

Chapitre II :calcul de puissance dans une zone

Introduction :

L'électrification d'une entreprise industrielle nécessite un calcul technico-économique basé sur des outils scientifiques. La partie technique s'occupe des contraintes mécaniques, thermiques, technologiques et qui influe de façon remarquable sur la continuité de service et sur la qualité de l'énergie électrique consommée, tandis que l'aspect économique est consacré aux différents investissements à chaque niveau de tension et à chaque équipement, ceci va se répercuter sur l'amortissement et le coût d'investissement. Cette tâche n'est donc pas vraiment facile, ni impossible. Un surdimensionnement des équipements va engendrer des investissements supplémentaires inutiles. Par contre, un sous dimensionnement des équipements va réduire considérablement leur rendement et durée de vie. Le choix de la tension de service va conditionner tous les équipements électriques.

La solution optimale fait intervenir une étude généralisée qui se base sur les principes scientifiques à caractère techniques et économique, parfois même plusieurs études technico-économiques proposant plusieurs variantes, et que le choix se fera sur des bases purement scientifiques. Dans la pratique, il existe plusieurs méthodes de calcul des charges électriques prenant en considération plusieurs paramètres et indices caractéristiques.

Le choix d'une méthode de calcul permet le choix convenable de la tension optimale, la section optimale et la configuration optimale pour alimenter une entreprise industrielle en énergie électrique.

II.1.Notions sur les consommateurs d'énergie électrique

II.1.1.Classification :

Les consommateurs de l'énergie électrique sont classés selon plusieurs critères.

- La nature de courant : alternatif ou continu
- La valeur de la tension : Basse tension (BT), Moyenne (MT), haute (HT)
- La puissance nominale : Faiblepuissance, Moyennepuissance, Haute puissance
- Fréquence du courant

- Sûreté d'alimentation

A - Consommateur de 1^{ère} catégorie :

Est un consommateur dont l'interruption en énergie électrique provoque la destruction du processus technologique, danger d'exploitation et d'avarie. Il admet une interruption égale à la durée de démarrage des sources de secours. Il doit être alimenté à partir d'au moins de deux (02) sources d'alimentations indépendantes.

B - Consommateur de 2^{ème} catégorie :

Est un consommateur dont l'interruption en énergie électrique provoque la diminution remarquable de la production. Il doit être alimenté à partir de deux (02) sources d'alimentations indépendantes.

C - Consommateur de 3^{ème} catégorie :

Est un consommateur qui admet une interruption de l'énergie électrique. [8]

II.2.Généralité et rôle de l'entreprise :

Le gaz naturel liquéfié (GNL), qui offre de nombreux avantages en termes de transport et de flexibilité, constitue un élément déterminant de cette montée en puissance, notamment en réponse aux demandes mondiales, le gaz est l'énergie fossile dont la progression est la plus dynamique

En Algérie, la Sonatrach qui est la plus importante compagnie d'hydrocarbures dans le pays et en Afrique intervient dans l'exploration, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures, elle est également classée 4eme exportateur mondial de gaz liquéfié (GNL) fruit des énormes investissements réalisés dans le secteur du gaz et en particulier le GNL. Des complexes modernes de liquéfaction du gaz ont été construits, a l'instar du complexe (GNL2-Z) qui a été conçu pour permettre d'assurer le transport sous forme liquide du gaz naturel provenant de Hassi-R'mel. ce gaz est acheminé par pipe-line vers le complexe où il est traité , liquéfié et ensuite chargé à bord des navires méthaniers de haute mer prévus spécialement pour le transport cryogénique ou il est livré à l'étranger .

Le complexe de liquéfaction de gaz naturel d'Arzew (GNL2-Z) qui a été officiellement inauguré en 1984 mais qui était en production bien avant (1980-81) comprend six trains de liquéfaction identiques et indépendants, ils fonctionnent en parallèle en sont alimentés par un réseau de canalisation.

Le débit total de gaz total distribué est d'environ 1500.000 m³ /heure soit en moyenne 250.000 m³/h par train. Dans chaque train, le gaz naturel d'alimentation est traité pour éliminer

d'abord le gaz carbonique et la vapeur d'eau, il est ensuite réfrigéré et distillé pour en extraire les hydrocarbures lourds et il est finalement liquéfié à une température de -162°C .

Une fois liquéfié, le gaz naturel est envoyé par pompage dans trois réservoirs de stockage sous une pression de 1,03bars. Chaque train est en mesure de liquéfier en moyenne 8400m³ /jour de gaz liquide (GNL).

Les réservoirs de stockage ont une capacité de 100.000m³ chacun et la capacité totale de stockage du complexe GNL2-Z correspond à la production de cinq journées complètes de l'ensemble des six trains.

Chaque Méthanier à une capacité moyenne de 125000m³ et le temps de chargement peut dépasser les 12heures (environ 12h30mn) a raison d'un débit de 10.000m³ GNL/heure. [9]



Figure II.1 : vue aérienne de la zone industrielle d'Arzew [10]

II.3.Traitement du Gaz :

II.3.1.Décarbonatation :

Les premiers traitements se font dans les ballons séparateurs où passe le gaz naturel, à ce niveau, les hydrocarbures lourds en suspension sont récupérés et envoyés vers les systèmes de rejet liquide puis le gaz naturel est chauffé à 380°C dans les préchauffeurs avant de pénétrer dans la colonne d'absorption de CO_2 jusqu'à une teneur inférieure à 70ppm (particule par Million), puis le gaz naturel est dirigé vers la section de déshydratation où il perd progressivement sa

teneur en eau . Des tamis moléculaires permettent la filtration du gaz qui se dirige ensuite vers la section séparation.

II.3.2.Liquéfaction :

Le gaz déshydraté sortant des sècheurs sous une pression d'environ 38,3 bars et a une température de 25,5⁰C est ensuite réfrigéré moins 38,6 ⁰C dans les refroidisseurs a propane par le gaz propane a quatre niveaux de pression et de température. Une partie du gaz essentiellement constituée d'hydrocarbures lourds est condensée, le mélange formé par le condensat et le gaz allégé entre dans l'échangeur de la tour de lavage pour y être refroidi a moins 47, 3 0C sous une pression de 37 bars.

À ce niveau, des composants lourds se condensent, le mélange est ensuite injecté dans la tour de lavage ou se réalise la séparation par distillation du gaz (Ethane, Propane).

Les composants légers (Méthane, Azote..) sont extraits par vaporisation et se purifient au contact du liquide de reflux. Le liquide de fond se dirige vers le fractionnement et les vapeurs de tête passent dans le faisceau chaud de la colonne de liquéfaction ou elles sont refroidies par le réfrigérant mixte MCR. Elles sont en partie condensées, la partie liquide est recueillie dans le ballon de reflux de la tour ou de lavage.

Le gaz naturel provenant du ballon de reflux riche en constituants légers est alors prêt à être liquéfié a une température de moins 1620C lui permettant son transport en méthaniers et a une pression proche de la pression atmosphérique 1,03 bars.

Le GNL (gaz naturel liquéfié), sortant en tête de l'échangeur principal passe dans l'échangeur de rejet et se combine à la sortie avec un courant de propane et d'éthane en provenance du fractionnement, refroidi dans l'échangeur du de rejet le mélange liquide est alors détendu a 4,8bars, le flash a pour effet de libérer l'azote du liquide. Les composants légers essentiellement l'azote sont donc extraits par vaporisation et montent le long de la colonne.

La phase liquide GNL se débarrasse de l'azote et est récupérée au fond du deazoteur ou elle est acheminée vers le stockage par les pompes de produits GNL. Les vapeurs de tête du deazoteur se dirigent vers l'échangeur de rejet ou elles se réchauffent au contact du MCR et du GNL sortant de l'échangeur principal.

II.3.3.Fractionnement.

Le système de fractionnement sépare les hydrocarbures les plus lourds et les élimine du courant gaz naturel. Cette opération est réalisée dans la section séparation ou se prépare aussi les constituants nécessaires à l'alimentation interne des diverses sections de l'usine.

- L'Ethane : comme appoint (complément) pour le réfrigérant mixte MCR- GNL

- Propane : comme appoint pour le système propane, le MCR et le GNL
- Butane : appoint pour le gaz naturel d'alimentation de l'échangeur principal
- Gazoline : comme combustible pour les chaudières

L'unité de fractionnement comprend trois systèmes de distillation en cascade et qui sont

- Le Deethaniseur
- Le depropaniseur
- Le debutaniseur

Ces systèmes peuvent fonctionner avec ou sans extraction, dans le premier cas le butane et le propane sont destinés à être commercialisés. Dans le second cas ces deux constituants sont en partie réinjectés dans le GNL et servent de gaz combustible.

II.3.4.Stockage du GNL

Avant chargement, le GNL est stocké à pression atmosphérique dans trois grands réservoirs cylindriques verticaux à proximité de l'usine de liquéfaction. Ceux-ci fonctionnent comme des bouteilles thermos. Ils possèdent une double paroi et une isolation thermique sophistiquée afin de maintenir le gaz à l'état liquide (à -161°C) avec un minimum d'évaporation. Dans ces conditions, près de 600 m³ de gaz naturel occupent seulement 1 m³ à l'état liquide (à pression atmosphérique). Les réservoirs de GNL, qui disposent d'une capacité de stockage de trois fois 100 000 m³ de GNL permettent donc de stocker de très grandes quantités d'énergie.

II.3.5.Transport du GNL

Le GNL est chargé à bord de méthaniers, des navires géants spécialement conçus pour cet usage. Les méthaniers doivent également être isolés thermiquement pour maintenir le gaz à l'état liquide en minimisant les déperditions énergétiques : leurs réservoirs sont dits « adiabatiques », c'est-à-dire sans pertes thermiques. Les plus gros méthaniers en activité peuvent transporter près de 267 000 m³ de GNL. Ces navires, dits « Q-MAX » et exploités par la Qatar Gas Transport Company, mesurent près de 345 m de long et 54 m de largeur. Pendant la traversée, le méthane qui s'évapore des cuves « adiabatiques » est récupéré pour participer à la propulsion du navire. Une fois à destination, les méthaniers déchargent leur cargaison sur un terminal doté d'une installation de réception et de stockage cryogénique du GNL dans des réservoirs similaires à ceux utilisés sur les sites de liquéfaction.

II.3.6.Regazéification

Lorsque la consommation le nécessite, le GNL est regazéifié : sa température est portée de (-161°C) à plus de 0°C sous haute pression (entre 60 et 100 bars). Le GNL peut être réchauffé par des échangeurs à ruissellement d'eau de mer ou par combustion d'une partie du gaz. Avant l'acheminement du gaz par gazoduc depuis le terminal jusqu'aux réseaux de distribution, son pouvoir calorifique peut être ajusté par modification de la teneur en azote ou par mélange avec d'autres gaz. [11]

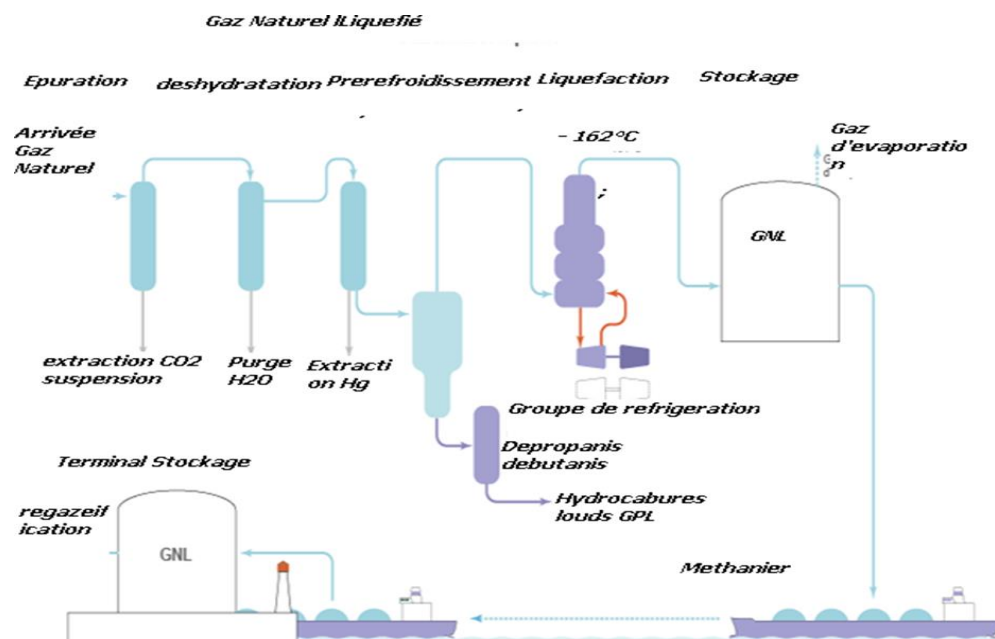


Figure II.2 : circuit de liquéfaction

II.4.Alimentation en énergie électrique :

II.4.1.Réseau Normal :

L'énergie électrique nécessaire au complexe de liquéfaction de gaz (GNL2-Z) est produite par trois turbo-alternateurs de puissance nominale unitaire de 20MW et portant les numéros de repère suivants : 2070JA, 2070JB, 2070JC. Cette centrale de production d'énergie électrique complètement autonome produit un courant alternatif à une fréquence de 50Hz et une tension de 5,5 kV. Chaque alternateur alimente un jeu de barre double par l'intermédiaire d'un disjoncteur de couplage. Les trois jeux de barres SWGR 2301, SWGR2302, SWGR2303 sont reliés à un jeu de barres principal de synchronisation SWGR2300 par des disjoncteurs et réactances.

L'équipement de synchronisation est prévu pour permettre de synchroniser les alternateurs soit à travers les alternateurs soit à travers les disjoncteurs à réactances, ceci assure au système une grande souplesse de fonctionnement car chacune des barres double peut être alimenté soit à partir du jeu de barres de synchronisation soit à partir de l'alternateur, donc les alternateurs peuvent être mis en marche et synchronisés sans même que l'on ait à débrancher une charge quelconque.

Afin d'assurer la fiabilité et continuité maximale du service, la capacité de chaque disjoncteur et de chaque barre de connexion des alternateurs permet de fonctionner à pleine charge avec un seul disjoncteur ou une seule barre. Dans les conditions normales de charge deux des trois alternateurs fonctionnent en parallèle et un a l'arrêt, cependant, cette capacité n'est pas en mesure d'alimenter toutes les charges, pour cette raison, il est prévu un délestage qui déclenche automatiquement certaines charges choisies dans l'usine en cas de perturbation provoquant une surcharge dans l'usine.

Les trois jeux de barres connectées en parallèle sont réunis au jeu de barres de synchronisation à travers des réactances qui ramènent le courant de court-circuit éventuel au-dessous du pouvoir de coupure des disjoncteurs. Des disjoncteurs by-pass sont installés pour court-circuiter les réactances dans le cas où l'alternateur correspondant est débranché et cela pour éviter le problème des chutes de tension.

Les disjoncteurs de by-pass ainsi que ceux de l'alternateur sont protégés par un dispositif de verrouillage électrique empêchant la fermeture des disjoncteurs des selfs si les disjoncteurs de sectionnement sont ouverts.

Le système des disjoncteurs est conçu de façon à permettre la synchronisation à travers les disjoncteurs et cela pour les raisons suivantes. Éviter un schéma de verrouillage compliqué et donner une souplesse au système étant donné qu'on peut synchroniser une ligne avec une autre ou a un alternateur sans avoir recours à la désexcitation

II.4.2.réseau secours :

Le système d'alimentation secours est composé de trois parties principales.

- Un groupe générateur diesel d'une puissance de 2 MW
- Une arrivée par ligne aérienne sonelgaz de 5MW
- Une interconnexion entre complexe GNL1 et GNL2

Le système de secours n'a pas été prévu pour alimenter le complexe en énergie normale, mais sa fonction demeure très importante pour la sécurité en maintenant certain équipement primordiaux en fonctionnement.

En général, le réseau de secours est prévu pour :

- Permettre l'arrêt ordonné de l'usine dans des conditions de sécurité en cas de panne des alternateurs normaux de l'usine
- Produire l'énergie électrique à certain équipements jusqu'à ce que les turboalternateurs produisent l'énergie normale et ceci lors des démarrages après arrêt de l'usine.

Les trois arrivées de secours sont connectées à un jeu de barre ESWGR2300 qui est en permanence sous tension en principe par sonelgaz, et si la ligne sonelgaz est en panne alors le maintien est assuré par l'arrivée de GNL1, dans le cas où cette dernière est coupée, le groupe diesel alternateur démarre automatiquement.

II.4.3.Distribution du courant principal à 5,5 kV :

Les moteurs des pompes d'eau de mer d'une puissance unitaire de 4,6MW sont alimentés directement à partir des doubles jeux de barres SW2301, 2302, 2303. Ces moteurs sont alimentés sous une tension de 5,5 kV par l'intermédiaire de disjoncteur de mise en ou hors service.

❖ Sous-stations 5,5kv.

Le jeu de barres SWGR2301 alimente les sous-stations et les tableaux de distribution suivants.

- Alimentation de la sous-station procédé MCC100 et MCC300
- Alimentation des pompes d'eau de mer 2200JA et 2200JB
- Alimentation des utilités MCC2003, et SWGR2200
- Départ de réserve

Le jeu de barres SWGR2302 alimente de son côté

- Sous-station MCC200 et MCC500 zone utilité
- Les pompes d'eau de mer 2200JC et 2200JD
- Sous-station du quai GNL MCC2103
- Sous-station chargement GNL MCC2100
- Départ réserve

Les jeux de barres SWGR2303 alimente

- Sous-station de chargement GNL MCC2101
- Sous-station procédé MCC400 et MCC600

- Sous station utilité MCC2000
- Pompes d'eau de mer 2200JE 2200JF
- Quai GNL
- ❖ Zone des utilités.

L'alimentation normale des charges de la ligne des utilités s'effectue par deux lignes d'amenée desservant les armoires de commande de 5,5 kV. Chaque MCC est pourvu d'un interrupteur-sectionneur de charge a des fins d'isolement. Les moteurs 5,5 kV sont directement connectés aux lignes et les charges de basse tension 0,4/0,230kv sont connectés par l'intermédiaire des transformateurs des sous-stations d'une puissance unitaire de 2000kva, chaque transformateur est prévu pour supporter la charge nominale de service .

L'armoire EMCC2003 est prévue pour alimenter la pompe d'eau d'incendie, cette armoire est alimentée à partir de réseau normal et secours en tension de 125 v en courant continu pour assurer une marche des récepteurs de priorité.

La consommation totale en énergie électrique de la zone utilité est estimée a.

– Régime normal $S = 390$ kva,

- régime maximal $S = 1100$ kva . (Cas ou l'ensemble des consommateurs sont en marche

- ❖ Zone procédé.

Les six trains de procédé sont alimentés par trois sous-stations identiques installées dans les salles de contrôle 201K, 401K, 601K. Dans la zone de procédé chaque sous-station est alimentée par deux lignes d'amenée venant de la zone des utilités. Chaque ligne se termine dans une armoire de commande des moteurs de moyenne tension 5,5kv et une sortie d'alimentation des sous-stations alimentant le train complet en régime normal.

L'armoire comporte trois disjoncteurs. Le disjoncteur d'arrivée alimentant le jeu de barres, le disjoncteur d'alimentation d'un transformateur de la sous-station procédé et enfin le disjoncteur d'alimentation de la pompe d'eau des chaudières.

Les deux transformateurs de la sous-station alimentent un jeu de barres doublé, en régime normal ces jeux de barres fonctionnent séparément et chacun alimente son propre train de liquéfaction, en cas de défaut, sur une arrivée ou sur un transformateur, un disjoncteur de couplage a été prévu pour coupler les deux jeux de barres et ainsi les deux trains de liquéfaction continueront leur marche . dans le cas d'une perte de l'alimentation générale normale , la sous-station est munie d'un transformateur de secours d'une puissance de 630kva qui assure l'alimentation de tous les consommateurs primordiaux pour pouvoir arrêter en toute sécurité le train de liquéfaction .

❖ Unité de pompage d'eau de mer.

L'alimentation normale basse tension dans la zone de prise d'eau de mer provient de la sous-station basse tension SWGR2200, et de l'armoire de commande MCC2200. La sous-station est normalement alimentée par le jeu de barre SWGR220 et les dispositions sont prévues pour effectuer le transfert automatique sur le réseau secours par le transformateur de secours ETR2200 en cas de perte de l'alimentation normale. Le transformateur de secours est commandé et protégé par des contacteurs à fusibles.

Les armoires MCC2201 et EMCC2201 sont alimentées respectivement par les sous-stations SWGR2200 et ESWGR2200, les moteurs 5,5kv sont alimentés directement à partir du réseau de la zone des utilités. Les pompes à eau de lavage sont alimentées à partir des sous-stations

❖ Chargement du GNL.

La zone de chargement du GNL est alimentée à partir de deux arrivées principales qui se terminent dans les armoires de commande des moteurs de haute tension, un disjoncteur de charge et à commande manuelle est prévu pour chaque jeu de barre, permettant l'isolation de la ligne en cas de besoin. Les charges basses tension sont quant à elles alimentées à partir du transformateur TR2100 de puissance 500kva, des disjoncteurs et des dispositifs de commande sont prévus dans les sous-stations pour desservir les charges de secours.

Les armoires de commande MCC2102 et EMCC2100 sont alimentées normalement par l'intermédiaire du disjoncteur de liaison. L'alimentation secours est quand elle est disponible grâce au transformateur de secours ETR2100. L'ensemble de l'appareillage est situé dans le bâtiment 2102K.

La zone de séparation dispose seulement de charges basse tension et l'alimentation est assurée par le transformateur TR2400 et par l'armoire de commande MCC2401, l'alimentation en secours est assurée par le transformateur ETR2400 ainsi que l'armoire de commande EMCC2400. [12]

II.5. Schéma unifilaire simplifié de l'alimentation Normale-Secours :

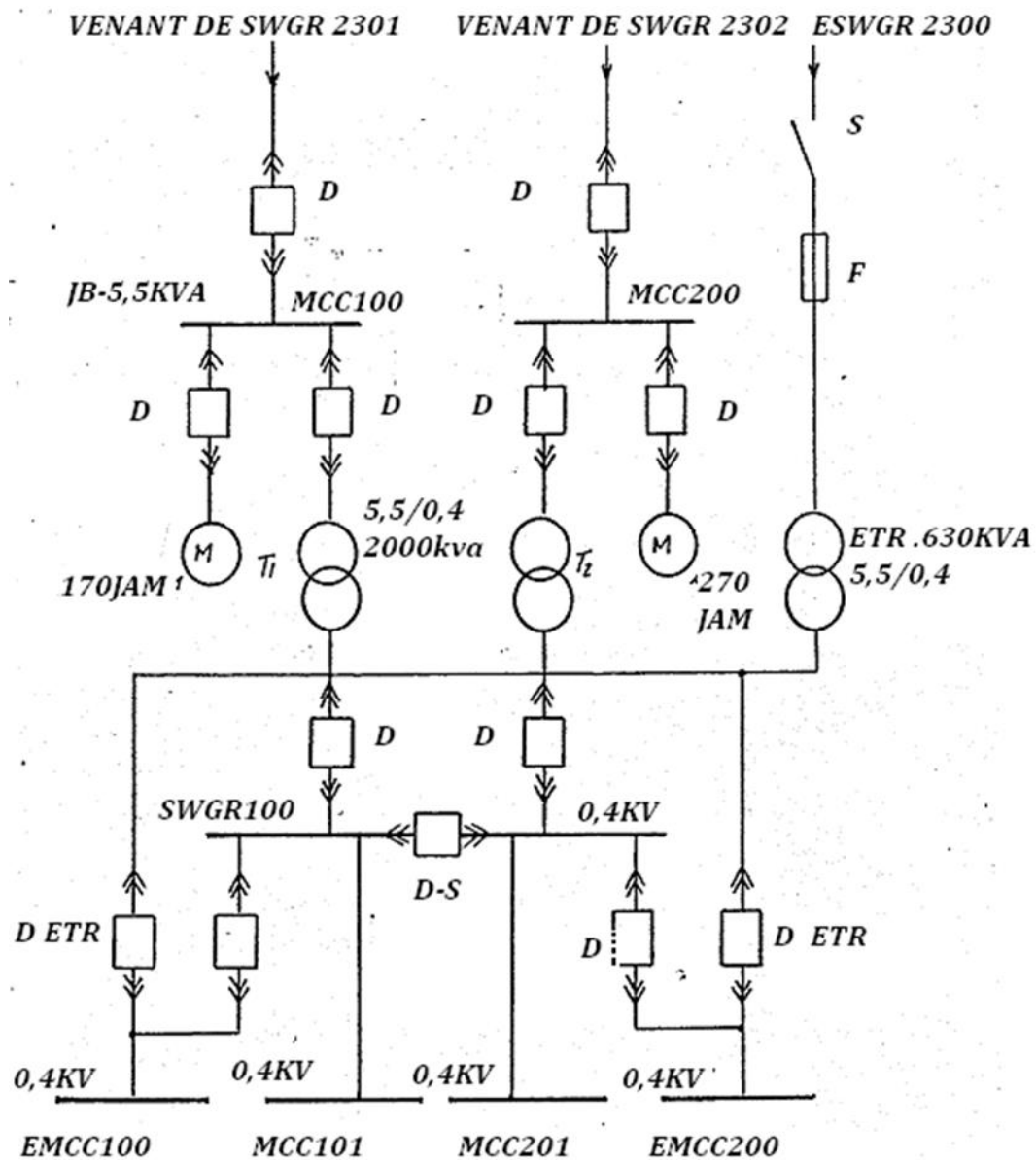


Figure II.3 : alimentation Normale-Secours

- EMCC : vers les consommateurs prioritaires
- MCC : vers les consommateurs normaux des trains de production

II.6. Liste des consommateurs d'une zone : SELON L'ANNEXE [13]**II.7. Calcul des charges électriques de la zone de liquéfaction réseau normal :**

D'après la liste des consommateurs, on les regroupe en trois listes selon leur facteur d'utilisation dans un tableau, puis on calcule pour chaque groupe les puissances calculées actives et réactives de chaque groupe.

$$P_{cal} = f_{\max} P_{moy} = f_{\max} f_u P_n \quad (II.1)$$

$$Q_{cal} = P_{cal} \cdot \text{Tg}(\phi) \quad (II.2)$$

Groupe	G1	G2	G3
<i>Nombre</i>	40	35	80
<i>P nom indiv (KW)</i>	9,4 à 165,9	1,6 à 15	0,3 à 27,4
<i>PΣ (KW)</i>	1772,2	293,4	291,4
<i>M</i>	18	9,3	91
<i>KU</i>	0,91	0,86	0,72
<i>COSφ</i>	0,89	0,9	0,84
<i>Tgφ</i>	0,5	0,48	0,64
<i>Pmoy (KW)</i>	1580	252,3	210
<i>Pmax (KW)</i>	165,9	15	27,4
<i>Qmoy(Kvar)</i>	791,6	122,1	134,4
<i>Kmax</i>	1,02	1,05	1,05
<i>Neff</i>	20	26	34
<i>Pcal (KW)</i>	1611,6	264,9	228,9
<i>Qcal (Kvar)</i>	807,4	128,2	146,5

Tableau II.1 : caractéristiques des groupes de récepteurs

La puissance dans le tableau sont tirées de la manière suivante

$$P_{\sum G1} = \sum_{n=1}^{n=40} P_{nomi} = 1722,2 \text{ Kw}$$

$$P_{\sum G2} = \sum_{n=1}^{n=36} P_{nomi} = 293,4 \text{ Kw}$$

$$P_{\sum G3} = \sum_{n=1}^{n=80} P_{nomi} = 291,4 \text{ Kw}$$

On détermine le rapport m :

$$m = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad (II.3)$$

C'est le rapport entre la puissance maximale et celle minimale du diagramme de charge. Dans notre cas on prend celles de chaque groupe. On détermine m de chaque group

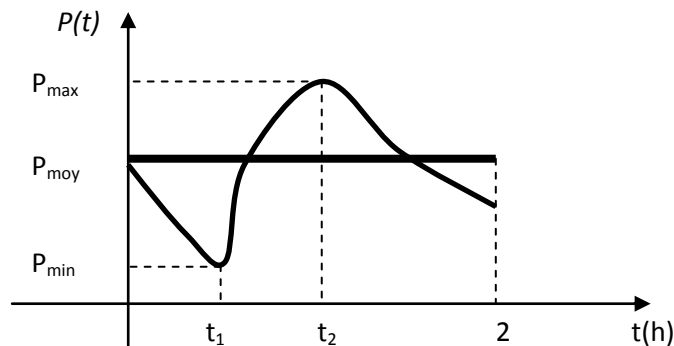


Figure II.4 :le diagramme de charge

$$m_1 = \frac{P_{max1}}{P_{min1}} = \frac{165,9}{9,4} = 18 > 3$$

$$m_2 = \frac{P_{max2}}{P_{min2}} = \frac{15}{1,6} = 9,4 > 3$$

$$m_3 = \frac{P_{max3}}{P_{min3}} = \frac{27,4}{0,3} = 91 > 3$$

On détermine le coefficient d'utilisation de chaque groupe.

$$K_{ut_i} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_{ui} \cdot P_{nomi}}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{nomi}} \quad (II.4)$$

Premier groupe :

$$K_{ut1} = \frac{0,91(42+9,4+16,2+51,6+51,6+94,2) + 0,915 \times 208,4 + 0,92 \times 165,9 + 0,9 \times 70,2 + 0,94 \times 143,2}{42+9,4+16,8+51,6+51,6+32,6 \times 6 + 94,2 + 165,9 + 12,6 + 12,8 + 45}$$

$$K_{ut1} = 0,917$$

$$K_{ut2} = \frac{11,9 \times 0,885 + 0,88 \times 7,6 + 0,825 \times 2,5 + 0,825 \times 2,3 + 0,82 \times 4 + 0,875 \times 17,2 + 0,88 \times 60 + 0,82 \times 3,2 + \dots}{11,9 + 3 + 3,2 + 1,6 + 12,4 + 15 + 15 + 15 + 15 + 7,6 + 8,2 + 3 + 3 + 3 + 2,3 + 2,5 + 7,6 + \dots}$$

$$K_{ut2} = 0,86$$

De même pour K_{ut3}

$$K_{ut3} = 0,72$$

On détermine le cos (phi) pour chaque groupe.

$$\text{Groupe1 } \cos(\phi)_1 = 0,894 \quad \text{Tg}(\phi)_1 = 0,501$$

$$\text{Groupe2 } \cos(\phi)_2 = 0,9 \quad \text{Tg}(\phi)_2 = 0,484$$

$$\text{Groupe3 } \cos(\phi)_3 = 0,84 \quad \text{Tg}(\phi)_3 = 0,64$$

Détermination des puissances moyennes :

D'après la formule $P_{moy} = P_{nom} . Kut$ (II.5)

$$\text{Et } Q_{moy} = P_{moy} . Tg(\phi) \text{ (II.6)}$$

$$\text{Donc } P_{moy1} = P_{\Sigma nom1} . Kut1 = 1722,2 \times 0,917 = 1580 \text{ Kw}$$

$$P_{moy2} = P_{\Sigma nom2} . Kut2 = 293,4 \times 0,86 = 252,3 \text{ Kw}$$

$$P_{moy3} = P_{\Sigma nom3} . Kut3 = 291,4 \times 0,84 = 210 \text{ Kw}$$

Les puissances réactives

$$Q_{moy1} = P_{moy1} . tg(\phi) = 1580 . 0,501 = 791,6 \text{ Kvar}$$

$$Q_{moy2} = P_{moy2} . tg(\phi) = 252,3 . 0,484 = 122,1 \text{ Kvar}$$

$$Q_{moy3} = P_{moy3} . tg(\phi) = 210 . 0,64 = 134,4 \text{ Kvar}$$

Détermination du nombre efficace des consommateurs.

Dans notre cas les trois groupes ont $Kut > 0,2$ et $m > 3$ donc en se rapportant au diagramme (figure) on tire la formule de calcul du nombre efficace

$$n_{eff} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{nomi}}{P_{nommax}} \text{ (II.7)}$$

$$n_{eff1} = \frac{2 P_{\Sigma G1}}{P_{maxG1}} = \frac{2(1722,2) \text{ kw}}{165,9 \text{ kw}} n_{effGr1} = 20,32 \text{ on prend donc } 21$$

De même pour les deux autres groupes

$$\bullet \quad n_{eff2} = \frac{2P_{\Sigma G2}}{P_{maxG2}} = \frac{2(293,4) \text{ kw}}{15 \text{ kw}} n_{effGr2} = 39,12 \text{ on prend donc } 40$$

$$\bullet \quad n_{eff1} = \frac{2P_{\Sigma G1}}{P_{maxG1}} = \frac{2(291,4) \text{ kw}}{27,4 \text{ kw}} n_{effGr2} = 21,27 \text{ on prend donc } 22$$

On détermine le facteur de maximum de chaque groupe d'après le nombre efficace et le facteur d'utilisation

- Groupe 1 : $f_{max1} = f(n_{eff1}; f_{ut1}) = f(21; 0,917) = 1,02$
- Groupe 2 : $f_{max2} = f(n_{eff2}; f_{ut2}) = f(36; 0,84) = 1,03$
- Groupe 3 : $f_{max3} = f(n_{eff3}; f_{ut3}) = f(22; 0,72) = 1,1$

D'après le facteur de maximum on détermine les puissances calculées de chaque groupe.

Les puissances actives : $P_{cal} = f_{max} \cdot P \quad (II.8)$

- Groupe 1 : $P_{cal1} = f_{max1} \cdot P_{moy1} = 1,02 \cdot 1580 = 1611,6 \text{ KW}$
- Groupe 2 : $P_{cal2} = f_{max2} \cdot P_{moy2} = 1,03 \cdot 252,3 = 259,86 \text{ KW}$
- Groupe 3 : $P_{cal3} = f_{max3} \cdot P_{moy3} = 1,1 \cdot 210 = 231 \text{ KW}$

Les puissances réactives : $Q_{cal} = P_{cal} \cdot tg(\varphi) \quad (II.9)$

- Groupe 1 : $Q_{cal1} = P_{cal1} \cdot tg(\varphi)_1 = 1611,6 \cdot 0,501 = 807,4 \text{ KVAR}$
- Groupe 2 : $Q_{cal2} = P_{cal2} \cdot tg(\varphi)_2 = 259,86 \cdot 0,501 = 129,99 \text{ KVAR}$
- Groupe 3 : $Q_{cal3} = P_{cal3} \cdot tg(\varphi)_3 = 231 \cdot 0,501 = 115,73 \text{ KVAR}$

II.8.Détermination de la puissance d'éclairage intérieur et extérieur de la zone :

Dans la zone de liquéfaction, la répartition de la puissance n'est pas uniforme et dépend de la disposition et de l'importance de certaines machines dans le procédé technologique ainsi que la sécurité en particulier les zones de turbocompresseurs.

La puissance nominale totale de l'éclairage de la zone est donnée par le constructeur.

$P_{\text{nomecl}} = 60\text{kw}$ avec un facteur de demande $fd = 0,95$

On détermine la puissance calculée d'éclairage de la zone :

$$P_{\text{cal tot ecl}} = P_{\text{nom tot ecl}} \times fd = 60 \times 0,95 = 57 \text{ kw}$$

On détermine la puissance calculée totale au niveau du jeu de barre SWGR100 d'après les formules suivantes en tenant compte du facteur de diversité f_{div} :

Le facteur de diversité prend en considération la diversité de marche des consommateurs au niveau des jeux de barres, il est toujours inférieur à l'unité.

$$P_{\text{caltot}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{cali}} \quad (\text{II.10}) \quad Q_{\text{caltot}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{cali}} \quad (\text{II.11})$$

$$P_{\text{caltot}} = P_{\text{cal1}} + P_{\text{cal2}} + P_{\text{cal3}} + P_{\text{calecl}} = 1611,6 + 259,86 + 231 + 57 = 2158,4\text{KW}$$

$$Q_{\text{caltot}} = Q_{\text{cal1}} + Q_{\text{cal2}} + Q_{\text{cal3}} = 807,4 + 124,73 + 147,89 = 1079,8 \text{ k var}$$

La puissance réactive d'éclairage est supposée négligeable pour les raisons suivantes

- ✓ L'éclairage à incandescence est supposé sans puissance réactive, donc avec un cosinus égal à l'unité
- ✓ L'éclairage au Néon est supposé compensé donc le cosinus est presque égal à l'unité

On détermine les puissances en tenant compte du facteur de diversité qui est donné par le constructeur $f_{\text{div}} = 0,89$

$$P_{\text{caltot}} = f_{\text{div}} \sum_{i=1}^n P_{\text{cali}} \quad P_{\text{caltot}} = 1925\text{KW}$$

$$Q_{\text{caltot}} = f_{\text{div}} \sum_{i=1}^n Q_{\text{cali}} \quad Q_{\text{caltot}} = 960,8 \text{ KVAR}$$

La puissance apparente totale au niveau du jeu de barre SWGR100 est donc.

$$S_{caltot} = \sqrt{P_{caltot}^2 + Q_{caltot}^2} \quad S_{caltot} = \sqrt{(1925)^2 + (960)^2} = 2151,6KVA$$

On détermine les pertes dans les transformateurs de la sous-station :

Puisque les transformateurs ne sont pas encore choisis ni connu, donc les pertes seront prises d'après les relations suivantes :

- Les pertes actives

$$\Delta P_{SSA} = 0.03 S_{caltot} = 64,8KW$$

$$\Delta Q_{SSA} = 0.10 S_{caltot} = 215,16KVAR$$

- En ajoutant les pertes on tire La puissance calculée totale de la zone avant compensation :

$$S_{caltot} = \sqrt{(P_{caltot} + \Delta P_{SSA})^2 + (Q_{caltot} + \Delta Q_{SSA})^2}$$

$$S_{caltot} = 2314,25KVA$$

Remarque : vue l'absence des caractéristiques des câbles de transport souterrains, les pertes dans ces derniers n'ont pas été prises en considération dans ce calcul.

II.9.Choix du nombre et de la puissance des transformateurs des sous-stations :

Il est important de déterminer la puissance optimale d'un transformateur car :

- Surdimensionner un transformateur entraîne un investissement excessif et des pertes à vide inutiles, mais la réduction des pertes en charge peut être très importante.
- sous-dimensionner entraîne un fonctionnement quasi permanent à pleine charge

et souvent en surcharge avec des conséquences en chaîne :

- rendement inférieur (c'est de 50 à 70 % de sa charge nominale qu'un Transformateur a le meilleur rendement)
- échauffement des enroulements, entraînant l'ouverture des appareils de protection et l'arrêt plus ou moins prolongé de l'installation
- vieillissement prématuré des isolants pouvant aller jusqu'à la mise hors service du Transformateur ; la CEI 60354 signale qu'un dépassement permanent de la température

Maximale du diélectrique de 6 °C réduit de moitié la durée de vie des transformateurs.

Le nombre de transformateurs des sous-stations est déterminé d'après la classification de l'unité de liquéfaction ;

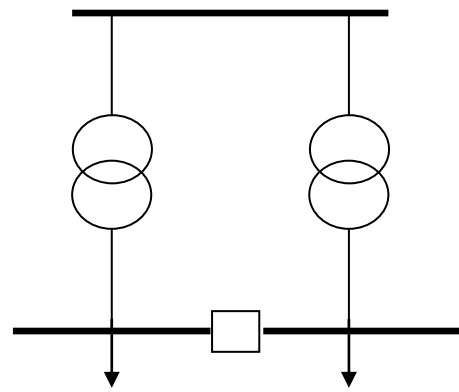
Le complexe de gaz d'Arzew (GNL2-Z) est classé de première catégorie vue son importance dans l'économie du pays. Toute interruption dans l'alimentation du courant entraîne des pertes considérables pour l'économie du pays.

Les consommateurs de première catégorie sont alimentés à partir de deux arrivées séparées et par l'intermédiaire d'au moins deux transformateurs qui fonctionnent en parallèle.

Deux arrivées

Deux transformateurs

Identiques



Jeu de barre avec DS

Figure II.5 : sous-station d'alimentation

Le choix de la puissance des transformateurs se fait d'après le facteur de charge et les catalogues des puissances normalisées :

- En régime normal : chaque transformateur délivre entre 70% à 80% de sa puissance nominale
- En régime perturbé : une arrivée ou un transformateur est en panne donc le second transformateur assure l'alimentation de toute l'unité mais à des conditions. Six heures de marche par jour pendant cinq jours à 6 jours maximum. Donc le transformateur supporte une surcharge importante sans aucun danger.

II.9.1. Calcul de la puissance du transformateur :

En régime normal la sous-station est chargée à 70% de sa capacité, donc :

$$2S_{transfo70\%} = S_{caltot} \text{ (II.12)}$$

$$S_{caltot} = 0,7.2314,25\text{KVA} = 1619,9\text{KVA}$$

D'après le catalogue ont choisi le transformateur qui a une puissance supérieure et on vérifie les deux conditions du régime normal et perturbé.

Le transformateur tiré du catalogue est le suivant

P nominale Du transfo	Pertes à vide PV	Pertes cuivre PC	Courant à vide I_0	Tension à vide	Prix V (ancien)
KVA	KW	KW	En % I_{nom}	En % U_{nom}	mDA
2000	4,5	21	1,8	5,5	720

Tableau II.2 :caractéristiques de transformateur des sous-stations choisir [14]

- Vérification du choix de ce transformateur :Première condition du régime normal ou les deux transformateurs sont en marche parallèle avec le disjoncteur sectionneur ouvert.

$$- F_{charge} = \frac{S_{caltot}}{2S_{transfo}} < (0,7...0,8) \text{ régime normal}$$

$$- F_{charge} = \frac{S_{caltot}}{S_{transfo}} < (1,4...1,6) \text{ régime perturbé}$$

$$- F_{charge} = \frac{2314,25}{2 \times 2000} = 0,5785 \text{ Condition vérifiée}$$

$$- F_{charge} = \frac{2314,25}{2000} = 1,1571 \text{ Condition vérifiée}$$

II.10. Calcul des charges électriques de la zone de liquéfaction réseau secours:

Le réseau secours est d'une grande importance dans la zone de liquéfaction de gaz, car il permet d'abord l'arrêt et le démarrage de l'usine sans danger en cas d'absence de courant dans le réseau normal, et cela en assurant l'alimentation des consommateurs primordiaux tels que la lubrification, l'alimentation des motopompes alimentant les chaudières basse pression de zone.

L'existence d'un transformateur et d'une ligne de secours s'avère donc indispensable, et pour faire le calcul, le choix et la vérification du transformateur de secours nous devons d'abord faire la liste de l'ensemble des consommateurs de secours.

On opère de la même manière que pour le régime normal en faisant des groupes selon le facteur d'utilisation. On dispose de deux groupes.

Groupe	G1	G2
<i>Nombre</i>	17	16
<i>P nom indiv</i> (KW)	3 à 37,5	1,5 à 7
<i>P_Σ</i> (KW)	271	52,6
<i>M</i>	12,5	4,66
<i>KU</i>	0,84	0,73
<i>COSφ</i>	0,886	0,85
<i>Tgφ</i>	0,523	0,617
<i>Pmoy</i> (KW)	227,6	38,4
<i>Pmax</i> (KW)	37,5	7
<i>Qmoy</i> (Kvar)	119,05	23,7
<i>Kmax</i>	1,06	1,11
<i>Neff</i>	15	15
<i>Pcal</i> (KW)	241,9	42,46
<i>Qcal</i> (Kvar)	126,9	26,3

TableauII.3 : des groupes de consommateurs de secours

En remplaçant dans les formules on tire le facteur d'utilisation de chaque groupe

$$K_{ut_i} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_{ui} \cdot P_{nomi}}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{nomi}} \quad (\text{II.13})$$

- $k_{ut1} = 0,84$
- $K_{ut2} = 0,73$

On détermine les puissances moyennes actives et réactives d'après la formule
 $P_{moy} = P_{nom} \cdot K_{ut}$ (II.14)

Et $Q_{moy} = P_{moy} \cdot \tan(\phi)$ (II.15)

Dans notre cas les trois groupes ont $K_{ut} > 0,2$ et $m > 3$ donc en se rapportant au diagramme (figure II.4) on tire la formule de calcul du nombre efficace

$$n_{eff} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{nomi}}{P_{nommax}} \quad (II.16)$$

En remplaçant les valeurs on tire

$$n_{eff1} = 15 \quad \text{et} \quad n_{eff2} = 15$$

Puis de la même manière que les charges normales, on tire le facteur de maximum :

- Groupe 1 : $f_{max1} = f(n_{eff1}; f_{ut1}) = f(15; 0,84) = 1,06$
- Groupe 2 : $f_{max2} = f(n_{eff2}; f_{ut2}) = f(15; 0,75) = 1,11$

D'après les valeurs déterminées, puissances moyennes et facteur de maximum on détermine les puissances calculées :

- Les puissances actives : $P_{cal} = f_{max} \cdot P_{moy}$ (II.17)

- Groupe 1 : $P_{cal1} = f_{max1} \cdot P_{moy1} = 1,06 \cdot 227,64 = 241,29 \text{ KW}$
- Groupe 2 : $P_{cal2} = f_{max2} \cdot P_{moy2} = 1,11 \cdot 38,4 = 42,62 \text{ KW}$

Les puissances réactives : $Q_{cal} = P_{cal} \cdot \tan(\varphi)$ (II.18)

- Groupe 1 : $Q_{cal1} = P_{cal1} \cdot \tan(\varphi)_1 = 241,29 \cdot 0,523 = 126,19 \text{ KVAR}$
- Groupe 2 : $Q_{cal2} = P_{cal2} \cdot \tan(\varphi)_2 = 42,62 \cdot 0,617 = 26,3 \text{ KVAR}$

On détermine les puissances totales au niveau du jeu de barre.

$$P_{caltot} = \sum_{i=1}^n P_{cali}, \quad Q_{caltot} = \sum_{i=1}^n Q_{cali} \quad (\text{II.19})$$

On tire donc :

$$P_{caltot} = P_{cal1} + P_{cal2} + P_{calecl} = 241,29 + 42,62 + 57 = 340,9 \text{ KW}$$

$$Q_{caltot} = Q_{cal1} + Q_{cal2} + Q_{cal3} = 126,19 + 26,3 = 152,49 \text{ k var}$$

$$S_{caltot} = \sqrt{P_{caltot}^2 + Q_{caltot}^2} \quad S_{cal,tot} = \sqrt{(340,9)^2 + (152,49)^2} = 393,45 \text{ KVA}$$

Le transformateur n'est pas encore choisis ni connu, donc les pertes seront prises d'après les relations suivantes :

Les pertes actives

$$\Delta P_{SSA} = 0.03 S_{caltot} = 11,2 \text{ KW}$$

$$\Delta Q_{SSA} = 0.10 S_{caltot} = 39,345 \text{ KVAR}$$

En ajoutant les pertes on tire La puissance calculée totale de la zone avant compensation :

$$S_{caltot} = \sqrt{(P_{caltot} + \Delta P_{SSA})^2 + (Q_{caltot} + \Delta Q_{SSA})^2}$$

$$S_{\text{caltot}} = 400,7 \text{ KVA}$$

II-11-Choix du nombre et de la puissance du transformateur de secours :

Etant donné que le transformateur de secours ne fonctionne que lors de la disparition totale de l'énergie électrique normale produite par la centrale propre de l'usine ou lors des débranchements des transformateurs de la sous-station principale, on peut donc classer ce réseau secours dans la troisième catégorie. Donc on prend un seul transformateur de secours.

D'après la puissance calculée totale, on choisit dans le catalogue le transformateur de puissance normalisé.

P nominale Du transfo	Pertes a vide PV	Pertes cuivre PC	Courant a vide I_0	Tension a vide	Prix V (ancien)
KVA	KW	KW	En % Inom	En % Unom	Mda
630	2,27	8,5	3,2	5,5	382

Tableau II.4 : caractéristiques du transformateur de secours choisi [8]

Vérification du choix du transformateur de secours d'après le facteur de charge :

$$F_{\text{charge}} = \frac{400,7}{630} = 0,635 < (0,7 \dots 0,8).$$

La condition est donc vérifiée.

II-12-Choix de l'emplacement des transformateurs des sous-stations :

Le choix rationnel de l'emplacement des transformateurs est d'une grande importance car il permet une distribution optimale de l'énergie électrique au sein du complexe, ce qui engendre par la suite des pertes électriques minimales, des coûts d'investissements réduits. Généralement, on place le poste abaisseur principal PAP ou sous-stations au centre conventionnel des charges électriques de l'usine. [8]

Pour les sous station d'alimentation (SSA), on les place à l'extérieur des ateliers mais du côté où se trouve la puissance consommée la plus importante tout en prenant en considération le côté sécuritaire du moment que le complexe est Gazier.

Dans le cas général le choix se fait comme suit.

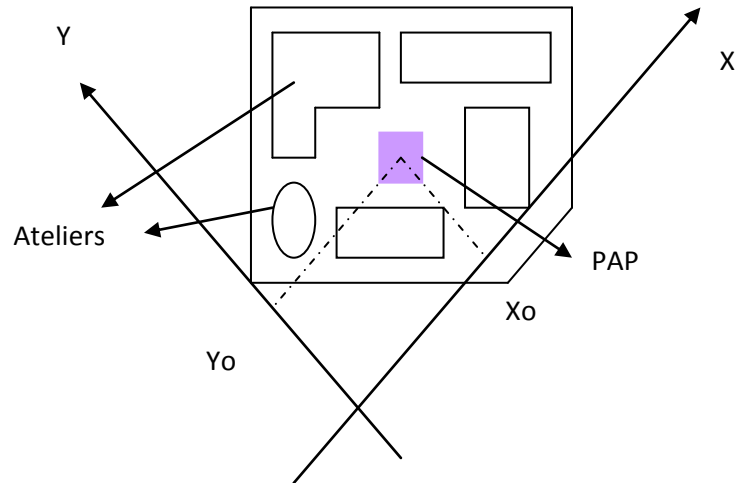


Figure II-8- : exemple de Plan de masse d'une usine

Les coordonnées seront tirées d'après les formules suivantes :

$$X_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{cali} X_i}{\sum_{i=1}^n P_{cal}} \quad (\text{II.20})$$

$$Y_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{cali} Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{cal}} \quad (\text{II.21})$$

Par mesure de sécurité, on place généralement le poste abaisseur principal PAP ainsi que les sous-stations à l'extérieur de l'usine.

Conclusion :

On remarque que les transformateurs choisis d'après le calcul sont les mêmes que ceux existants dans les sous-stations de la zone de liquéfaction.

Ces calculs nous ont permis aussi de constater que les transformateurs sont légèrement sous chargés que ce soit en régime normal ou en régime perturbé, cela est acceptable, est peut-être même bénéfique dans la mesure où l'usine projette de travailler dans des régimes très chargés ou même d'ajouter d'éventuels consommateurs pour l'expansion du complexe.