = 2500

- Commande par servomoteur 220 Vcc.
- Déclenchement à maximum de courant :
- Thermique retardé 144 à 2500 A.
- Electromagnétique non retardé 3000 à 12000A.

II-5-1-7- Commande à distance

En exploitation normale, le jeu de barres 10CF (auxiliaire de tranche secours) est alimenté par le transformateur CT06.

En cas de baisse de tension (70 % Un) mesurée par le relais de détection F56 :

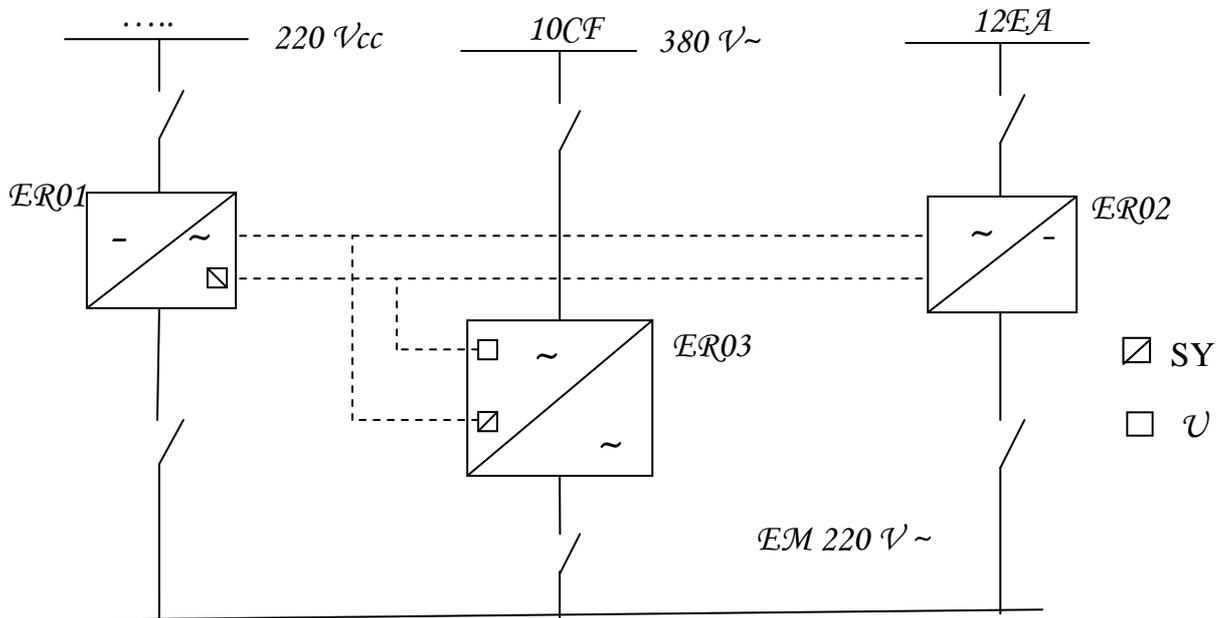
- démarrage du groupe diesel (9 sec).
- Ouverture du disjoncteur d'alimentation par le transformateur CF02Q0.
 - Fermeture du disjoncteur d'alimentation par diesel CF01Q0 si F56 détecte une tension de 400 V, 52 Hz (sortie Diesel).

Le retour au fonctionnement normal est établi automatiquement après le retour de tension détectée par le relais F56.

Le démarrage du groupe diesel est effectué à l'aide d'air comprimé stockée dans un ballon à 28 bars, situé dans la même salle.

II-5-1-8- Auxiliaire secours 220V ~

- Schéma de principe



ER01 Onduleur n°1

ER02 Onduleur n°2

ER03 Commutateur statique

EA 220Vcc alimenté par diesel

CF 380 Un Secours par diesel

SY Synchronisation (surveillance de fréquence)

U Surveillance de tension

Fig II-11

a) Caractéristiques principales

- Onduleur :

$U_n = 220 V_{cc} / 220 V_{\sim}$

$I_n = 91A / 100 A$

$P_n = 20 kVA$

- Commutateur statique :

$U_n = 220V$

$I_n = 100 A$

$P_n = 22 kVA$

Fonctionnement

En marche normale, les deux onduleurs débitent sur le jeu de barres EM 50% de charge chacun, le commutateur statique étant bloqué, surveille la tension et la fréquence du réseau et à la sortie de l'onduleur et répartit la charge aux deux onduleurs grâce à une self de répartition.

En cas de défaillance sur un onduleur le deuxième prend en charge la totalité des consommateurs (une self de répartition étant shuntée par le commutateur statique).

Si le deuxième tombe en panne le commutateur statique alimente directement les consommateurs du réseau (CF) sans coupure.

II-5-1-9- Courant continu 220 V

• Schéma de principe

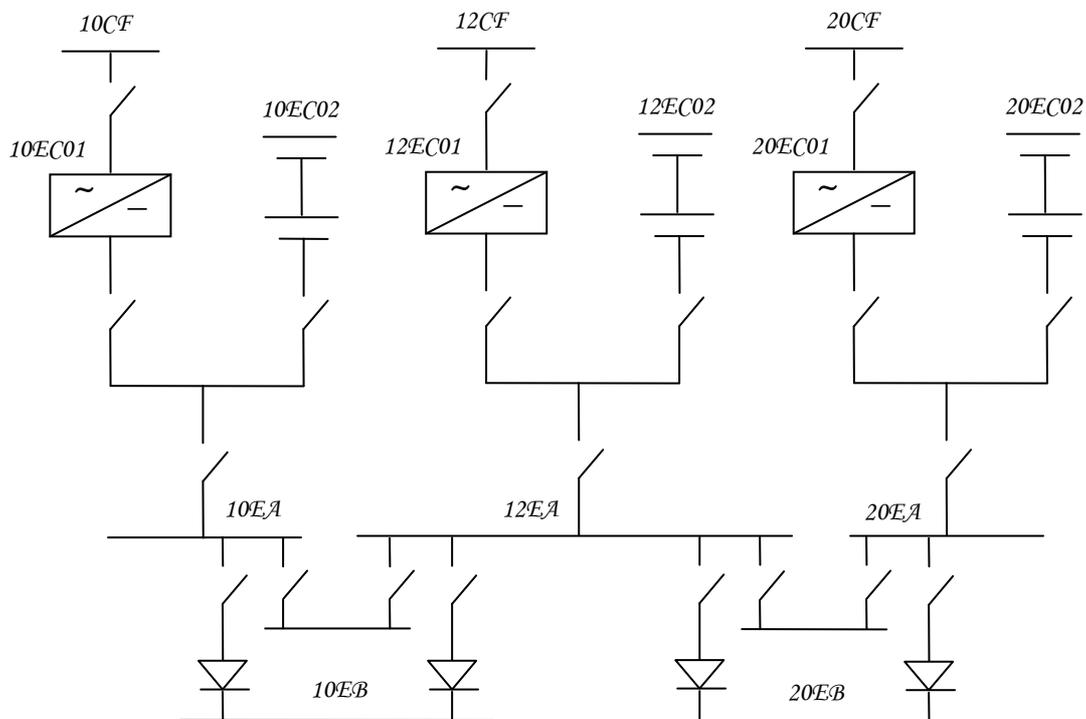


Fig II-12

Caractéristiques principales

- Redresseur EC :

Type D216 / 315

$U_n = 3 \times 380 \text{ V} + 10 \%$

$P_n = 108 \text{ kVA}$

$F = 50 \text{ Hz}$

$I_n = 163 \text{ A}$

$I_{ncc} = 315 + 2\%$

$U_{ncc} = 241 \text{ V}$

Batterie : 108 Eléments

$Q = 1080 \text{ Ah}$

$U_{\text{élément}} = 2,23 \text{ V}$

a) Fonctionnement

Chaque groupe dispose d'une batterie et d'un redresseur connectés sur un jeu de barres appelé EA.

En marche normale, le redresseur débite sur le jeu de barres pour alimenter les consommateurs.

La batterie est branchée en floating, elle reçoit une charge d'entretien.

En cas de panne soit :

- Par manque de tension sur CF
- par défaillance du redresseur

La batterie prend la charge des consommateurs pendant 10 heures à raison de 108 A : courant suffisant pour arrêter le groupe dans de bonnes conditions.

Un jeu de barres EB alimenté par deux sources différentes avec système de diodes assure le fonctionnement sans discontinuité de certains éléments d'arrêt telle que la pompe de graissage turbine.

II-5-1-10- Courant continu 24 V

- Schéma de principe

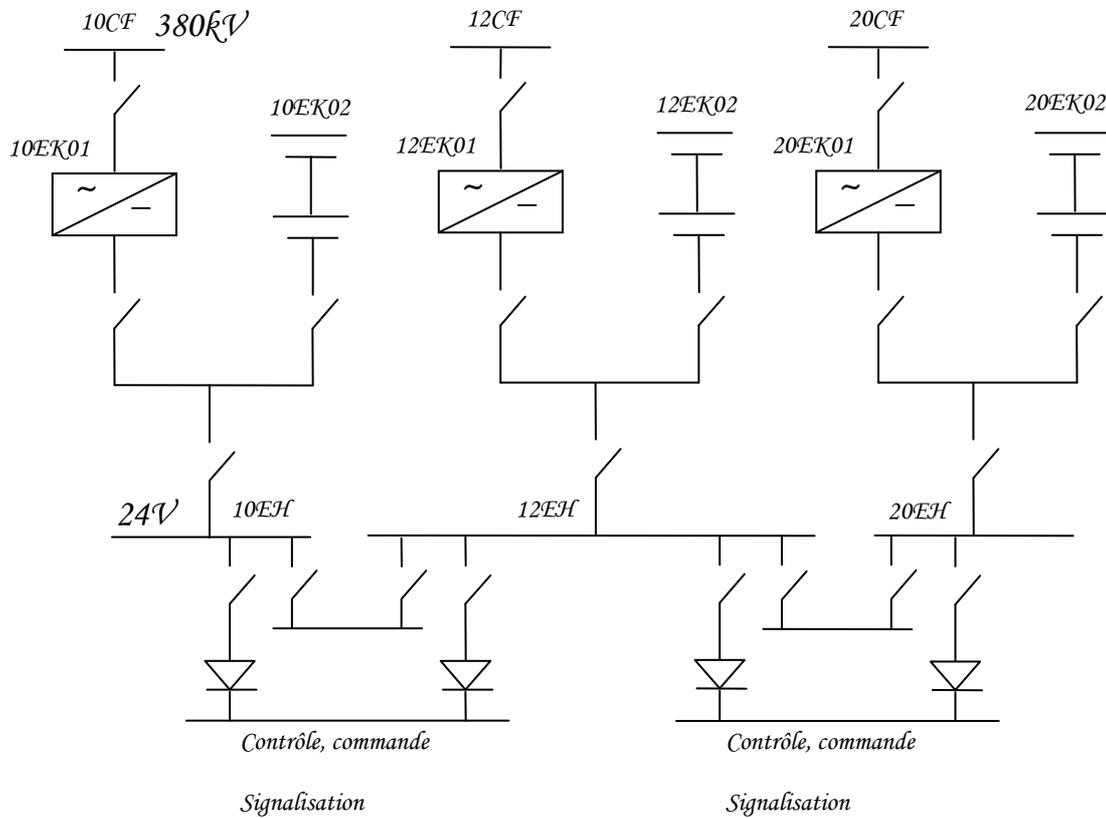


Fig II-13

a) Caractéristiques principales

Redresseur EK : + 24 V

$U_n = 3 \times 380 \text{ V} + 10 \%$

$F = 50 \text{ Hz}$

$P_n = 15,8 \text{ kVA}$

$I_n \text{ AC} = 24 \text{ A}$

$I_n \text{ DC} = 315 \text{ A} + 2 \%$

Redresseur ER : - 24 V

$U_n \text{ DC} = 26,8 \text{ V}$

$U_n = 3 \times 380 \text{ V} + 10 \%$

$F = 50 \text{ Hz}$

$$P_n = 5,9 \text{ kVA}$$

$$I_n \text{ AC} = 9 \text{ A}$$

$$I_n \text{ DC} = 100 \text{ A} + 2 \%$$

$$U_n \text{ DC} = 26,8 \text{ V}$$

Batterie EK02: - 24 V, 24 éléments

$$Q = 250 \text{ Ah}$$

$$U_{\text{élément}} = 2,23 \text{ V}$$

Batterie EK02: + 24 V, 24 éléments

$$Q = 900 \text{ Ah}$$

$$U_{\text{élément}} = 2,23 \text{ V}$$

b) Fonctionnement

Le fonctionnement est similaire à celui du courant continu 220 V.

c) Alarmes et protection

Redresseur + 24 V

- Surveillance sous-tension triphasée
 - Relais K21 : $U = 323 \text{ V}$ (– 15 % de U_n désexcité)
 - Relais K21 : $U = 342 \text{ V}$ (– 10 % de U_n excité)
- Surveillance des sous-tensions dépendant du courant
 - Sous tension $U = 25,2 \text{ V} = 2,1 \text{ V}$
 - Courant $I = 252 \text{ A} = \text{à } 80 \% I_n$
- Surveillance de tension continue
 - Déclenchement $U = 33 \text{ V}$
 - Déclenchement temporisé $U = 30,5 \text{ V}$
 - $t = 400 \text{ ms}$
 - Disjoncteur Q10
 - Déclenchement du thermique réglé à 0,2 A
 - Redresseur - 24 V

Les protections sont les mêmes ainsi que leurs réglages.

II-5-1-11- Les auxiliaires communs

Les auxiliaires communs se composent de deux parties :

- Les auxiliaires communs aux deux groupes
- Les auxiliaires communs aux quatre groupes

a) Les auxiliaires communs aux deux groupes 12BB 6, 3 kV

Ce jeu de barres est alimenté : soit par le groupe 1 avec disjoncteur 10BB23 fermé, soit par le groupe 2 à partir du 20BB avec disjoncteur 20BB23 fermé.

b) Les auxiliaires communs aux quatre groupes (400V) désignation 00

Ils sont alimentés à partir du 12BB ou du 34BB par l'intermédiaire du transformateur (1250 kVA), identique aux autres transformateurs MT (6,3 kV/ 400 V)

Leurs commutations et leurs protections sont aussi les mêmes. Ils alimentent les auxiliaires communs à toute la centrale par exemple la station de pompage, l'éclairage normal, les auxiliaires généraux, la déminéralisation et le dessalement d'eau de mer.

II-5-2- Alimentation par la ligne 63 kV

- **Schéma de Principe**

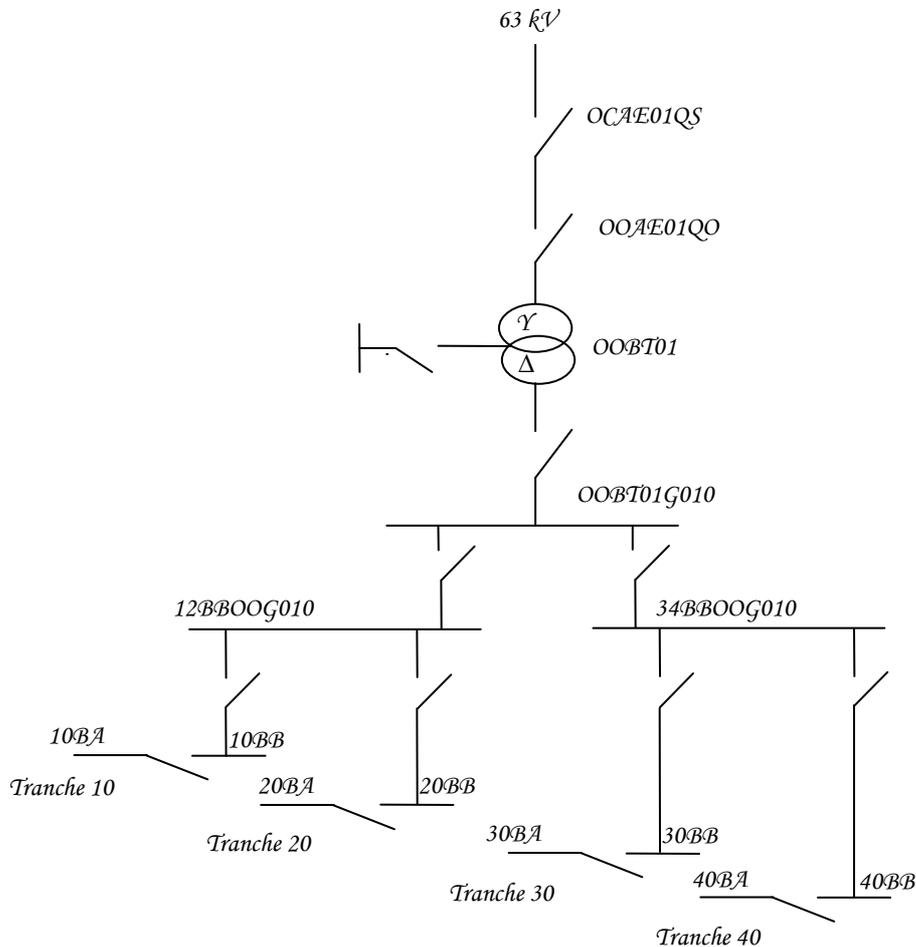


Fig II-14

a) Fonctionnement

A partir du réseau 63 kV, on peut alimenter (démarrer) les quatre groupes, en cas de non disponibilité du groupe et de la ligne 220 kV. Pour cela il suffit de fermer les disjoncteurs concernés et de faire attention aux verrouillages avec les autres disjoncteurs 6, 3 kV et les mises à la terre au niveau du jeu de barres OOBT01G010

II-5-2-1- Transformateur de réseau

Ses caractéristiques, sa construction, ses protections sont identiques au transformateur de soutirage.

CHAPITRE III

*Calcul et dimensionnement de
l'alimentation des pompes d'huile*

Introduction

L'absence de la tension générale entraîne comme conséquence l'arrêt et blocage de l'arbre de la turbine ce qui est très dangereux pour un groupe turbo-alternateur important, cela est dû au non câblage des pompes auxiliaire d'huile turbine sur le jeu de barres secouru (CF).

Alors on voudrait concevoir une alimentation indépendante des pompes à partir des groupes électrogènes existant au niveau de la centrale.

Pour solutionner ce problème, on doit dimensionner les câbles qui assurent l'alimentation des pompes à partir de jeu de barres secouru (CF).

III-1- Estimation du bilan de puissance de jeu de barre secouru (CF) [1]

III-1-1- Puissance installé

C'est la somme des puissances nominales de tous les récepteurs y compris la puissance de l'éclairage.

La puissance installée est toujours supérieure à la puissance réellement consommée par les récepteurs, et cela pour les raisons suivantes :

- es récepteurs ne fonctionnent pas tout le temps à plein charge (existence du coefficient d'utilisation K_u).
- Les récepteurs ne fonctionnent pas tout le temps simultanément (existence d'un coefficient de simultanéité K_s).

III-1-2- Puissance consommée

Elle représente la puissance réellement consommée par les différents récepteurs, elle dépend du fonctionnement de chaque récepteur pris individuellement et de tous les récepteurs pris ensemble, d'où la notion du coefficient d'utilisation et du coefficient de simultanéité.

III-1-3- Coefficient d'utilisation K_u

Le coefficient d'utilisation est le rapport de la puissance effectivement absorbée par l'appareil et de sa puissance nominale. Il tient compte du fait que certains récepteurs ne fonctionnent pas à leur régime nominal. Sa valeur est donnée selon le type d'utilisation.

Dans notre calcul, on prend :

$$K_u = 0,9$$

III-1-4- Coefficient de simultanéité K_s

Le coefficient de simultanéité est le rapport de la somme des puissances des récepteurs susceptible de fonctionner en même temps et de la somme des puissances de tous les récepteurs alimentés par la même source. Il tient compte du fait que tous les appareils ne fonctionnent pas en même temps.

Dans notre calcul, on prend :

$$K_s = 0,6$$

III-2- Calcul de la puissance absorbée

Consommateurs	puissance nominale kW
Redresseur 220 V CC	
Redresseur + 24 V CC	
Redresseur - 24 V CC	
Commutation statique	22
Soup -arrêt trop- plein de ballon	1,5
Soup -arrêt purge de ballon	0,3
Armoire de commande diesel	
Armoire distre -p- régulation	
Armoire distre -p- régulation	
Ventilateur d'air d'allumage	5,5
Ventilateur d'air d'allumage	5,5
Van arrêt démarrage	1,6
Van arrêt devant réchauf HP 6 rapide	5,5
Pompe huile de soulèvement 2	22
Moteur pour pompe à fuel	3
Moteur pour pompe à fuel	3
Moteur pour pompe à fuel	3
Vanne section devant réchauf HP 5	10
Soupape de dérivation réchauf HP 5,6	10

Vanne section après réchauf HP 6	10
Vanne d'arrêt devant condensateur	0,3
Pompe circul Noria 13	73
Pompe huile secours 2	7,2
Vanne remplissage bête circuit Noria	0,21
Vanne remplissage bête tampon	0,21
Vanne remplissage bête alimentaire	0,21
Clapet de secours	0,25
Alimentation armoire comptage	
Armoire régulation de tension	
Tension auxiliaire pour redresseur en CC	
Mesure de conductivité	0,18
Mesure de conductivité	0,18
Armoire compresseur	
Mesure de conductivité	0,18
Mesure de conductivité	0,18
Vanne arrêt by pass d'air régulation	0,06
Ventilateur de transport	0,4
Ventilateur d'air sortant	15
Ventilateur 1	37
Registre de chauffage central	37
Pompe de circulation 1	3
Ventilateur 2	37
Registre de chauffage s.d.c	18
Alimentation 1 mach.frigo 1	79,3
Alimentation 2 mach.frigo 1	79,3
Alimentation 1 mach.frigo 3	79,3
Armoire de surveillance H2	

Tableau III-1 : Les différents consommateurs du jeu de barres secours

Puissance active d'un groupe diesel

$$P_{inst} = 800 \text{ Kw}$$

Puissance consommée par une tranche (CF)

$$P_{inst} = \sum P_{n \text{ consommateurs}}$$

$$P_{inst} = 570,36 \text{ Kw}$$

$$P_{abs} = P_{inst} \times K_u \times K_s \quad [1]$$

$$P_{abs} = 570,36 \times 0,9 \times 0,6 = 307,99 \text{ Kw}$$

Puissance consommée par deux tranches

$$P_{abs} = 307,99 \times 2 = 615,98 \text{ kW}$$

$$P_{abs} < P_{inst}$$

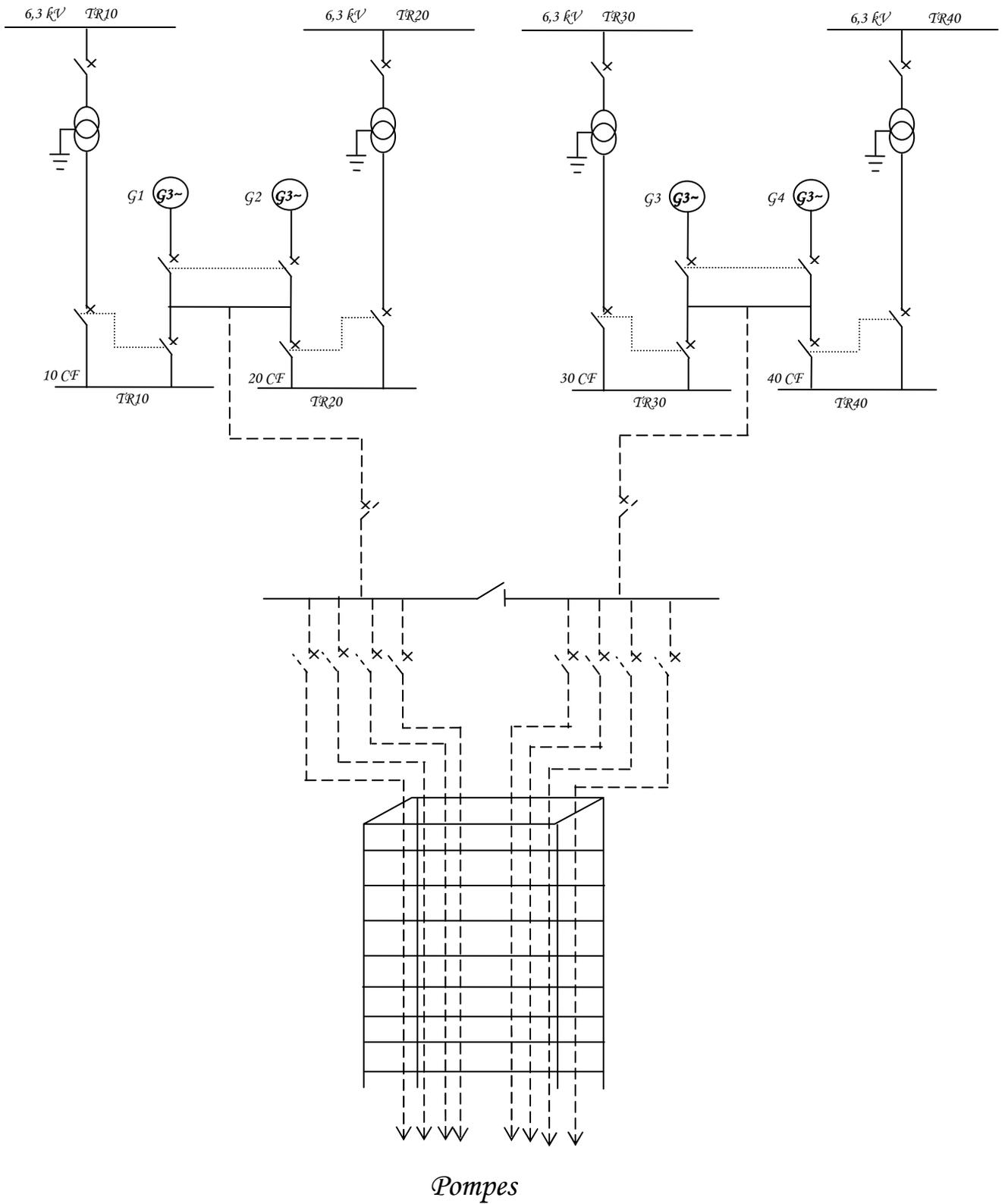
Le groupe diésel peut alimenter deux pompes d'huile turbine sachant que la puissance d'une pompe est de 90kW.

III-3- Choix du mode de pose [3]

La condition de pose précise la solution générale retenue pour améliorer la protection mécanique, physique ou chimique des conducteurs et des câbles tout en assurant leur fixation.

Le mode de pose qu'on à choisit est : Sur chemin de câbles « huit câbles disposés jointivement sur deux couches ».

III-4- Schéma retenu pour l'alimentation des pompes



III-5- Calcul des sections des câbles

III-5-1- Détermination de la section S_j à partir des surcharges

La surcharge des conducteurs doit être limitée à une valeur telle que la température atteinte en régime permanent ne détériore pas les isolations.

Pour déterminer la section S_j , il faut calculer :

a) Courant nominal absorbé par les récepteurs

Le courant nominal absorbé par un récepteur entre dans la détermination du courant d'emploi I_b . Le courant nominal est au plus égal au courant d'emploi.

$$P = 90 \text{ kW} \Rightarrow I_n = 190 \text{ A (Tableau III-2)}$$

Puissance en kW	I_n sous 230V monophasé (A)	I_n sous 230V triphasé (A)	I_n sous 400V triphasé (A)
0,75	5,2	3	1,75
1,1	7,8	4,5	2,6
1,5	10,5	6	3,5
1,8	13,1	7,5	4,4
2,2	15,7	9,1	5,2
3	21	12,1	7
3,7	26	15,1	8,7
4	29	16,6	9,6
4,5	—	18,1	10,5
6	—	24	14
7,5	—	30	17,5
9	—	36	21
10	—	40	23
11	—	45	26
13	—	53	30
15	—	60	35
17	—	65	38
18,5	—	71	41
20	—	77	44
22	—	85	49
25	—	99	58
30	—	114	66
33	—	127	73
37	—	142	82
40	—	154	89
45	—	170	99
50	—	199	115
55	—	212	123
63	—	229	133
75	—	273	158
80	—	291	169
90	—	328	190
100	—	364	211
110	—	401	232
132	—	481	279
150	—	547	317
160	—	583	338
185	—	675	391
200	—	729	422
220	—	802	465

Tableau III-2 : La valeur de I_n suivant la puissance active absorbé [1]

b) Courant admissible

Qui est une correction du courant maximum d'emploi I_b , il est donné par la formule suivante ;

$$I_z = \frac{I_b}{K_t K_p K_n} \quad [1]$$

I_z : Intensité du courant admissible.

I_b : Intensité du courant d'emploi non corrigée.

K_t : Coefficient de correction suivant la température de l'aire ambiant (Tableau III-3)

K_p : Coefficient de correction suivant le mode de pose (Tableau III-4).

K_n : Coefficient de correction suivant le groupement des circuits ou des câbles (Tableau III-5)

Coefficients correcteurs k pour câbles posés à l'air libre			
Températures ambiantes θ_a en °C	Elastomère (Caoutchouc) ($\theta_p = 85$ °C)	PVC ($\theta_p = 70$ °C)	PR, EPR ($\theta_p = 90$ °C)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1	1	1
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	—	0,61	0,76
60	—	0,50	0,71
65	—	—	0,65
70	—	—	0,58
75	—	—	0,50
80	—	—	0,41

Tableau III-3 : Correction (k_t) suivant la température de l'air ambiant [1]

Mode de pose	Méthode de référence	Facteur de correction	Description
1	B	0,77	Conducteurs isolés dans les conduits encastrés dans les parois thermiquement isolantes. Câble multiconducteurs dans les conduits encastrés dans les parois thermiquement isolantes. Conducteurs isolés ou câbles dans les conduits apparents. Conducteurs isolés ou câbles dans les conduits encastrés.
2	B	0,70	
3-4	B	1/0,9 ⁽ⁱ⁾	
5	B	1/0,9 ⁽ⁱ⁾	
11	C	1	Câbles fixés au mur. Câbles fixés au plafond. Câbles posés sur tablettes non perforées. Câbles posés sur chemins de câbles , corbeaux, colliers ou échelles à câbles. Câbles suspendus. Câbles nus ou isolés posés sur isolateurs.
11A	C	0,95	
12	C	1	
13-14	E, F	1	
15-16	E, F	1	
17	E, F	1	
18	C	1,21	
21	B	0,95 ^(a)	
22	B	0,95 ^(b) 0,91 ^(c) 0,865 ⁽ⁱ⁾	Câbles posés dans le vide des constructions. Conducteurs isolés ou câbles dans les conduits dans le vide de construction. Conducteurs isolés ou câbles dans les conduits profilés de construction. Conducteurs isolés ou câbles dans les conduits profilés noyés. Câbles dans les faux plafonds ou plafonds suspendus.
23	B	0,95 ^(d) 0,91 ^(e) 0,865 ⁽ⁱ⁾	
24	B	0,95 ^(f) 0,91 ^(g) 0,865 ⁽ⁱ⁾	
25	B	0,95 ^(h)	

31-32	B	1 0,9 ⁽ⁱ⁾	Conducteurs isolés ou câbles posés dans les goulottes.
33	B	1 0,9 ⁽ⁱ⁾	Conducteurs isolés ou câbles posés en goulottes dans les planchers.
34	B	1 0,9 ⁽ⁱ⁾	Conducteurs isolés ou câbles en goulottes suspendues.
41	B	0,95 ⁽ⁱ⁾	Conducteurs isolés ou câbles dans des caniveaux fermés.
42-43	B	1	Conducteurs isolés ou câbles en caniveaux isolés.
51	B	0,77	Câbles encastrés dans des parois thermiques.
52	C	1	Câbles encastrés dans les parois sans protection.
53	C	1	Câbles encastrés dans les parois avec protection.
61	D	0,80	Câbles dans des conduits enterrés.
62-63	D	1	Câbles enterrés.
71	B	1	Conducteurs isolés en moulure.
72	B	1 0,9 ⁽ⁱ⁾	Conducteurs isolés ou câbles dans des plinthes rainurées.
73-74	B	1 0,9 ⁽ⁱ⁾	Conducteurs isolés ou câbles dans des chambranles.
81	à l'étude		Câbles immergés dans l'eau
<p>Légende : — Si le rapport entre la plus petite dimension du vide et le diamètre extérieur du câble est inférieur à :</p> <p>(a) 5 ; (b) 20 pour les conducteurs isolés ; (c) 20 pour les câbles</p> <p>(d) 20 pour les conducteurs isolés ; (e) 20 pour les câbles ; (f) 5 pour les conducteurs isolés ; (g) 5 pour les câbles ; (h) 5 ; (j) 20.</p> <p>— (i) pour les câbles.</p> <p>— B : Conducteurs isolés ou câbles</p> <p>— C, D : Câbles unipolaires ou multipolaires</p> <p>— E : Câbles multipolaires</p> <p>— F : Câbles unipolaires</p>			

Tableau III-4 : Facteur de correction (k_p) suivant le mode de pose [1]

Disposition des câbles jointifs	Facteur de correction												Méthode de référence
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Encastrés ou noyés dans les parois	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38	B, C, D
Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				C
Simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				C
Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72					E, F
Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux	1	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78					E, F

Tableau III-5 : Facteur de correction (k_n) suivant le groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs [1]

$$K_t = 0,93$$

$$K_p = 1$$

$$K_n = 0,77$$

$$I_Z = 265 \Rightarrow I_{Z(NOR)} = 276 \text{ A} \Rightarrow S_j = 120 \text{ mm}^2 \text{ (Tableau III-6)}$$

Méthode de référence	Type d'isolation/ Nombre de conducteurs chargés								
	PVC/3	PVC/2 PVC/3		PR/3 PVC/2	PR/3 PVC/2	PR/2 PR/3 PVC/2	PR/2 PR/2	PR/2	PR/2
Section des conducteurs(mm ²)	Intensités admissibles (A) :								
Ame en Cu									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	108		1254

Ame en Al									
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
4	22	25	26	28	31	33	35	49	
6	28	32	33	36	39	43	45	67	
10	39	44	46	49	54	59	62	91	
16	53	59	61	66	73	79	84	108	121
25	70	73	78	83	90	98	101	135	150
35	86	90	96	103	112	122	126	164	184
50	104	110	117	125	136	149	154	211	237
70	133	140	150	160	174	192	198	257	289
95	161	170	183	195	211	235	241	300	337
120	186	197	212	226	245	273	280	346	389
150		227	245	261	283	316	324	397	447
185		259	280	298	323	363	371	470	530
240		305	330	352	382	430	439	543	613
300		351	381	406	440	497	508		740
400					526	600	663		856
500					610	694	770		996
630					711	808	899		

Tableau III-6 : Les sections des âmes conductrices S_j pour un échauffement maximum permanent du câble [1]

III-5-2- Détermination de la section S_{cc} des conducteurs à partir du courant du court-circuit

La section S_{cc} dépend :

- De la température maximale admise en régime permanent et en fin de court-circuit, suivant la nature de l'isolant (Tableau III-7)
- De l'intensité transportée par rapport à l'intensité admissible (Abaque III-1)
- De la densité de courant admissible et de la durée du court-circuit

(Abaque III-2)

La section S_{cc} est donnée par la formule :

$$S_{cc} = \frac{I_{cc}}{\delta_{cc}} \sqrt{t_{cc}} \quad [1]$$

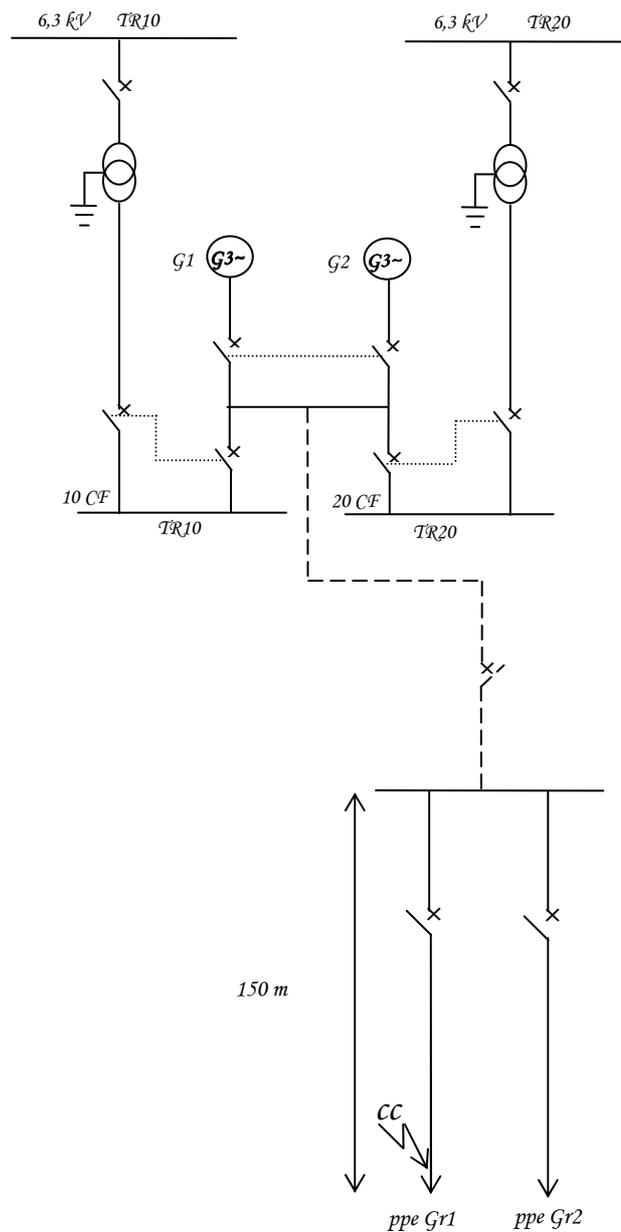
I_{cc} : Courant de court-circuit présumé en A.

δ_{cc} : Densité de courant admissible pendant le court-circuit en A / mm².

t_{cc} : Durée du court-circuit en (elle est fonction de l'appareil de protection contre les courts-circuits)

Cette relation est applicable seulement pour des temps de coupure inférieurs à 5s.

a) Schéma du point de court-circuit



b) Courant de court circuit

On calcul le courant de court-circuit par la méthode des impédances.

Le courant I_{cc} est donné par la formule :

$$I_{cc} = \frac{U_0}{\sqrt{3} Z} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}} \quad [1]$$

I_{cc} : Courant de court-circuit en kA.

U_0 : Tension simple à vide en V.

R : Résistance totale de la boucle en défaut en $10^{-3} \Omega$ (m Ω).

X : Réactance totale de la boucle en défaut en $10^{-3} \Omega$ (m Ω).

Températures maximales (°C)	Nature de l'isolant des câbles et conducteurs		
	Polychlorure de vinyle (PVC)	Caoutchouc butyle	Polyéthène réticulé (PR) Ethylène propylène (EPR)
En régime permanent : θ_p	70	85	90
En fin de court-circuit : θ_{cc}	160	220	250

Tableau III-7 : Températures maximales admises [1]

c) Résistances et réactance des différents organes constituant le circuit électrique

c-1- Disjoncteur

La résistance est négligeable, la réactance est prise égale à 0,15 mΩ, l'impédance d'un disjoncteur ne doit être prise en compte que pour les appareils en amont de celui qui doit ouvrir sur le court-circuit envisagé.

c-2- Jeu de barre

La résistance d'un jeu de barres est négligeable sauf pour les faibles sections. La réactance est prise égale à 0,15 mΩ.

La résistance est calculée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{\rho \times L}{S}$$

ρ : Résistivité en mΩ.mm²/m.

L : Longueur en m de la canalisation.

S : Section des conducteurs en mm².

La résistivité des conducteurs est prise à température normale de fonctionnement :

ρ Cuivre = 22,5 mΩ mm²/m

ρ Aluminium = 36 mΩ mm²/m

c-3- Câble

La réactance des câbles est en général donnée par les fabricants, elle est négligeable pour les sections inférieures à 25 mm².

-Câble tripolaire : $x_c = 0,08$ mΩ /m

-Câble unipolaire : $x_c = 0,1$ à $0,2$ mΩ /m

-Ligne aériennes : $x_c = 0,3$ mΩ /m

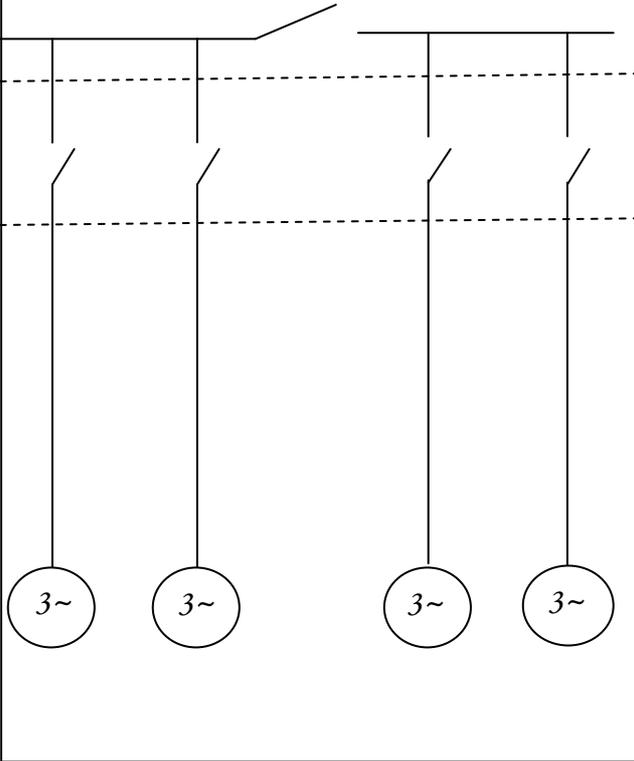
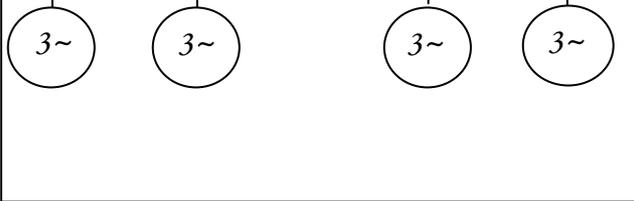
Avec :

$$X_c = x_c \times L$$

x_c : Réactance linéaire.

L : Longueur de conducteur en m.

c-4- Calcul de l'impédance du circuit

Eléments de réseau	Résistances mΩ	Réactances mΩ
	$R_j = 0$	$x_j = 0,15$ <i>Deux demi-jeux</i> $X_j = x_j \times 2$
	$R_d = 0$	$x_d = 0,15$
	$R_c = \frac{\rho \times L}{s}$ $R_c = \frac{22 \times 150}{120} = 27$	X_d $- r . \times I$ $X_c = 0,08 \times 150$
<p>Impédances</p> $Z = \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}$	$Z = \sqrt{(27)^2 + (0,15 + 12 + 0,3)^2}$ $Z = 30,76 \text{ m}\Omega$	

A partir de l'abaque III-1, on détermine la température en °C pour une intensité différente de l'intensité admissible en permanence.

$$\frac{I_n}{I_Z} = \frac{190}{265} = 0,71 \Rightarrow \theta = 51^\circ\text{C}$$

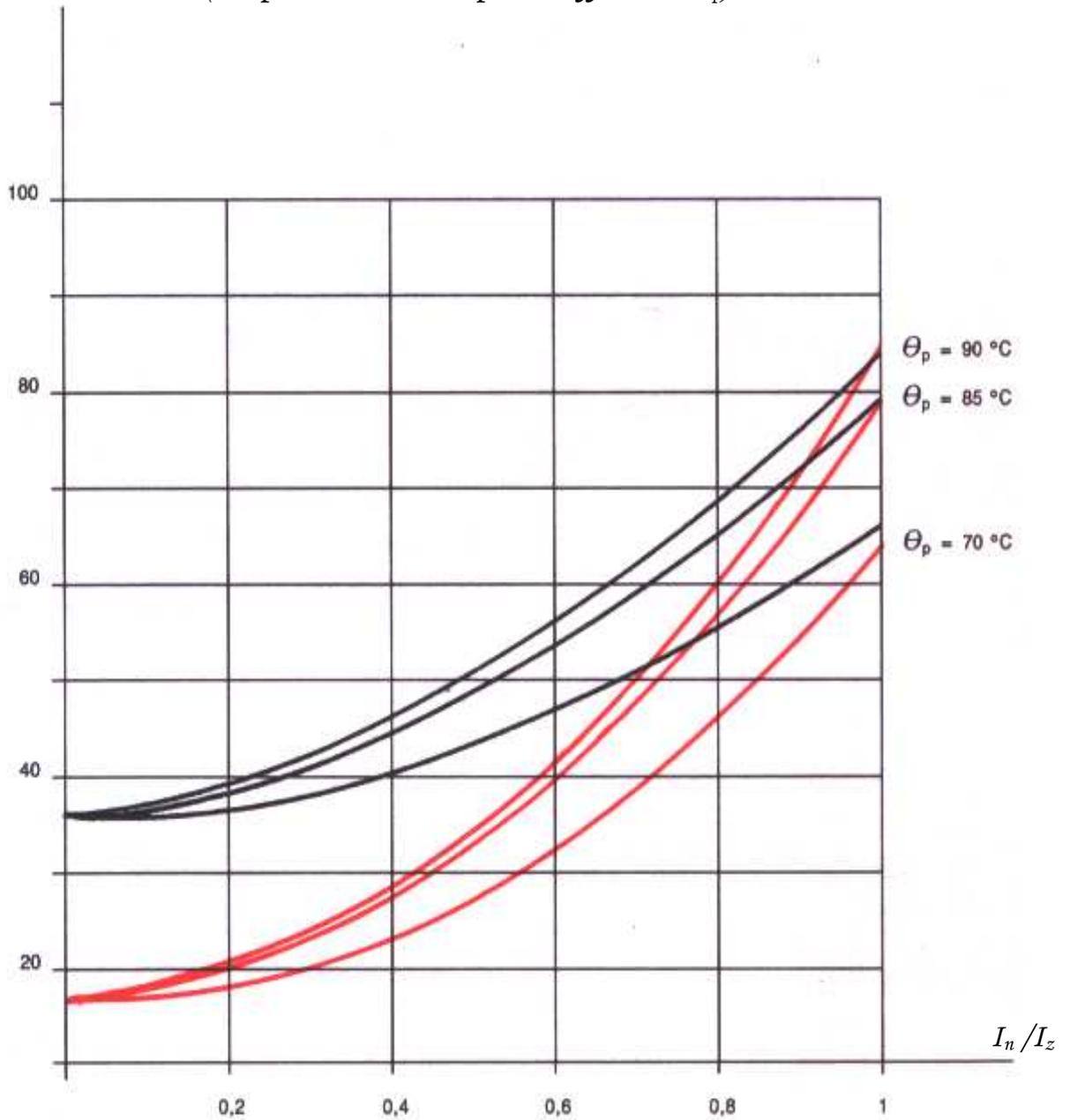
A partir de l'abaque III-2, on détermine la densité de court-circuit.

$$\delta_{cc} = 126 \text{ A} / \text{mm}^2$$

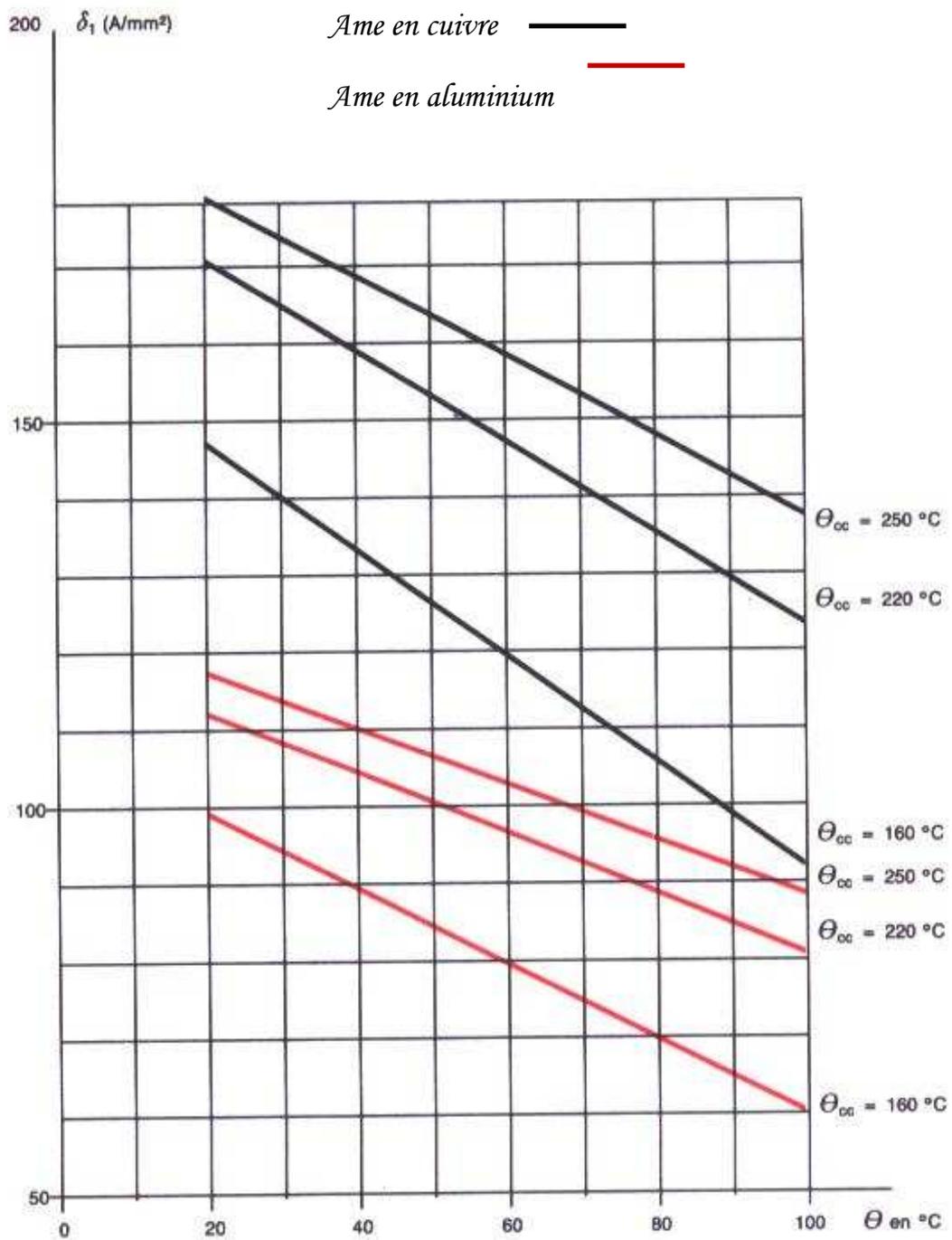
$$I_{cc} = \frac{380}{\sqrt{3} \times 30,76 \times 10^{-3}} = 7,13 \text{ kA} \Rightarrow S_{cc} = \frac{7,13 \times \sqrt{1}}{126} = 56,58 \text{ mm}^2$$

$$S_{cc} = 56,58 \text{ mm}^2 \Rightarrow S_{CC \text{ nor}} = 70 \text{ mm}^2$$

θ en °C (Température sur l'âme pour I différent de I_p)



Abaque III-1 : Détermination de Θ pour une intensité différente de l'intensité admissible en permanence [1]



Abaque III- 2 : Détermination de la densité de courant de court-circuit [1]

III-5-3- Vérification de la section d'après la chute de tension

$$u_{max} = U \frac{\Delta u}{100} \quad [1]$$

u : Chute de tension en V

Δu : Chute de tension en %

U : Tension entre phases en triphasé, entre phase et neutre en monophasé

$\Delta u \leq 5 \%$

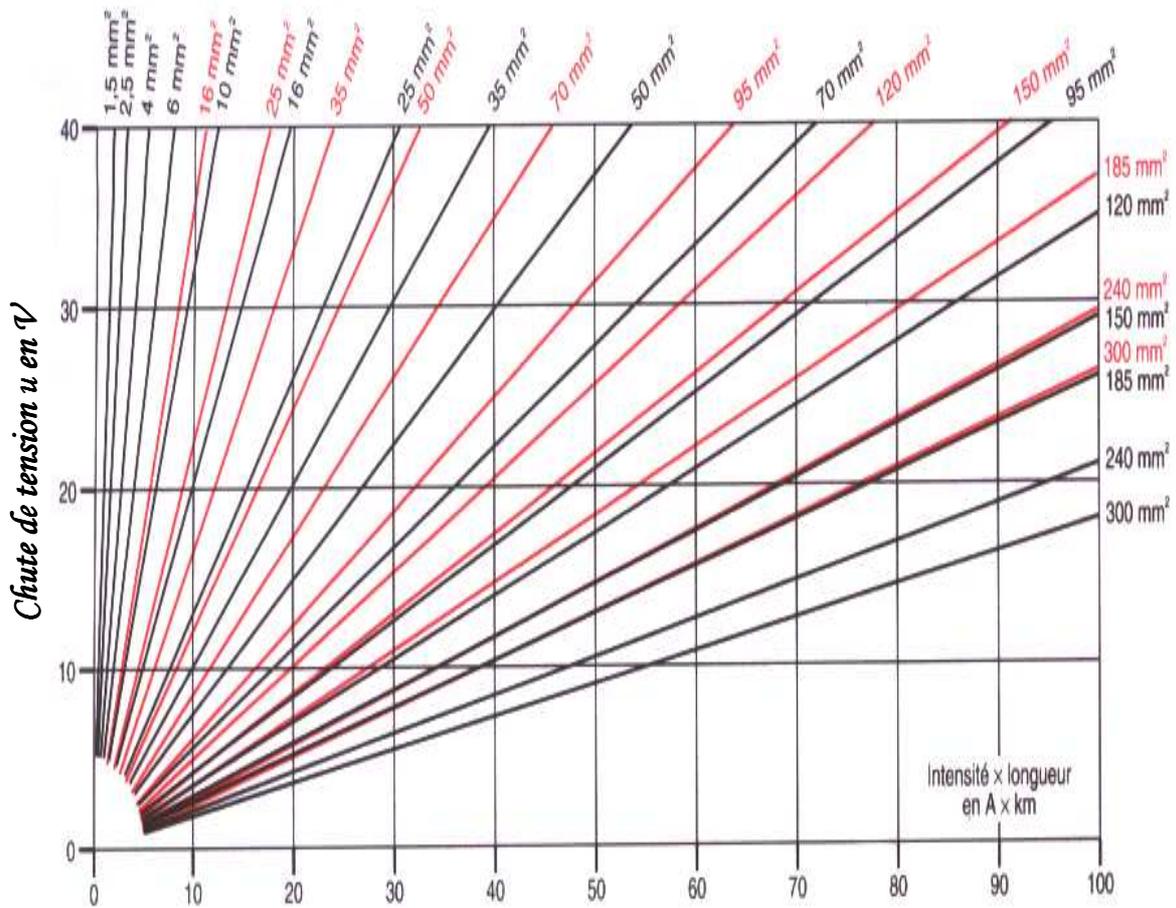
Intensité \times Longueur = $265 \times 0,15 = 39,8 \text{ A} \times \text{km}$

A partir de l'abaque III-3, on détermine la chute de tension u :

$u = 13 \text{ V}$

$$u_{max} = 380 \frac{5}{100} = 19 \text{ V}$$

$$u_{\text{réel}} = 13 \text{ V} < u_{\text{cal}} = 19 \text{ V}$$



Abaque III-3 : Chute de tension en triphasé $f = 50 \text{ Hz}$, $\cos \varphi = 0,8$ [1]

III-5-4- Expression de la section économique S_e des conducteurs

On peut calculer la section économique d'après la loi :

$$S_e = I_q \sqrt{\frac{n \rho h c A}{q 10^3}} \quad [1]$$

S_e : Section économique en mm²

I_q : Intensité à transporter en A

ρ : Résistivité du métal conducteur à la température de fonctionnement

h: Nombre d'heures par an de service de la liaison

c: Prix du kWh

A: Facteur d'amortissement

$$A = \frac{(1 + t)^N - 1}{t(1 + t)^N} \quad [1]$$

t: Taux d'intérêt

N : Nombre d'années d'amortissement

q: Constante prix-section du câble

n: Nombre de conducteurs actifs dans la liaison électrique

Il n'est pas nécessaire d'aborder ce facteur à la centrale de Cap-Djinet car ce qui est important est la satisfaction du côté technique, donc notre calcul ne tient pas compte du facteur économique, ce dernier nécessite beaucoup de détails.

Remarque

La section retenue pour les câbles d'alimentation des pompes d'huile est la plus grande parmi les sections calculées.

$$S_{retenu} = 120 \text{ mm}^2$$

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons calculé les sections des conducteurs en tenant compte des contraintes liées à l'échauffement, au courant de court-circuit. Les résultats trouvés sont vérifiés d'après le critère de la chute de tension.

CHAPITRE IV

Protection électrique des pompes d'huile

Introduction

Toute installation électrique prévue pour une tension et une intensité déterminée peut être le siège des perturbations accidentelles dues à des fausses manœuvres ou à des causes non prévisibles pouvant être dangereuse pour le personnel et le matériel, il est indispensable de prévoir des moyens de protection appropriés.

IV-1- Différentes perturbations touchant les réseaux électrique [13]

IV-1-1- Le court-circuit

Le court-circuit se traduit par une réduction de l'impédance entre les phases ou entre la phase et la terre à zéro ou à une petite valeur ce qui engendre ainsi, une augmentation importante de l'intensité du courant.

Ces courts-circuits sont causés par des agents de nature :

- Externe tels que les coups de foudres, l'orage, les animaux, la croissance des plantes.
- Interne : fausses manœuvre, défauts dans les machines.

a) Classification des courts-circuits

Les courts-circuits électriques peuvent être classés suivant leurs durées, leurs origines et leurs natures :

- **Suivant leurs durées**

- **Courts-circuits auto-extincteurs**

Ils sont caractérisés par leur disparition spontanée en des temps très courts (environ 50 ms) sans provoquer de déclenchement sur le réseau.

- **Courts-circuits fugitifs**

Ce sont des défauts qui nécessitent une brève coupure de réseau d'alimentation d'environ 0,3 secondes. Ils sont de l'ordre de 70 – 90 % des défauts.

- **Courts-circuits semi-permanents**

Afin de disparaître, ils nécessitent une ou plusieurs coupures assez longues du réseau d'alimentation (environ une dizaine de secondes), mais sans intervention du personnel d'exploitation. Ils sont de l'ordre de 5 – 15 % des défauts.

- **Courts-circuits permanents**

Ce sont des défauts qui provoquent une coupure définitive du réseau d'alimentation ; ce qui nécessitent l'intervention du personnel pour la remise en service. Ils sont de l'ordre de 5 – 15 % des défauts.

- **Suivant leurs origines**

- **D'origine externe**

Ils rassemblent toutes les causes indépendantes du réseau telles que : les coups de foudres, les orages, les animaux...etc.

- **D'origine interne**

Ils caractérisent les différentes avaries liées aux matériels du réseau telles que la dégradation de l'isolement liée à la chaleur, à l'humidité ou à une ambiance corrosive, ainsi que les fausses manœuvres dans le réseau...etc.

- **Suivant leurs natures**

D'après l'ordre de fréquence, on distingue quatre types de courts-circuits

- **Courts-circuits monophasés**

Les défauts monophasés sont les défauts les plus fréquents, ils résultent de la mise en contact d'un conducteur à la terre.

- **Courts-circuits biphasés**

C'est la mise en contact de deux conducteurs se trouvant à différents potentiels.

- **Courts-circuits biphasés-terre**

C'est la mise en contact de deux conducteurs se trouvant à différents potentiels et à la terre.

- **Courts-circuits triphasés**

C'est la mise en contact de trois phases se trouvant à différents potentiels.

b) Conséquences des courts-circuits

Parmi les effets des courts-circuits, on peut citer :

- A l'endroit du court-circuit, un arc électrique apparaît et entraîne l'échauffement des conducteurs créant, ainsi, la détérioration des isolants ; ce qui provoque à la longue leur claquage.

- Apparition d'une surintensité.
- Apparition d'efforts électrodynamiques avec déformation des jeux de barre et arrachement des câbles.
- Chute de tension qui provoque le décrochage des machines.
- Déséquilibre du réseau.
- Pertes de synchronisme.
- Influence sur les lignes de télécommunication.

IV-1-2- Les surtensions [8]

On appelle surtension toute tension fonction du temps qui dépasse la tension de crête de régime permanent.

Les causes des surtensions

• **Causes Internes**

- Déclenchement ou extinction des courants inductifs ou capacitifs.
- Commutation de l'électronique de puissance.
- Apparition ou disparition de puissance.
- Perte de charge.

- **Causes externes**

Une foudre touchant directement ou indirectement une ligne électrique

a) Classification des surtensions

On distingue quatre types de surtension :

- **Surtension permanente**

D'une durée de plusieurs heures.

- **Surtension temporaire**

D'une durée ou plusieurs secondes. Par exemple, le court-circuit d'une des phases d'un réseau à la terre peut introduire une surtension temporaire dans les autres phases.

- **Surtension de manœuvre**

Elle est liée à une manœuvre dans le réseau considéré. Sa durée est de quelques dizaines de microsecondes ou millisecondes.

- **Surtension de foudre**

Elle est due à la décharge d'une foudre sur une ligne électrique.

b) Conséquences des surtensions

Une surtension élevée peut provoquer un claquage des isolants de l'installation : ce qui engendre des courts-circuits.

IV-1-3- Les surcharges [8]

Une surcharge est caractérisée par l'augmentation de la valeur de la puissance demandée, ainsi que celle du courant appelé sur la ligne d'alimentation au-delà de la valeur nominale.

- **Conséquences**

L'augmentation de la puissance appelée est traduite par un appel de courant plus important qui engendre l'augmentation de la température de l'installation au-delà de ses limites normales de fonctionnement. Cette augmentation de température provoque l'usure des isolants qui entraîne à la longue leurs claquages ainsi que l'apparition d'autres défauts.

IV-1-4- Le déséquilibre

On parle de déséquilibre dans un système triphasé lorsque les trois tensions de ce dernier ne sont pas égales en amplitudes et /ou ne sont pas déphasés les unes par rapport aux autres de 120° .

a) Les causes du déséquilibre

Le déséquilibre est causé par :

- Le courant de court-circuit.
- La rupture de phase.
- Le mauvais fonctionnement du disjoncteur.

b) Conséquences

Les conséquences du déséquilibre sont :

- Echauffement des disjoncteurs.
- Vibration des moteurs.

IV-2- Appareillage de protection [7]

Se sont des appareils de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique.

Ces appareils de protection permettent d'éviter les conséquences des incidents qui peuvent être dangereuses pour les personnes et pour le matériel. Pour cela, ils doivent :

- Assurer la protection des personnes contre tout danger électrique.

- Limiter les contraintes thermiques, diélectriques et mécaniques auxquelles sont soumis le matériel.
- Préserver la stabilité du réseau.

IV-2-1- Qualité d'un appareil de protection [3]

Pour qu'un appareil de protection accomplisse convenablement sa mission, il doit présenter les qualités suivantes :

- **Fiabilité** : Un dispositif de protection doit être précis dans ses décisions.
- **Sélectivité** : Isoler seulement l'élément en défaut.
- **Rapidité d'action** : Pour éviter l'augmentation de la zone perturbée.
- **Sensibilité** : Doit détecter la moindre variation des paramètres de l'élément surveillé.
- **Consommation** : Doit avoir une consommation réduite.

IV-2-1-1- Relais [8]

Ce sont des dispositifs de surveillance des grandeurs électriques du réseau. Ils sont destinés à donner des ordres de coupure ou de mise hors tension du circuit lorsque les grandeurs qui l'alimentent franchissent un seuil prédéterminé.

a) Désignation d'un relais [3]

Un relais désigné selon la grandeur surveillée (tension, puissance, fréquence, impédance...) :

- Relais à maximum de courant RMA.
- Relais à maximum ou minimum de tension RMV.
- Relais à minimum d'impédance RMZ.
- Relais à directionnel de puissance RDW.
- Relais à minimum de réactance RMX.

b) Différents type de relais [8]

- Relais thermique

Il comporte un élément actif chauffé par le passage de l'intensité de courant absorbé par l'appareil à protéger. Cet élément est une lame bimétallique qui se déforme sous l'effet de l'augmentation de la température engendrée par la surintensité.

- Relais à induction magnétique

Un courant alimentant les bobines fixes de l'électro-aimant produit des champs magnétiques, ceux-ci créent des courants induits qui font tourner le disque.

- Relais magnétothermiques

C'est l'association d'un relais électromagnétique et d'un relais thermique.

Le relais électromagnétique assure la protection contre les surcharges brutales (court-circuit) et le relais thermique assure la protection contre les surcharges lentes.

IV-2-1-2- Fusible [3]

Le fusible est un organe de sécurité dont le rôle est d'ouvrir, par fusion, le circuit dans lequel il est inséré et d'interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse pendant un temps déterminé une valeur donnée. Son nom découle du fait qu'il fonctionne par fusion d'un filament.

a) Constitution

Il est constitué de :

- Socle : Qui permet le raccordement à l'installation.
- Un porte fusible : Support de l'élément de remplacement.
- Une cartouche fusible cylindrique (utilisée dans le domaine domestique ou industriel) ou à couteaux (utilisée dans le domaine industriel seulement)

b) Fonctionnement

Le courant circulant dans le circuit traverse entièrement le fusible. Lorsque le courant dépasse le calibre (valeur spécifiée pendant un temps précis), la partie conductrice du fusible fond et ouvre le circuit.

c) Différentes classes de fusibles

Il existe trois types de fusibles :

- Fusible à usage général (gI) : offrant une protection contre les surcharges et les courts-circuits.
- fusible accompagnement moteur (aM) : il est utilisé pour la protection contre les courts-circuits uniquement.
- Fusible à fusion ultra rapide : utilisé pour la protection des semi conducteurs.

d) Caractéristiques des fusibles

- Les caractéristiques des fusibles sont :
- Tension nominale (U_n) : 250, 400, 500 à 660 V.
- Courant nominal (I_n) : c'est le calibre du fusible ou de la cartouche de remplacement.
- Courant de non fusion (I_{nf}) : c'est la valeur du courant qui peut être supportée par l'élément fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.
- Courant de fusion (I_f) : c'est la valeur du courant qui provoque la fusion du fusible avant la fin du temps conventionnel.
- Durée de coupure : c'est le temps qui s'écoule entre le moment où commence à circuler un courant suffisant pour provoquer la fusion et la fin de la fusion.
- Pouvoir de coupure : c'est le courant maximal qu'un fusible peut couper en évitant la formation d'un arc électrique qui pourrait retarder dangereusement la coupure du courant ; les fusibles possèdent toujours des pouvoirs de coupure élevés (P_{dc} en kA).
- Courbe de fonctionnement d'un fusible : on exprime le temps de fusion en fonction de l'intensité.

e) **Choix des fusibles**

Le choix d'un fusible est déterminé selon plusieurs paramètres :

- l'emploi : on détermine la classe du fusible (gI) ou (aM).
- Le calibre du fusible I_n : déterminé à partir du courant d'emploi de la partie protégée (I_b).

IV-2-1-3- Disjoncteur [7]

Le disjoncteur est un organe électromécanique de protection capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales, mais aussi dans les conditions dites anormales : surcharge, court-circuit.

Les disjoncteurs se composent de deux éléments principaux :

- Un système de détection, qui commande le déclenchement des pôles de coupure, constitué d'un détecteur de surintensités et d'un détecteur de courts-circuits.
- Un système de coupure destiné à la coupure du circuit affecté par le défaut.

a) **Différents type des disjoncteurs [7]**

Les disjoncteurs fonctionnent suivant différentes techniques :

- **Thermique**

Le disjoncteur est muni d'un bilame ; le passage du courant engendre un effet joule sur les files des spires qui entraîne l'échauffement de ce bilame. A une certaine température, ce dernier se déforme et à l'aide d'un contact électrique associé, le circuit de commande se déclenche, ouvrant le contact et interrompant, ainsi, le courant.

Les disjoncteurs thermiques sont assez simples et robustes. Par contre, ils ne sont pas très précis et leurs temps de réaction sont relativement longs.

Ce type de disjoncteur est utilisé pour la protection des conducteurs contre les échauffements dus aux surcharges.

- **Magnétique**

La protection contre les courts-circuits est assurée par le magnétisme des disjoncteurs en effet le court-circuit provoque une brusque augmentation du courant. Cette forte variation en passant à travers la bobine engendre un fort champ magnétique. Le champ ainsi créé déclenche le déplacement d'un noyau en fer doux qui ouvre le circuit.

Les disjoncteurs magnétiques ont un temps de réaction rapide (instantané).

- **Magnétothermique**

Ce type de disjoncteur rassemble les deux techniques décrites précédemment et cela est considéré comme un avantage car il permet de surveiller plusieurs paramètres à la fois :

- Surcharge : effet thermique
- Court-circuit : effet magnétique

b) Les caractéristiques fondamentales d'un disjoncteur [13]

Les disjoncteurs sont caractérisés par différents paramètres résumés comme suit :

- Courant assigné (I_n) : c'est le courant maximal permanent que peut supporter le disjoncteur dans le fonctionnement normal. Il est déterminé en fonction de l'intensité du courant admissible passant dans la section du conducteur à protéger.

- Tension assigné (U_n) : c'est la tension nominale d'utilisation et c'est également, la tension à laquelle se rapporte le pouvoir de coupure et de fermeture du disjoncteur. Un disjoncteur peut avoir plusieurs tensions nominales et chacune d'elles correspond à un pouvoir de coupure différent.

- Courant de réglage (I_r) : c'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur sans déclenchement. Il peut être réglable de $0,7 I_n$ à I_n pour les déclencheurs thermiques et de $0,4 I_n$ pour les déclencheurs électroniques.

- Courant de fonctionnement : c'est le courant qui provoque le déclenchement du disjoncteur, il peut être fixe ou réglable et peut varier entre $1,5 I_n$ et $20 I_n$.

- Pouvoir de coupure : c'est la plus grande intensité de courant de court-circuit qu'un disjoncteur peut interrompre sans mettre en danger l'entourage. Le pouvoir de coupure doit être égal au moins au courant de court-circuit maximum ($P_{dc} \geq I_{cc \text{ max}}$).

- Pouvoir de limitation : c'est la capacité d'un disjoncteur de ne laisser passer qu'un courant inférieur au courant de court-circuit présumé.

c) Classification des disjoncteurs

Les disjoncteurs sont classés suivant le mode d'extinction de l'arc électrique qui s'établit lors de leur fonctionnement.

- Disjoncteur à huile

Dans ces disjoncteurs, le contact mobile et le contact fixe sont séparés par un milieu diélectrique qui est l'huile. Au cours d'un défaut, le disjoncteur se déclenche, un arc électrique s'établit entre les deux contacts et l'huile sous l'effet de la température se décompose, créant des gaz qui montent en pression et augmentent la résistance.

- Disjoncteur pneumatique

Dans ce type de disjoncteur, l'extinction de l'arc s'effectue par un très puissant jet d'air comprimée. L'écoulement de ce dernier provoque le refroidissement de l'arc ainsi que son extinction.

- Disjoncteur à l'hexafluorure de soufre SF₆

Ces disjoncteurs ont le même principe que les disjoncteurs à air comprimé à la seule différence que pour ces disjoncteurs, on utilise l'hexafluorure de soufre pour l'extinction de l'arc.

IV-3- Contacts indirects [1]

Les réseaux électriques de distribution sont caractérisés essentiellement par la nature de courant et le nombre de conducteurs actifs, ainsi que par la liaison à la terre ou régime de neutre.

La sécurité des personnes et du matériel est assurée différemment en fonction du régime de neutre utilisé dans une installation électrique.

Il existe trois régimes du neutre qui sont définis par la norme NFC-15-100, les régimes de neutre diffèrent par la mise à la terre des masses.

IV-3-1- Neutre à la terre : TT [15]

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre, les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre. Cette solution simple à l'étude et à l'installation.

Quant un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure : c'est la coupure au premier défaut.

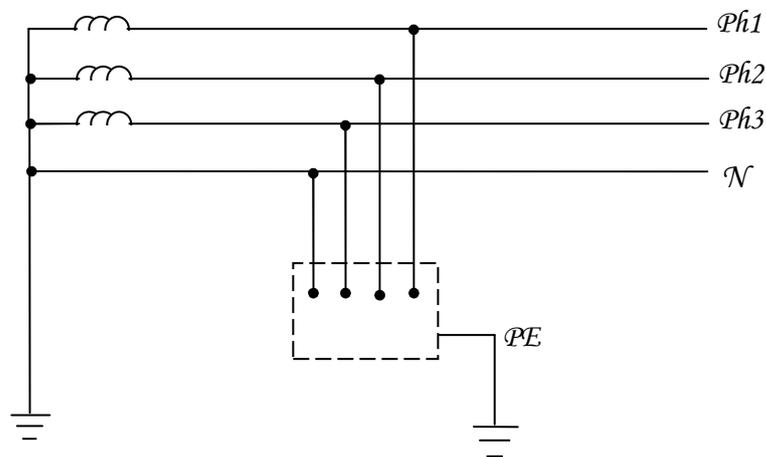


Fig IV-1 : Neutre à la terre

IV-3-2- Neutre isolé : IT

Le neutre est isolé à la terre par une assez forte impédance (1500 à 2200 Ω).

Le premier défaut ne présente pas de danger. Le courant phase masse est très faible et aucune tension dangereuse n'est à craindre, mais il doit être signalé et recherché pour être éliminé, la coupure est obligatoire au deuxième défaut.

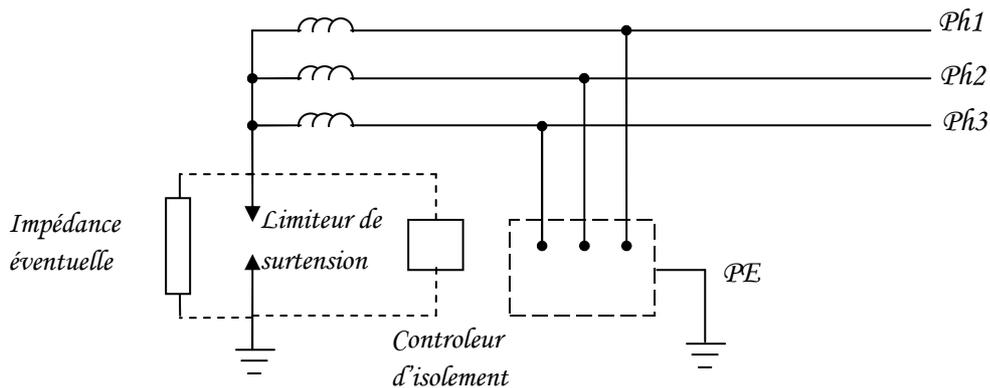


Fig IV-2 : Neutre isolé

IV-3-3- Mise au neutre : TN

Le neutre de l'alimentation est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre ; ainsi, tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre.

a) Schéma de Principe

Le défaut entre C et la masse se referme par le circuit D.E.F du conducteur de protection électrique PEN

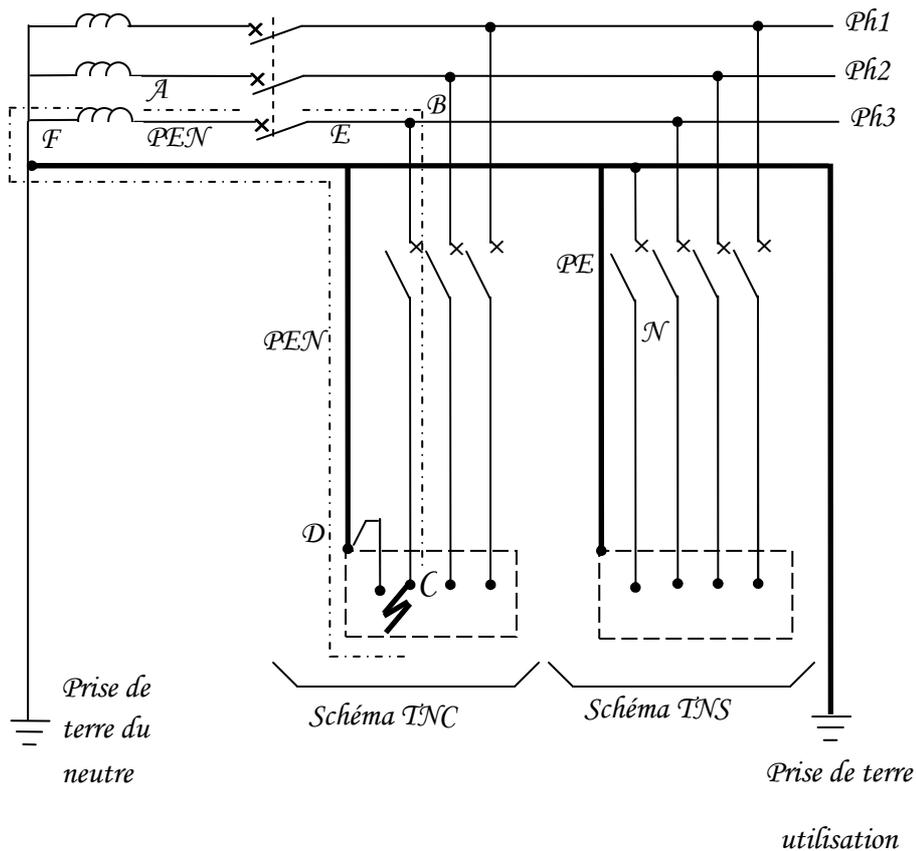


Fig IV-3 : Mise au neutre TN

On appelle boucle de défaut le circuit A, B, C, D, E, F. Les fusibles ou disjoncteurs doivent assurer la protection et couper le circuit dans un temps inférieur à celui défini par la courbe de sécurité.

IV-3-3-1- Schéma TNC

Masses reliées au neutre, et neutre relié à la terre. (Le conducteur neutre et de protection électrique sont communs PEN).

Le conducteur PEN doit être raccordé aux masses des récepteurs ; il ne doit pas être coupé et il ne doit pas comporter d'appareillage (appareilles de protection uniquement tripolaire).

IV-3-3-2- Schéma TNS

Le conducteur neutre est séparé avec le conducteur de protection électrique PE.

En schéma TNS, le conducteur PE n'est pas coupé, mais le neutre peut être coupé ; on utilise un appareillage tétrapolaire.

Ce type de schéma est autorisé pour les sections supérieures à 10 mm² (6 mm² pour TNC).

Dans les deux cas, la protection doit être assurée par coupure au premier défaut.

IV-3-3-3- Explication de la protection

Lorsqu'un défaut d'isolement survient entre une phase et la masse, le fait que cette masse soit reliée au neutre produit une forte différence de potentiel. Celle-ci a tendance à provoquer le claquage de l'isolant et à transformer le défaut d'isolement en un court-circuit phase neutre.

L'élévation du potentiel de la masse devient rapidement dangereuse et les systèmes de protection contre les surintensités (fusibles, disjoncteurs) doivent couper le circuit dans le temps défini par les courbes de sécurité.

Remarque

Le neutre des groupes diesel sont reliés à la terre (TNC), on garde la même protection pour les pompes d'huile.

IV-3-3-4- Courbes de sécurités [15]

Le normalisateur, utilisant les travaux réalisés sur les courants dangereux pour le corps humain, a défini des courbes de sécurité qui tiennent compte :

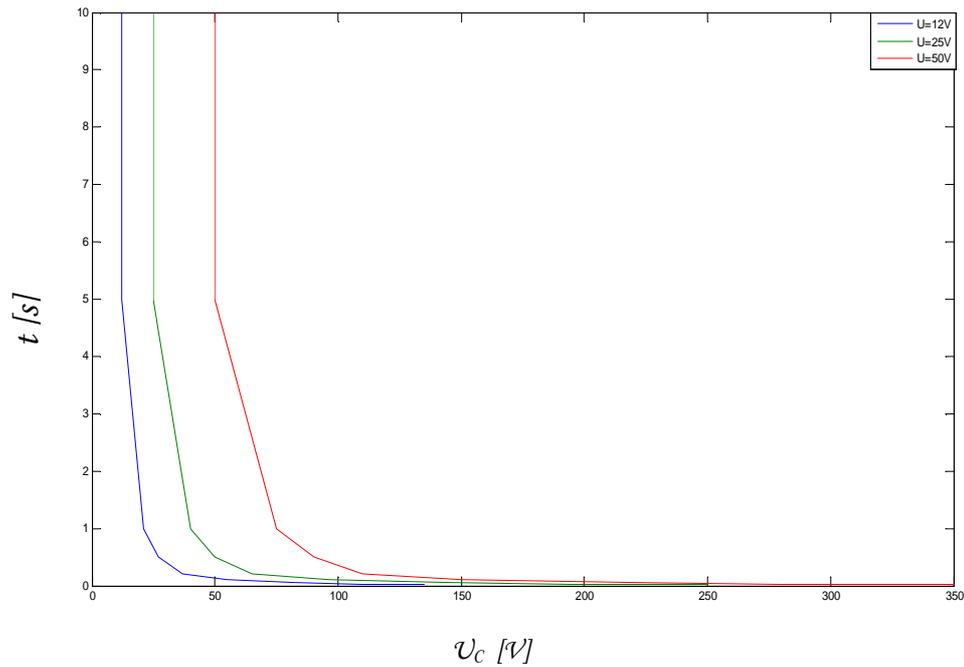
- Des tensions limites à ne pas dépasser
- Des temps maximaux supportables par le corps humain
- Des conditions d'environnement relatif à l'humidité
- De la nature du courant, continu ou alternatif.

Plus la tension est élevée, plus le temps de passage possible du courant doit être court.

La tension limite de sécurité U_L est la tension de contact la plus élevée qui puisse être maintenue sans danger pour les personnes.

Tensions limites U_L	$U_L = U_2 = 50 \text{ V}$	$U_L = U_3 = 25 \text{ V}$	$U_L = U_4 = 12 \text{ V}$	Temps maximal de fonctionnement De la protection (s)
Conditions	Normales BB1 BB2	Mouillées BB2+BC4 ou BB3 +BC3	Immergées BB4 ou BB3 + BC4	
Valeur de la tension de contact (V)	<50	<25	<12	Permanente
	50	25	12	5
	75	40	21	1
	90	50	27	0,5
	110	65	37	0,2
	150	96	55	0,1
	220	145	82	0,05
	280	195	110	0,03
	350	250	135	0,02

Tableau IV-1 : Courbes de sécurité en courant alternatif [15]



- **Condition de protection [15]**

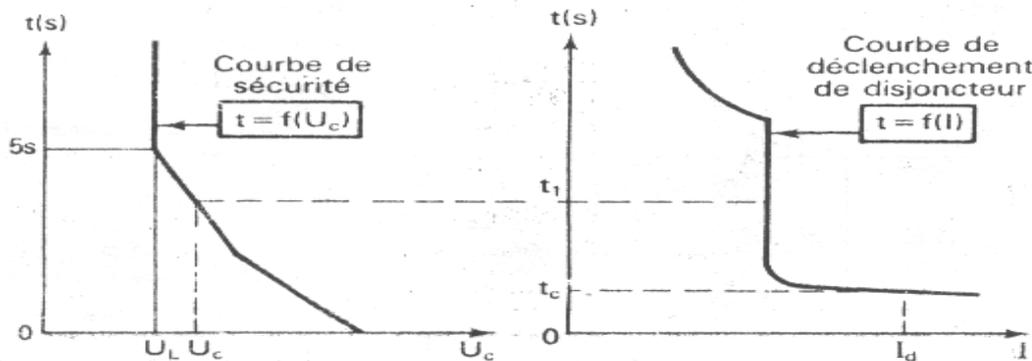
La protection est effectuée par disjoncteur ou fusible. Le déclenchement se produit au premier défaut d'isolement.

a) Protection par disjoncteur

La comparaison des courbes de fonctionnement d'un disjoncteur et des courbes de sécurité montre qu'un disjoncteur assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le courant de défaut soit supérieur au courant de fonctionnement du déclenchement magnétique.

$I_d > I_{mag}$ I_d : courant de défaut.

I_{mag} : courant de réglage du déclencheur magnétique.



Remarque

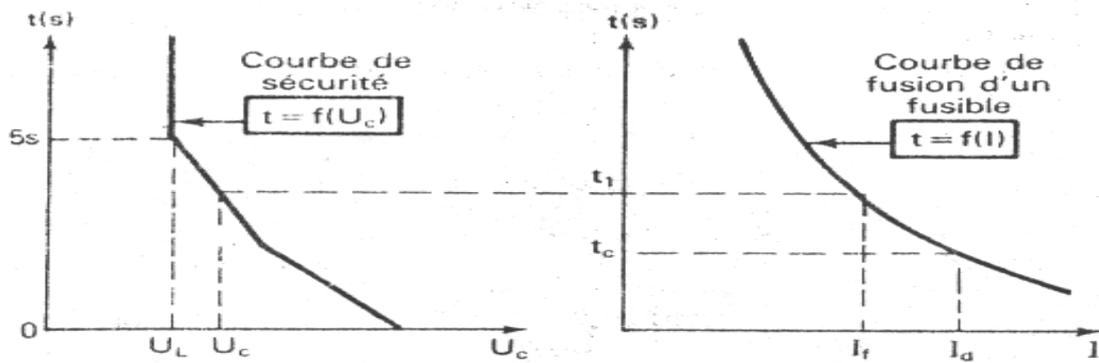
Dans le cas d'une protection par disjoncteur, si $I_d > I_{mag}$ le temps de coupure t_c est inférieur de t_1 , quels que soient U_c et la valeur de U_L .

b) Protection par fusible

La protection de la courbe de fusion d'un fusible et des courbes de sécurité montre qu'un fusible assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le courant de défaut soit supérieur au courant assurant la fusion (I_f) du fusible dans le temps t_1 prescrit par la courbe de sécurité.

$I_d > I_f$ I_d : courant de défaut.

I_f : courant de fusion du fusible



Remarques

La protection des personnes repose essentiellement sur les conditions de fonctionnement des protections du réseau (disjoncteurs, fusibles) en présence d'un défaut d'isolement, il faut impérativement :

- Prendre toutes les dispositions pour faciliter l'établissement d'un courant de défaut élevé, le conducteur PE ou PEN fait partie du même câble que les conducteurs actifs.
- Interconnecter toutes les masses et éléments conducteurs
- Vérifier par des calculs la bonne adaptation des protections ; si possible, faire des mesures de contrôle.

Moteur				Fusible		Disjoncteur	Section des conducteurs	Courant maximum	Relais thermique (2)	
230V tri		400 V tri		Calibre (A)	Taille (mm)				Calibre (A)	(mm ²)
P (kW)	I _n (A)	P (kW)	I _n (A)							
-	-	0,37	0,98	aM2	10×38	10	1,5	15	LR2-D1306	1-1,6
-	-	0,55	1,5	aM4	10×38	10	1,5	15	LR2-D1306	1-1,6
0,37	2	0,75	1,8	aM4	10×38	10	1,5	15	LR2-D1307	1,6-2,5
0,55	2,8	1,1	2,5	aM6	10×38	10	2,5	20	LR2-D1308	2,5-4
0,75	3,6	1,5	3,4	aM6	10×38	10	2,5	20	LR2-D1308	2,5-4
1,1	5,2	2,2	4,8	aM8	10×38	10	2,5	20	LR2-D1310	4-6
1,5	6,8	3	6,3	aM12	10×38	16	2,5	20	LR2-D1312	5,5-8
2,2	9,6	4	8,1	aM12	10×38	16	2,5	20	LR2-D1314	7-10
3	11,7	5,5	11	aM16	10×38	16	2,5	20	LR2-D1316	9-13
4	14,5	7,5	14,8	aM20	10×38	20	4	25	LR2-D1321	12-18
-	-	9	18,1	aM25	10×38	25	6	35	LR2-D1322	17-25
5,5	22	11	21	aM25	10×38	25	6	35	LR2-D1322	17-25
7,5	28	15	28,5	aM40	14×51	40	10	50	LR2-D2353	23-32
9	33	18,5	35	aM40	14×51	40	10	50	LR2-D3355	28-36
11	42	22	42	aM63	22×58	63	16	65	LR2-D3357	37-50
15	55	30	57	aM80	22×58	80	25	90	LR2-D3361	55-70
18,5	68	37	69	aM80	22×58	80	25	90	LR2-D3363	63-80
22	80	45	81	aM100	22×58	100	35	110	LR2-D3365	80-93
30	104	55	100	aM125	22×58	125	50	160	LR2-F5367	80-125
37	130	75	131	aM160	T.0	160	70	210	LR2-F5369	100-160
45	154	90	162	aM200	T.1	200	95	250	LR2-F5371	125-200
55	192	90	195	aM250	T.1	250	120	300	LR2-F6373	160-250
75	248	132	233	aM315	T.2	315	150	340	LR2-F6375	200-315
90	312	160	185	aM315	T.2	315	150	340	LR2-F6375	200-315
110	360	200	352	aM400	T.2	400	240	460	LR2-F7379	315-500
-	-	220	388	aM500	T.3	500	2×150	600	LR2-F7379	315-500
132	427	250	437	aM500	T.3	500	2×150	600	LR2-F7379	315-500
160	523	280	514	aM630	T.3	630	2×185	690	LR2-F7381	400-630

(1): courant maximum admissible en fonction de la section des conducteurs.

(2): classe 10 : référence LR2- D3 ou LR2-F3 ; classe 20 : référence LR2-D5

ou LR2-F.

Tableau IV-2 : Choix des protections selon les puissances des moteurs

Protection par disjoncteur [2]

IV-3-3-5- Calcul de la protection par disjoncteur [15]

Dans le schéma (Fig IV-3), qui représente un départ basse tension, la boucle de défaut B, C, D, E est alimentée par une tension estimée à 0,8 fois la tension simple.

$$V_{BE} = 0,8 \times V$$

V_{BE} : Tension de défaut.

V : Tension simple.

$$V_{BE} = 0,8 \times 220 = 176 \text{ V}$$

L'impédance de la boucle de défaut dans un calcul approché est ramenée à la valeur de la résistance des câbles.

Z_d : Impédance de la boucle de défaut B, C, D, E.

On considère que le conducteur PEN suit le même parcours que le conducteur de phase BC, donc BC = DE, soit une longueur de 150 m.

$$Z_d = 2 \times R \text{ de BC}$$

D'où

$$Z_d = 2 \times \rho \frac{L}{S}$$

$$Z_d = 2 \times 22,5 \times \frac{150}{120} = 56 \text{ m}\Omega$$

Le courant de défaut est donné par la relation :

$$I_d = \frac{V_{BE}}{Z_d}$$

$$I_d = \frac{176}{56 \times 10^{-3}} = 3100 \text{ A}$$

La tension de contact (U_c) peut être considérée comme la moitié de la tension aux bornes de la boucle de défaut :

$$U_c = V_{DE} = \frac{V_{BE}}{2}$$

U_c : Tension de contact

$$U_c = \frac{176}{2} = 88 \text{ V}$$

C'est une tension dangereuse.

Donc en cas de défaut franc (phase- masse) dans le régime de neutre TN, il faut couper immédiatement le circuit en défaut.

Si la protection du circuit est assurée par un disjoncteur de courant maximal de 300 A (Tableau IV-2) avec un relais magnétique qui déclenche à 7 fois l'intensité nominale.

$$I_{mag} = 7 \times I_{max}$$

I_{mag} : Courant de réglage du déclencheur magnétique.

I_d : Courant de défaut..

$$I_{mag} = 7 \times 300 = 2100 \text{ A}$$

Donc :

$I_d > I_{mag}$: provoque le déclenchement du disjoncteur.

Le calcul conduit à vérifier que la longueur du circuit est inférieure à la valeur donnée par la relation :

$$l_{max} = \frac{0,8 \times V \times S_{ph}}{\rho \times (1 + m) \times I_{mag} (\text{ou } I_f)}$$

l_{max} : Longueur maximale de la canalisation (en mm).

V : Tension simple nominale (en V).

S_{ph} : Section des conducteurs à température nominale de fonctionnement (mm^2).

ρ : Résistivité des conducteurs à température nominale de fonctionnement.

Soit :

$22,5 \times 10^{-3} \Omega mm^2/m$ pour le cuivre.

$36 \times 10^{-3} \Omega mm^2/m$ pour l'aluminium.

m : Rapport entre section des phases et section du conducteur de protection.

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$$

I_{mag} : Courant (en A) de fonctionnement du déclenchement magnétique.

I_f : Courant (en A) assurant la fusion du fusible correspondant.

$$L_{max} = \frac{0,8 \times 220 \times 120}{22,5 \times 10^{-3} \times (1 + 1) \times (300 \times 8)} = 196 \text{ m}$$

Ce résultat convient car il satisfait le critère de protection.

La longueur de 150 m < 196 m

Conclusion

Pour qu'un système de protection accompli convenablement sa mission, il doit être bien dimensionné, alimenté et réglé d'une manière judicieuse ; pour ce faire nous avons étudié les dispositifs de protections qui conviennent.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de prendre connaissance des différents équipements participant à la production de l'énergie électrique de la tranche d'une centrale thermique à vapeur et des spécificités liées au fonctionnement de ses différentes installations.

Mesurer le degré de complexité de fonctionnement des équipements entrant dans la production de l'énergie électrique nécessite une fiabilité technique et économique accrue, partant de ce détail, le constructeur a mis en place des réseaux d'alimentation très fiables, cependant l'équipement d'une tranche peut se retrouver dans des situations dangereuses de fonctionnement surtout avec le vieillissement du matériel.

Les pompes d'huile turbines de la centrale Cap-Djinet ne sont pas à l'origine alimentées à partir des groupes électrogènes de secours et dans le cas d'absence de tension et déclenchement de l'alternateur, il n'y aura plus d'alimentation électrique pour les pompes, ce provoquera des dégâts matériels importants (blocage de l'arbre turbo-alternateur).

Pour remédier à ce problème, nous avons proposé d'alimenter les pompes à partir des groupes électrogènes des tranches, pour cela nous avons effectué le calcul et le dimensionnement de la nouvelle alimentation en suivant les différentes étapes à savoir :

- Choix de mode de pose
- Calcul des sections des câbles d'alimentation
- Calcul et choix de la protection du matériel et des personnes

Nous espérons que ce travail sera d'une grande utilité pour la centrale de Cap-Djinet et tous ceux qui auront la chance de le consulter.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. **R.BOURGEOIS & D.COGNIEL** : « Mémoteche électrotechnique ». Edition CASTEILLA - 25, rue Monge - 75005 PARIS, 5^{ème} Edition.
- [2]. **F.CASTELLAZI, D. COGNIEL et Y. GANGLOFF** : « Mémoteche maintenance industrielle ». Edition CASTEILLA - 25, rue Monge - 75005 PARIS.
- [3]. **C. COROYER** « Protection des réseaux, Généralités » technique de l'ingénieur, traité génie électrique.
- [4]. **EDGAR GILLON, CABAY LOUVAIN-LA- NEUVE** : « Centrale, réseaux application divers» 1981.
- [5]. **PELADAN LE CANNELLIER** : « Production, transport, distribution de l'énergie électrique ». Tome 4, Edition de la capitelle –UZED (gard).
- [6]. Document HTML : [www.wikipédia .fr](http://www.wikipédia.fr).
- [7]. **HENRY NEY & Noël MOREL** : « Installations électriques ». Nathan.
- [8]. **S.DELLILI & O.DROUCHE** : « Etude et protection des auxiliaires électriques 6,3 kV d'une tranche de la centrale thermique de Ras-Djinet », Mémoire DEUA, université MMTO ; 2001.
- [9]. **F.ABDENOURI & A .MERZOUKI**: « Etude des protections de la centrale thermique a vapeur de Cap-Djinet », Mémoire d'ingénieur, UMMTO ; 1999/2000.
- [10]. Guide technique de la centrale de Ras-Djinet « l'alternateur ».
- [11]. **A. GHERSALLAH** « les circuits (système eau/vapeur) ». Guide technique de la centrale de Ras-Djinet ; Décembre 1996.
- [12]. **A. DJAFER** « les réseaux électriques en centrale ». Guide technique de la centrale de Ras-Djinet.

[13]. PATRICK LAGONOTTE « installation électrique ». Edition HERMES.
Année 2000.

[14]. A.GHERSALLAH & D.SAADA « équipement principal, poste d'eau ». Guide technique de la centrale de Ras-Djinet.

[15]. « Installation et équipement de puissance ». Guide technique de la centrale de Ras-Djinet.