



ETUDE TECHNIQUE DE RENFORCEMENT DES POSTES SOURCES DE LA REGION DE TAHOUA (Niger)

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC
GRADE DE
MASTER 2 EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE
SPECIALITE RESEAUX ELECTRIQUES.**

Présenté et soutenu publiquement le 26 Janvier 2022 par

ISSOUFOU DAN-LADI Ibrahim (n° 2014 0219)

Maître de stage : Mahamane Noura MOUSSA SANI chef service technique régionale

Encadrant 2iE : M. Justin BASSOLE Ingénieur, Enseignant

Structure d'accueil du stage : Société nigérienne d'électricité (NIGELEC)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Moussa KADRI

Membres et correcteurs : Ahmed ZONGO

Justin BASSOLE

Promotion [2021/2022]

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A mon père ISSOUFOU Dan-Ladi et à ma mère
ALZOUMA Mohamed ; ceux-là qui m'ont tous donné. Ce
mémoire est le fruit de leurs sacrifices.

A mes frères et sœurs pour leur amour, leur confiance, leur
soutien et leurs encouragements.

A toute la famille ISSOUFOU DAN-LADI pour le soutien
moral et financier qu'elle a bien voulu m'accorder. Qu'elle
trouve ici, l'expression de ma profonde gratitude.

A Monsieur GAGARA Oumara et Madame INDI Sallah,
pour avoir accepté d'être mes tuteurs à Niamey.

Citations

« La suprême récompense du travail n'est pas ce qu'il vous permet de gagner, mais ce qu'il vous permet de devenir. » **JOHN RUSKIN**

Remerciements

Un grand merci à **ALLAH** de m'avoir guidé vers le chemin de la lumière et du savoir.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je veux témoigner toute ma gratitude.

Je voudrai dans un premier temps remercier l'ensemble du personnel de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, sans qui ce travail ne serait possible, et en particulier les corps enseignants du département Génie Électrique Énergétique et Industriel pour m'avoir rendu capable pendant ces cinq longues années.

J'exprime mes vifs remerciements à mon encadreur interne **Ingénieur Justin BASSOLE** enseignant à 2iE, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie chaleureusement mon maitre de stage, **Mahamane Noura MOUSSA SANI** le chef service technique régionale qui malgré ses multiples sollicitations a bien voulu m'accepter en me proposant ce thème de mémoire et en me guidant pour le bon déroulement de ce présent travail.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude au personnel de la Direction régionale de Tahoua (ingénieurs, techniciens, ouvriers, sous-traitants, cuisiniers et autres), pour leur gentillesse, leur aide, leurs conseils et l'ambiance vécu tout au long de mon séjour.

Je remercie également, mes frères, mes sœurs, mes cousin(e)s, mes ami(e)s, et l'ensemble des étudiants de 2iE, pour leurs soutiens, leurs encouragements constants et la patience envers ma personne.

Je suis immensément reconnaissant à mes parents, qui m'ont soutenu sans cesse tout au long de ma vie. Je leur dois beaucoup. Qu'ils trouvent dans ce manuscrit toute ma reconnaissance. Merci.

Résumé

Le présent document traite d'une étude de renforcement des postes sources et lignes de liaisons du réseau électrique HT de la région de Tahoua (Niger). Cette étude permet de proposer à la NIGELEC une méthodologie pour assurer le bon fonctionnement de son réseau électrique tout en remédiant aux problèmes de saturations des postes sources et lignes de liaisons afin de garantir une meilleure utilisation de l'énergie (satisfaire la demande à l'horizon 2030) de la région de Tahoua.

Pour cela, il fallait d'abord faire un état de lieux du réseau électrique HT existant, faire une prévision de la demande de cette région, et proposer des solutions convenables permettant de mieux répondre aux attentes de la NIGELEC tout prenant en compte l'aspect économique et le volet environnemental et social.

L'estimation de la charge nous montre que la demande de la région de Tahoua va au-delà du double, passant de **22,892 MW** en 2020 à **47,274 MW** en 2030.

Afin de faire face à cette demande électrique qui de nos jours est sans cesse croissante, nous sommes arrivés à faire à la NIGELEC des propositions suivantes :

Pour les postes sources :

- ✓ Poste-Illela : équiper de deux transformateurs un de 132/33 kV, 10 MVA et un de 132/66 kV 20 MVA ;
- ✓ Poste-Malbaza : équiper d'un transformateur 132/66/20 kV, 50 MVA ;
- ✓ Site-Tahoua : équiper de deux transformateurs 66/20 kV, 10 MVA chacun ;
- ✓ Site-Malbaza : équiper de deux transformateurs 66/33 kV, 10 MVA chacun ;

Pour les lignes de liaisons :

- ✓ Reconstruire la ligne de liaison Illela-Tah avec une tension de 66 kV et une section de $3 \times 117 \text{ mm}^2$;
- ✓ Equiper le deuxième terne de la ligne de liaison Takalmawa-Malbaza avec une section de $3 \times 326,1 \text{ mm}^2$;
- ✓ Reconstruire la ligne de liaison Malbaza-Illela avec une tension de 132 kV et une section de $3 \times 181,6 \text{ mm}^2$.

Après avoir recensé tout le matériel rentrant dans le cadre de cette étude nous avons estimé notre projet à **12 328 925 239 F CFA**.

Mots clés :

1. **Postes sources**
2. **Tahoua**
3. **NIGELEC**
4. **HTB**
5. **HTA**

Abstract

This document deals with a study to strengthen the source substations and connection lines of the HV electrical network in the Tahoua region (Niger). This study makes it possible to propose to NIGELEC a methodology to ensure the proper functioning of its electrical network while remedying the problems of saturation of source stations and connection lines in order to guarantee better use of energy (meeting demand at horizon 2030) of the Tahoua region. For this, it was first necessary to make an inventory of the existing HV electrical network, make a forecast of the demand for this region, and propose suitable solutions to better meet the expectations of NIGELEC while taking into account the economic and the environmental and social aspect. The load estimate shows us that the demand for the Tahoua region will more than double, increasing from **22.892 MW** in 2020 to **47.274 MW** in 2030. In order to meet this electricity demand which nowadays is constantly increasing, we managed to make the following proposals to NIGELEC.

For source substations:

- ✓ Poste-Illela: equip with two transformers, one 132/33 kV, 10 MVA and one 132/66 kV 20 MVA;
- ✓ Poste-Malbaza: equip with one transformer 132/66/20 kV, 50 MVA;
- ✓ Site-Tahoua: equip with two transformers 66/20 kV, 10 MVA each;
- ✓ Site-Malbaza: equip with two transformers 66/33 kV, 10 MVA each;

For the link lines:

- ✓ Rebuilt the Illela-Tah link line with a voltage of 66 kV and a section of 3*117 mm²;
- ✓ Equip the second circuit of the Takalmawa-Malbaza link line with a section of 3*326.1 mm²;
- ✓ Rebuilt the Malbaza-Illela link line with a voltage of 132 kV and a section of 3*181.6 mm².

After having identified all the material falling within the scope of this study, we estimated our project at **12,382,925,239 CFA franc**.

Key words:

1. Source substation
2. Tahoua
3. NIGELEC
4. HTB
5. HTA

Liste des abréviations

2iE:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
Ω :	Ohm
A:	Ampère
BT:	Basse Tension
F CFA :	Franc des Colonies Françaises Africaines
HTA :	Haute Tension catégorie A
HTB :	Haute Tension catégorie B
JB :	Jeu de Barres
km:	Kilomètre
kV:	Kilo Volts
kVA :	Kilo Volt Ampère
MVA :	Méga Volt Ampère
MW :	Méga Watt
NCN :	Nouvelle Cimenterie du Niger
NIGELEC :	Société nigérienne d'électricité
SF6 :	L'hexa fluorure de soufre
TCA :	Taux de Croissance Annuel
TCMA :	Taux de Croissance Moyen Annuel
TTC :	Toutes Taxes Comprises
TVA :	Taxe sur la Valeur Ajoutée

Table des matières

Dédicaces	i
Citations	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract	v
Liste des abréviations.....	vi
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures	xii
Introduction générale :	1
Chapitre 1 : Présentations de la structure d'accueil et du projet.....	3
1.1 Présentation de l'entreprise	3
1.1.1 Historique.....	3
1.1.2 Activités	4
1.1.3 Mission.....	4
1.1.4 Cadre juridique et actionnariat.....	4
1.1.5 Organisation et fonctionnement	4
1.2 Présentation de la zone du projet (région de Tahoua).....	5
1.3 Organigramme de l'entreprise voir (Annexe 1)	6
1.4 Le contexte du projet.....	6
1.4.1 La justification du projet.....	6
1.4.2 Les objectifs du projet.....	6
Chapitre 2 : Généralités sur les postes électriques.....	7
2.1 Réseau électrique.....	7
2.1.1 Définition	7
2.2 Postes électriques	8

2.2.1	Définition	8
2.2.2	Les différents types de postes électriques	8
2.3	Postes sources.....	9
2.3.1	Définition	9
2.3.2	Les différents éléments du poste source	10
2.3.3	Les principaux schémas utilisés.....	10
2.3.4	Technologie des postes sources	12
2.3.5	Les fonctions des postes.....	13
Chapitre 3 : Etat des lieux du réseau électrique HT et prévision de la demande de la région de Tahoua.....		15
3.1	Etat des lieux du réseau électrique HT de la région de Tahoua	15
3.1.1	Présentation générale du réseau électrique haute tension de la région de Tahoua 15	
3.1.2	Les lignes électriques HT existantes.....	15
3.1.3	Les transformateurs existants sur le réseau électrique de Tahoua	16
3.1.4	Les bancs de compensations existants sur le réseau HT de Tahoua	16
3.1.5	Les postes sources de la région de Tahoua	17
3.1.6	Situation actuelle des différents postes sources	18
3.2	Estimation de la demande électrique de la région de Tahoua	19
3.2.1	Bilan de la demande électrique de la région de Tahoua	19
3.2.2	Procédure	19
3.2.3	Résultats de calculs	21
Chapitre 4 : analyse et renforcement de capacité de productions		31
4.1	Analyse et identifications des postes à renforcer	31
4.1.1	Procédure de renforcements de postes sources	33
4.1.2	Proposition de la puissance à installer pour chaque poste source.....	33

4.2	Analyses et identifications des câbles à renforcer.....	36
4.2.1	Vérifications des caractéristiques électriques des câbles.....	36
4.2.2	Etude électrique des lignes de liaisons.....	39
4.3	Estimation financière du projet	55
Chapitre 5 : Notice d'impact environnemental et social.....		56
5.1	Introduction partielle	56
5.2	Cadre législatif régissant le projet.....	56
5.3	Analyse de l'état initial du site.....	57
5.4	Indentification, évaluation et analyse des impacts du projet.....	57
5.4.1	Identification des impacts du projet.....	57
5.4.2	Evaluation de l'importance de l'impact du projet.....	58
5.4.3	Analyse des impacts de projet.....	58
5.5	Mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification	60
Conclusion :		61
Recommandation :		63
Bibliographie.....		I
LISTE DES ANNEXES		II

Liste des tableaux

Tableau 1: Différents types de postes électriques	9
Tableau 2: Caractéristiques des lignes du réseau électrique de la région Tahoua	16
Tableau 3: Caractéristiques électriques des transformateurs utilisés sur le réseau HT de Tahoua.....	16
Tableau 4: Caractéristiques des compensateurs sur le réseau électrique de Tahoua	17
Tableau 5: Situation actuelle du parc de production et importation de la région de Tahoua .	19
Tableau 6: Récapitulatif de la puissance électrique de la région de Tahoua période 2015-2020.....	21
Tableau 7: Récapitulatif de la puissance électrique de la région de Tahoua période 2015-2020 sans le départ cimenterie.	22
Tableau 8: Taux de croissance annuel de la puissance de pointe demandée par la région [7].	22
Tableau 9: Prévision de la demande énergétique de la ville de Tahoua période 2020-2030..	24
Tableau 10: Demande au niveau des postes sources à l'année 2020	26
Tableau 11: Prévision de la puissance de pointe demandée au niveau des différents postes sources sur la période d'étude [8].	28
Tableau 12: Situation énergétique à la période 2020	32
Tableau 13: Comparaison de la demande en puissance période 2020 et période 2030	33
Tableau 14: Caractéristiques électriques transformateur-Illela et transformateur-site-Malbaza	35
Tableau 15: Les transformateurs à installer dans les postes sources à l'horizon 2030	36
Tableau 16: Caractéristiques électriques des câbles existants sur le réseau électrique HT de Tahoua.....	36
Tableau 17: Capacité d'évacuation des câbles existants du réseau électrique HT de Tahoua	38
Tableau 18: Comparaison charges 2030 et capacités d'évacuation des câbles existants.	38
Tableau 19: Caractéristique comparées des matériaux conducteurs.....	40
Tableau 20: Données calcul du courant nominal	41
Tableau 21: Coefficient K en fonction du type de matériaux	41
Tableau 22: Choix de section en fonction du courant admissible.	42
Tableau 23: Caractéristique de la ligne almélec 147 mm ²	43

Tableau 24: Puissance de court-circuit en fonction du niveau tension [12]	44
Tableau 25: Simulation avec des conducteurs de sections supérieures à 148 mm ²	46
Tableau 26: Récapitulatif des transfos à utiliser dans les différents postes sources de la région de Tahoua à l'horizon 2030	49
Tableau 27: Estimation financière	55
Tableau 28: Evaluation de l'importance des importances du projet (matrice de Fecteau).....	58
Tableau 29: Récapitulatif des impacts phase préparation/construction	58
Tableau 30: Récapitulatif des impacts phase exploitations	59

Liste des figures

Figure 1: Localisation de la région de Tahoua sur la carte administrative du Niger	5
Figure 2: Schéma simplifié d'un réseau électrique	7
Figure 3: Poste source	10
Figure 4: Postes à un disjoncteur par départ [3]	11
Figure 5: Poste à deux disjoncteurs par départ [3].....	12
Figure 6: Les postes en boucle [3]	12
Figure 7: Schéma synoptique du réseau HT de la région de Tahoua année 2021	18
Figure 8: Tendances énergétiques de la région de Tahoua période 2015-2020.....	23
Figure 9: Evolution de la demande énergétique de la région de Tahoua sur la période 2021-2030.....	25
Figure 10: Diagramme visualisant le taux de charges de postes sources période 2020	32
Figure 11: Configuration du poste source Malbaza période 2030	51
Figure 12: Configuration du poste source Illela période 2030	52
Figure 13: Configuration du poste site Tahoua période 2030.....	53
Figure 14: Configuration du poste site Malbaza.....	54

Introduction générale :

Aujourd'hui, l'énergie électrique est utilisée dans tous les pays pour faire fonctionner des secteurs vitaux comme l'industrie, les moyens de communication et les appareils dont se servent les hommes. L'énergie est nécessaire dans toutes les activités humaines et est indispensable à la satisfaction des besoins sociaux de base (eau, nourriture, santé etc.), mais aussi pour assurer un minimum de développement économique. La croissance démographique dans les grandes villes, l'urbanisation, l'utilisation excessive d'énergie électrique dans les secteurs industriels sont tous des facteurs importants induisant l'augmentation de la demande en énergie électrique.

Ainsi la demande en énergie électrique de la région de Tahoua a connu une augmentation très importante ces dernières années. Elle atteint 12,067 MW en 2015 et 22,892 MW en 2020. Cette augmentation entraîne la saturation des postes sources HT qui sont les nœuds du réseau de distribution de la région de Tahoua et les lignes de liaisons. La société nigérienne d'électricité « **NIGELEC** » qui est chargée de la production et de la distribution d'électricité, a pour objectif d'assurer le bon fonctionnement du réseau qu'elle contrôle tout en assurant une bonne qualité et une continuité de service. C'est pourquoi la NIGELEC depuis les 10 dernières années, n'a cessé d'investir pour le développement de ses infrastructures avec l'appui des partenaires au développement.

L'idée du renforcement des postes sources existants sur le réseau de distribution de Tahoua, est l'une des solutions proposées par la **Direction régionale de la NIGELEC** de Tahoua pour une meilleure satisfaction des besoins énergétiques des consommateurs.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre mémoire de fin d'études qui porte sur « **Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua (Niger)** ».

Pour mener à bien cette étude, le présent document sera subdivisé en cinq (05) grands chapitres suivi d'une conclusion générale et des recommandations.

- Le premier chapitre porte sur la présentation de la structure d'accueil et du projet ;
- Le deuxième chapitre parlera de la généralité sur les postes électriques ;
- Le troisième chapitre est consacré sur l'état des lieux du réseau électrique HT et prévision de la demande de la région de Tahoua ;

- Le quatrième chapitre va se baser sur l'analyse et renforcement de capacité de productions et l'estimation financière du projet ;
- Le cinquième chapitre traite de la notice d'impact environnemental et social ;
- Conclusion.

Chapitre 1 : Présentations de la structure d'accueil et du projet

1.1 Présentation de l'entreprise

La Société nigérienne d'électricité (NIGELEC) est le principal distributeur d'électricité au Niger. Elle est une société anonyme d'économie mixte au capital social de 76.648.870.000 de francs CFA, exerçant la mission de service public de l'énergie électrique sous le régime de la concession avec pour objet la réalisation de toutes entreprises ou opérations de production, d'achat, d'importation, de transport et de distribution d'énergie électrique. [1]

1.1.1 Historique

La Société Nigérienne d'Electricité « NIGELEC » a été constituée le 07 septembre 1968. Son capital s'élève à soixante-seize-milliard-six-cent-quarante-huit-million-huit-cent-soixante-dix-mille (76 648 870 000) francs CFA. Son siège social est situé à Niamey, quartier plateau, N°201, Avenue du Général de Gaulle (PL 30).

La fourniture de l'énergie électrique remonte à 1952 avec la première convention accordant la gestion du service de l'électricité de Niamey à la société coloniale « Energie AOF » et qui avait notamment pour objet la production et la distribution de l'énergie électrique en Afrique Occidentale Française. Energie AOF s'est par la suite transformée en SAFELEC (Société Africaine d'Electricité), en raison de l'accession à l'indépendance de plusieurs pays africains, notamment le Niger.

Le 07 septembre 1968, la SAFELEC est transformée en une société anonyme sous la dénomination de « Société Nigérienne d'Electricité » (NIGELEC) dont les capitaux sont détenus majoritairement par l'Etat. La distribution de l'électricité dans les autres villes fut confiée progressivement à NIGELEC à partir de 1971, d'abord en gérance, puis sous forme de concession à partir de 1973.

La Société Nigérienne d'Electricité (NIGELEC) a toujours exercé ses activités sous le régime de concession avec le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique. La Société Nigérienne de Charbon d'Anou Araren (SONICHAR), créée en 1978 pour exploiter le gisement de charbon d'Anou Araren s'est vu accorder la production de l'électricité par dérogation au monopole détenu par NIGELEC. Depuis 1988, NIGELEC loue la ligne 132 kV Anou Araren-Arlit à SONICHAR qui vend l'énergie électrique aux sociétés

minières tout en gardant le monopole de la distribution dans les villes d'Agadez, d'Arlit et de Tchirozérine. [1]

1.1.2 Activités

La NIGELEC assure la production, le transport et la distribution de l'électricité sur le territoire du Niger. Selon l'INS Niger, en 2008, l'origine de l'électricité distribuée par NIGELEC, soit 555,6 GWh est :

- Importation du Nigéria : 492,7 GWh (89 %),
- Production par NIGELEC : 39,5 GWh (7 %),
- Production par la SONICHAR : 23,4 GWh (4 %).

Actuellement dans la ville de Niamey la disponibilité en puissance est répartie comme suit : environ 80MW (vu de Niamey II) fournis par le Nigéria, 80MW (extensible à 100) produits par la centrale de GOROU BANDA, 15MW (1.5MW*10 groupes) produits par la centrale de GOUDEL.

Plusieurs projets dans le domaine de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique sont en cours dont entre autres :

- La centrale à charbon de SALKADAMNA de 200MW (extensible à 600)
- Le barrage hydroélectrique de KANDAJI de 130MW
- La centrale solaire de 20MW de GOROU BANDA. [1]

1.1.3 Mission

La NIGELEC a pour missions sous un régime concessionnaire, de régir l'achat, la production, le transport et la distribution ainsi que l'importation et l'exportation de l'énergie électrique dans le strict respect de la **loi n°2003-004 du 31/01/03** portant code d'électricité. [1]

1.1.4 Cadre juridique et actionnariat

La **NIGELEC** est une société anonyme (SA) d'économie mixte. A sa création, elle avait un capital d'un milliard (**1.000.000.000**) de franc CFA. Ce capital avait connu plusieurs augmentations et s'élève aujourd'hui à soixante-seize milliards quatre cent quarante-huit millions huit cent soixante-dix milles (**76.648.870.000**) Francs CFA en 2018. [1]

1.1.5 Organisation et fonctionnement

L'importance du volume des activités a conduit les dirigeants de la NIGELEC à la recherche

d'une meilleure structuration administrative. Celle-ci est définie par les dispositions de la décision n° 001/AD du 1er février 2002 qui porte sur l'organisation de la société et ses attributions.

Pour répondre plus efficacement à sa mission de service public et aux exigences de sa clientèle, la structure de la NIGELEC est ainsi organisée. [1]

1.2 Présentation de la zone du projet (région de Tahoua)

La région de Tahoua au Niger couvre une superficie de **113 317 km²** soit 8,95% du territoire national avec une population estimée en 2017 à **3 983 172 habitants** dont 1 985 400 hommes et 1 997 772 femmes avec un taux d'accroissement de 4,7% (**Source RGP 2012 INS**). Elle est limitée au nord par la région d'Agadez, au nord-ouest par la République du Mali, à l'ouest par les régions de Tillabéry et Dosso, à l'est par la région de Maradi, et au sud par la République fédérale du Nigeria. La figure ci-dessous présente la localisation de cette région sur la carte administrative du Niger.

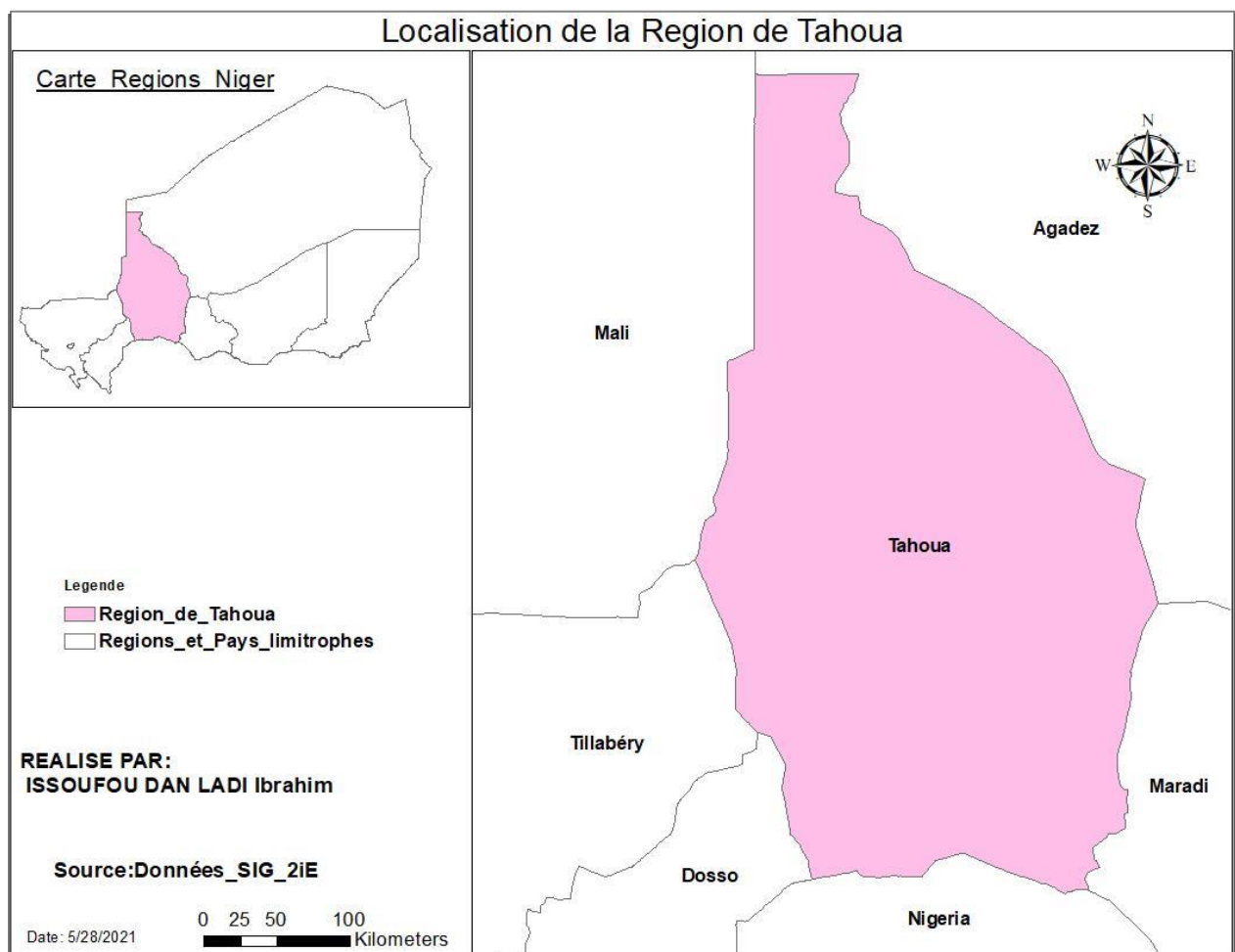


Figure 1: Localisation de la région de Tahoua sur la carte administrative du Niger

1.3 Organigramme de l'entreprise voir (Annexe 1)

1.4 Le contexte du projet

1.4.1 La justification du projet

La demande en électricité de la région de Tahoua a évolué au cours de ses dernières années. Les différents relevés d'énergie (**Annexe 2**) des années antérieures montrent que la société nigérienne d'électricité (NIGELEC) ne couvre pas toutes les demandes d'électricité de sa clientèle (car à l'année 2020 on a **12,288 MVA** comme charge au niveau du poste source Illela alors que la capacité de ce poste de ce poste est de **10 MVA**). Ainsi, avec le développement urbain, le réseau électrique HT de la région de Tahoua subit plusieurs extensions qui peuvent nuire à la qualité de l'énergie distribuée aux abonnés. De ce fait on tend vers une saturation du réseau et des postes sources.

La NIGELEC dans sa politique s'engage auprès de ses abonnés à garantir une qualité de service rendu en maintenant la bonne gestion de son réseau électrique et l'ensemble des postes sources. Ainsi pour répondre à la demande électrique liée au développement des villes de la région de Tahoua, la NIGELEC se trouve dans la nécessité de renforcer ses capacités de production. C'est dans cette optique qu'un projet de renforcement de postes sources et des lignes de liaisons a été initié en vue d'accroître le potentiel énergétique de la région.

1.4.2 Les objectifs du projet

1.4.2.1 Objectifs global

Le présent travail a pour objectif global de décharger et d'assurer le bon fonctionnement des postes sources et des lignes de liaisons du réseau électrique HT de la région de Tahoua afin de garantir une meilleure utilisation de l'énergie.

1.4.2.2 Objectifs spécifiques

Pour aboutir à l'objectif global il va falloir :

- Faire un état de lieu de tous les postes sources et les lignes de liaisons en vue de leurs renforcements ;
- Estimer la demande électrique réelle de la région de Tahoua (faire un bilan de puissance) ;
- Faire l'étude financière comportant un devis quantitatif et estimatif.

Chapitre 2 : Généralités sur les postes électriques

Notre objectif dans ce chapitre est de faire la présentation des réseaux électriques d'une manière générale, et particulièrement les postes de transformations HTB/HTA (les postes sources).

2.1 Réseau électrique

2.1.1 Définition

Le réseau électrique est l'ensemble des appareils destinés à faire transiter ou transporter l'énergie électrique des centres de production vers les centres de consommation. Il est organisé autour de trois segments principaux à savoir :

- Production,
- Transport,
- Distribution.

A chacune de ces étapes, les niveaux de tension sont différents. Le fonctionnement du réseau électrique ressemble à celui du réseau routier avec ses voies principales (lignes à très haute et haute tension), ses voies secondaires (lignes moyenne et basse tension) et ses échangeurs (postes électriques).

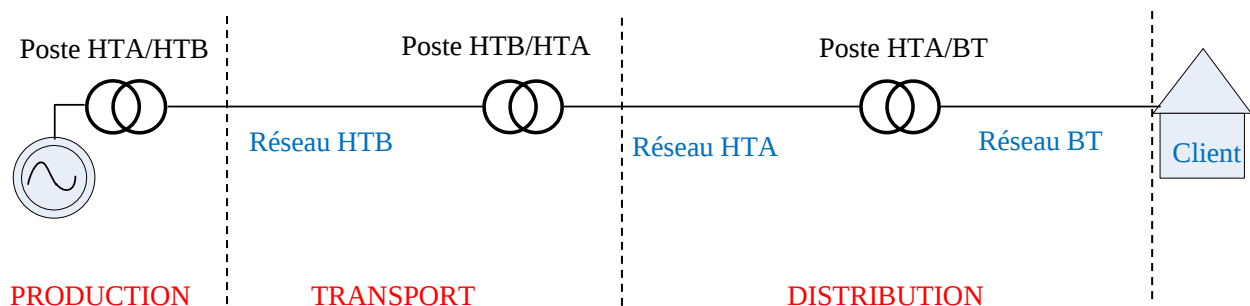


Figure 2: Schéma simplifié d'un réseau électrique

L'énergie électrique produite avant d'être utilisée par les consommateurs parcourt respectivement les réseaux HTB (supérieur à 50 kV), HTA (entre 1 kV et 50 kV) et BT (inférieur 1 kV) en passant par les postes de transformation. Ces postes sont des éléments clés du réseau électrique. Ils reçoivent l'énergie, la transforment (en passant d'un niveau de tension à un autre) et la répartissent (en assurant la jonction des différents réseaux électriques). Une fois sur le réseau de distribution, l'électricité Haute Tension HTA alimente directement les clients industriels. Pour les autres clients (domestiques, professionnels, éclairage public...), elle

est convertie en Basse Tension (BT) par des postes de distribution publique avant d'être livrée.

2.2 Postes électriques

2.2.1 Définition

Les postes électriques sont des éléments du réseau électrique (des nœuds) servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité. Ils reçoivent l'énergie électrique, la transforment et la répartissent en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriel).

Ces postes réalisent les actions suivantes :

- L'évacuation de l'énergie des sources de production vers le réseau,
- La liaison entre des réseaux de tensions différentes,
- Le raccordement d'un tiers au réseau d'électricité (aussi bien consommateur que producteur).

2.2.2 Les différents types de postes électriques

Il existe plusieurs types de postes électriques et les critères pour les différencier sont nombreux. Cependant, en suivant le fonctionnement et la répartition d'un réseau électrique, on distingue trois grandes catégories de postes électriques qui sont :

- Les postes d'évacuation ;
- Les postes sources ;
- Les postes de distribution.

Tableau 1: Différents types de postes électriques

Types de postes	Niveaux de tension	Position du poste	Rôle principal
Evacuation	HTA/HTB	Centrale de production	Elever la tension pour le transport
Source	HTB/HTA	Entre le réseau de transport et le réseau de distribution	Baisser la tension pour alimenter le réseau de distribution
Distribution	HTA/BT	Réseau de distribution	Baisser la tension pour alimenter les clients

Le tableau ci-dessus nous donne une vision (résumée) sur les différents postes électriques. Cependant, dans la suite du document nous nous intéressons particulièrement aux postes sources.

2.3 Postes sources

2.3.1 Définition

Le poste source constitue l'interface entre le réseau de transport HTB et le réseau de distribution HTA. D'une certaine façon, il peut être vu comme un nœud du réseau de transport sur lequel les différents départs HTA prennent leur source. Son rôle est de transformer la tension du niveau HTB vers le niveau HTA, depuis une ou plusieurs lignes HTB et par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs transformateurs HTB/HTA et d'alimenter ensuite des consommateurs ou des industriels à partir de plusieurs départ HTA. Sur le réseau nigérien, les postes sources sont alimentés en 66 kV pour la quasi-totalité et en 132 kV pour le reste. Ils desservent ensuite le réseau de distribution en 33 kV en 20 kV.



Figure 3: Poste source

2.3.2 Les différents éléments du poste source

Un poste source est constitué de plusieurs éléments qui participent à son bon fonctionnement.

Il s'agit principalement des [2].

- Jeux des barres HTB et HTA ;
- Transformateurs HTB/HTA ;
- Disjoncteurs ;
- Sectionneurs (ligne, barre, mise à la terre) ;
- Les cellules ;
- Auxiliaires (transformateur de courant, transformateur de tension...) ;
- Parafoudres ;
- Câbles des liaisons aériens et souterrains ;
- Equipements de surveillance et de commande à distance ;
- Batteries de condensateurs.

2.3.3 Les principaux schémas utilisés

Les postes répandus dans le monde peuvent être caractérisés par trois principes de conception [3]. Il s'agit des :

- Postes à un disjoncteur par départ ;

- Postes à plusieurs disjoncteurs par départ ;
- Postes en boucle.

2.3.3.1 Les postes à un disjoncteur par départ

Ils peuvent contenir un ou plusieurs jeux de barres. Le schéma simple à un jeu de barres présente de sérieux inconvénients lorsqu'il faut assurer la continuité du service en toutes circonstances. En effet, un incident sur le jeu de barres (ou l'entretien de celui-ci) entraîne la mise hors tension de tout le poste. Par contre, les schémas à jeux de barres multiples avec un disjoncteur par départ permettent d'assurer la continuité du service en cas d'indisponibilité de l'un d'eux et la marche en réseau séparé après séparation électrique des jeux de barres. Les postes à un disjoncteur par départ sont utilisés au Niger. La figure 3 nous donne une illustration des postes à un disjoncteur par départ.

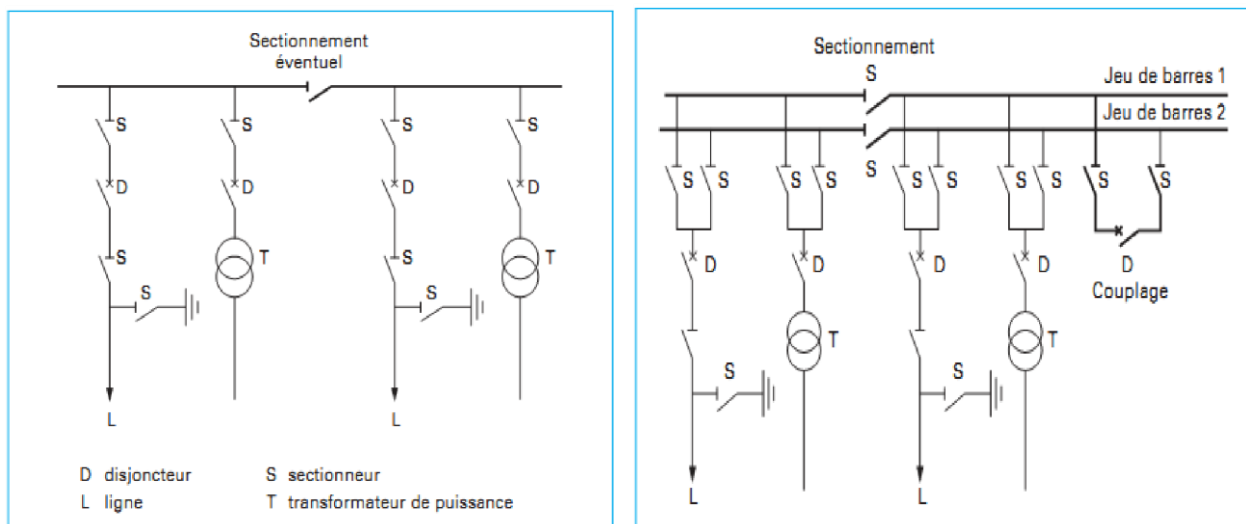


Figure 4: Postes à un disjoncteur par départ [3]

2.3.3.2 Les postes à plusieurs disjoncteurs par départ

Ils permettent, en cas de défaut sur un jeu de barres, de déconnecter les cellules raccordées à ce jeu de barres et de conserver l'alimentation par l'autre jeu de barres sans interruption de service.

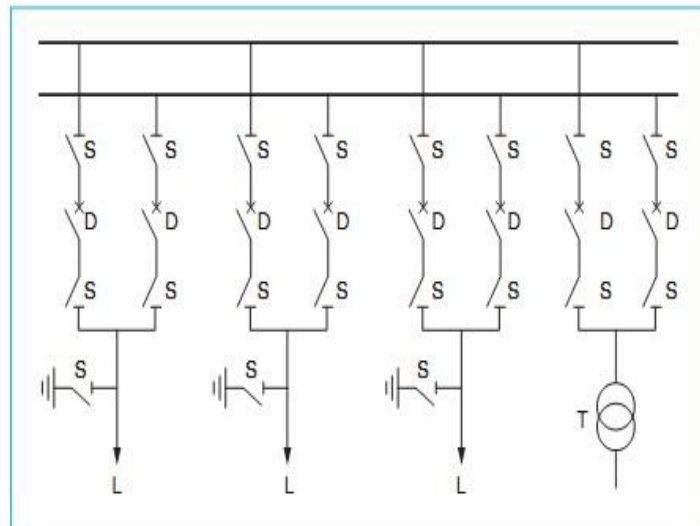


Figure 5: Poste à deux disjoncteurs par départ [3]

2.3.3.3 Les postes en boucle

Les postes en boucle comportent des disjoncteurs placés en série sur un ou plusieurs jeux de barres bouclés. L'élimination d'un défaut sur un départ exige l'ouverture de deux disjoncteurs et scinderait alors le poste en deux parties. Ce schéma est utilisé notamment en Amérique du Nord pour les ouvrages comprenant un nombre limité de cellules.

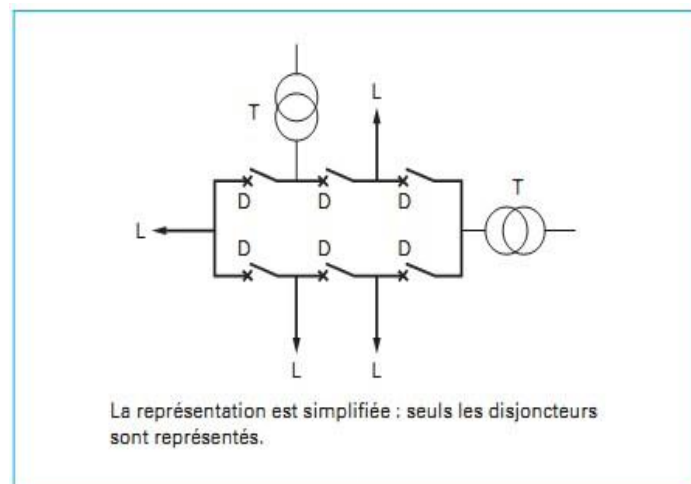


Figure 6: Les postes en boucle [3]

2.3.4 Technologie des postes sources

Il existe deux principales technologies pour les postes haute tension à savoir : les postes isolés à l'air (**AIS : Air Insulated Switchgear**) et les postes blindés (**GIS : Gaz Insulated**)

Switchgear).

2.3.4.1 Postes à isolation dans l'air (AIS)

Les postes à isolation dans l'air sont également appelés postes conventionnels ou AIS (Air Insulated Switchgear). On parle parfois de postes ouverts. L'isolement diélectrique est assuré par l'air à la pression atmosphérique. Dans ces conditions, on a défini des distances d'isolement et de sécurité à partir desquelles ont été obtenues les dimensions géométriques des installations.

2.3.4.2 Postes à isolation dans le gaz (GIS)

Les postes à isolation gazeuse ou GIS (Gas Insulated Switchgear) sont sous enveloppe métallique, on parle parfois de postes blindés.

Afin de réduire l'encombrement des postes, on a remplacé l'air à la pression normale par un gaz lourd, inodore, incolore, stable et ininflammable, l'hexafluorure de soufre (SF₆). Ce gaz comprimé à 3.5 bars est obtenu dans des enveloppes en aluminium étanches et reliées à la terre. Le poste blindé ou GIS se présente donc comme un assemblage de caissons remplis de SF₆ et contenant, non seulement les conducteurs, mais aussi les appareils à haute tension. Pour des raisons de sécurité, ces caissons sont divisés en compartiments étanches et surveillés individuellement. [4].

2.3.5 Les fonctions des postes

Les postes des réseaux électriques peuvent avoir deux fonctions :

- L'interconnexion entre les lignes de même niveau de tension : Ces postes permettent de repartir l'énergie sur les différentes lignes issues du poste selon leurs capacités de transit et les besoins des consommateurs (aiguillage d'électricité).
- La transformation de l'énergie : La tension apportée par le réseau est modifiée par un ou plusieurs transformateurs qui sont abrités dans un poste de transformation.

De plus, les postes électriques assurent des fonctions stratégiques :

- Assurer la protection du réseau : Un système complexe de protection permet qu'un défaut sur un seul ouvrage n'entraîne pas la mise hors tension de nombreux ouvrages, ce qui risquerait de mettre une vaste zone hors tension.
- Permettre l'exploitation normale du réseau : La présence de plusieurs jeux de barres et de couplage afin de pouvoir prendre différents schémas électriques. - Assurer la

surveillance du réseau : La tension du réseau et l'intensité du courant dans les lignes sont surveillées dans les postes électriques, par des transformateurs de mesure de courant et de tension.

Conclusion partielle :

Afin de renforcer les différents postes sources du réseau électrique HT de la région de Tahoua. Le chapitre 2 nous a permis de connaître à l'avance comment fonction le réseau électrique dans son ensemble et plus précisément les postes sources qui font l'objet de notre étude.

Chapitre 3 : Etat des lieux du réseau électrique HT et prévision de la demande de la région de Tahoua

3.1 Etat des lieux du réseau électrique HT de la région de Tahoua

L'état des lieux nous permet d'avoir une idée précise sur la capacité de production des postes sources existant et le fonctionnement de l'installation actuelle, afin d'apporter une solution convenable.

3.1.1 Présentation générale du réseau électrique haute tension de la région de Tahoua

Le réseau électrique de la région de Tahoua est constitué de deux grands sites et deux grands postes répartis comme suit :

- Site de Tahoua : composé des groupes Diesel et des transformateurs de puissance,
- Site de Malbaza : composé des groupes Diesel et des transformateurs de puissance,
- Poste de Illela : composé que de transformateur de puissance,
- Et le poste de Malbaza : composé que de transformateur de puissance.

Le réseau électrique HTB/HTA qui alimente la région de Tahoua en énergie électrique prend sa source à Maradi « **poste de Takalmawa** ». Depuis le poste **132 kV** de Maradi un câble almélec de structure simple terne et d'une section de $3 \times 326,1 \text{ mm}^2$ est raccordé afin d'assurer le transport d'énergie jusqu'à la région de Tahoua « **Poste de Malbaza** » où l'énergie est directement acheminée vers : le « **site de Malbaza** » et le « **poste de Illela** » qui a son tour alimente en énergie électrique le « **site de Tahoua** ».

3.1.2 Les lignes électriques HT existantes

Le réseau électrique HT de la région de Tahoua est composé des lignes électriques HT qui sont toutes de type aérienne et de structure simple terne. Les conducteurs utilisés sont de nature et de sections différentes. Les caractéristiques de ces lignes sont listées dans le tableau 2.

Tableau 2: Caractéristiques des lignes du réseau électrique de la région Tahoua

Tronçon	Tension (kV)	Longueur (km)	Structure	Conducteur
Takalmawa-Poste-Malbaza	132	200	double terne, mais un terne équipé	ACSR BEAR 326,1 mm ²
Poste-Malbaza-site-Malbaza	66	3	Simple terne	AACSR 147 mm ²
Poste-Malbaza-poste-Illela	66	67	Simple terne	Pastel 181,6 mm ²
Poste-Illela-Site-Tahoua	33	30,52	Simple terne	AAC Aster 117 mm ²

3.1.3 Les transformateurs existants sur le réseau électrique de Tahoua

Le réseau HT de de la région de Tahoua présente de divers types des transformateurs dont leurs caractéristiques électriques sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: Caractéristiques électriques des transformateurs utilisés sur le réseau HT de Tahoua

Postes	Valeurs nominales			UCC (%)
	Sn (MVA)	U1n (kV)	U2n (kV)	
Poste-Malbaza	50	132	66	11,16
Poste-Illela	10	66	33	7,99
Site-Tahoua	9,45	33	20	
Site-Malbaza	10	66	20	7,99

3.1.4 Les bancs de compensations existants sur le réseau HT de Tahoua

Les différents compensateurs qui figurent sur le réseau électrique HT de la région de Tahoua, sont illustrées dans le tableau 4 :

Tableau 4: Caractéristiques des compensateurs sur le réseau électrique de Tahoua

Postes	Nom des équipements	Jeu de barres	Un (kV)	Qn (MVar)
Poste-Malbaza	CondoMalb-1	Malb-1	66	0,9
	CondoMalb-2	Malb-1	66	0,9
	CondoMalb-3	Malb-1	66	4
Site-Malbaza	CondoMalb-1-1	Malb-2	20	0,9
	CondoMalb-2-2	Malb-2	20	0,9
	CondoMalb-3-3	Malb-2	20	4
Poste-Illela	Condo-PI-1	JDBI	33	0,9
	Condo-PI-2	JDBI	33	0,9
	Condo-PI-3	JDBI	33	4
Site-Tahoua	Condo-Ta-1	JD-Tahoua	20	2
	Condo-Ta-2	JD-Tahoua	20	2
	Condo-Ta-3	JD-Tahoua	20	Non en service

3.1.5 Les postes sources de la région de Tahoua

L'alimentation de la région de Tahoua en électricité est assurée par quatre postes sources raccordés aux réseaux de distribution (20 kV) et/ou de transport (132 kV, 66 kV) :

- **Poste-de-Malbaza,**
- **Site-de-Malbaza,**
- **Poste-de-Illela,**
- **Site-de-Tahoua.**

Ci-dessous le schéma synoptique du réseau haute tension (HT) de la région de Tahoua.

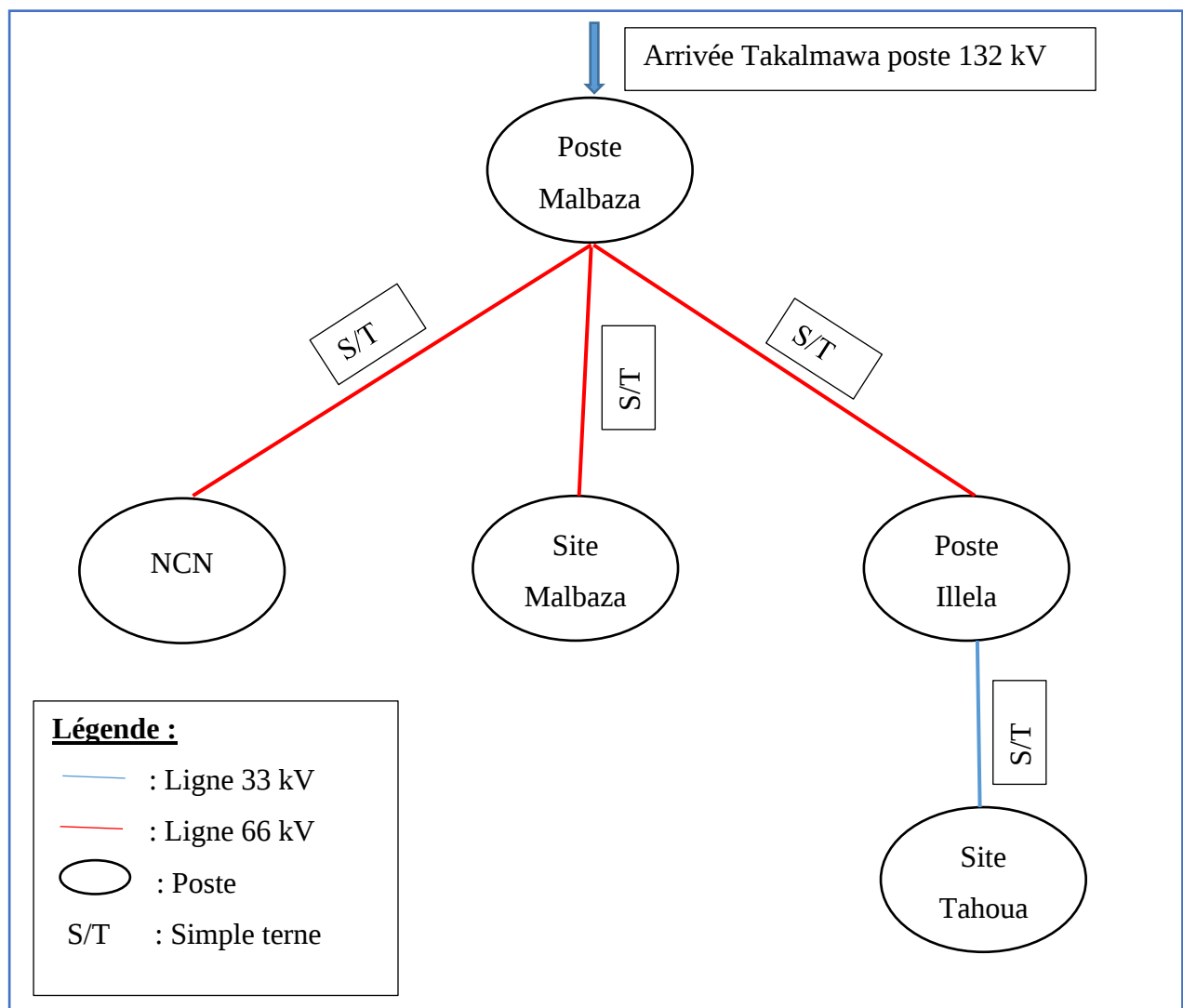


Figure 7: Schéma synoptique du réseau HT de la région de Tahoua année 2021

3.1.6 Situation actuelle des différents postes sources

Présentement, l'électricité de la région de Tahoua provient entièrement : des importations du Nigéria et de la production locale. L'injection de l'arrivée Nigéria se fait au niveau du **Poste-Malbaza**. Quant à la production locale, la région dispose de deux sites qui sont : **Site-de-Tahoua et Site-de-Malbaza**.

Le tableau 5 nous donne un aperçu sur les moyens d'approvisionnements en énergie électrique existants de la région de Tahoua.

Tableau 5: Situation actuelle du parc de production et importation de la région de Tahoua

Centrale		Sn installée (MVA)	P. disponible (MW)
Site-de-Tahoua		10	4,65
Site-de-Malbaza		9.86	6
Total production locale		19,86	10,65
Arrivée Nigéria		50	47,5
Total		69,86	58,15
Pourcentage	Production locale	28,43	18,31
	Arrivée Nigéria	71,57	81,69
Total		100	100

Conclusion partielle :

- Suite aux résultats du tableau 5, nous remarquons que l'alimentation en énergie électrique de la région de Tahoua est assurée à **81,69%** par le Nigéria,
- Suite à l'état des lieux du réseau électrique HT de la région de Tahoua nous avons mis à la disposition de la NIGELEC les données énergétiques annuelles de 6 dernières années de 2015 à 2020.

3.2 Estimation de la demande électrique de la région de Tahoua

Cette partie va se baser uniquement sur l'estimation du besoin énergétique de la région de Tahoua à l'année 2020 mais aussi de faire la prévision de la demande pour l'année 2030.

3.2.1 Bilan de la demande électrique de la région de Tahoua

3.2.2 Procédure

Pour étudier les différents postes sources, il est nécessaire pour nous d'estimer la demande électrique totale sur les années de la période d'étude (2020-2030). Car c'est cette étape qui permet de déterminer l'évolution de la charge, qui va prédisposer de l'apparition ou non de contraintes sur les postes sources. Pour cela, nous allons d'abord faire une étude de la demande électrique sur l'ensemble du réseau HTA de la région de Tahoua de façon globale et ensuite par poste source. A partir des données historiques de cette demande, nous déterminons le taux de croissance moyen annuel qui est lui-même déduit en connaissant les différents taux de

croissance annuels des années antérieures. Puis nous donnons une estimation de la demande sur la période d'étude. A l'issue de cette étude nous déduisons le ou les poste(s) source(s) à renforcer.

Pour rappel, c'est le **poste source de Malbaza** qui dessert toute la région de Tahoua en énergie électrique. Ainsi, le bilan de la demande électrique total de la région de Tahoua correspond donc à la puissance totale de ce **poste**. Pour la prévision de charge des postes sources, la procédure est la suivante : La pointe de charge projetée du poste source est obtenue en multipliant la pointe de la région de Tahoua par la contribution à la pointe du poste. Ci-dessous les formules utilisées à cet effet :

➤ **Détermination du taux de croissance moyen annuel de la puissance de pointe demandée par la région.**

Le taux de croissance annuel de puissance est donné par la formule suivante :

$$\tau_{moy} = 100 * \left(\frac{\sum_{2020}^{2015} \tau_j}{n} \right) \quad [6]. \quad (3.1)$$

Avec :

n : Nombre d'années ;

τ_j : croissance annuelle de la puissance de pointe en année j ;

τ_{moy} : Taux de croissance annuel moyen de la puissance de pointe.

La croissance annuelle de pointe en année j s'obtient par la formule suivante :

$$\tau_j = \frac{P_{ta}(j) - P_{ta}(j-1)}{P_{ta}(j-1)} \quad [6]. \quad (3.2)$$

Avec :

$P_{ta}(j)$: puissance maximale (région Tahoua) en année j ;

$P_{ta}(j-1)$: puissance maximale (région Tahoua) en année j-1.

➤ **Détermination de la puissance de pointe demandée par la région de Tahoua à l'horizon 2030**

La puissance de pointe en année j+1 connaissant celle de l'année j et le taux de croissance

annuel est donnée par la formule suivante :

$$P_{ta}(j+1) = P_{ta}(j) * (1 + \tau moy) \quad (3.3)$$

Avec :

$P_{ta}(j+1)$: puissance de pointe (Tahoua) en année $j+1$;

$P_{ta}(j)$: puissance de pointe (Tahoua) en année j (année de référence).

Par itération on obtient la formule suivante :

$$P_{ta}(j+n) = P_{ta}(j) * (1 + \tau moy)^n \quad (3.4)$$

Contribution à la pointe des postes sources :

$$\text{Contribution (poste)} = \frac{\text{pointe du poste à l'année de référence}}{\text{pointe totale de la région à l'année de référence}} \quad (3.5)$$

Remarque : dans la suite de document, nous utiliserons les formules citées précédemment afin d'estimer le besoin énergétique de la région de Tahoua à l'horizon 2030.

3.2.3 Résultats de calculs

Nous effectuerons nos différents calculs avec les pointes annuelles maximales enregistrées de la période 2015 à la période 2020. **(Référence tableau Excel NIGELEC).**

Tableau 6: Récapitulatif de la puissance électrique de la région de Tahoua période 2015-2020

Libellé	Années de 2015 à 2020					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pointe annuelle départ site Malbaza (kW)	4748	5050	5749	6122	6373	6708
Pointe annuelle départ poste Illela (kW)	7319	8039	8929	9723	10271	11674
Total pointe annuelle sans NCN (kW)	12067	13089	14678	15845	16644	18382
Pointe annuelle départ cimenterie (kW)				1982	4500	4510
Total des pointes annuelles en (kW)	12067	13089	14678	17827	21144	22892

Remarque :

- Pour nos calculs nous ne considérerons pas le départ cimenterie qui est une charge fixe, donc qui n'est pas appelée à évoluer dans le temps. Ainsi pour avoir la demande électrique réelle de la région de Tahoua à la période d'étude, nous ajouterons la charge de la cimenterie à la fin de nos calculs.
- La différence de la charge de la nouvelle cimenterie (**NCN**) de **2018 à 2020** s'explique par le fait qu'en **2018** une partie de la charge est alimentée par les groupes électrogènes du **site-Malbaza** et une autre partie est alimentée par le transformateur **50 MVA** du **poste source-Malbaza**.

Tableau 7: Récapitulatif de la puissance électrique de la région de Tahoua période 2015-2020 sans le départ cimenterie.

Libellé	Années de 2015 à 2020					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pointe annuelle départ site Malbaza (kW)	4748	5050	5749	6122	6373	6708
Pointe annuelle départ poste Illela (kW)	7319	8039	8929	9723	10271	11674
Total pointe annuelle sans NCN (kW)	12067	13089	14678	15845	16644	18382

Avec le tableau 7, nous calculons le taux de croissance moyen annuel de la puissance de pointe demandée par la ville de Tahoua.

L'utilisation de la formule (3.1) et (3.2) nous donne les résultats consignés dans le tableau 8.

Tableau 8: Taux de croissance annuel de la puissance de pointe demandée par la région [7].

Années	Pointe en (kW)	TCA (%)	TCMA (%)
2015	12 067		8,81
2016	13 089	8,47	
2017	14 678	12,13	
2018	15 845	7,95	
2019	16 644	5,04	
2020	18 382	10,44	

D'après le tableau ci-dessus, le taux de croissance moyen annuel de la puissance de pointe est de **8,81%**. La figure ci-dessous nous permet de visualiser cette évolution.

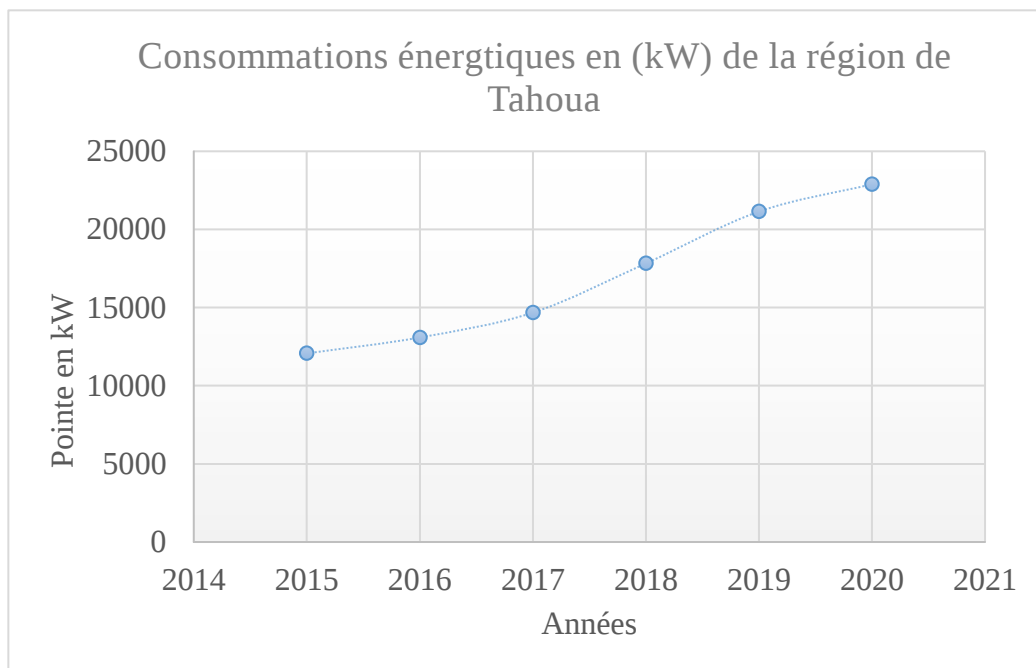


Figure 8: Tendence énergétique de la région de Tahoua période 2015-2020

D'après l'analyse de la figure 8, nous remarquons que la puissance maximale mesurée est en constante évolution de 2015 à 2020.

Estimation de la puissance de pointe demandée par la région de Tahoua de la période 2021 à la période 2030 avec un **TCMA de 8,81%**.

L'application de la relation **(3.4)** nous donne les résultats consignés dans le tableau 9 :

Tableau 9: Prévion de la demande énergétique de la ville de Tahoua période 2020-2030.

Années	N(nombre d'années)	TCMA (%)	Pointe en (kW) sans la NCN	Pointe en (kW) avec la NCN
2020		8,81	18 382	22 892
2021	1		20 001	24 511
2022	2		21 764	26 274
2023	3		23 681	28 191
2024	4		25 767	30 277
2025	5		28 037	32 547
2026	6		30 507	35 017
2027	7		33 195	37 705
2028	8		36 120	40 630
2029	9		39 302	43 812
2030	10		42 764	47 274

D'après l'analyse du tableau 9, on remarque que la prévision de la demande de la ville de Tahoua à l'horizon **2030** en ajoutant la charge fixe de la cimenterie est de **47 274 kW** soit **47,3 MW**. La figure 9 nous permet de visualiser cette évolution.

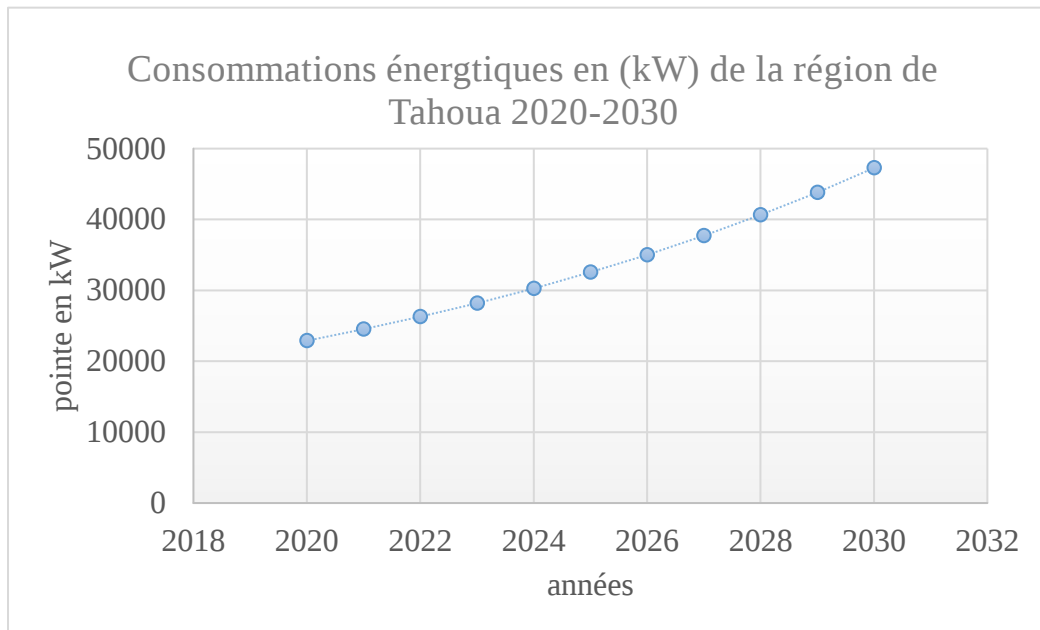


Figure 9: Evolution de la demande énergétique de la région de Tahoua sur la période 2021-2030

Prévision de la puissance de pointe demandée au niveau des différents postes sources.

Demande des différents départs au niveau des postes sources à l'année 2020.

Tableau 10: Demande au niveau des postes sources à l'année 2020

Postes	Départs	Pointe en kW Année 2020	Pourcentage (%)
Poste-Malbaza	Ncn-20	4 510	
	SMalb-66	6 708	36,49
	Illela-66	11 674	63,51
Total pointe		18 382	100
Poste-Illela	Pertes en ligne	547	4,69
	Tah-33	8 039	68,86
	Vil-33	1 075	9,21
	Kei-33	1 442	12,35
	Bade-33	571	4,89
Total pointe		11 674	100
Site-Tahoua	Pertes en ligne	884	11
	Aba-33	869	10,81
	Tav-20	6 286	78,19
Total pointe		8 039	100
Site-Malbaza	Pertes en ligne	280	4,17
	Kon-33	3 910	58,29
	VMalb-33	374	5,58
	Mad-33	2 144	31,96
Total pointe		6 708	100

Le tableau 10, nous permettra de faire la répartition des charges pour l'ensemble de nos postes.

➤ Répartition des charges par poste sur la période d'étude.

Le tableau suivant, nous donne les répartitions des charges de tous les postes de la région de Tahoua à la période d'étude.

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

Tableau 11: Prévision de la puissance de pointe demandée au niveau des différents postes sources sur la période d'étude [8].

Années			2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pointe région de Tahoua en (kW)			18 382	20 001	21 764	23 681	25 767	28 037	30 507	33 195	36 120	39 302	42 764
Désignations	JDB	Pointe (%)											
Poste-Malbaza	NCN-20		4 510	4 510	4 510	4 510	4 510	4 510	4 510	4 510	4 510	4 510	4 510
	SMalb-66	36,49	6 708	7 298	7 942	8 641	9 402	10 231	11 132	12 113	13 180	14 341	15 605
	Illela-66	63,51	11 674	12 703	13 822	15 040	16 365	17 806	19 375	21 082	22 940	24 961	27 159
	Total	100	22 892	24 511	26 274	28 191	30 227	32 547	35 017	37 705	40 630	43 812	47 274
Années			2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pointe poste de Illela en (kW)			11 674	12 703	13 822	15 040	16 365	17 806	19 375	21 082	22 940	24 961	27 159
Désignations	JDB	Pointe (%)											

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

Poste-Illela	Pertes	4,69	547	596	648	705	768	835	909	989	1 076	1 170	1 274
	Tah-33	68,86	8 039	8 747	9 518	10 357	11 269	12 261	13 342	14 517	15 796	17 188	18 702
	Vil-33	9,21	1 075	1 170	1 273	1 385	1 507	1 640	1 784	1 942	2 113	2 299	2 501
	Kei-33	12,35	1 442	1 569	1 707	1 857	2 021	2 199	2 393	2 603	2 833	3 083	3 354
	Bade-33	4,89	571	621	676	736	800	871	947	1 031	1 122	1 221	1 328
	Total SP	95,31	11 127	12 107	13 174	14 335	15 597	16 971	18 466	20 093	21 864	23 791	25 885
Années			2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pointe site de Tahoua en (kW)			8 039	8 747	9 518	10 357	11 269	12 261	13 342	14 517	15 796	17 188	18 702
Désignations	JDB	Pointe (%)											
	Pertes	11	884	962	1 047	1 139	1 240	1 349	1 468	1 597	1 737	1 891	2 057
	Aba-33	10,81	869	946	1 029	1 120	1 218	1 325	1 442	1 569	1 708	1 858	2 022

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

Site-Tahoua	Tav-20	78,19	6 286	6 839	7 442	8 098	8 811	9 587	10 432	11 351	12 351	13 439	14 623
	Total SP	78,19	6 286	6 839	7 442	8 098	8 811	9 587	10 432	11 351	12 351	13 439	14 623
Années			2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Pointe site de Tahoua en (kW)			6 708	7 298	7 942	8 641	9 402	10 231	11 132	12 113	13 180	14 341	15 605
Désignations	JDB	Pointe (%)											
Site-Malbaza	Pertes	4,17	280	304	331	360	392	427	464	505	550	598	651
	Kon-33	58,29	3 910	4 254	4 629	5 037	5 480	5 964	6 489	7 061	7 683	8 359	9 096
	VMalb-33	5,58	374	407	443	482	525	571	621	676	735	800	871
	Mad-33	31,96	2 144	2 333	2 539	2 762	3 005	3 269	3 558	3 871	4 212	4 584	4 987
	Total SP	95,83	6 428	6 994	7 611	8 281	9 010	9 804	10 668	11 608	12 630	13 743	14 954

Chapitre 4 : analyse et renforcement de capacité de productions

Il s'agira pour nous de faire une analyse afin d'identifier les différents postes sources et lignes de liaisons à renforcer.

4.1 Analyse et identifications des postes à renforcer

➤ Procédure :

D'après la prévision de la demande à l'horizon 2030 (**chapitre 4**), nous rappelons que le besoin énergétique de la région de Tahoua a été estimé à **47,3 MW**. Pour répondre à cette demande nous allons procéder comme suit :

- Dans un premier temps nous allons faire une étude comparative entre la capacité de notre parc actuelle et la demande de la charge à l'année 2030 ;
- Dans un deuxième temps nous allons identifier le ou les poste(s) source(s) à renforcer à l'issue de l'étude comparative.
- Enfin faire une proposition judicieuse de renforcement de nos postes sources à savoir : les transformateurs, et les lignes de transit.

➤ Etude comparative entre la situation actuelle de nos parcs et la situation à l'horizon 2030

Pour faciliter la comparaison nous allons ramener les valeurs de nos charges précédemment définies en **kW en MVA**. Pour se faire nous considérerons un facteur de puissance de la valeur moyenne **0,95** pour nos calculs (**source : données des quatre postes sources de Tahoua**).

La puissance apparente en MVA est déterminée par la formule suivante :

$$S = \frac{p}{\cos\varphi} \quad (4.1)$$

Avec :

S : la puissance apparente en MVA ;

P : la puissance active en MW ;

Cos φ : facteur de puissance pris en moyenne est égale à 0,95.

Pour une meilleure analyse, nous commencerons avec la capacité de nos parcs de productions et la demande électrique annuelle à l'année 2020. Le tableau 12 nous donne un résumé de la

situation à l'année 2020.

Tableau 12: Situation énergétique à la période 2020

Désignations	Capacité transformateurs en MVA (2020)	Charges en MVA (2020)	Commentaires
Poste-Malbaza	50	24,096	Non
Poste-Illela	10	12,288	Oui
Site-Tahoua	9,45	6,616	Non
Site-Malbaza	10	6,429	Non

Observation : l'analyse du tableau 12, nous montre qu'à l'année 2020 le poste source de Ilela est déjà saturé car il ne couvre pas totalement la demande électrique de ses abonnés.

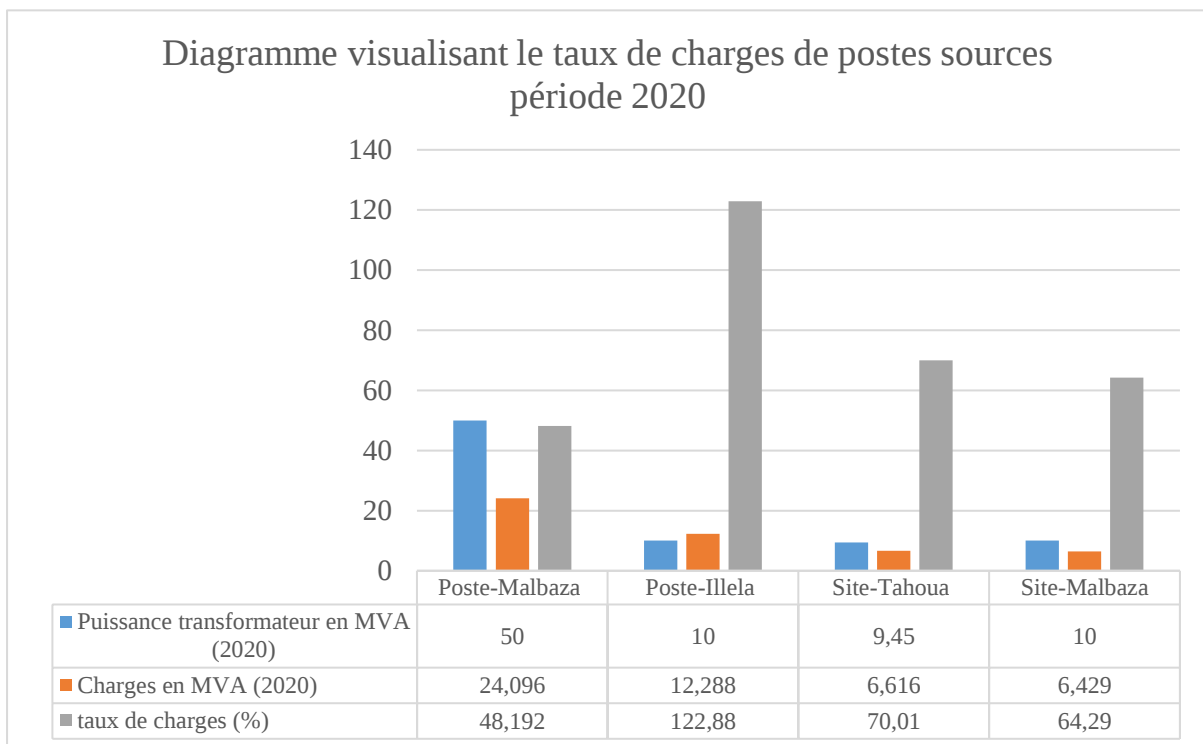


Figure 10: Diagramme visualisant le taux de charges de postes sources période 2020

Observation : d'après la figure 10, on constate que :

- La marge d'erreur au niveau du poste source Ilela est de **18,62%** ;
- Le poste source Ilela couvre la demande de ses abonnés à **81,38%** ;
- Le poste source de Ilela est déjà saturé à l'année 2020 car il est surchargé à **122,88%** ;

A partir de cette analyse il apparaît clairement que ce poste ne pourra plus tenir dans les années à venir, il nécessite donc un renforcement de ses capacités de production à cette période.

Identifications des postes à renforcés à la période 2030.

Le tableau 13 nous donne une étude comparative entre la capacité des postes à la période 2020 et la prévision de la demande à l'année 2030.

Tableau 13: Comparaison de la demande en puissance période 2020 et période 2030

Désignations	Capacité transformateurs en (MVA) 2020	Charge en 2030 (MVA)	Commentaires
Poste-Malbaza	50	49,7 62	Non
Poste-Illela	10	27,247	Oui
Site-Tahoua	9,45	15,392	Oui
Site-Malbaza	10	15,741	Oui

D'après le tableau 13, nous remarquons que tous nos postes sources nécessitent un renforcement de capacité de production excepté le poste de Malbaza.

4.1.1 Procédure de renforcements de postes sources

La procédure de renforcement doit se faire en tenant compte d'un certain nombre de paramètre pour assurer la survie des postes mais aussi d'assurer la sécurité des exploitants.

Il s'agira pour nous de :

- Faire une proposition de la puissance à installer pour chaque poste source ;
- Dire les nombres de transformateurs qu'il faut installer au niveau de chaque poste source ;
- Donner la configuration de chaque poste source.

4.1.2 Proposition de la puissance à installer pour chaque poste source

Faire une proposition de la puissance à installer revient pour nous de dire le nombre des transformateurs qu'il faut installer au niveau de chaque postes sources, pour satisfaire la demande à l'horizon 2030.

Ci-dessous les différentes propositions :

➤ Poste source de Illela :

Le poste source de Illela est présentement alimenté par un seul transformateur de puissance d'une capacité de l'ordre de **10 MVA**. Il est le poste le plus sensible car il dessert la zone prioritaire de la région. Nous rappelons que la demande électrique au niveau du poste source Illela sera de **25 885 MW à l'année 2030** soit **27,247 MVA**.

Notre but c'est de parvenir à faire un choix judicieux des transformateurs qu'on va installer pour répondre à la demande électrique de ses différents abonnés.

Pour une puissance de 27,247 MVA à satisfaire il nous faut au moins un transformateur de 30 MVA ou deux transformateurs de 15 MVA chacun ou trois transformateurs de 10 MVA chacun.

Pour des raisons technico-économiques et en tenant compte de l'espace disponible sur le site nous porterons nos choix sur deux transformateurs de 15 MVA chacun. En vue de faciliter la gestion, la maintenance et l'exploitation, nos deux transformateurs seront choisis en fonction des différentes spécifications techniques. Ils auront donc les mêmes caractéristiques électriques cela a un avantage lors de la mise en service notamment (la mise en parallèle, le couplage...).

➤ Site-Malbaza :

Le site Malbaza prend sa source au niveau du poste source Malbaza. Il alimente ses abonnés via un transformateur de 10 MVA.

Nous rappelons que la demande électrique à l'horizon 2030 sera de 14 954 kW soit 15,741 MVA au niveau de ce poste. Pour répondre à la demande liée à ce poste il nous faut au moins un transformateur de 20 MVA ou deux transformateurs de 10 MVA chacun. Pour des raisons technico-économiques nous porterons nos choix sur deux transformateurs de 10 MVA chacun et de même caractéristique électrique.

Remarque : d'après les différentes plaques signalétiques (**Annexe 4 et Annexe 5**). Nous constatons que le transformateur existant à Illela a les mêmes caractéristiques électriques que celui du site-Malbaza. Le tableau 14 nous donne le résumé des caractéristiques électriques de ces deux transformateurs.

Tableau 14: Caractéristiques électriques transformateur-Illela et transformateur-site-Malbaza

Désignations	transfos	Sn (MVA)	U (kV)	années	Couplage	UCC (%)
Poste-Illela	1	10	66/33	2005	YNd11	7,99
Site-Malbaza	1	10	66/33	2005	YNd11	7,99

Observation : le tableau 14, nous montre que nos deux transformateurs sont identiques du point de vue caractéristiques électriques, donc ils peuvent être couplés et mis en service ensemble. La solution gardée pour nous c'est de faire une mutation des transformateurs. C'est-à-dire après avoir changé le transformateur de Illela par deux transformateurs de 15 MVA chacun, ce même transformateur de 10 MVA sera amené à Malbaza pour compenser la demande électrique de ce site.

➤ Site de Tahoua :

Le site de Tahoua prend sa source au niveau du poste source Illela. Il est équipé de trois transformateurs d'une puissance installée de **3,15 MVA** chacun.

D'après la prévision de la demande, la charge de la ville de Tahoua sera de **14 623 kW soit 15,393 MVA à l'horizon 2030**. Les capacités de productions actuelles de ce site ne sont pas en mesure de satisfaire la charge à la période d'étude d'où ils nécessitent un renforcement. La charge à couvrir étant de **15,393 MVA** nous utiliserons soit un transformateur de **20 MVA** ou deux transformateurs de **10 MVA** chacun.

Pour des raisons technico-économiques, en tenant compte de l'espace disponible sur le site et en vue de faciliter l'exploitation et la maintenance de nos postes nous porterons nos choix sur deux transformateurs de **10 MVA** chacun afin de répondre à la demande électrique de la ville à l'année 2030.

Ainsi, les puissances à installer dans les postes sources en vue de satisfaire la prévision de la demande à l'horizon 2030 sont récapitulées dans le tableau 15.

Tableau 15: Les transformateurs à installer dans les postes sources à l'horizon 2030

Désignations	P (MW)	S (MVA)	Transformateurs	Observations
Poste-Malbaza	47,274	49,762	1×50 MVA	A ne pas remplacer
Poste-Illela	25,885	27,247	2×15 MVA	Remplacer le transfo de 10 MVA existant par 2×15 MVA
Site-Tahoua	14,623	15,393	2×10 MVA	Remplacer les transfos 3×3,15 MVA existants par 2×10 MVA
Site-Malbaza	14,954	15,741	2×10 MVA	Ajouter un nouveau transfo de 10 MVA

Le tableau 15, nous donne à l'instant une solution provisoire sur les transformateurs à installer dans les différents postes sources avant le renforcement des lignes de liaisons. Elle peut toutefois changée. Et les niveaux tensions de ces transformateurs seront choisis après avoir renforcer les différentes lignes de liaisons.

4.2 Analyses et identifications des câbles à renforcer

4.2.1 Vérifications des caractéristiques électriques des câbles

Il s'agit pour nous de calculer les capacités d'évacuation des câbles existants, afin de les comparer avec les charges demandées au niveau de nos transformateurs à l'année 2030.

4.2.1.1 Détermination des constantes caractéristiques des lignes électriques

Tableau 16: Caractéristiques électriques des câbles existants sur le réseau électrique HT de Tahoua

Section (mm ²)	Type de conducteur	Un kV	r_0 (Ω /km) à 20 °C	x_0 (Ω /km)	r_1 (Ω /km) à 50 °C
326,1	ACSR BEAR Almélec	132	0,1093	0,35	0,12023
181,6	Pastel Almélec	66	0,2264	0,35	0,2490
147	AACSR Almélec	66	0,2795	0,3757	0,3075

117	AAC Aster Almélec	33	0,2830	0,3566	0,3113
-----	-------------------	----	--------	--------	--------

La résistance à une température du conducteur différente de 20°C est donnée par la norme CEI-60909-0 : $R_1 = [1 + 0,004(\Theta - 20^\circ\text{C})] \times R_{20^\circ\text{C}}$ [9]. Avec : Θ température de construction est égale à 50°C.

Remarque : les données du tableau 16, nous permettent de calculer les capacités d'évacuation en MVA de nos câbles existants.

4.2.1.2 Chute de tension admissible

Il faut reconnaître que le respect de la chute de tension est primordial afin de limiter les pertes en ligne. Au niveau des lignes de transport, la chute de tension maximale admissible est généralement de **8%** selon la norme NF C 11-201.

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I \times l \times (r \times \cos \varphi + x \times \sin \varphi) \quad [9] \quad (4.2)$$

La chute de tension relative est donnée par l'expression suivante :

$$u(\%) = \frac{\Delta U}{U} \times 100 \quad (4.3)$$

$$\text{En triphasé la tension étant prise entre phase : } P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \text{ avec } \cos \varphi = 0,95 \quad (4.4)$$

Donc la chute de tension peut s'exprimer en fonction de la puissance :

$$u(\%) = \frac{\Delta U}{U} \times 100 = \frac{100PL}{U^2} (r + x \tan \varphi) \quad (4.5)$$

Avec :

r : résistance linéique du tronçon en Ω/km ,

x : réactance linéique du tronçon en Ω/km ,

$\tan \varphi$: tangente moyenne du réseau,

U : tension composée du réseau en (kV),

L : la distance en km ;

P : la puissance en MW.

Connaissant la chute de tension, la longueur L , la tension entre phase, et les caractéristiques électriques de câble on peut tirer la Puissance P qui sera en MW.

$$\text{Donc, } P = \frac{U^2 \times u(\%)}{100 \times L \times (r + x \tan \varphi)} \quad (4.6)$$

A l'aide de la formule précédente, nous allons calculer la puissance active et ensuite déduire la puissance apparente en MVA pour chaque tronçon.

Le tableau 17 nous donne les récapitulatifs de nos différents calculs.

Tableau 17: Capacité d'évacuation des câbles existants du réseau électrique HT de Tahoua

Tronçons	S (mm ²)	L (km)	r ₁ (Ω/km)	x ₁ (Ω/km)	U (kV)	U (%)	P (MW)	cos φ	S (MVA)
Tak-Malb	326,1	200	0,12023	0,35	132	8	29,186	0,95	31,18
Malb- Illela	181,6	67	0,2490	0,35	66	8	14,44	0,95	15,20
Malb- Malb	147	3	0,3075	0,3757	66	1	34,02	0,95	35,81
Illela-Tah	117	30,52	0,3113	0,3566	33	8	6,73	0,95	7,08

Remarque : pour le calcul de la capacité d'évacuation du câble **3*147 mm²** tronçon Malb-Malb. Vue la distance de ce tronçon, la NIGELEC nous a imposé une valeur maximale de chute de tension de l'ordre de 1% à ne pas dépasser.

Tableau 18: Comparaison charges 2030 et capacités d'évacuation des câbles existants.

Tronçons	S (mm ²)	Charge en 2020 MVA	Charge en 2030 MVA	Capacité d'évacuation	Commentaires
Tak-Malb	326,1	24,09	49,762	31,18	A renforcer
Malb-Illela	181.6	12,29	28,588	15,20	A renforcer
Malb-Malb	147	7,06	16,426	35,81	A ne pas renforcer
Illela-Tah	117	8,46	19,686	7,08	A renforcer

Observation :

- D'après le tableau 18, on constate que toutes les lignes de liaisons nécessitent un renforcement excepté la ligne Malb-Malb,
- La capacité d'évacuation du câble de la ligne Illela-Tah est de l'ordre de **7,08 MVA**, alors qu'à l'année 2020 le site de Tahoua tire une puissance de **8,46 MVA** sur cette ligne, avec cette puissance on a une chute de tension de **11,15%** d'où les pertes en ligne sont énormes sur ce tronçon car la chute de tension ne pas respecter, elle nécessite donc un renforcement immédiat.

Conclusion partielle : toutes les lignes dont la charge en 2030 dépasse la capacité de transit feront l'objet d'un renforcement.

4.2.2 Etude électrique des lignes de liaisons

Dans cette partie nous procédons à des simulations qui nous permettrons de faire un choix beaucoup plus économe.

4.2.2.1 Etude électrique de la ligne de liaison Illela-Tah 3*117 mm²

Les solutions proposées pour ce tronçon sont les suivantes :

- Garder le niveau de tension de la ligne actuelle et faire un calcul de la nouvelle section du câble qui alimentera le site de Tahoua ;
- Ou de changer le niveau de tension de la ligne 33 kV par une tension de 66 kV et faire une analyse.

4.2.2.1.1 Calcul de la nouvelle section du câble tronçon Illela-Tah

Avant de déterminer la section du câble nous allons choisir le matériau du conducteur en fonction des avantages et inconvénients des différents matériaux existants.

➤ Choix du matériel à utiliser et de la section de câble

Les câbles les plus couramment utilisés pour les lignes haute tension sont les conducteurs en aluminium avec âme en fils d'acier connu sous le diminutif d'ACSR (aluminium conductor steel reinforced), les conducteurs homogènes en alliage aluminium connu sous le diminutif de AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) de lignes aériennes contiennent de faibles additions de magnésium et de silicium et est appelé « almélec ». Les conducteurs AAAC sont de plus en

plus utilisés, car ils offrent de nombreux avantages techniques sur les conducteurs ACSR.

Tableau 19: Caractéristique comparées des matériaux conducteurs

Matériau conducteur		Utilisé dans le conducteur	Résistivité ($10^{-8} \Omega$)	Contrainte à rupture	Allongement à rupture	Température maximal °c	
Aluminium écroui dur	1350H19	ACSR	2,825	160 à 180	1 %	75	100
Almélec	6201	AAAC	3,26	315 à 325	3 %	75	100
Aluminium recuit	1350H0	ACSS	9,92	59 à 97	20 %	100	250

Source : André CHANAL et Jean Pierre LEVEQUE (technique de l'ingénieur) [10].

Pour cette présente étude nous porterons notre choix sur l'almélec pour des raisons suivantes :

- Avoir un coût bas par rapport à celui du cuivre ;
- Avoir une résistance mécanique supérieure à celle de l'aluminium ;
- Etre plus léger par l'alliage aluminium acier.

➤ **Section de câble**

Pour le dimensionnement de la section du câble qui alimente le site de Tahoua il va falloir vérifier trois critères qui sont :

- **Critère du courant nominal**

Dans cette partie nous allons faire le calcul de l'intensité de courant nominal I_n et vérifier que notre câble pourra le supporter.

Les données de calcul de courant nominal sont données dans le tableau 20.

Tableau 20: Données calcul du courant nominal

S [MVA]	20
U [kV]	33
$\cos\varphi$	0,95

Le courant nominal est déterminé par la formule ci-après :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U} \quad (4.7)$$

Avec :

- I_n : intensité nominale en (A) ;
- S : puissance circulant dans le câble en (VA) ;
- U : tension phase/phase en (V)

Application et résultats :

$$I_n = \frac{20\,000\,000}{\sqrt{3} \times 33\,000} = 349,9 \text{ A soit } \mathbf{I_n = 0,35 \text{ kA.}}$$

Le courant admissible par le câble almélec est donné par la formule ci-dessous :

$$I_z = K \times S^{0,62} \quad [11]. \quad (4.8)$$

Avec :

- K : un coefficient en fonction du matériau ;
- S : la section du câble en mm^2 .

Le tableau 21 nous donne les coefficients K pour quelques matériaux :

Tableau 21: Coefficient K en fonction du type de matériaux

Matériau	Almélec	Alu-acier	Cuivre
Coefficient K	17,1	16,4	21

Le tableau 22 donne les différents courants admissibles pour les différentes sections normalisées et utilisées dans le réseau de distribution nigérien.

Tableau 22: Choix de section en fonction du courant admissible.

S (mm ²)	117	148	181,6	291	326,1
Iz (A)	327,55	378,93	430,17	576,25	618,41
In (A)	350	350	350	350	350

Nous constatons que l'intensité nominale qui sera injectée dans le câble Almélec peut être supporté par le câble de **148 mm²** car **Iz > In**. En attendant la vérification des autres critères nous retenons cette section.

- **Critère du courant de court-circuit**

Ici nous Vérifions que le câble pourra supporter le courant de court-circuit Icc transmis sans que la ligne soit abimée pendant un certain temps tcc.

 Le court-circuit maximal I_{max}

$$I_{\max} = \frac{S \times a}{\sqrt{t_{cc}}} \quad \text{source : [12] page 6.5.} \quad (4.9)$$

Avec :

- S : section minimale du câble en mm²,
- tcc : temps en seconde (s) pris est égale à 1 seconde.

Paramètres :

a = 105,3 pour le cuivre,

a = 55,07 pour l'aluminium ;

a = 61,98 pour l'AMS ;

a = 76,4 pour l'Almélec.

$$AN : I_{\max} = \frac{148 \times 76,4}{\sqrt{1}} = 11\,307,2 \text{ A soit } I_{\max} = \mathbf{11,31 \text{ kA.}}$$

Remarque : C'est le courant de court-circuit maximal que le câble 148 mm² peut supporter pendant un temps de 1s sans qu'il s'abime.

 Calcul du courant de court-circuit du réseau

Tableau 23: Caractéristique de la ligne almélec 147 mm²

Câble almélec 148 mm ²	
Longueur totale (km)	30,52
r (Ω/km)	0,218
x (Ω/km)	0,35

Par la méthode des impédances, ce courant est déterminé par la formule suivante :

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} \quad (4.10)$$

Avec :

- Z_{cc} : l'impédance équivalente de toutes les impédances parcourues par I_{cc} depuis la source jusqu'au point de défaut
- U : la tension du réseau

Cette impédance est définie comme suit :

$$Z_{cc} = \sqrt{(R_a + R_l)^2 + (X_a + X_l)^2} \quad (4.11)$$

R_a : la résistance du réseau amont ; R_l : la résistance de la ligne ;

X_a : la réactance du réseau amont ; X_l : la réactance de la ligne ;

Résistance et impédance du réseau amont

$$\text{On a : } Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}} \quad (4.12)$$

U est la tension nominale et S_{cc} est donnée dans le tableau ci-dessous en fonction du niveau de tension.

La puissance de court-circuit S_{cc} est fonction du réseau environnant la ligne étudiée, mais du point de vue dimensionnement, nous retenons souvent les valeurs suivantes en fonction des principales tensions caractéristiques :

Tableau 24: Puissance de court-circuit en fonction du niveau tension [12]

Tension nominale du réseau (kV)	Puissance de court-circuit Scc min en (MVA)	Puissance de court-circuit Scc max en (MVA)
400		25 000 à 40 000
225	1 200	12 000
63 à 90	200	200
15 à 33	20	350

On obtient donc : $Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}} = \frac{33\,000^2}{350 \times 10^6} = 3,111 \, \Omega$

La norme NF EN 60909-0 donne $R_a = 0,1X_a$ et $X_a = 0,995Z_a$ [9].

On obtient alors : $X_a = 3,095 \, \Omega$ et $R_a = 0,3095 \, \Omega$

Résistance et impédance de la ligne

On détermine d'abord un coefficient (k) de correction de température :

$$K = [1 + \alpha \times (\theta - \theta_i)]$$

θ = Température de construction 50°C

θ_i = température de référence 20°C

Le coefficient α est donné dans le tableau en annexe n°6 et est fonction du type de matériau utilisé dans la fabrication du câble. Pour l'aluméc il vaut 0,004. Donc $K=1,1$

Ensuite, on détermine la résistance linéique du conducteur. Cette résistance est déterminée par la formule suivante :

$$R_0 = \frac{100 \times \rho}{S} \text{ avec } \rho = 0,33 \Omega/\text{km}/100 \text{ mm}^2 \text{ pour l'Alméc.} \quad (4.13)$$

Pour une température de 50°C on aura $\rho = 0,363 \Omega/\text{km}/100 \text{ mm}^2$ pour ce conducteur. Ce que nous donne pour une section de 148 mm² une résistance linéique r de 0,2452 Ω/km .

Pour une distance de 30,52 km on a : $R_1 = 7,48 \, (\Omega)$ et $X_1 = 10,682$

L'impédance équivalente

$$Z_{cc} = \sqrt{(7,48 + 0,3095)^2 + (10,682 + 3,095)^2} = 15,83 \, \Omega.$$

Le courant de court-circuit est donc $I_{cc} = \frac{33\,000}{\sqrt{3} \times 9,55} = 1\,203,57 \, \text{A}$ soit **$I_{cc} = 1,20 \, \text{kA}$** .

Remarque : On constate que **$I_{cc} (1,20 \, \text{kA}) < I_{max} (11,31 \, \text{kA})$** ce qui veut dire que le câble Almélec 148 mm² pourra supporter le courant de court-circuit durant 1 seconde, par conséquent il nous reste à évaluer si la chute de tension est admissible.

- **Critère de la chute de tension**

Il faut que la valeur calculée ne dépasse pas la limite stipulée par la norme NF C 11-201 qui est de l'ordre de 8 % sinon on passe à une section supérieure.

Nous utiliserons la formule suivante pour le calcul de la chute de tension :

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_n \times L \times (R \times \cos \varphi + X \times \sin \varphi) \quad (4.14)$$

Avec $R_{70^\circ\text{C}}$: la résistance du conducteur à 70 °C (Ω)

$$R_{70^\circ\text{C}} = [1 + \alpha (\Delta T)] \times L \times R_{20^\circ\text{C}}$$

L : longueur du câble en km

α : coefficient de température ($\alpha = 0,004 \, \text{K}^{-1}$) pour l'almélec

ΔT : l'écart la température de la résistance et la température de service en °C

$R_{20^\circ\text{C}}$: la résistivité du câble à 20°C (Ω/km)

I_n : Le courant nominal circulant dans le conducteur (A)

X : la réactance du conducteur (Ω)

Application numérique :

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 350 \times 30,52 \times (0,2676 \times 0,95 + 0,35 \times 0,3175)$$

$$\Delta U = 6\,759,53 \, \text{V}$$

En tenant compte de la tension de la ligne qui est de 33 kV, on obtient une chute de tension de

$$\frac{\Delta U}{U} \times 100 = 20,48 \, \%$$

La chute de tension dans le câble ASTER 148 n'est pas admissible car la norme prévoit une chute de tension maximale de 8 %.

Remarque : Le câble Aster 148 choisi ne respecte pas le troisième critère (le critère de chute de tension). Par conséquent, ce câble ne sera pas retenu en tant que conducteur de phase pour ce projet. Nous passons à la section suivante.

Par la suite nous avons utilisé les formules précédentes pour faire des simulations avec les autres sections de conducteurs supérieures.

Tableau 25: Simulation avec des conducteurs de sections supérieures à 148 mm²

Conducteurs	Courant admissible (A)	Courant de court-circuit (kA)	Chute de tension (%)	Commentaires
148 mm ²	378,93	11,31	20,48	A rejeté
181,6 mm ²	430,17	13,87	19,73	A rejeté
291 mm ²	576,25	22,23	15,45	A rejeté
326,1 mm ²	612,41	24,91	12,75	A rejeté

Conclusion partielle : d'après les différentes simulations tableau 25 :

- On remarque que jusqu'à la section 326,1 mm² le critère de la chute de tension qui est de 8% à ne pas dépasser sur le tronçon Illela-Tah ne pas respecter ;
- Avec cette solution, pour garantir la fourniture d'électricité à la ville de Tahoua dans des meilleures conditions, la NIGELEC doit changer la section 117 mm² par une section supérieure à la section 326,1 mm² ;
- Or, la NIGELEC dans sa politique utilise les sections suivantes 54,6 mm², 117 mm², 147 mm², 148 mm² pour les départs HTA et des sections supérieures à 148 mm² pour les départ HTB ;
- Partant de cette hypothèse nous sommes convaincu que cette solution est à rejetée car elle n'est pas rentable du point de vue exploitation.

Passons à présent à la seconde solution celle de changer le niveau tension de la ligne Illela-Tah :

4.2.2.1.2 Une nouvelle tension 66 kV pour la ligne Illela-Tahoua

Cette solution consiste à changer le niveau de tension de cette ligne qui est présentement en 33

kV pour une tension de 66 kV et faire des observations.

- **Calcul de la capacité d'évacuation du câble 3*117 mm² avec la tension 66 kV comme tension nominale.**

La capacité d'évacuation du câble se calcul par la formule (4.8) :

$$P = \frac{66\,000^2 \times 8}{100 \times 30,52 \times (0,3113 + 0,3566 \times 0,3175)} = 26\,896\,431,387 \text{ W}$$

Soit **P = 26,90 MW**

On en déduit que la puissance à transiter sur la ligne est : **S = 28,32 MVA** avec **un cos φ = 0,95** et une chute de tension maximale de 8%.

Observation :

- La puissance à transité à l'horizon 2030 sur le tronçon Illela-Tah étant de **19,686 MVA**.
- La capacité d'évacuation calculée du câble existant avec la tension 66 kV étant de **28,32 MVA**.
- On conclut que dans ce cas de figure que le poste source de Illela peut garantir la fourniture d'énergie au site de Tahoua sans moindre pertes.

Conclusion partielle : du point de vue réalisation, du point de vue aspect coût nous optons pour cette solution, donc passer de la tension 33 kV à la tension 66 kV sur le tronçon Illela-Tah. Mais la configuration du poste source Illela reste à modifier.

4.2.2.2 Ligne de liaison Takalmawa-Poste-de-Malbaza

Nous rappelons que la ligne de liaison Takalmawa et poste source Malbaza est de structure double terne, mais un terne équipé.

La capacité d'évacuation de cette ligne est de 31,18 MVA alors que la prévision de la demande à la période d'étude a été estimée à 49,762 MVA. Pour vaincre cette demande du point de vue réalisation, du point de vue aspect coût, nous optons pour la solution suivante : équipé le deuxième terne avec la même section que le premier terne donc une section de 326,1 mm². Alors la nouvelle capacité d'évacuation de cette ligne sera de 2*31,18 MVA qui est largement supérieure à la charge demandée au niveau du poste source Malbaza à l'horizon 2030. Avec cette solution la ligne pourra transiter l'énergie demandée par le poste Malbaza. Nous gardons cette solution pour la suite du projet.

4.2.2.3 Ligne de liaison Malbaza et poste de Illela

La solution présentée ici consiste à changer le niveau tension de la ligne par une tension supérieure. Donc passer de 66 kV à 132 kV. Elle tient en compte aspect réalisation, aspect coût.

- **Calcul de la capacité d'évacuation de la ligne avec la nouvelle tension 132 kV comme tension nominale.**

La capacité d'évacuation du câble se calcul par la formule (4.8) :

$$P = \frac{132^2 \times 8}{100 \times 67 \times (0,27168 + 0,35 \times 0,3175)} = 54\,348\,235,1 \text{ W Soit } P = 54,35 \text{ MW}$$

On en déduit que la puissance à transiter sur la ligne est : **S = 57,21 MVA** avec **un cos φ = 0,95** et une chute de tension maximale de 8%.

Observation :

- La puissance à transité à l'horizon 2030 sur le tronçon Malbaza-Illela étant de **28,588 MVA**.
- La capacité d'évacuation calculée du câble existant avec la tension 132 kV étant de **57,21 MVA** ;
- On conclut que, dans ce cas de figure le poste source de Malbaza peut garantir la fourniture d'énergie au poste source de Illela sans moindre pertes ;
- Le départ Illela sera directement piqué sur le jeu de barres 132 kV au niveau de Malbaza sans passer par le transfo ce qui permettra de soulager d'avantage le transfo de ce poste ;

Conclusion partielle : Afin de garantir la fourniture d'énergie à la région de Tahoua dans de meilleurs conditions, nous allons faire un récapitulatif des solutions définitives à prendre en compte pour la réalisation de ce projet. Les solutions énumérées dans le tableau suivant ont été retenues en tenant compte de la simplicité lors de la réalisation, de l'aspect qualité-coût, de renforcement des lignes de liaisons, etc.

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

Tableau 26: Récapitulatif des transfos à utiliser dans les différents postes sources de la région de Tahoua à l'horizon 2030

Désignations	P (MW)	S (MVA)	Départs alimentés par le transfo	Départs alimentés par jeu de barres	S _D (MW)	S _{DT} (MW)	Transfos	U1/U2	Types transfos
Poste- Malbaza	47,274	49,762	NCN-20	-	4,75	21,18	1×50 MVA	132/66/20	Bi-sortie
			Site Malbaza-66	-	16,43				
			-	Poste Illela-132	28,59	28,59	-	-	-
Poste-Illela	25,885	27,247	Tah-66	Aucun	19,69	19,69	1×20 MVA	132/66	Sortie unique
			Vil-66		2,63	7,56	1×10 MVA	132/33	Sortie unique
			Bade-66		1,40				
			Kei-66		3,53				
Site-Tahoua	14,623	15,393	Ville-20	-	15,39	15,39	2×10 MVA	66/20	Sortie unique
			-	Abalak-66	2,13	2,13	-	-	-
Site-Malbaza	14,954	15,741	Kon-33	Aucun	9,57	15,74	2×10 MVA	66/20	Sortie unique
			VMalb-33		0,92				
			Mad-33		5,25				

D'après le tableau 26, les solutions gardées pour ce présent projet sont les suivantes :

Pour les postes sources :

- ✓ Poste-Illela : équiper de deux transformateurs un de 132/33 kV, 10 MVA et un de 132/66 kV 20 MVA ;
- ✓ Poste-Malbaza : équiper d'un transformateur 132/66/20 kV, 50 MVA ;
- ✓ Site-Tahoua : équiper de deux transformateurs 66/20 kV, 10 MVA chacun ;
- ✓ Site-Malbaza : équiper de deux transformateurs 66/33 kV, 10 MVA chacun ;

Remarque : avec la configuration retenue les charges seront réparties équitablement sur les transformateurs au niveau de chaque poste. Donc ce qui va favoriser un fonctionnement optimal.

Pour les lignes de liaisons :

- ✓ Reconstruire la ligne de liaison Illela-Tah avec une tension de 66 kV et une section de $3 \times 117 \text{ mm}^2$;
- ✓ Equipé le deuxième tronc de la ligne de liaison Takalmawa-Malbaza avec une section de $3 \times 326,1 \text{ mm}^2$;
- ✓ Reconstruire la ligne de liaison Malbaza-Illela avec une tension de 132 kV et une section de $3 \times 181,6 \text{ mm}^2$.

Les configurations de nos postes sources en tenant compte de renforcement des lignes de liaisons à l'horizon 2030 sont présentées ci-dessous.

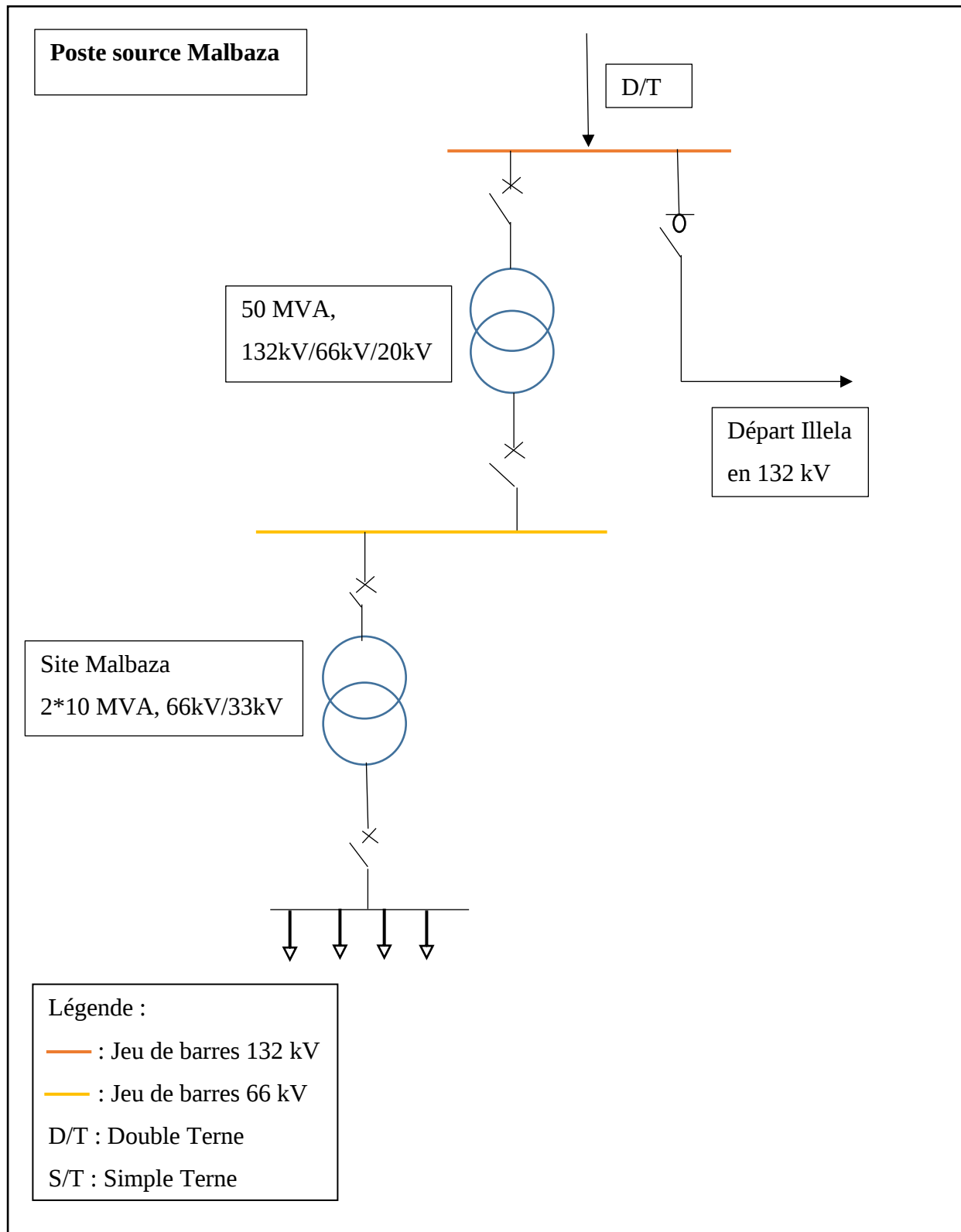


Figure 11: Configuration du poste source Malbaza période 2030

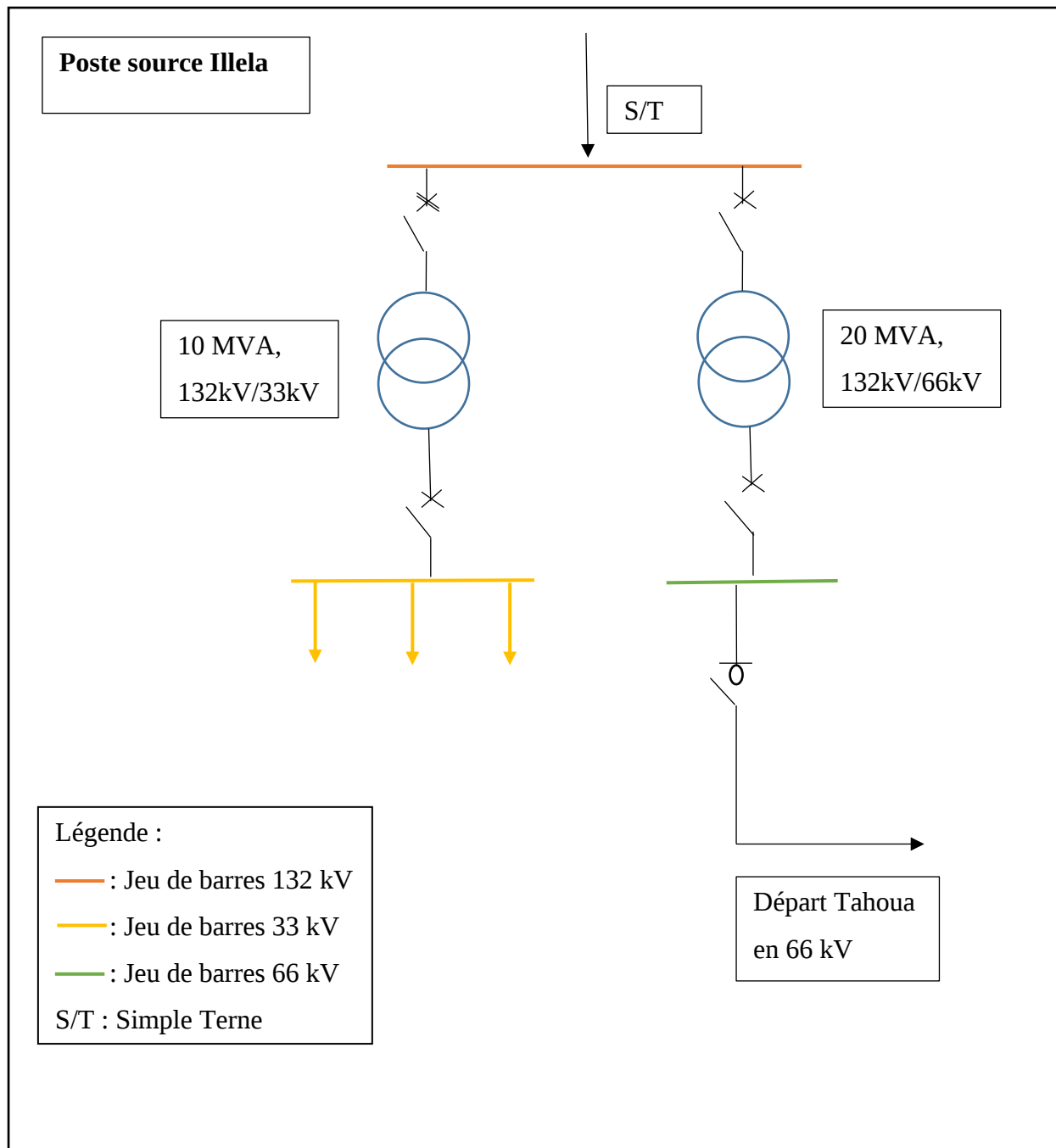


Figure 12: Configuration du poste source Illela période 2030

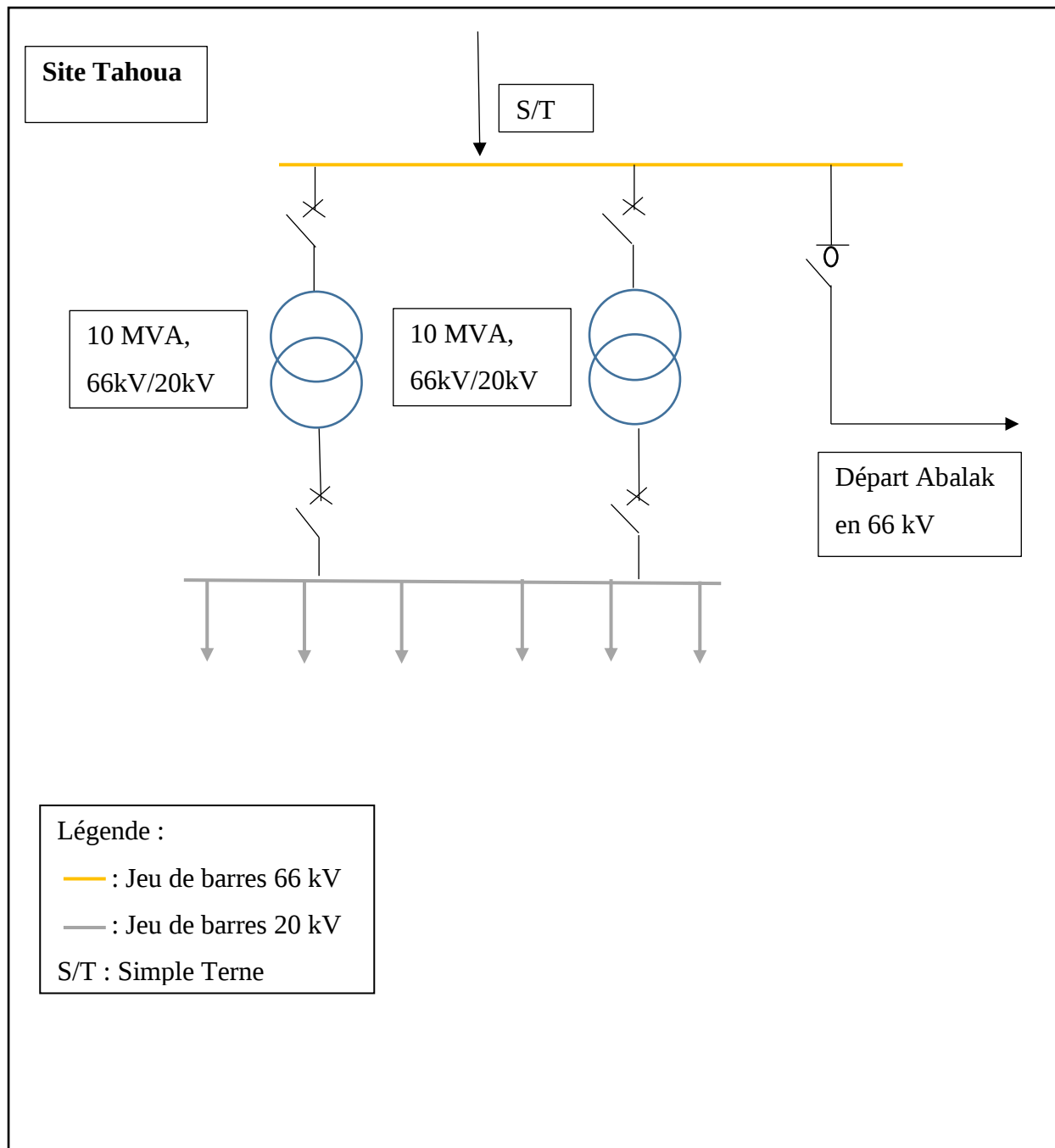


Figure 13: Configuration du poste site Tahoua période 2030

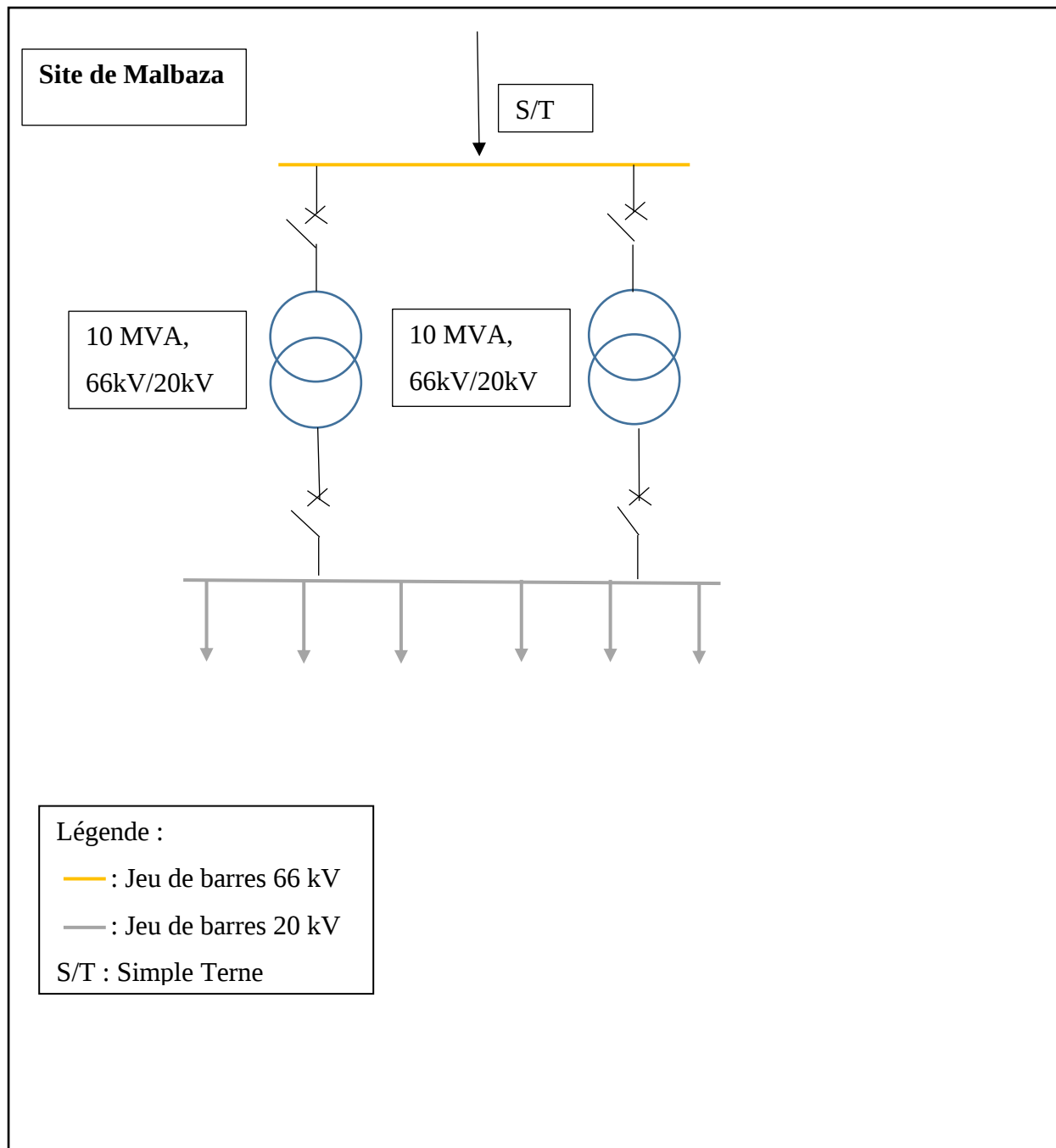


Figure 14: Configuration du poste site Malbaza

4.3 Estimation financière du projet

La satisfaction des abonnées de la NIGELEC de la région de Tahoua, et la qualité du service rendu ne seront possible que sur la base d'investissements importants pour la mise à niveau et le renforcement des postes sources et les lignes de liaisons.

L'estimation financière donnée ici prend en compte uniquement le coût d'acquisition du matériel entrant dans le renforcement de chaque poste source y compris les lignes de liaisons. Les coûts considérés sont tirés principalement du bordereau du prix en usage à la NIGELEC.

Le prix global du projet est calculé en fonction de nos approches solutions (**Annexe 8**).

Ce coût s'élève à **18 967 577,29 Euro** soit **12 328 925 239 F CFA**.

Tableau 27: Estimation financière

N°	Désignations	Montant (F CFA)
I	POSTE ILLELA	6 626 251 333
II	SITE TAHOUA	1 558 161 150
III	POSTE MALBAZA	2 176 028 784
	TOTAL	10 360 441 395
	TVA (19%)	1 968 483 777
	TTC	12 328 925 239

Le tableau 27 nous donne le récapitulatifs des prix d'acquisitions des différents matériels pour chaque postes sources pour la réalisation de ce présent projet.

Chapitre 5 : Notice d'impact environnemental et social

5.1 Introduction partielle

L'électricité est sans doute une nécessité incontournable qui, depuis l'antiquité, a toujours suscité un intérêt particulier de la part de l'espèce humaine et il est difficile d'imaginer un développement, sans les services que permet l'électricité. Mais cela doit se faire tout en prenant en compte les préoccupations environnementales et les effets susceptibles d'être générés pendant toutes les phases de sa mise en œuvre. C'est pourquoi nous avons jugé utile d'intégrer cette partie intitulée « **étude d'impact environnemental et social** » dans le présent projet. Dans ce qui suit, nous allons d'abord définir le cadre législatif régissant le projet ; ensuite faire une analyse de l'état initial du site ; puis identifier ; évaluer les impacts ; et enfin proposer des mesures d'atténuation, compensation ou de bonification.

5.2 Cadre législatif régissant le projet

La mise en œuvre du volet environnemental du projet est régit au niveau national par un certain nombre de politiques et stratégies en matière de protection de l'environnement, ainsi que les dispositions des textes juridiques (internationaux et nationaux) et le cadre institutionnel qui peuvent être concernés par le projet.

- ❑ *Constitutions du 25 nombre 2010 de la république du Niger : au sens de l'article 35 : « L'Etat à l'obligation de protéger l'environnement dans l'intérêt des générations présentes et futures. Chacun est tenu de contribuer à la sauvegarde et à l'amélioration de l'environnement dans lequel il vit [...]. L'Etat veille à l'évaluation et au contrôle des impacts de tout projet et programme de développement sur l'environnement » ;*
- ❑ *Loi N° 98-56 portant loi cadre à la gestion de l'environnement ;*
- ❑ *Ordonnance N° 97-001 du 10 janvier 1997 portant institutionnalisation des études d'impacts ;*
- ❑ *Loi N° 2004-040 du 08 juin 2004 portant régime forestier du Niger.*

Le Ministère de l'Energie, la Direction Générale du Développement Durable et des Normes environnementales, la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Assainissement (DGH/A), la Direction Nationale de la Santé Publique (DN/SP), la Direction de la Sécurité et Santé au Travail (DS/ST), la Direction Générale de l'Agriculture (DG/A), les collectivités, les

représentants des personnes affectées participent à la commission d'évaluation et de suivi et font partie des acteurs de suivi externe.

NB : le tribunal intervient dans le règlement de conflit en dernier recours.

5.3 Analyse de l'état initial du site

Les lignes de transite à renforcer prévue dans le projet de renforcement des postes sources de la région de Tahoua, traversent la zone d'étude de la manière suivante :

Les lignes qui lient le poste source de Malbaza, le site de Malbaza et le poste source de Illela prends origine au niveau du poste source Illela, qui à son tour est alimenté par la ligne 132 kV depuis la région de Maradi.

La ligne Illela-Tah qui lie le poste source de Illela et le site de Tahoua prend sa source au niveau du poste source de Illela, puis continue son parcours jusqu'à la ville de Abalak.

Pour la description du site, voir plus haut la présentation de la zone d'étude.

5.4 Identification, évaluation et analyse des impacts du projet

5.4.1 Identification des impacts du projet

➤ Activités sources d'impacts :

Les activités sources d'impacts se définissent comme étant l'ensemble des activités prévues dans le cadre d'un projet, et qui sont susceptibles d'avoir des effets préjudiciables sur les éléments de l'environnement biophysique et humain.

➤ Composantes affectées :

Les composantes pouvant être affectées par la mise en œuvre du projet sont :

- ✓ Composantes biophysiques (Sol, Eau, Air...),
- ✓ Composantes humaines (Sécurité et santé, Emploi/revenu, et cadre de vie).

La matrice d'interrelation (Matrice de Léopold) qui met en exergue les impacts potentiels liés à la mise en œuvre du projet selon leur nature positive ou négative (**Annexe 9**)

5.4.2 Evaluation de l'importance de l'impact du projet

Ci-dessous la matrice évaluant l'importance des impacts du projet. Cette évaluation est faite sur l'intensité, la portée et la durée des impacts avant de juger le niveau de leur importance. Cette matrice est connue sous le nom de la « matrice de Fecteau »

Tableau 28: Evaluation de l'importance des importances du projet (matrice de Fecteau)

Impacts	Intensité	Portée	Durée	Importance
Sur le sol	Moyenne	Ponctuelle	Courte	Mineure
Sur l'air	Faible	Locale	Courte	Mineure
Sur l'eau	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne
Sur la faune	Faible	Ponctuelle	Courte	Mineure
Sur la sécurité et la santé humaine	Moyenne	Locale	Moyenne	Moyenne
Sur l'ambiance sonore	Faible	Locale	Courte	Mineure
Sur l'emploi, le revenu et le cadre de vie	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne
Paysage	Faible	Ponctuelle	Courte	Mineure

5.4.3 Analyse des impacts de projet

Analyse des impacts en phase préparation/construction

Le tableau 29 nous donne le récapitulatif de l'analyse des impacts sur les éléments de l'environnement biophysique et humain pendant la phase préparatoire/construction.

Tableau 29: Récapitulatif des impacts phase préparation/construction

Composantes de l'environnement	Eléments pouvant être impactés	Impacts potentiels
Physique	Sol	Modification de la structure du sol et exposition à l'érosion hydrique
		Pollution par les déchets solides et liquides
	Air	Perturbation de la qualité de l'air par les émissions polluantes (poussières et les gaz d'échappements des véhicules)

	Eau	Pollution par les déchets solides et liquides
Biologique	Faune	Destruction des habitats de la faune (sol et végétations)
Humaine	Sécurité et santé	Risques d'accidents et des blessures
		Risques de violences basées sur le genre
	Ambiance sonore	Modification de l'ambiance sonore
	Emploi, revenu et cadre de vie	Création d'emploi, réduction du chômage et amélioration des revenus et des cadres de vie
		Perturbation des activités commerciales et baisse des revenus pour les personnes concernés
	Paysage	Perturbation de la qualité visuelle du paysage

Analyse des impacts en phase d'exploitation

Le tableau ci-dessous donne un résumé des impacts sur les éléments de l'environnement biophysique et humain au cours de la phase exploitation du projet.

Tableau 30: Récapitulatif des impacts phase exploitations

Composantes de l'environnement	Eléments pouvant être impactés	Impacts potentiels
Physique	Sol	Perturbation de la structure du sol
		Contamination par les déchets solides et liquides
	Air	Modification sensible de la qualité de l'air
	Eau	Contamination par les déchets solides et liquides
Biologique	Faune	Amincissement et destruction de l'habitat (sol et végétations)
		Risques de collision et d'électrocution
	Sécurité et santé	Risques d'accidents et des blessures
		Risques d'électrocution
		Nuisances pour les ménages à proximité des lignes électriques et des postes

Humaine	Ambiance sonore	Modification de l'ambiance sonore liée aux travaux d'entretien et à la présence et l'exploitation des installations (lignes électriques, postes...)
	Emploi, revenu et cadre de vie	Création d'emplois liée aux multiples opportunités
		Promotion des activités génératrices de revenus et amélioration des conditions de vie des personnes concernée

5.5 Mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification

Le tableau présenté en (**Annexe 10**) nous donne un récapitulatif des impacts et de mesures d'atténuation et/ou de bonification au cours des différentes phases de la mise en œuvre du projet.

Conclusion partielle :

Le volet (EIES) que nous venons juste d'étudier est une partie essentielle de notre étude. Car ça nous a permis de mettre en exergue les impacts positifs et négatifs qu'engendrera notre projet pendant les phases d'études, de construction et d'exploitation. Pour la réussite globale de ce projet, nous recommandons fortement de :

- Associer d'avantage les populations à toutes les phases de progression du projet, dans sa mise en œuvre et son suivi-évaluation ;
- Indemniser les personnes affectées en tenant compte des pertes réelles.

Conclusion :

Le travail présenté dans ce mémoire, fait partir des différentes solutions énumérées par la Direction régionale de la NIGELEC, pour éviter en avance le problème de saturation des postes sources et des lignes de liaisons dans le réseau haute tension de la région de Tahoua. Il a été établie dans le sens de permettre à la NIGELEC d'évacuer facilement et en toute sécurité le flux d'énergie qui sera mis en jeu dans les prochaines années, mais aussi de faire face à la demande énergétique de cette région qui de nos jours est sans cesse croissante.

L'approche proposée s'est concentrée à faire un état des lieux du réseau électrique HT de la région de Tahoua, mais également de faire une prévision de la demande, afin de ressortir les lignes, le ou les poste (s) sources a renforcé, en fonction de la prévision actuelle et celle projetée à l'horizon 2030. Ensuite proposer des solutions pertinentes qui répondent à l'objectif fixé qui était d'assurer le bon fonctionnement des postes sources de la région de Tahoua afin de garantir une meilleure utilisation de l'énergie (satisfaire la demande à l'horizon 2030). Suite à cette étude, pour accroître le potentiel énergétique de la région de Tahoua nous sommes arrivés à faire des propositions suivantes tout en prenant en compte l'aspect économique et le volet environnemental et social :

Pour les postes sources :

- ✓ Poste-Illela : équiper de deux transformateurs un de 132/33 kV, 10 MVA et un de 132/66 kV 20 MVA ;
- ✓ Poste-Malbaza : équiper d'un transformateur 132/66/20 kV, 50 MVA ;
- ✓ Site-Tahoua : équiper de deux transformateurs 66/20 kV, 10 MVA chacun ;
- ✓ Site-Malbaza : équiper de deux transformateurs 66/33 kV, 10 MVA chacun ;

Pour les lignes de liaisons :

- ✓ Reconstruire la ligne de liaison Illela-Tah avec une tension de 66 kV et une section de $3 \times 117 \text{ mm}^2$;
- ✓ Equiper le deuxième terre de la ligne de liaison Takalmawa-Malbaza avec une section de $3 \times 326,1 \text{ mm}^2$;
- ✓ Reconstruire la ligne de liaison Malbaza-Illela avec une tension de 132 kV et une section de $3 \times 181,6 \text{ mm}^2$.

Le coût de ce projet s'élève à une somme de **12 328 925 239 F CFA**.

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

L'importance de ces études repose dans le sens qu'elles permettent de remédier aux problèmes d'optimisation de la capacité de production des différents postes sources de la région de Tahoua, du non prise en compte des impacts environnementaux et sociaux, etc.

Au-delà de cela, nous espérons qu'avec nos approches solutions, notre travail servira de document de base à la NIGELEC dans l'élaboration des travaux qui vont dans le sens de ce projet en vue d'une amélioration de la qualité de service rendu à la clientèle.

Recommandation :

A l'issu de notre travail, nous tenons à faire des suggestions suivantes :

- Nous demandons à la NIGELEC, de faire une étude approfondie (diagnostique) de son réseau électrique afin de ressortir toutes ses insuffisances et apporter des solutions, pour que ce dernier puisse faire face à la demande à l'horizon 2030 ;
- Utiliser des logiciels comme NEPLAN pour la modélisation de son réseau ;
- Penser à automatiser son réseau électrique et assurer la supervision via SCADA ;
- Penser aussi à renforcer les capacités de ses moyennes de productions locales ;
- Numériser toutes les données énergétiques annuelle de son réseau électrique HT et éventuellement une partie de la BT (sortie transformateur).

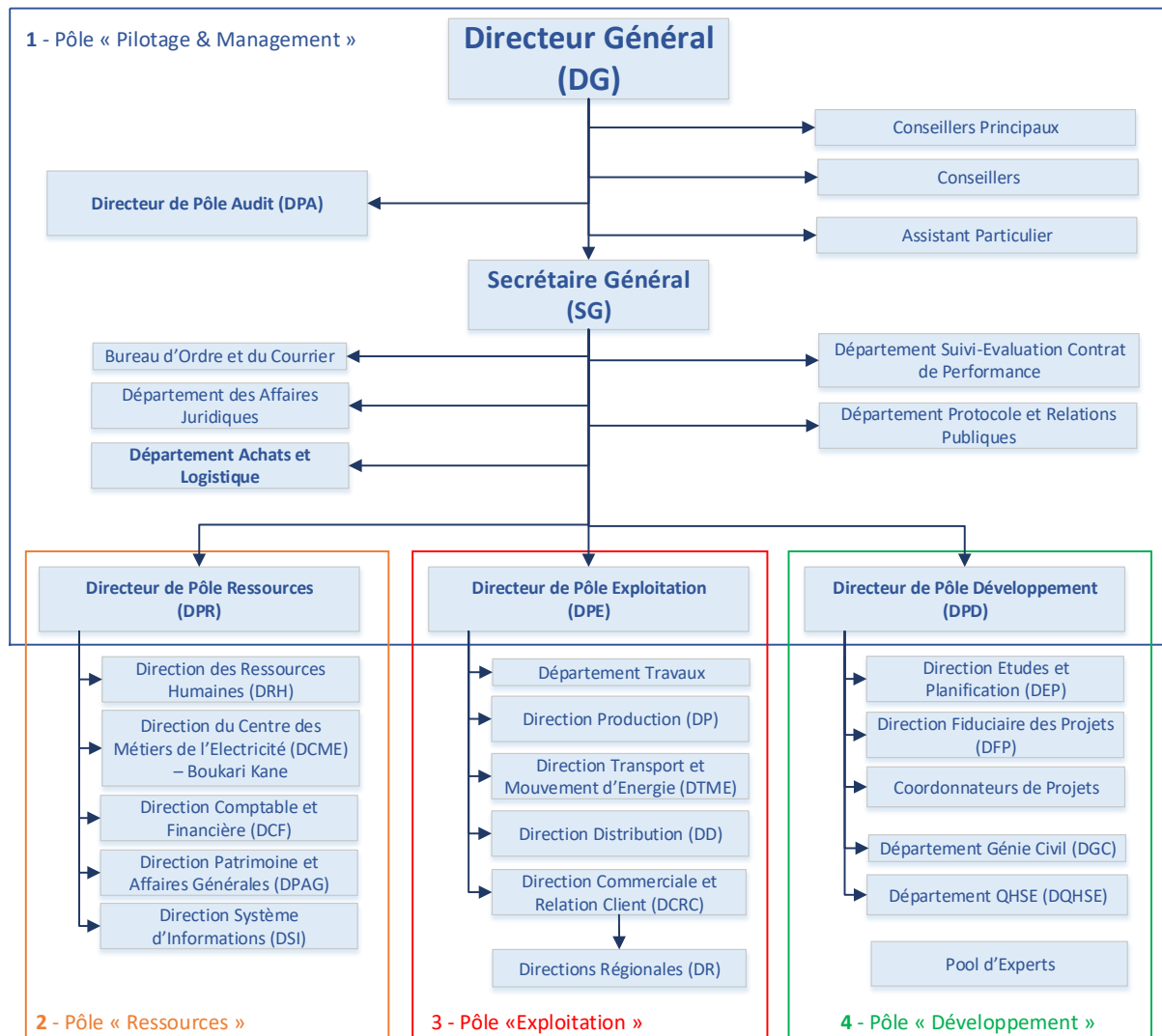
Bibliographie

- [1] NIGELEC. (septembre 2019). *présentation de la société nigérienne d'électricité, [EN LIGNE]* disponible sur "<http://NIGELEC.net>" consulté le 13-02-2021.
- [2] DIENTA Omou Koultoum, T. A. (2019). « *Etude et simulation d'un poste HT/MT par le logiciel ETAP* », Mémoire de Master, département génie électrique : Université Abdelhamid Ibn Badis Mostagamen.
- [3] DELBABRE, J.-M. (s.d.). "Technique de l'ingénieur : traité génie électrique", Poste à haute et très haute tension . France.
- [4]. (août 2012). *Groupe de travail D1.03, Gas insulated system for HVDC: DC Stress at DC and AC Systems*, vol. 506, CIGRÉ, coll. « brochure », (ISBN 978-2-85873-198-5).
- [5] ARTELIA-IRAF. (Août 2016). *Etude d'un plan directeur de distribution d'énergie électrique de la ville de Niamey 2015 – 2030, Rapport définitif*, Niamey.
- [6] DJOSSOU R. Y. (2015). « *Etude et dimensionnement d'un poste source HTB/HTA dans le grand PORTO-NOVO à l'horizon 2030,*» Ecole polytechnique d'Abomey-Calavi. .
- [7]. (SPRO-DPT, 2018). « *Courbes de charges traitées (2004-2017),*» Direction de la Production et de Transport de la NIGELEC, fichier Excel.
- [8] STRA-DPT. (2018). « *Charges des postes,*» Direction de la Production et du Transport de la NIGELEC, fichier Excel.
- [9]. Normes : NF EN 60909-0, NF C 11-201.
- [10]. LEVÊQUE, André CHANAL et Jean-Pierre, *Conducteur et câble de garde*. In *Technique de l'ingénieur, traité génie électrique*. Paris. D4 422 1-D4 422 10. .
- [11]. (2018.). DOUDOUA HOUSSAMATO, Kaborou Maman, « *Etude de la construction d'une ligne haute tension de catégorie A et la conception d'un réseau HTA/BT pour l'alimentation en énergie électrique de la cité de MAOUREY* ». Mémoire de Master, département GEE, Institut 2iE.
- [12]. (1998.). Jean Louis LILIEN. « *Calcul d'une liaison aérienne*. In *Transport et Distribution de l'Energie Electrique* », Université de Liège, Pp 6.1-6.46.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Organigramme de la NIGELEC	III
Annexe 2: Données énergétiques de la région de Tahoua période 2015-2020.....	III
Annexe 3: Plaque signalétique transfo 50 MVA de Malbaza.....	III
Annexe 4: Plaque signalétique transfo 10 MVA du site Malbaza	III
Annexe 5: Plaque signalétique transfo 10 MVA de Illela	III
Annexe 6: Coefficient α	III
Annexe 7: Situation géographique des postes sources et leurs coordonnées.....	III
Annexe 8: Estimation financière.....	III
Annexe 9: Matrice d'interrelation (Matrice de Léopold)	III
Annexe 10: Récapitulatif des impacts et mesures.....	III

Annexe 1: Organigramme de la NIGELEC



Annexe 2: Données énergétiques de la région de Tahoua période 2015-2020

Poste Illela :

Libellé	Années de 2015 à 2020					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pointe annuelle de Tahoua en (kW)	5252	6208	6753	7278	7632	9039
Pointe annuelle de Keita en (kW)	997	1284	1275	1447	1553	1642
Pointe annuelle de Illela ville en (kW)	1070	1547	1128	1139	1260	1274
Pointe annuelle de Badeguichiri en (kW)			773	859	826	719
Total des pointes annuelles en (kW)	7 319	9 039	9 929	10 723	11 271	12 674

Site Tahoua :

Libellé	Années de 2015 à 2020					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Puissance reçue de Illela (kW)	4839	5555	5804	6005	6756	7384
Pointe annuelle de Tahoua ville en (kW)	4329	5128	5239	5657	6967	7186
Pointe annuelle de Abalak (kW)	620	677	804	669	494	969
Total des pointes annuelles en (kW)	4949	5805	6043	6326	7461	8155

Site de Malbaza :

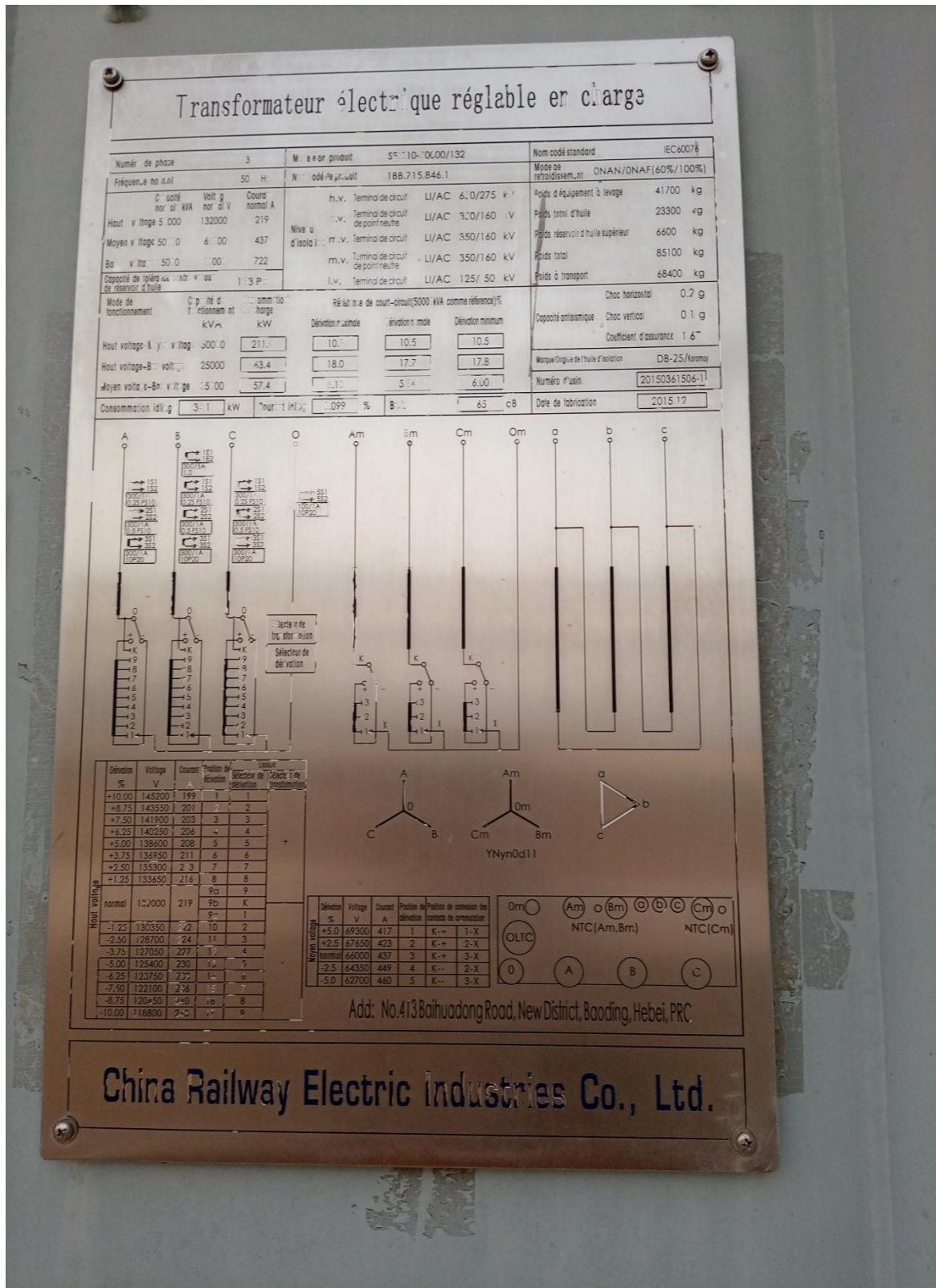
Libellé	Années de 2015 à 2020					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pointe annuelle de Madaoua en (kW)	1441	1256	1770	1965	2084	2244
Pointe annuelle de Konni en (kW)	3017	3578	3685	3869	3901	4050
Pointe annuelle de Malbaza ville en (kW)	290	216	293	288	388	414

Total des pointes annuelles en (kW)	4748	5050	5749	6122	6373	6708
-------------------------------------	------	------	------	------	------	------

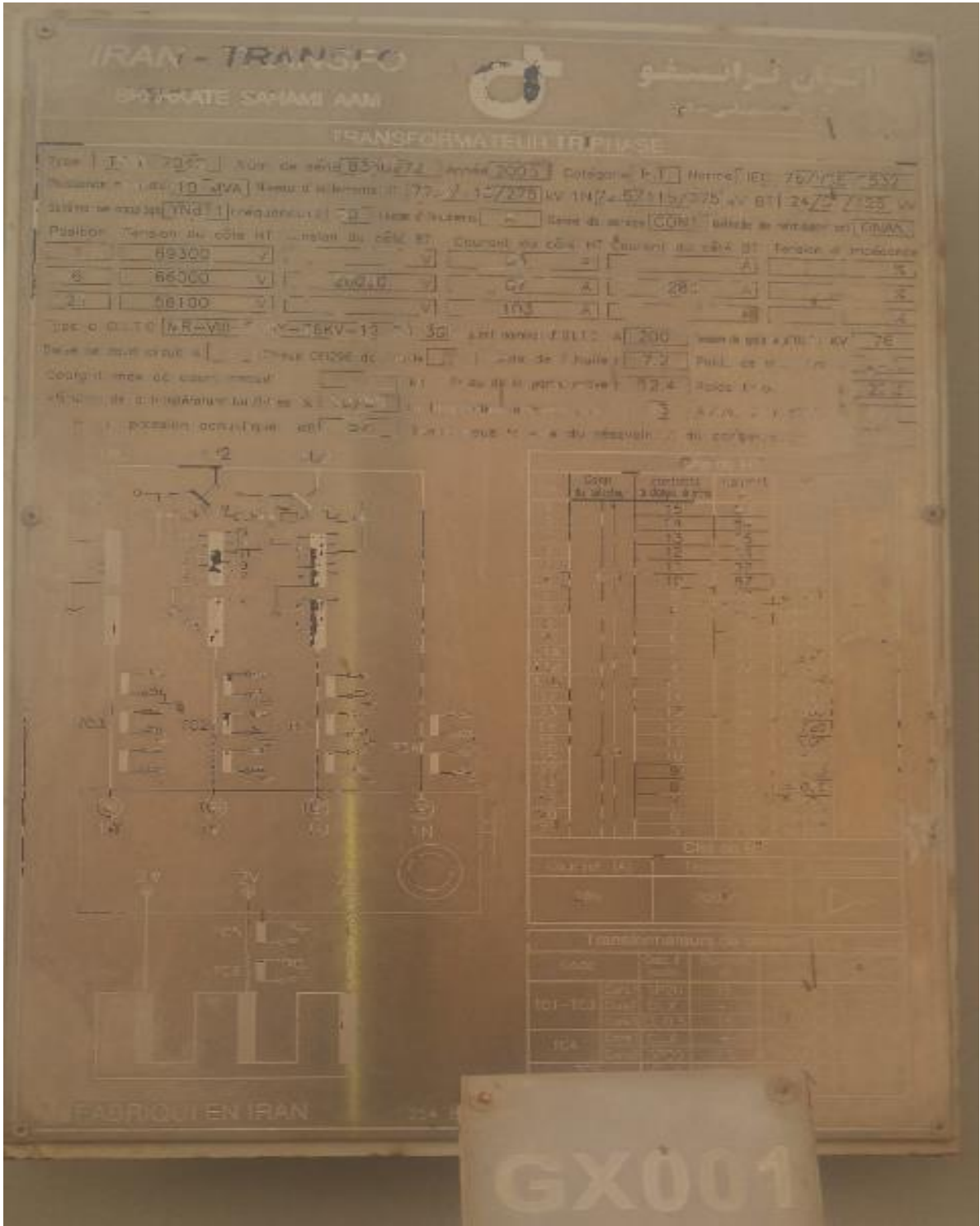
Poste de Malbaza :

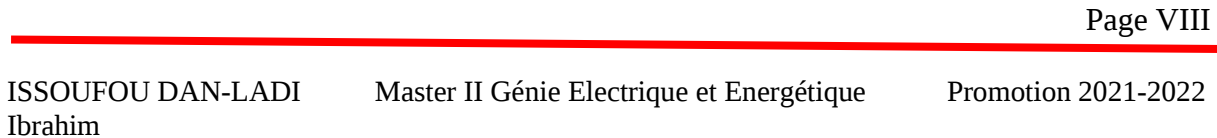
Libellé	Années de 2015 à 2020					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pointe annuelle départ site Malabaza (kW)	4748	5050	4749	6122	6373	6708
Pointe annuelle départ poste Illela (kW)	7319	9039	9929	10 723	11 271	12 674
Pointe annuelle départ cimenterie (kW)			725	982	1546	3258
Total des pointes annuelles en (kW)	12 067	14 089	15 403	17 827	19 190	22 640

Annexe 3: Plaque signalétique transfo 50 MVA de Malbaza



Annexe 4: Plaque signalétique transfo 10 MVA du site Malbaza





Annexe 6: Coefficient α

Tableau 2 – Résistivités des conducteurs rencontrés dans l'industrie			
Conducteur	Résistivité		
	ρ_c à 0 °C	ρ_c à 20 °C	α
	($10^{-8} \Omega \cdot m$)	($10^{-8} \Omega \cdot m$)	entre 0 et 100 °C ($^{\circ}C^{-1}$)
Argent pur	1,467	1,587	0,004 12
Cuivre pur	1,543	1,678	0,004 39
Or	1,87	2,24	0,008 3
Aluminium pur	2,36	2,654 8	0,004 29
Almélec	3,055	3,321	0,004
Fer pur	8,45	9,71	0,006 51
Acier (1)		10,1	
Platine	8,98	10,6	0,003 93
Nickel	9,06	10	0,004 7
Étain	10,4	11,4	0,004 2
Plomb	18,95	20,648	0,004 1
Mercure	94,07	95,76	0,000 9
Constantan 55Cu 45Ni	46	46	2×10^{-5}
Inox 18/8 (1)		83	
Inconel 600 (1)		100	
(1) Valeurs indicatives			

Annexe 7: Situation géographique des postes sources et leurs coordonnées



Annexe 8: Estimation financière

Items	Désignations	Unités	Quantités	P.U (Euro)	Montant (Euro)
I	POSTE ILLELA				
I.1	Transfo 132/33 kV, 10 MVA + Accessoires	U	1	1 014 902,4	1 014 902,4
I.2	Transfo 132/66 kV, 20 MVA + Accessoires	U	1	1 522 353,6	1 522 353,6
I.3	Jeu de barres 132 kV	Ens	1	32 421,17	32 421,17
I.4	Remplacement de la ligne 66 kV par la ligne 132 kV simple terne	kml	67	113 799,34	7 624 555,82
	Sous total I				10 194 232,99
II	SITE TAHOUA				
II.1	Transfo 66/20 kV 10 MVA + Accessoires	U	2	322 191,24	644 382,48
II.2	Jeu de barres 66 kV	Ens	1	16 210,58	16 210,58
II.2	Remplacement de la ligne 33 kV par la ligne 66 kV simple terne	kml	30,52	56 899,67	1 736 577,94
	Sous total II				2 397 171
III	POSTE MALBAZA				
III.1	Equipé le second terne de la ligne 132 kV existant entre Takalmawa et poste Malbaza	kml	660	5 072,33	3 347 736,59
	Sous total III				3 347 736,59
	TOTAL GENERAL				15 939 140,58
	TVA (19%)				3 028 436,7102
	TOTAL TTC				18 967 577,29

Remarque : les prix de nos équipements proviennent essentiellement du bordereau du prix en usage à la Nigelec (**Source Fichier Excel Nigelec prix des équipements HTB/HTA**).

Annexe 9: Matrice d'interrelation (Matrice de Léopold)

Phases	Activités sources d'impacts	Composantes environnementales							
		Composantes physiques				Composantes humaines			
		Sol	Air	Eau	Faune	Sécurité et santé	Emploi/revenu et cadre de vie	Paysage	Ambiance sonore
Préparation et construction	Acquisition des terres	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Recrutement de la main d'œuvre et sa présence sur le site des travaux	(-)	NA	NA	NA	NA	(+)	NA	NA
	Préparation des sites et installation des chantiers (pour la construction des postes, des lignes souterraines) et le stockage de matériels et matériaux	(-)	(-)		(-)	(-)	(+)	(-)	(-)
	Exploitations des carrières et des emprunts (pour les graviers et sable)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)
	Mouvement des véhicules et des camions pour l'approvisionnement des chantiers en matériels et matériaux et engins pour les travaux (construction des postes...)	(-)	(-)	NA	NA	(-)	(+)	(-)	(-)
	Travaux de construction des postes (fouilles, béton pour fondation, coulage de béton, construction du bâtiment abritant les équipements du poste, etc.)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+/-)	(-)	(-)
	Montage et pose des équipements du poste de transformation, opération de déroulage des câbles électriques, montage et tirage des câbles électriques, etc.	(-)	NA	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

	Poses des lignes souterraines (fouilles, pose des câbles etc.)	(-)	(-)	NA	NA	(-)	(+)	(-)	(-)
	Nettoyage et remise en état des sites perturbés après les travaux	(+)	(-)	NA	(+)	(-)	(+)	(-)	NA
exploitation	Présence et exploitation des lignes électriques et des postes	NA	NA	(-)	(-)	(-)	(+)	NA	(-)
	Travaux d'entretien (infrastructures et emprises)	(-)	(-)	NA	(-)	(-)	(+)	NA	(-)

Légende : - : impact négatif + : impact positif NA : non applicable

Annexe 10: Récapitulatif des impacts et mesures

Phases	Eléments pouvant être impactés	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et/ou de bonification des impacts
Préparation et construction	Sol	Modification de la structure du sol et exposition à l'érosion hydrique	Remise en état des sites perturbés (emprises, emprunts et carrières ...) après les travaux
		Pollution par les déchets solides et liquides	Limitation autant que possible de la circulation des véhicules, camions et engins aux routes existantes
	Air	Perturbation de la qualité de l'air par les poussières et les gaz d'échappements des véhicules	Maintien de la machinerie en bon état de fonctionnement au cours des travaux
	Eau	Pollution par les déchets solides et liquides	Utilisation de la machinerie à partir de la terre ferme de façon à minimiser la perturbation des eaux
	Faune	– Destruction des habitats de la faune (sol et végétations) – Perturbation des habitats de la faune	Respect des zones sensibles au cours des travaux
			Information et sensibilisation des travailleurs sur l'importance de la faune et la nécessité de préserver son habitat
	Sécurité et santé		Formation et sensibilisation en matière de sécurité et santé au travail
			Dotation des travailleurs en équipement de protection

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

		Risques d'accidents et des blessures	individuelle (EPI) adéquat et leur port obligatoire
			Mise en place des panneaux d'indication et des consignes de sécurité ainsi que la délimitation des chantiers (au niveau des postes) par le ruban de sécurit
	Ambiance sonore	Modification de l'ambiance sonore	Suivi de l'ambiance sonore au cours des travaux
			Maintien des équipements et machinerie en bon état de fonctionnement au cours des travaux
	Emploi, revenu et cadre de vie	Création d'emploi, réduction du chômage et amélioration des revenus et des cadres de vie	Priorisation de la population locale lors du recrutement de la main d'œuvre locale non qualifiée
			Priorisation des entreprises locales dans l'exécution de certaines prestations
		Perturbation des activités commerciales et baisse des revenus pour les personnes concernés	Indemnisation des propriétaires des infrastructures et commerces qui seront affectés le démarrage des travaux
	Paysage	Perturbation de la qualité visuelle du paysage	Remise en état des sites perturbés au cours des travaux
Exploitation	Sol	Perturbation de la structure du sol	Remise en état des dites perturbés au cours des travaux d'entretien des installations et des emprises
		Contamination par les déchets solides et liquides	Elaboration et mise en œuvre d'un plan de gestion des déchets solides et liquides
	Air	Modification sensible de la qualité de l'air	Maintien des véhicules en bon état de fonctionnement
	Eau	Contamination par les déchets solides et liquides	Elaboration et mise en œuvre d'un plan de gestion des

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

			déchets solides et liquides
	Faune	Amincissement et destruction de l'habitat (sol et végétations)	Réalisation des plantations de compensation au niveau des zones concernées par le projet
		Risques de collision et d'électrocution	Mise en place d'un système d'avertissement visuel constitué de spirales blanches ou rouges pour éviter les collisions avec l'avifaune
	Sécurité et santé	Risques d'accidents et des blessures	Mise en place d'équipements de protection individuelle (tenue de sécurité, bottes, casques, gants)
			Mise en place des grillages et des panneaux signalisant le danger au niveau des postes pour informer et prévenir certains accidents
		Exposition aux champs électromagnétiques et aux nuisances pour les ménages à proximité des postes et des lignes électriques	Interdiction strict des lieux habités et autres établissements communs et commerciaux dans l'emprise du tracé afin de minimiser l'exposition aux champs magnétiques
	Ambiance sonore	Modification de l'ambiance sonore liée aux travaux d'entretien et à la présence et l'exploitation des installations (lignes électriques, postes...)	Maintien des équipements et machinerie en bon état de fonctionnement au cours des travaux
	Emploi, revenu et cadre de vie	Création d'emplois liée aux multiples opportunités	Organisation de campagne de branchement promotionnel afin de permettre aux plus vulnérables
		Promotion des activités génératrices de revenus et	

Étude technique de renforcement des postes sources de la région de Tahoua.

		amélioration des conditions de vie des personnes concernées	d'accéder à l'électricité
--	--	---	---------------------------