



REEMPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULES N°2 AU POSTE 90/15 KV DE BRGM

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE
OPTION : ELECTRICITE

Présenté par

Jimmy Steve YONZOUA KEUKAM

Travaux dirigés par : M. Justin BASSOLE

Enseignant au département Génie Electrique, Energétique et Industriel
2iE

Maître de stage : Mme Armelle Sarah MINKOUMA NANA
Responsable Maintenance poste à la direction régionale du transport du centre
Eneo Cameroon

Promotion [2016/2017]

Remerciements :

Ce document vient couronner cinq années d'études au sein de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE. Nous disons merci au Directeur Général d'ENEO Cameroon, qui nous a ouvert ses portes pour ce stage de fin d'études.

A tout le corps professoral de 2iE qui a mis sa pierre à l'édifice pour faire de nous des ingénieurs dignes de ce nom.

A Mme MINKOUMA NANA Armelle Sarah, notre maître de stage, qui s'est montrée ouverte à nos questions en ce qui concerne le thème de stage et la vie professionnelle.

A M. Justin BASSOLE, notre encadreur, qui s'est montré disponible pour le perfectionnement du présent mémoire.

Nous disons enfin merci à tout le personnel de notre unité d'accueil, la Division Régionale du Transport du Centre, avec qui nous avons passés des moments édifiants intellectuellement et humainement.

Dédicaces :

Je dédie ce document à mes précieux parents, qui ont tout donné dans la mesure de leurs possibilités pour m'accompagner dans ma formation.

Résumé :

Ce document traite du remplacement de toute la rame de cellules n°2 du poste 90/15 kV de BRGM par une rame de cellules neuves. La rame de cellules à remplacer, constituée principalement de 12 cellules 15kV, a plus de 30 ans d'âge, ce qui lui impute certains dysfonctionnements à savoir des résistances de contact des disjoncteurs au-dessus des valeurs moyennes admises, des rails d'embrochages endommagés et des fiches Kheops en mauvais état ; ceci est couronné par la difficulté de maintenance car les pièces de rechanges sont difficiles à trouver.

La nouvelle rame, d'une technologie plus récente et plus performante, assurera un service de qualité et facilitera la maintenance.

A cet effet, un cahier de charge contenant les prescriptions techniques de la nouvelle rame a été rédigé, suivi du calcul des courants de court-circuit pour le paramétrage des protections. A l'aide d'un outil d'aide à la décision (fichier Excel conçu par l'entreprise), le choix du soumissionnaire répondant le mieux aux exigences a été réalisé, et cela pour un montant total de 267 000 000 FCFA.

Le projet étant actuellement à la phase de fabrication des cellules en usine, ces dernières ne seront disponibles que d'ici le mois de Juin 2018 selon le planning de réalisation fournie par le soumissionnaire.

Mots Clés :

-
- 1 – Rame de cellules**
 - 2 – Prescriptions techniques**
 - 3 – Calcul**
 - 4 – Paramétrage**
 - 5 – Outil d'aide à la décision**

Abstract :

This document deals with the replacement of all BRGM 90/15 kV number 2 cell train set with a new cell train. The ream of cells to replace, consisting mainly of twelve 15kV cells, is more than 30 years old, which imputes to it certain malfunctions such as the contact resistances of the circuit-breakers above the accepted average values, the damaged rails of plug-ins and Kheops cards in bad condition; this is crowned by the difficulty of maintenance because the spare parts are difficult to find.

The new train, of a newer and more efficient technology, will provide a quality service and facilitate maintenance.

For this purpose, a specification containing the technical requirements of the new train has been written, followed by the calculation of the short-circuit current for the parameterization of the protections. Using a decision support tool (Excel file designed by the company), the choice of the best suited bidder to the requirements was made, and this for a total amount of FCFA 267 000 000.

As the project is currently in the factory cell production phase, the latter will only be available by June 2018 according to the production schedule provided by the bidder.

Key words:

- 1 – Cell train**
- 2 – Technical requirement**
- 3 – Calculation**
- 4 – parameterization**
- 5 – Decision support tool**

Liste des abréviations :

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

A : Ampère

ACTIS : Fond d'investissements britanniques [1]

AES: American Electronic Service [2]

BRGM: Bureau des recherches géologiques et minières [3]

BT : Basse Tension

CA : Courant Alternatif

CC : Courant Continu

DRTC : Division Régional du Transport du Centre

END: Energie Non Distribuée

ENEO Cameroon: Energy of Cameroon

F CFA : Franc de la Communauté Financière Africaine

HSE : Hygiène Sécurité Environnement

HTA : Haute Tension A

HTB : Haute Tension B

kA : kilo Ampère

kV: kilo Volt

kW: kilo Watt

MVA : Méga Volt Ampère

MW : Méga Watt

SONEL : Société National d'Electricité

V : Volt

VA : Volt Ampère

Table des matières

Introduction :	1
Chapitre 1. Généralités :	1
1.1 Présentation de la structure d'accueil :	1
1.1.1 Quelques mots clés :	2
1.1.2 Présentation de l'unité d'accueil :	2
1.1.3 Présentation du poste de BRGM :	2
1.2 Méthode :	4
Chapitre 2. Contexte et Problématique :	4
Chapitre 3. Cahier de charge de la nouvelle rame de cellules :	6
3.1 Description des prestations :	6
3.2 Spécifications techniques des cellules :	7
3.2.1 Disjoncteur :	7
3.2.2 Relais de protection :	11
3.2.3 Transformateur de courant :	13
3.2.4 Transformateur de tension :	14
Chapitre 4. Calcul des courants à implémenter dans les relais de protection :	15
4.1 Types de défauts :	15
4.2 Principe de calcul du courant de court-circuit :	15
4.3 Calcul du courant de court-circuit triphasé (I_{cc3}):	16
4.4 Calcul du courant de court-circuit biphasé (I_{cc2}) :	20
4.5 Calcul de courant de court-circuit homopolaire (I_0) :	20
4.6 Protection ampèremétrique contre les défauts entre phases :	21
4.6.1 Principe :	21
4.6.2 Réglage :	21
4.7 Protection contre les défauts phase terre :	22
4.8 Résultats des calculs :	23
Chapitre 5. Lancement de l'appel d'offre :	27
Chapitre 6. Analyse des propositions reçues :	28
6.1 Présentation de l'outil d'aide à la décision :	28

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

6.1.1	La maturité technique :	28
6.1.2	La gestion du projet :	29
6.1.3	La maitrise qualité :	30
6.2	Résultat :	30
	<i>Conclusion et perspectives :</i>	<i>31</i>
	<i>Références.....</i>	<i>32</i>
	<i>Annexe</i>	<i>i</i>

Liste des tableaux :

Tableau 1: problèmes causés par les cellules de la rame n°2 du poste de BRGM	5
Tableau 2: Spécifications techniques des disjoncteurs.....	9
Tableau 3: Répartition des fonctions de protection en fonction de chaque cellule	13
Tableau 4: Caractéristiques du transformateur de courant	14
Tableau 5: Caractéristiques du transformateur de tension	14
Tableau 6: caractéristique des transformateurs	23
Tableau 7:caractéristiques des câbles.....	24
Tableau 8: caractéristiques du réseau	24
Tableau 9: Valeur de R et X pour les différentes lignes mises en jeu.....	24
Tableau 10: Récapitulatifs des résultats après calcul	26
Tableau 12: valeur des courants suivant chaque seuil.....	26

Liste des figures :

Figure 1: Schéma unifilaire du poste de BRGM	3
Figure 2: disjoncteur HTA avec fiche Kheops	5
Figure 3: rame de cellules n°2 du poste 90/15/30kV de BRGM.....	7
Figure 4: Relais numérique Sepam [5].....	12
Figure 5: Différents types de défauts.....	15
Figure 6: calcul de Icc au bout de la liaison protégée [7].....	16
Figure 7: schéma équivalent vu du primaire [8].....	17
Figure 8: schéma équivalent vu du secondaire [8]	17
Figure 9: Schéma équivalent du transformateur à 3 enroulement [8]	17
Figure 10: Schéma équivalent du groupe [8]	18
Figure 11: réseau [8].....	18
Figure 12: Schéma équivalent du réseau [8]	19
Figure 13: schéma unifilaire d'un réseau quelconque étudié [8]	19
Figure 14: schéma électrique monophasé [8].....	19
Figure 15: schéma électrique monophasé avec impédances au même niveau de tension [8]	20
Figure 16: Schéma unifilaire du poste de BRGM pour calcul des courants.....	23
Figure 17: Schéma unifilaire de la partie concerné.....	24
Figure 18: Schéma monophasé par modélisation.....	25
Figure 19: Schéma équivalent ramené au même niveau de tension.....	25
Figure 20: Schéma équivalent pour application de la loi des mailles	25

Introduction :

Le poste source 90/15 kV de BRGM est le tout premier à être créé dans la ville de Yaoundé. Il a donc plus de 30 ans d'âge. Constitué principalement d'équipements électriques à savoir transformateurs, jeux de barres et cellules disjoncteur pour ne citer que ceux-là, ces derniers font l'objet de maintenance récurrente afin d'en assurer le bon fonctionnement.

Dans cette optique, les rames de cellules n°1 et n°2 du poste doivent être remplacées à cause de leur vétusté qui cause d'énormes problèmes d'exploitation.

Le thème de ce mémoire a donc été formulé dans l'optique de poser une pierre à l'édifice en s'axant sur le remplacement de la rame de cellule n°2 du poste 90/15 kV de BRGM qui intervient bien avant le remplacement de la rame n°1.

Il sera question dans le présent document, de justifier les raisons de changement de la rame susmentionnée, de rédiger un cahier de charge pour la nouvelle rame à mettre en place, d'étudier les offres des différents soumissionnaires après lancement de l'appel d'offre et enfin de calculer les courants à implémenter dans les protections des nouvelles cellules

Chapitre 1. Généralités :

1.1 Présentation de la structure d'accueil :

Le 23 mai 2014, le gouvernement Camerounais signe un accord qui octroie à ACTIS 56% des parts d'AES- SONEL [4].

Le nouveau nom de l'entreprise est dévoilé au cours d'une cérémonie au Hilton Hôtel de Yaoundé, présidée par l'ex Ministre de l'Eau et de l'Energie, le Dr Basile Atangana KOUNA. C'est l'ère Eneo Cameroon S.A (Eneo) qui commence dès lors [4].

Force motrice du secteur électrique et vecteur de croissance majeur au Cameroun, Eneo Cameroon a pour mission de fournir une énergie fiable et un service de qualité, tout en se positionnant comme un modèle de gouvernance en Afrique. En s'appuyant sur les valeurs d'intégrité, de cohésion, de respect et d'engagement, depuis 2014, l'entreprise a branché en toute sécurité 315000 nouvelles familles [4] et industries au réseau électrique. A fin juin 2017, les énergies non fournies étaient en baisse de 31% par rapport à la même période en 2016 [4]. Eneo Cameroon est une société de partenariat public-privé qui produit et distribue l'énergie au Cameroun.

1.1.1 Quelques mots clés :

- ✓ 3766 employés au 15 Octobre 2017 [4]
- ✓ 1 165 459 clients au 30 Septembre 2017 [4]
- ✓ 300 808 673 833 FCFA de chiffre d'affaire au 31 Décembre 2017 [4]

1.1.2 Présentation de l'unité d'accueil :

Dans le cadre de notre stage, l'unité d'accueil a été la division régionale du transport du centre qui est situé dans la ville de Yaoundé et plus précisément au quartier Melen. Cette division est compartimentée en trois services à savoir :

- ✓ Le service exploitation des postes
- ✓ Le service maintenance des postes
- ✓ Le service maintenance des lignes HTB

Cette division assure donc l'exploitation, la maintenance de tous les postes de la région du centre et enfin la maintenance des lignes 225 kV, 90 kV de la région du centre.

En ce qui concerne les postes dans la région du centre, nous avons un poste d'interconnexion à savoir le poste 225/90/15 kV d'Oyom Abang et les postes sources de distribution à savoir :

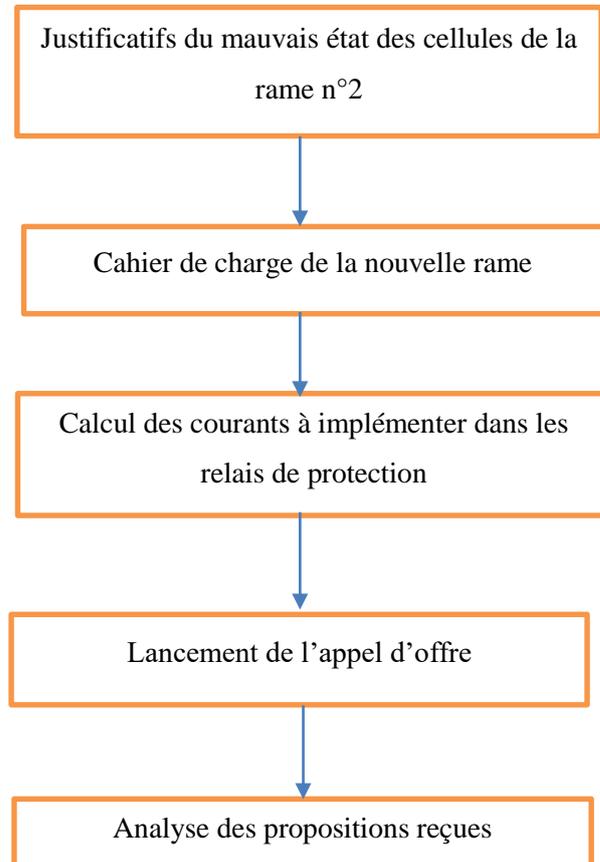
- ✓ Le poste 90/15 kV de BRGM
- ✓ Le poste 90/15 kV de Ngousso
- ✓ Le poste 90/15 kV de Kondengui
- ✓ Le poste 90/15 kV d'Ahala
- ✓ Le poste 90/15 kV Nsimalen
- ✓ Le poste 90/30 kV de Mbalmayo
- ✓ Le poste 90/30 kV de Ndjock-Nkong

1.1.3 Présentation du poste de BRGM :

Le poste source de distribution 90/15 kV du BRGM est situé dans la ville de Yaoundé et plus précisément dans la même enceinte que la DRTC. Ce poste est alimenté par 2 arrivées 90 kV provenant du poste d'Oyom Abang. Ces deux arrivées alimentent le jeu de barres 90 kV au sorti du quel est connecté 2 transformateurs. Le transformateur n°1 90/15 kV de 50 MVA qui alimente à son tour en 15 kV la rame n°1 composée de 13 cellules HTA et le transformateur n°2 90/15 kV de 36 MVA qui alimente à son tour et en 15 kV la rame n°2 composé de 11 cellules HTA. A la suite, nous avons une cellule 15 kV de la rame n°2 qui alimente un transformateur élévateur 15/30 kV ; cela dans le but d'atteindre quelques localités éloignées du poste de BRGM. L'exploitation de ce poste est assurée par des agents qui selon un planning bien précis effectue tour à tour leur période de quart.

1.2 Méthode :

L'approche méthodologique élaboré pour mener à bien ce travail est présenté dans l'organigramme suivant :



Chapitre 2. Contexte et Problématique :

Les 24 cellules du poste 90/15KV de BRGM ont plus de 30 ans de fonctionnement. La rame n°2 particulièrement, constitué de 11 cellules, a été victime d'un incident majeur le 21 Mai 2011. En effet, le circuit aval (constitué de câbles souterrains) d'un des départs a pris feu et ce feu s'est propagé sur toute la rame jusqu'au transformateur connecté à cette dernière. Suite à cet incident, toute la rame n°2 a été déposée pour être remplacée par des cellules de même type et pratiquement de même âge récupéré au poste 90/15kV de Makepe à Douala et réhabilitées pour être installées au BRGM.

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

Les cellules récupérées au poste de Makepe créent cependant d'énormes problèmes d'exploitation due à leur vétusté. Vu l'âge avancée des cellules, il est difficile de trouver des pièces de rechange pour assurer la maintenance de ces cellules.

Afin de pouvoir desceller de façon précise les causes du remplacement de la rame de cellules n°2, nous nous sommes approchés de quelques exploitants du poste afin de pouvoir les questionner. Nous avons fait ce choix à cause de leur proximité quotidienne avec cet appareillage.

Les éléments ressortants de ces entretiens sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 1: problèmes causés par les cellules de la rame n°2 du poste de BRGM

Situations	Conséquences
Les résistances de contact des disjoncteurs des cellules départ D18 et A12 Centrale Mefou sont au-dessus des valeurs maximales admises (200 mΩ)	Risque d'explosion lors de l'ouverture ou fermeture du disjoncteur pouvant entraîner la mort des exploitants se trouvant à proximité. En effet, le contact étant usé, l'intensité de l'arc électrique lors de l'ouverture ou la fermeture du disjoncteur augmente considérablement
La fiche Kheops (Fiche par laquelle les auxiliaires BT du disjoncteur sont alimentés en 127V CC) du disjoncteur de la cellule Poste Elévateur est endommagé	La conséquence est que si la protection donne un ordre d'ouverture au disjoncteur et que ce dernier n'est pas alimenté en courant continu, ce dernier ne fonctionnera pas et le défaut ne sera pas éliminé
Les rails d'embrochage des cellules arrivés transfo et post-élévateur sont endommagés, rendant ainsi l'embrochage très difficile	Le temps de remise en service des cellules après consignation est élevé, entraînant une augmentation de l'énergie non distribuée, pénalisant ainsi l'entreprise et les consommateurs



Fiche Kheops

Figure 2: disjoncteur HTA avec fiche Kheops
Jimmy Steve YONZOUA KEUKAM

Au vu de ce qui précède, ENEO a décidé de remplacer toute la rame de cellule n°2 du poste de BRGM par une rame de cellule neuve.

Chapitre 3. Cahier de charge de la nouvelle rame de cellules :

3.1 Description des prestations :

Les prestations concernent essentiellement :

- ✓ Les études et la confection de tous les plans et schémas développés
- ✓ La fourniture, le transport jusqu'à pieds d'œuvre et l'installation d'une nouvelle rame de 12 cellules disjoncteurs constitués ainsi qu'il suit :
 - Une cellule de couplage Rame n°1 et Rame n°2 de (2500 A)
 - Une cellule TP 15 kV, $15\ 000/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}$ V
 - Une cellule Arrivée transformateur 90/15kV 50 MVA n°2 de 2500 A
 - Une cellule départ D12 Messa Répartition de 630A
 - Une cellule départ TSA/BPN
 - Une cellule départ A12 Mefou de 630A
 - Une cellule départ D110 Biyemassi de 630A
 - Une cellule départ D16 Hôpital Central de 630A
 - Une cellule départ D14 Messa-SNEC de 630A
 - Une cellule départ poste élévateur 15/30kV 5 MVA de 630A
 - Une cellule départ D18 actuelle de 630A
 - Une cellule départ condensateur 2x5MVAR de 1250A.
- ✓ La dépose de la rame n°2 existante constitué comme suit :
 - La cellule de couplage Rame N°1 et Rame N°2 intégrant le transformateur de potentiel barre N°2 (2500 A)
 - La cellule Arrivée transformateur 90/15kV 36 MVA n°2 de 1250 A
 - La cellule départ D12 Messa Répartition de 630A
 - La cellule départ TSA/BPN
 - Une cellule sans disjoncteur départ ex A12 Mefou dont les câbles sont actuellement dos à dos avec l'actuelle cellule A12
 - La cellule départ D110 Biyemassi de 630A
 - La cellule départ D16 Hôpital Central de 630A
 - La cellule départ D14 Messa-SNEC de 630A
 - La cellule départ poste élévateur 15/30kV 5 MVA de 630A
 - La cellule départ A12 actuelle de 630A
 - La cellule départ D18 poste 60 de 630A
 - La cellule départ condensateur 15kV 2x5MVAR



Figure 3: rame de cellules n°2 du poste 90/15/30kV de BRGM

- ✓ Les raccordements MT et BT de l'ensemble.

3.2 Spécifications techniques des cellules :

Dans cette partie, nous nous focaliserons sur les spécifications techniques exigées des éléments des cellules à savoir :

Le disjoncteur, le relais de protection, le transformateur de courant, et le transformateur de potentiel.

3.2.1 Disjoncteur :

Le disjoncteur est un appareil qui assure la commande et la protection d'un réseau. Il est capable d'établir, de supporter et d'interrompre les courants de service ainsi que les courants de court-circuit.

Les caractéristiques du disjoncteur sont :

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

- ✓ Tension assignée : La tension assignée est la valeur efficace maximale de la tension que le matériel peut supporter en service normal. Elle est toujours supérieure à la tension de service.
- ✓ Tension de service : c'est la tension imposée aux bornes de l'appareillage
- ✓ La tenue à l'onde de choc : c'est la valeur crête d'une tension de choc, de forme et de polarité prescrite, que le matériel est susceptible de supporter sans claquage, dans les conditions d'essai spécifiée, et à laquelle on se réfère pour les valeurs de distance d'isolement
- ✓ La tenue à la fréquence industrielle pendant une minute : surtensions d'origines internes
- ✓ Courant de courte durée admissible : C'est la valeur normalisée efficace du courant de court-circuit interne maximale admissible sur un réseau pendant 1 ou 3 secondes
- ✓ Pouvoir de fermeture : Le pouvoir de fermeture est la valeur maximale qu'un disjoncteur est capable d'établir et de maintenir sur une installation en court-circuit. Il doit être supérieur ou égal à la valeur crête du courant de courte durée assignée
- ✓ Durée du court-circuit assignée : c'est le temps maximal que doit durer le court-circuit, au-delà de celui-ci, le disjoncteur subit des dommages
- ✓ Pouvoir de coupure : C'est la capacité qu'a le disjoncteur à interrompre un courant de court-circuit sans s'endommager ; il correspond à la valeur normalisée efficace du courant de court-circuit maximale admissible sur un réseau pendant 1 ou 3 secondes (courant de courte durée admissible).
- ✓ Tension assignée d'alimentation des dispositifs d'ouverture, de fermeture et des circuits auxiliaires : il s'agit ici de la tension des moteurs d'armement, des relais de protection, de signalisation, de commande, du chauffage des cellules et de l'éclairage des caissons BT
- ✓ Courant assigné en service continu : c'est la valeur efficace maximale du courant qu'un appareillage peut supporter en service normal
- ✓ Type de coupure : qui représente le gaz dans lequel est réalisé l'ouverture ou la fermeture du circuit.

Le tableau suivant donne les valeurs des éléments susmentionnés :

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

Tableau 2: Spécifications techniques des disjoncteurs

Cellules / type de coupure	Disjoncteur									Tension auxiliaires	
	Tension assignée Ur (kV)	Tension de service U (kV)	Tenue à l'onde de choc Up (kV)	Tension à la fréquence industrielle pendant 1 minute Ud (kV)	courant de courte durée admissible ou pouvoir de coupure Icc (kA)	Pouvoir de fermeture Idyn (kA crête)	Durée de court-circuit assigné t (s)	Fréquence F (Hz)	Courant assigné en service continu I (A)	CC (V)	CA (V)
couplage rame 1 et 2 / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	2500	127	380/220
TP 15 KV / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
Arrivée transfo / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	2500	127	380/220
départ D12 Messa / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
départ TSA/BPN / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
départ A12 Mefou / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

départ D110 Biyemassi / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
départ D16 hôpital central / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
départ D14 Messa-SNEC / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
départ poste élévateur 15/30 KV / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
départ D18 actuelle / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	630	127	380/220
départ condensateur 2*5MVAR / SF6	17,5kV	15	≥95	≥38	31,5	80	1	50	1250	127	380/220

La tension de service est imposée par le transformateur abaisseur 90/15 kV. Suivant le tableau série 1 des normes CEI 60071 et 60298, la tension assignée correspondante à une tension de service de 15kV est de 17,5kV.

La tenue à l'onde de choc et la tenue à la fréquence industrielle pendant une minute dépendent de la tension assignée suivant le tableau série 1 des normes CEI 60 071 et 60 298.

L'intensité assignée de la cellule arrivée transformateur est passé de 1250A à 2500A à cause du nouveau transformateur qui sera installé avec une puissance de 50MVA en remplacement de l'ancien qui avait une puissance de 36MVA.

L'intensité assigné des autres cellules est resté à une valeur de 630A à cause du réseau aval qui a déjà été dimensionné pour ladite intensité ; augmenter l'ampérage reviendrait à changer tout le réseau aval ce qui nécessiterait d'énormes dépenses.

Le courant de court-circuit I_{cc} est passé de 25kA à 31,5kA afin augmenter la capacité des disjoncteurs en ce qui concerne le pouvoir de coupure parce que le fabricant a arrêté de fabriquer des cellules de 25kA.

I_{cc} étant la valeur maximale du courant de court-circuit assigné pour la tension assignée du disjoncteur, La valeur de crête du courant de courte durée admissible (pouvoir de fermeture) est égale à $2,5 \times I_{cc}$ pour 50 Hz suivant la norme CEI d'où le pouvoir de fermeture évalué à 80kA crête.

Le gaz SF₆ (hexafluorure de carbone) est un excellent isolant (possédant une excellente rigidité diélectrique), non inflammable, stable chimiquement, nécessite très peu d'entretien (une fois tous les 4 à 10 ans) ; est préférable à la coupure dans le vide à cause du fait qu'il y a possibilité de mesurer la pression dans la chambre de coupure en permanence. Dans le cas où il y a fuite, une alarme prévue pour cela s'active et le disjoncteur s'ouvre afin qu'un appoint soit fait tandis que pour les disjoncteurs à coupure dans le vide, rien ne nous permet de mesurer le vide à l'intérieur de la chambre de coupure donc en cas de fuite , on ne saurait pas et sa pourrait causer une explosion.

3.2.2 Relais de protection :

Le système de protection doit être sélectif en fonction des équipements connectés :

- ✓ Pour garantir la sécurité du personnel et des équipements ;
- ✓ Pour assurer une protection suffisante contre les dommages de l'équipement, qui peuvent résulter des courts-circuits internes et externes, et ainsi que des décharges atmosphériques possibles ;

Pour assurer autant que possible la continuité de fonctionnement des cellules HTA qui ne sont pas concernés par le défaut

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

✓ .

De préférence, nous exigeons les relais de protection de la marque Schneider et plus précisément de la gamme SEPAM parce que leur utilisation est maîtrisée par les exploitants et les maintenanciers du poste de BRGM. Ils devront être numérique, permettre l'utilisation des boîtes d'essais et être interchangeables.

Les relais de protections devront posséder les fonctions suivantes :

- ✓ Fonctions de protection intégrées
- ✓ Fonctions de mesure intégrées
- ✓ Fonctions d'auto diagnostic intégrées
- ✓ Fonctions d'automatisme intégrées
- ✓ Protocole de communication IEC61850 intégré
- ✓ Protocole de communication Modbus intégré
- ✓ Protocole de communication IEC103 intégré
- ✓ Relais Multi courbes
- ✓ Fonction de verrouillage (86)



Figure 4: Relais numérique Sepam [5]

Le tableau suivant donne la répartition des fonctions de protection pour chaque cellule :

cellules	Fonctions
couplage rame 1 et 2	50BF ; 86
TP 15 kV	27 ; 59 ; 81R ; 81L ; 81H ; 86
Arrivée transfo	50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 86
départ D12 Messa	46BC ; 50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 79 ; 81L ; 81H ; 81R ; 86
départ TSA/BPN	50/51 ; 50BF ; 50N/51N ; 64N ; 67 ; 67N ; 86 ;
départ A12 Mefou	46BC ; 50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 79 ; 81L ; 81H ; 81R ; 86
départ D110 Biyemassi	46BC ; 50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 79 ; 81L ; 81H ; 81R ; 86
départ D16 hôpital central	46BC ; 50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 79 ; 81L ; 81H ; 81R ; 86
départ D14 Messa-SNEC	46BC ; 50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 79 ; 81L ; 81H ; 81R ; 86
départ poste élévateur 15/30kV	46BC ; 50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 79 ; 81L ; 81H ; 81R ; 86
départ D18 actuelle	46BC ; 50BF ; 50/51 ; 50N/51N ; 79 ; 81L ; 81H ; 81R ; 86
départ condensateur 2*5MVAR	27 ; 50BF ; 51C ; 59 ; 86

Tableau 3: Répartition des fonctions de protection en fonction de chaque cellule

La norme Ansi C37.2 définit les codes de façon suivante :

- ✓ 27 : Protection pour contrôle d'une baisse de tension
- ✓ 38 : Protection contre les échauffements anormaux des paliers des machines tournantes
- ✓ 46BC : protection contre la rupture des conducteurs
- ✓ 49T : Protection contre les échauffements anormaux des enroulements des machines
- ✓ 50 : protection triphasé contre les court s-circuit entre phase
- ✓ 50BF : protection de contrôle de la non-ouverture du disjoncteur après ordre de déclenchement
- ✓ 50N/51N : protection contre les défauts à la terre ; courant résiduel calculé ou mesuré par 3 TC
- ✓ 51 : protection triphasé contre les surcharges et les courts-circuits entre phase
- ✓ 51C : protection contre les courants de déséquilibre
- ✓ 59 : Protection de contrôle d'une tension trop élevée ou suffisante
- ✓ 59N : Protection de détection de défaut d'isolement
- ✓ 64N : Détection de défauts d'isolement à la terre des enroulements statoriques 67 : protection triphasée contre les courts-circuits selon le sens d'écoulement du courant
- ✓ 67N : Protection contre les défauts à la terre selon le sens d'écoulement du courant
- ✓ 79 : Automatisation de refermeture de disjoncteur après déclenchement sur défaut fugitif de ligne
- ✓ 81H : Protection contre les fréquences anormalement élevées
- ✓ 81L : Protection contre les fréquences anormalement basses
- ✓ 81R : Protection de découplage rapide entre deux parties de réseau
- ✓ 86 : relais de verrouillage qui fonctionne électriquement ou qui est remis à zéro électriquement et qui fonctionne pour arrêter ou mettre un équipement hors service en cas de condition anormale

Les relais de protection devront être équipés du protocole de communication afin de communiquer avec les autres équipements à savoir les autres relais déjà présents, les transformateurs de courant et de tension.

3.2.3 Transformateur de courant :

Le transformateur de courant est un équipement électrique qui permet de convertir des courants du réseau en grandeur mesurable, proportionnelles, et en phase avec le signal primaire.

On doit pouvoir y utiliser des boîtes d'essais et ils doivent être interchangeables.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Rapport de transformation : c'est le rapport de l'intensité primaire assignée à l'intensité secondaire assignée
- ✓ Classe de précision : c'est la limite de l'erreur acceptable à courant nominal

Le tableau suivant donne les valeurs de ces caractéristiques :

Tableau 4: Caractéristiques du transformateur de courant

Rapport de transformation Kn	10-20/5-5A ; 400-800/5-5A ; 2000-2500/5-5A	
Nombre de secondaires	2	
Classe de précision	mesure	0,2
	protection	5P10 ou 5P20

Pour une utilisation du transformateur de courant en locale, le courant secondaire doit être de 5A suivant la norme CEI.

Le nombre de secondaire est de 2 puisque l'un est utilisé pour les mesures et l'autre est utilisé pour être raccordé à la protection.

La classe de précision est tirée du tableau donnant les limites de l'erreur de courant et du déphasage suivant la norme CEI 60044-1.

Pour la mesure, la classe 0,2 correspond au comptage tarifaire ; 5P est utilisé dans tous les types de protection (homopolaire, différentielle, d'impédance et ampère métrique) ; et le facteur limite de protections 10 ou 20 pour une saturation suffisamment haute afin de permettre une mesure précise des courants de défaut [6].

3.2.4 Transformateur de tension :

Le transformateur de tension est un équipement électrique permettant de convertir des tensions élevées en grandeurs mesurables, proportionnelles, et en phase avec le signal primaire.

On doit pouvoir y utiliser des boîtes d'essais et ils doivent être interchangeables.

Les caractéristiques de ce dernier sont les suivantes :

- ✓ Rapport de transformation : c'est le rapport de la tension primaire assignée à la tension secondaire assignée
- ✓ Classe de précision d'un : elle définit les limites d'erreurs garanties sur le rapport de transformation et sur la phase dans des conditions spécifiées de puissance et de tension

Le tableau suivant donne les valeurs de ces caractéristiques :

Tableau 5: Caractéristiques du transformateur de tension

Rapport de transformation	$15000:\sqrt{3}/100V:\sqrt{3}$
Classe de précision	$\leq 0,2$

Au niveau du rapport de transformation, les tensions sont divisées par racine de 3 parce que le transformateur de tension sera raccordé entre phase et terre.

La classe de précision 0,2 a été choisie suivant la norme CEI 60 186 ; ce qui correspond à un comptage précis.

Chapitre 4. Calcul des courants à implémenter dans les relais de protection :

4.1 Types de défauts :

Il existe plusieurs types de défauts (court-circuit) pouvant affecter une ligne à savoir :

- Les défauts triphasés
- Les défauts biphasés isolés
- Les défauts biphasés terre
- Les défauts homopolaire (phase-terre)

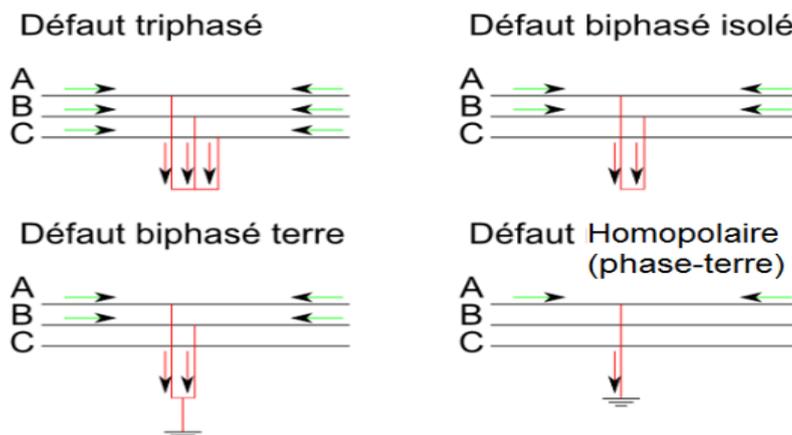


Figure 5: Différents types de défauts

4.2 Principe de calcul du courant de court-circuit :

Pour le réglage des courants à implémenter dans les protections (courant maximum entre phases et courant maximum entre phase et terre), on se focalise sur le courant de court-circuit (I_{cc}) à l'extrémité de la liaison protégée.

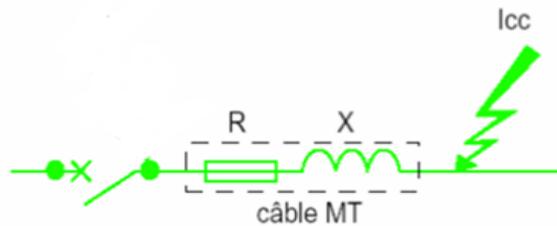


Figure 6: calcul de Icc au bout de la liaison protégée [7]

Vu qu'il y a deux types défauts entre phases, on s'intéressera au courant de court-circuit biphasé puisqu'il est plus petit que le triphasé. De l'autre côté nous utiliserons le courant de court-circuit homopolaire pour le paramétrage des défauts terre.

Dans un premier temps, nous calculerons le courant de court-circuit triphasé, duquel on déduira le courant de court-circuit biphasé ; ensuite on cherchera le courant de court-circuit entre phase et terre.

4.3 Calcul du courant de court-circuit triphasé (Icc3):

Nous allons faire l'étude en monophasé. Pour cela, nous allons réaliser un réseau monophasé en modélisant chaque élément du réseau.

❖ Modélisation des lignes :

La valeur de l'impédance des lignes est donnée par la formule suivante :

$$Zl = Zd \times l \quad (1)$$

- Zl : impédance de la ligne en Ω
- Zd : valeur donnée par un abaque en Ω/km pour chaque type d'ouvrage et dépend de chaque constructeur
- l : longueur de la ligne en km

❖ Transformateur à 2 enroulement :

La valeur de l'impédance directe d'un transformateur à 2 enroulements est donnée par l'essai en court-circuit. Les données caractéristiques du transformateur nous permettent de calculer cette valeur par la relation :

$$Zt = \frac{P}{100} \times \frac{Un^2}{Sn} \quad (2)$$

- Zt : impédance du transformateur en Ω
- Sn : Puissance nominale du transformateur (en MVA)
- Un : Tension nominale du transformateur primaire et secondaire (en kV)
- P : pourcentage de la tension de court-circuit sur la tension nominale (en %)

Schéma équivalent vu du primaire :

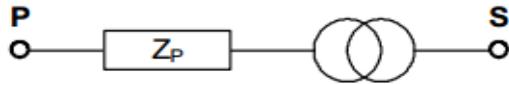


Figure 7: schéma équivalent vu du primaire [8]

Avec :

$$Zp = \frac{P}{100} \times \frac{Upn^2}{Sn} \quad (3)$$

– Upn : Tension nominale primaire en (kV)

Schéma équivalent vu du secondaire :

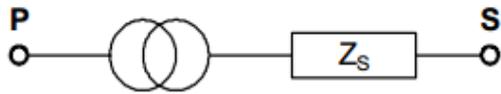


Figure 8: schéma équivalent vu du secondaire [8]

Avec :

$$Zs = \frac{P}{100} \times \frac{Usn^2}{Sn} \quad (4)$$

– Usn : Tension nominale secondaire en (kV)

Formule de transition :

$$Zp = \left(\frac{Upn}{Usn}\right)^2 \times Zs \quad (5)$$

❖ Transformateur à 3 enroulement :

On détermine le schéma direct d'un transformateur à trois enroulements par trois essais en court-circuit. Les données caractéristiques de ce transformateur fournissent les résultats sous forme de trois valeurs de tension de court-circuit en %. De ces valeurs, on peut calculer les trois valeurs Z1, Z2 et Z3. Schéma équivalent :

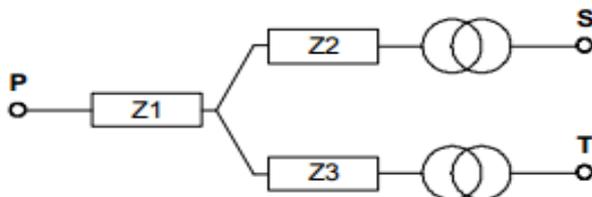


Figure 9: Schéma équivalent du transformateur à 3 enroulement [8]

❖ Modélisation des groupes :

Lors d'un défaut un groupe ne présente pas une impédance fixe. Ceci est dû aux phénomènes transitoires. Le constructeur nous donne 3 impédances caractéristiques à différents moments des phénomènes transitoires.

X_d = réactance synchrone pour régime permanent $t > 1s$

$X'd$ = réactance transitoire pour $10ms < t < 1s$

$X''d$ = réactance subtransitoire pour $t_{0\text{défaut}} < t < 10ms$

Ces valeurs sont exprimées en %, comme dans le cas des transformateurs.

Schéma équivalent :

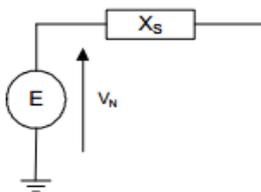


Figure 10: Schéma équivalent du groupe

Avec :

$$X_s = \frac{X'd}{100} \times \frac{U_n^2}{S_n} \quad (6)$$

- $U_n = V_n \times \sqrt{3}$ Tension nominale en kV
- S_n : Puissance nominale en MVA

❖ Modélisation des réseaux :



Figure 11: réseau [8]

Les données caractéristiques du réseau sont :

- I_{cc} ou S_{cc}
- U_n

I_{cc} est le Courant de Court-circuit au poste A, lorsque celui-ci est alimenté uniquement par le réseau

en question. Ce courant dépend du schéma d'exploitation kA

S_{cc} est la puissance de court-circuit en MVA

U_n est la tension nominale du réseau en kV.

Schéma équivalent du réseau :

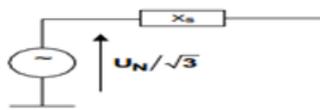


Figure 12: Schéma équivalent du réseau [8]

Avec :

$$X_s = \frac{U_n/\sqrt{3}}{I_{cc}} \quad (7)$$

Ou

$$X_s = \frac{U_n^2}{S_{cc}} \quad (8)$$

❖ Résumé de la méthode du calcul du courant de court-circuit triphasé avec illustration par un exemple :

✓ Réaliser un schéma unifilaire du réseau étudié :

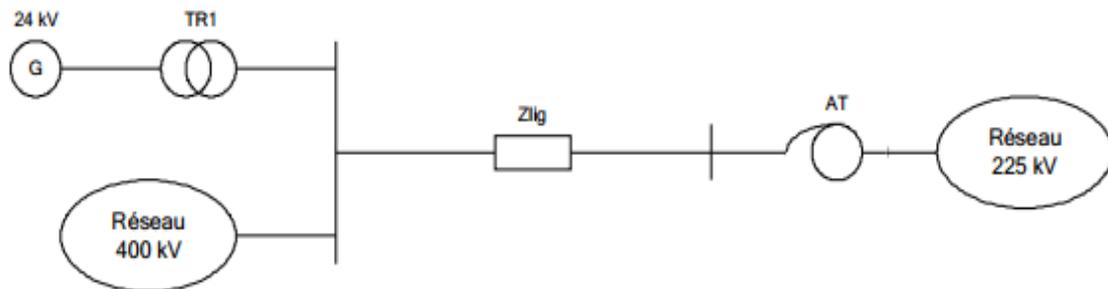


Figure 13: schéma unifilaire d'un réseau quelconque étudié [8]

✓ Réaliser un schéma électrique monophasé en utilisant les données caractéristiques de chaque élément du réseau :

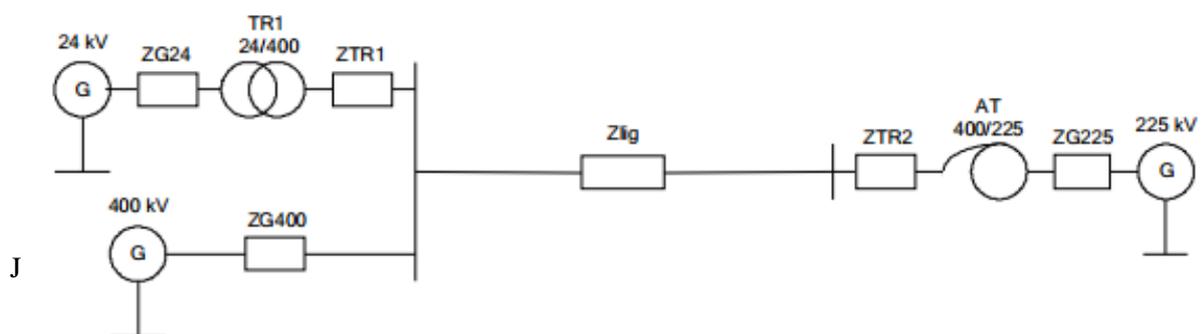


Figure 14: schéma électrique monophasé [8]

- ✓ Réaliser un schéma électrique monophasé avec les impédances calculées au même niveau de tension :
- ✓ Schéma monophasé équivalent du réseau étudié ramené au même niveau de tension

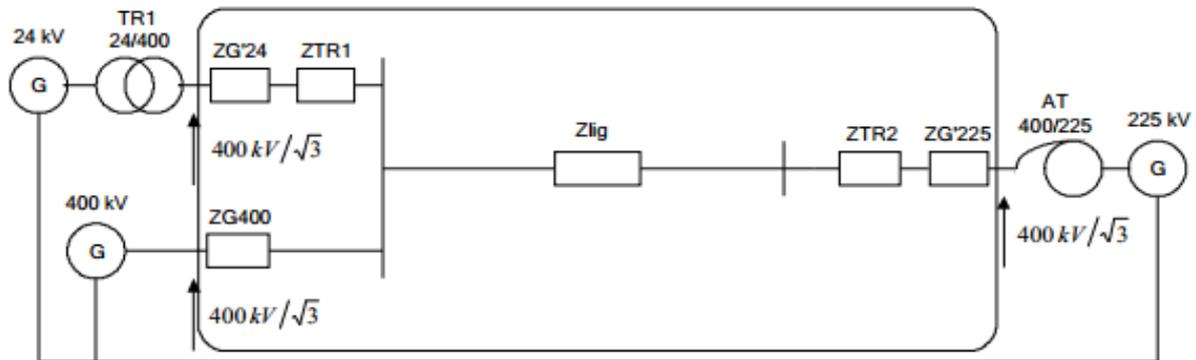


Figure 15: schéma électrique monophasé avec impédances au même niveau de tension [8]

- ✓ Calcul de l'intensité du courant de court-circuit en utilisant les lois générales d'électricité (lois de Kirchhoff, théorèmes ...)

$$I_{cc3} = \frac{1,1 \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)}{Z_{eq}} \quad (9)$$

Avec Z_{eq} impédance équivalente à toutes les impédances parcourues par l' I_{cc3} et U la tension composée entre phase et n le rapport de transformation.

4.4 Calcul du courant de court-circuit biphasé (I_{cc2}) :

Il correspond à un défaut entre deux phases, alimenté sous une tension composée U .

L'intensité I_{cc2} débitée est alors inférieure à celle du défaut triphasé.

$$I_{cc2} = \frac{U}{2Z_{eq}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{cc3} \quad (10)$$

$$I_{cc2} = 0,86 \times I_{cc3}$$

4.5 Calcul de courant de court-circuit homopolaire (I_0) :

La valeur de ce courant dépend de l'impédance Z_n située entre le neutre et la terre.

Chaque élément du réseau est ainsi caractérisé par 3 impédances :

- Z_d directe
- Z_i inverse
- Z_0 homopolaire

La valeur du courant I_0 de défaut phase terre est :

$$I_0 = \frac{U \times \sqrt{3}}{Z_{ep} + Z_d + Z_i + Z_o + 3Z_n}$$

Or $Z_d + Z_i + Z_o \ll 3Z_n$

Donc en pratique, on a :

$$I_0 = \frac{U \times \sqrt{3}}{Z_{eq} + 3Z_n} \quad (11)$$

Avec Z_n l'impédance de mise à la terre de la BPN (bobine de point neutre)

4.6 Protection ampèremétrique contre les défauts entre phases :

4.6.1 Principe :

L'intensité de réglage I_r doit être inférieure à l'intensité I_{ccb} du courant de court-circuit biphasé apparaissant au point du départ pour lequel l'impédance de court-circuit est la plus grande, compte tenu des régimes de secours normaux voire exceptionnels.

4.6.2 Réglage :

Elle est fixée à :

$$I_r < 0,8 I_{cc2}$$

Elle doit être toute fois choisie supérieure à l'intensité du courant admissible dans le départ qui peut dépendre :

- Du calibre de ses transformateurs de courant (I_{ntc}) ou du courant maximal de la ligne ou du câble ($I_{câble}$) ; dans le cas où l'intensité nominale de l'appareil est inférieure à I_{ntc} , c'est elle qu'il faut prendre en compte
- Eventuellement du courant maximal admissible dans les dérivation.

Bien entendu, l'intensité de réglage I_r doit aussi être choisie supérieure à l'intensité du courant de pointe I_p appelée par le départ, compte tenu des régimes de secours prévus. Normalement les conditions suivantes sont réalisées.

$$I_p < I_{câble} < I_{ntc} < 0,8 I_{cc2}$$

I_p : Intensité de courant de pointe

$I_{câble}$: Courant de câble

I_{ntc} : Courant nominale de TC

I_{cc2} : Courant de court-circuit

Par suite des possibilités de surcharge des transformateurs de courant, il est donc

Généralement possible de prendre :

$$I_r < 0,85 I_{cc2}$$

I_r : Intensité de réglage

Ce réglage est valable que les postes soient de type classique (protection B100) ou de palier 1986 (EPAMI). Les relais couramment utilisés (réglages de 4 A à 8A ou de 3 A à 12 A, c'est-à-dire de 0,8 à 1,6 fois ou de 0,6 à 2,4 fois l'intensité nominale secondaire des transformateurs de courant) permettent un réglage correspondant à cette plage.

- Remarque n° 1 :

Il est toujours souhaitable, quel que soit le type de relais, d'utiliser les valeurs extrêmes des plages de réglage.

- Notation :

Dans les réseaux à forte densité industrielle, l'élimination d'un défaut HTB ou HTA, peut provoquer une chute de tension importante. Elle est alors suivie d'une surintensité dans tous les départs. Elle correspond à l'appel de courant des moteurs qui sont restés raccordés au réseau HTA.

On doit donc adopter un réglage aussi voisin que possible de $0,85 I_{cc2}$.

Si les inéquations (1) ne sont pas vérifiées, le matériel (transformateurs de courant, appareillage, câbles et lignes) ou le schéma d'exploitation ne permettent pas d'obtenir un réglage entièrement satisfaisant des protections. Dans ce cas, la valeur à adopter résulte alors d'un compromis entre les risques de déclenchements intempestifs et de destruction des matériels.

L'exploitation conduit à avoir avec un coefficient de sécurité de 1,3 :

- $1,3 I_p$ (régime normal) < I_r .

La sécurité conduit à avoir :

- $I_r < 0,8 I_{cc2}$ (régime normal).

Le compromis doit être établi en fonction des conditions spécifiques locales.

4.7 Protection contre les défauts phase terre :

La détection des défauts à la terre doit s'effectuer au niveau de chaque départ HTA à l'aide d'un relais à maximum de courant résiduel.

Le relais est, en général, monté sur le neutre de l'étoile formée par les secondaires des trois transformateurs de courant du départ.

Le réglage du seuil sera :

$$I_{R0} = K (I_{\eta} + I_0) \quad (18)$$

I_{η} est le courant dû au faux rendement homopolaire des réducteurs de courant

I_0 est la contribution homopolaire maximum de la ligne dorsale et des dériviatives en aval des

protections

$K=1,5$

Le coefficient k tient compte de :

- Du fait rendement homopolaire
- De l'erreur de phase des T.C.
- De l'erreur de rapport des T.C.
- D'un coefficient de sécurité

4.8 Résultats des calculs :

❖ Courant triphasé :

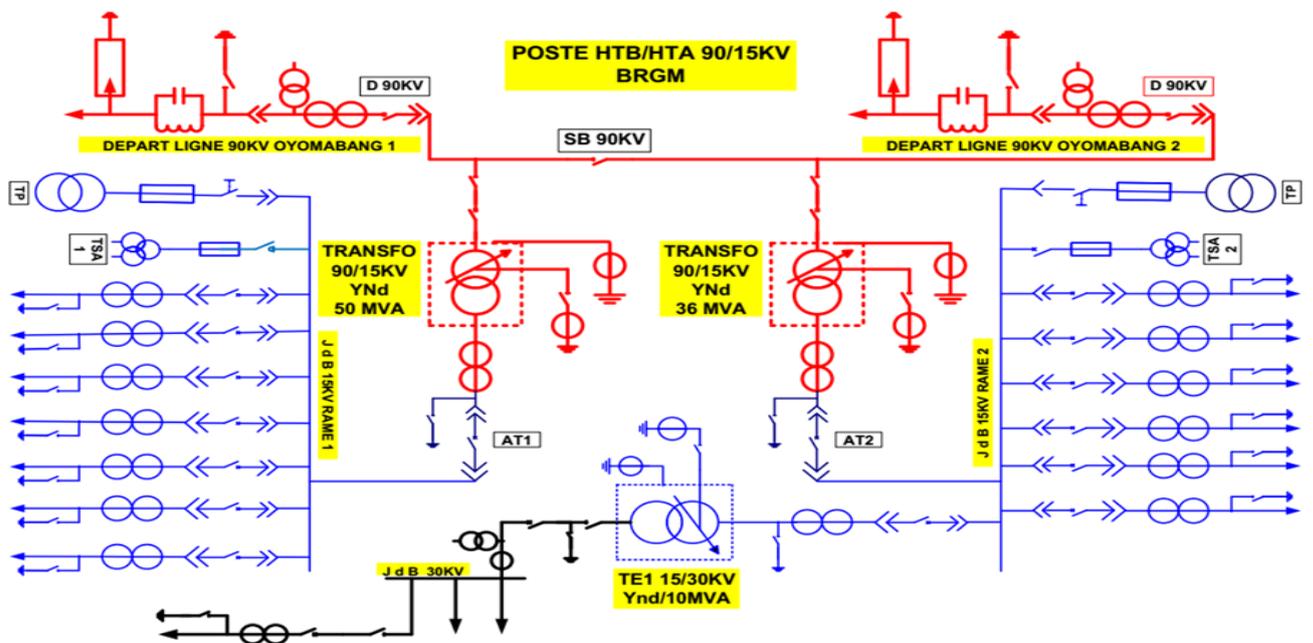


Figure 16: Schéma unifilaire du poste de BRGM pour calcul des courants

Sachant que les protections sont paramétrées à l'aide des courant de court-circuit en bout de ligne, les données en ce qui concerne le réseau de distribution sont indisponibles. C'est la raison pour laquelle nous ne pourrions que calculer les courants de court-circuit au niveau du jeu de barre 15kV de la rame n°2 pour le paramétrage de la cellule Arrivé transformateur.

Les données nécessaires pour le calcul sont données dans les tableaux suivants :

Tableau 6: caractéristique des transformateurs

Nom	U. Pri. (KV)	U. Sec. (KV)	Puissance (MVA)	P (%)	Fabricant / Modèle	Autres infos
-----	--------------	--------------	-----------------	-------	--------------------	--------------

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

T1	90	15	50	12,23	ABB ; IEC 600076	50Hz ; Couplage Ynd11
T2	90	15	36	10,55	ABB ; VIII 350 Y21	50Hz ; Couplage Ynd11

Tableau 7: caractéristiques des câbles

Du lieu	Au lieu	Type conducteur	Longueur (m)	Nature
Travée Transfo 90kV/15kV	Départs 15kV	Alliage-aluminium 3x240 mm ²	≈ 50	Câbles souterrains
Arrivée Poste (Jeu de Barre 90)	Travée Transfo 90kV/15kV	Almelec-Alu. 3x366 mm ²	≈ 10	Câbles Nues Aériens

Tableau 8: caractéristiques du réseau

Noms	Puissance de court-circuit (MVA)	Tension (kV)
Réseau OYO 1	6235,383	90
Réseau OYO 2	6235,385	90

Tableau 9: Valeur de R et X pour les différentes lignes mises en jeu

Du lieu	Au lieu	ρ (Ωmm)	L (mm)	S (mm ²)	$R_L = \rho \frac{L}{S}$ (Ω)	X_L (Ω/km)	X_L (Ω)
Travée Transfo 90kV/15kV	Départs 15kV	$2,8 \times 10^{-4}$	50000	720	0,077	0,10	0,005
Arrivée Poste (Jeu de Barre 90)	Travée Transfo 90/15kV	$3,3 \times 10^{-4}$	10000	1098	0,012	0,4	0,004

Les données étant indisponibles pour le calcul de l'impédance des lignes par la méthode de modélisation monophasé, on a utilisé la méthode classique.

- ✓ Schéma unifilaire de la partie concerné pour le calcul :

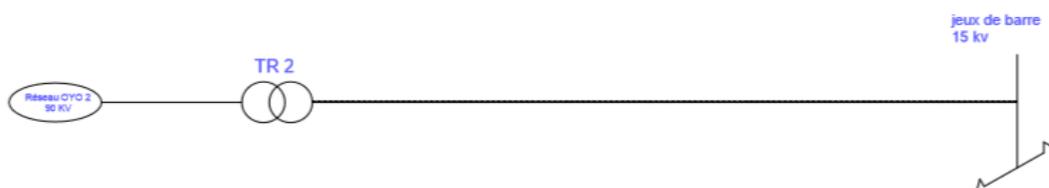


Figure 17: Schéma unifilaire de la partie concerné

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

- ✓ Schéma électrique monophasé en utilisant les données caractéristiques de chaque élément du réseau :

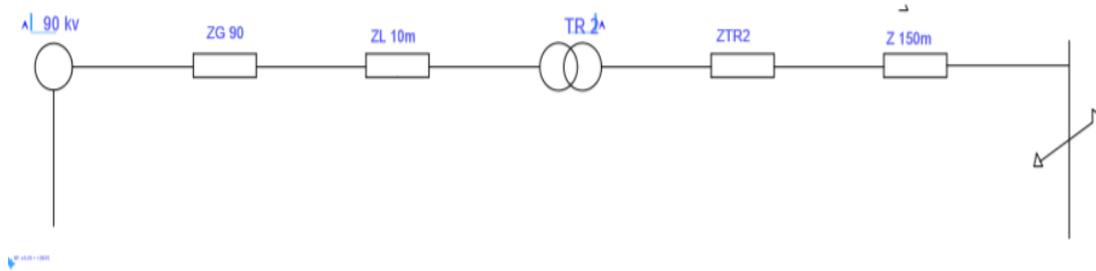


Figure 18: Schéma monophasé par modélisation

- ✓ Schéma monophasé équivalent du réseau étudié ramené au même niveau de tension :

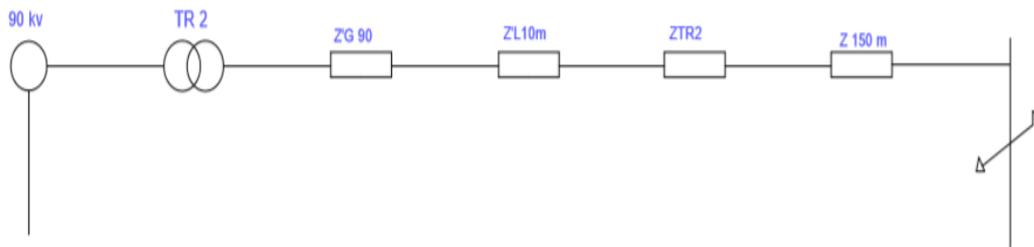


Figure 19: Schéma équivalent ramené au même niveau de tension

- ✓ Schéma final pour application de la loi de maille :

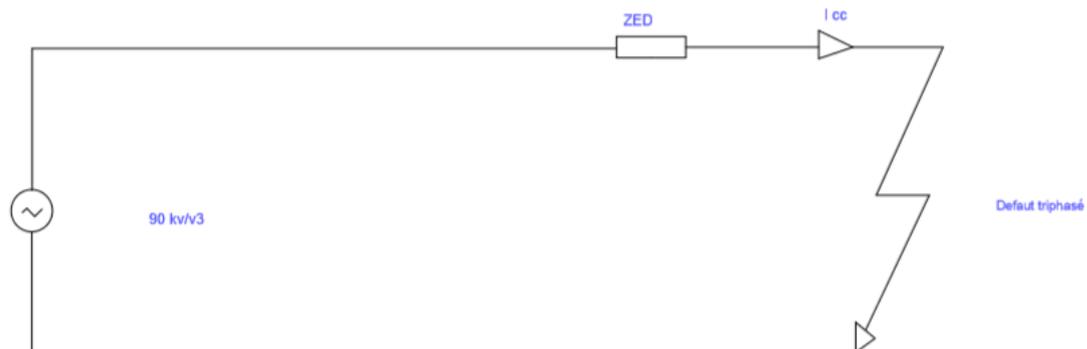


Figure 20: Schéma équivalent pour application de la loi des mailles

✓ Calcul de chaque impédance et du courant de court-circuit :

$$- Z'_{L10m} = \frac{\sqrt{(XL1)^2 + (RL1)^2}}{n^2}$$

$$- Z'_{G90} = \frac{Un^2}{n^2 \times Scc}$$

$$- Z_{TR2S} = \frac{P}{100} \times \frac{Usn^2}{Sn}$$

$$- Z_{L50m} = \sqrt{(XL2)^2 + (RL2)^2}$$

Avec n le rapport de transformation du transformateur 90/15 kV.

– Après l’application de la loi des mailles, on obtient l’équation suivante :

$$I_{cc3} = \frac{Un}{\sqrt{3} \times (Z'_{L10m} + Z'_{G90} + Z_{TR2S} + Z_{L50m})} \times 1,1$$

✓ Les résultats des calculs sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 10: Récapitulatifs des résultats après calcul

Paramètres	n	Un (kV)	Scc (MVA)	Usn (kV)	Sn (MVA)	Z'_{L10m} (Ω)	Z'_{G90} (Ω)	Z_{TR2S} (Ω)	Z_{L50m} (Ω)	I_{cc3} (kA)
Valeurs	6	90	6235,385	15	36	0,00031	0,036	0,66	0,1	12

❖ Courant biphasé :

$$I_{cc2} = 0,86 \times I_{cc3}$$

$$I_{cc2} = 10,32 \text{ kA}$$

❖ Paramétrage de l’arrivée transformateur Ir :

$$1,3 I_p < I_r < 0,8 I_{cc2}$$

Ce qui donne :

$3,25 \text{ kA} < I_r < 8,25 \text{ kA}$

N’ayant pas de données pour le paramétrage des défauts entre phase et terre, nous nous sommes arrêté au paramétrage entre phases.

Pour le paramétrage des protections des différents départs, on se réfèrera à celui qui a été fait lors de la construction du poste, ainsi le tableau suivant nous en donne les valeurs :

Tableau 11: valeur des courants suivant chaque seuil

cellule		1 ^{er} seuil	Temps	2 ^{ème} seuil	Temps

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

départ D12	Maxi I Ph	700A	500ms	1400A	100ms
Messa	Maxi I ₀	63A	500ms	70A	100ms
départ TSA/BPN	Maxi I Ph	480A	500ms	800A	100ms
	Maxi I ₀	40A	500ms	70A	100ms
départ A12	Maxi I Ph	700A	500ms	1400A	100ms
Mefou	Maxi I ₀	40A	500ms	70A	100ms
départ D110	Maxi I Ph	700A	500ms	1400A	100ms
Biyemassi	Maxi I ₀	40A	500ms	70A	100ms
départ D16	Maxi I Ph	700A	500ms	1400A	100ms
hôpital central	Maxi I ₀	40A	500ms	70A	100mS
départ D14	Maxi I Ph	700A	500ms	1400A	100mS
Messa-SNEC	Maxi I ₀	40A	500ms	70A	100mS
départ poste	Maxi I Ph	360A	2s	500A	500ms
élévateur	Maxi I ₀	60A	2s	80A	1s
départ D18	Maxi I Ph	700A	500ms	1400A	100ms
actuelle	Maxi I ₀	40A	500ms	70A	100ms
départ	Maxi I Ph	480A	500ms	800A	100mS
condensateur	Maxi I ₀	40A	500ms	70A	100mS
2*5MVAR					

Chapitre 5. Lancement de l'appel d'offre :

Le lancement de l'appel d'offre se fait à la suite d'une réunion de cadrage avec toutes les parties prenantes à savoir :

- Chef de projet
- Directeur de projet
- Sous-direction Achat
- Equipe contrat

La réunion de cadrage est une réunion d'évaluation du cahier de charge avec toutes les parties prenantes afin de l'optimiser. A la suite de la réunion, la sous-direction achat est chargée du lancement de l'appel d'offre et une fois les propositions reçues, elles sont envoyées à la direction du projet pour analyse.

Chapitre 6. Analyse des propositions reçues :

A la suite de lancement de l'appel d'offre, nous avons reçus pour analyse trois propositions venant des soumissionnaires suivant :

- ✓ SCHNEIDER ELECTRIC
- ✓ ALLIANCE SERVICE
- ✓ SIEMENS

L'analyse des offres s'est faite à l'aide d'un outil d'aide à la décision.

6.1 Présentation de l'outil d'aide à la décision :

L'outil ou le logiciel est un fichier Excel utilisé par l'entreprise ; il classe les offres par ordre de conformité aux critères exigés et l'évaluation se fait sur une échelle de 0 à 100.

Ces critères sont les suivants :

- La maturité technique comptant pour 61%
- La gestion du projet comptant pour 17%
- La maîtrise de la qualité comptant pour 10%

6.1.1 La maturité technique :

Ce critère est évalué sur une échelle de 0 à 100 et est composé des sous critères suivants :

- La conformité au cahier de charge comptant pour 40%
- La compréhension du projet comptant pour 5% :
 - Compréhension de l'envergure du projet
 - Compréhension du contexte du projet
 - Compréhension des défis liés au projet
- L'Expérience comptant pour 10% :
 - Nombre d'année (au minimum 3 ans)
 - Lieux de réalisation
- Projets similaires réalisés comptant pour 5% :
 - Nombres de projets similaires (au minimum 5)
 - Lieux de réalisation
 - Présentation des justificatifs des projets similaires
- L'organigramme comptant pour 5% :
 - Chef de projet
 - Responsable HSE
 - Chef de travaux

- Responsable Génie Civile
- Responsable Electricité
- Présentation d'un organigramme
- L'expérience du personnel comptant pour 5% :
 - Gestion de projet
 - Personnel HSE
 - Conduite des travaux
 - Personnel Electricité
- L'Adéquation des moyens comptant pour 5% :
 - Moyens logistiques mis en œuvre suffisant par rapport au personnel affecté aux travaux
 - Quantité de matériel disponible suffisant par rapport au personnel affecté aux travaux
- Le délai de réalisation inférieure ou égal à 7 mois après signature du contrat comptant pour 5%
- Le mode opératoire comptant pour 5% :
 - Description du mode opératoire dans l'offre
 - Implication des équipes ENEO dans les travaux sur site

6.1.2 La gestion du projet :

Ce critère est évalué sur une échelle de 0 à 100 et est composé des sous critères suivants :

- La cohérence et le séquençage des activités comptant pour 5%
- Liste des certificats d'essais correspondant aux performances demandées comptant pour 10%
- La présentation des protocoles détaillés de tous les tests effectués comptant pour 8,3%
- La prise en compte de la proximité avec des équipements sous tension comptant pour 8,3%
- La présentation des solutions face aux problèmes d'humidité comptant pour 8,3%
- Le plan de réception comptant pour 10% :
 - Intégration des agents ENEO lors du transport depuis le port de Douala
 - Intégration des agents ENEO lors de la dépose des anciennes cellules
 - Prévision d'un plan détaillé de réception et de pose des équipements
- Le plan logistique et les formations comptant pour 10% :
 - Prévision d'une baraque de chantier
 - Prévision de solutions pour l'entreposage du matériel
 - Disponibilité des moyens de transport de l'outillage et des personnes
 - Matériel spécifique pour la réalisation des travaux disponible

- Mise sur pied d'un plan de formation
- L'organisation et l'installation des équipes comptant pour 20% :
 - Prévision d'un planning de réalisation des travaux sur site
 - Planning d'affectation des ressources humaines
- L'évaluation des risques comptant pour 10% :
 - Identification des risques
 - Plan de gestion des risques
 - Plan de mitigation aux risques
- La présence ou prévision d'un planning de mise en service dans l'offre comptant pour 10%
- Le format des plannings comptant pour 5% :
 - Lisibilité du planning
 - Compréhension du planning

6.1.3 La maîtrise qualité :

Ce critère est évalué sur une échelle de 0 à 100 et est composé des sous critères suivants :

- Compatibilité à l'environnement comptant pour 15% :
 - Niveau de bruit acceptable pris en compte
 - Pollution limitée des matériaux utilisés
 - Intégration des cellules dans l'espace existant
 - Température
 - Humidité
- Le personnel HSE et matériel comptant pour 20% :
 - Liste du matériel de sécurité à utiliser sur site conforme aux exigences ENEO
 - Prévision d'un personnel dédié aux tâches HSE
- La présence d'un plan d'assurance qualité dans l'offre comptant pour 25%
- Respect des instructions données aux soumissionnaires par rapport aux sections des documents d'offre comptant pour 10%
- Le plan HSE comptant pour 30% :
 - Présence d'un planning détaillant l'approche HSE entreprise
 - Présence d'une politique HSE de l'entreprise

6.2 Résultat :

A la sortie de cette évaluation, il ressort que l'entreprise SCHNEIDER ELECTRIC a été sélectionné pour la réalisation du projet de remplacement de la rame de cellule n°2 au poste 90/15 kV de BRGM.

Conclusion et perspectives :

La rame de cellule n°2 du poste 90/15 kV pose d'énormes problèmes d'exploitation, allant jusqu'à exposer la vie des exploitants à la mort. Dans le but de remédier à cela le projet de remplacement de ladite rame est devenue l'une des priorités d'Eneo Cameron.

Le projet de remplacement de cette rame de cellule a conduit à l'élaboration d'un cahier de charge, au lancement d'un appel d'offre et au calcul des courants de court-circuit pour le paramétrage des protections.

Le cahier de charge s'est porté essentiellement sur les disjoncteurs, les transformateurs de courant, le transformateur de tension et les relais de protection. De façon générale, la plupart des soumissionnaires ont respecté les spécifications techniques des cellules mais la différence s'est faite au niveau de la maîtrise de la qualité, notamment les entreprises ALLIANCE SERVICE et SCHNEIDER ELECTRIC.

Le calcul des courants à implémenter dans les protections s'est heurté à un gros problème à savoir le manque de données nécessaires (schéma unifilaire de la partie distribution indisponible, longueur des câbles HTA...). Les valeurs de courant utilisé dans les protections sont celles calculés depuis la création du poste il y a plus de 30 ans. Comme perspective, l'entreprise devrait réaliser le schéma unifilaire du réseau de distribution et y implanter un système d'acquisition des paramètres des lignes en temps réel comme c'est le cas dans le réseau HTB.

Références

- [1] « Actis » [En ligne]. Available : www.act.is. [Accès le 22 Février 2018].
- [2] « AES » [En ligne]. Available : www.americanelectronics-la.com. [Accès le 2 Mars 2018].
- [3] « Futura Science » [En ligne]. Available : www.eneocameroon.com. [Accès le 11 mars 2018].
- [4] Eneo Cameroon, « Rapport annuel 2014 d'Eneo Cameroon », 2014
- [5] Schneider Electric, « Sepam série 10 », 2008.
- [6] POLIER, « Classe de précision des transformateurs de courant. Sèvres, s.d ».
- [7] Schneider Electric, « Guide de conception MT », 2000
- [8] EDF, « Formation contrôle électrique », Grenoble, 2016.
- [9] Bencheikh El Hocine, « PROTECTION DES RESEAUX HTA »

REEMPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

Annexe

Annexe 1: Résistance des contact des différents disjoncteurs

DEPART	MESURE RISISTANTE DES CONTACTS		
	PH0	PH4	PH8
D18 POSTE 60	7130,7	201,72	124,262
A12 CENTRAL MEFOU	280,2	686,2	258,7
DEPART TE	69,064	70,3	45,5
D14 MESSA	180,263	88,34	163,68
D15 HOPITAL CENTRAL	48,348	34,236	74,258
D110 BIYEM ASSI	51,481	51,993	150,321
DEPART TSA N°2	191,079	124,56	101,398
D12 MESSA REPARTITION	32,602	36,159	36,497
ARRIVE TRANSFO 2	30,112	31,716	30,638
NOUVEAU DISJONCTEUR D18 MESSA	56,152	38,02	155,638

REPLACEMENT DE LA RAME DE CELLULE N°2 DU POSTE 90/15/30 KV DE BRGM

Annexe 2: Fiche technique différents transformateurs du poste de BRGM

2. Caractéristiques des transformateurs

Nom	U. Pri. (KV)	U. Sec. (KV)	Puissance (MVA)	Ucc / Zcc(%)	Fabricant / Modèle	Autres Infos
T1	90	16,5	50	12,23	ABB ; IEC 600076	I=320,8 A / 1259,6 50Hz ; Couplage Ynd11
T2	90	16,5	36	10,55	ABB ; VIII 350 Y21	I=320,8 A / 1259,6 50Hz ; Couplage Ynd11
T3	15	30	5	8,08	Pauwels Trafo Belgium ; Ols 5/70	/
TSA1	15	380/400	0,160	4,14	Transfo France Schneider	Couplage ZNyn11 ; I.nom_defaut=1kA ; Z ₀ =26,9Ω
TSA2	15	380/400	0,160	4,14	/	/

Annexe 3: Facteur de tension [10]

Tableau 2 : Valeur du facteur de tension C

Valeur des facteurs de tension CEI 60909

Tension nominale	Facteur de tension c pour le calcul	
HT	Icc max	Icc min
1 à 550 kV	1,1	1

Annexe 4: Niveau d'isolement assigné

**Niveau d'isolement assigné
(cf. § 4.2 CEI 60 056 et 60 694)**

- Le niveau d'isolement est caractérisé par deux valeurs :
 - la tenue à l'onde de choc (1,2/50 µs)
 - la tenue à la fréquence industrielle pendant une minute.

Tension assignée (Ur en kV)	Tenue à l'onde de choc (Up en kV)	Tenue à la fréquence industrielle (Ud en kV)
7,2	60	20
12	75	28
17,5	95	38
24	125	50
36	170	70