

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2022

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Par

❖ Elarbi becherif lakhdar

❖ Hammou amour

**Analyse de fonctionnement des sous-stations dans le réseau électrique:
cas de la sous station de Sidi Benhaoua**

Soutenu le 14 /07 / 2022 devant le jury composé de :

Président :	M.Azzeddine Mohammed	MCB	Université de Mostaganem.
Examineur :	M.Omari Hamza	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	M.Leila ghomri	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2021/2022

Index

Chapitre 1:

1. Généralités sur les réseaux électriques	
1.1 introduction	6
1.2 Historique	6
1.3 Structure des réseaux électriques	9
1.4 Production de l'énergie	11
1.5 Les Lignes de transmission	12
1.6 Définition de la Sous_station (poste électrique)	15
1.7 Ligne de distribution	18
1.8 Conclusion.....	18

Chapitre 2

2. Etude des sous- stations (poste électrique)	
2.1 Introduction	21
2.2 Historique	21
2.3 Problématique engendrée.....	23
2.4 Types des sous-station.....	25
2.5 Les composants de la sous station.....	26
2.6 Contrôle et communication.....	44
2.7 Conclusion.....	46

Chapitre 3

3. Les défis et problématiques et solutions	
3.1 Introduction.....	48
3.2 Problématiques possibles sur les transformateurs.....	48
3.3 La mise à la terre et son rôle dans la protection d'une sous-station.....	50
3.4 Circuit à terre accidentel.....	51
3.5 Tension tolérable.....	53
3.6 Tensions de contact et de pas réelles.....	55
3.7 Le choc électrique.....	58
3.8 Les défis généraux	58
3.9 Mesures préventives	61
3.10 Conclusion.....	62

Chapitre 4

4. La réseau Algérien et le poste de Sidi Benhaoua	
4.1 Introduction	64
4.2 Les différentes branches du réseau Algérien.....	64
4.3 Le poste électrique de la route W49(masra/mostaganem).....	65
4.4 La sous- station de Sidi Benhaoua	65
4.5 Etude du transformateur de la sous-station.....	66
4.6 Explication du fonctionnement du poste électrique isolé par gaz.....	67
4.7 Les types de défauts survenant dans la sous-station.....	68
4.8 Contrôle et maintenance du poste benhaoua.....	70
4.9 Conclusion.....	71
Conclusion générale.....	72
Références générales	73

Introduction Générale

Vos lumières peuvent être allumés en un instant, mais c'est certainement plus compliqué que cela.

Contrairement à l'eau, au gaz naturel, au bois de chauffage, à la nourriture ou à toute autre chose que vous consommez dans votre maison, l'électricité est utilisée instantanément. Cela signifie que dès que vous allumez votre interrupteur, un générateur doit produire plus de puissance. Le réseau électrique orchestre ce processus à une échelle épique et avec des résultats presque parfaits.

la sous-station est l'une de ses parties importantes et fondamentales, elle fonctionne comme une zone intermédiaire entre les lignes de transmission qui retiennent l'énergie électrique haute tension des centres de production aux lignes de distribution qui fournissent de l'électricité moyenne et basse tension à différents clients tels que les écoles, les usines et les maisons comme la mienne et la vôtre, et ce sera notre sujet principal dans cette recherche et cela sera expliqué plus en détail dans notre étude présentée dans notre mémoire .

Bien que ce système massivement complexe puisse sembler une entreprise gargantuesque, comprendre comment chaque réseau électrique fonctionne à un niveau élevé est assez simple.

Nous allons dans ce mémoire expliquer au chapitre I, le fonctionnement des réseaux électriques en général, puis détailler en chapitre II la sous station.

Le chapitre III et VI seront le sujet d'étude de la sous station de Sidi Benhaoua où nous avons effectué notre stage.

Chapitre 1:
Généralités sur les réseaux électriques

1 - introduction

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.



Figure 1 :Nombreuses lignes électriques aux abords d'un poste



Figure 2 :Départs de lignes de distribution à 60kV.

2.Historique :

Un réseau électrique étant composé de machines de production et de consommation, ainsi que de structures (lignes, transformateurs) pour les relier, les réseaux électriques ne sont apparus que vers la fin XIX^e siècle, lorsque chaque élément avait atteint une maturité technologique suffisante.

2.1 Premiers réseaux à courant continu



Figure 3 : Edison a été un pionnier dans la réalisation des premiers réseaux électriques en courant continu

Lors de la première moitié du XIX^e siècle, les inventeurs mettent au point de nombreux types de machines électriques à courant continu, mais leur utilisation de manière industrielle ne se développe qu'après l'invention de la dynamo (génératrice de courant continu) par Zénobe Gramme en 1869 (présentée à l'Académie des sciences, à Paris, en 1871), qui est rapidement améliorée.

À l'Exposition internationale d'Électricité de Paris de 1881, Marcel Deprez présente pour la première fois une installation de distribution d'énergie électrique alimentée par deux dynamos. À l'automne 1882, les premiers réseaux électriques apparaissent simultanément à New York et Bellegarde, en France. Ils sont très locaux et utilisent le courant continu.

Thomas Edison a joué un rôle déterminant dans le développement de l'électricité : il fonde en 1878 l'Edison Electric Light Co (qui devient en 1892 General Electric), dépose le brevet de l'ampoule électrique en 1879, puis crée le réseau électrique de New York. Ce dernier, qui avait essentiellement pour but l'éclairage, se développe rapidement : de 1 200 ampoules en 1882, il passe à 10 000 ampoules l'année suivante. Ce réseau, qui souffre de nombreuses pannes, est constitué de petites centrales électriques (30 kW) et d'un réseau de distribution à 110 V. Il est cependant très limité car l'acheminement de l'électricité n'est possible que sur quelques kilomètres.

À cette époque, les premières expérimentations de transport de l'énergie électrique se développent et sont menées notamment par Marcel Deprez, qui utilise le courant continu. Ce sont cependant des échecs relatifs car elles ne permettent pas le transport de puissances industrielles (Deprez réussit en 1882 à transporter 400 W sur 57 km de distance, mais avec un rendement global de seulement 30 %). Les ingénieurs **Lucien Gaulard** et **John Gibbs** travaillent quant à eux sur le courant alternatif. Bien que le transformateur soit connu depuis 1837, ils mettent au point en 1884 un transformateur de forte puissance utilisant du courant **triphase**, ce qui permet de changer facilement le niveau de tension. La même année ils démontrent l'intérêt du transformateur en mettant en service une ligne de 80 km de long alimenté en courant alternatif sous 2000 V.

3 : Choix dans le transport et la distribution

3.1 Courant alternatif ou continu ?

Le transport de puissances importantes sur de longues distances nécessite des tensions élevées. Il faut donc des transformateurs pour passer d'une tension à une autre ; or les transformateurs passifs ne fonctionnent qu'avec du courant alternatif. Les changements de tension sur un système à courant continu ne sont pas aussi efficaces (plus de pertes) qu'en alternatif (transformateur). Les gains lors du transport d'électricité sur les lignes sont contrebalancés par les pertes plus importantes lors des phases d'élévation de la tension et d'abaissement de la tension. De plus la coupure des courants dans les disjoncteurs est facilitée par le *passage* répétitif à zéro du courant alternatif. Ce dernier entraîne quand même des contraintes d'utilisation, notamment les deux suivantes :

- l'existence d'effets inductifs et capacitifs dans les lignes électriques qu'il faut compenser afin d'en limiter les effets sur la tension ;
- la création d'un effet de peau qui concentre le courant à la périphérie des câbles électriques, augmentant ainsi les pertes Joules et nécessitant dans certains cas des dispositions particulières.

Le courant alternatif s'est imposé dans presque tous les réseaux, mais pour certains projets particuliers le courant continu devient plus intéressant malgré l'obligation de recourir à des stations de conversion onéreuses (exemple des interconnexions sous-marines ou celles de très longues distances où il limite la perte en ligne). L'amélioration des performances et la baisse du coût des composants d'électronique de puissance nécessaires pour les stations de conversion rendent les réseaux ou interconnexions en courant continu haute tension (HVDC, jusqu'à au moins 800 kV) particulièrement intéressants et rentables dans certains projets, en particulier ceux où la possibilité de n'utiliser que deux conducteurs, voire un seul, diminue les coûts liés à la longueur et/ou à l'infrastructure support (ex. : tunnels).

3.2 pourquoi une tension sinusoïdale ?

La solution la plus commode pour produire de manière industrielle de l'énergie électrique est l'entraînement d'un alternateur par une machine tournante, comme une turbine, un moteur à combustion interne, une éolienne... le tout en rotation autour d'un axe. De manière naturelle ces installations produisent des tensions sinusoïdales.

En sens inverse et tout aussi naturellement, ces tensions sinusoïdales permettent l'entraînement régulier d'un moteur électrique.

Cette facilité d'utilisation à la production et à l'usage dans les machines tournantes constituent les deux grands atouts de la tension sinusoïdale.

3.4 Système monophasé ou triphasé ?

Il est tout à fait possible de réaliser un réseau uniquement en courant monophasé. Les raisons qui ont conduit à adopter le réseau triphasé sont les avantages techniques et économiques importants qu'il présente :

- Un alternateur de très forte puissance ne peut pas fonctionner en produisant un courant monophasé car la puissance fluctuante qui en résulte provoque une destruction de l'arbre de liaison entre l'alternateur et la source d'énergie mécanique qui le met en rotation. En effet, un système monophasé voit sa puissance instantanée passer par une valeur nulle à chaque oscillation de l'onde de tension (lorsque la tension ou l'intensité passe par zéro).

Chapitre 01 : généralité sur le reseau électrique

La puissance instantanée est donc variable. Au contraire, les systèmes triphasés équilibrés assurent une puissance instantanée constante, c'est-à-dire "sans à-coup", ce qui est important en électromécanique.

- Le transport d'une même puissance électrique en triphasé (sans neutre) nécessite une section de câbles conducteurs deux fois plus faible qu'en monophasé. L'économie qui en découle sur le coût de réalisation des lignes est notable.
- Les courants triphasés peuvent produire des champs magnétiques tournants en répartissant d'une manière spécifique les bobinages sur un rotor. Or les machines électriques qui produisent et utilisent ces courants fonctionnent de manière optimale en régime triphasé.
- Une distribution de l'électricité en courant triphasé avec fil de neutre permet de proposer pour un même réseau deux tensions d'utilisation différentes selon que l'on utilise une ou deux phases :
 - entre une phase et le neutre : par exemple 230 V en Europe,
 - entre deux phases : par exemple 400 V en Europe

4 - Structure des réseaux électriques :

4.1 - Réseau de transport

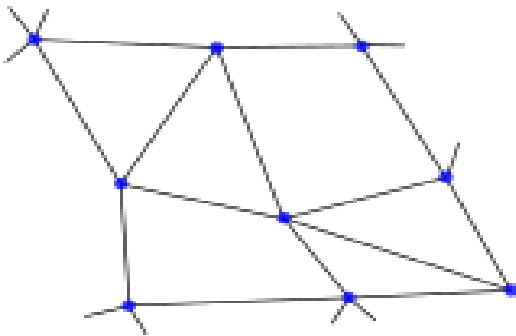


Figure 4 : Les réseaux de transport sont basés sur une structure de réseau maillée

Les réseaux de transport sont à haute tension (HTB) (de 50 kV à 400 kV) et ont pour but de transporter l'énergie des grands centres de production vers les régions consommatrices d'électricité. Les grandes puissances transitées imposent des lignes électriques de forte capacité de transit, ainsi qu'une structure maillée (ou interconnectée). Les réseaux maillés garantissent une très bonne sécurité d'alimentation, car la perte de n'importe quel élément (ligne électrique, transformateur ou groupe de production) n'entraîne aucune coupure d'électricité si l'exploitant du réseau de transport respecte la règle dite du "N-1" (possibilité de perdre n'importe quel élément du réseau sans conséquences inacceptables pour les consommateurs).

4.2 - Réseau de répartition

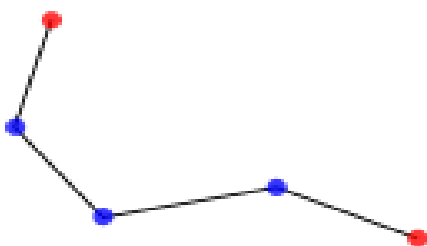


Figure 5 : Entre les 2 postes rouges, la structure est bouclée. Les réseaux de répartition ont souvent cette structure dans les régions faiblement consommatrices

Les réseaux de répartition sont à haute tension (de l'ordre de 30 à 150 kV) et ont pour but d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie y est injectée essentiellement par le réseau de transport via des transformateurs, mais également par des centrales électriques de moyennes puissances (inférieures à environ 100 MW). Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région.

Ils ont une structure à la fois maillée et bouclée suivant les régions considérées. Contrairement aux réseaux de transport qui sont toujours bouclés (afin de pouvoir assurer un secours immédiat en N-1), les réseaux de répartition peuvent être exploités bouclés ou débouclés selon les transits sur le réseau (débouclé signifie qu'un disjoncteur est ouvert sur l'artère, limitant ainsi les capacités de secours en N-1). Les problèmes de report de charge se posent également pour le réseau de répartition, sa conduite est donc assurée en coordination avec celle du réseau de transport et nécessite également des moyens de simulation en temps réel.

4.3 - Réseau de distribution.

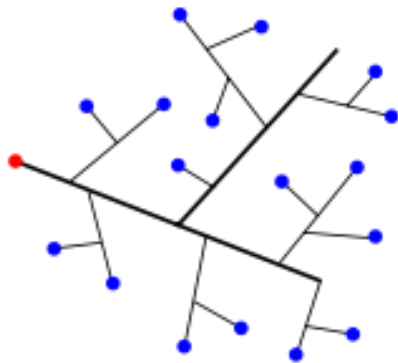


Figure 6 : Les réseaux de distribution sont généralement basés sur une structure arborescente de réseau : à partir d'un poste source (en rouge), l'énergie parcourt l'artère ainsi que ses dérivations avant d'arriver aux postes de transformation HTA/BTB

Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Il existe deux sous niveaux de tension :

- les réseaux moyenne tension (anciennement MT devenu HTA de 1 à 50 kV) ;
- les réseaux basse tension (BT de 50 à 1000 V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs (entreprises et locaux d'habitations) "tarif à puissance limitée 12 kVA maxi en

Chapitre 01 : généralité sur le reseau électrique

230 V (60 A) et 36 KVA maxi en $\frac{230}{400}$ V (60 A) ou "tarif à puissance surveillée" en 400 V de 36 à 250 KVA (60 à 400 A)

•

5- Production d'électricité

La production d'électricité est essentiellement un secteur industriel qui approvisionne en énergie électrique les fournisseurs d'électricité. Ceux-ci la livrent ensuite aux consommateurs en utilisant les réseaux de transport et de distribution.

La production d'électricité est réalisée depuis la fin du XIX^e siècle dans des centrales électriques. Les centrales transforment des énergies primaires, généralement grâce à des générateurs électriques entraînés soit par une machine thermique alimentée en combustible fossile (charbon, gaz naturel ou pétrole), en combustible organique (biomasse, déchets), en énergie nucléaire ou en énergie géothermique, soit directement par l'énergie mécanique hydroélectrique ou éolienne ou par l'énergie solaire.



Figure 7 : Production d'énergie électrique par Gaz naturel



Figure 8 : Production d'énergie par barrages

5-1 Moyens de production

Les moyens de production sont diversifiés et dépendent de nombreux facteurs, notamment :

- les techniques disponibles ;
- la réactivité de mise en œuvre ;
- la production nécessaire ;
- le rendement possible ;
- les coûts d'investissement, d'exploitation et de déconstruction ;
- le coût des éventuelles matières premières ;
- la disponibilité locale de ces matières premières ou les moyens d'acheminement ;
- les impacts écologiques occasionnés.

5.2 Différents moyens de production d'électricité

Les types d'énergie les plus largement utilisées pour produire de l'électricité sont :

- Énergie hydroélectrique, Force de la gravité : barrage ou centrale, centrale au fil de l'eau
- Énergie nucléaire : centrale nucléaire (par fission nucléaire)
- Énergie thermique : centrale thermique au charbon, au fioul ou au gaz (utilisés en majorité dans la production de l'énergie du réseau Algérien)
- Énergie éolienne : éolienne
- Rayonnement solaire : panneau, centrale solaire photovoltaïque ou centrale thermodynamique
- Géothermie : centrale géothermique
- Biomasse

5.3 - Techniques en développement

- Four solaire (énergie solaire thermique)
- Tour solaire (énergie solaire thermique)
- Usine marémotrice (énergie marémotrice)
- Centrale nucléaire (par fusion nucléaire)
- Hydrolienne (énergie des courants marins)
- Énergie Maré thermique
- Énergie des vagues
- Énergie osmotique
- Gazéification de biomasse
- Thermoélectricité
- Turbine à hydrogène naturel (à Bourakébougou, au Mali)

6 - Transport d'énergie électrique :

Le **transport d'énergie électrique** est le mouvement massif **d'énergie électrique** d'un site de production, tel qu'une **centrale électrique**, à un **poste électrique**. Les lignes interconnectées qui facilitent ce mouvement sont appelées réseau de transport. Ceci est distinct du câblage local entre les sous-stations à haute tension et les clients, ce qui est généralement appelé la **distribution d'énergie électrique**. Le réseau de transport et de distribution combiné est connu sous le nom de « **powergrid** »,



Figure 9 : 220 kV triphasé puissance électrique des Lignes de Transmission au Barrage de Grand Coulée

Une large zone synchrone de la grille (Réseau maillé en tension continue), aussi connu comme une interconnexion en Amérique du Nord, relie directement un grand nombre de générateurs de livraison d'alimentation en courant alternatif (CA) avec la fréquence identique d'un grand nombre de consommateurs. Par exemple, il y a quatre grandes interconnexions en Amérique du Nord (Western Interconnection (en), Eastern Interconnection, Interconnexion et Electric Reliability Council of Texas (en) (ERCOT)).

Historiquement, les lignes de transport et de distribution appartenaient à la même société, mais à partir des années 1990, de nombreux pays ont libéralisé (en) la régulation du marché de l'électricité d'une manière qui a conduit à séparer les activités de transport d'électricité des activités de distribution

Chapitre 01 : généralité sur le réseau électrique

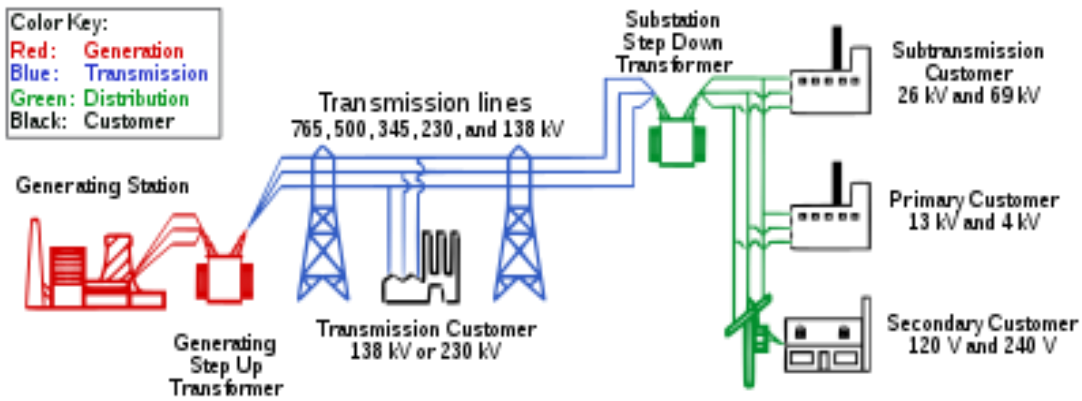


Figure 10 : Schéma d'un système de l'énergie électrique; système de transmission est en bleu

L'électricité est transmise à haute tension (115 kV ou plus) pour réduire la perte d'énergie qui se produit dans la transmission à longue distance. La puissance est généralement transmise par des lignes électriques aériennes. La transmission d'énergie souterraine a un coût d'installation significativement plus élevé et des limitations opérationnelles plus grandes, mais réduit les coûts de maintenance. La transmission souterraine est parfois utilisée dans les zones urbaines ou dans des endroits écologiquement sensibles.

6.1 - La transmission aérienne :



figure 11 : Une ligne de transmission d'énergie à quatre circuits et deux tensions (220/110 kV)



figure 12 : section de cable transmission

Un ACSR typique. Le conducteur se compose de sept brins d'acier entourés de quatre couches d'aluminium

Les conducteurs aériens à haute tension ne sont pas recouverts d'isolant. Le matériau conducteur est presque toujours un alliage d'aluminium, réalisé en plusieurs brins et éventuellement renforcé par des brins d'acier. Le cuivre était parfois utilisé pour la transmission aérienne, mais l'aluminium est plus léger, induit des performances légèrement réduites et coûte beaucoup moins cher. Les conducteurs aériens sont une marchandise fournie par plusieurs sociétés dans le monde entier. Il existe des sections de conducteurs allant de 12 mm^2 (#6 American wire gauge) à 750 mm^2 (surface de 1 590 000 mils circulaires), avec des variations dans la résistance et la capacité. En raison de la limitation de courant, plusieurs câbles parallèles (appelés conducteur en faisceaux, bundle conductors en anglais) sont utilisés lorsqu'une plus grande capacité est nécessaire. Les conducteurs en faisceau sont également utilisés à haute tension pour réduire la perte d'énergie causée par la décharge par effet corona.

Aujourd'hui, les tensions au niveau des réseaux de transport électrique sont généralement de 110 kV et plus. Les tensions inférieures, telles que 66 kV et 33 kV, sont généralement considérées comme

des tensions de sous-transmission, mais sont parfois utilisées sur des lignes longues avec des charges légères. Les tensions inférieures à 33 kV sont généralement utilisées pour la distribution. Les tensions supérieures à 765 kV sont considérées comme extra-haute tension et nécessitent des conceptions différentes par rapport aux équipements utilisés à des tensions inférieures.

7 - La sous-station

7.1 - introduction

À l'heure actuelle, la demande d'énergie électrique augmente rapidement et cela peut être satisfait par les sous-stations de production d'électricité. Il existe différents types de sous-stations de production d'énergie telles que thermique, atomique, et hydro-électrique. En fonction de la disponibilité de différentes ressources, les sous-stations construisent à différents endroits, mais ces emplacements peuvent ne pas être plus proches des centres de charge. L'utilisation réelle de l'énergie peut être effectuée par le centre de distribution. Il est donc essentiel de transmettre l'énergie de la sous-station aux emplacements des centres de distribution. Ainsi, des réseaux de transmission longs et élevés sont nécessaires pour cette fonction.

Chapitre 01 : généralité sur le reseau électrique

La puissance est générée assez au niveau du niveau de basse tension cependant, il est peu coûteux de fournir la puissance à un niveau de haute tension. Pour préserver les niveaux de tension élevés et bas, un certain nombre de stations de commutation et de transformation doivent être produites entre le lieu de production et les clients. Généralement, ces deux stations sont appelées sous-stations électriques. Cet article traite différents types de sous-stations



figure 13 : une module d'une sous-station

7.2 - Qu'est-ce qu'une sous-station?

Une sous-station est un système électrique avec une capacité haute tension et peut être utilisé pour contrôler l'appareil, les générateurs, circuits électriques, etc. Les sous-stations sont principalement utilisées pour convertir le courant alternatif (courant alternatif) en courant continu (courant continu). Certains types de sous-stations sont de petite taille avec un transformateur intégré ainsi que des commutateurs associés. D'autres types de sous-stations sont très énormes avec différents types de transformateurs, équipement, disjoncteurs et interrupteurs.

7.3 - Types de sous-stations

Les différents types de sous-stations comprennent principalement la sous-station de type élévateur, le transformateur abaisseur, la distribution, la distribution souterraine, le poste de commutation, la sous-station client et la station système.

7.3.1 - Sous-station de type élévateur

Ce type de sous-station obtient l'alimentation électrique d'une installation de production proche. Il utilise un grand transformateur de puissance pour améliorer le niveau de tension pour la transmission vers les emplacements éloignés. Dans cette sous-station, la transmission de puissance peut être effectuée en utilisant un bus de transmission vers les lignes de transmission. Cette sous-station peut également être un coup sur la puissance entrante qui est reçue par la centrale de production. La

Chapitre 01 : généralité sur le reseau électrique

puissance reçue peut être utilisée pour alimenter le fonctionnement de l'appareil dans l'usine. Une sous-station comprend des disjoncteurs pour la génération de commutateurs ainsi que des circuits de transmission en et hors service selon les besoins.

7.3.2 - Sous-station client

Ce type de sous-station est la principale source de alimentation pour un client commercial spécifique. L'analyse de rentabilisation, ainsi que les exigences techniques, dépendent fortement des besoins des clients.

7.3.3 - Stations système

Cette sous-station comprend l'énorme quantité de transfert d'énergie à travers la station et elle est appelée station système. Ces stations n'offrent que des transformateurs de puissance tandis que d'autres effectuent également des échanges de tension. En règle générale, ces stations fournissent les points d'extrémité aux lignes de transmission créées à partir des postes de commutation et fournissent l'énergie électrique pour circuits qui alimentent les postes de transformation. Ils sont importants pour la cohérence à long terme. Ces stations sont des services stratégiques et très coûteux à construire et à entretenir.

7.3.4 - Sous-station de type distribution

Les sous-stations de type distribution sont placées là où les distributions de tension principales sont abaissées pour fournir des tensions aux consommateurs utilisant un réseau de distribution. La tension de deux phases quelconques sera de 400 volts et la tension entre le neutre et n'importe quelle phase sera de 230 volts.

7.3.5 - Sous-station de type abaisseur

Ce type de sous-station est placé à différents points d'un réseau électrique. Ils peuvent connecter différentes parties du réseau et qui sont une source de lignes de sous-transmission ou de distribution. Ce type de sous-station peut changer la tension de transmission en une tension de sous-transmission (69kV). Les lignes de tension converties peuvent fournir une source pour les sous-stations de distribution. Dans certains cas, la puissance est prélevée sur la ligne de transmission pour être utilisée dans une capacité industrielle en cours de route. Ou bien, le courant alimentera une sous-station de distribution.

7.3.6 - Sous-station de distribution souterraine

L'installation d'une sous-station dans les centres urbains nécessite un espace important, mais en général, ils n'ont pas d'endroit pour installer la sous-station. Pour pallier ce problème, l'installation de la sous-station souterraine diminue le besoin d'espace et la surface peut également être utilisée pour d'autres constructions comme des bâtiments, des centres commerciaux, etc. Le concept principal de la sous-station souterraine est d'offrir la meilleure sous-station conventionnelle en réduisant l'espace occupé au-dessus des terres.

7.3.7 - Switchyard

Le poste de commutation est le médiateur entre la transmission et la production, et une tension égale peut être maintenue dans le poste de commutation. L'objectif principal est de fournir l'énergie produite par la centrale électrique au niveau de tension particulier à la ligne de transport à proximité ou réseau électrique.

7.3.8 - Sous-station 11kv

L'objectif principal de la sous-station 11kv est de recueillir l'énergie qui est transmise à haute tension de la station de production, puis diminue la tension à une valeur appropriée pour la distribution

Chapitre 01 : généralité sur le reseau électrique

locale et fournit des commodités pour la commutation. Cette sous-station comprend un isolateur, un parafoudre, un transformateur abaisseur, une mesure CT, disjoncteur et batterie de condensateurs.

7.3.9 - Sous-station 220 kV

Ici, la sous-station de 220 kVA est la capacité de puissance utilisée par le transformateur abaisseur dans la sous-station, et elle illustre la puissance apparente la plus élevée qu'un transformateur abaisseur peut fournir. Le niveau de tension reçu de cette sous-station sera de 220 kV

7.3.10 - Sous-station 132 kV

Le 132 kV est la valeur nominale du transformateur abaisseur, qui a une tension primaire de 132 kV. Généralement, ces transformateurs sont utilisés dans des sous-stations de type transmission où la tension doit être réduite à une distribution supplémentaire.

8 - Réseau de Distribution Electrique (RDE) :

8.1 - introduction

Un **réseau de distribution électrique** est la partie d'un réseau électrique desservant les consommateurs. Un réseau de distribution achemine l'énergie électrique d'un réseau de transport (Haute tension B) ou un réseau de répartition (Haute tension A) aux transformateurs aériens desservant les clients. La tension électrique des réseaux de distribution se situe normalement entre 3 et 50 kV. Ils comprennent des postes électriques de transformation, des lignes aériennes et un réseau de conducteurs les reliant aux transformateurs de secteur. Le réseau de distribution dessert parfois directement les compteurs électriques de clients industriels.

8.2 - Organisation de RDE

Un réseau de distribution est généralement organisé radialement, chaque point de connexion au réseau de moyenne tension desservant un « arbre » se subdivisant à plusieurs reprises avant d'atteindre les transformateurs de distribution. Ces réseaux radiaux se rejoignent en des points d'interconnexion normalement ouverts : ils permettent, au besoin, de fournir une source alternative d'électricité à une partie d'un réseau radial voisin, en cas de panne du tracé de desserte normal.

8.3 - Construction de RDE

8.3.1 - Réseau principal

Chaque centrale électrique est raccordée au réseau électrique. Selon les distances à parcourir et la puissance à transmettre, la tension du réseau évolue d'une tension moyenne à la haute tension et du courant alternatif au courant continu haute tension pour le transport sur de longues distances ou si les réseaux ont des caractéristiques (tension, fréquence, etc.) différentes.

8.3.2 - Raccordements.

Le réseau de distribution permet d'adapter la tension et la puissance distribuées aux besoins de chaque utilisateur grâce à des réseaux de distribution moyenne et basse tension, à des transformateurs et à des postes de distribution. Dans la plupart des cas, les petites unités de productions (centrale au fil de l'eau, éolienne, panneaux solaires, etc.) sont directement reliées aux réseaux de distribution .

Conclusion:

Chapitre 01 : généralité sur le reseau électrique

Dans ce chapitre, nous constatons que le réseau électrique est une machine d'une ampleur monumentale, il se compose d'une multitude de pièces qui héberge également de nombreuses pièces, mais ce système peut être simplifié et divisé en trois parties principales : production, transmission et distribution.

- ❖ la production est effectuée par de grands générateurs situés loin de la population et utilise une multitude de moyens.
- ❖ la transmission est effectuée par des lignes et des pylônes à haute tension pour la sécurité publique et la prévention du sabotage.
- ❖ la distribution se fait par des lignes moyenne et basse énergie pour acheminer l'énergie jusqu'au consommateur final. Ces trois parties sont identiques quel que soit le pays ou le type de grille ou de tension utilisé.

Chapitre 2:

Etude des sous- stations (poste électrique)

1- Introduction :

Partie d'un réseau électrique comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et, éventuellement, des transformateurs

Une sous-station électrique est un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité. Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission, puis de la redescendre en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriels). Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution. On parle aussi de sous-station, entre autres dans les chemins de fer.



Figure 1 :Une module sous-station (220kv/60kv)

2 - Usage des postes électriques haute tension :

Les postes électriques ont trois fonctions principales :

- le raccordement d'un tiers au réseau d'électricité (aussi bien consommateur que producteur) ;
- l'interconnexion entre les différentes lignes électriques (assurer la répartition de l'électricité entre les différentes lignes issues du poste) ;
- la transformation de l'énergie en différents niveaux de tension.



Figure 2 : Transformateurs à la centrale hydroélectrique. Ce poste alimente les lignes de transport électrique à 735 kV

Pour la transmission de l'énergie électrique, il est économiquement intéressant d'augmenter la tension, car cela réduit les déperditions d'énergie par effet Joule. En effet, à puissance délivrée constante, plus la tension est élevée, plus l'intensité passant dans les câbles est faible, donc moins l'échauffement est important, ce qui permet entre autres de réduire la section des câbles, d'où une économie considérable.

Les niveaux de tension utilisés pour les transmissions à grande distance sont généralement entre 400 et 800 kV, qualifiés de très haute tension ou actuellement haute tension B. La tension est ensuite réduite pour une consommation à un niveau de tension usuel, soit 230 V en Europe et en Amérique latine, ou 110 V en Amérique du Nord.

Prenons l'exemple typique d'une centrale nucléaire. L'électricité est produite par la centrale, puis transite par :

- le poste d'évacuation de la centrale (la tension passe d'environ 20 à 400 kV pour être injectée sur le réseau de transport d'électricité) ;
- plusieurs postes d'interconnexion 400 kV (trajet de plusieurs centaines de km) ;
- un poste de transformation 400 / 225 kV(A) ;
- un poste de transformation 225 / 63 kV ou 225 / 90 kV (après un trajet de quelques centaines de km en 225 kV) ;
- plusieurs postes d'interconnexion 63 ou 90 kV (trajet de plusieurs dizaines de km) ;
- le poste final d'une grosse usine raccordée en 63 ou 90 kV[B]

3 - Différents types de postes électriques :

Il existe plusieurs types de postes électriques :

- Postes de sortie de centrale: le but de ces postes est de raccorder une centrale de production de l'énergie au réseau ;
- Postes d'interconnexion : le but est d'interconnecter plusieurs lignes électriques ;
- Postes élévateurs : le but est de monter le niveau de tension, à l'aide d'un transformateur ;
- Postes de distribution : le but est d'abaisser le niveau de tension pour distribuer l'énergie électrique aux clients résidentiels ou industriels.

L'aspect des postes électriques varie fortement suivant leurs fonctions. Les postes peuvent être en surface à l'intérieur d'une enceinte, souterrains, dans des bâtiments qu'ils desservent.

3.1 - Postes de distribution

Les postes de distribution électriques sont les derniers maillons de transformation de l'énergie. Ce sont des transformateurs qui abaissent la haute tension en basse tension. Un poste de distribution, quelle que soit sa forme, se présente en deux catégories: le poste public et le poste privé.

Un poste public abaisse la tension sur un réseau basse tension, et ce réseau basse tension est partagé entre un certain nombre d'abonnés. Un poste privé abaisse la tension et alimente un réseau basse tension qui alimente uniquement un seul abonné, qui est bien souvent une entreprise ou une petite industrie (minoterie, briqueterie, carrière, cimenterie...).



Figure 3 :Entrée HTA sur poste-tour.

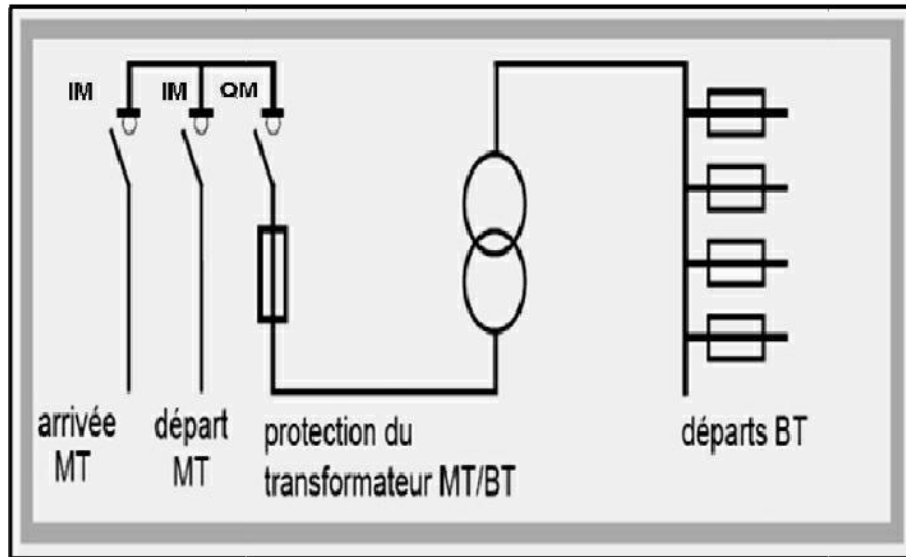


figure 4 : circuit de poste-tour

3.2 - Les postes-tours (Cabines hautes)

Ce sont les plus anciens, bâtis entre les années 1920 et les années 1960. Ils consistent en une tour en maçonnerie ou en béton armé mesurant entre 6 et 10 mètres de haut. Les lignes électriques aériennes sont ancrés à leur sommet, les appareillages intérieurs sont disposés en descente et sont de type coupure à l'air. On les surnomme « postes trolley », mot qui faisait référence aux câbles très rigides utilisés par les trolleybus. L'arrivée haute tension était en conducteurs nus, chaque conducteur était fixé au mur du poste par un isolateur d'ancrage muni d'éclateurs à cornes, ou bien des isolateurs à trois assiettes, et des ponts entraient à l'intérieur du poste au travers de disques d'entrée de poste en verre ondulé concentriques. À l'intérieur se trouvaient un sectionneur à coupure manuelle et un coupe-circuit (fusibles) qui étaient isolés à l'air et fixés sur des isolateurs en verre ou en porcelaine ayant une forme de quille, appelés « isolateurs d'intérieur de poste ». Le transformateur était posé le plus loin possible de la porte d'accès, sur des cales et au-dessus d'un petit bassin de rétention des fuites. Une séparation grillagée munie de deux battants de porte séparait la partie BT du transformateur HT, faisant cage de Faraday, qui est sans aucun doute à l'origine de l'expression « cellule HTA ». La sortie basse tension était bien souvent en câbles multibrins en cuivre étamé, entourés d'une gaine de tissu. Ces conducteurs BT passaient par un tableau général comprenant un sectionneur, des fusibles puis des organes de comptage. Les câbles BT alimentant le réseau aérien remontaient le long du mur, fixés sur des serre-câbles en bois vernis qui les maintenaient écartés. Chaque conducteur traversait le mur au travers soit d'un petit disque en verre, soit d'un tube coudé en porcelaine émaillée, puis faisait un pont en goutte d'eau pour être connecté au conducteur aérien idoine.

3.3 - Sous-stations ferroviaires



Figure 5 : Sous-station d'alimentation d'un réseau ferroviaire

Sur les lignes de chemin de fer électrifiées par caténaire ou troisième rail, l'alimentation est fournie par des sous stations électriques et des postes d'alimentation. L'alimentation de ces postes est réalisée par le réseau électrique, souvent par des lignes courant le long des voies alimentées entre 35 et 90 kV. Après une herse [Quoi ?] D'entrée, on trouve une batterie de transformateurs (transformateur principal puis transformateurs de section), abaissant la tension à 25 000 ou 1 500 V. Les postes devant délivrer une tension continue comprennent en plus des redresseurs, voire, à l'origine, des commutatrices[c]. La plupart des sous-stations alimentent directement une section de voie mais, surtout en courant continu, disposent aussi de câbles (appelés feeders) permettant de réalimenter la ligne à intervalles réguliers. On répartit ainsi l'intensité absorbée et limite la chute de tension locale au passage d'un train consommant beaucoup. L'intervalle entre les sous-stations est d'une vingtaine de kilomètres en 1 500 V continu, jusqu'à 50 km en 25 000 V monophasé. La commande des sous-stations est réalisée à distance par une centrale sous-station.

4 - Les problèmes engendrés :

L'implantation d'un poste électrique est loin de poser les problèmes environnementaux suscités par l'implantation d'une centrale électrique ou d'une ligne à haute tension.

Les problèmes engendrés sont essentiellement :

- L'esthétique : les postes électriques utilisant une technologie à isolation dans l'air sont fortement déconseillés en zone urbaine de par la surface nécessaire pour implanter les différentes parties (qui doivent être isolées entre elles) et pour des raisons de sécurité. On préférera des postes à isolation gazeuse installés en bâtiment (solution idéale en zone urbaine) voire en sous-sol, la surface étant réduite au maximum (4 à 6 fois moins que pour un isolement en espace libre).
- Les nuisances sonores : les phénomènes de striction dans les transformateurs engendrent un bruit continu. Le bruit des ventilateurs pour les transformateurs de fortes puissances peut être gênant pour le voisinage.

- Les nuisances magnétiques : chaque site doit faire l'objet d'une étude de réduction des champs électromagnétiques résultant des fuites des circuits magnétiques. Les effets de ces fuites sont visibles sur les télévisions ou tout écran à tube par une légère danse de l'image. Elles doivent toujours être inférieures aux normes $25 \mu\text{T}$ pour être sans effet sur la santé Le Parlement Européen a recommandé un seuil de $0,25$ micro tesla

En ville, les postes électriques d'Enedis peuvent être des bâtiments de 12 m^2 . Ils peuvent aussi avoir été décorés.

5 –Les composants de fonction et protection d'une sous-station

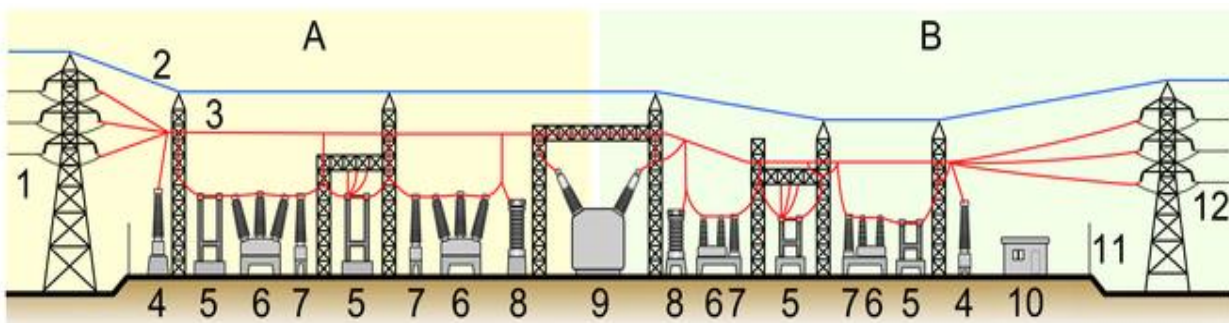


Figure 6 : Composants électriques dans un poste

(A : côté primaire B : côté secondaire 1. Ligne électrique primaire 2. Câble de garde 3. Ligne électrique 4. Transformateur de tension 5. Sectionneur 6. Disjoncteur 7. Transformateur de courant 8. Parafoudre 9. Transformateur (de puissance) 10. Bâtiment secondaire 11. Clôture 12. Ligne électrique secondaire)

On distingue parfois les éléments d'un poste en « éléments primaires » (les équipements haute tension) et « éléments secondaires » (équipements basse tension).

5.1 - Parmi les équipements primaires figurent :

- transformateur électrique
- autotransformateur électrique
- disjoncteur à haute tension
- sectionneur
- sectionneur de mise à la terre
- parafoudre
- transformateur de courant
- transformateur de tension
- combiné de mesure (courant + tension)
- jeu de barres
- batterie de condensateurs
- réactance shunt

5.2 - Parmi les éléments secondaires figurent :

- relais de protection
- équipements de surveillance
- équipements de contrôle
- système de télé conduite
- comptage d'énergie
- alimentations auxiliaires
- équipements de télécommunication
- Consignateur d'état

6 - les composants communs

6.1 - Le transformateur de puissance :

Un transformateur de puissance est un composant électrique haute-tension essentiel dans l'exploitation des réseaux électriques. Sa définition selon la commission électrotechnique internationale est la suivante : « Appareil statique à deux enroulements ou plus qui, par induction électromagnétique, transforme un système de tension et courant alternatif en un autre système de tension et courant de valeurs généralement différentes, à la même fréquence, dans le but de transmettre de la puissance électrique ». Sa principale utilité est de réduire les pertes dans les réseaux électriques. Il peut être monophasé ou triphasé et recevoir divers couplages : étoile, triangle et zigzag.

On retrouve les transformateurs de puissance dans différents types d'applications : dans les réseaux de transmission électrique, dans la distribution électrique, dans les usines en amont de fours électriques notamment et dans les trains. Chacun répondant à des contraintes et des usages très différents.

La CEI divise les transformateurs de puissance dans l'huile en trois catégories en fonction de la puissance apparente : jusqu'à 2500 kVa en triphasé ou 833 kVa en monophasé (divisé par 3) on parle de « transformateur de distribution », au-delà et jusqu'à 100 MVA en triphasé respectivement 33,3 MVA en monophasé de « transformateur de moyenne puissance », au-delà de « transformateur de grande puissance ». Les transformateurs de distribution sont très nombreux dans le monde, ceux de grande puissance le sont moins.

De nombreux aspects sont à prendre en compte pour leur conception : circuit magnétique, enroulements, conducteurs, isolation, cuve, système de refroidissement. Par ailleurs, le transformateur est indissociable d'autres composants qui doivent être conçus en même temps comme le changeur de prises, les traversées isolées, les protections et leurs capteurs. Le transformateur doit être capable de résister sans dommage à la fois aux aléas du réseau électrique : surtensions, courts-circuits, courants d'enclenchement et surcharges ; et aux autres contraintes mécaniques liées le tout dans des conditions météorologiques diverses. Le transport est également un élément critique. La conception d'un transformateur de puissance est donc une entreprise complexe, assistée de nos jours par les outils informatiques. Elle est validée après la fabrication du transformateur par une phase de test, qui vérifie aussi la qualité de l'ensemble.



Figure 7 :Un transformateur de puissance dans un poste électrique

6.1.1 - Principe de fonctionnement de transformateur :

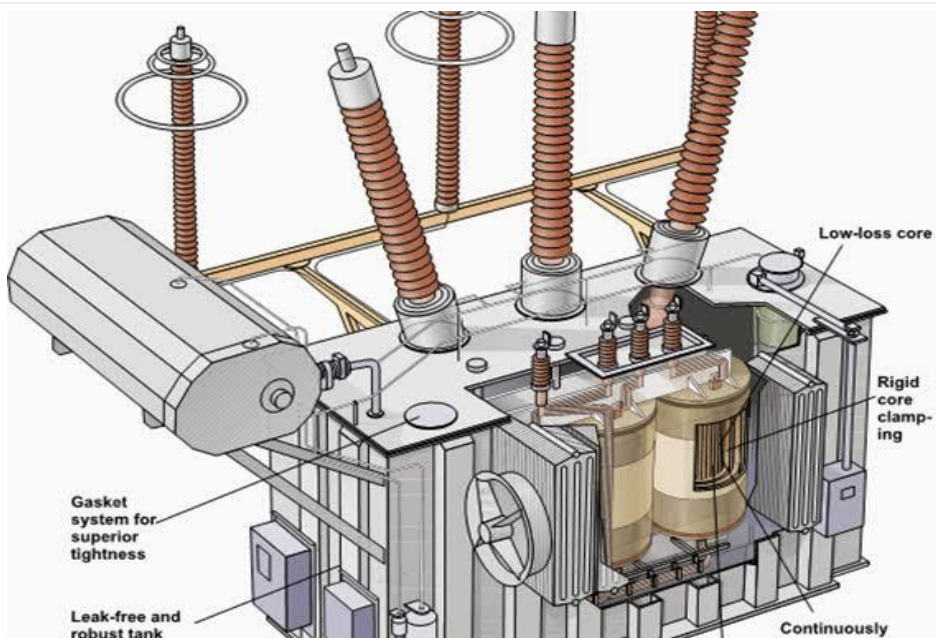


figure 8 : section d'une transformateur HT

Un transformateur est un élément statique qui transfère de l'énergie électrique entre deux circuits grâce à l'induction électromagnétique. Les deux circuits sont donc séparés électriquement, galvaniquement, mais couplés magnétiquement.

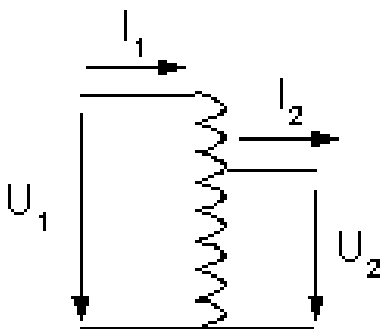
Un transformateur idéal ou parfait est un transformateur virtuel sans aucune perte. Il est utilisé pour modéliser les transformateurs réels. Ces derniers sont considérés comme une association d'un transformateur parfait et de diverses impédances.

Dans le cas où toutes les pertes et les fuites de flux sont négligées, le rapport du nombre de spires primaires sur le nombre de spires secondaires détermine totalement le rapport de transformation du transformateur.

Exemple : un transformateur dont le primaire comporte 460 spires alimenté par une tension sinusoïdale de 230 V de tension efficace, le secondaire qui comporte 24 spires présentera à ses bornes une tension sinusoïdale dont la valeur efficace sera égale à 12 V

6.2 Autotransformateur

D'après la définition de la Commission électrotechnique internationale, un autotransformateur est un « transformateur dont au moins deux enroulements ont une partie commune ». Concrètement il s'agit d'un transformateur ne disposant que d'un seul enroulement, le secondaire étant une partie de l'enroulement primaire. Le courant alimentant le transformateur parcourt le primaire en totalité et une dérivation à un point donné de celui-ci détermine la sortie du secondaire



*Figure 9 : Symbole d'un autotransformateur.
1 indique le primaire ;
2 le secondaire*

6.2.1 - Avantages

En comparaison d'un transformateur à deux enroulements de même puissance l'autotransformateur a les avantages suivants dus à l'économie d'un enroulement, il est :

- plus petit
- moins cher
- plus efficace, son rendement est plus élevé

Le gain en coût et en taille est dû à la section des conducteurs, qui peut être choisie plus petite que sur un transformateur classique. En effet, l'enroulement entre le secondaire et le point froid ne conduit que la différence entre le courant du secondaire et celui du primaire. Ce courant est donc inférieur à celui du secondaire conduit par un transformateur classique. Par ailleurs l'usage d'un seul enroulement physique pour le secondaire et le primaire permet également des économies en taille

Inconvénients

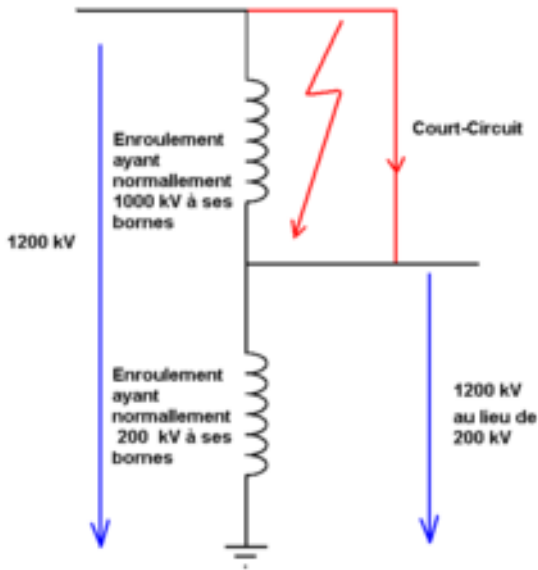


Figure 10 : En cas de court-circuit, un risque existe que la tension du secondaire devienne égale à celle du primaire

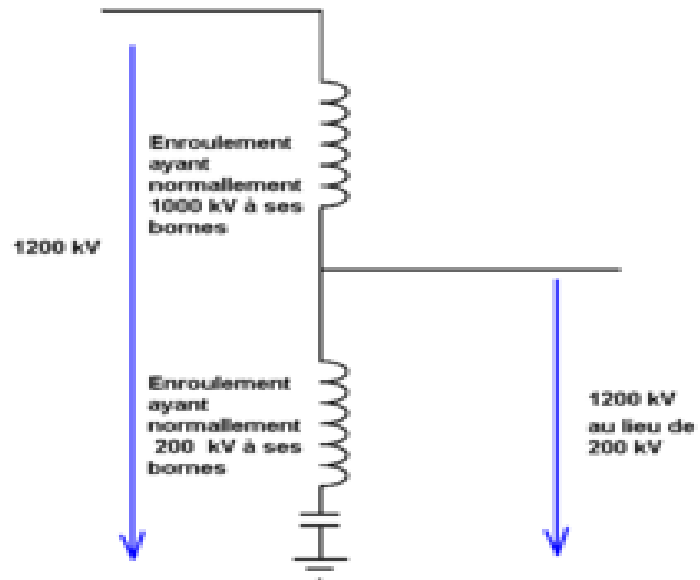


Figure 11 : En cas de défaut au secondaire, un risque existe que la tension du secondaire devienne égale à celle du primaire

Toutefois à côté de ces avantages l'autotransformateur a également des défauts importants :

- il ne dispose pas d'une isolation galvanique entre le primaire et le secondaire. ce qui peut être dangereux, entre autres dans le cas où l'enroulement primaire aurait un défaut (voir image), ou si l'enroulement secondaire est ouvert, la tension aux bornes du secondaire pourrait être égale à celle du primaire ;

Note :

Le courant de court-circuit d'un autotransformateur est significativement plus élevé que celui d'un transformateur classique.

6.3 - Sectionneur



Figure 12 :Sectionneur à haute tension à isolement dans l'air

Ce sont avant tout des organes de sécurité utilisés pour ouvrir ou fermer un circuit lorsqu'ils ne sont pas parcourus par un courant. Ils sont utilisés pour isoler un ensemble de circuits, un appareil, une machine, une section de ligne aérienne ou de câble, afin de permettre au personnel d'exploitation d'y accéder sans danger.

L'ouverture des sectionneurs de ligne ou de jeu de barres (les conducteurs qui permettent de relier l'arrivée d'énergie d'un poste à haute tension vers les différents organes internes) est nécessaire pour assurer la sécurité mais n'est pas suffisante, il faut en outre effectuer des mises à la terre en amont et en aval de l'appareil sur lequel on souhaite intervenir. On distingue donc les sectionneurs, proprement dits, des sectionneurs de mise à la terre (ou MALT ou sectionneur de terre) qui ensemble contribuent à la mise en sécurité d'une portion de réseau électrique.

En principe les sectionneurs n'ont pas à interrompre de courants, cependant certains sectionneurs peuvent être amenés à couper des courants de transfert de barres (jusqu'à 1 600 A sous 10 à 300 V) et certains sectionneurs de terre doivent être capables de couper les courants induits qui peuvent circuler dans les lignes hors tension par couplage capacitif et inductif avec les lignes adjacentes sous tension (jusqu'à 160 A sous 20 kV)

6.4 - Interrupteurs.

Les interrupteurs sont des appareils destinés à établir et à interrompre un circuit dans des conditions normales de charge. Leurs performances sont cependant limitées car ils ne sont pas capables d'établir un courant de court-circuit mais ne peuvent en aucun cas l'interrompre.

Certains interrupteurs sont prévus pour remplir également les fonctions de sectionneur.



figure 13 : Contacteur à haute tension industrielle

6.5 - Contacteur :

6.5.1 - Contacteur moyenne tension.

Les contacteurs ont un rôle comparable à celui des interrupteurs, mais ils sont capables de fonctionner avec des cadences très élevées. Ils possèdent une grande endurance électrique et une grande endurance mécanique

Les contacteurs sont utilisés pour manœuvrer fréquemment des équipements tels que fours, moteurs à haute tension. Ils ne peuvent pas être utilisés comme sectionneurs. On les rencontre en HTA uniquement.

6.5.2 - Coupe-circuit à fusibles

Les fusibles permettent d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité pendant un intervalle de temps donné. L'interruption du courant est obtenue par la fusion d'un conducteur métallique calibré.

Ils sont surtout utilisés pour la protection contre les court-circuits dont ils limitent la valeur crête du courant de défaut.

En régime triphasé, ils n'éliminent que les phases parcourues par un courant de défaut, ce qui peut présenter un danger pour le matériel et le personnel. Pour pallier cet inconvénient, les fusibles peuvent être associés à des interrupteurs ou à des contacteurs avec lesquels ils constituent des combinés capables d'assurer la protection en cas de surcharge du réseau ou de court-circuits.

On les rencontre en HTA uniquement

6.6 - Disjoncteur à haute tension

Un **disjoncteur à haute tension** est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège), selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale. Il opère à la fois :

- dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique;

- dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit dans le réseau provoqué par la foudre (Voir aussi la partie spécifique) ou d'autres causes.

De par ses caractéristiques, un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel d'un réseau à haute tension, car il est seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et donc d'éviter que le matériel connecté sur le réseau soit endommagé par ce court-circuit.



figure 14 : Disjoncteur 400 kV

6.6.1 Principe de fonctionnement

La coupure d'un courant électrique par un disjoncteur à haute tension est obtenue en séparant des contacts dans un gaz (air, SF₆..) ou dans un milieu isolant (par exemple l'huile ou le vide). Après séparation des contacts, le courant continue de circuler dans le circuit à travers un arc électrique qui s'est établi entre les contacts du disjoncteur.

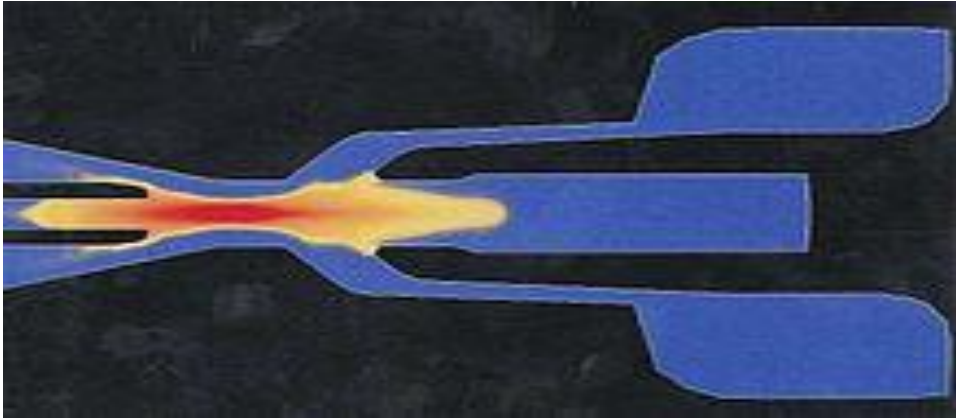


figure 15 : Arc entre les contacts d'un disjoncteur à haute tension

À ce jour, les disjoncteurs à haute tension (72,5 kV à 1 100 kV) utilisent essentiellement le gaz ou l'huile pour l'isolement et la coupure, la technique de coupure dans le vide est limitée aux applications en moyenne tension avec quelques développements récents pour une tension assignée de 84 kV.

Dans les disjoncteurs à gaz, le courant est coupé lorsqu'un soufflage suffisant est exercé sur l'arc électrique pour le refroidir et l'interrompre.

6.7 - Disjoncteur à huile

La coupure dans l'huile s'est imposée en haute tension après avoir été développée en moyenne tension (ou Haute tension A). Sous l'action de l'arc électrique, l'huile est décomposée, plusieurs types de gaz sont produits (essentiellement de l'hydrogène et de l'acétylène) lors de cette décomposition. L'énergie de l'arc est utilisée pour décomposer et évaporer l'huile, ceci permet de refroidir le milieu entre les contacts et par suite d'interrompre le courant à son passage par zéro.

Les premiers disjoncteurs à huile avaient des contacts de coupure qui étaient plongés dans de l'huile contenue dans une cuve métallique au potentiel de la terre, d'où leur nom de Dead tank. Ils sont appelés « disjoncteurs à gros volume d'huile ». Certains sont toujours en service actuellement, par exemple aux États-Unis.

Par la suite, dans les années 1950, les « disjoncteurs à faible volume d'huile » ont été conçus pour réduire la quantité d'huile nécessaire et surtout limiter le risque d'incendie inhérent aux disjoncteurs à gros volume d'huile. L'arc se développe dans un cylindre isolant afin de limiter sa longueur et de contrôler autant que possible l'énergie contenue dans l'arc. Cette énergie est utilisée pour générer le soufflage par vaporisation de l'huile comme expliqué précédemment. Cette technique que l'on appelle par « auto-soufflage » sera reprise plus tard pour les disjoncteurs à SF₆. Elle a été appliquée pour des tensions assignées atteignant 765 kV et des courants de défaut très élevés, pouvant atteindre 50 kA.

Ces disjoncteurs avaient pour principaux inconvénients de nécessiter de nombreux éléments de coupure en série (pour tenir la tension), et de nécessiter un entretien important et délicat (remplacement de l'huile usagée). Ils ont été supplantés par les disjoncteurs à SF₆ qui nécessitent peu de maintenance et ont une longue durée de vie

6.8 - Disjoncteurs avec ampoules à vide

Les premières recherches et brevets sur les ampoules (interrupteurs) à vide ont été faits par le *California Institute of Technology* vers 1926. Les premières applications industrielles ont été réalisées à la fin années 1950 lorsque les difficultés technologiques de mise en œuvre furent résolues,

notamment la garantie d'un vide poussé pendant au moins vingt ans, ce qui nécessite une étanchéité parfaite de l'ampoule.

Dans un disjoncteur à vide, l'arc est alimenté par les particules issues des contacts. La haute tenue diélectrique obtenue dans un vide poussé permet de tenir la tension transitoire de rétablissement entre contacts après interruption du courant. Le passage du courant dans des contacts de forme appropriée génère un champ magnétique qui entraîne la rotation de l'arc et évite que ce dernier reste attaché sur la même surface de contact. Il est ainsi possible d'éviter la fusion des contacts d'arc et une production excessive de particules métalliques qui aurait limité la tenue de la tension après l'interruption du courant.

Actuellement des disjoncteurs intégrant des ampoules à vide sont en service jusqu'à 84 kV, au Japon, le pouvoir de coupure d'un disjoncteur à vide peut atteindre 63 kA. Des recherches sont en cours pour développer des ampoules à vide de tension supérieure.

6.9 - Disjoncteur à air comprimé



Figure 16 : disjoncteur à air comprimé

Le gaz contenu dans les disjoncteurs à air comprimé est maintenu sous haute pression (20 à 35 bars) à l'aide d'un compresseur. Cette haute pression permet d'assurer la tenue diélectrique et de provoquer le soufflage de l'arc pour la coupure.

Le soufflage intense exercé dans ces disjoncteurs a permis d'obtenir de très hautes performances (courant coupé jusqu'à 100 kA sous haute tension) et avec une durée d'élimination du défaut très courte permettant d'assurer une bonne stabilité des réseaux en cas de défaut.

Ils ont eu longtemps le monopole des très hautes performances et furent pendant les années 1960 et 1970 utilisés de préférence dans les réseaux à très haute tension, en particulier en Amérique du Nord.

Un défaut des disjoncteurs à air comprimé est leur bruit très important à l'ouverture. De plus, ils nécessitent un entretien périodique, en particulier de leurs compresseurs, ceci explique qu'ils ont été progressivement supplantés par une autre génération de disjoncteurs, celle des disjoncteurs à SF₆ (ou hexafluorure de soufre).

À noter que la technique à air comprimé est la seule qui permette encore aujourd'hui d'atteindre les pouvoirs de coupure les plus élevés (275 kA sous 36 kV) qui sont exigés pour les disjoncteurs de générateurs

6.10 - Disjoncteur auto-pneumatique

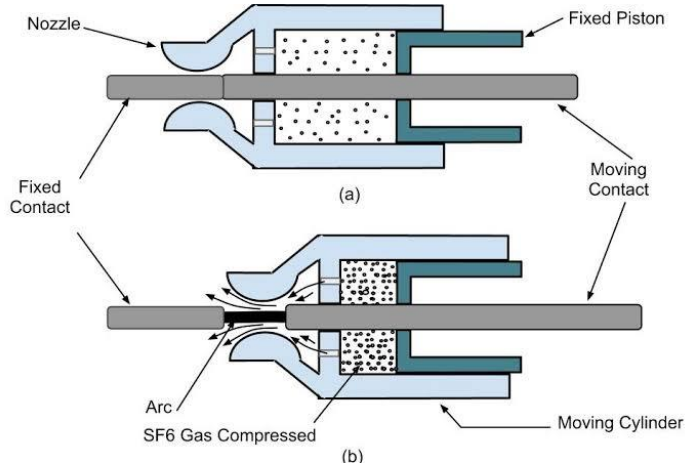


Figure 17 :Principe des disjoncteurs auto-pneumatiques

Le principe du soufflage auto-pneumatique s'est développé au cours des années 1970 et au début des années 1980 pour répondre aux spécifications les plus exigeantes et développer des appareils de plus en plus performants.

La figure 1 rappelle de manière schématique le principe de fonctionnement de ces appareils.

Lorsque le disjoncteur est en position "fermé", le courant transite par des contacts dits "permanents" qui sont situés sur le diamètre extérieur de la partie active. Lors d'un déclenchement du disjoncteur, la partie mobile se déplace vers le bas, entraînant la séparation des contacts permanents. Le courant passe alors par une autre série de contacts, appelés "contacts d'arc". Quand la partie mobile a fait une course suffisante, les contacts d'arc se séparent, ce qui provoque l'amorçage d'un arc entre ces contacts. Les contacts d'arc sont réalisés avec des matériaux à base de tungstène de manière à pouvoir supporter sans dommage les effets de l'arc électrique.



figure 18 : Disjoncteur 220 kV

Sur le plan technique, plusieurs caractéristiques des disjoncteurs SF₆ peuvent expliquer leur succès :

- La simplicité de la chambre de coupure qui ne nécessite pas de chambre auxiliaire pour la coupure (contrairement aux appareils plus anciens à air comprimé) ;
- L'autonomie des appareils apportée par la technique auto-pneumatique (sans compresseur de gaz) ;
- La possibilité d'obtenir les performances les plus élevées, jusqu'à 63 kA, avec un nombre réduit de chambres de coupure : une seule chambre est nécessaire en 245 kV, une ou deux en 420 kV et 550 kV, généralement quatre en 800 kV ;
- Une durée d'élimination de défaut courte, de 2 à 2,5 cycles en très haute tension ;
- Une grande endurance électrique qui permet de garantir une durée de vie d'au moins 25 ans ;
- Une réduction de l'encombrement possible avec les postes sous enveloppe métallique ;
- La possibilité d'équiper les chambres de résistances de fermeture ou d'effectuer des manœuvres synchronisées afin de limiter les surtensions pendant les manœuvres en très haute tension ;
- La sécurité de fonctionnement ;
- Un faible niveau de bruit.

7.11 - Disjoncteur à auto-soufflage



Figure 19 : disjoncteur auto-soufflage

La période 1984–2000 a été marquée par le fort développement des moyens de calcul et de modélisation des disjoncteurs SF₆. Grâce à l'utilisation de ces moyens, de nouveaux appareils à faible énergie de manœuvre ont été développés.

Les disjoncteurs à auto-soufflage sont caractérisés par l'utilisation importante de l'énergie d'arc pour la coupure : le soufflage par auto-soufflage s'est substitué en grande partie au soufflage auto-pneumatique pour la coupure des forts courants. La coupure des courants faibles est toujours obtenue par un soufflage auto-pneumatique, l'énergie de l'arc n'étant pas suffisante pour contribuer au soufflage.

Une évolution des chambres de coupure à auto-soufflage a consisté à introduire un clapet (V) entre le volume d'expansion et le volume de compression. Ce principe est illustré par la figure 4.

En coupure de faibles courants le clapet s'ouvre sous l'effet de la surpression générée dans le volume de compression. Le soufflage de l'arc s'effectue comme dans un disjoncteur auto-pneumatique grâce à la compression de gaz.

Dans le cas d'une coupure de forts courants, l'énergie d'arc produit une forte surpression dans le volume d'expansion, ce qui entraîne la fermeture du clapet (V) et isole le volume d'expansion par rapport au volume de compression. La surpression nécessaire à la coupure est obtenue par une utilisation optimale de l'effet thermique et de « l'effet bouchon » qui se produit lorsque la section de l'arc réduit de manière significative l'échappement du gaz dans la buse.

6.12 - Disjoncteurs de générateurs

Ces disjoncteurs sont connectés entre un générateur de centrale électrique et le transformateur qui élève la tension avant transport de l'énergie électrique par le réseau.

Les disjoncteurs de générateurs sont généralement utilisés à la sortie des générateurs de forte puissance (jusqu'à 1 800 MVA, dans le cas de centrales nucléaires) pour les protéger de manière sûre, rapide et économique.

Ces disjoncteurs ont une conception particulière car ils doivent pouvoir transiter des courants très élevés en service continu (6 300 A à 40 000 A), et être aussi dotés d'un très fort pouvoir de coupure. En outre, ils doivent être capables de couper des forts courants avec une vitesse de rétablissement de la TTR qui est très supérieure à celle des appareils de distribution utilisés dans la même gamme de tension.

Les disjoncteurs à coupure dans le SF₆ sont utilisés lorsque le pouvoir de coupure ne dépasse pas 160 kA ou 210 kA, au-delà, les disjoncteurs à air comprimé fournissent les pouvoirs de coupure les plus élevés qui peuvent être requis, jusqu'à 275 kA

6.13 - parafoudre

Selon le vocabulaire électrotechnique international, un parafoudre est un « appareil destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées et à limiter la durée et souvent l'amplitude du courant de suite ». On emploie aussi le terme parasurtenseur.



Figure 20 : Parafoudre à varistance sur ligne de transmission 110 kV.

6.13.1 –Usage de parafoudre :

La fonction du parafoudre est différente de celle d'un paratonnerre : alors qu'un paratonnerre a pour rôle de protéger une structure contre les coups directs de la foudre, le parafoudre (ou parasurtenseur) protège les installations électriques et de télécommunications contre les surtensions en général qui peuvent avoir pour origine la foudre ou la manœuvre d'appareils électriques (surtensions dites de manœuvre).

Le terme de parafoudre désigne normalement les dispositifs contre les surtensions à base de varistance, d'éclateur ou de diodes Zener. On désigne sous le nom de parasurtenseur l'ensemble des dispositifs contre les surtensions : parafoudre, éclateurs, circuits RC... Cependant, l'usage courant confond ces terminologies.

Son nom de parafoudre vient du fait que, historiquement, le foudroiement était la première cause de surtension contre laquelle on désirait se protéger. Ce nom est aussi plus parlant et plus vendeur d'un point de vue commercial. Une surtension ne provient pas nécessairement d'un effet direct de la foudre. Parfois, voire toujours, dans un contexte industriel, le parafoudre est dimensionné pour protéger contre un éventuel coup direct de la foudre sur les lignes d'alimentation électrique ou téléphonique. Il justifie dans ce cas pleinement son nom. Mais plus généralement un parasurtenseur protège contre toute surtension, causée par la foudre ou non. Il convient de noter que la foudre peut générer des surtensions sur les installations électriques de façon indirecte par induction magnétique, et/ou couplage capacitif sans qu'il n'y ait de contact entre l'éclair et les conducteurs électriques.

6.14 - Transformateur de courant

Selon la Commission électrotechnique internationale, un transformateur de courant est « un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions

normales d'emploi, pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle voisin de zéro pour un sens approprié des connexions ».

Contrairement à un transformateur de tension, il a des impédances les plus basses possibles: au primaire, pour éviter de perturber le courant qu'il mesure; et au secondaire, pour être le plus proche possible d'un générateur de courant idéal.

La notion de « transformateur de courant » est un abus de langage, mais elle a été popularisée dans l'industrie. L'expression « transformateur d'intensité » est probablement plus exacte. On utilise fréquemment les abréviations TC ou TI.

Bien qu'il soit utilisable dans toute la gamme des courants alternatifs à basse fréquence, il est généralement plutôt destiné à la mesure de courant alternatif à fréquence industrielle. Pour le courant continu, il faut utiliser un shunt ou un capteur de courant à effet Hall.

Ils sont soit montés de manière séparée sur un isolateur propre (voir photo), soit placés dans les dômes des traversées des transformateurs de puissance.

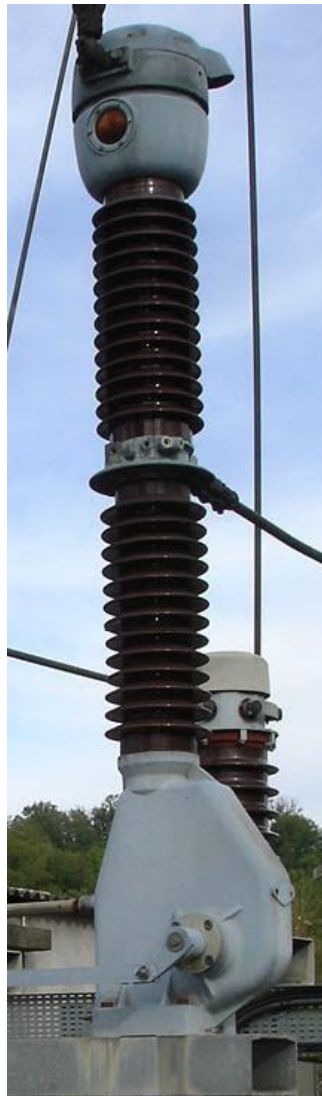


figure 21 : Transformateur de courant de tension nominale 220 kV de type courant inverse

6.14.1 - Fonction

Dans les réseaux haute tension où des courants de plusieurs kilo-ampères transitent, la mesure de ces courants élevés est difficile. Pour la faciliter, les transformateurs de courant ont pour rôle de diviser la valeur du courant à mesurer par un facteur constant. Cette démarche permet également de standardiser les équipements de mesure du courant et de les isoler di-électriquement du réseau haut tension

L'équipement de mesure connecté à son secondaire est en général un ampèremètre, mais on peut également brancher un wattmètre, un shunt ou un relai de protection. Tous sont conçus pour mesurer des courants de quelques ampères.

La caractéristique la plus importante d'un transformateur de courant est donc son rapport de transformation, exprimé par exemple sous la forme 400 A/1 A.

6.15 - Transformateur de tension

Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale, un transformateur de tension est un « transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions ».

Il s'agit donc d'un appareil utilisé pour la mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique *HTA* ou *HTB* (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relai de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts.

La caractéristique la plus importante d'un "transformateur de tension" est donc son rapport de transformation entre le primaire et le secondaire, par exemple 400 000 V~/100 V~.

On utilise aussi le terme transformateur de potentiel.



Figure 22 : Transformateur de tension, de tension nominale 60 kV.

6.16 - Jeu de barres

Dans la distribution électrique un jeu de barres désigne un conducteur de cuivre ou d'aluminium qui conduit de l'électricité dans un tableau électrique, à l'intérieur de l'appareillage électrique ou dans un poste électrique.

Le terme officiel est barre omnibus, mais il n'est guère employé. Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale, il s'agit d'« *un conducteur de faible impédance auquel peuvent être reliés plusieurs circuits électriques en des points séparés* ».

6.16.1 - Jeux de barres HTB



figure 23 : Jeux de barres d'un poste 400 kV.

En **HTB** on utilise principalement deux technologies pour les jeux de barres :

- jeux de barres dits posés, consistant en des tubes reposant sur des isolateurs ;
- jeux de barres dits tendus, consistant en des conducteurs flexibles suspendus par des chaînes d'isolateurs à des structures métalliques dites portiques (voir photo ci-contre).

La technologie des jeux de barres plats est rare en HTB, car sujette à l'**effet couronne** du fait de sa configuration rectangulaire.

6.17 - Réactance shunt

Une **réactance shunt** est une « bobine d'inductance destinée à être connectée entre phase et terre, entre phase et neutre ou entre phases dans un réseau pour compenser le courant capacitif », c'est-à-dire en « shunt ». Autrement dit c'est un composant électrique haute-tension qui a pour fonction de contrôler la tension d'un réseau électrique en compensant le comportement capacitif d'un réseau par son comportement inductif.



figure 24 : Réactance shunt 220 kV immergée dans l'huile

On distingue celles de type sec, c'est-à-dire isolé par l'air, et celles immergées dans un liquide, généralement de l'huile minérale. Ces dernières peuvent comporter un circuit magnétique ou non, un blindage magnétique vient alors se substituer au circuit magnétique. Ces considérations influent sur le comportement linéaire du composant. Les bobines immergées dans l'huile peuvent être monophasées ou triphasées, tandis que celles isolées dans l'air sont toujours monophasées.

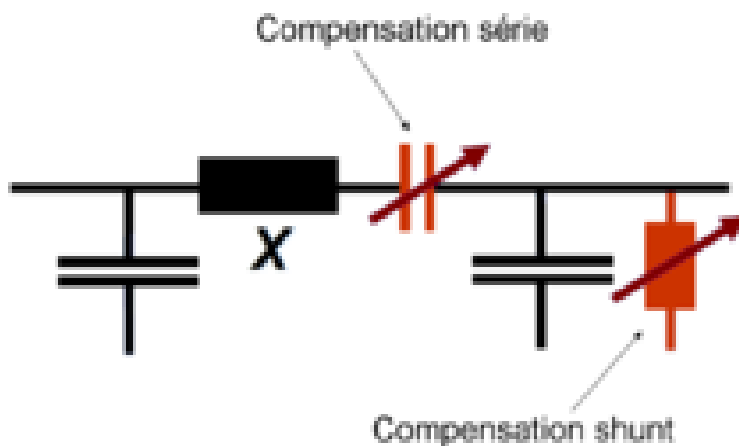


figure 25 : Compensation shunt

7 - Contrôle et communication sur une sous-station :

7.1 - Courants porteurs en ligne.

La communication par **courants porteurs en ligne** (ou **CPL**) permet de construire un réseau informatique sur le réseau électrique d'une habitation ou d'un bureau, voire d'un quartier ou groupe de bureaux. Cette idée apparue dans les années 1930 a fait l'objet de nombreuses applications (pour la domotique et l'informatique notamment), et dont les développements récents pourraient être les prémices d'un réseau électrique intelligent annoncé par de nombreux prospectivistes, dont Jeremy Rifkin[1] dans le cadre de son projet de troisième révolution industrielle. Depuis 1950, des courants à basse et moyenne tension sont couramment utilisés pour porter des informations.

Récemment (2010-2012), un protocole CPL de communication global, simple et ouvert, dit « G3-PLC » (de l'anglais « G3-Power Line Communication »), a été spécialement développé pour le fonctionnement des Smart Grid.

Il constitue un pas de plus vers les réseaux électriques intelligents, et l'Internet de l'énergie. Il permet un meilleur auto-contrôle et monitoring du réseau de distribution électrique, et une gestion énergétique fine, y compris pour la gestion contrôlée de l'éclairage intérieur ou extérieur, la charge énergétique des véhicules électriques, et d'autres applications des « réseaux de demain » (gestion de production et micro-production décentralisées d'énergies irrégulières de type solaire/éolien), etc.

Ce protocole peut, à faible coût, compléter ou parfois concurrencer d'autres protocoles de communication dits « universels » tels que le Wi-Fi ou le Bluetooth. Il est opérant sur la basse et moyenne tension.

7.2 - Historique

Les courants porteurs sont utilisés depuis un certain temps en bas débit pour des applications industrielles et la domotique. Ce n'est que depuis le début des années 2000 et la généralisation du tout-numérique qu'ils sont utilisés par le grand public.

En 1950 apparaissent les premières applications sur fréquence de 10 Hz, puissance 10 kW. Elles sont alors unidirectionnelles (éclairage public, télécommande de relais).

Dans les années 1980, début des recherches pour utiliser la bande de fréquences de 5 à 500 kHz, toujours en unidirectionnel, permettant ainsi un transfert plus rapide des informations.

Dans les années 1990, expérimentations des courants porteurs pour des applications de télé-relevés dans la bande de 60 à 80 kHz. Apparition de modems courants porteurs bas-débits pour des communications CPL domotiques en Europe (standard EHS/Konnex) et aux États-Unis (standards Echelon et CEBus (**en**)).

En 1997, des recherches sont menées sur la transmission de données en CPL et en bidirectionnel par ASCOM (Suisse) et Norweb (Royaume-Uni).

En 2000, des premières expérimentations sont effectuées en France par EDF R&D et ASCOM.

7.3 - Fonctionnement

Le principe des CPL consiste à superposer au courant électrique alternatif de 50 ou 60 Hz un signal à plus **haute fréquence** et de faible énergie. Ce deuxième signal se propage sur l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance. Ainsi le signal CPL est reçu par tout récepteur CPL de même catégorie se trouvant sur le même réseau électrique. Cette façon de faire comporte cependant un inconvénient : le réseau électrique n'est pas adapté au transport de hautes fréquences car il n'est pas blindé. En conséquence, la plus grande partie de l'énergie injectée par le modem CPL est rayonnée sous forme d'onde radio. On classe traditionnellement les CPL en deux catégories en fonction du débit offert. Les CPL à haut débit utilisent des modulations multi-porteuses de type OFDM dans la

bande 1,6 à 30 MHz (bande HF allant de 3 à 30 MHz). Les CPL à bas débit utilisent des techniques de modulations assez simples, par exemple quelques porteuses (mais une seule à la fois) en modulation de fréquence. Les bandes des fréquences utilisées sont comprises entre 9 et 150 kHz en Europe et entre 150 et 450 kHz aux États-Unis.

En haut, comme en bas débit, la communication est soumise aux bruits et aux atténuations. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre de la redondance, ainsi qu'un contrôle d'intégrité par exemple sous la forme de codes correcteurs d'erreurs. Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composantes basses fréquences avant le traitement du signal. Le modem transforme un flux de bits en signal analogique pour l'émission et inversement en réception ; le modem intègre les fonctions d'ajout de la redondance et de reconstitution du flux de bits original ou correction d'erreur.

Sur lignes à haute tension



figure 26 : Installation pour le couplage d'un CPL sur un poste électrique 220 kV. On voit les circuits bouchons suspendus au portique et les condensateurs de couplage à leurs pieds.

Les compagnies d'électricité utilisent comme coupleur des condensateurs ou transformateurs de tension capacitifs pour connecter les transmetteurs radio à fréquence moyenne sur les conducteurs des lignes à haute tension. Les fréquences sont de l'ordre de 24 à 500 kHz, avec des puissances de transmetteurs de l'ordre de quelques dizaines de watts. Ces signaux sont appliqués à un, ou deux voire aux trois conducteurs de la ligne à haute tension. On peut passer plusieurs canaux de CPL sur une seule ligne. Ces circuits servent au contrôle de l'appareillage électrique à haute tension, et à la protection des réseaux électriques.

Dans les postes HTB, la communication se fait en point à point entre les deux extrémités de la ligne. La non propagation des signaux en dehors de la ligne est assurée par un circuit résonant de type parallèle ou « bouchon », composant associant une self d'inductance de l'ordre du mH. Le couplage est assuré soit par un condensateur de couplage isolé à l'huile, soit par un transformateur de tension si celui-ci est de technologie capacitive. On y injecte les conversations téléphoniques, les transmissions de mesures pour les « dispatchings » et les ordres de fonctionnement de certains appareils.

La transmission par courant porteur en ligne n'a malheureusement qu'un débit très limité, incompatible avec certaines applications telles que la télésurveillance. Ce système comporte également un défaut : en cas de maintenance, les câbles de la ligne sont mis à la terre de part et d'autre de la zone de travail et les signaux CPL sont complètement perturbés.

Bien que les compagnies d'électricité utilisent la communication par micro-onde et de plus en plus la communication par câble fibre optique pour l'essentiel de leurs besoins en communication, les CPL restent utilisés comme système de secours pour des installations simples pour ne pas avoir à installer de fibres optiques sur les lignes à haute tension existantes.

8 - Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré le rôle et la fonction de la sous-station, nous constatons qu'il s'agit d'un lien qui relie les lignes de transmission de la production d'électricité aux consommateurs finaux, son rôle est donc indispensable.

Il est composé d'une multitude de composants dont le plus important est le transformateur. Il comporte également un très grand nombre d'équipements de protection et d'isolement.

Chapitre 3 :
Les défis ,problématiques et solutions

1 - Introduction :

Les sous-stations électriques sont exposées au risque d'infiltration dans la structure. Les rongeurs peuvent endommager l'équipement, tandis que l'eau et la poussière peuvent causer des décharges partielles et des défaillances de distribution d'électricité. Pour garantir la continuité, les opérateurs doivent faire face à des défis tels que l'affaissement du sol, la forte charge de câbles et les écoulements d'eau.

« Alors que la menace d'activité terroriste visant à perturber le réseau électrique du pays reste omniprésente, d'autres risques tels que le vol et le vandalisme sont plus courants et représentent un défi immédiat. Avec le prix du cuivre à un niveau record et avec une grande quantité de câblage en cuivre présent dans les sous-stations électriques, il n'est pas surprenant qu'elles soient devenues une cible attrayante pour les voleurs. Les propriétaires de sous-stations ont commencé à prendre des précautions, comme la peinture ou le marquage du câblage, pour alerter les parcs à ferraille que du cuivre a été volé. Cela n'a cependant pas empêché les voleurs de s'introduire dans les sous-stations - souvent avec des conséquences mortelles, ainsi que la responsabilité associée au-delà de la perturbation potentielle des services électriques. Même si les voleurs s'en sortent indemnes, la sécurité de la sous-station peut avoir été compromise. Le personnel d'entretien a été grièvement blessé ou tué au cours de l'exécution de l'entretien régulier en raison de la déstabilisation de certains éléments du réseau électrique causée par le vol de cuivre. »

2 - Defaults sur le transformateur :

Quand et pourquoi les dysfonctionnements des transformateurs des sous-stations

Les transformateurs sont soumis à de nombreuses contraintes électriques externes en amont et en aval qui peuvent conduire directement à des défauts internes. Les conséquences de toute défaillance peuvent être très importantes en termes de dommages comme en termes de pertes d'exploitation.

2.1 - Défaut entre tours

Les transformateurs sont soumis à de nombreuses contraintes électriques externes en amont et en aval qui peuvent conduire directement à des défauts internes. Les conséquences de toute défaillance peuvent être très importantes en termes de dommages comme en termes de pertes d'exploitation. Les défauts entre spires de moyenne tension sont également les plus difficiles à détecter. Ils résultent de la détérioration localisée de l'isolation des conducteurs, due à des contraintes thermiques ou diélectriques. L'effet initial se limite à une légère augmentation de la , due à la modification du rapport de transformation d'une part et à l'apparition d'un phénomène de spire en court-circuit sur l'enroulement concerné.

Cette spire défectueuse se comporte comme un enroulement secondaire et est le siège

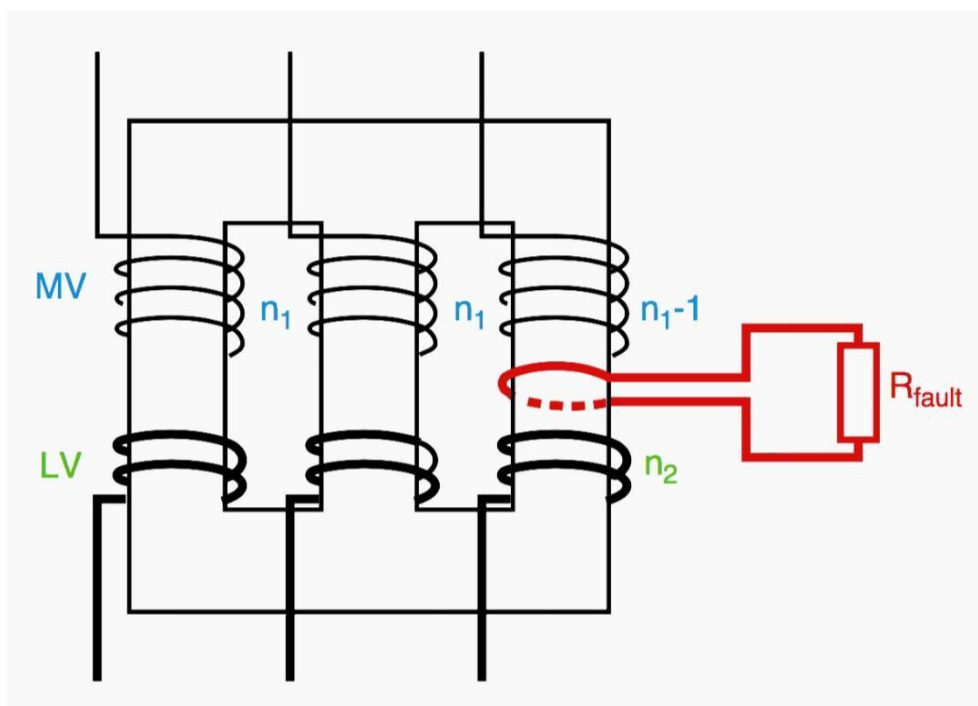


figure 1 : transformateur avec un défaut court- ?

d'un courant limité uniquement par sa propre impédance et la résistance au point de défaut (voir figure 1).

Selon le courant qui parcourt cette spire, la progression de la faille sera plus ou moins rapide. Dans le cas de forts courants, l'échauffement local conduira à la détérioration des spires voisines et le défaut se propagera rapidement. L'ordre de grandeur correspond à environ 100 fois le courant soit environ 1 kA pour le primaire d'un transformateur de 400 kVa sous 20 kV !

2.2 - Défaut entre bobinage

Enroulement MT (MV)

Les défauts entre enroulements MT sont rares mais peut provoquer des courants de défaut élevés, jusqu'au courant de court-circuit du réseau en cas de défaut aux bornes, avec des effets importants. Certaines localisations en particulier, comme un défaut entre enroulements voisins des connexions point neutre d'un couplage en étoile, s'apparentent à un défaut entre spires puisque les points entrant en contact ne sont pas à des tensions très différentes.

Enroulement BT (LV)

Les défauts entre enroulements BT sont exceptionnels car et sont entourés par l'enroulement MT . Dans le cas de plusieurs enroulements BT sur la même colonne de noyau magnétique (par exemple, couplage en zig-zag), la possibilité d'un défaut existe. Dans tous les cas, le courant de défaut reste inférieur à celui d'un court-circuit aux bornes du secondaire, mais la progression peut être rapide du fait de la présence d'un arc d'intensité importante

2.3 - La surintensité par court-circuit

Contrairement à une surintensité par surcharge, une surintensité par court-circuit est le plus souvent soudaine et élevée, avec des valeurs pouvant atteindre en quelques millisecondes jusqu'à mille fois l'intensité habituelle.

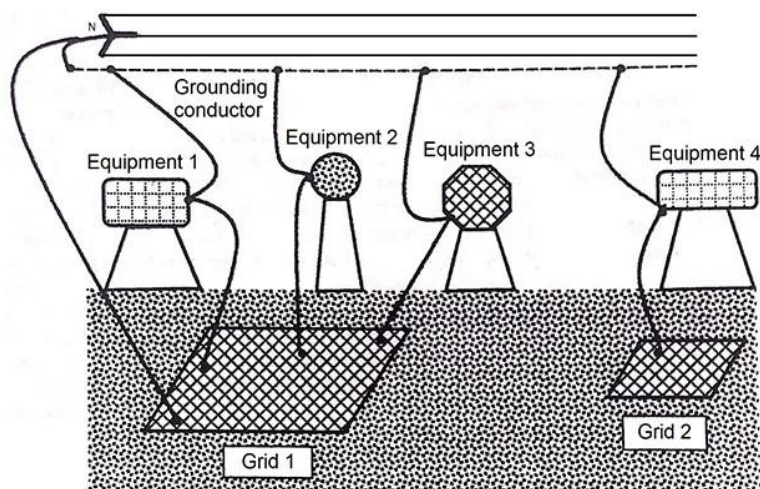
Un court-circuit est provoqué lorsque deux points d'un circuit affichant une différence de potentiel entrent accidentellement en contact, ce qui peut par exemple subvenir si les isolants des conducteurs ont été détériorés ou si une forte humidité permet à l'électricité de passer d'un circuit à un autre.

3 - La mise à la terre et son rôle dans la protection d'une sous-station :

3.1 - La grille (grid):

Est le système le plus efficace, bien que le plus cher. Il s'agit d'un réseau de conducteurs en cuivre placés sous le niveau du sol et connectés au châssis et à l'équipement de la sous-station.

La grille égalise les gradients de potentiel de surface, protégeant les personnes et les équipements.



La figure 2 : montre un réseau de mise à la terre typique. Dans l'illustration, chaque pièce d'équipement a deux liaisons — à la terre et au conducteur de mise à la terre.

3.2 - Quel est le besoin d'un système de mise à la terre dans la sous-station ?

La question des systèmes de mise à la terre dans les sous-stations est essentielle. Les fonctions principales d'un système de mise à la terre sont :

- Fournir aux neutres des générateurs, transformateurs, condensateurs et réacteurs une connexion à la terre Offrir un chemin à faible impédance vers la terre pour les courants
- provenant de défauts à la terre, de paratonnerres, de parafoudres, d'espaces et d'appareils connexes
- Limiter les différences de potentiel qui apparaissent entre les objets ou structures métalliques du poste, et l'élévation du potentiel de terre (GPR), due à la circulation des courants de terre ; ils peuvent présenter un danger pour l'équipement et le personnel Améliorer
- le fonctionnement du schéma de relais de protection pour éliminer les défauts à la terre
- Augmenter la fiabilité et la disponibilité du système électrique
- Autoriser la mise à la terre des équipements hors tension pendant la maintenance

Il existe trois méthodes pour connecter une sous-station à la terre : Radiale, en anneau et en réseau.

4 - Circuit de terre accidentel :

Les conditions Voici deux conditions qu'une personne à l'intérieur ou autour de la sous-station peut rencontrer et qui peuvent les amener à faire partie du circuit de masse. Un de ceux-là conditions, tension de contact, est illustré dans Figures 3 et 4 L'autre condition, tension de pas, est illustrée aux figures 5 et 6. La figure 1 montre le courant de défaut évacué vers la terre par le système de mise à la terre de la sous-station et une personne toucher une structure métallique mise à la terre, H La figure 4 montre l'équivalent en hevenine pour la pieds parallèles, Z_h , en série avec la résistance du corps, R_B . V_h est la tension entre les bornes H et F lorsque la personne n'est pas présente. I_B est le courant corporel. Lorsque Z_h est égal à la résistance de deux pieds dans parallèle, la tension de contact est

$$E_{toucher} = I_B(R_B + Z_{TH})$$

$$E_{step} = I_B(R_B + Z_{TH})$$

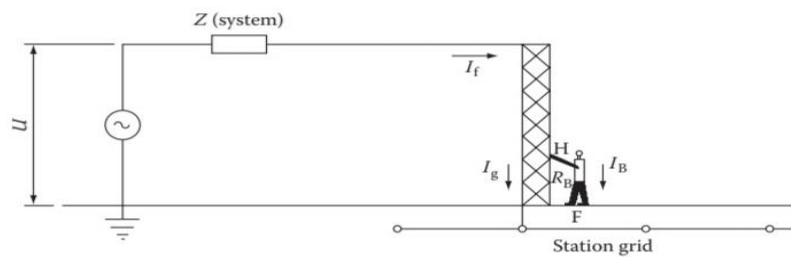


Figure 3 : touch-voltage

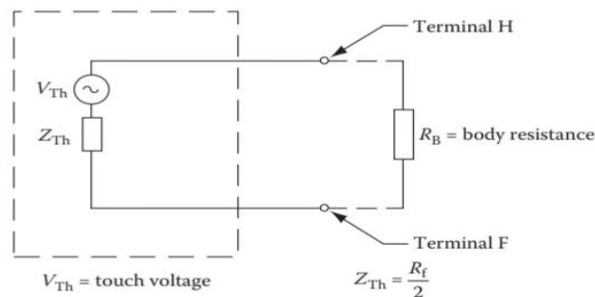


Figure 4 : circuit touch-voltage

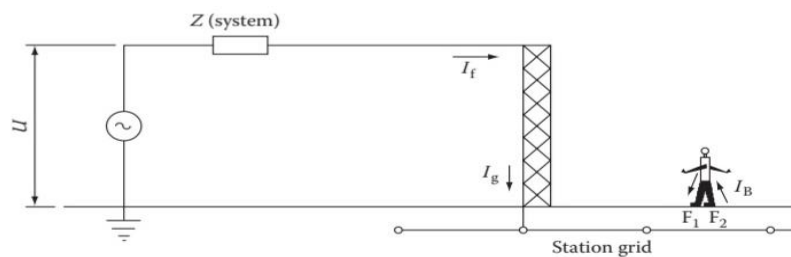


Figure 5 : step-voltage circuit

Les figures 5 et 6 montrent les conditions de tension de pas. Z_h est l'impédance équivalente thevenin pour les pieds de la personne en série et en série avec le corps. Sur la base de l'impédance équivalente thevenin, la tension de pas

La résistance du pied en ohms est représentée par une plaque métallique circulaire de rayon b en mètres sur la surface de terre homogène de résistivité ρ (Ω m) et est égal à $R_f = b/4\rho$

En supposant $R_f = 0,08$

$$R_f = 3\rho$$

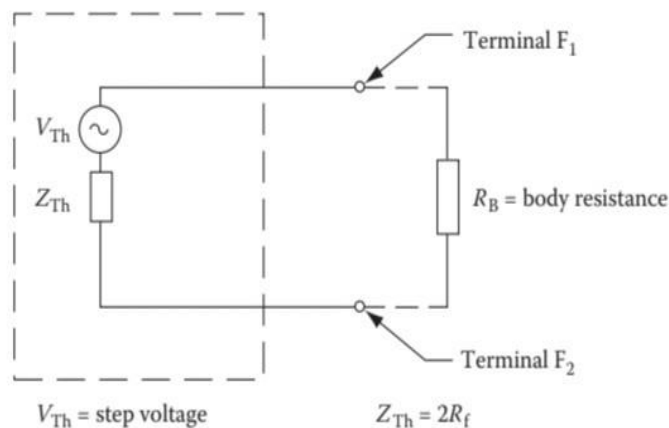


Figure 6 : Circuit à pas de tension.

L'impédance équivalente hevenin pour deux pieds en parallèle dans la tension de contact, Etouch, l'équation est

$$Z_{Th} = \frac{R_f}{2} = 1,5\rho$$

L'impédance équivalente thevenin pour deux pieds en série dans la tension de pas, Estep, l'équation est

$$Z_{Th} = 2R_f = 6\rho$$

Les équations ci-dessus supposent une résistivité uniforme du sol. Dans une sous-station, une fine couche de haute résistivité le matériau est souvent répandu sur la surface de la terre pour introduire un contact à haute résistance entre le sol et les pieds, réduisant le courant corporel. e facteur de déclassement de la couche de surface, C_s , augmente la résistance du pied et dépend des valeurs relatives de la résistivité du sol, du matériau de surface et de l'épaisseur du matériau de surface. Les équations suivantes donnent la résistance au sol du pied sur le matériau de surface:

$$R_f = C_s \left[\frac{\rho_s}{4b} \right]$$

$$C_s = 1 + \left(\frac{16b}{\rho_s} \right) * [\sum K * R_m(2nhs)]$$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

Où

- **C_s** est le facteur de déclassement de la couche de surface
- **K** est le facteur de réflexion entre les différentes résistivités des matériaux
- **ρ_s** est la résistivité du matériau de surface en Ω m
- **ρ** est la résistivité de la terre sous le matériau de surface en Ω m h_s est l'épaisseur du matériau de surface en m.
- **b** est le rayon du disque métallique circulaire représentant le pied en m.
- **R_m (2nhs)** est la résistance de terre mutuelle entre les deux plaques coaxiales parallèles similaires, séparées par une distance (2nhs), dans un milieu infini de résistivité ρ_s en Ω·m

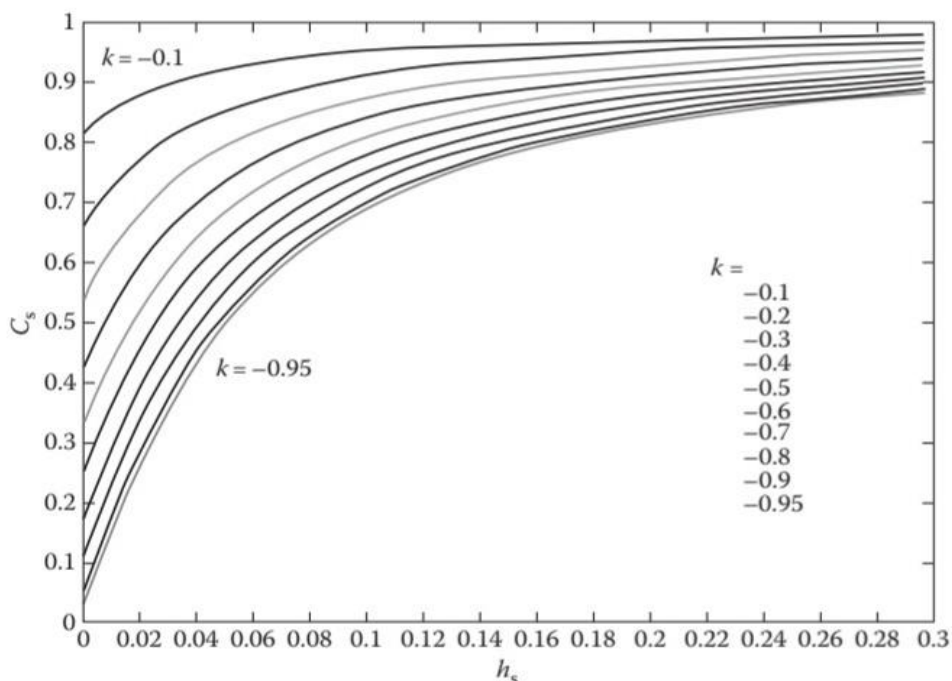


Figure 7 : Cs contre h

Une série de courbes Cs a été développée sur la base de l'équation présentée et b = 0,08 m, et est illustrée à la figure 7

5 - Tensions tolérables :

Les figures 8 et 9 montrent les tensions sous tension auxquelles une personne peut être exposée dans une sous-station. Ce qui suit les définitions décrivent les tensions :

Élévation du potentiel de terre (GPR) : le potentiel électrique maximal qu'un réseau de mise à la terre d'une sous-station peut atteindre par rapport à un point de mise à la terre distant supposé être au potentiel de la terre distante. GPR est le produit de l'amplitude du courant du réseau, la partie du courant de défaut conduit à la terre par le système de mise à la terre et la résistance de la grille de terre.

Tension de maille : tension de contact maximale dans une maille d'une grille de masse.

Tension de contact métal à métal : la différence de potentiel entre les objets ou structures métalliques à l'intérieur le site de la sous-station qui peut être ponté par un contact direct main à main ou main à pied.

Remarque : la tension de contact métal-métal entre des objets métalliques ou des structures reliées à la terre réseau est supposé négligeable dans les sous-stations conventionnelles. Cependant, la tension de contact métal sur métal entre des objets métalliques ou des structures reliées au réseau de terre et des objets métalliques à l'intérieur du site de la sous-station mais non reliés au réseau de terre, comme une clôture isolée, peuvent être considérables. Dans le cas de sous-stations à isolation gazeuse, la tension de contact métal-métal entre des objets métalliques ou des structures liées au réseau de masse peut être importante du fait de défauts internes ou de courants induits dans les enveloppes.

Tension de pas : différence de potentiel de surface ressentie par une personne franchissant une distance de 1m avec les pieds sans toucher aucun autre objet mis à la terre.

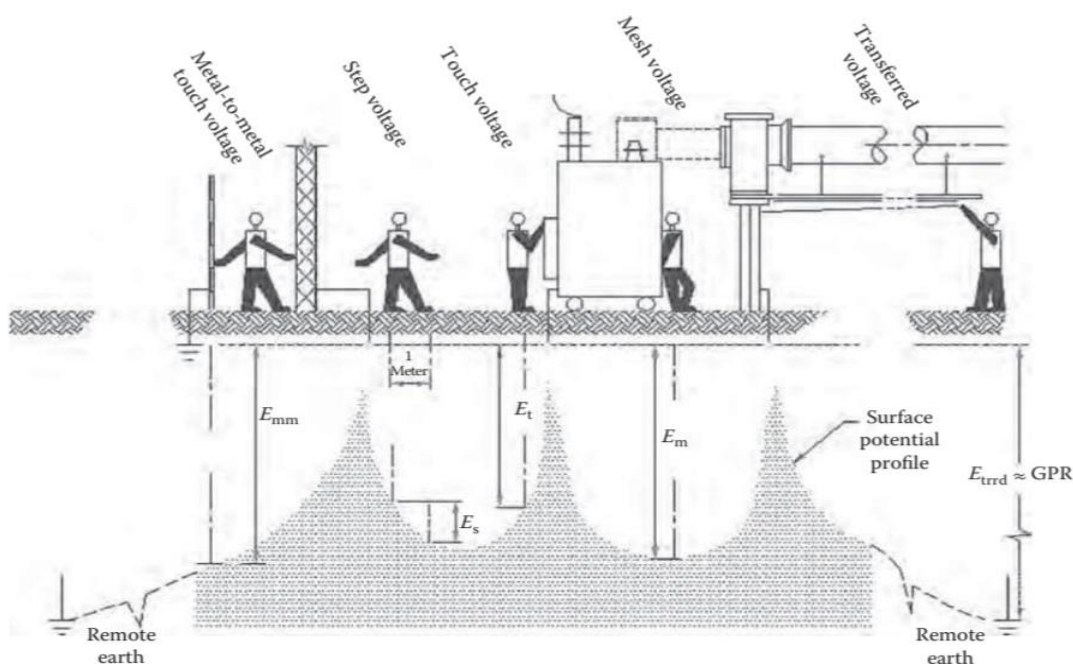


Figure 8 : Situations de choc de base.

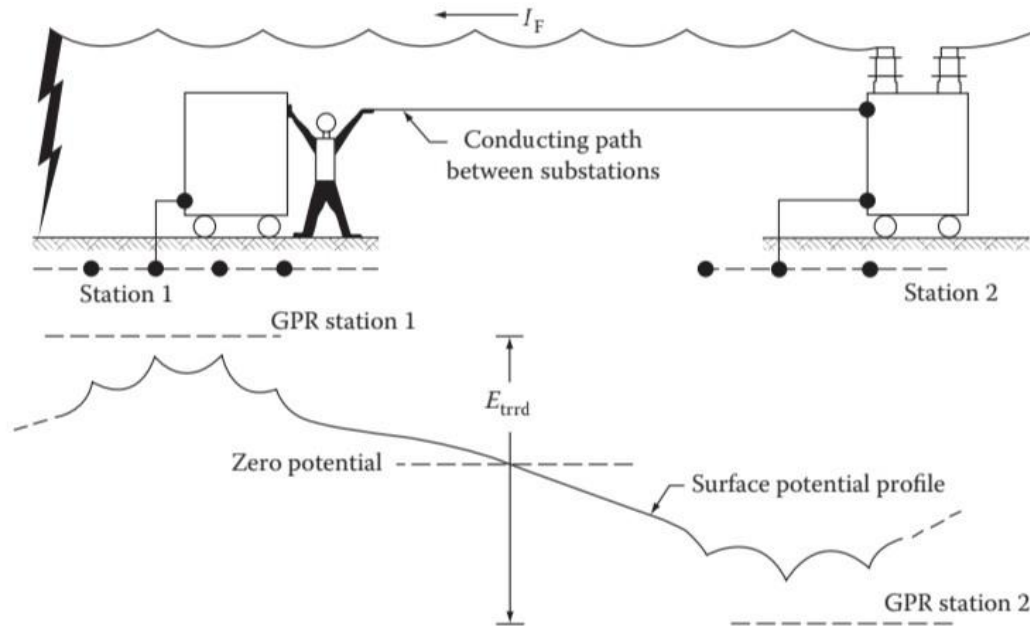


Figure 9 : Situation typique de potentiel transféré externe

6 - Tensions de contact et de pas réelles :

Il discute ensuite de la méthodologie pour déterminer les tensions de contact et de pas réelles.

6.1- Tension de maille (Em):

la tension réelle du maillage, E_m (tension de contact maximale), est le produit de la résistivité du sol, ρ ; le facteur géométrique basé sur la configuration de la grille, K_m ; un facteur de correction, K_i , ce qui représente certaines des erreurs introduites par les hypothèses faites lors de la dérivation de K_m ; et le courant moyen par unité de longueur enterrée efficace du conducteur composant le système de mise à la terre (IG/LM) :

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * IG}{LM}$$

K_m, K_i = facteurs géométriques

6.2 - Résistivité du sol

Des études de résistivité du sol sont nécessaires pour déterminer la structure du sol. voici quelques tableaux dans la littérature montrant les gammes de résistivité en fonction des types de sol (argile, limon, sable, schiste, etc.)

La résistivité du sol peut varier horizontalement et verticalement, rendant nécessaire de prendre plus d'un ensemble de mesures. Basé sur la résistance, R , telle que déterminée par la tension et le courant, la résistivité apparente peut être calculée à l'aide de l'équation suivante, en supposant que b est petit par rapport à a :

$$\rho_a = 2\pi a R$$

$P\alpha$ = resistance apparent

α = Profondeur d'humidité de terre

6.3 - Résistance de grille

La résistance du réseau, c'est-à-dire la résistance du réseau de terre à la terre éloignée sans autres conducteurs métalliques connectés, peut être calculée sur la base de l'équation suivante :

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

où

- R_g est la résistance de terre de la sous-station, $\Omega\rho$ est la résistivité du sol, Ω m
- A est la surface occupée par la grille au sol, m^2
- h est la profondeur de la grille, m
- L_T est la longueur totale enterrée des conducteurs, m

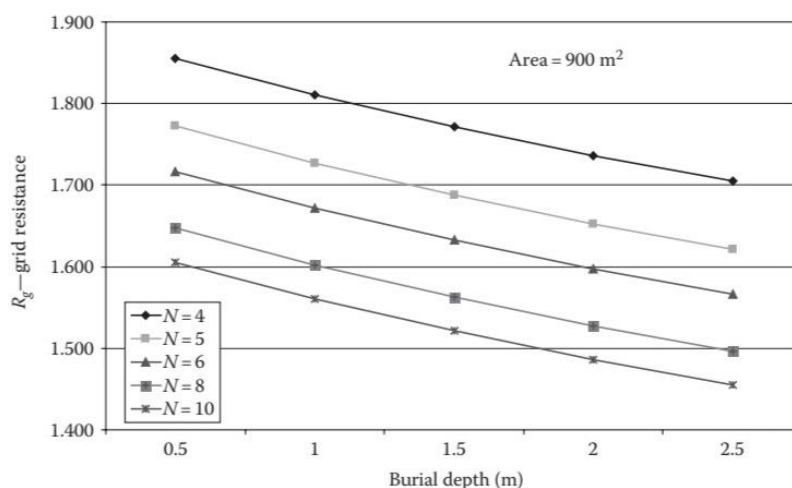


Figure10 : Résistance en fonction de la profondeur

6.4 - Courant de grille:

Le courant maximal du réseau doit être déterminé, car c'est ce courant qui produira le plus grand GPR et les plus grands gradients de potentiel de surface locaux dans et autour de la zone de la sous-station. C'est le bas de le courant du système de grille au sol à la terre éloignée qui détermine le GPR. Voici plusieurs types de défauts qui peuvent survenir sur un système électrique. par conséquent, il est difficile de déterminer quelle condition produira le courant de défaut maximal. En pratique, simple ligne-terre et les défauts de ligne à ligne à terre produiront le courant de réseau maximal. Les figures 7 à 9 montrent le courant de réseau maximal, IG, pour divers emplacements de défaut et configurations de système.

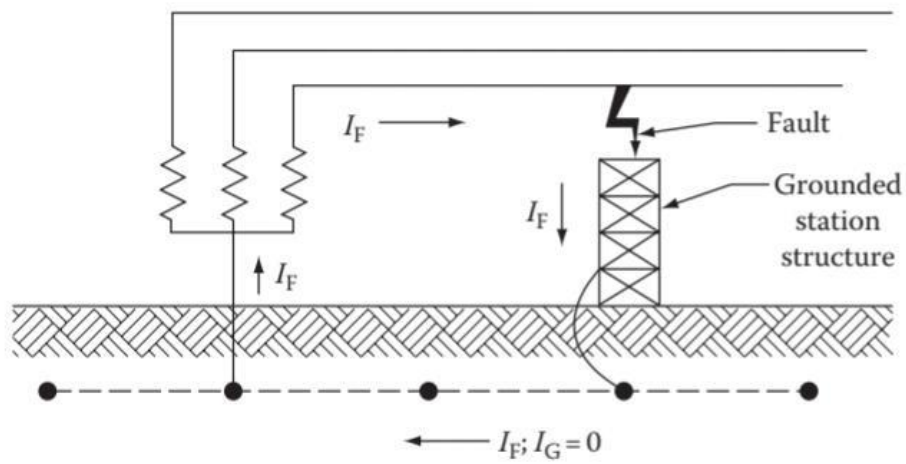


Figure 11 : Défaut dans la sous-station locale, neutre local mis à la terre.

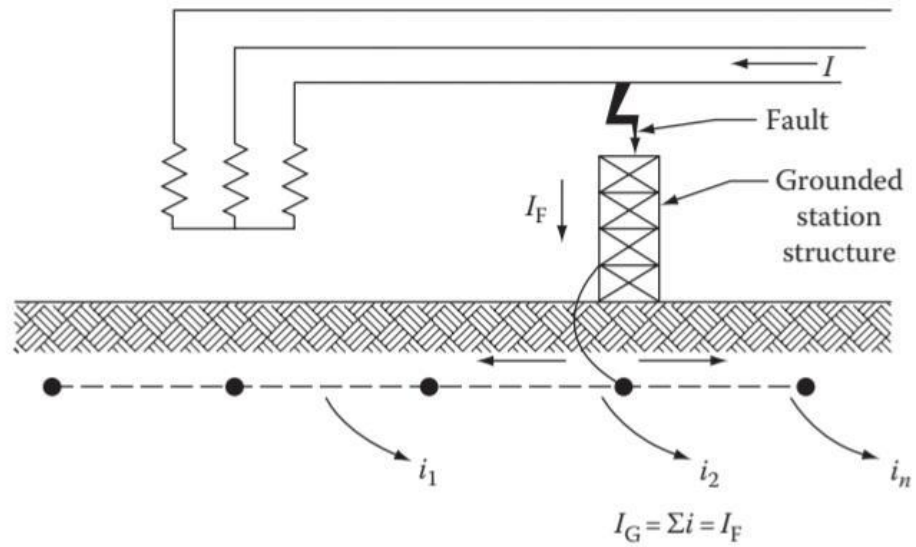


Figure 12 : Défaut dans la sous-station locale, neutre mis à la terre à distance

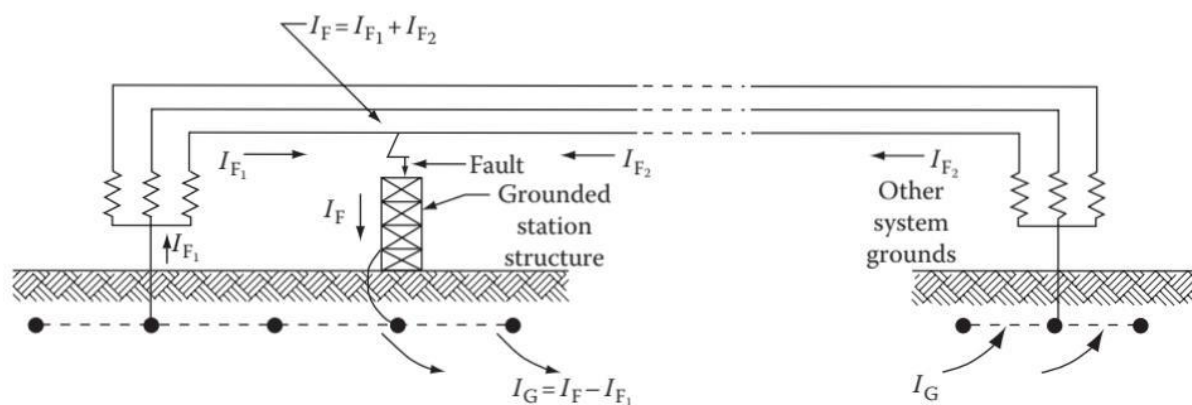


Figure 13 : Défaut dans la sous-station, système mis à la terre à la station locale et également à d'autres points.

7 - Le choc électrique :

7.1 - Quoi est Le choc électrique

Les principaux risques associés à l'électricité sont les chocs électriques et les incendies. Un choc électrique se produit lorsque le corps devient une partie du circuit électrique, soit lorsqu'une personne entre en contact avec les deux fils d'un circuit électrique, un fil d'un circuit sous tension et la terre, ou une pièce métallique qui est devenue sous tension au contact d'un conducteur électrique.

La gravité et les effets d'un choc électrique dépendent d'un certain nombre de facteurs, tels que la voie à travers le corps, la quantité de courant, la durée de l'exposition et si la peau est humide ou sèche. L'eau est un excellent conducteur d'électricité, permettant au courant de circuler plus facilement dans des conditions humides et à travers la peau mouillée. L'effet du choc peut aller d'un léger picotement à des brûlures graves à un arrêt cardiaque

7.2 - A Le cas d'électrification

Une victime de choc électrique pourrait perdre connaissance. Si la victime est toujours en contact avec la source d'alimentation sous tension, éteignez la source sous tension ou appuyez sur le bouton d'arrêt d'urgence avant d'administrer l'aide. Ne touchez personne qui est encore en contact avec une source d'alimentation sous tension, car vous pourriez également être électrocuté

L'un des aspects essentiels de la protection des personnes et des équipements dans les sous-stations électriques est la fourniture d'un système de mise à la terre adéquat. Le système de mise à la terre interconnecte les neutres de l'équipement, les boîtiers de l'équipement, les mâts de foudre, les parafoudres, les fils de terre aériens et les structures métalliques, en les plaçant au potentiel de la terre.

8 - Groupes des défis généraux :

8.1 - La surtension

Une surtension correspond à une élévation soudaine de la tension (en Volt) du courant circulant dans une installation électrique. Une surtension peut être provoquée par :

Un coup de foudre : lorsque la foudre frappe une ligne électrique, un courant de plusieurs milliers de Volt se déverse en une fraction de seconde depuis le point de contact jusqu'au sous-sol en empruntant le chemin le plus conducteur possible. Dans certaines situations, ce chemin peut passer par les fils de votre installation électrique intérieure ;

Un contact accidentel entre une ligne haute tension et une ligne du réseau basse tension ;

- ce problématique est réglé par mis à terre et peut éventuellement par l'aréactance shunt.

L'allumage d'un appareil électrique très énergivore, bien que ces surtensions soient beaucoup plus légères que celles provoquées par un coup de foudre ou par un dysfonctionnement majeur du réseau.



Figure 14 : le risque de foudre à la réseau électrique

8.1.1 - Les coups de foudre

La protection d'un poste contre les coups de foudre directs consiste à prévoir des chemins conducteurs sécurisés pour acheminer les courants de foudre vers le sol sans endommager les équipements et sans mettre en danger le personnel. La méthode la plus ancienne et la plus simple est l'angle de protection et la zone de protection. Il utilise l'angle de protection pour l'emplacement des fils de mise à la terre, des mâts et des tiges. L'angle α décrit une ligne inclinée qui limite la zone de protection. Les structures situées à l'intérieur de la zone de protection sont sensiblement à l'abri des coups de foudre. Dans le cas d'un fil de terre, l'angle de protection se traduit par des surfaces planes inclinées en dessous desquelles tous les objets sont protégés contre les coups de foudre. Pour les mâts ou les tiges, l'angle de protection génère une surface conique protégeant les éléments situés en dessous. La protection peut ne pas être complète si l'équipement se trouve au-delà de la zone de protection de l'appareil. Certaines des frappes peuvent toucher l'équipement ou les personnes plutôt que le dispositif de protection dans de tels cas.

- Ce problème bien sûr et résolu par le placement des parafoudres sur différent point sur la sous-station

8.2 - L'arc électrique :

Un arc électrique est un courant électrique visible dans un milieu isolant (gaz, air, etc.). La découverte des principes régissant ce phénomène est attribué au chimiste et physicien anglais Humphry Davy en 1813. Son explication fait appel à une physique très complexe.

En langage courant, un arc électrique de faible ampleur est une « étincelle » parfois lié à un court-circuit temporaire.



Figure 15 : arc électrique à un sectionneur

Foudre ou étincelle, on parle d'arc électrique lorsque le courant électrique devient visible en circulant d'un endroit à un autre au sein d'un milieu isolant. Le plus souvent, ce dernier n'est autre que l'air qui se trouve tout autour de nous.

Afin qu'un arc électrique se produise, une condition est nécessaire : celle de l'ionisation du milieu isolant, c'est-à-dire, la perte de charge d'un atome ou une molécule. Au sein d'un environnement non neutre, ce phénomène permet alors à l'électricité de circuler grâce à une sorte de brèche qui s'est formée.

Quels sont les risques d'électrisation ? Les arcs électriques accidentels peuvent entraîner de graves risques d'électrisation. Les élévations importantes de température qu'ils génèrent entraînent la fusion des matériaux, et peuvent provoquer de graves brûlures.

Pour éteindre l'arc électrique, il faut que le courant d'arc devienne et reste nul. En faisant varier la vitesse d'ouverture et la distance entre les contacts, on influence grandement la puissance et la durée de l'arc électrique.

- Ce problème particulier est réglé par les disjoncteurs d'air et gaz qui élimine le problème d'arc électrique

8.3 - Pertes de puissance

Malgré l'effort entrepris pour limiter la résistance, le transport de l'électricité engendre des pertes d'énergie importantes, principalement par effet Joule. À titre d'exemple, pour le réseau de transport d'électricité en France, ces pertes sont estimées en moyenne à 2,5 % de la consommation globale, soit 11,5 TWh par an.

Pour ne pas subir de pertes importantes, on utilise donc deux techniques :

Augmenter le nombre de conducteurs : certaines lignes comportent pour chacune des phases jusqu'à quatre câbles distants de quelques centimètres ;

diminuer l'intensité du courant en élevant la tension : pour une puissance transportée identique, si on augmente la tension, l'intensité du courant électrique diminue et les pertes dues au passage du courant dans le fil seront réduites selon le carré de l'intensité. Augmenter le cos-phi.

Alterner les phases.

Toutefois, la tension servie aux particuliers doit rester inchangée (230 V en Europe ou 120 V en Amérique du Nord pour les installations domestiques) et dans le domaine de la basse tension afin de limiter les risques pour les utilisateurs. Il faut donc l'abaisser au plus près de ceux-ci. Comme on ne sait pas le faire de façon simple avec le courant continu (cf. HVDC), on a recours au courant alternatif (de fréquence 50 Hz en France ou 60 Hz au Québec et Amérique du Nord) et à des transformateurs.

- Le Réactance shunt out éventuellement réduit l'effet de ce problème

8.4 - Dissuasion et sécurité des animaux

La grande majorité des services publics d'électricité conçus sous-stations est pour transformer les tensions de transmission en tensions de classe de distribution utilisent une conception à ciel ouvert. Les configurations peuvent varier, mais consistent généralement en un équipement qui utilise des isolateurs ou des traversées en polymère ou en porcelaine pour créer des lignes de fuite électriquement isolées et des distances d'arc sec entre la tension potentielle transportée par le bus ou le conducteur et les parties mises à la terre de l'équipement ou de la structure. Bien que ces isolateurs ou traversées fournissent la distance d'isolation appropriée pour les tensions de fonctionnement normales (AC, DC), ils ne fournissent pas des distances suffisantes pour éliminer le pontage de nombreux animaux du potentiel à la terre.

Bien sûr clôtures de différentes sortes sont un bon moyen de dissuasion contre le danger que des animaux s'infiltrerent dans la sous-station, bien sûr, il existe des moyens plus modernes d'empêcher ces animaux d'entrer dans la station, tels que des dispositifs laser guidés pour les oiseaux et des caméras thermiques pour les grands et les petits animaux terrestres

9 - Mesures préventives :

Il existe différentes manières de protégée les personnes contre les dangers causés par l'électricité, notamment l'isolation, la protection, la mise à la terre et les dispositifs de protection électrique. les travailleurs peuvent réduire considérablement les risques électriques en suivant certaines précautions de base :

- Examinez le câblage de l'équipement avant chaque utilisation. signalez ou remplacez immédiatement les cordons électriques endommagés ou effilochés ou tout autre équipement.
- Utilisez des pratiques de travail sécuritaires chaque fois que l'équipement électrique est compromis
- Connaître l'emplacement et comment faire fonctionner les coupe-circuits et/ou les panneaux de disjoncteurs. en cas de signe de problème
- Utiliser des interrupteurs anti-incendie spécialisés après l'arrêt du courant électrique dans l'équipement en cas d'incendie ou d'étincelles
- Les adaptateurs multiprises doivent avoir des disjoncteurs ou des fusibles.
- Minimisez les risques de déversements d'eau ou de produits chimiques sur ou à proximité de l'équipement électrique délicat.
- le port de vêtements isolés appropriés offre une excellente protection contre les ondes électromagnétiques nocives à basse fréquence et les pénétrations potentielles de circuits (mieux vaut prévenir que guérir).

10.Conclusion :

le poste est sujet à de nombreux défauts, risques et défaillances qui peuvent nuire à son bon fonctionnement les risques sont nombreux, la foudre, le sabotage et les défauts de mise à la terre sont pour n'en citer que quelques-uns il existe également un grand groupe de pannes possibles telles que les pannes d'équipement et de transformateur dans la bobine et son noyau métallique .

les different équipements de protection sont là pour protéger le transformateur fragile et très coûteux

Chapitre 4 :

Etude de cas : le sous-tation de ben haoua

1 - Introduction:

De l'époque de l' EGA (Electricité et Gaz Algérie) ,fournisseur historique d'électricité et gaz ,à l'émergence d'un groupe énergétique de premier plan au niveau national,reconnu et notoire a l'échelle du continent africain et du bassin méditerranéen, Sonalgaz (Société Algérienne d'Electricité et gaz) a écrit Durant soixante années l'une des plus balles pages du développement économique et social de l'Algérie

2 - Les différentes filiales de la Sonelgaz :

- Il existe trois filiales qui résument la mission de la Sonelgaz :

SPE → production d'énergie électrique

GRTE → gestion reseau transport électrique

SDC → system distribution de courant

2.1- la production d'énergie électrique en Algérie (SPE)

La production se fait par deux principales sources : la vapeur et le Gaz

le processus de générationde l'électricité à basse tension et haute tension par exemple (10KV/1000 A) ce qui n'est pas pratique à transporter, donc l'électricité estdirigéevers un transformateurélevateur qui augmente la tension et abaisse le courant.

Les tensions de transmissionstandard algérienne sont (400KV/220KV/60KV) enfonction de la distance parcourue

2.2 - la transmission de l'électricité électrique(GRTE)

Elle se fait par des lignes à haute tension avec un dénivelé important : la tension dansceslignespeutvarier de 400 KV à 220KV jusqu'à 60KV enfonction de la distance par exemple les lignes de 400KV sont les moinscourantessontutiliséesdans les parties inférieures du pays comme Ouargla 220KV dans les parties médianes et 60KV dans les villes à forte densitétellesque les villes du nord (mostaganem, oran ,algie....) ceschangementsseffectués pour réduire la quantitéd'énergieperduedans le réseau

2.3 - les lignes de distribution(SDC)

Ce sont des lignesmoyennes tension chargées de fournirl'électricité aux clients commerciaux.

La station de Sidi Benhaouafournit deux tensions différentes : 10KV pour fermer la zone et 30KV les autresendroits .Ceslignessontsouterraines et sontconnectées à de petitstransformateursrégionaux qui transforment l'électricitétriphasée 30KV/10KV en 400V/220V pour un usage domestique.

3 - La station à route de masra/mostaganem route (W49) :

la centrale électrique de Boutlelis, d'une puissance globale de 446 MW, a permis de faire le point sur l'état d'avancement des travaux. La réalisation de cet ouvrage a été décidée pour faire face à la demande croissante et urgente en énergie électrique du pays, assurer la fiabilité et la continuité de la qualité de service ainsi que la sécurité de l'alimentation de la région Ouest. Le gazoduc d'alimentation de la centrale en gaz naturel est réalisé. L'énergie électrique produite sera évacuée à partir de l'avant-poste blindé 220 Kv de la centrale vers le poste 220/60 Kv de Messerghine, à travers deux lignes 220 Kv



Figure 1 : Une capture gps de la sous-station mesra/mostaganem

Sur cette photo, nous voyons une photo GPS de la sous-station à la route de masra/mosta.

Cette sous-station d'une longueur de 200m et d'une largeur de 190m, elle fonctionne à une fréquence de 60 KV et distribue vers 10 lignes de distribution.

cette sous-station particulière provient d'oran/motards et alimente la daïra de Mesra et ses environs

4 –La sous- station de Sidi Benhaoua:

La sous-station de Sidi Benhaoua est une sous-station à gaz classique qui remonte à l'ère pré-indépendance en 1947, elle a été rénovée en 2004 pour répondre aux normes modernes. Elle approvisionne presque toute la ville de Mostaganem de Benhaoua à Sayada et Salamandre.

Cette sous-station est alimentée par trois lignes de transmission à haute tension de 60 KV générées à partir de la centrale de Marsa el hadjadj-oran. A l'intérieur du poste électrique, on trouve 2 jeux de barre, 4 batteries de condensateur (2 à 30KV et 2 à 10 KV), 3 transformateurs et 24 lignes de distribution: 10 lignes de 10KV et 14 lignes de 30 KV

les deux lignes 30 KV alimentent les régions lointaines de mostaganem par exemple : Mazagran, Sayada et Ain Tedless.

Chapitre 04 : étude de cas le sous-station de sidi benhaoua

Les lignes 10KV alimente les régions les plus proches comme Salamandre, 5 juillet et Tjidd

- ❖ Ce poste électrique fonctionne par gaz SF6, elle est alors désignée par (GIS): une sous-station isolée par gaz, le disjoncteur SF6 et GIS sera expliqué plus bas .

5 –Etude du transformateur de la sous-station :

Ilssont 3 transformateurs de haute tension :

- premier transformateur tersial 60KV/30KV/10KV - 40 MVA

explication : il permet le changement de la tension secondaire. Notezque le changement se produitphysiquement au niveau du bobinage primaire

- deuxièmetransformateur 60KV/30KV - 40MVA
- troisièmetransformateur 60KV/10KV - 40MVA

les transformateurs sont de la marque CG POWER (1) EFACEC (2) du Portugal



figure 2 : le transformateur dans la sous-station de Sidi Benhaoua



figure 3 : Le transformateur CG POWER

6 - Sous-stations isolées au gaz :

Une sous-station à isolation gazeuse (GIS) utilise un gaz diélectrique supérieur, l'hexafluorure de soufre (SF₆), à pression modérée pour une isolation entre phases et entre phases et terre.

Les conducteurs à haute tension, circuit disjoncteurs, interrupteurs, transformateurs de courant (TC) et transformateurs de tension (TT) sont encapsulés dans du SF₆ gaz à l'intérieur d'enceintes métalliques mises à la terre.

L'isolation de l'air atmosphérique utilisée dans un système conventionnel, la sous-station isolée à l'air (AIS) nécessite des mètres d'isolation à l'air pour faire ce que SF₆ peut faire en centimètres. SIG peut donc être plus petit que l'AIS jusqu'à un facteur de 10. Un SIG est surtout utilisé là où l'espace est cher ou non disponible. Dans un SIG, les parties actives sont protégées de la détérioration due à l'exposition à l'air atmosphérique, à l'humidité, à la contamination, etc. De ce fait, le SIG est plus fiable, nécessite moins d'entretien, et aura une durée de vie plus longue (plus de 50 ans) que l'AIS.

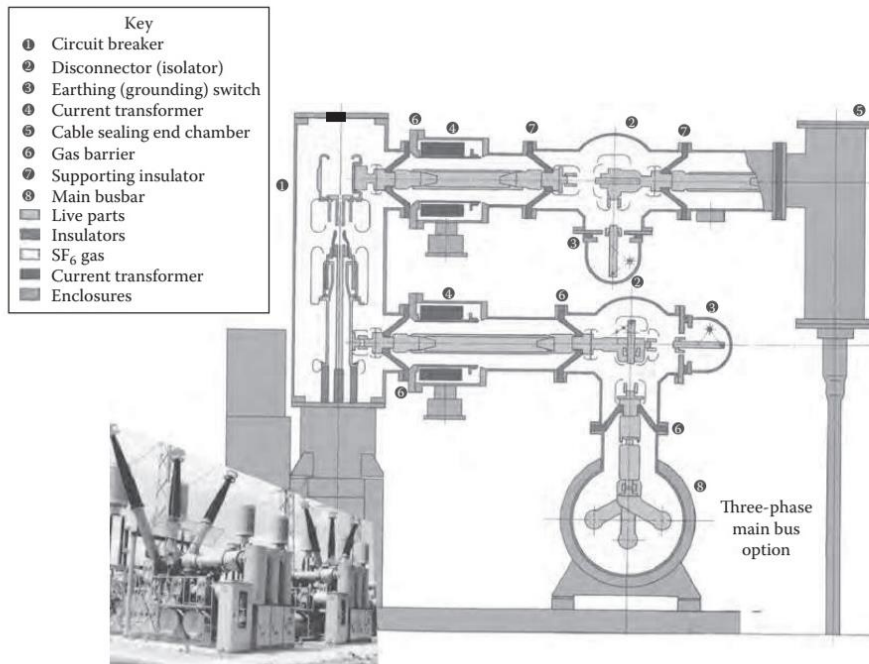


Figure 4 : Schéma de principe d'un disjoncteur de gaz SF6

Au-dessus de 60 kV, la taille de l'enveloppe pour les SIG « enveloppe triphasée » devient trop grande pour être pratique.

7 - Les types de défauts survenant dans la sous-station:

Les problèmes potentiels donnés par les ingénieurs qui travaillent dans la station sont très variés. Ces problèmes peuvent être divisés en deux groupes **intérieur** et **extérieur** : par intérieur on entend les pannes du transformateur et du disjoncteur gaz et par extérieur les défauts des lignes de transport ou de distribution.

7.1 - Défauts intérieur :

A- Defaults sur transformateur

Les défauts des transformateurs sont les pannes les plus courantes car c'est le composant le plus complexe de la sous-station électrique.

B - arrête entre prise :

Cette défaillance peut être causée par une bobine compromise ou une autre pièce intérieure qui entraîne l'arrêt soudain d'une ligne ou plus du transformateur.

Le disjoncteur est automatiquement arrêté et la résistance entre les phases est vérifiée, si la résistance est infinie entre l'une des phases, alors c'est que ce défaut en est la cause.

Chapitre 04 : étude de cas le sous-station de sidi benhaoua

Cela peut conduire au courant se connectant au corps du transformateur, ce qui est extrêmement dangereux. C'est pour cette raison que l'arrêt du flux d'électricité en cas de panne d'un équipement est obligatoire.

Ce type de problèmes est plus commun pour le transformateur-régulateur de tension (tercier) de 60KV/30KV/10KV à la sous-station de Sidi Benhaoua.

C - le compromis de la soupape d'huile :

Le transformateur du poste contient une grande quantité d'huile qui est utilisée à deux fins : isolation et refroidissement.

Lorsque l'huile est chauffée à un degré excessif par un dysfonctionnement ou un court-circuit à l'intérieur du transformateur, elle commence à produire des gaz qui conduisent à la destruction de la vanne d'huile, ce qui oblige à réduire la pression à l'intérieur pour arrêter tout autre dommage.

Cette fuite avertit le personnel d'arrêter immédiatement le flux d'électricité et de commencer à réparer ou à retirer le transformateur.

Ce problème s'est déjà produit dans la station et il a été causé par un court-circuit à l'intérieur du bobinage.

Dans le disjoncteur SF6 deux pannes peuvent se produire:

A - perte de gaz :

Elle conduit non seulement à la perte de fonction du disjoncteur mais signifie aussi qu'il y a une fuite dans le gaz intérieur très toxique pour l'homme.

Ce problème ne s'est heureusement jamais produit à la sous-station d'après les responsables

B - perte de pression :

Le disjoncteur ne fonctionne pas correctement en fonction de la quantité de pression perdue.

Il peut être dû à un dysfonctionnement de la pompe à essence ou un blocage des canalisations. Ceci arrive rarement, mais il doit être considéré.

7.2 - Défauts extérieurs :

A - Défaut à protection différentielle:

Ce défaut particulier provient des lignes de distribution et peut être causé par diverses raisons : des tempêtes aux branches d'arbres en passant par les oiseaux, ce qui peut entraîner une coupure ou un court-circuit dans la ligne.

Ce problème peut être détecté par le transformateur de courant entre le transformateur et les lignes de distribution en comparant les lectures d'énergie des deux extrémités : si les résultats sont différents, il déclenche immédiatement le disjoncteur et alerte automatiquement le personnel.

Ce défaut est le plus courant, et est traité par le personnel de la sous-station à un rythme fréquent.

B - Surcharge thermique :

C'est liée aux lignes de transmission : dans certains cas, il y aura une élévation soudaine du courant qui peut dépasser la capacité de courant maximale du transformateur, mais qui est contrée par la détection de la (Protection MAX I) à l'intérieur qui envoie ensuite cette information au personnel du centre de contrôle.

Pour un bon fonctionnement de la station, et l'observation et la maintenance de routine est nécessaire :

- le changement régulier de l'huile des transformateurs
- le vérification de gaz SF6 dans les disjoncteurs .



figure 5 : Centre de contrôle de station benhaoua

8 - Contrôle et maintenance de la sous-station :

La station est sujette à de nombreux risques et pannes de sorte que la vérification constante des équipements est nécessaire pour le bon fonctionnement constant de la station.

Ci-dessous, nous présentons un groupe des contrôles quotidiens effectués par le personnel :

- la surveillance régulière des lignes de la sous-station pour voir s'il y a des défauts visibles ou des coupures dans la transmission ou les lignes de distribution à mosta ville.
- les lignes des deux côtés (transmission et distribution) sont souterraines et très isolées, de sorte que la possibilité d'un défaut est très minime, du moins dans les parties souterraines.
- la surveillance du gaz dans le disjoncteur SF6 pour toute perte de pression qui peut être causée par un percage dans la chasse d'une pompe ou de tout autre composant de gaz pour éviter la fuite dangereuse du gaz.

Chapitre 04 : étude de cas le sous-station de sidi benhaoua

- la surveillance de l'huile dans les transformateurs pour qu'elle puisse être changée en cas de perte de sa fonction au niveau d'un sectionneur et d'un refroidisseur. Cette huile peut être changée par les ingénieurs de la station. Cette action est effectuée dans de rares cas mais ce n'est pas une action très courante car l'huile est très résistante.

8.1 - Le distance de sécurité :

électriques la distance de sécurité est créée pour la sécurité du personnel de la gare si elle n'est pas respectée la haute tension dans les lignes peut sauter ou même tuer une personne par le champ électromagnétique qu'elle crée et conduire à des conséquences fatales, ci-dessous nous voyons une vue générale sur la distance de sécurité des trois principales tensions algériennes donnée par les ingénieurs de Mostaville

400KV -----> 2m

220KV -----> 1.2m

60KV -----> 80 cm (mostaville)

le non respect de la distance de sécurité peut avoir des conséquences mortelles

9 - Conclusion

- ❖ Le réseau Algérien se compose de trois branches : SPE GRTE SDC
- ❖ La majorité des stations et des postes électriques Algériens sont des sous stations isolées par gaz SF6.
- ❖ Les risques à l'intérieur de la sous station sont réels et très coûteux pour le personnel, et pour l'équipement.

Une surveillance constante est nécessaire au bon fonctionnement de la station

Conclusion Générale

Dans le cadre de notre stage effectué à la sous-station de Sidi Benhaoua, nous avons eu l'occasion d'étudier les différents éléments qui constituent le poste ainsi que toutes les pannes et les problèmes qui surviennent.

- Nous avons également appris qu'une sous-station est une installation qui est utilisée pour élever ou abaisser la tension dans les lignes électriques du service public, la tension sera augmentée si l'électricité est transmise via des lignes de transmission longue distance et elle sera abaissée lorsque le courant doit entrer dans la ligne de distribution locale. En général, une sous-station électrique est un lieu qui transmet l'électricité d'une partie du système de production à d'autres.*
- une sous-station peut être à la limite de nombreux risques, dangers et problèmes potentiels qui, s'ils sont laissés seuls, entraveront définitivement le fonctionnement de cette partie nécessaire du système électrique ces problèmes peuvent varier et différer des risques naturels tels que la foudre, le sabotage ou une simple panne de machine, tout peut être préjudiciable à son travail.*
- La majorité des sous station algériennes sont des sous station isole par gaz SF6.*
- la sous-station isolée au gaz offre de plus grands avantages en termes de taille et de pièces par rapport aux sous-stations isolées à l'air au prix de risques plus important*

Tableau des schemas :

Chapire 01 :

Figure N°	Le titre	Page N°
1	<i>Nombreuses lignes électriques aux abords d'un poste</i>	6
2	<i>Départs de lignes de distribution à 60kV</i>	6
3	<i>Edison a été un pionnier dans la réalisation des premiers réseaux électriques</i>	7
4	<i>Les réseaux de transport sont basés sur une structure de réseau maillée</i>	9
5	<i>Entre les 2 postes rouges, la structure est bouclée</i>	9
6	<i>Les réseaux de distribution sont généralement basés sur une structure arborescente de réseau</i>	10
7	<i>Production d'énergie électrique par Gaz naturel</i>	11
8	<i>Production d'énergie par barrages</i>	11
9	<i>220 kV triphasé puissance électrique des Lignes de Transmission</i>	13
10	<i>Schéma d'un système de l'énergie électrique; système de transmission</i>	14
11	<i>Une ligne de transmission d'énergie à quatre circuits et deux tensions (220/110 kV)</i>	14
12	<i>section de cable transmission</i>	15
13	<i>une module d'une sous-station</i>	16

chapitre 02 :

Figure N°	Le titre	Page N°
1	<i>1. Une module sous-station (220kv/60kv)</i>	21
2	<i>Transformateurs à la centrale hydroélectrique</i>	22
3	<i>Transformateurs à la centrale hydroélectrique</i>	23
4	<i>circuit de poste Transformateurs à la centrale hydroélectrique</i>	24
5	<i>Sous-station d'alimentation d'un réseau ferroviaire</i>	25
6	<i>Composants électriques dans un poste</i>	26
7	<i>Un transformateur de puissance dans un poste électrique</i>	28
8	<i>section d'une transformateur HT</i>	28
9	<i>Symbole d'un autotransformateur</i>	29
10	<i>En cas de court-circuit, un risque existe que la tension du secondaire devienne égale à celle du primaire</i>	30
11	<i>En cas de défaut au secondaire, un risque existe que la tension du secondaire devienne égale à celle du primaire</i>	30
12	<i>Sectionneur à haute tension à isolement dans l'air</i>	31
13	<i>Contacteur à haute tension industrielle</i>	32
14	<i>Disjoncteur 400 kV</i>	33
15	<i>entre les contacts d'un disjoncteur à haute tension</i>	34
16	<i>disjoncteur à air comprimé</i>	35
17	<i>Principe des disjoncteurs auto-pneumatiques</i>	36
18	<i>Disjoncteur 220 kV</i>	36
19	<i>disjoncteur auto-soufflage</i>	37
20	<i>Parafoudre à varistance sur ligne de transmission 110 kV</i>	38

21	<i>Transformateur de courant de tension nominale 220 kV de type courant inverse</i>	40
22	<i>Transformateur de tension, de tension nominale 60 kV</i>	41
23	<i>Jeux de barres d'un poste 400 kV</i>	42
24	<i>Réactance shunt 220 kV immergée dans l'huile</i>	43
25	<i>Compensation shunt</i>	43
26	<i>Installation pour le couplage d'un CPL sur un poste électrique 220 kV</i>	45

Chapitre 03

figure N°	Le titre	Page N°
1	<i>transformateur avec une défaut court-circuit</i>	49
2	<i>montre un réseau de mise à la terre typique</i>	50
3	<i>touch-voltage</i>	51
4	<i>circuit touch-voltage</i>	51
5	<i>step-voltage circuit</i>	51
6	<i>Circuit à pas de tensio</i>	52
7	<i>Cs contre h</i>	53
8	<i>Situations de choc de base</i>	54
9	<i>Situation typique de potentiel transféré externe</i>	55
10	<i>Résistance en fonction de la profondeur</i>	56
11	<i>Défaut dans la sous-station locale, neutre local mis à la terre</i>	57
12	<i>Défaut dans la sous-station locale, neutre mis à la terre à distance</i>	57
13	<i>Défaut dans la sous-station, système mis à la terre à la station locale et également à d'autres points.</i>	58
14	<i>le risque de foudre à la reseau électrique</i>	59
15	<i>arc électrique à une sectionnair</i>	60

Chapitre 04 :

Figure N°	Le titre	Page N°
1	<i>Une capture gps de la sous-station mesra/mostaganem</i>	65
2	<i>le transformateur dans la sous-station de Sidi Benhaoua</i>	66
3	<i>Le transformateur CG POWER</i>	67
4	<i>Schéma de principe dune disjoncteur de gaz SF6</i>	68
5	<i>Centre de contrôle de station benhaoua</i>	70

références générales:

références bibliotique

1. Mise à la terre du neutre dans un réseau industriel haute tension/ CT062.PDF
2. Electric_Power_Substations_Engineering__Third_Edition-with-cover-page-v2.pdf
3. Polycopie-Réseaux-Electriques_corr-1.pdf
4. « Cahier des charges général – Lignes souterraines HTB » [PDF], sur rte-France.com

références des link

5. SOUS-STATIONS COMPACTES MOYENNE TENSION - cloudfront.net
6. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Reseau-electrique.html>
7. « Le fonctionnement du réseau de distribution de l'énergie »
8. Électricité en France : les principaux résultats en 2006, DGEMP / Observatoire de l'énergie
9. Pertes sur le Réseau Public de Transport
10. Réseau 400Hz, sur idemdito.org
11. ctriciteguide.com
12. Fr.answerexpress.com <https://www.taurillon.org/Le-role-strategique-des-reseaux-electriques>
13. Electrosup.com Protection of MV/LV substation transformers by D. Fulchiron (Schneider Electric)

❖ Tous les information à chapitre 4 est obtenu à la tour de stage et par les ingénieurs à stations benhaoua et masra/ mosta ,un grand merci à eux.

fin

