



Etude sur les protections d'un transformateur 150kv/33k

Présenté et soutenu par :

Khaldi Ons & Brahmi Hadil

En vue de l'obtention de

Licence Appliquée en

Electronique, Electrotechnique et Automatique

Sous la Direction de :

Mr. Ladghem Anis

Soutenu 08./06/2023

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Ben houssine Moez

Rapporteur : Mr. Zemmell Sami

Membres : Mr. Ladghem Anis

2022/2023

Dédicaces



*C'est avec une grande émotion que je dédie
Ce modeste Travail de fin d'études aux êtres les plus
chers :*

*Mon père et ma mère qui ont fait de moi
Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines
M'ont Permis de vivre ce jour.*

*Avec leurs aides, leur grande émotion et leur sacrifice.
A toute ma famille a tous mes amis et a tous ceux qui
Me sont chers.*



Khaldi Ons



Dédicaces

Du plus profond de mon cœur et avec le plus grande plaisir de ce monde.

Je dédie ce travail à mes parents qui font le maximum pour leur soutien et encouragement durant toute ma vie.

Que ce travail soit le symbole de mon grand amour, et mes reconnaissances de leur effort et leur soutien inoubliable et de ces années de sacrifices.

Aussi à toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Brahmi Hadil

Remerciements

*Nous tenons à exprimer nos gratitudes et la plus haute reconnaissance, en premier lieu, à notre encadreur Monsieur **Ladghem Anis** pour tout le temps qu'il nous a consacrée et tous les conseils qu'il nous a prodiguée durant tout notre projet de fin d'études.*

Je remercie particulièrement :

*Monsieur **Chaabani Ayoub** mon parrain industriel, qui m'a formé tout au long de la période de mon stage en me faisant part de son expérience professionnelle et de ses compétences.*

Nous tenons à remercier aussi tout le corps professoral de l'institut supérieur de science appliquées et technologique de Gafsa.

Merci



Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre1 : Présentation de la société.....	3
1. Présentation de la STEG	4
2. Présentation de la Direction de la Production du Transport D'électricité.....	6
3. Région de Transport d'électricité Sud	8
3.1. Présentation.....	8
3.2. Mission de la région de transport sud	8
4. Base de transport de l'électricité de Gafsa	8
4.1. Présentation :.....	8
4.2. Les Zones et les postes de transformation	9
5. Conclusion	11
Chapitre2 : Généralité réseau électrique	12
1. Introduction	13
2. Système d'énergie électrique	13
2.1. La Production	13
2.2. Le Transport	14
2.3. La Distribution.....	14
3. Choix Stratégiques Pour Transport D'énergie Electrique	15
3.1. Nécessité de transporter l'électricité à une tension élevée	15
3.2. Courant alternatif ou continu ?	16
3.3. Pourquoi une tension sinusoïdale ?	16
3.4. Système monophasé ou triphasé ?	17
4. Dispositions des réseaux	17
4.1. Disposition en antenne (radiale)	17
4.2. Disposition en réseau maillé	18
5. Poste de Transformation HTB/HTA (HT/MT).....	20
6. Appareillage d'un poste HTB/HTA (HT/MT).....	23
6.1. Transformateurs et autotransformateurs de puissance	23
6.2. Bobine de point neutre BPN.....	23
6.3. Les réducteurs de mesure	23
6.4. Transformateurs de courant.....	24

6.5.	<i>Transformateurs de tension</i>	25
6.6.	<i>Les disjoncteurs</i>	25
6.7.	<i>Les sectionneurs</i>	26
7.	<i>Conclusion</i>	27
Chapitre 3 : Transformateur HTB/HTA		28
Et plan de protection		28
1.	<i>Introduction</i>	29
2.	<i>Origine & Nature des défauts</i>	29
3.	<i>Courants de Court-circuit</i>	30
4.	<i>Plan de Protection</i>	30
4.1	<i>Définition du plan de protection :</i>	31
5.	<i>Plan de protection de transformateur HTB/HTA</i>	34
6.	<i>Protections contre les défauts internes</i>	34
6.1.	<i>Protection Buchholz</i>	34
6.2.	<i>Protection Masse Cuve</i>	35
6.3.	<i>Protection de Température</i>	36
6.4.	<i>Protection différentielle</i>	37
7.	<i>Protections contre les défauts externes (Protection maximum de courant)</i> ..	38
7.1.	<i>Principe de fonctionnement d'une protection maximum de courant</i>	38
7.2.	<i>Protection maximum de courant homopolaire</i>	40
7.3.	<i>Protection neutre HT</i>	40
7.4.	<i>Protection terre jeux de barres</i>	41
7.5.	<i>La protection Travaux Sous Tension (TST)</i>	41
8.	<i>Conclusion</i>	42
Chapitre 4 :		43
Conception ET Simulation		43
1.	<i>Introduction</i>	44
2.	<i>Les avantages des cartes Arduino</i>	44
3.	<i>La carte ArduinoUno</i>	45
4.	<i>Structure d'un programme arduino</i>	46
5.	<i>Simulation d'un système de refroidissement d'un transformateur HTB /HTA par une carte ArduinoUno</i>	47
5.1.	<i>Mesure de la température d'un transformateur</i>	47
5.2.	<i>La protection température</i>	48

5.3. Protection température arduino	50
6. Simulation d'une protection maximum de courant par une carte arduino...	57
7. Conclusion :	61
Conclusion générale	62
Bibliographiques	63
<i>Annexe</i>	64

Liste des figures

Figure 1. 1: Organigramme de la STEG.....	5
Figure 1. 2: Organigramme de la DPTE (DCRTE).....	7
Figure 1. 3: Organigramme Base de Gafsa (BTEGF).	10
Figure 2. 1: production-transport-distribution.	15
Figure 2. 2: Disposition de réseau en antenne radiale.	17
Figure 2. 3: Disposition en réseau maillé.	18
Figure 2. 4: schéma du réseau de transport.....	19
Figure 2. 5: poste de transformation HT/MT classique.....	21
Figure 2. 6: SCHEMA UNIFILAIRE D'UN POSTE DE TRANSFORMATION HT/MT CLASSIQUE.	22
Figure 2. 7: Transformateur de puissance 150/30kv.	23
Figure 2. 8: Principe de fonctionnement TP ou TC.	24
Figure 2. 9: Schéma de principe.....	24
Figure 2. 10: Trois transformateurs de courant TC.....	25
Figure 2. 11: Figure (a) : Disjoncteur 90kv FXT 10 à commande tripolaire.	26
Figure 2. 12: Figure (b) : Disjoncteur 90kv FXT 10 à commande unipolaire.....	26
Figure 2. 13: Sectionneur de ligne.....	26
Figure3. 1: Principe du Relais BUCHOLZ.....	35
Figure3. 2: Protection de masse cuve.	36
Figure3. 3: Principe de fonctionnement de la protection différentielle transformateur.....	37
Figure3. 4: Principe la protection différentielle.	37
Figure3. 5: Principe d'une protection maximum de courant.	38
Figure3. 6: contact auxiliaire.....	39
Figure3. 7: Bobine de déclenchement non excite.	40
Figure3. 8: plan de protection générale de transformateur.	42
Figure4. 1: carte arduino uno	45
Figure4. 2: Environnement de développement.	47
Figure4. 3: Thermostat et sonde du transformateur.	48
Figure4. 4: connexion des contacts de la sonde de température.	49
Figure4. 5: système de refroidissement a base arduino uno.	50
Figure4. 6: protection maximum de courant instantanée a base arduino uno.	57

Liste des Tableaux

Tableau 1. 1: Les Zones et les Postes de Transformation.	9
Tableau 2. 1: Tableau de domaines de tension.	16
Tableau 2. 2: répartition des postes de transformateur et auto transformateur par 9 bases	20
Tableau 3. 1: LES ETAGES DE TENSION.....	32
Tableau 3. 2: LES TYPES DE PROTECTION.	33
Tableau 4. 1: les seuils des températures.	49

Introduction Générale

Les transformateurs de puissance sont des équipements coûteux qui sont essentiels à la bonne marche des réseaux électriques. Ils jouent un rôle important dans le transport et la distribution de l'électricité.

Or, même s'ils sont fiables, des pannes peuvent survenir. Au fil des ans, les techniques d'évaluation de l'état des transformateurs ont considérablement évolué. Aujourd'hui, le vieillissement des transformateurs en service et la demande croissante d'électricité constituent les principaux moteurs d'avancement des techniques d'évaluation de l'état des transformateurs.

Les réseaux électriques sont considérés comme des infrastructures hautement critiques pour notre société. Ces réseaux sont conçus traditionnellement d'une manière verticale où les transferts de l'énergie suivent le schéma dit « du haut en bas » : Production - Transport-Distribution.

La production électrique est centrée autour de centrales à grande capacité de production (centrales thermique, éoliennes,...). L'énergie est ensuite acheminée vers les grands centres de consommation à travers un réseau de lignes aériennes et de câbles, souvent à de grandes distances et à des niveaux de tension plus au moins importants.

Les lignes et les câbles de distribution d'énergie électrique Haute et Moyenne tension constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs. Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces lignes sont souvent exposées à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs.

Le sujet traité dans ce mémoire s'intéresse à une étude générale de réseau de transport d'électricité effectuée pendant une année au niveau de la STEG dans la Base de transport d'électricité de Gafsa.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre comprend une présentation générale de l'entreprise et ses différents services.

- Le deuxième chapitre présente une description générale du système d'énergie électrique.
- Le troisième chapitre traite les différents types des protections électriques.
- Le quatrième chapitre nous allons explorer la conception et la simulation de circuits électroniques à l'aide d'Arduino.
- Finalement nous clôturons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre1 : Présentation de la société



1. Présentation de la STEG

+ Raison sociale : Société Tunisienne d'Electricité et du Gaz.

+ Statut : La STEG est une Société Anonyme. (SA)

+ Activités : La STEG produit, transporte et distribue l'énergie électrique sur tout le territoire Tunisien.

+ Date de création, textes d'organisation et statut juridique : Créée par le décret-loi

N° 62-8 du 3 avril 1962 qui stipule que la STEG est un établissement public à caractère industriel, commercial et social doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière régie par la législation relative aux sociétés anonymes.

+ Autorité de tutelle : Ministère de l'Industrie.

+ Conseil d'administration : Onze membres dont 9 représentants l'Etat et deux représentants le personnel.

+ Objet : La production, le transport, la distribution et commercialisation de l'électricité, du gaz liquéfié et du gaz naturel.

+ Organisation : L'organisation de la STEG est articulée autour d'une direction générale (un PDG et un DGA) et composée de treize directions suivantes :

- Direction des Etudes et de Planification.
- Direction de l'Équipement.
- Direction des Affaires Générales.
- Direction Informatique.
- Direction de Distribution d'électricité et du gaz.
- Direction de Production et de Transport du Gaz.
- Direction Financière.
- Direction de Production et du Transport d'Electricité.
- Direction de l'Organisation et Systèmes d'Information.
- Direction du Contrôle de Gestion.
- Direction Audit.
- Direction des Ressources Humaines et Affaires Juridiques.
- Direction Commerciale.

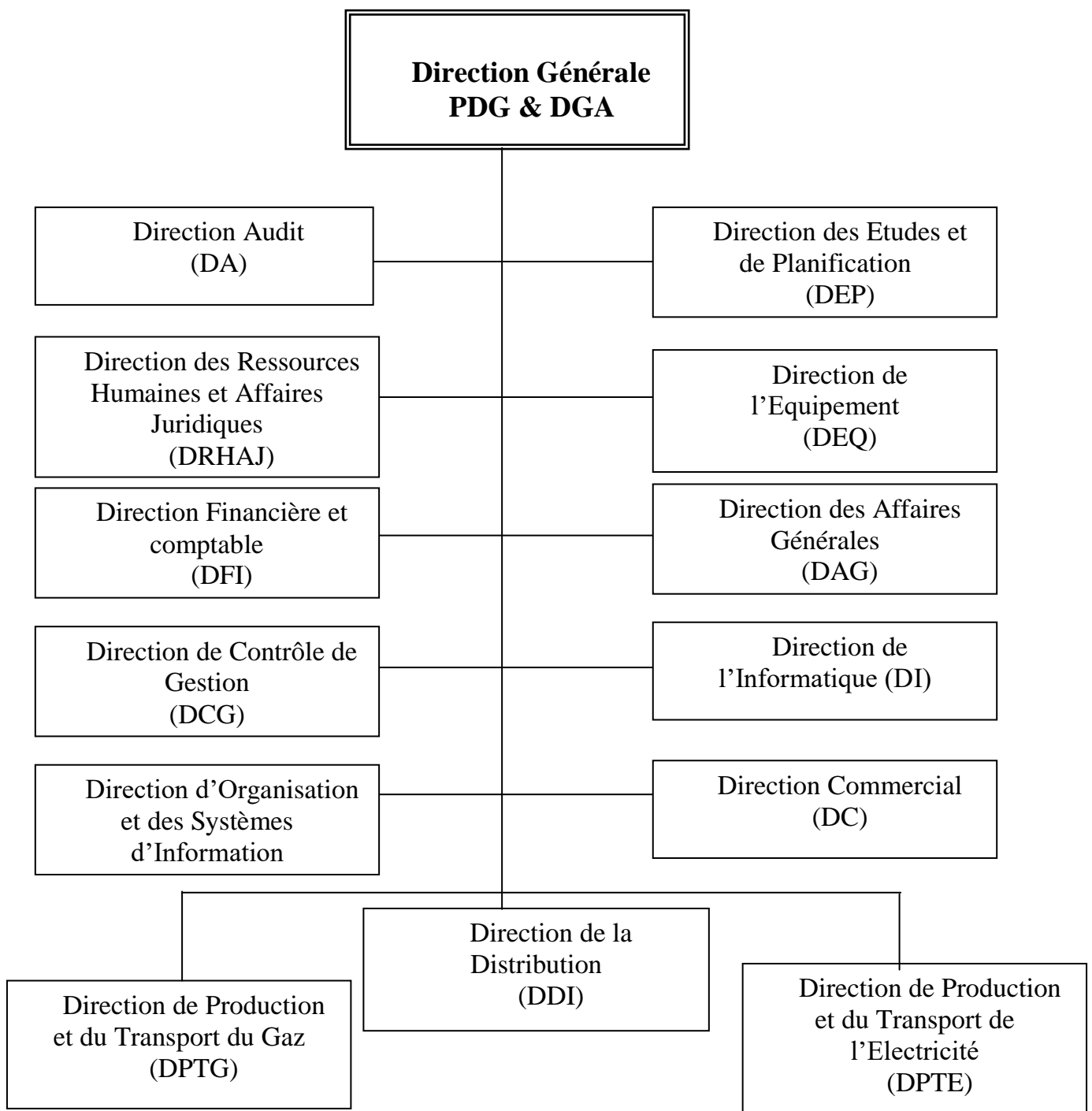


Figure 1. 1: Organigramme de la STEG.

La STEG comprend actuellement des directions, parmi lesquelles la Direction de la Production et du Transport de l'Electricité (DPTE). Celle-ci est constituée de différentes directions dont la Direction Gestion Moyens de Transport de l'Electricité (DGMTE) qui a pour mission d'assurer la disponibilité permanente des ouvrages du réseau de transport dans les conditions optimales de sécurité, de cout et de continuité.

2. Présentation de la Direction de la Production du Transport D'électricité

La Direction de Production et de Transport de l'Electricité (DPTE), et comme son nom l'indique cette direction a comme fonction la production et le transport de l'énergie électrique.

Généralement, l'énergie électrique est produite par des groupes de production installés dans des centrales électriques, et qui délivrent une tension (5,5 ; 11 ou 15,5 KV). Cette tension est transformée en Haute tension (90, 150, ou 225KV) par des transformateurs élévateurs installés à la sortie des générateurs.

La totalité de l'énergie produite est transportée par des lignes de transport HTB sur des dizaines de kilomètres, jusqu'aux centres de consommation (postes HTB/HTA) et distribuée sous une tension (15 ou 33 KV).

Le réseau électrique peut être le siège de défauts et en particulier les courts-circuits, il est alors indispensable de mettre l'élément affecté hors service afin de limiter les dégâts et d'éviter ses répercussions sur le fonctionnement du réseau.

La mise hors service automatique d'un élément en défaut est confiée aux systèmes de protection. Ces systèmes jouent un grand rôle dans le fonctionnement des réseaux électriques.

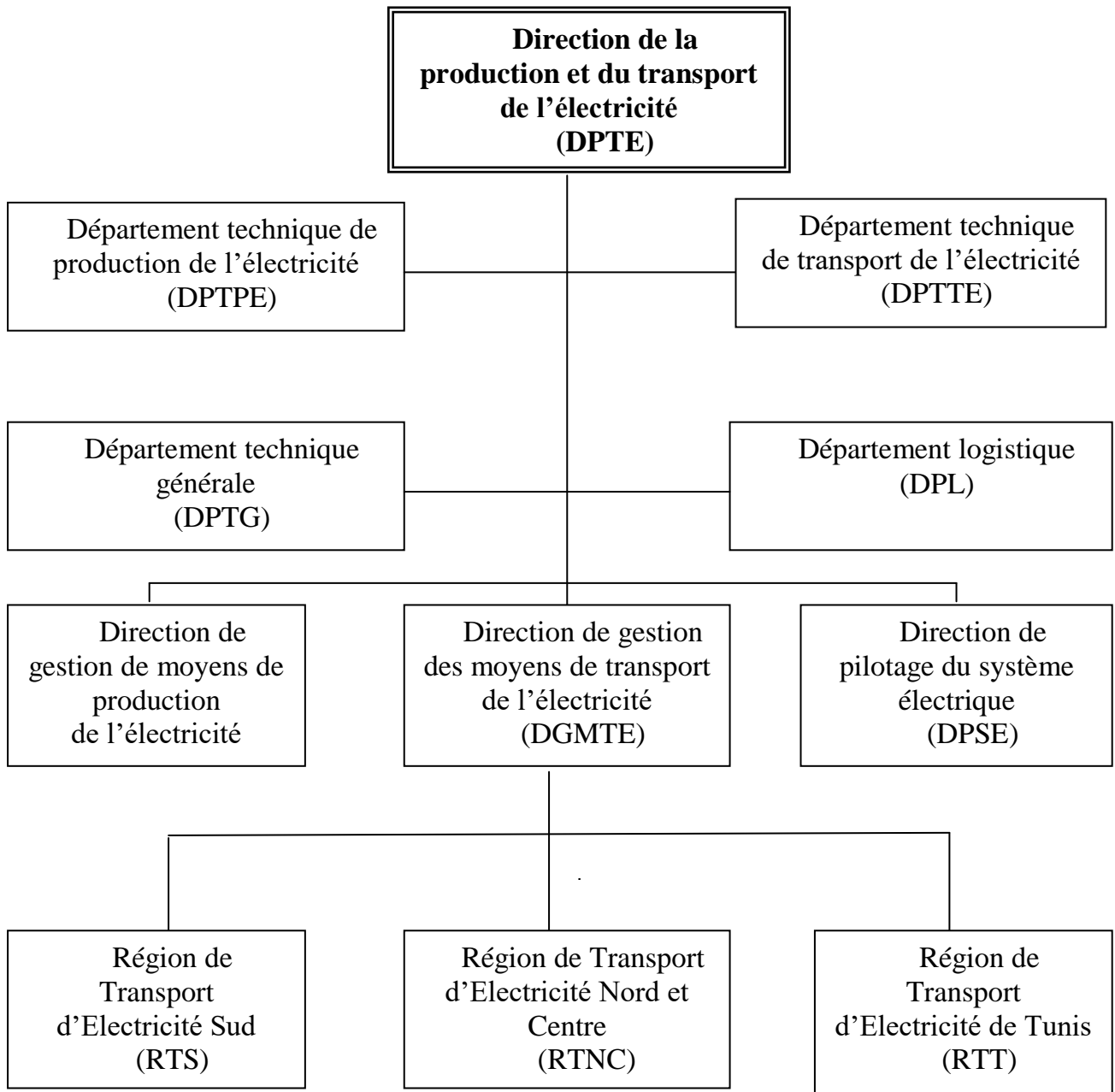


Figure 1. 2: Organigramme de la DPTE (DCRTE).

3. Région de Transport d'électricité Sud

3.1. Présentation

La Région de transport d'électricité sud (RTS) est un département qui fait partie de la Direction de Gestion des Moyens de Transport d'Electricité (DCRTE), elle est composée des unités suivantes :

- Unité Administrative et Logistique.
- Unité Technique.
- Base de transport d'électricité de **Ghannouch**. (BGN)
- Base transport d'électricité de **GAFSA** (BGF)
- Base d'Intervention de **Sfax**. (BGR)
- Centre Régional de Conduite Sud. (CRC Sud)

3.2. Mission de la région de transport sud

Les tâches principales de la région de transport sud sont :

- L'occupation de tout le réseau de transport d'électricité sud.
- Le suivi et le contrôle de la continuité de fourniture de l'énergie électrique dans le sud Tunisien.
- La gestion de contrôle et d'entretien des ouvrages installés sur le réseau de transport d'électricité sud.

4. Base de transport de l'électricité de Gafsa

4.1. Présentation :

La Base d'Intervention de Gafsa (BGF) est l'une des trois bases de la Région de Transport Sud, son rôle consiste essentiellement à contrôler, dépanner et entretenir les ouvrages et les lignes installés sur le réseau électrique des zones faisant partie de cette base.

Elle est constituée essentiellement de 10 postes de transformation HTB/HTA, de Centaine km des lignes 150kV.

4.2. Les Zones et les postes de transformation

Le réseau de transport de la Base de Gafsa est reparti géographiquement sous forme des 5 zones, chaque zone comprend une ou plusieurs postes de transformation selon l'importance de cette zone.

Tableau 1. 1: Les Zones et les Postes de Transformation.

Zone	Poste de transformation
Tozeur	Poste 150/30kV de Tozeur :
Metlaoui	Poste 150/30kV de Metlaoui :
	Poste 150/30kV de Mdhilla :
Gafsa	Poste 150/30kV de Gafsa
	Poste 150/30kV de Birlhfay
Feriana	Poste 150/30kV de Feriana
Kasserine	Poste 150/30kV de Kasserine sud
	Poste 150/30kV de Kasserine nord
	Poste 150/30kV de Boulaaba
	Poste 150/30kV de Birchaaben

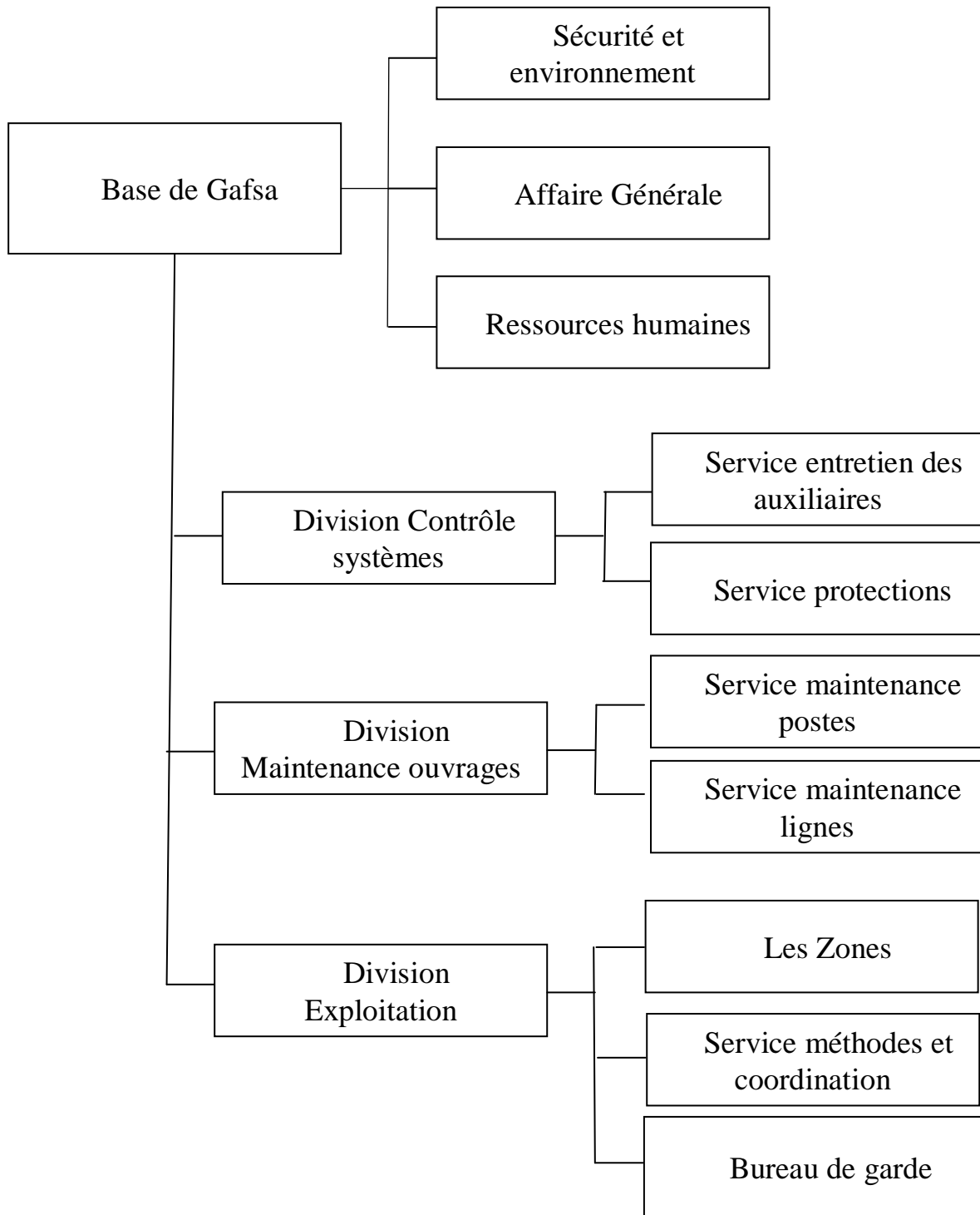


Figure 1. 3:Organigramme Base de Gafsa (BTEGF).

5. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la Base de transport d'électricité de Gafsa et ses différentes unités et services qui sont les responsables à maintenir en bonne état de fonctionnement le réseau de transport. Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude de réseau de transport et des postes de transformation.

Chapitre2 : Généralité réseau électrique

1. Introduction

Un réseau de transport d'électricité, représente un système complexe de transit de puissance électrique en haute tension (HT). Quand la tension de service augmente, cette puissance augmente, les pertes et les sections des câbles diminuent, d'où l'intérêt d'élever la tension pour le transport de l'énergie. Pour le réseau de transport de la STEG, on trouve trois niveaux de tension 225 kV, 150 kV et 90 kV.

Le réseau de transport se distingue du réseau de distribution par les grandes quantités d'énergie mis en jeu, la liaison électrique entre les moyens de production et la majorité des postes HT du réseau ainsi la possibilité d'interconnexion entre réseaux de différentes sociétés d'un même pays et des pays différents. Les lignes HT représentent les artères du réseau de transport d'énergie électrique permettant de transporter de grandes quantités d'énergie électrique à travers des longues distances. Dans cette partie de ce mémoire on va exposer avec détails les différents éléments de réseau de transport électrique.

2. Système d'énergie électrique

Le système d'énergie électrique est composé de deux réseaux : réseau de Production-Transport et réseau de Distribution. Le premier réseau est constitué par des centrales électriques qui sont généralement loin des centres de consommation ; pour cela on a besoin d'un réseau de transport permettant de lier les centres production et ceux de consommation. Le transport de l'énergie électrique se fait en haute tension (HTB). Enfin le réseau de distribution permet d'acheminer l'énergie électrique à partir des postes de transformation jusqu'aux consommateurs.

2.1. La Production

L'énergie électrique consommée en Tunisie est essentiellement produite par les centrales thermiques à vapeur.

Les turbines à combustion seront plutôt utilisées comme des moyens aidant à assurer les pointes de consommation ou intervenant comme secours ; leur production est donc assez limitée.

Il s'en suit alors que les centrales thermiques actuelles, étant donné les superficies de leurs sites, devront être agrandies par l'adjonction d'autres tranches thermiques.

Cette transformation d'énergie passe nécessairement par des étapes intermédiaires. L'énergie brute (combustible) est d'abord transformée en énergie calorifique dans une chaudière suite à la présence d'un combustible, d'air et de flamme ; puis la cède à la vapeur d'eau qui la transporte vers la turbine où elle subit une nouvelle transformation en énergie mécanique sous forme de couple-moteur proportionnel à l'énergie chimique consommée par la chaudière. Ce couple entraîne le rotor de l'alternateur où l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

2.2. Le Transport

Le réseau de transport et d'interconnexion de l'énergie électrique assure une liaison permanente entre les centrales de production et les lieux de consommation. Un tel réseau est constitué essentiellement des postes de transformation HTB/HTB ou HTB/HTA.

L'électricité ne peut être transportée qu'avec des moyens spécifiques: les lignes électriques. Selon l'importance de l'énergie à transporter, les lignes sont de différentes tensions, plus la tension est élevée, plus grande est la capacité de transit de la ligne.

L'électricité ne se stocke pas. Aussi est-il nécessaire d'équilibrer à chaque instant la production et la consommation. Or, cette dernière varie considérablement selon les régions, les saisons, les heures de la journée. Chacune des activités humaines appelle plus ou moins d'électricité selon ses moments de pointe et de creux, et les répercute souvent sur le niveau de consommation de toute une région.

De plus, comme toute machine, une centrale électrique ou un ouvrage de transport a besoin d'entretien. Donc on a besoin d'un système de protection efficace et fiable permettant d'éliminer les défauts aux moments exigés afin de limiter les dégâts matériels et protéger le matériel et d'assurer la qualité et la continuité de service.

2.3. La Distribution

Un réseau de distribution est destiné à :

- Acheminer l'énergie électrique jusqu'aux consommateurs.
- Assurer l'équilibre, à tout instant, entre la consommation et la puissance acheminée : la puissance $p(t)$ doit être disponible en fonction des besoins quantitatifs des clients.
- Assurer une tension fixée en fonction de la puissance et du type de clientèle.
- Garantir une qualité respectant les valeurs et la forme prévues à tout instant (cahier des charges, contrat particulier).

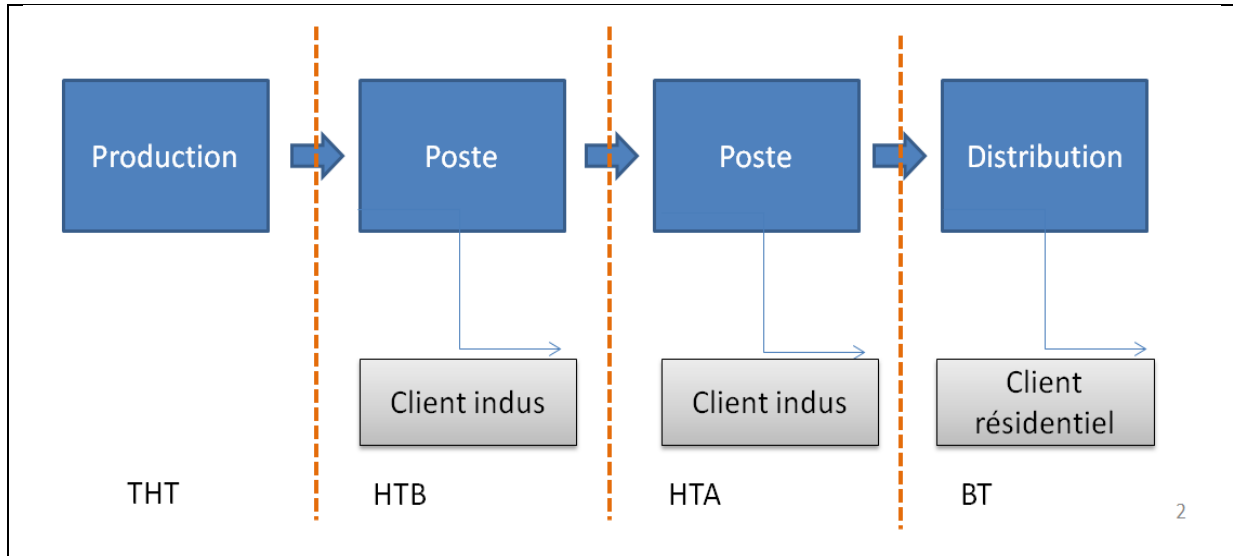


Figure 2. 1: production-transport-distribution.

3. Choix Stratégiques Pour Transport D'énergie Electrique

3.1. Nécessité de transporter l'électricité à une tension élevée

L'architecture du réseau de transport électrique est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise.

De la sortie de la centrale électrique au compteur de l'utilisateur final, l'électricité doit transiter sur un réseau électrique. Ces réseaux possèdent souvent la même structure d'un pays à l'autre, car le transport de fortes puissances sur de longues distances impose la minimisation de l'effet Joule.

Le but est de réduire les chutes de tension en ligne, les pertes en ligne et, également, d'améliorer la stabilité des réseaux.

Les pertes en ligne sont principalement dues à l'effet Joule, qui ne dépend que de deux paramètres : la résistance et l'intensité du courant ($P=R.I^2$). L'utilisation de la haute tension permet, à puissance transportée ($P=U.I$) équivalente, de diminuer le courant et donc les pertes. Par ailleurs, pour diminuer la résistance, aux fréquences industrielles, il n'y a que deux facteurs, la résistivité des matériaux utilisés pour fabriquer les câbles de transport, et la section de ces câbles. À matériau de fabrication et section équivalents, les pertes sont donc égales, en principe, pour les lignes aériennes et pour les lignes souterraines.

La nouvelle norme UTE C18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit dans le tableau suivant

Tableau 2. 1: Tableau de domaines de tension.

Domaines de Tension			Valeur de la tension composée nominale (U_n en Volts)	
			Tension Alternatif	Tension Continue
Très Base Tension (TBT)			$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Base Tension (BT)	B	TA	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	B	TB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension (HT)	H	TA	$1000 < U_n \leq 50\,000$	$1500 < U_n \leq 75\,000$
	H	TB	$U_n > 50\,000$	$U_n > 75\,000$

3.2. 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).

3.3. 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.

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.
- 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.
- 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.

4. Dispositions des réseaux

4.1. Disposition en antenne (radiale)

C'est la disposition qui fut la première à être adoptée. Cette disposition est surtout utilisée dans les réseaux de distribution.

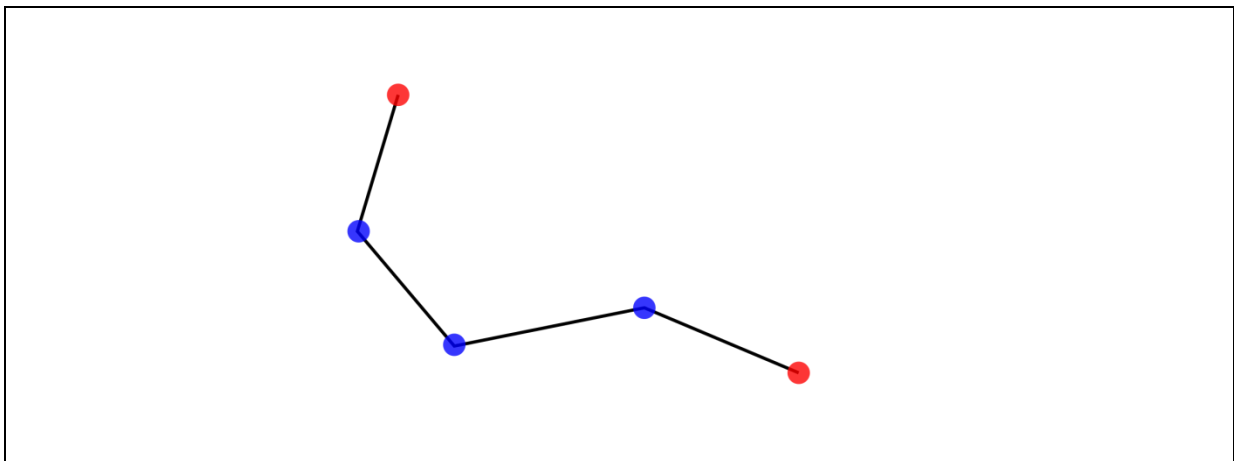


Figure 2. 2: Disposition de réseau en antenne radiale.

Parmi les postes de transformation qui sont en antenne, on peut citer:

- Poste de Gammarth (90kV),
- Poste de Kébili (150kV).

- Poste de Boulaaba (150kV).
- Poste de BirChaaben (150kV).

4.2. Disposition en réseau maillé

C'est la structure idéale pour un réseau de transport d'énergie électrique, car elle offre toutes les possibilités de secours, de réglage de la tension des nœuds, de stabilité du réseau et de facilité d'entretien des ouvrages de production et de transport sans affecter la continuité du service.

L'ensemble du réseau se présente sous forme d'un maillage de lignes à haute tension et dont les nœuds sont constitués par les postes de transformation ou les postes d'aiguillage. Dans ce qui suit, on va présenter les différents types de postes de transformation.

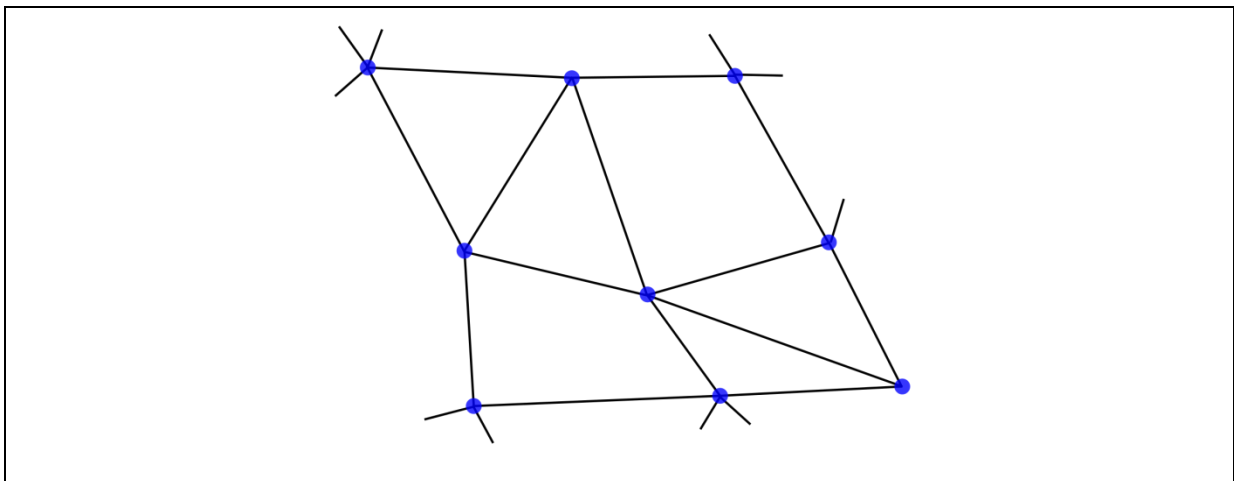


Figure 2. 3: Disposition en réseau maillé.



Figure 2. 4: schéma du réseau de transport.

5. Poste de Transformation HTB/HTA (HT/MT)

109 postes de transformation HT/HT et HT/MT dont 33 postes blindés et 6 postes mobiles sont installés sur le réseau national, ainsi que 41 autotransformateurs HT/HT et 206 transformateurs HT/MT respectivement de puissance 6950 MVA et 8155 MVA. Ces ouvrages sont répartis sur l'ensemble des bases de transport comme suit :

Tableau 2. 2: répartition des postes de transformateur et auto transformateur par 9 bases

Base	ATR HT/HT		TR HT/MT		Nombre de Poste
	Nombre	Puissance (EN MVA)	Nombre	Puissance (EN MVA)	
BTN	11	2100	49	1910	19
BTS	5	900	25	1000	16
BNE	6	850	31	1230	15
BNO	6	900	14	520	13
BSS	5	1000	20	800	10
BMK	2	400	14	540	7
BGM	3	300	18	685	7
BGN	3	500	20	880	12
BGF	0	0	15	590	10
TOTAL	41	6950	206	8155	109

Dans Les postes classiques, les jeux de barres sont linéaires et formés de trois phases tri filaires en tube en alliage d'aluminium fixé sur des isolateurs supports en porcelaine

Les travées transformatrices de puissance et les travées lignes sont raccordées de part et d'autre sur ces jeux de barres. Le poste peut être équipé d'un jeu de barres unique, de deux jeux de barres coupables ou d'un seul jeu de barres sectionnables.



Figure 2. 5: poste de transformation HT/MT classique.

➤ **Travée ligne haute tension**

Elle se compose essentiellement de :

- un disjoncteur tripolaire à commande unipolaire,
- deux sectionneurs tripolaires d'aiguillage,
- un sectionneur tripolaire de ligne avec MALT,
- trois réducteurs de tension capacitifs et trois transformateurs de courant par phase.

➤ **Travée transformateur ou autotransformateur de puissance**

Elle se compose de:

- deux sectionneurs tripolaires d'aiguillage,
- un disjoncteur à commande tripolaire,
- le banc de transformation qui comprend, outre le transformateur de puissance, tout l'appareillage annexe : parafoudres, transformateurs de courant Bushing, transformateur d'alimentation du relais de protection de cuve, transformateur service auxiliaire ou BPN pour l'alimentation des services auxiliaires du poste.

➤ **Travée couplage**

Elle permet de coupler les deux jeux de barre du poste pour réaliser leur permutation. Leur équipement comprend un disjoncteur tripolaire à commande tripolaire, deux sectionneurs d'isolement ou d'aiguillage et un transformateur de tension par barre.

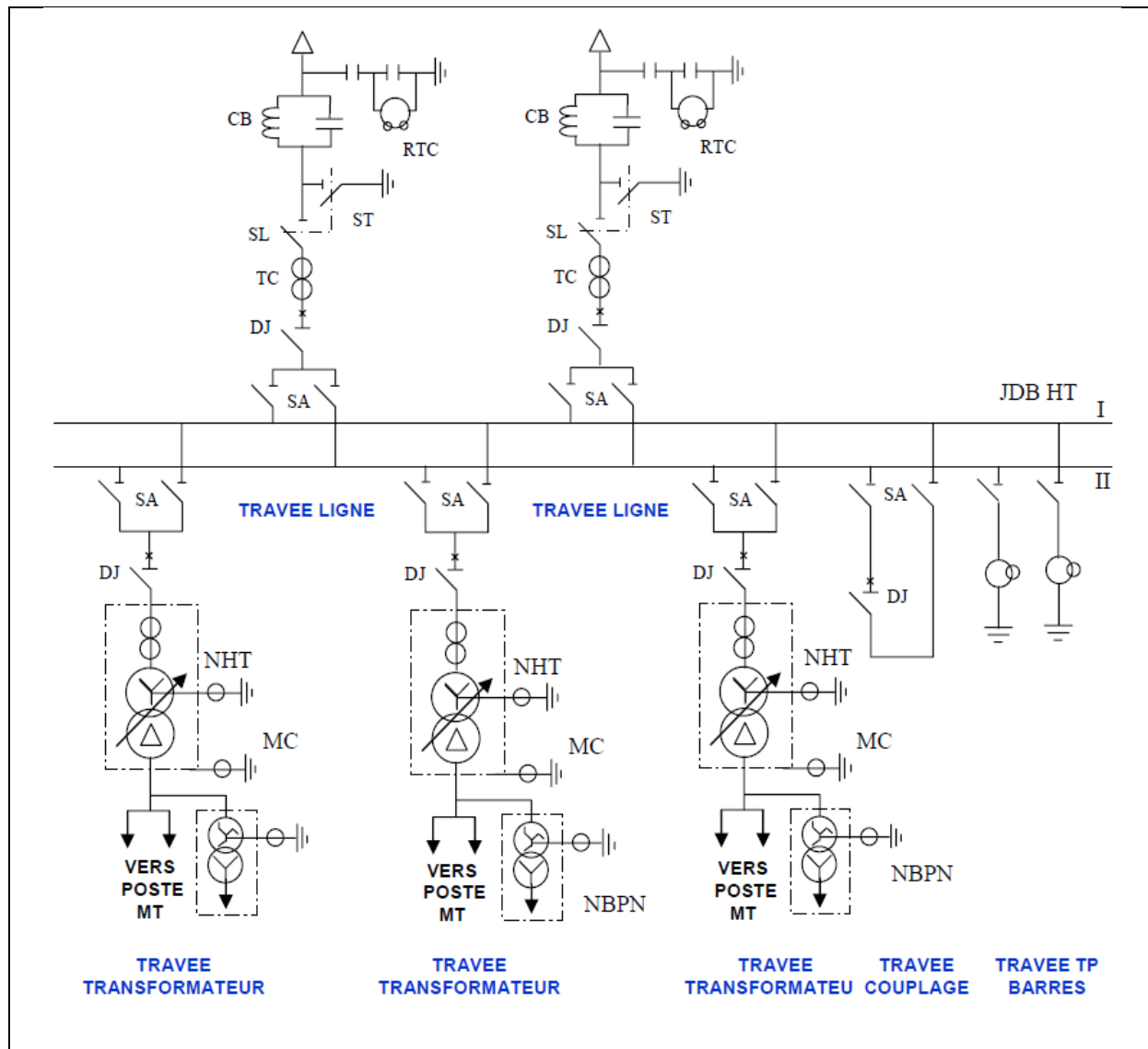


Figure 2. 6: SCHEMA UNIFILAIRE D'UN POSTE DE TRANSFORMATION HT/MT CLASSIQUE.

6. Appareillage d'un poste HTB/HTA (HT/MT)

6.1. Transformateurs et autotransformateurs de puissance

Ils sont utilisés à tous les niveaux de tension, ils assurent la liaison entre deux réseaux de même source mais de tension différente.



Figure 2. 7: Transformateur de puissance 150/30kv.

Les transformateurs sont couplés en étoile triangle, ils sont utilisés dans les postes de transport comme abaisseurs HT/MT (90/30 kV, 90/10 kV, 150/30 kV, 225/30 kV). Le couplage triangle au secondaire des transformateurs joue le rôle d'écran empêchant ainsi le passage des perturbations qui surviennent sur le réseau MT au réseau HT.

6.2. Bobine de point neutre BPN

C'est une réactance triphasée constituée par des enroulements couplés en zigzag avec neutre sorti et immergé dans l'huile. Cette bobine permet la mise à la terre du neutre de transformateur pour ramener les courants des courts-circuits à la terre.

6.3. Les réducteurs de mesure

L'exploitation des réseaux électriques (mesure, contrôle et protection) nécessite la connaissance permanente des grandeurs électriques tension et courant qui caractérisent l'état de chaque élément constituant l'ensemble du réseau. Les transformateurs de courant et les transformateurs de tension permettent de fournir une image aussi fidèle que possible des grandeurs réelles des tensions et des courants que l'on désire connaître.

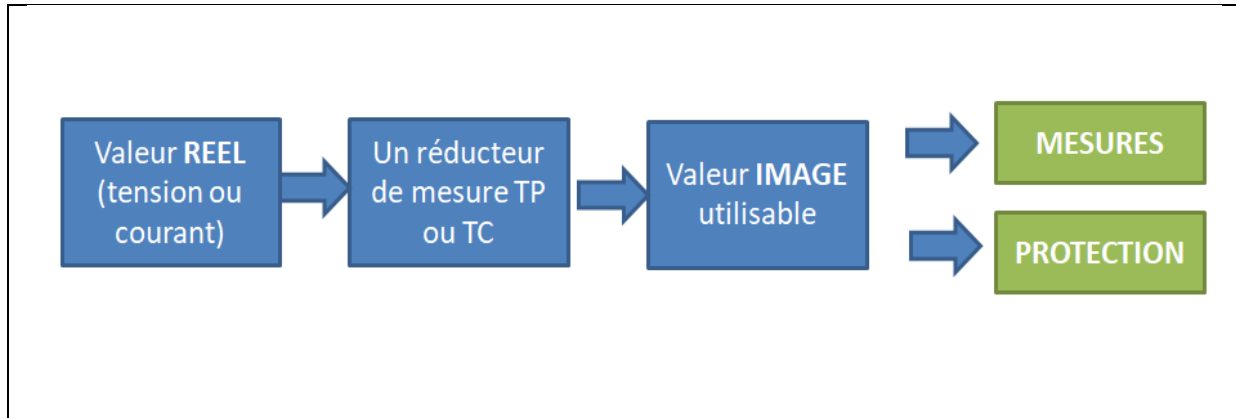


Figure 2. 8: Principe de fonctionnement TP ou TC.

6.4. Transformateurs de courant

Les transformateurs de courant sont branchés en série dans la ligne ou le câble. On distingue deux types d'enroulements secondaires pour les transformateurs de courant :

- Secondaire protection : destiné à l'alimentation des circuits protections. Il a une classe de précision : 5P20.
- Secondaire mesure : destiné à l'alimentation des circuits mesures. Il a une classe de précision : 0,5.

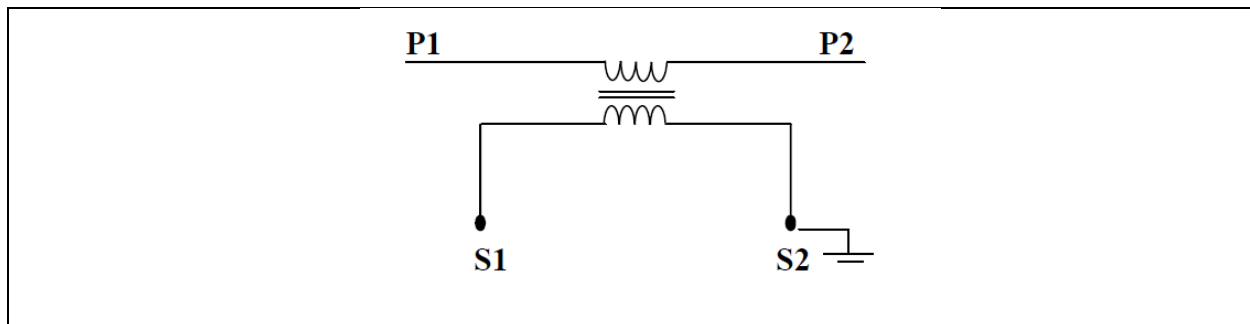


Figure 2. 9: Schéma de principe.

P1, P2 : Enroulement primaire, n_1 spires.

S1, S2 : Enroulement secondaire, n_2 spires.

Si I_P est le courant primaire et I_s est le courant secondaire, on a alors :

$$I_P/I_s = n_2/n_1 = K_n.$$



Figure 2. 10: Trois transformateurs de courant TC.

6.5. Transformateurs de tension

Les transformateurs de tension HT sont monophasés et ils sont branchés en dérivation sur la ligne. On distingue deux types d'enroulements secondaires pour les transformateurs de tension :

- Secondaire protection : destiné à l'alimentation des circuits protections. Il a une classe de précision : 3P.
- Secondaire mesure : destiné à l'alimentation des circuits mesures. Il a une classe de précision : 0,5.

6.6. Les disjoncteurs

Un disjoncteur est un appareil ayant un pouvoir de coupure capable d'étouffer un arc électrique, il est constitué par trois pôles séparés. Ces dernières sont constituées de :

- Chambre de coupure.
- Support isolant.
- Mécanisme de manœuvre.

Les disjoncteurs assurent la coupure en charge ou sur défaut des lignes ou des branches. Ils emmagasinent leur propre réserve d'énergie lors de la fermeture leurs permettant de s'ouvrir rapidement. Donc ils sont caractérisés par leurs pouvoirs de coupure.

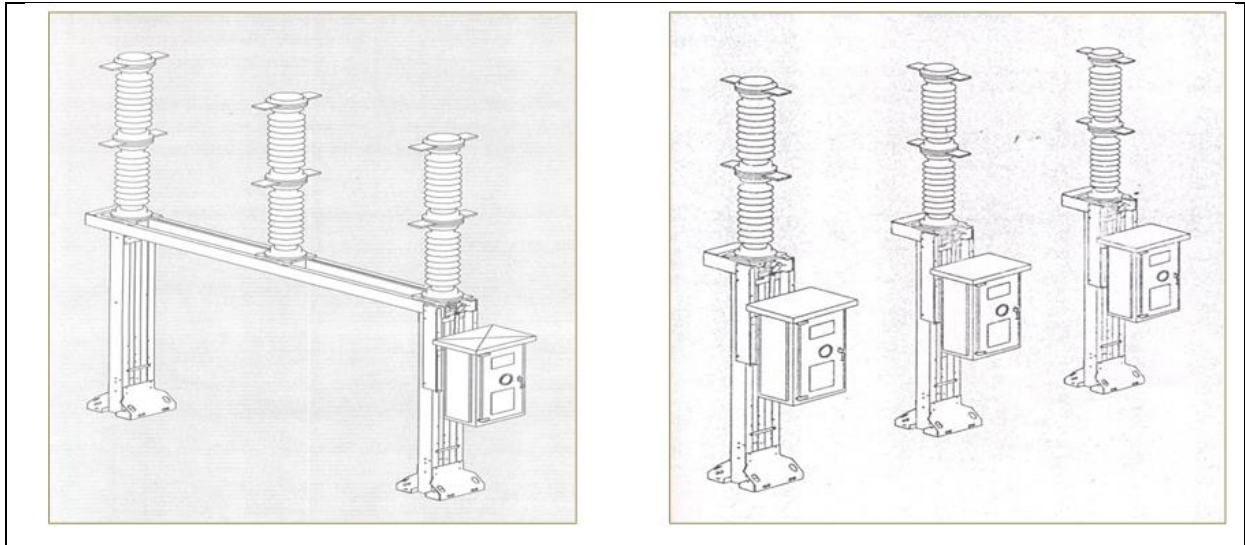


Figure (a)Figure (b)

Figure 2. 11: Figure (a) : Disjoncteur 90kv FXT 10 à commande tripolaire.

Figure 2. 12: Figure (b) : Disjoncteur 90kv FXT 10 à commande unipolaire.

6.7. Les sectionneurs

Le sectionneur est utilisé pour ouvrir ou fermer des circuits lorsqu'ils ne sont pas parcourus par des courants. Donc les sectionneurs n'ont pas un pouvoir de coupure et par ailleurs on ne peut pas manœuvrer un sectionneur en charge. Les sectionneurs servent principalement à isoler des éléments de circuits entre eux pour permettre d'effectuer des interventions manuelles. Ils comportent une coupure visible généralement dans l'air.

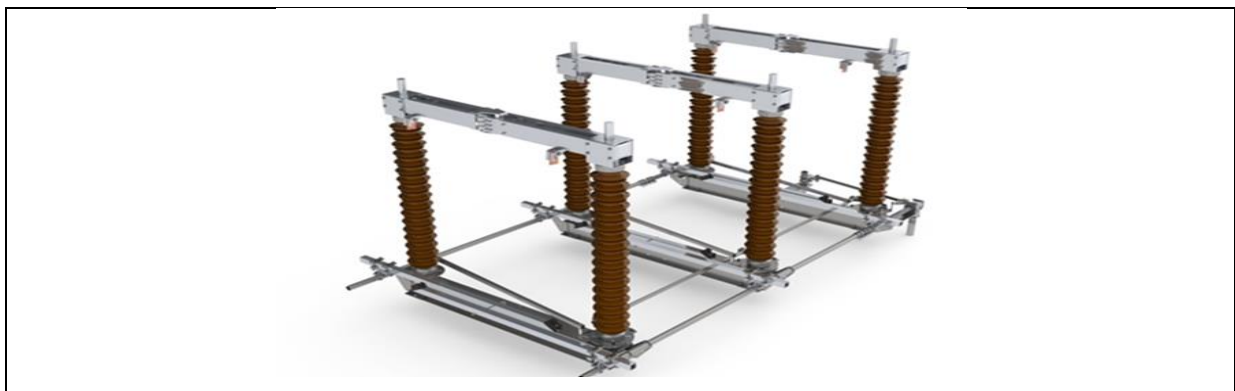


Figure 2. 13: Sectionneur de ligne.

Un sectionneur de ligne est destiné à isoler une installation c'est à dire la consigner en position ouvert, pour que les personnes travaillent en toute sécurité,

Le sectionneur doit pouvoir supporter le courant dans les conditions normales du circuit et également supporter le courant pendant une durée spécifiée dans les conditions anormales telles que celles du court-circuit.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous allons paru nécessaire de donner assez d'informations sur les différents éléments qui composent un le réseau de transport électrique. Ces éléments sont très importants, très sensibles et doivent être bien choisis et bien réglés afin d'assurer une protection efficace contre les différents types d'anomalies qui peuvent survenir sur le réseau électrique. Dans le chapitre suivant, nous allons essayer de décrire les défauts ainsi les dispositifs de protections permettent de protéger ses ouvrages et principalement les mesures et dispositifs de protection pour les postes de transformation HTB/HTA (objet de notre projet).

Chapitre 3 : Transformateur HTB/HTA
Et plan de protection

1. Introduction

Une instabilité généralisée du réseau peut conduire à des dégâts matériels (côté production, transport, distribution et clients) et/ou à la mise hors tension d'une partie ou de l'ensemble du réseau (blackout).

Pour faire face à ces aléas, la STEG adopte des mesures de protection spéciales dénommées 'plan de protection ou contrôle en cas d'urgence'.

Ces mesures qui doivent être automatiques et très rapides, visent à limiter la diffusion des perturbations à l'intérieur du réseau, voire même dans l'ensemble du système électrique interconnecté.

2. Origine & Nature des défauts

Les ouvrages de transport d'électricité (lignes, câbles, postes) peuvent être affectés au cours de leur fonctionnement d'un certain nombre de défauts d'isolement. On classe habituellement les causes de défauts en deux catégories : **origine externe** et **origine interne**.

Dans le premier cas, il s'agit des causes naturelles ou accidentelles indépendantes du réseau. On distingue trois grands types de causes externes :

- Les **aléas météorologiques** (orage, intempéries, brouillard, vent, ...)
- Les **pannes et les agressions extérieures** : les composants du système électrique, même qu'ils soient récemment installés et/ou de haute technologie, ne sont pas à l'abri de pannes (défaillances imprévisibles d'équipements) ou d'agressions extérieures (pelleteuses qui sectionnent les câbles, nidification d'oiseux sur les pylônes, ...). Certains se traduisent par des conséquences immédiates (déclenchements d'ouvrages),
- Les **dysfonctionnements** liés au facteur humain qui intervient à tous les niveaux, depuis la conception et la mise en œuvre des équipements (qualité des réalisations, rigueur des essais de mise en service, ...) jusqu'à leur exploitation (qualité de la maintenance, rigueur des interventions,

Dans le second cas, les défauts ont pour origine le réseau lui-même. Les causes internes sont principalement les avaries de matériels (lignes, câbles, transformateurs, réducteurs de mesures, disjoncteurs, ...) engendrées par des ruptures mécaniques ou le vieillissement des isolants, et les manœuvres inopportunes qui peuvent être liées à une défaillance humaine ou matérielle.

Un défaut a pour conséquence, dans la très grande majorité des cas, l'apparition d'un courant de court-circuit qui doit être éliminé par la mise hors tension de l'ouvrage en défaut.

3. Courants de Court-circuit

Caractéristiques :

Les courts-circuits sont principalement caractérisés par :

- **Leurs durées** : auto-extincteur, fugitif ou permanent ;
- **Leurs origines** : mécaniques (rupture de conducteur, liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs), surtensions électriques (d'origine interne ou atmosphérique), ou à la suite d'une dégradation de l'isolement (consécutive à la chaleur, l'humidité ou la corrosion) ;
- **Leurs localisations** : interne ou externe à l'ouvrage en défaut ;

Outre ces caractéristiques, les courts-circuits peuvent être :

- **Monophasés** : 80% des cas ;
- **Biphasés** : 15% des cas ;
- **Triphasés** : 5% seulement dès l'origine.

Les courants de court-circuit engendrés par les défauts perturbent le bon fonctionnement du système électrique. Ils provoquent en effet :

Le maintien d'intensités trop élevées dans un ouvrage conduit à des échauffements pouvant endommager des constituants de la liaison (ligne ou câble) elle-même. En outre, pour les lignes aériennes, l'échauffement des conducteurs induit aussi leur allongement : ils se rapprochent du sol, réduisant les distances d'isolement (risques d'amorçages) et créant des risques pour les personnes et les biens.

Si la surcharge n'est pas levée avant un temps donné, l'ouvrage concerné risque de déclencher, par l'action des protections de surcharge (notamment les protections à maximum de courant). Le transit supporté auparavant par cet ouvrage va alors se reporter sur d'autres ouvrages, en fonction des impédances apparentes relatives. D'où la nécessité de concevoir des plans de protections pour protéger ces ouvrages et optimiser le transport d'électricité.

4. Plan de Protection

Le but des dispositifs de protection est de surveiller en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et de provoquer leur mise hors tension (par l'ouverture des disjoncteurs) lorsque ces éléments sont le siège d'un fonctionnement anormal, d'un court-circuit ou d'un défaut d'isolement. Une unité de protection, ou relais a pour objectif :

- de surveiller en permanence les divers paramètres d'une partie du réseau (ligne, câble ou transformateur),
- d'agir en situation anormale,
- de transmettre des informations pour l'exploitation du réseau.

Pour cela elle analyse les valeurs des grandeurs électriques qui lui sont fournies par les capteurs de mesure et donne les ordres de fonctionnement aux circuits de déclenchement. Le choix de la protection et le mode d'élimination des anomalies ou des surcharges diffèrent selon le type de défaut et on distingue principalement 4 types de défauts :

- les défauts fugitifs,
- les défauts semi permanents,
- les défauts permanents,
- les défauts résistants.

Ces défauts sont traités et éliminés par des protections dont les caractéristiques diffèrent selon leurs technologies, dans ce qui suit on va illustrer l'évolution de la technologie des unités de protections moyenne tension.

4.1 Définition du plan de protection :

La Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux.

Ainsi, le système de protection c'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble, de façon cohérente et adaptée au réseau. Ce choix n'est pas le fruit d'une réflexion isolée, mais plutôt c'est le résultat d'une analyse du comportement des matériels électriques sur défauts et des phénomènes qui en découlent.

L'élaboration d'un plan de protection se fait principalement en 2 étapes :

- La définition de système ou plan de protection (les causes du défaut et les courts-circuits, les ouvrages qu'on désire protéger et les types des relais de protection qu'on doit utiliser)
- La détermination des réglages et des paramètres de chaque unité de protection intervenant dans le plan général,

Pour établir un plan, on doit définir ce qu'on désire protéger et les protections qu'on doit implémenter :

Tableau 3. 1: LES ETAGES DE TENSION.

Ce qu'on doit protéger	Protections qu'on doit implémenter
Lignes	Protection des départs ligne : distance, différentielle
Câble	Protection des câbles souterrains : distance, différentielle
Transformateurs	Protection des départs transformateurs : différentielle, max de I
Jeu de barres	Protection différentielle jeu de barres
Générateurs	Protection à max de I, différentielle, Prot. Spécifiques Générateurs
Batterie de condensateur	Protection à max de I

La détermination des réglages et des paramètres

Avant d'entamer cette étape on doit différencier entre les divers types de protection et bien comprendre leur principe de fonctionnement, on distingue généralement 3 types de protections principaux :

- La protection distance.
- La protection différentielle
- La protection maximum de courant.

Tableau 3. 2: LES TYPES DE PROTECTION.

Protection	Code ANSI	Rôle
Distance Ou minimum d'impédance	21	La majorité des relais de distance numériques mesurent l'impédance absolue du défaut, puis Déterminent l'opération à effectuer accordant aux zones de fonctionnement définies sur leurs diagrammes R/X. Les caractéristiques de ces relais sont quadripolaires, donc réglables en Réactance et en résistance.
Différentielle	87	Le principe de fonctionnement de la protection différentielle est basé sur la comparaison des Courants, phase par phase, entrants et sortants de la zone protégée : si la somme algébrique de ces courants est nulle (les courants sont de même amplitude et de sens opposés) alors la ligne est saine, sinon il y a présence d'un défaut.
Maximum de courant	50 51	Une protection à maximum de courant est une protection électrique qui consiste à comparer le courant mesuré dans le réseau à une valeur limite. Si le seuil est dépassé, la protection conclut qu'un court-circuit ou une surcharge, selon les cas, a lieu. Elle commande alors l'ouverture du réseau électrique, on parle de « déclenchement ».

Selon le type de la protection, on peut connaître la grandeur qu'on doit surveiller et les réglages et les paramètres à implémenter.

Le but des dispositifs de protection est de surveiller en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau, et de provoquer leur mise hors tension (par l'ouverture des disjoncteurs) lorsque ces éléments sont le siège d'un fonctionnement anormal, d'un court-circuit ou d'un défaut d'isolement.

Un bon système de protection doit être :

- Sélectif : il doit éliminer du réseau, l'élément affecté d'un défaut et seulement celui-ci,
- Rapide : il doit limiter aux mieux les effets de perturbations,
- Fiable : il doit être en mesure de remplir son rôle à tout instant sans défaillance,

- Insensible : aux anomalies de fonctionnement du réseau qui ne seraient pas celles pour lesquelles la protection doit agir,
- Sensible : il doit fonctionner même si les circonstances sont telles que les courants de défaut sont réduits,
- Avoir une faible consommation : les puissances demandées aux réducteurs de mesure ne doivent pas être trop importantes.

5. Plan de protection de transformateur HTB/HTA

Dans un réseau de transport, les transformateurs de puissance servent d'interconnexion entre réseaux de tensions différentes.

Comme tous les autres éléments du réseau, ils peuvent être soumis à des avaries internes ou à des charges excessives entraînant un vieillissement prématuré des isolants : ils seront donc protégés à la fois contre les défauts internes (court-circuit entre phases et/ou à la cuve) et contre les surcharges. Ces transformateurs seront à isolement dans l'huile avec un équipement capable d'assurer une réfrigération forcée.

6. Protections contre les défauts internes

6.1. Protection Buchholz

Il s'agit d'une protection particulière des transformateurs qui n'est pas basée sur la mesure de grandeurs électriques, mais sur la détection de dégagements gazeux qui témoignent d'un amorçage interne.

Le « Buchholz » est un boîtier situé sur la tuyauterie reliant la cuve au conservateur, et donc rempli par le diélectrique (huile par exemple). Il contient deux flotteurs actionnant chacun un contact.

Le premier est situé au point haut où s'accumulent les gaz qui peuvent être soit des bulles d'air qui remontent, soit des gaz de décomposition de l'huile sous l'action d'effluves électriques : premières manifestations d'un défaut interne. L'accumulation de ces gaz entraîne la baisse du flotteur, de même qu'une diminution du niveau d'huile due à une fuite. Ce 1contact donne une alarme.

Le deuxième flotteur est situé au milieu du boîtier et peut basculer par le refoulement de l'huile vers le conservateur, dans le cas d'un arc électrique important entraînant un dégagement gazeux brutal et une surpression interne.

Ce deuxième contact provoque un déclenchement immédiat de l'unité.

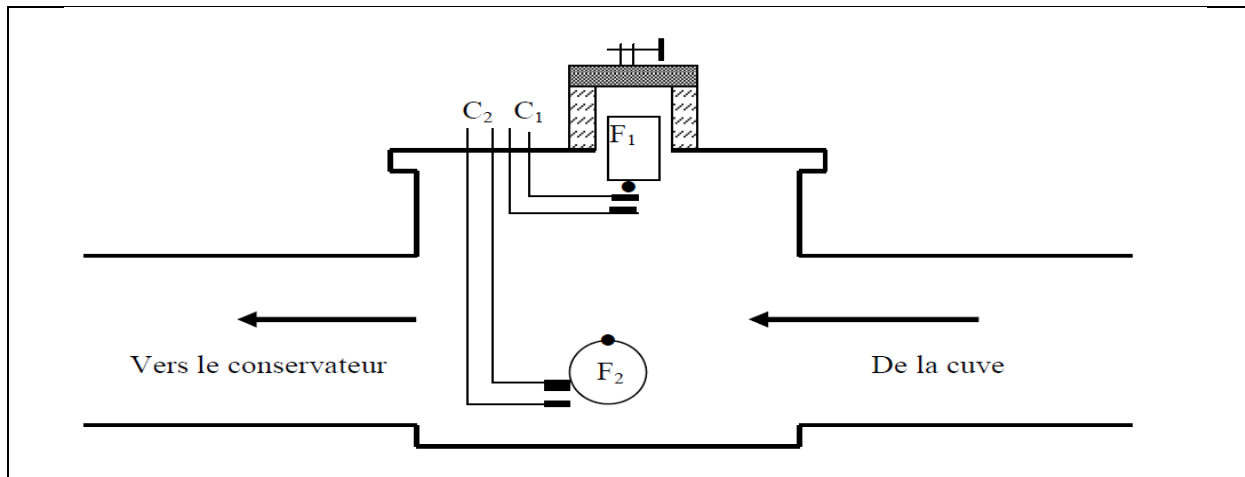


Figure3. 1: Principe du Relais BUCHOLZ.

Cette protection est universellement employée. Elle est sensible à tous les défauts internes qui provoquent un arc. Cet arc provoque une décomposition de l'huile avec formation de gaz qui est détecté par la protection Buchholz. Cette dernière comporte deux seuils :

- 1er seuil : alarme,
- 2ème seuil : déclenchement.

Elle constitue une protection très sensible et efficace ; elle agit dans la majorité des défauts internes et également quand les autres protections sont inopérantes : court-circuit entre spires d'un même enroulement, défaut dans le circuit magnétique etc.

6.2. Protection Masse Cuve

Cette protection est sensible uniquement aux défauts à la masse : elle nécessite que le réseau ait son neutre mis à la terre. Lorsqu'un défaut se produit entre les bobinages du transformateur et la cuve, un courant de court-circuit rejoint le sol par l'intermédiaire de la cuve et de ses accessoires métalliques. Pour détecter la totalité du courant de défaut, on isole la cuve par rapport au sol par l'intermédiaire de plaques isolantes (au moins 8 Ω , par exemple la bakélite). Un transformateur de courant est placé en série avec la cuve et la terre par un conducteur en cuivre. Ce transformateur alimente un relais ampérométrique qui provoque le déclenchement instantané des disjoncteurs encadrant le transformateur. La figure suivante montre le principe de fonctionnement de la protection masse cuve.

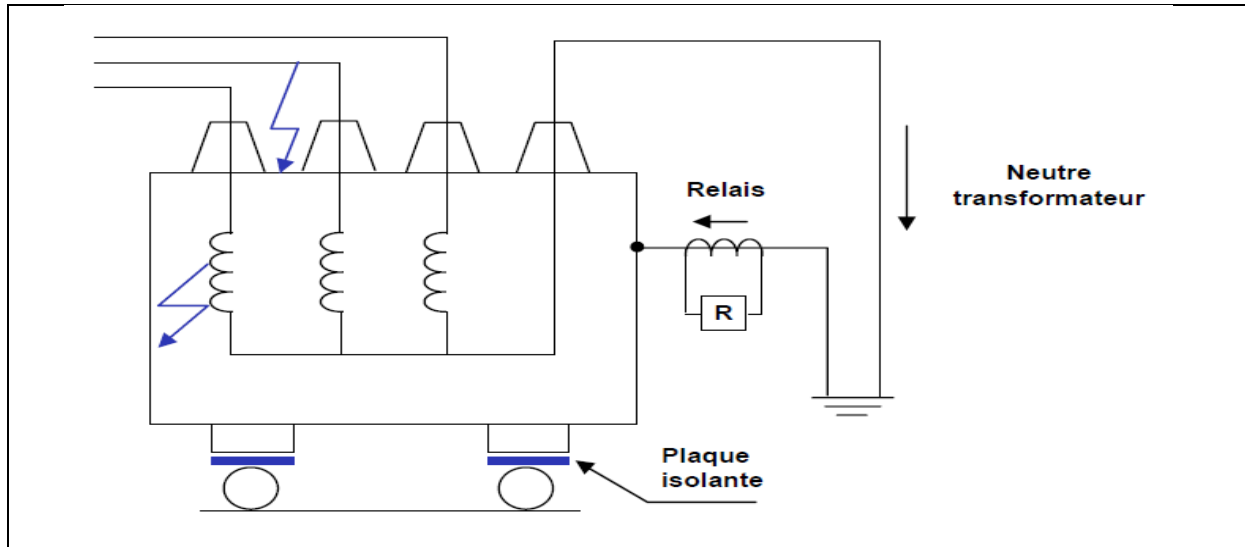


Figure3. 2: Protection de masse cuve.

6.3. Protection de Température

Les transformateurs en service sont générateurs de chaleurs dues aux pertes dans le circuit magnétique, dans les enroulements et les parties métalliques. Ils sont à isolement dans l'huile avec un équipement capable d'assurer une réfrigération forcée.

Pour surveiller la température du diélectrique et la maintenir à des valeurs acceptables, on utilise trois appareils de mesure de la température : thermostat, thermomètre et image thermique ayant les seuils suivants :

- Seuil démarrage ventilos : si la température atteint un seuil fixé à 75°C, un contact se ferme et assure la mise en service des groupes de ventilations.
- Seuil arrêt ventilos : si la température atteint un seuil fixé à 65°C, le contact s'ouvre et assure la mise hors service des groupes de ventilations.
- Seuil alarme : si la température atteint un seuil fixé à 95°C, un contact se ferme et donne une signalisation.
- Seuil de déclenchement : si la température atteint un seuil fixé à 105°C, un contact se ferme et entraîne le déclenchement des disjoncteurs HT et MT.

6.4. Protection différentielle

Elle protège le transformateur ainsi que la zone comprise entre les transformateurs de courant

HT et MT qui alimentent cette protection. Elle permet le secours de la protection masse-cuve.

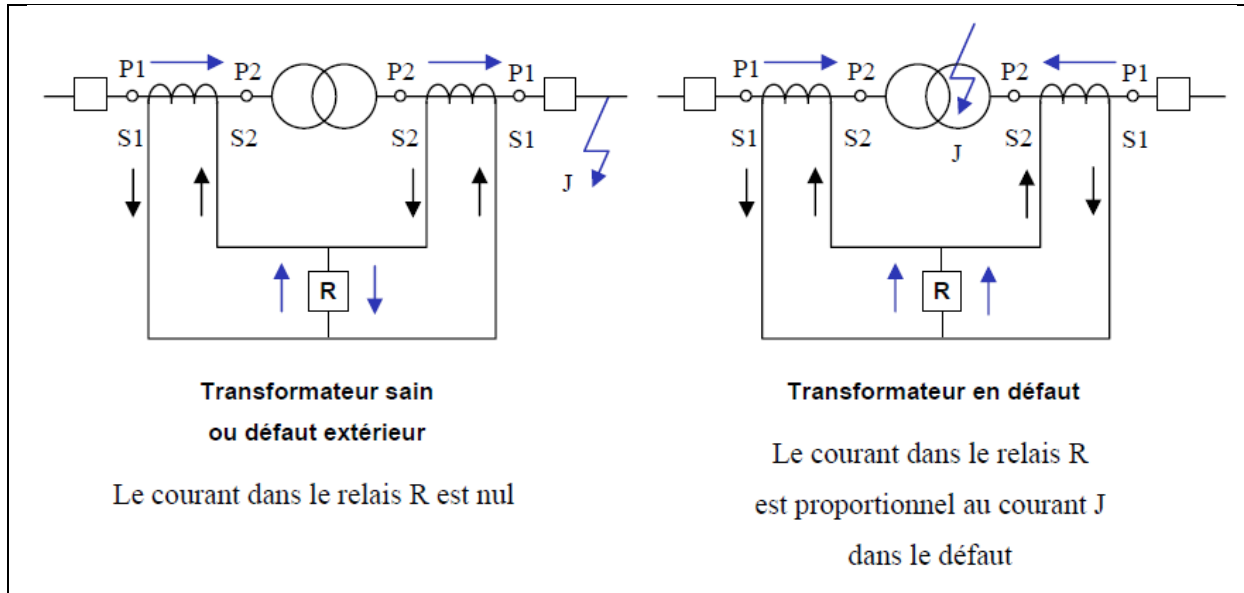


Figure3. 3: Principe de fonctionnement de la protection différentielle transformateur.

On compare, phase par phase, les courants entrant et sortant du transformateur par un montage sensible à leur différence vectorielle. La figure montre le principe de fonctionnement de la protection différentielle transformateur.

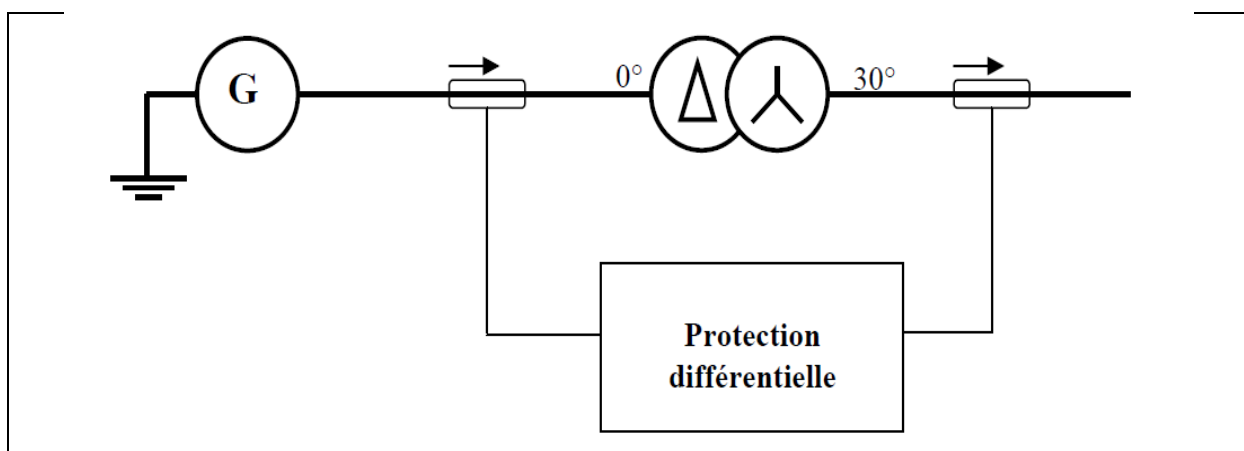


Figure3. 4: Principe la protection différentielle.

Le relais est généralement réglé pour détecter un courant différentiel de 20% à 30% I_n . Mais la sensibilité n'a pas besoin d'être constante dans toute la plage des courants de défauts.

S'il est bon que la protection soit sensible pour les faibles courants, il est nuisible qu'elle le reste pour de forts courants qui risquent d'entraîner des erreurs importantes pour les réducteurs de courant.

7. Protections contre les défauts externes (Protection maximum de courant)

7.1. Principe de fonctionnement d'une protection maximum de courant

Une protection à maximum de courant est une protection électrique qui consiste à comparer le courant mesuré dans le réseau travers les TC à une valeur limite. I_{max} ou I_{seuil} , Si le seuil est dépassé, la protection conclut qu'un court-circuit ou une surcharge

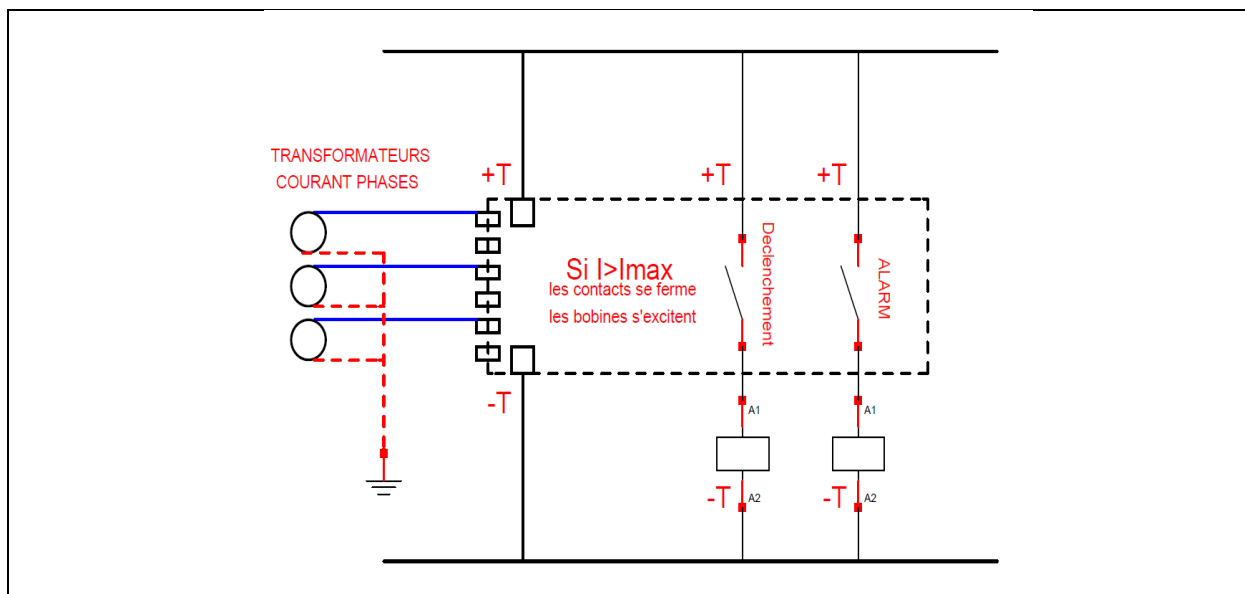


Figure3. 5: Principe d'une protection maximum de courant.

La protection dispose de deux contact normalement ouvert (Déclenchement et alarme) Si $I > I_{seuil}$ d'où la présence d'un défaut, les deux contacts se ferment excitant ainsi deux bobines de relais auxiliaire celle du déclenchement et celle de l'alarme



Figure3. 6: contact auxiliaire.

<p>En cas d'absence de défaut la bobine d'alarme n'est pas excitée donc le contact auxiliaire reste ouvert au repos</p> <p>Les voyants d'alarme sont éteints.</p>	
<p>En cas d'absence de défaut la bobine d'alarme n'est excitée par +ou- T =127VCC donc les contacts auxiliaire se ferme</p> <p>Les voyants d'alarme sont alimentés par +ou- S =127VCC.</p> <p>Cela indique une alarme</p>	

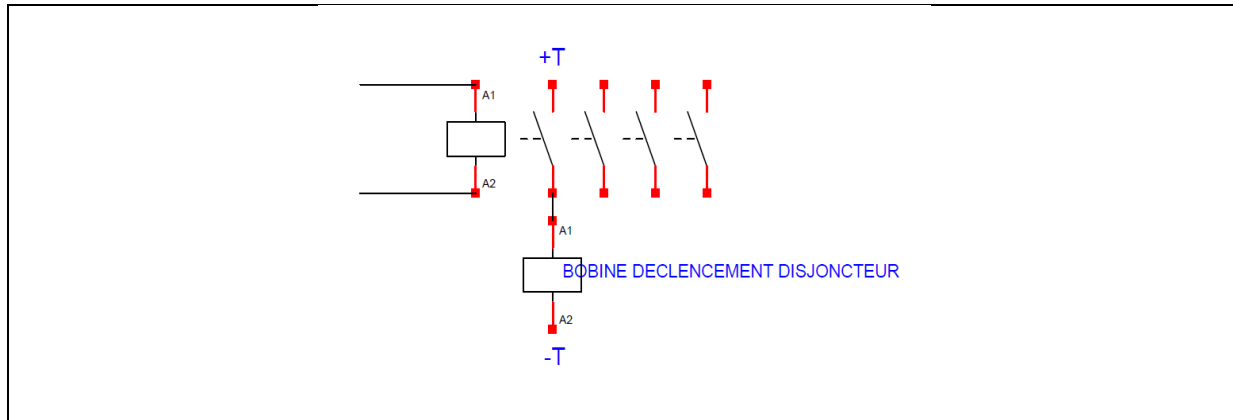


Figure3. 7: Bobine de déclenchement non excite.

Même principe pour la bobine de déclenchement qui lors de son excitation, existe aussi les bobines d'ouverture des disjoncteurs HT et M,T d'où l'isolation du transformateur et du défaut

7.2. Protection maximum de courant homopolaire

Il est utilisé pour réagir contre les défauts d'isolement entre phase et terre et contre les courants homopolaires entraînés par un desserrage éventuel des bornes de transformateurs de courant. Ce relais permet le secours de la protection neutre HT.

Protection maximum de courant phase-phase

Il est utilisé pour protéger le transformateur contre les défauts polyphasés survenant dans la zone comprise entre le secondaire du transformateur et le jeu de barre MT.

7.3. Protection neutre HT

Elle est utilisée pour réagir contre les défauts d'isolement sur le réseau HT : les défauts à la terre au niveau HT provoquent un courant de court-circuit qui passe par le neutre du transformateur. Donc si on place un TC dans le circuit du neutre du transformateur, ce courant de défaut sera détecté par un relais ampérométrique réglé à un seuil donné. Le réglage actuelle cette protection sur le réseau de la STEG est de 360A HT/ 10s afin de permettre une bonne électivité avec les autres protections (surtout les protections complémentaires des lignes HT).

7.4. Protection terre jeux de barres

C'est une protection ampérométrique destinée à protéger le réseau MT contre les défauts monophasés situés dans la zone comprise entre le secondaire du transformateur et le jeu de barre MT.

Cette protection peut secourir la protection des départs MT dans le cas de défaillance électrique de la protection de départ ou de défaillance mécanique des disjoncteurs propres aux départs MT. Elle est constituée d'un TC (Transformateur de Courant) placé dans le circuit du neutre artificiel créé par la bobine à point neutre (BPN) et d'un relais de courant à temps inverse ou constant. Cette protection doit assurer donc une bonne sélectivité avec les protections contre les défauts à la terre des départs MT (NR: neutre rapide et NL: neutre lent) qui doivent fonctionner en premier lieu.

7.5. La protection Travaux Sous Tension (TST)

On désigne par travaux sous tension les interventions effectuées sur des ouvrages électriques maintenus en service, ces travaux nécessitent la protection des monteurs contre les risques électriques dus à la présence de la tension et le maintien de l'isolement suffisant pour éviter tout risques de court-circuit entre les pièces sous tension, les masses et les différentes phases.

Pendant les travaux sous tension sur un départ MT et quel que soit le régime A ou B, le Réenclencheurs du départ concerné sera bloqué et l'unité de coordination est inhibée.

Régime TSTA : le Neutre rapide du départ sous régime ouvre le disjoncteur instantanément. En cas de défaillance du relais NR, la protection TST ouvre le disjoncteur du départ concerné après une seconde : c'est la barre TST temporisée.

Régime TSTB : dans ce régime le Neutre Rapide est inhibé aussi. Le défaut sera détecté par le Neutre Lent et ouvre le disjoncteur du départ sous régime instantanément. En cas de défaillance du relais NL, la protection TST ouvre le disjoncteur du départ concerné après 0.25 secondes (presque instantanée): c'est la barre TST instantanée.

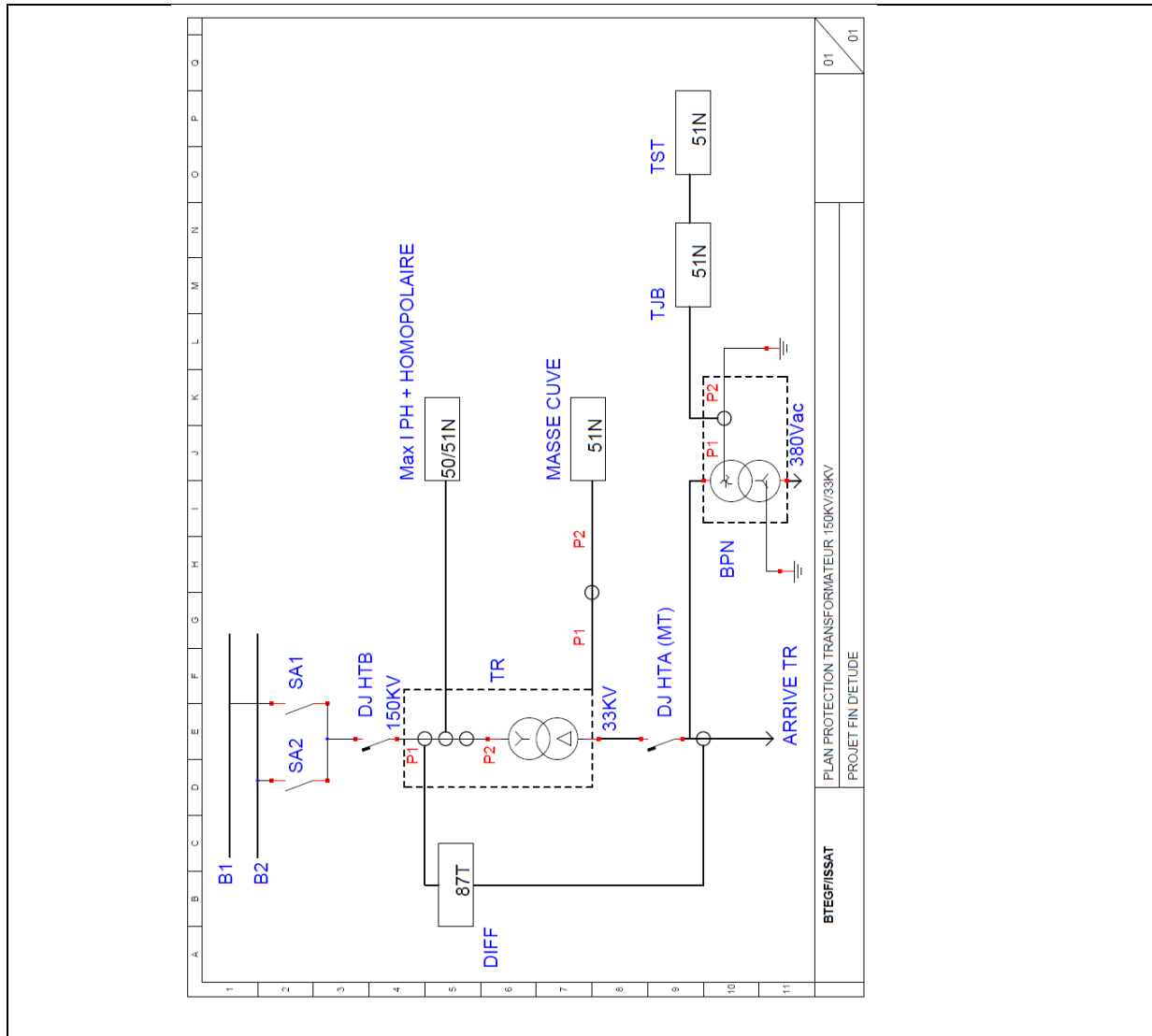


Figure3. 8: plan de protection générale de transformateur.

8. Conclusion

Tout au long de ce chapitre, on a fait l'état de l'art de la protection qui existe au niveau du réseau de transport électrique haute tension (HTB) et moyenne tension (HTA) utilisé par la STEG tout en donnant un aperçu sur la technologie de développement de cette dernière. Enfin dans le dernier chapitre nous allons explorer la conception et la simulation de circuits électroniques à l'aide d'Arduino uno.

Chapitre 4 :

Conception ET Simulation

1. Introduction

Les cartes Arduino sont des circuits imprimés en matériel libre, ce qui signifie que les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre, permettant à quiconque de les consulter, de les modifier et de les utiliser. Cependant, certains composants de la carte, tels que le microcontrôleur et les composants complémentaires, ne sont pas en licence libre.

Le microcontrôleur programmé sur la carte Arduino est capable d'analyser et de produire des signaux électriques pour effectuer diverses tâches. Arduino trouve des applications dans de nombreux domaines tels que l'électrotechnique industrielle, l'embarqué, le modélisme, la domotique, l'art contemporain, le pilotage de robots, la commande de moteurs, les jeux de lumière, la communication avec un ordinateur, le contrôle d'appareils mobiles, etc.

Chaque module Arduino intègre un régulateur de tension de 5 V et un oscillateur à quartz de 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles) pour assurer la stabilité de fonctionnement. Pour programmer la carte Arduino, on utilise le logiciel IDE Arduino, un environnement de développement intégré qui permet d'écrire, de compiler et de télécharger du code sur la carte.

2. Les avantages des cartes Arduino

La carte Arduino présente plusieurs avantages qui expliquent sa popularité croissante parmi les amateurs, les éducateurs et les professionnels. Voici quelques-uns des avantages clés de la carte Arduino :

- Facilité d'utilisation
- Open-source
- Polyvalence
- Grande communauté
- Abordabilité
- Extensibilité.

3. La carte ArduinoUno

La carte ArduinoUno est l'un des modèles les plus couramment utilisés de la famille Arduino. Voici quelques caractéristiques clés de la carte ArduinoUno :

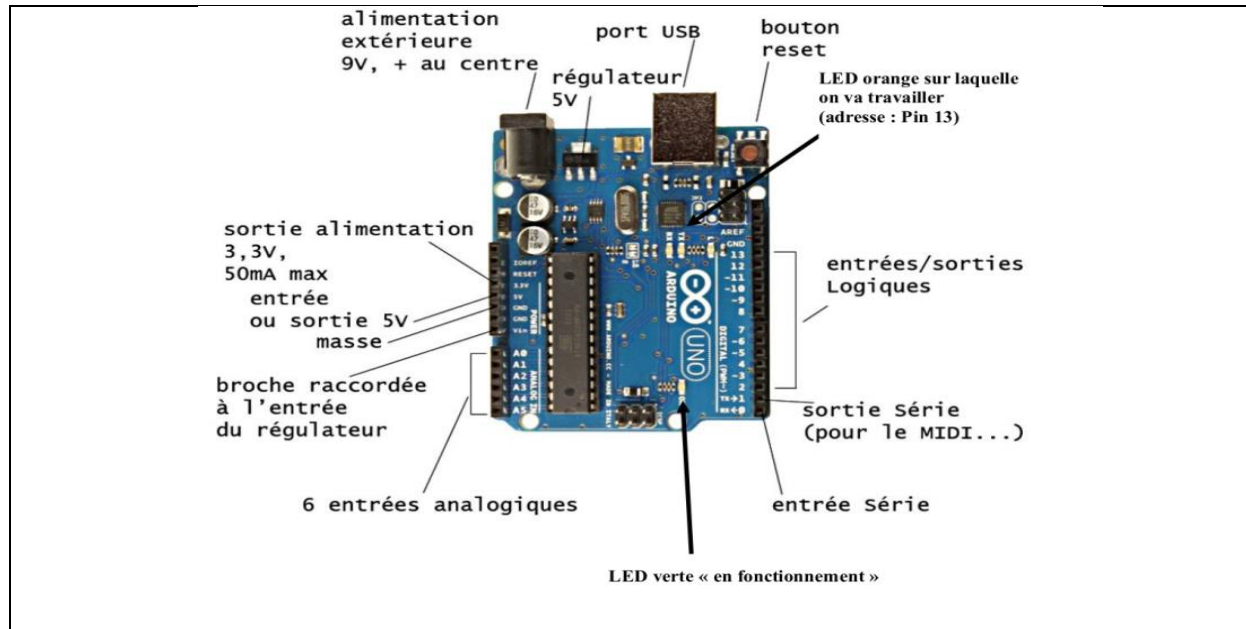


Figure4. 1: carte arduino uno

- **Microcontrôleur :** La carte ArduinoUno est basée sur le microcontrôleur ATmega328P de Micro chip (anciennement Atmel). Ce microcontrôleur dispose de 32 kilooctets de mémoire flash pour le stockage du programme, de 2 kilooctets de RAM pour les données et de 1 kilooctet d'EEPROM pour le stockage non volatil.
- **Broches d'entrée/sortie :** L'ArduinoUno dispose de 14 broches numériques d'entrée/sortie, dont 6 peuvent être utilisées en sortie PWM (modulation de largeur d'impulsion) pour contrôler des moteurs, des servomoteurs et d'autres dispositifs. Il possède également 6 broches d'entrée analogique pour mesurer des tensions variables.
- **Connectivité :** La carte ArduinoUno est équipée d'un connecteur USB permettant de programmer la carte et de l'utiliser pour la communication avec un ordinateur. Elle dispose également de connecteurs pour alimenter la carte, y compris un connecteur d'alimentation externe et des broches pour une alimentation à partir d'une source externe.
- **Oscillateur :** L'ArduinoUno est doté d'un oscillateur à quartz de 16 MHz, qui fournit une horloge précise pour le microcontrôleur.

- **Compatibilité** : L'ArduinoUno est compatible avec l'ensemble de l'écosystème Arduino, y compris le logiciel Arduino IDE, les bibliothèques et les nombreux shields (cartes d'extension) disponibles. Cela facilite l'utilisation de nombreux modules et composants complémentaires pour étendre les fonctionnalités de la carte.

La carte ArduinoUno est souvent utilisée pour les projets éducatifs, les prototypes rapides, les projets de bricolage et les applications nécessitant une interface simple avec des capteurs et des actionneurs. Sa popularité s'explique par sa facilité d'utilisation, sa flexibilité et sa compatibilité avec une large gamme de composants et d'accessoires.

4. Structure d'un programme arduino

La structure d'un programme Arduino suit un modèle de base qui comprend les éléments suivants

- **Déclarations de variables et constantes** : Vous pouvez déclarer des variables et des constantes pour stocker des valeurs et des données nécessaires dans votre programme. Par exemple, vous pouvez déclarer des variables pour les broches d'entrée/sortie, des variables pour stocker des données de capteurs, etc.
- **Fonction setup ()** : La fonction setup () est une fonction spéciale qui est exécutée une seule fois au démarrage du programme Arduino. Elle est utilisée pour effectuer les configurations initiales nécessaires, telles que l'initialisation des broches d'entrée/sortie, la configuration de la communication série, etc.
- **Fonction loop ()** : La fonction loop () est une autre fonction spéciale qui est exécutée en boucle continue après l'exécution de la fonction setup (). C'est dans cette fonction que vous placez le code qui doit être exécuté de manière répétée. Par exemple, vous pouvez y lire les données des capteurs, effectuer des calculs, contrôler des actionneurs, etc.

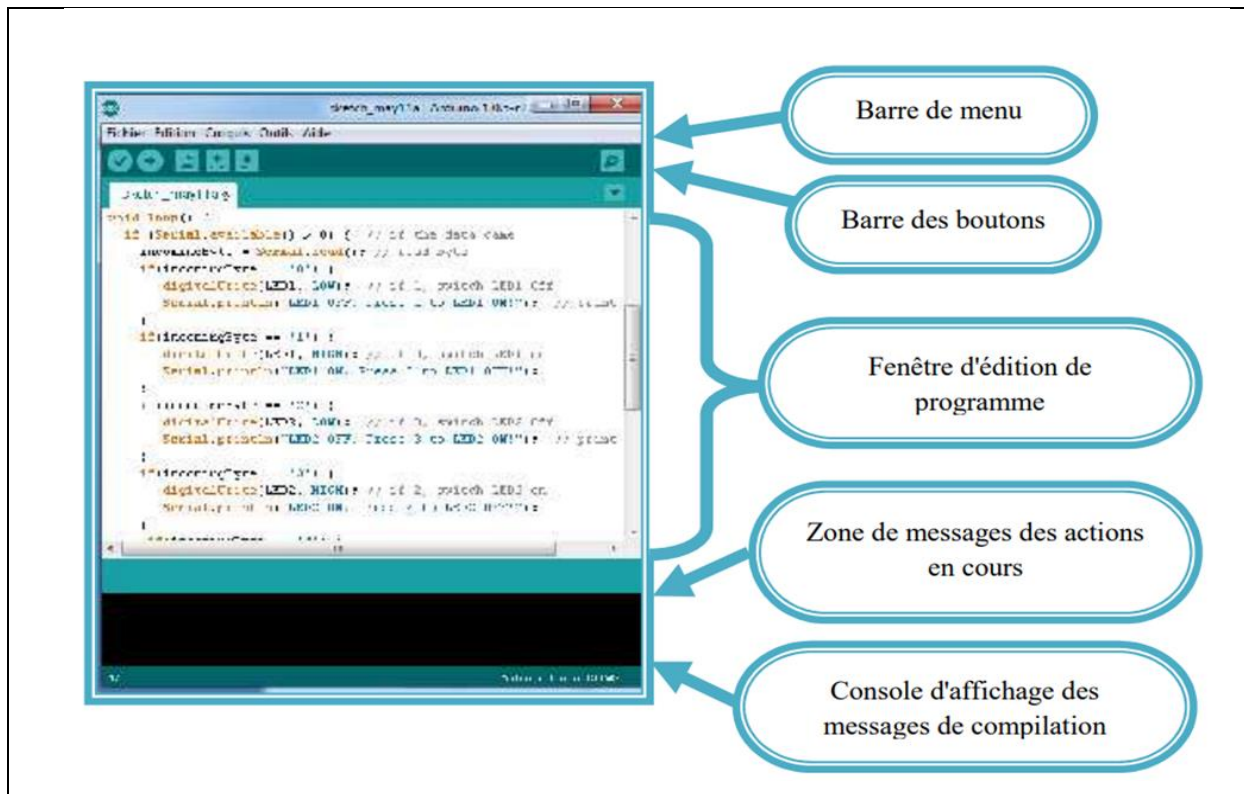


Figure4. 2: Environnement de développement.

- Instructions conditionnelles (if, else, switch)
- Boucles (for, while).
- Fonctions : Vous pouvez définir vos propres fonctions pour organiser votre code compréhensible.

Ces éléments structurels sont généralement présents dans un programme Arduino, mais la façon dont ils sont utilisés peut varier en fonction des exigences spécifiques de votre projet.

5. Simulation d'un système de refroidissement d'un transformateur HTB /HTA par une carte ArduinoUno

5.1. Mesure de la température d'un transformateur

La mesure de la température des transformateurs HTB/HTA est essentielle pour surveiller leur fonctionnement et garantir leur bon état de fonctionnement. Voici quelques méthodes couramment utilisées pour mesurer la température des transformateurs :

- Capteurs de température : Les capteurs de température sont couramment utilisés pour mesurer la température à l'intérieur du transformateur. Les capteurs les plus courants sont les sondes de température à résistance (RTD) et les thermistances. Ils sont placés dans des endroits stratégiques du transformateur, tels que les enroulements, les points

chauds ou les zones critiques, pour surveiller la température. Les signaux électriques des capteurs de température sont ensuite convertis en valeurs de température via des circuits de mesure appropriés.

- Indicateurs de température : Les transformateurs HTB/HTA peuvent être équipés d'indicateurs de température intégrés. Ces indicateurs fournissent une indication visuelle de la température actuelle du transformateur à l'aide d'aiguilles, de voyants LED ou d'affichages numériques. Ils permettent une surveillance facile de la température sans nécessiter d'équipement externe.

5.2. La protection température

Les transformateurs en service sont générateurs de chaleurs dues aux pertes dans le circuit magnétique, dans les enroulements et les parties métalliques. Ils sont à isolement dans l'huile avec un équipement capable d'assurer une réfrigération forcée.

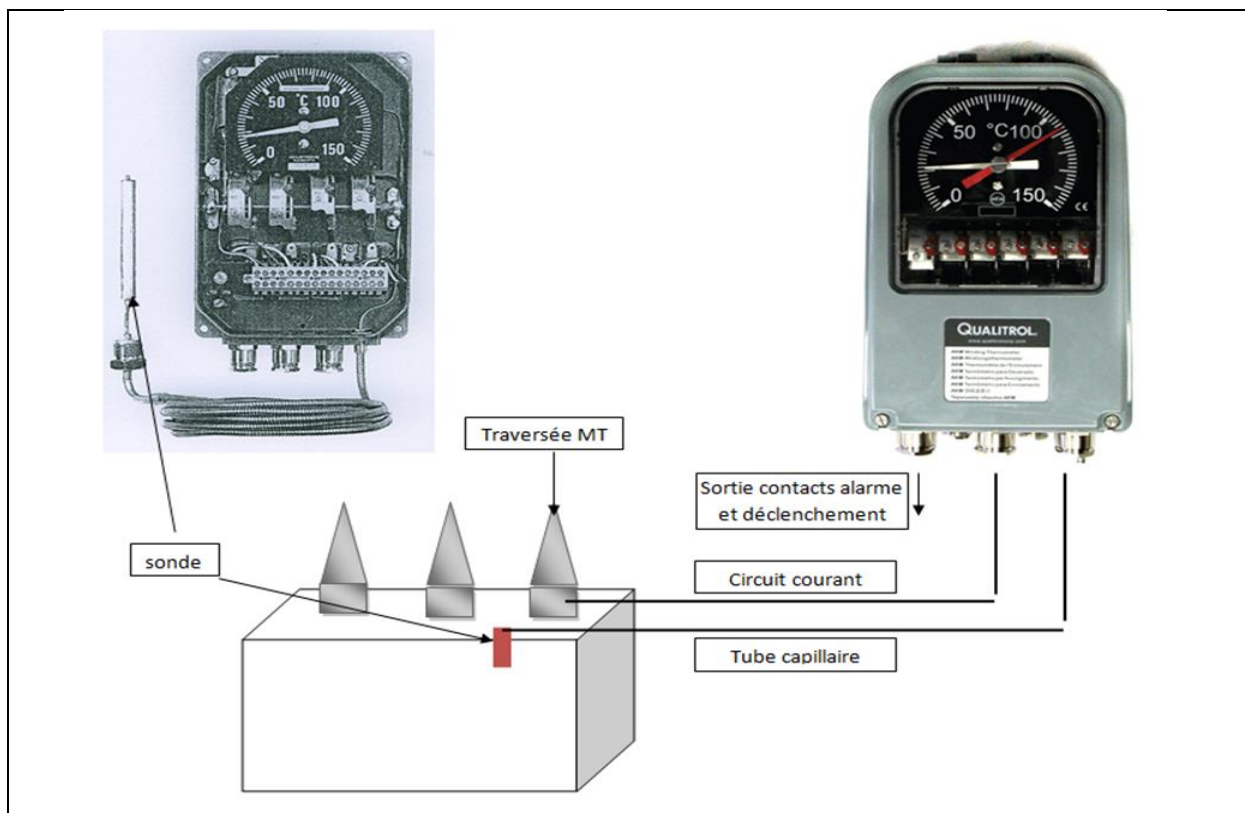


Figure4. 3: Thermostat et sonde du transformateur.

Pour surveiller la température du diélectrique et la maintenir à des valeurs acceptables, on utilise trois appareils de mesure de la température : thermostat, thermomètre et image thermique ayant les seuils suivants :

- ✚ Seuil démarrage ventilos : si la température atteint un seuil supérieur à 70°C, un contact s'enferme et assure la mise en service des groupes de ventilations.
- ✚ Seuil arrêt ventilos : si la température atteint un seuil inférieur à 70°C, le contact s'ouvre et assure la mise hors service des groupes de ventilations.
- ✚ Seuil alarme : si la température atteint un seuil fixé à 90°C, un contact se ferme et donne une signalisation.
- ✚ Seuil de déclenchement : si la température atteint un seuil fixé à 110°C, un contact se ferme et entraîne le déclenchement des disjoncteurs HT et MT.

Tableau 4. 1: les seuils des températures.

Température	Bornier	Effet
T<70	Tous les contacts sont ouverts	Etat normal Les ventilateurs en repos
T=70	Le contact 11-14 se ferme	Démarrage des ventilateurs
T=90	Le contact 31-34 se ferme	ALARME
T=110	Le contact 41-44 se ferme	DECLenchement des disjoncteurs Le transformateur est hors service

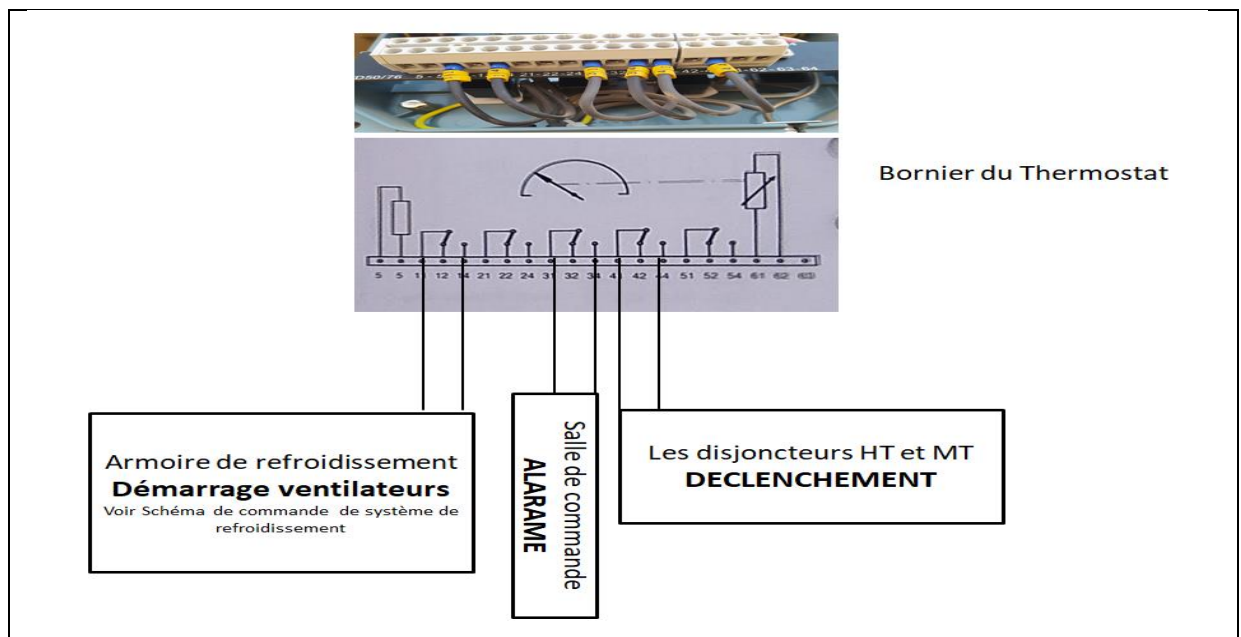


Figure4. 4: connexion des contacts de la sonde de température.

L'image thermique : (Mesure de la température de l'enroulement et de l'huile)

En raison de la difficulté de poser un capteur de température directement au-dessus de l'enroulement HT d'un transfo, il est préférable de lire une image de cette température en suivant le schéma ci-dessous. Ainsi la circulation du courant et l'échauffement de l'huile sont interprétés simultanément dans l'appareil de mesure par la valeur du courant prise sur le secondaire d'un TC et la température de l'huile par un thermomètre placé directement au-dessus de l'enroulement ; la valeur affichée sur le cadran est une image thermique de la température de l'enroulement.

Plage de mesure pour l'enroulement : 0 à 150°C

Plage de mesure pour l'huile : -20 à 150°C

5.3. Protection température arduino

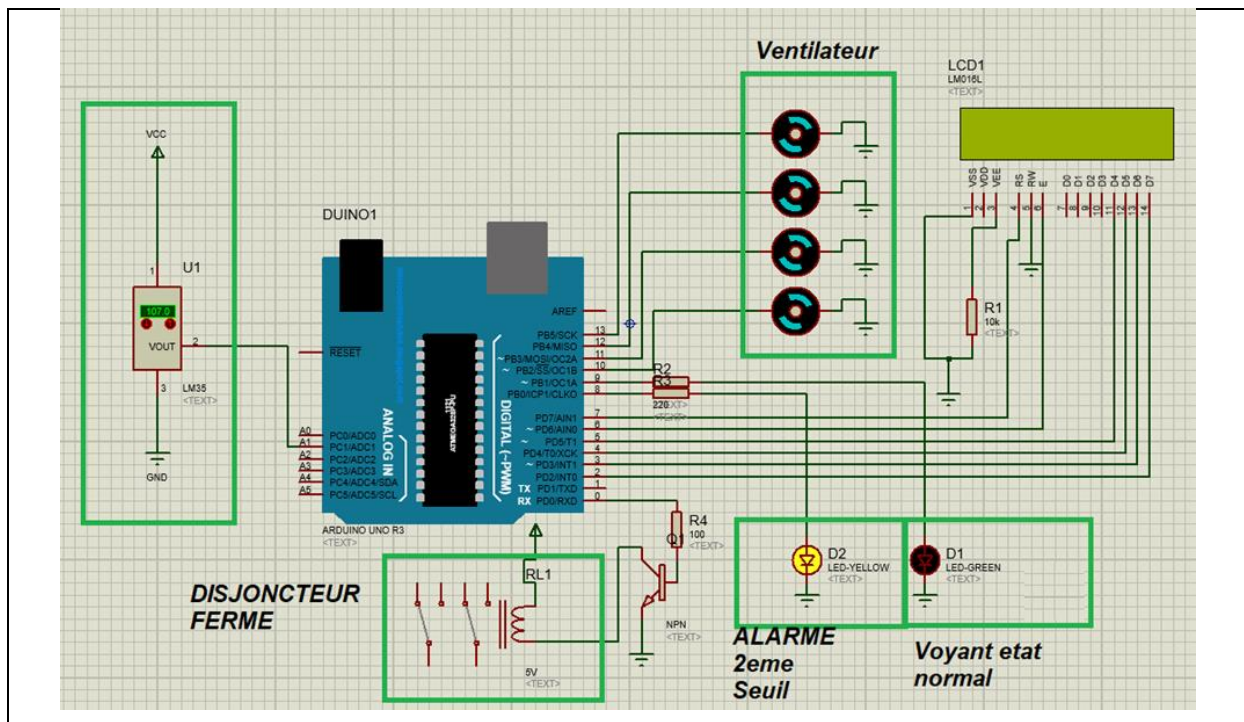


Figure4. 5: système de refroidissement a base arduinouno.

➤ Le capteur LM35

Le capteur LM35 est un capteur de température analogique très populaire et largement utilisé dans les projets électroniques. Voici quelques informations sur le capteur LM35 :

- Principe de fonctionnement : Le capteur LM35 est un capteur de température basé sur le principe de la variation de tension en fonction de la température. Il fournit une

tension de sortie linéairement proportionnelle à la température en degrés Celsius. Par exemple, pour chaque degré Celsius de variation de température, la tension de sortie du capteur change de 10 mV.

- Plage de température : Le capteur LM35 est capable de mesurer des températures dans une large plage, généralement de -55°C à $+150^{\circ}\text{C}$. Cependant, la plage exacte peut varier selon le modèle spécifique du capteur LM35.

Il convient de noter que le capteur LM35 fournit une mesure de température en degrés Celsius et non en Fahrenheit. Si vous souhaitez afficher la température en Fahrenheit, vous devrez effectuer une conversion supplémentaire dans votre code Arduino.

➤ Câblage du capteur LM35

Pour câbler le capteur LM35 avec Arduino, vous pouvez suivre les étapes suivantes :

- Connectez le fil d'alimentation (+) du capteur LM35 au 5V
- Connectez le fil de masse (-) du capteur LM35 au GND (masse).
- Connectez la sortie du capteur LM35 (pin du milieu) à une broche d'entrée analogique de l'Arduino, par exemple A1.

Une fois le câblage terminé, vous pouvez procéder à la déclaration et à la lecture des valeurs de température dans l'IDE Arduino. Voici un exemple de déclaration et de lecture de la valeur de température

- Ouvrez l'IDE Arduino sur votre ordinateur.
- Déclarez la broche d'entrée analogique à laquelle vous avez connecté le capteur LM35. Dans cet exemple, nous utilisons A1 :

```
const int lm35Pin = A1;
```

- Dans la fonction setup (), vous n'avez pas besoin de faire de configuration spécifique pour la broche d'entrée analogique :
- Dans la fonction loop (), vous pouvez lire la valeur analogique de la broche A0, convertir cette valeur en température en utilisant la formule appropriée, puis afficher la température sur le moniteur série :

```
void loop() {  
    // Lecture de la valeur analogique du capteur LM35
```

```
int sensorValue = analogRead(A0);

// Conversion de la valeur analogique en température en degrés Celsius
float temperature = (sensorValue * 5.0) / 1023.0; // Formule de conversion

// Affichage de la température sur le moniteur série
Serial.print("Température : ");
Serial.print(temperature);
Serial.println(" °C");

delay(1000); // Attente d'une seconde
}
```

Démarrage moteur suivant un seuil de température

Pour programmer des seuils de température pour le démarrage de 4 moteurs avec Arduino, vous pouvez suivre ces étapes :

Câblage des moteurs : Assurez-vous d'avoir correctement câblé les moteurs à votre Arduino. Chaque moteur doit être connecté à une broche de sortie appropriée de l'Arduino, ainsi qu'à une alimentation externe et à la masse.

Câblage du capteur de température : Connectez le capteur de température (par exemple, le capteur LM35) à une broche d'entrée analogique de l'Arduino selon les étapes de câblage mentionnées précédemment.

Déclaration des broches de sortie pour les moteurs : Dans la partie de déclaration de votre programme Arduino, vous devez déclarer les broches de sortie utilisées pour contrôler les moteurs. Par exemple, si vous utilisez les broches 13, 12, 11 et 10 de l'Arduino pour contrôler les moteurs, vous pouvez les déclarer de la manière suivante :

```
const int motor1Pin = 13;
const int motor2Pin = 12;
const int motor3Pin = 11;
const int motor4Pin = 10;
```

Ou bien dans la boucle void setup

```
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT); // Configuring pin 13 as output
  pinMode(12, OUTPUT); // Configuring pin 12 as output
  pinMode(11, OUTPUT); // Configuring pin 11 as output
  pinMode(10, OUTPUT); // Configuring pin 10 as output

}
```

- Déclaration des seuils de température : Déclarez les seuils de température à partir desquels vous souhaitez démarrer les moteurs. Par exemple, si vous souhaitez démarrer les moteurs lorsque la température dépasse 70°C, vous pouvez le déclarer comme suit comme exemple

```
const float temperatureThreshold = 70;
```

- Lecture de la température : Dans la fonction loop() de votre programme Arduino, vous devez lire la valeur de température à partir du capteur connecté. Utilisez la formule de conversion appropriée pour obtenir la valeur de température en degrés Celsius.
- Démarrage des moteurs en fonction de la température : Utilisez des instructions conditionnelles (par exemple, des instructions if) pour vérifier si la température dépasse le seuil défini. Si la température est supérieure au seuil, activez les broches de sortie correspondant aux moteurs pour les démarrer. Sinon, désactivez les broches de sortie pour arrêter les moteurs. Voici un exemple de code pour démarrer les moteurs en fonction de la température :

```
void loop() {
  // Lecture de la valeur analogique du capteur de température
  int sensorValue = analogRead(temperaturePin);

  // Conversion de la valeur analogique en température en degrés Celsius
  float temperature = (sensorValue * 5.0) / 1023.0;

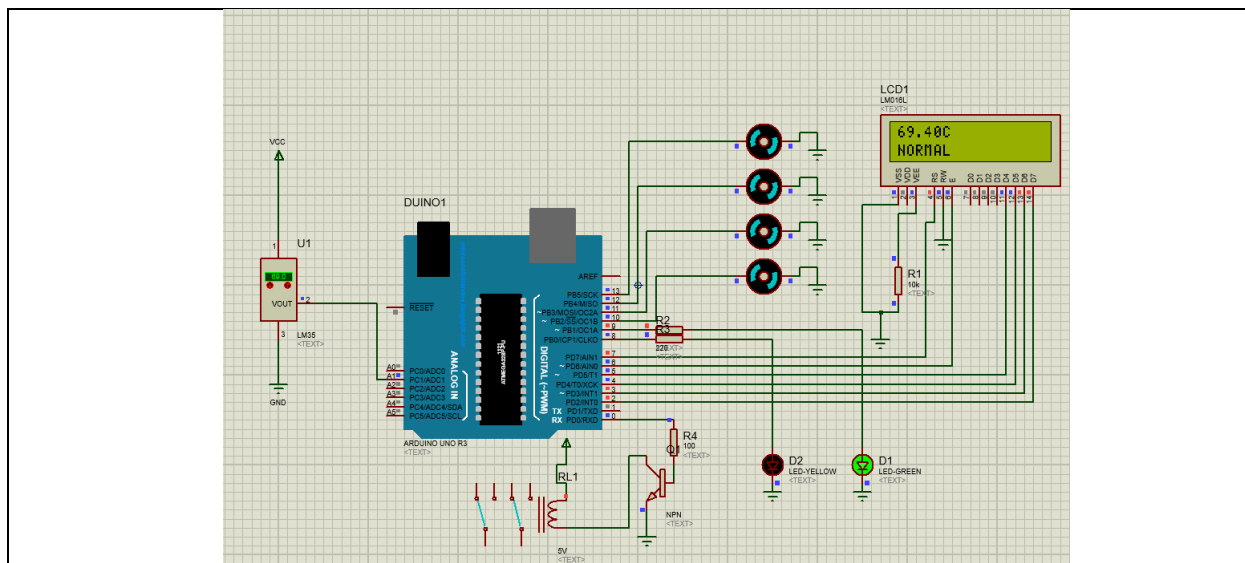
  // Vérification si la température dépasse le seuil
  if (temperature > temperatureThreshold) {
    // Démarrage des moteurs
  }
}
```

```
digitalWrite(13, HIGH);
digitalWrite(12, HIGH);
digitalWrite(10, HIGH);
digitalWrite(11, HIGH);
} else {
    // Arrêt des moteurs
    digitalWrite(13, LOW);
    digitalWrite(12, LOW);
    digitalWrite(11, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
}

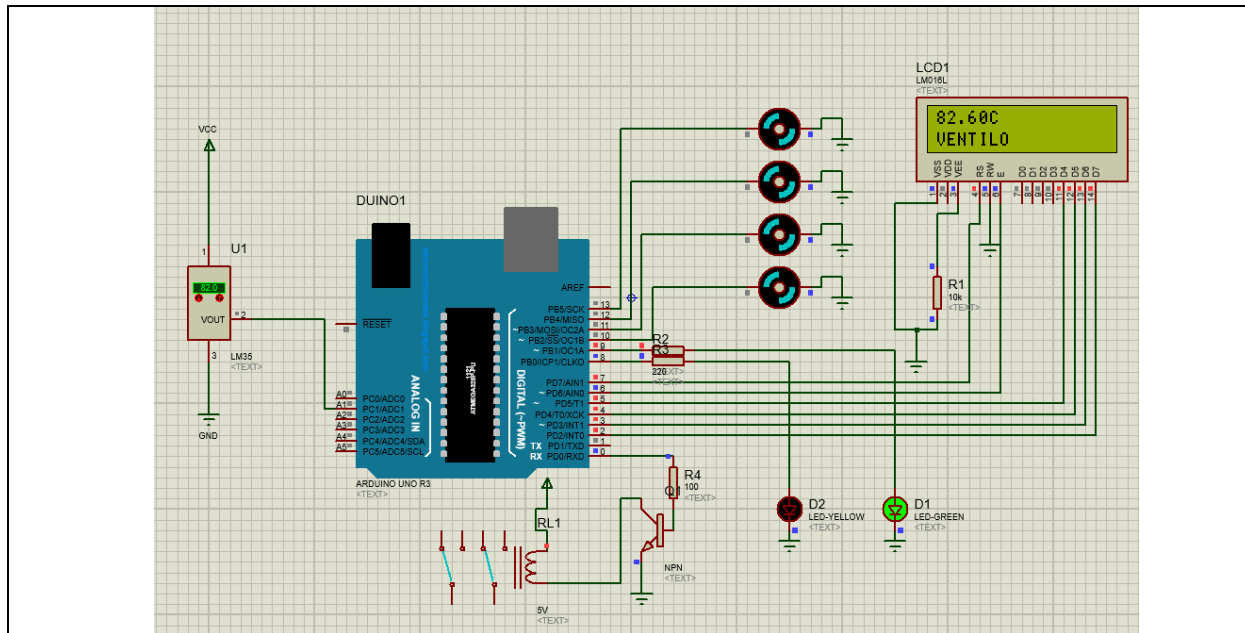
delay(1000);
```

Dans notre cas on dispose de quatre seuils, le programme doit suivre les conditions suivantes :

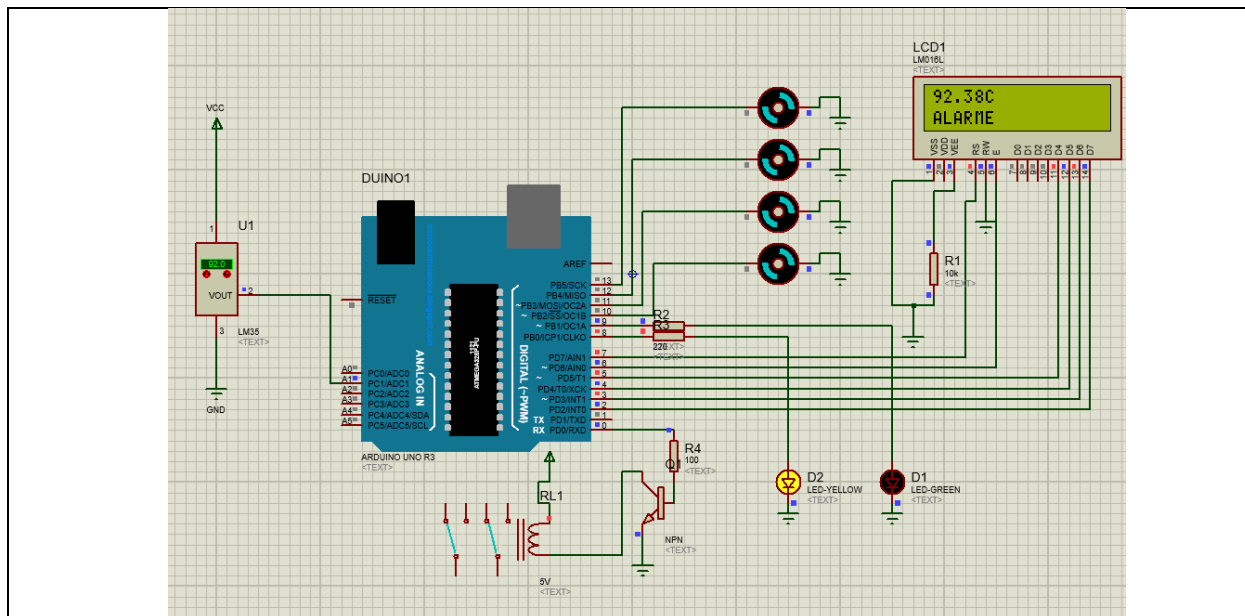
✚ Etat normal :



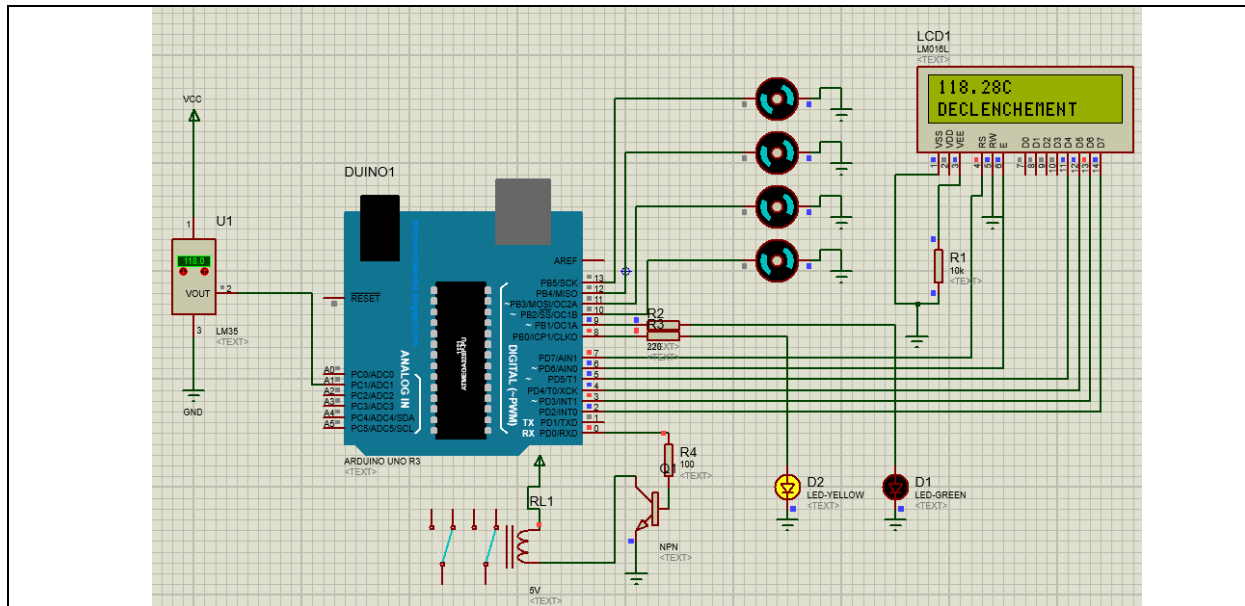
1^{er} Seuil : Température > 70 C et Les quatre ventilateurs sont en marche :



2eme Seuil : Température >90 C et Les quatre ventilateurs sont toujours en marche et une alarme s'active :



- 3eme Seuil : Température >110 C, Déclenchement du disjoncteur, L'alarme et Les quatre ventilateurs sont toujours en marche :



- Programme IDE
Voir annexe

6. Simulation d'une protection maximum de courant par une carte arduinouno

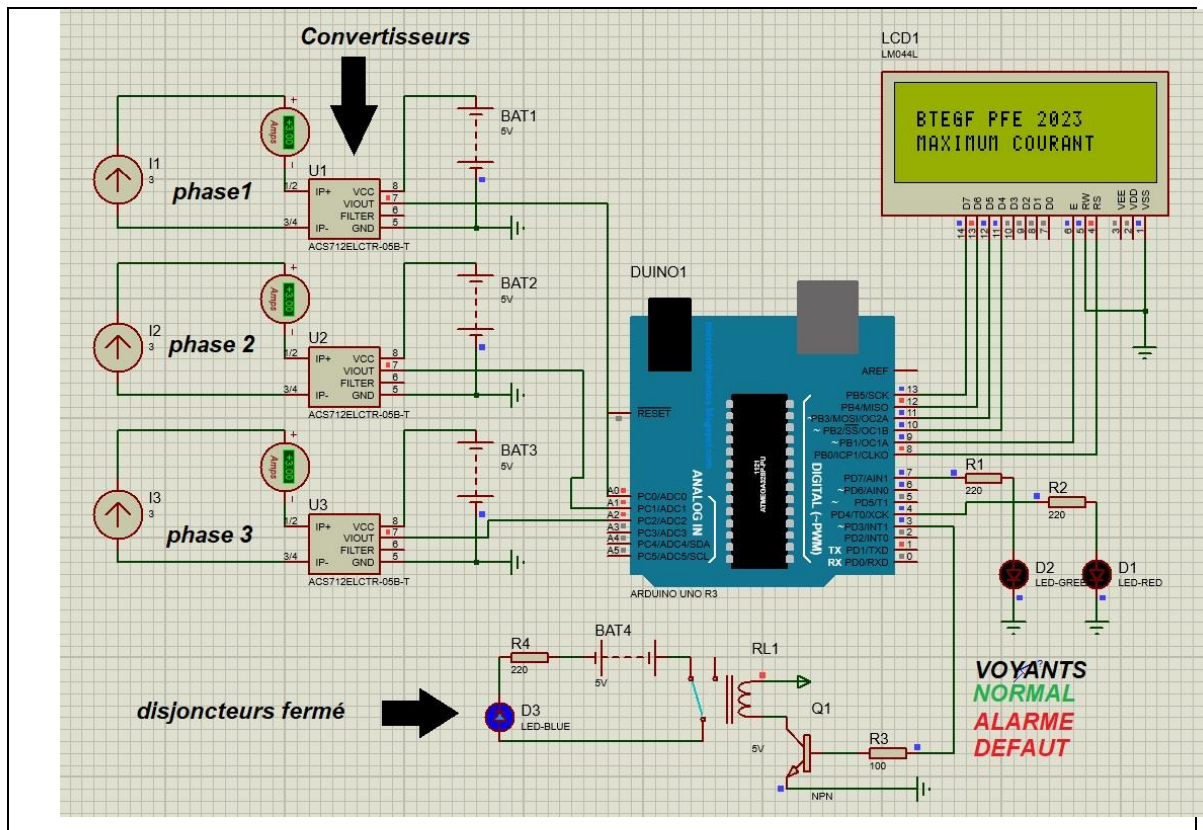
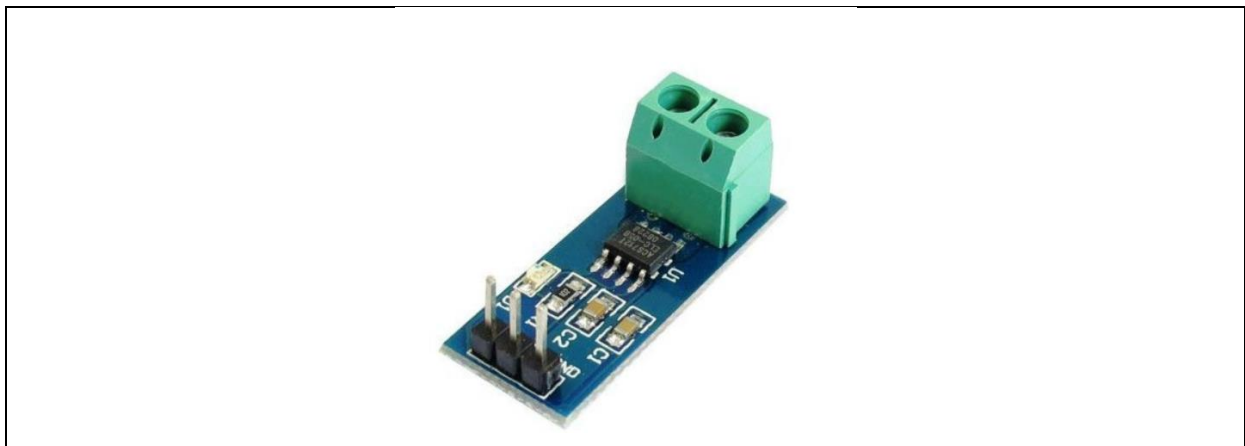


Figure4. 6: protection maximum de courant instantanée a base arduinouno.

➤ Le capteur ACS712

Le module ACS712 est un capteur de courant à effet Hall utilisé pour mesurer le courant électrique alternatif ou continu. Il est largement utilisé dans les projets électroniques, notamment ceux basés sur des microcontrôleurs comme Arduino. Voici quelques informations sur le module ACS712 :



Principe de fonctionnement : Le capteur ACS712 est basé sur le principe de l'effet Hall. Il utilise un élément Hall pour détecter le champ magnétique généré par le courant électrique qui le traverse. En mesurant la force du champ magnétique, le capteur peut déterminer le courant électrique correspondant.

- Types de capteurs ACS712 : Il existe différents types de capteurs ACS712 disponibles avec des plages de courant différents, tels que 5A, 20A et 30A. Il est important de sélectionner le capteur approprié en fonction de la plage de courant que vous souhaitez mesurer.

Connexions : Le module ACS712 est généralement équipé de trois broches : VCC (alimentation), GND (masse) et OUT (sortie). Vous devez connecter la broche VCC à la source d'alimentation +5V, la broche GND à la masse (0V) et la broche OUT à une broche d'entrée analogique de votre microcontrôleur (par exemple, Arduino).

- Sortie analogique : Le capteur ACS712 produit une tension analogique proportionnelle au courant mesuré. La valeur de cette tension change linéairement avec le courant, ce qui permet de la convertir facilement en une valeur de courant correspondante à l'aide d'une formule de conversion appropriée.
- Sensibilité et calibrage : La sensibilité du capteur ACS712 dépend du modèle que vous utilisez. Chaque modèle a une sensibilité spécifique qui est indiquée dans sa documentation. Il est recommandé de calibrer le capteur en mesurant une valeur connue de courant et en ajustant les calculs en conséquence pour obtenir des mesures précises.
- Utilisation avec Arduino : Le capteur ACS712 est couramment utilisé avec Arduino pour mesurer le courant dans divers projets. En connectant la broche OUT du capteur à une broche d'entrée analogique d'Arduino, vous pouvez lire la tension analogique et

la convertir en une valeur de courant correspondante à l'aide de formules mathématiques.

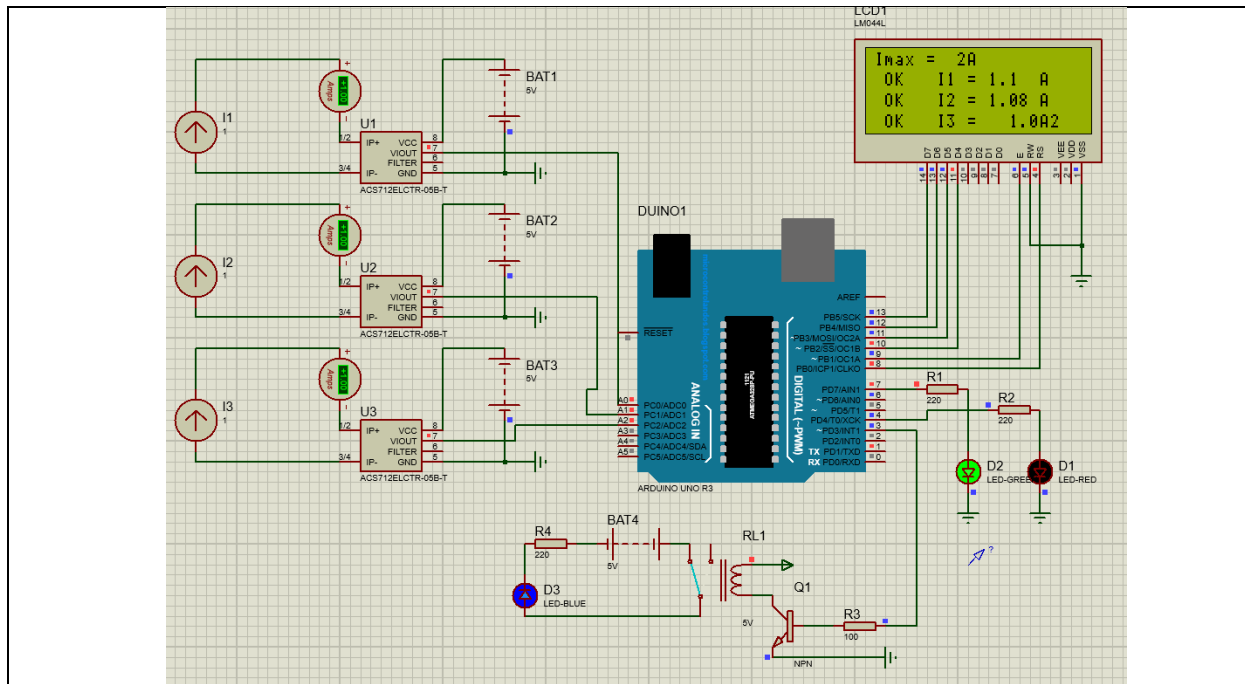
➤ **Câblage de l'ACS712**

Voici les étapes pour le câblage :

- Alimentation : Connectez la broche Vcc du capteur ACS712 à la broche 5V de l'Arduino pour l'alimenter en tension.
- Masse : Connectez la broche GND du capteur ACS712 à la broche GND (masse) de l'Arduino pour la référence de tension commune.
- Sortie : Connectez la broche de sortie du capteur ACS712 (OUT) à une broche d'entrée analogique de l'Arduino, par exemple A0. Cette broche permettra de mesurer la tension de sortie proportionnelle au courant.
- Résistance de charge (facultatif) : Selon le modèle du capteur ACS712 que vous utilisez, il peut être nécessaire d'ajouter une résistance de charge en série avec la sortie du capteur pour obtenir une plage de tension de sortie appropriée. Veuillez consulter la documentation du capteur pour vérifier si une résistance de charge est nécessaire et quelle valeur utiliser.

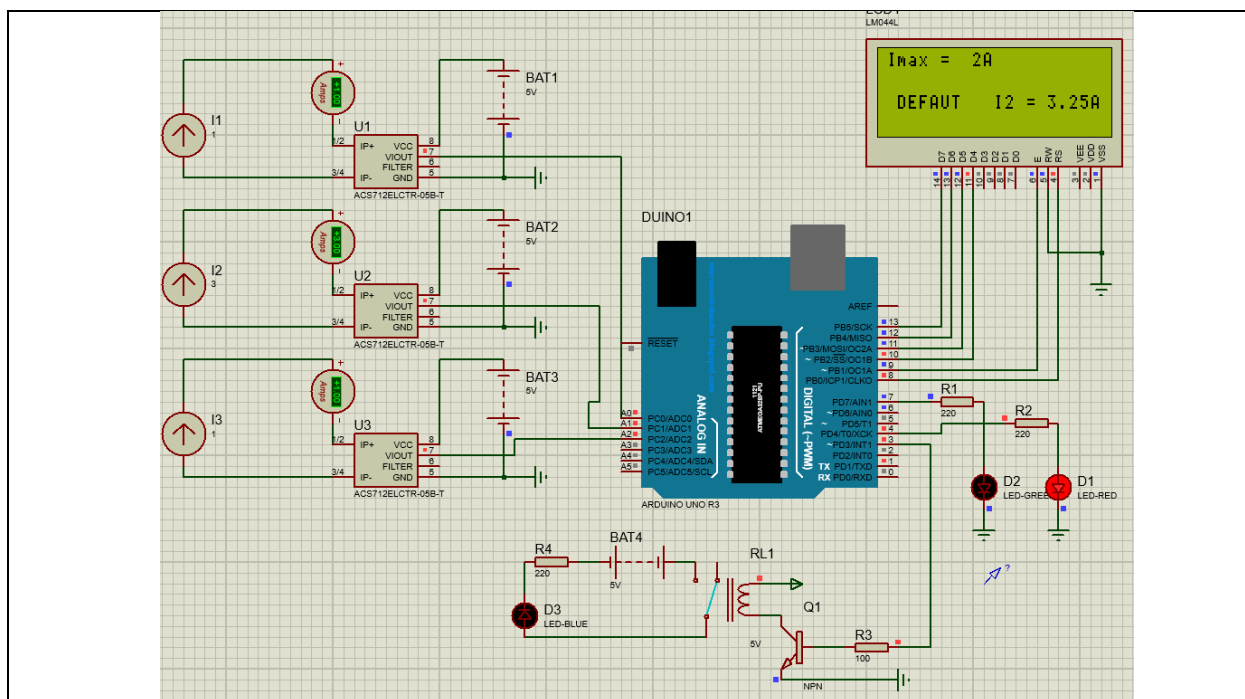
Une fois le câblage terminé, vous pouvez utiliser le code Arduino pour lire la valeur de tension de sortie du capteur ACS712 et la convertir en valeur de courant correspondante.

✚ Cas absence de défauts sur les trois phases :



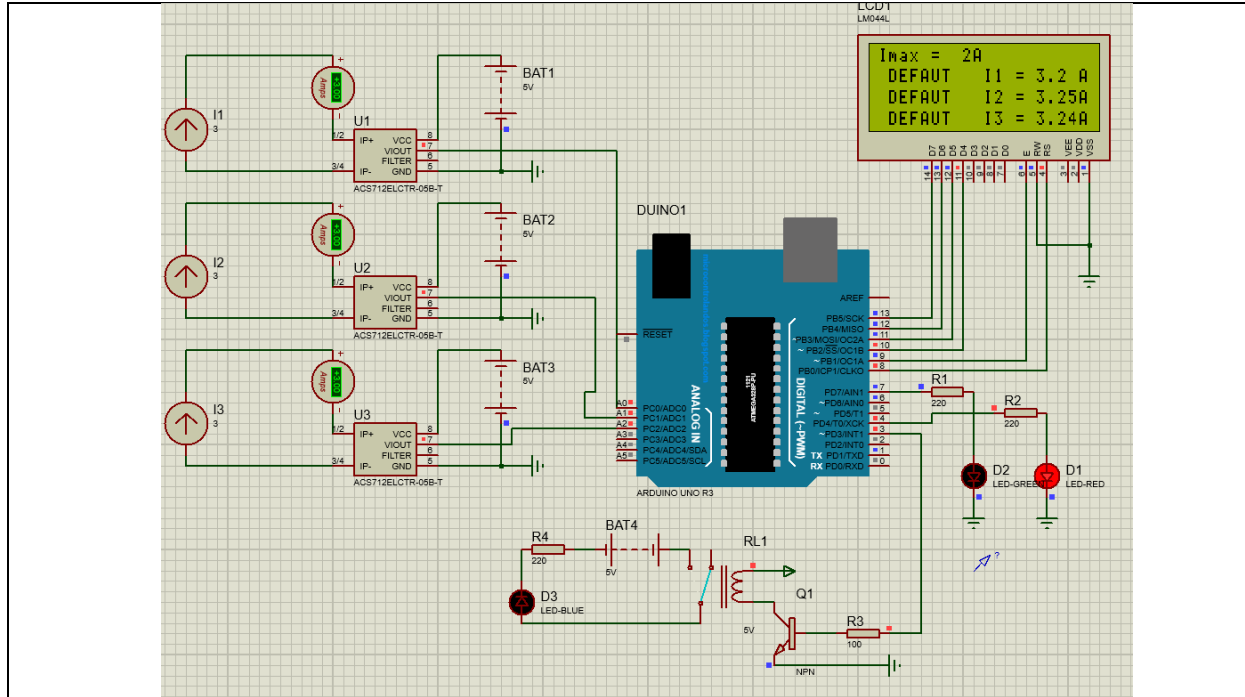
Dans ce cas aucun courant des phases n'a dépassé le seuil fixé à 2 A
 Un voyant lumineux vert est activé indiquant que les phases sont saines
 Le disjoncteur est enclenché son contact est fermé, le LED bleu indique cet état
 Tous les informations sur les phases sont indiquées sur LCD

✚ Cas de défaut sur l'une des phases :



Si un défaut apparaît sur même qu'une seule phase le disjoncteur de déclenche, le contact s'ouvre et un voyant rouge d'alarme s'allume

✚ Cas multiple défauts :



✚ Programme IDE
Voir annexe

7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné la conception et la simulation de circuits électroniques à l'aide d'Arduino, ainsi que ses avantages et ses utilisations. Cette étude a montré que l'utilisation d'un système de protection basé sur une carte arduino est une méthode fiable et efficace pour protéger les transformateurs.

Conclusion générale

Dans le but de conclure ce projet, L'énergie électrique est produite en différentes manières mais en utilisant le même principe c'est de tourner une turbine liée à un axe d'un alternateur. Cette énergie passe par différentes étapes pour être acheminer aux consommateurs (Transport et distribution) en un réseau électrique qui peut subir des différents types de défaut.

Il est nécessaire de protéger ces réseaux pour garantir la qualité et la continuité.

Ce projet présente les différents équipements électriques du réseau et des postes HTB.

On a pu voir les variantes types d'appareils : disjoncteurs, transformateur, sectionneur, transformateur de mesure, ...En exploitant les structures utilisées, ces outils nous ont facilité l'assemblage du plan de protection des postes de transformation.

Nous souhaitons que ce projet amorce d'autre sujet sur la technologie d'équipement de connexion entre les postes et les bureaux de maintenance.

Bibliographiques

- [1] : Les défauts & les systèmes de protection du Réseau de transport HTB de **RACHED Badri** / DPTE 1998
- [2] : Appareillage des postes de transport de l'électricité : **BEN AMMAR Mohamed Ali** / DPTE 2004
- [3] : **ARCHITECTURE D'UN POSTE DE TRANSFORMATION CFPK /STEG**
- [4] : Protection et surveillance des réseaux de transport d'énergie électrique - Volume 1
- [5] : https://www.google.com/search?q=conclusion+sur+arduino+uno+français&tbm=isch&ved=2ahUKEwiB5dap25P_AhVLrycCHUUfACwQ2-
- [6] : http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Transformateur_de_puissance.
- [7] : Rekik Badri «Etude et modélisation des défauts des transformateurs de puissance», Mémoire de magister, Université de Badji Mokhtar-Annaba, 2008.
- [8] : Omrani Awatef, « Protection et maintenance des transformateurs de puissance Mémoire de master, Université de Biskra, 6 juillet 2019

Annexe

I. Programme contrôle système de refroidissement d'un transformateur a base arduino uno

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystallcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
constint sensor=A1; // Assigning analog pin A1 to variable 'sensor'
float tempc; //variable to store temperature in degree Celsius
float vout; //temporary variable to hold sensor reading

void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(13, OUTPUT);// Configuring pin 13 as output
    pinMode(12, OUTPUT);// Configuring pin 12 as output
    pinMode(11, OUTPUT);// Configuring pin 11 as output
    pinMode(10, OUTPUT);// Configuring pin 10 as output
    pinMode(9, OUTPUT);// Configuring pin 13 as output
    pinMode(8, OUTPUT);// Configuring pin 12 as output
    pinMode(0, OUTPUT);// Configuring pin 11 as output
    pinMode(sensor,INPUT); // Configuring pin A0 as input
    lcd.begin(16,2);
}

void loop()
{
    vout=analogRead(sensor);
    vout=(vout*500)/1023;
    tempc=vout; // Storing value in Degree Celsius

    if ( tempc< 70 )
    {

        digitalWrite(13,LOW);
        digitalWrite(12,LOW);
        digitalWrite(11,LOW);
        digitalWrite(9,HIGH);
        digitalWrite(8,LOW);
        digitalWrite(0,LOW);
        digitalWrite(10,LOW);
        digitalWrite(0,LOW);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print(tempc);
        lcd.print("C");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("NORMAL");
        delay(1000);

    }
    else if (70 <= tempc )
    {
        if(tempc<90 )
        {
```

```

digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(10,HIGH);
digitalWrite(9,HIGH);
digitalWrite(8,LOW);
digitalWrite(0,LOW);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(tempc);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("VENTILO");
delay(1000);
}
else if (90 <=tempc )
{
    if (tempc<110 )
    {
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(10,HIGH);
digitalWrite(9,LOW);
digitalWrite(8,HIGH);
digitalWrite(0,LOW);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(tempc);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("ALARME");
        delay(1000);

    }
        else if( 110<= tempc )
        { digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(10,HIGH);
digitalWrite(9,LOW);
digitalWrite(8,HIGH);
digitalWrite(0,HIGH);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(tempc);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("DECLENCHEMENT");
delay(1000);

        }
    }
}
}

```

II. Programme protection maximum de courant a base arduino uno

```
// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h> //library for LCD

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(8, 9, 10, 11, 12, 13);

//Measuring Current Using ACS712

const int analogChannel = 0; //Connect current sensor with A0 of Arduino
const int analogChannel2 = 1; //Connect current sensor with A1 of Arduino
const int analogChannel3 = 2; //Connect current sensor with A2 of Arduino
int sensitivity = 185; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
//phase1
float adcValue1 = 0;
int offsetTension1 = 2500;
double tension1 = 0; //tension measuring
double courant1 = 0; // Current measuring
//phase2
float adcValue2 = 0;
int offsetTension2 = 2500;
double tension2 = 0; //tension measuring
double courant2 = 0; // Current measuring
//phase3
float adcValue3 = 0;
int offsetTension3 = 2500;
double tension3 = 0; //tension measuring
double courant3 = 0; // Current measuring

void setup() {
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  //baud rate
  Serial.begin(9600); //baud rate at which arduino communicates with Laptop/PC
  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(20, 4); //LCD order
  // Print a message to the LCD.
  lcd.setCursor(1,1); //Setting cursor on LCD
  lcd.print("BTEGF PFE 2023"); //Prints on the LCD
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("MAXIMUM COURANT");
  delay(3000); //time delay for 3 sec
  lcd.clear(); //clearing the LCD display
  lcd.display(); //Turning on the display again
  lcd.setCursor(1,0); //setting LCD cursor
  lcd.print("READING VALUES FROM"); //prints on LCD
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("ACS712 I Sensor");
  lcd.setCursor(5,2);
  lcd.print("MAXIMUM COURANT");
  delay(2000); //delay for 2 sec
}

void loop() //method to run the source code repeatedly
{
  //phase1
  unsigned int temp1 = 0;
  float maxpoint1 = 0;
```

```

unsigned int temp2=0;
float maxpoint2 = 0;

unsigned int temp3=0;
float maxpoint3 = 0;
inti=0;
for(i=0;i<500;i++)
{
if(temp1 = analogRead(analogchannel),temp1>maxpoint1)
{
maxpoint1 = temp1;
}
if(temp2 = analogRead(analogchanne2),temp2>maxpoint2)
{
maxpoint2 = temp2;
}
if(temp3 = analogRead(analogchanne3),temp2>maxpoint3)
{
maxpoint3 = temp3;
}
}
adcvalue1 = maxpoint1;
tension1 = (adcvalue1 / 1024.0) * 5; // Gets you mV
courant1 = (tension1 - 2.5) / 0.185;

adcvalue2 = maxpoint2;
tension2 = (adcvalue2 / 1024.0) * 5; // Gets you mV
courant2 = (tension2 - 2.5) / 0.185;

adcvalue3 = maxpoint3;
tension3 = (adcvalue3 / 1024.0) * 5; // Gets you mV
courant3 = (tension3 - 2.5) / 0.185;
//phase2

//ici
Serial.print("Raw Value1 = " ); // prints on the serial monitor
Serial.print(adcvalue1); //prints the results on the serial monitor

lcd.clear();//clears the display of LCD
delay(100);//delay of 1 sec
if (courant1 >2 || courant2 >2 ||courant3>2 )
{
digitalWrite(4, HIGH);
digitalWrite(7, LOW);
digitalWrite(3, HIGH);
//PHASE1
if (courant1 >2)
{

lcd.display();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Imax = ");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("2A ");

lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("DEFAULT");
lcd.setCursor(11,1);

```

```

Serial.print("\t courant = "); // shows the tension measured
Serial.println(courant1,1);// the '3' after tension allows you to display 3 digits after decimal point

lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("I1 = ");
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print(courant1,1);
lcd.setCursor(19,1);
lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
digitalWrite(1,HIGH);

}
//PHASE2
if (courant2 >2)
{

lcd.display();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Imax = ");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("2A ");

lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("DEFAULT");
lcd.setCursor(12,2);

Serial.print("\t courant = "); // shows the tension measured
Serial.println(courant2,1);// the '3' after tension allows you to display 3 digits after decimal point

lcd.setCursor(10,2);
lcd.print("I2 = ");
lcd.setCursor(15,2);
lcd.print(courant2,2);
lcd.setCursor(19,2);
lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
digitalWrite(1,HIGH);

}
//PHASE3
if (courant3 >2)
{

lcd.display();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Imax = ");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("2A ");

lcd.setCursor(1,3);
lcd.print("DEFAULT");
lcd.setCursor(11,3);

Serial.print("\t courant = "); // shows the tension measured
Serial.println(courant3,1);// the '3' after tension allows you to display 3 digits after decimal point

```

```

lcd.setCursor(10,3);
lcd.print("I3 = ");
lcd.setCursor(15,3);
lcd.print(courant3,3);
lcd.setCursor(19,3);
lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
digitalWrite(1,HIGH);

}

delay(500); //delay of 2.5 sec
} else {
  //Prints on the serial port
  Serial.print("Raw Value1 = " ); // prints on the serial monitor
  Serial.print(advalue1); //prints the results on the serial monitor

  lcd.clear();//clears the display of LCD
  delay(100);//delay of 1 sec
  digitalWrite(4, LOW);
  digitalWrite(7, HIGH);
  digitalWrite(3, LOW);

  if (0 < courant1 <=2 )
  {

    lcd.display();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Imax = ");
    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print("2A ");

    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print("OK");
    lcd.setCursor(11,1);

    Serial.print("\t courant = "); // shows the tension measured
    Serial.println(courant1,1);// the '3' after tension allows you to display 3 digits after decimal point

    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print("I1 = ");
    lcd.setCursor(11,1);
    lcd.print(courant1,1);
    lcd.setCursor(16,1);
    lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
    digitalWrite(1,HIGH);

  }
  //phase 2
  if (0 < courant2 <=2 )
  {

    lcd.display();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Imax = ");
    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print("2A ");

```

```

lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("OK");
lcd.setCursor(11,2);

Serial.print("\t courant = "); // shows the tension measured
Serial.println(courant2,1);// the '3' after tension allows you to display 3 digits after decimal point

lcd.setCursor(6,2);
lcd.print("I2 = ");
lcd.setCursor(11,2);
lcd.print(courant2,2);
lcd.setCursor(16,2);
lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
digitalWrite(1,HIGH);

}
//phase3
if (courant3 <=2 )
{

lcd.display();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Imax = ");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("2A ");

lcd.setCursor(1,3);
lcd.print("OK");
lcd.setCursor(11,3);

Serial.print("\t courant = "); // shows the tension measured
Serial.println(courant3,1);// the '3' after tension allows you to display 3 digits after decimal point

lcd.setCursor(6,3);
lcd.print("I3 = ");
lcd.setCursor(13,3);
lcd.print(courant3,3);
lcd.setCursor(16,3);
lcd.print("A"); //unit for the current to be measured
digitalWrite(1,HIGH);

}
delay(500); //delay of 2.5 sec
}

}

```