



Direction des Routes Ile-de-France

Projet – Distribution Electrique

Autoroute A115

Modernisation de la tranchée couverte de Taverny (95)

24/05/19

LOMBARDI INGÉNIERIE
66 rue Escudier 92100 Boulogne
Billancourt
70 rue de la Villette 69003 LYON
+33 (0)4 26 84 26 10
info@lombardi-ing.fr
www.lombardi.ch



Lombardi

SUIVI DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédaction	Vérification
1	22/01/2019	Bruno RIVIER	Baptiste CHIFFOT
2	24/05/2019	Bruno RIVIER	Baptiste CHIFFOT

Sommaire

SUIVI DES MODIFICATIONS	1
I. PREAMBULE	6
I.1. OBJECTIF DE LA MISSION	6
I.2. OBJET DU PRESENT DOCUMENT	6
I.3. DOCUMENTS DE REFERENCE.....	6
I.3.1. Documents réglementaires	6
I.3.2. Documentation normative	7
II. DESCRIPTION TECHNIQUE ET FONCTIONNELLE DES TRAVAUX	8
II.1. PRESENTATION DES BESOINS DE MISE EN SECURITE	8
II.2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXISTANTE	8
II.3. DISTRIBUTION HAUTE TENSION PROJETEE	9
II.3.1. Architecture et principe d'alimentation HT.....	9
II.3.2. Tableau de distribution HT.....	11
II.3.2.1. Poste de Livraison Haute Borne depuis le départ Marcel.....	12
II.3.2.2. Poste de livraison Nicolas Tesla.....	12
II.3.3. Principe de verrouillage HT	13
II.3.4. Transformateurs.....	13
II.3.5. Local HT.....	14
II.3.6. Artères d'alimentation HT.....	14
II.3.7. Dispositif de protection et détection de défaut.....	14
II.3.8. Configurations de fonctionnement HT	15
II.3.8.1. Perte d'une artère HT.....	15
II.3.8.2. Perte d'un transformateur HT/BT	16
II.4. DISTRIBUTION BASSE TENSION	16
II.4.1. Principe de distribution BT	16
II.4.2. Principes de couplage et de basculement basse tension.....	19
II.4.2.1. Généralités	19
II.4.2.2. Basculement automatique	21
II.4.2.3. Basculements locaux.....	22
II.4.2.4. Commutation des modes de fonctionnement	23
II.4.3. Tableau Divisionnaire normal	23
II.4.3.1. Répartition des équipements sur les TD.....	23
II.4.3.2. Départs pour les marchés spécifiques	23
II.4.3.3. Face avant du TD.....	24
II.4.3.4. Auxiliaires	24
II.4.3.5. Centrale de mesure	24
II.4.3.6. Dimensionnement des TD.....	25
II.4.4. Sélectivité BT	25
II.4.5. Mise à la terre et réseau équipotentiel	25
II.4.5.1. Schéma de mise à la terre	25
II.4.5.2. Mise à la terre	26

II.4.5.3. Réseau équipotentiel.....	26
II.4.6. Alimentation sans interruption	26
II.4.6.1. Modes de fonctionnement	27
II.4.6.2. Tableau Divisionnaire secours	28
II.4.7. Compensation de l'énergie réactive.....	29
II.5. BILAN DE PUISSANCE.....	29
II.5.1. Hypothèse.....	29
II.5.2. Dimensionnement des appareils	30
II.6. CABLES ET CHEMINEMENTS.....	32
II.6.1. Types de câbles.....	32
II.6.2. Caractéristiques des cheminements.....	32
II.6.3. Cheminement des câbles en tunnel.....	33
II.6.4. Cheminements dans le local technique	33
III. SPECIFICATIONS TECHNIQUES DETAILLEES.....	34
III.1. EQUIPEMENTS HT EN LOCAL TECHNIQUE	34
III.1.1. Cellules HT	34
III.1.1.1. Normes applicables	34
III.1.1.2. Caractéristiques générales des cellules 20 kV.....	34
III.1.1.3. Cellules interrupteur arrivées ENEDIS.....	35
III.1.1.4. Coffret ITI-PASA.....	35
III.1.1.5. Cellules transformateur de potentiel pour comptage.....	36
III.1.1.6. Cellule protection générale par disjoncteur	36
III.1.1.7. Cellule protection transformateur.....	37
III.1.1.8. Cellule interrupteur.....	38
III.1.2. Verrouillage des équipements HT	38
III.1.2.1. Verrouillage propre aux cellules.....	38
III.1.2.2. Verrouillage entre cellules.....	39
III.1.3. Transformateur 20 kV / 410V.....	39
III.1.4. Coffret d'interface GTC/HT.....	40
III.2. EQUIPEMENTS BT EN LOCAL TECHNIQUE	40
III.2.1. Tableau Général Basse Tension (TGBT).....	40
III.2.1.1. Conception électrique.....	41
III.2.1.2. Equipement intérieur.....	41
III.2.1.3. Equipements en face avant	42
III.2.2. Tableau Divisionnaire Basse tension (TD)	42
III.2.2.1. Conception électrique.....	42
III.2.2.2. Equipement intérieur.....	42
III.2.2.3. Equipements en face avant	43
III.2.2.4. Mesures	44
III.2.2.5. Signalisations.....	45
III.2.2.6. Compensateurs actifs d'énergie réactive	45
III.2.2.7. Echange d'information avec la GTC	45
III.2.3. Alimentation sans interruption (ASI).....	45

III.2.3.1.	Constitution des sources autonomes sans coupure	45
III.2.3.2.	Caractéristiques d'entrée des réseaux normaux et secours	46
III.2.3.3.	Caractéristiques de sortie – Utilisation	46
III.3.	CABLES.....	47
III.3.1.	Câbles d'alimentation HT 20KV.....	47
III.3.1.1.	Cellules avec plages de raccordement.....	47
III.3.1.2.	Raccordement des câbles par connecteur.....	48
III.3.2.	Câbles d'alimentation BT	48
III.3.2.1.	Section des câbles BT.....	48
III.3.2.2.	Câbles basse tension type C1.....	48
III.3.2.3.	Câbles basse tension type CR1-C1.....	49
III.3.2.4.	Câbles alimentation PST.....	49
III.3.3.	Chemins de câbles.....	49
IV.	MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE	51
V.	ANNEXES.....	52
V.1.	ANNEXE 1 – BILAN DE PUISSANCE	52
V.2.	ANNEXE 2 – DIMENSIONNEMENT DES DEPARTS	52
V.3.	ANNEXE 3 – SCHEMA DISTRIBUTION BT	52

Table des figures

Figure 1 : Architecture HT existante	9
Figure 2 : vue en plan du cheminement de la 1 ^{ère} artère (bleu) et de la 2 ^{ème} artère (rouge).	10
Figure 3 : Schéma de raccordement des artères HT au poste client pour un fonctionnement normal	11
Figure 4 : Schéma électrique du local HT A alimenté par le poste Haute Borne en coupure d'artère	12
Figure 5 : Schéma électrique du local HT B alimenté par le poste Nicolas Tesla en antenne	12
Figure 6 : Schéma de raccordement des artères HT au poste client en cas de perte d'un poste	15
Figure 7 : Schéma de raccordement des artères HT au poste client en cas de perte d'un transformateur	16
Figure 8 : Synoptique général de la distribution électrique	18
Figure 9 : Schéma de basculement en fonctionnement normal	19
Figure 10 : Schéma du basculement lors de la perte de l'artère A ou du transformateur	21
Figure 11 : Centrale de Mesure du TD	25
Figure 12 : Modes de fonctionnement de l'alimentation sans Interruption	27
Figure 13 : Cheminement des câbles pour les circuits d'éclairage et pour les PST et Niches	33

Table des tableaux

Tableau 1 : La table de vérité atteste de la possibilité de mise en parallèle des postes HT	13
Tableau 2 : Puissance des 2 transformateurs de 1 MVA chacun	14
Tableau 3 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement normal	20
Tableau 4 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement normal	22
Tableau 5 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement secours	22
Tableau 6 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement secours	22
Tableau 7 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement en maintenance	22
Tableau 8 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement en maintenance	23

<i>Tableau 9 : Dimensionnement de chaque condensateur de la batterie d'un TD</i>	29
<i>Tableau 10 : Bilan de puissance pour le dimensionnement des transformateurs.</i>	31
<i>Tableau 11 : Bilan de puissance pour le dimensionnement de l'onduleur</i>	32

I. PREAMBULE

I.1. OBJECTIF DE LA MISSION

La mission de la phase PRO vise à détailler le futur système de distribution électrique de la tranchée couverte permettant de satisfaire le schéma directeur de la DIRIF et l'Annexe 2 de l'IT 2000.

I.2. OBJET DU PRESENT DOCUMENT

Dans le cadre de la mission de maîtrise d'œuvre relative à la mise en sécurité du tunnel de Taverny, une phase avant-projet a été réalisée dans le but de présenter les solutions possibles et de choisir la plus adaptée en la détaillant brièvement.

L'objet de ce document est de préciser cette solution par des dimensionnements et des schémas détaillés. L'étude détaillée dans la suite de ce document constitue la phase PRO de la mission de maîtrise d'œuvre de la rénovation du système d'éclairage existant de la tranchée couverte de Taverny.

Cette phase comprendra :

- Les aspects fonctionnels de la distribution haute tension,
- La solution technique d'architecture électrique retenue lors de la phase AVP,
- Le détail des aménagements des locaux techniques ainsi que leur implantation topographique,
- Les implantations des équipements et des cheminements,
- Le dimensionnement des appareils électromécaniques (transformateur, disjoncteurs, TGBT...),
- Le raccordement ENEDIS pour la nouvelle source d'alimentation,
- Les spécifications techniques détaillées des matériels HT et BT qui seront mis en œuvre.

Cette deuxième version de la notice concernant l'alimentation électrique prend en compte les remarques de la DIRIF datant du 25/04/2019. Des précisions sur le schéma de raccordement, sur les schémas de distribution et sur le fonctionnement de l'installation ont été apportées.

I.3. DOCUMENTS DE REFERENCE

Les documents réglementaires ainsi que les documents de projet de référence sont indiqués dans les paragraphes suivants.

I.3.1. Documents réglementaires

La liste ci-dessous est non exhaustive. Dans tous les cas les textes réglementaires, les normes en vigueur et les recommandations existantes au moment de la réalisation des travaux devront s'appliquer.

- Circulaire interministérielle N°2006-20 du 29 Mars 2006 relative à la sécurité des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 mètres et plus particulièrement son annexe 2 (annexe de l'IT 2000-63),
- Architecture électrique type – mars 2009 – DIRIF

I.3.2. Documentation normative

- NFC 15-100 : installations électriques basse tension
- NFC 14-100 : installations comprises entre le réseau de distribution et l'origine des installations intérieures (branchements)
- NFC 13-100 : Postes de livraison alimentés par un réseau public de distribution HTA (jusqu'à 33 kV)
- NFC 13-200 : Installations électriques à haute tension
- NF C 15-520 Mode de pose des canalisations électriques
- NF C 18-510 Recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique
- NF C 32.310 Conducteurs et câbles isolés pour installations. - Conducteurs et câbles dits « résistants au feu » (catégorie CR1) de tension assignée U0/U au plus égale à 0,6/1 kV
- NF C 32.321 Conducteurs et câbles isolés pour installations - Câbles rigides isolés au polyéthylène réticulé sous gaine de protection en polychlorure de vinyle – Série U1000R2V
- NF C 32 et 33 Ensemble des normes concernant les conducteurs et câbles isolés pour les installations et les équipements
- NF EN 60228 Âmes des câbles isolés. Plage de 0,5 mm² à 2 500 mm², des âmes des conducteurs et des câbles électriques de puissance
- NF EN 60529 Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)
- CEI 61000-2-2 Compatibilité électromagnétique : niveaux de compatibilités

II. DESCRIPTION TECHNIQUE ET FONCTIONNELLE DES TRAVAUX

II.1. PRESENTATION DES BESOINS DE MISE EN SECURITE

La description suivante s'applique au corps de métier Distribution Electrique HT et BT. Le schéma directeur de la DIRIF précise plusieurs points :

- La répartition de l'alimentation des équipements implantés dans le tunnel doit s'effectuer sur deux postes de transformation 20kV/400V.
- L'alimentation de ces deux postes de transformations doit se faire depuis des sources ENEDIS distinctes.
- L'alimentation en Basse tension doit être assurée par le biais de 2 TGBT : ils assurent la protection des transformateurs mais aussi les tableaux divisionnaires.
- Un couplage des alimentations en BT pour maintenir l'alimentation des équipements en mode dégradés même en cas de perte d'un transformateur ou d'une source ENEDIS est requis. Ce système de couplage est intégré dans les TGBT.
- Les tableaux divisionnaires doivent être en aval des TGBT et regroupent les différents équipements.
- La mise en œuvre d'une alimentation stabilisée d'une autonomie 1h pour l'alimentation des équipements de sécurité doit être envisagée.

II.2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXISTANTE

L'alimentation de la tranchée couverte se fait en Haute Tension (HT – 20KV) alors que la distribution aux différents équipements en tunnel est réalisée en Basse Tension (BT – 400V). Actuellement, une seule artère HT assure l'alimentation en haute tension de l'ouvrage depuis le poste HT « Haute Borne », le schéma de principe est en coupure d'artère.

L'artère HT arrive dans un local technique Haute Tension composé de plusieurs cellules ENEDIS. Afin de réaliser la distribution en basse tension de l'électricité l'artère se divise en deux, chacune étant reliée à un transformateur de tension 20KV – 400V, d'une puissance de 630 KVA. Les départs d'alimentation des équipements de la tranchée couverte sont regroupés dans 2 Tableaux Généraux Basse Tension (TGBT). Chaque transformateur est relié à un TGBT.

Les matériels présents pour la partie distribution HT sont les suivants :

- Deux cellules d'arrivée Haute Tension « ENEDIS » 20KV (coupure d'artère).
- Un comptage ENEDIS.
- Une cellule transfo mesure.
- Une cellule protection général.
- Deux cellules de départ Haute Tension.
- Deux transformateurs à huile HT/BT 630KVA.

L'architecture haute tension est représentée sur le plan suivant :

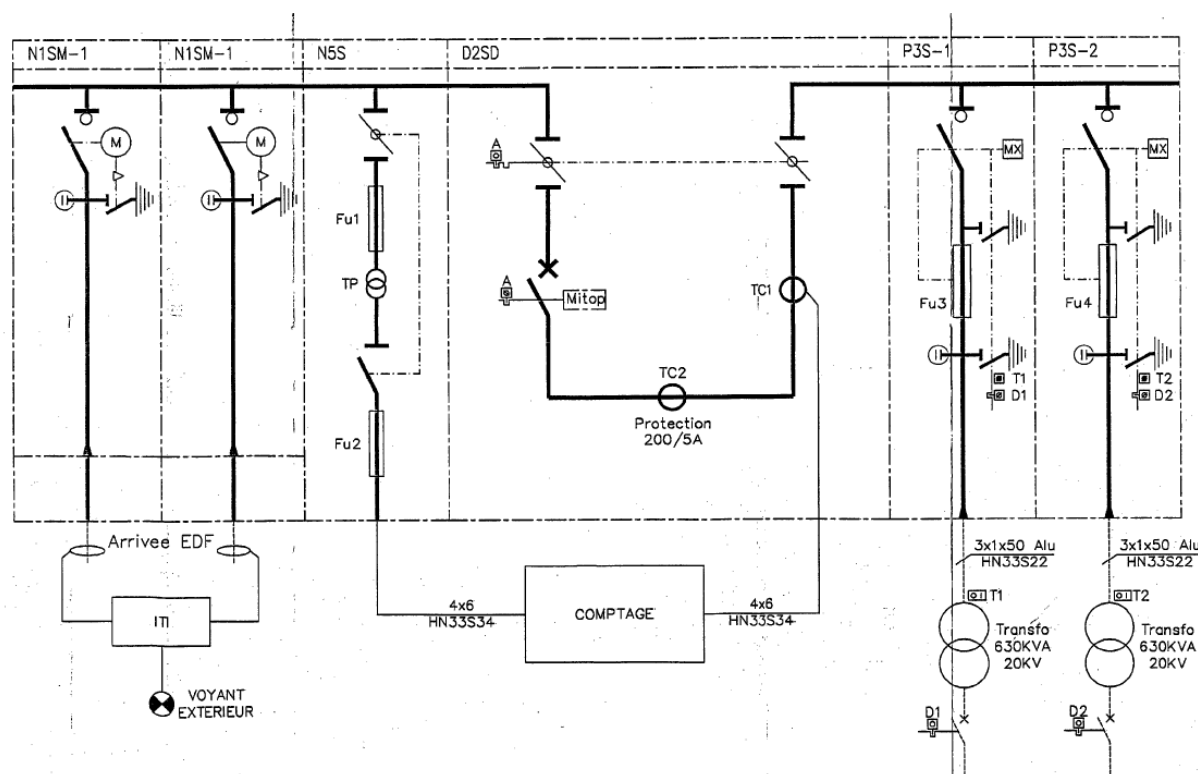


Figure 1 : Architecture HT existante

Les matériels présents pour la partie distribution BT sont les suivants :

- 1 armoire basculement basse tension.
- 2 Tableau Généraux Basse Tension (TGBT).
- 1 Alimentation Sans Interruption (ASI).
- 1 armoire batterie.

II.3. DISTRIBUTION HAUTE TENSION PROJETEE

II.3.1. Architecture et principe d'alimentation HT

L'architecture de distribution projetée consiste à mettre en œuvre un deuxième poste de livraison ENEDIS pour l'alimentation de la tranchée couverte de Taverny. La proposition de raccordement réalisée par ENEDIS permet de connaître la solution de raccordement retenue pour la 2^{ème} source d'alimentation en HT. La solution consiste à raccorder la deuxième source au poste DP TA Nicolas Tesla. Une 3^{ème} cellule y sera rajoutée afin d'effectuer ce raccordement. Ce départ est bien indépendant du poste source HAUTE BORNE et son cheminement n'est pas commun avec celui de la 1^{ère} source. Ce raccordement s'effectue jusqu'au nouveau poste client nommé TA Verlainne.

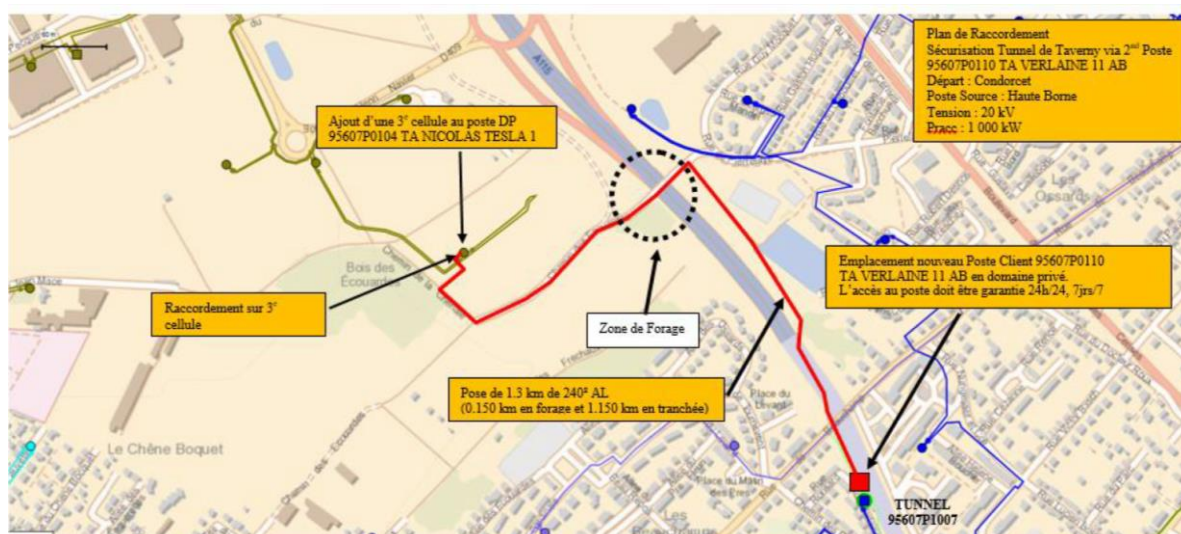


Figure 2 : vue en plan du cheminement de la 1^{ère} artère (bleu) et de la 2^{ème} artère (rouge).

De chaque poste de livraison partiront deux artères Haute Tension (20kV) qui desserviront les locaux techniques de la tranchée couverte.

- Le poste de livraison n°1 (Haute Bornes) alimentera
 - L'Artère HTA A1
 - Et l'Artère HTA A2
- Le poste de livraison n°2 (Nicolas Tesla) alimentera :
 - L'Artère HTA B

Le tableau ci-dessous récapitule le type de raccordement pour les 2 postes de livraison

Poste de livraison	Poste HAUTE BORNE	Poste Nicolas Tesla
Type de raccordement	Coupure d'artère	Antenne

Le synoptique ci-dessous illustre l'architecture cible de l'alimentation électrique haute tension de la tranchée couverte de Taverny.

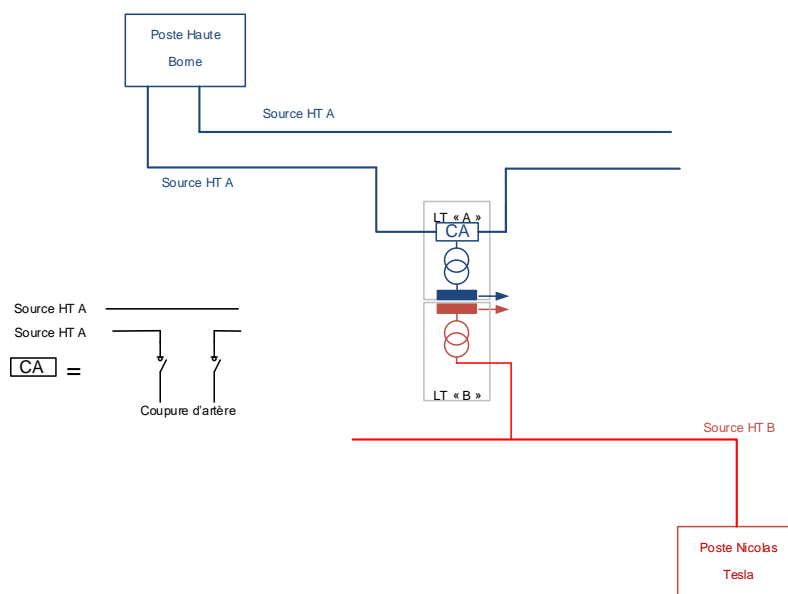


Figure 3 : Schéma de raccordement des artères HT au poste client pour un fonctionnement normal

II.3.2. Tableau de distribution HT

Conformément à la réglementation DIRIF, deux tableaux de distribution HT indépendants seront créés. Chacun constitue l'interface entre le réseau public ENEDIS et le réseau d'alimentation de la tranchée couverte.

Les tableaux de distribution devront être conforme à la norme NF C 13-100.

Chaque poste sera constitué de 2 cellules d'arrivées ENEDIS (une par câble), d'une cellule transformateur de potentiel pour le comptage, d'une protection générale de l'installation, une cellule départ alimentant le transformateur et enfin une dernière cellule permettant de réaliser un couplage entre les deux tableau HT.

Afin de réaliser ces modifications, il est prévu l'extension du local technique existant et la mise en œuvre d'un nouveau tableau HTA (dit « tableau HT B »). Le tableau HTA existant (dit « tableau HT A ») sera remplacé par du matériel neuf et l'alimentation depuis le départ « Condorcet » du poste d'Haute Borne sera conservée pour l'alimentation de ce tableau.

Le principe d'alimentation par ENEDIS pour la source A est une alimentation en coupure d'artère. Un coffret de permutuation automatique de source d'alimentation (PASA) sera à inclure dans l'installation. Ce système garantie l'interverrouillage interdisant la fermeture des 2 interrupteurs. Les coffrets PASA et IT servent à basculer d'une artère à une autre en cas de manque de tension. Par la suite, nous verrons que le couplage automatique (coté DIRIF) se fait en basse tension, sur les tableaux divisionnaires.

II.3.2.1. Poste de Livraison Haute Borne depuis le départ Marcel

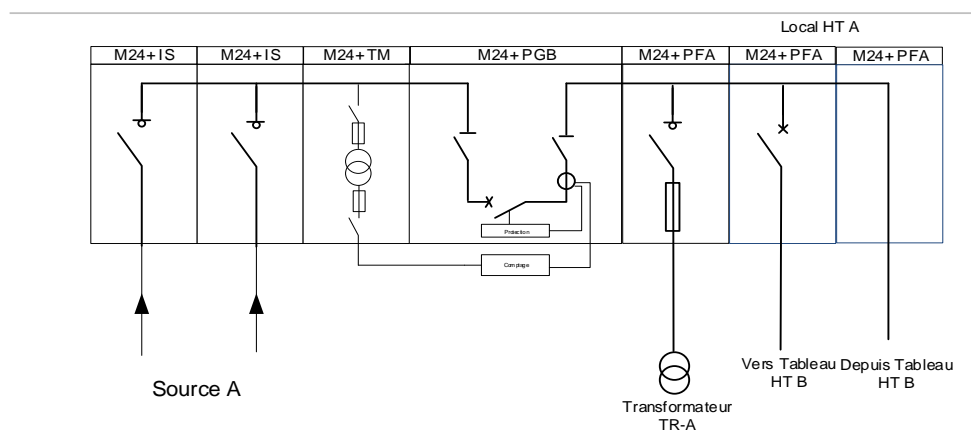


Figure 4 : Schéma électrique du local HT A alimenté par le poste Haute Borne en coupure d'artère

Les travaux à réaliser dans le cadre du présent marché, pour les équipements du tableau de distribution HT A sont les suivants :

- La fourniture, la pose, le raccordement et la mise sous tension de l'intégralité du tableau HT « A ».
- Les modifications nécessaires sur le tableau HT pour la mise en œuvre de la nouvelle architecture et notamment le réglage de la protection générale.
- La fourniture, la pose, le raccordement et la mise sous tension du transformateur TR A.

II.3.2.2. Poste de livraison Nicolas Tesla

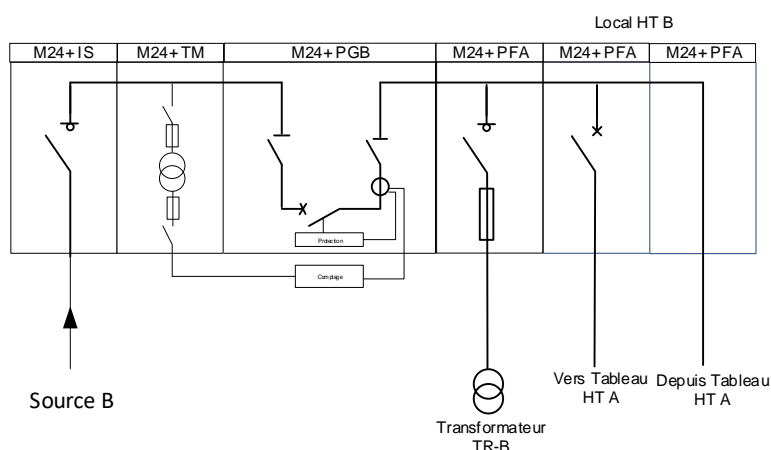


Figure 5 : Schéma électrique du local HT B alimenté par le poste Nicolas Tesla en antenne

Les travaux à réaliser dans le cadre du présent marché, pour les équipements du tableau de distribution HT B sont les suivants :

- La fourniture, la pose, le raccordement et la mise sous tension de l'intégralité du tableau HT « B »
- Toutes les modifications nécessaires sur le tableau HT pour la mise en œuvre de la nouvelle architecture et notamment le réglage de la protection générale.

- La fourniture, la pose, le raccordement et la mise sous tension du transformateur TR B.

II.3.3. Principe de verrouillage HT

Un système de verrouillage doit être mis en œuvre au niveau Haute Tension afin d'éviter des manœuvres sous tension pouvant mettre en danger les personnes.

- Verrouillage inter cellules arrivées

Le principe de verrouillage aux cellules interrupteurs arrivées et protection transformateur sont mises en œuvre de la manière suivante :

- La fermeture de l'interrupteur n'est possible que si le sectionneur de mise à la terre est ouvert et le panneau d'accès au compartiment câbles est fermé.
- La fermeture du sectionneur de mise à la terre n'est possible que si l'interrupteur est ouvert.
- L'ouverture du compartiment câblé d'une cellule n'est possible que si le sectionneur de terre est fermé.
- L'interrupteur est verrouillé ouvert lorsque la porte du compartiment câble de la cellule est ouverte ; la manœuvre du sectionneur de mise à la terre est alors possible pour réaliser les essais de câble.

- Verrouillage cellules-disjoncteur général TGBT

Ce verrouillage a pour but d'interdire :

- Sur une cellule "interrupteur-fusible" de protection transformateur la fermeture du sectionneur de terre et l'accès aux fusibles HT si le disjoncteur général BT n'a pas été débroché ;
- L'accès au transformateur si le sectionneur de terre de la protection transformateur n'a pas été préalablement fermé.

- Verrouillage entre le disjoncteur d'arrivée et la cellule couplage tableau A et B

Ce verrouillage permet d'interdire :

- Le couplage simultané des poste HT A et HT B qui produirait leur mise en parallèle.

Le verrouillage permettra uniquement le fonctionnement suivant :

Disj arrivée HT A	Disj Couplage HT A	Disj arrivée HT B	Disj Couplage HT B	Sortie
0	1	1	0	Couplage des 2 tableaux HT (maintenance...) alimentation par voie B
1	0	1	0	Exploitation normale
1	0	0	1	Couplage des 2 tableaux HT (maintenance...) alimentation par voie A

Tableau 1 : La table de vérité atteste de la possibilité de mise en parallèle des postes HT

II.3.4. Transformateurs

Chaque transformateur sera de type sec et permettra de transformer l'alimentation 20KV en 400V. Les 2 transformateurs HT/BT, TR-A et TR-B sont alimentés respectivement par les artères HT A et HT B.

Le tableau ci-dessous présente la puissance des transformateurs 20KV / 400V mis en œuvre à la suite des deux tableaux de distribution HT. Le dimensionnement des transformateurs est détaillé dans la note de calcul exposée en annexe : 1049.0_PRO_Annexe_Dimensionnement_Distribution_Electrique.

Transformateur	Puissance
TR-A	1000 KVA
TR-B	1000 KVA

Tableau 2 : Puissance des 2 transformateurs de 1 MVA chacun

Les deux transformateurs seront chacun placés dans leur locaux techniques HT respectifs.

II.3.5. Local HT

Chaque local HT comprend :

- 1 tableau HT constitué des cellules citées ci-dessus
- 1 transformateur
- 1 coffret Permutateur Automatique de Source d’Alimentation (PASA) qui assure l’automatisme de basculement automatique sur perte de tension de l’arrivée normale vers l’arrivée de secours ;
- 1 coffret énergie NFC 13.100 qui constitue une réserve d’énergie de commande de cellules permettant le réarmement du tableau en cas de perte des 2 arrivées ;
- 1 Tableau Général Basse Tension.

L’ensemble des cellules HT seront manuelles.

Les équipements suivants seront également prévus dans le local :

- Les fusibles de rechange installés en râtelier,
- Le matériel d’exploitation (tapis ou tabouret isolant, gants isolants, dispositif de contrôle d’absence tension, perche à corps...),
- Le matériel d’extinction (2 extincteurs à l’accès du local),
- Le schéma général de distribution haute tension et le diagramme de verrouillage et d’asservissement des cellules haute tension sur supports rigides plastifiés, ainsi que les affiches réglementaires,
- L’outillage de manœuvre des cellules,
- Le coffret de regroupement GTC, pour le raccordement de l’ensemble des informations de position et de défaut.

Suivant cette répartition, les deux locaux HT seront séparés physiquement.

II.3.6. Artères d’alimentation HT

Le dimensionnement des artères HT est basé sur une puissance à transporter de 818KVA (cf. 1049.0_PRO_Annexe_Dimensionnement_Distribution_Electrique). En effet, ce dimensionnement est réalisé dans l’hypothèse où la puissance maximale est transportée par une seule artère et ce dans le cas d’un sinistre.

Ce dimensionnement conduit à une section de câble de 240 mm² aluminium pour chaque artère.

II.3.7. Dispositif de protection et détection de défaut

La protection des artères sera assurée par la protection générale de tableau HT. Cette protection devra être sélective avec les protections des transformateurs.

L'élimination du courant de court-circuit devra pouvoir être réalisée en 200ms au plus, conformément à la NF C 13-100.

La localisation des défauts sera réalisée par la GTC par analyse itérative des informations remontées par les ensembles tores-détecteurs de défaut ampèremétrique. La localisation de la section de câble en défaut sera ainsi réalisée automatiquement et l'information sera remontée à l'exploitant.

Pour cela chaque cellule interrupteur de départ d'artère des tableaux HT seront équipés d'appareillages permettant de mesurer le maximum du courant triphasé et le maximum du courant homopolaire.

II.3.8. Configurations de fonctionnement HT

L'architecture de distribution électrique projetée permet de conserver l'alimentation la tranchée couverte de Taverny dans les cas dégradés suivants :

- Perte de l'arrivée ENEDIS sur un des deux local HT,
- Perte d'un transformateur HT/BT.

Ces différents modes dégradés sont explicités par la suite.

II.3.8.1. Perte d'une artère HT

Dans ce cas, l'alimentation de l'ensemble de la tranchée couverte est réalisée depuis l'autre poste de livraison.

Le basculement est automatiquement réalisé en basse tension, conformément au schéma directeur DIRIF.

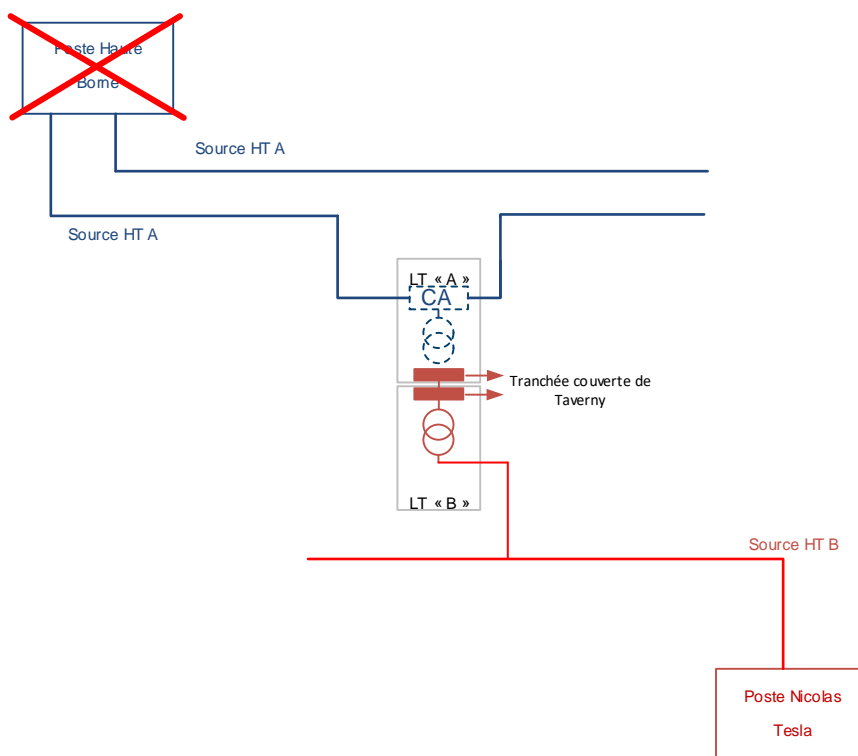


Figure 6 : Schéma de raccordement des artères HT au poste client en cas de perte d'un poste

II.3.8.2. Perte d'un transformateur HT/BT

Dans ce cas, l'alimentation de la voie concernée est basculée sur l'autre transformateur. Ce basculement est réalisé automatiquement en BT (cf.).

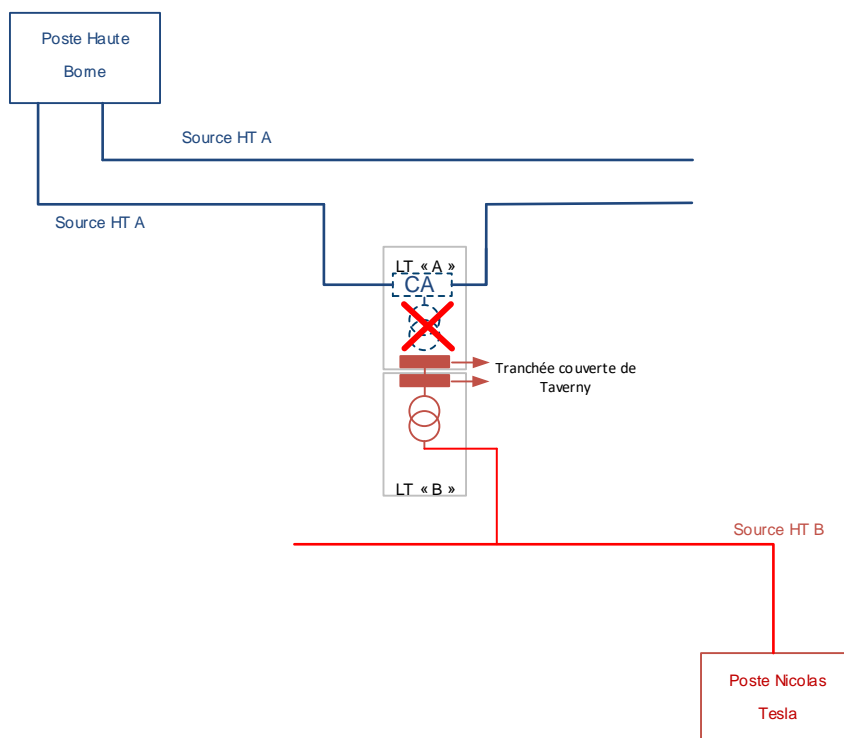


Figure 7 : Schéma de raccordement des artères HT au poste client en cas de perte d'un transformateur

II.4. DISTRIBUTION BASSE TENSION

II.4.1. Principe de distribution BT

L'architecture et la distribution BT de l'alimentation électrique seront sécurisées de manière à ce que l'alimentation ne soit pas perdue sur l'ensemble de la tranchée couverte.

L'ensemble des disjoncteurs BT sera surveillé pour permettre aux opérateurs de connaître à tout instant l'état de l'installation électrique. La position du coupleur BT sera également surveillée.

Chaque transformateur sera relié à un TGBT. Ces 2 TGBT auront pour fonction de protéger les transformateurs contre des surcharges et des court circuits avals mais également de protéger les câbles alimentant les tableaux divisionnaires. Les tableaux divisionnaires (TD) permettent de distribuer le courant aux différents appareils dans le tunnel.

Les différents tableaux divisionnaires (TD) sont équipés, en tête, d'un commutateur normal secours intégrant un verrouillage interne interdisant la mise en parallèle des sources normal et secours. La protection des jeux de barres de ces tableaux (et du dispositif normal/secours) est assurée par les disjoncteurs BT installés au niveau supérieur.

Pour l'alimentation secourue, un onduleur avec batterie et relié aux TD alimentera un Tableau divisionnaire Secouru (TDR). Le TDR alimentera les équipements de sécurité indispensables à

l'évacuation des usagers en toute sécurité et à l'intervention des secours. L'alimentation sans interruptions (ASI) installée permettront d'alimenter les équipements raccordés sur le TDR pendant 60 minutes.

Le synoptique suivant illustre l'architecture de distribution en basse tension.

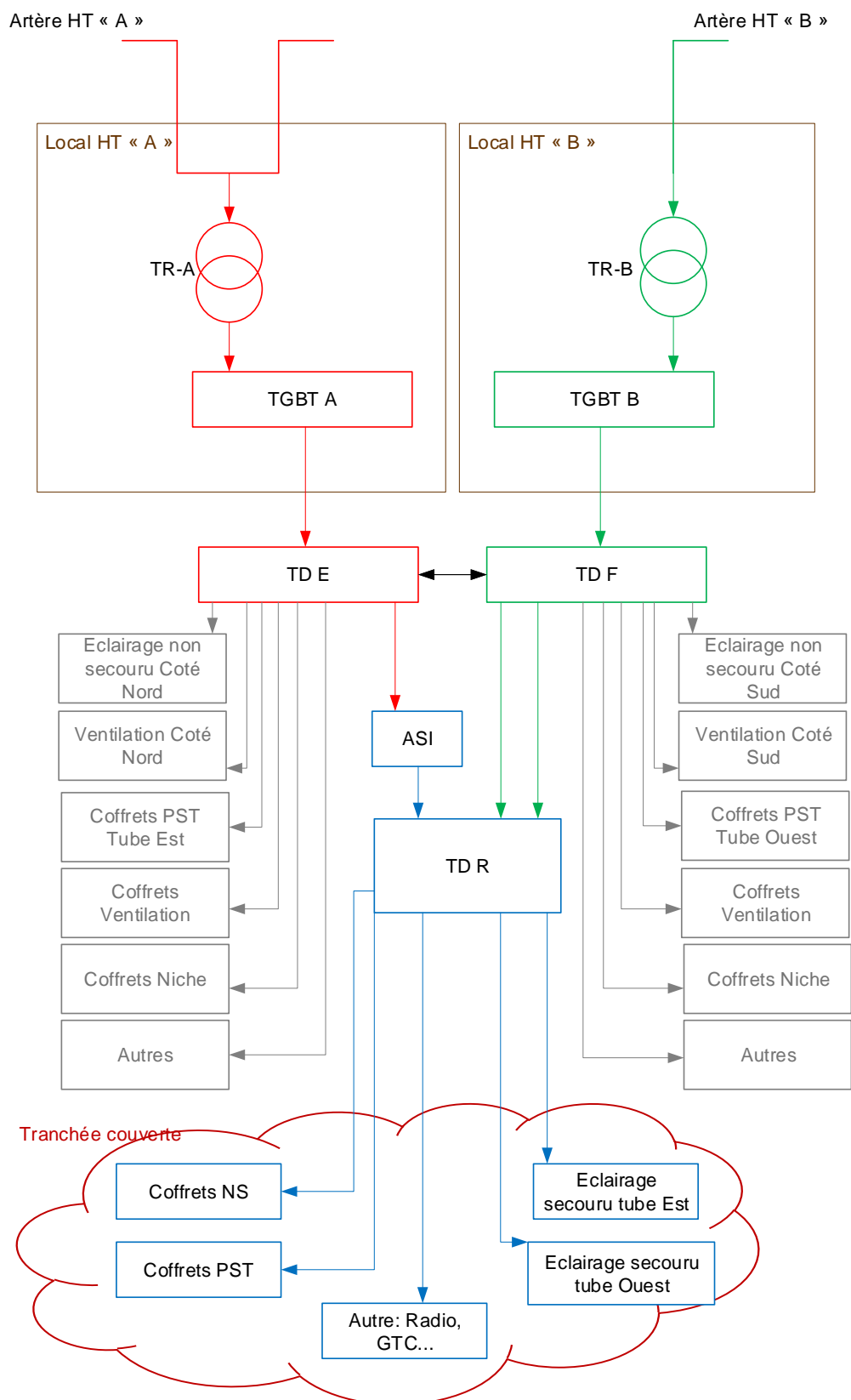


Figure 8 : Synoptique général de la distribution électrique

Les équipements seront répartis sur les deux TD normaux (TDE et TDF) ou seront alimentés en secours depuis le TDR.

II.4.2. Principes de couplage et de basculement basse tension

II.4.2.1. Généralités

Les TDE et F seront couplés deux par deux. Le couplage sera réalisé de la manière suivante :

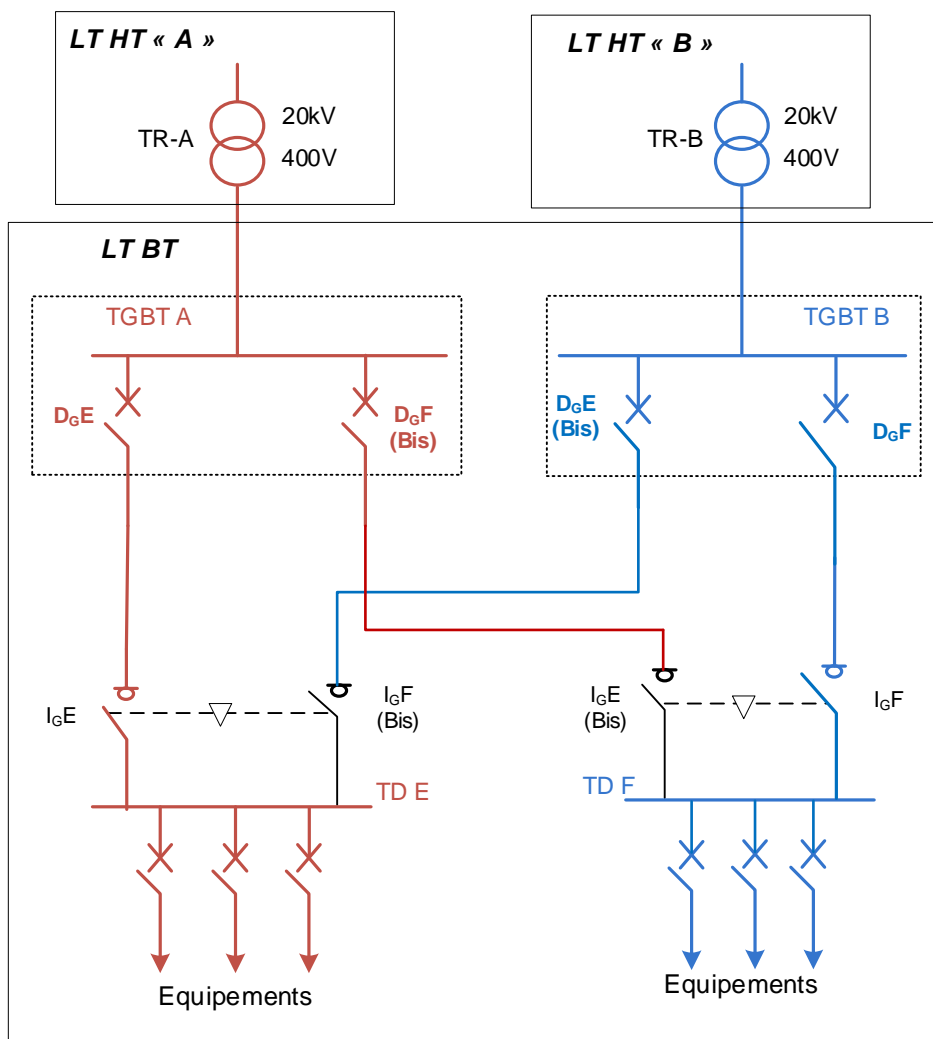


Figure 9 : Schéma de basculement en fonctionnement normal

Les Disjoncteur Généraux (D_G) assurent la protection en aval des transformateurs. Ils seront sélectifs avec la protection par fusible haute tension du transformateur HT/BT.

Les Interrupteurs Généraux (I_G) assurent le couplage entre les TD. Chaque interrupteur I_G sera interverrouillé mécaniquement avec l'autre interrupteur de couplage I_G Bis provenant de l'autre source afin que les deux appareillages ne puissent être en position « fermé » simultanément. Ainsi, les deux transformateurs ne pourront pas alimenter un même jeu de barre en parallèle.

Tous les Disjoncteurs Généraux (D_G) ne seront pas forcément débouchable en revanche les Interrupteurs Généraux (I_G) le seront, ces derniers seront en plus motorisés. Les opérations de couplage

et de découplage des TD seront gérées soit manuellement (mode manuel) soit à distance par le système GTC (mode automatique).

Le fonctionnement du système est explicité ci-dessous en fonction des différents scénarios :

En mode nominal, chaque TD sera alimenté par le transformateur qui lui est associé (voir Figure 8) :

Dans les tables suivantes le 0 symbolise un état ouvert et le 1 un état fermé.

Organe de commande	D _G E	D _G E (Bis)	D _G F	D _G F (Bis)	I _G E	I _G E (Bis)	I _G F	I _G F (Bis)
Etat	1	1	1	1	1	0	1	0

Tableau 3 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement normal

Lorsqu'une perte d'alimentation sera détectée en amont de I_GE (perte du transformateur ou de l'artère A), le basculement sera opéré de la manière suivante (voir Figure 9) :

- Ouverture de I_GE,
- Fermeture I_GF (Bis),
- Les autres appareils restent dans leurs états nominaux.

Les deux TD seront alors alimentés depuis le transformateur TR-B.

Le principe est similaire en cas de détection d'une perte d'alimentation en amont de D_GF (perte du transformateur ou de l'artère B).

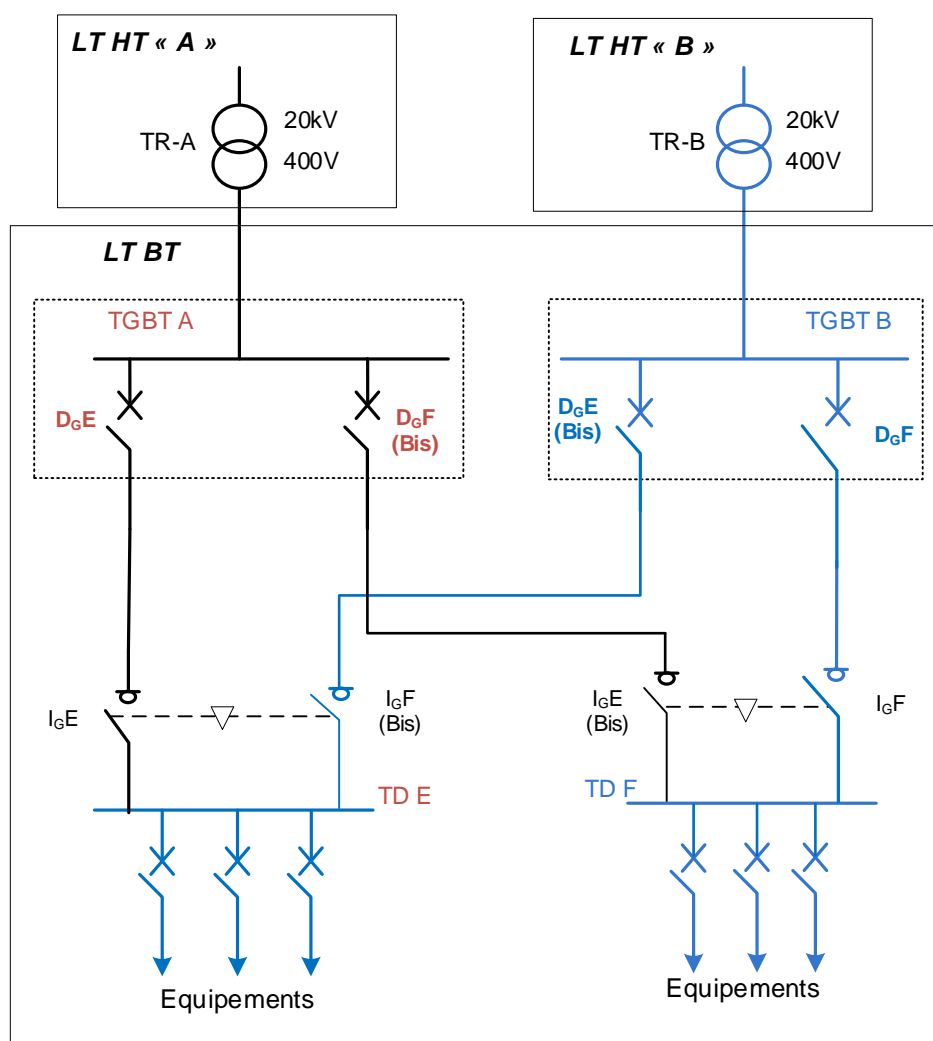


Figure 10 : Schéma du basculement lors de la perte de l'artère A ou du transformateur

II.4.2.2. Basculement automatique

En mode automatique, la position des disjoncteurs des TGBT est constamment fermée et celle des interrupteurs (inverseur de source) dépend du fonctionnement du réseau Haute Tension.

Du point de vue basse tension, le couplage d'un TD sur l'autre est nécessaire dès l'instant où un manque de tension est détecté en amont des sectionneurs de l'inverseur de source (I_{GE} ou I_{GF}) et que le disjoncteur général n'est pas ouvert par déclenchement sur défaut.

Sur apparition d'un manque de tension en amont d'un sectionneur de l'inverseur (I_{GE} ou I_{GF}), l'ouverture du sectionneur s'effectuera automatiquement, après temporisation.

Si après temporisation (maximum quelques minutes), la tension en amont du sectionneur ne revient pas, l'automatisme s'assurera de la présence tension en amont de l'interrupteur sectionneur de couplage et ordonnera sa fermeture (Sectionneur I_{GE} (Bis) ou I_{GF} (Bis)) du TD et effectuera le basculement sur l'autre artère. **L'automatisme pour la commande des interrupteurs doit être indépendant des automates GTC, il doit être alimenté par un combinateur de source reprenant les amonts. Il doit donc fonctionner sans la tension du jeu de barre stabilisé. La disparition de tension sur la source qui n'est pas utilisée, ne doit avoir aucune conséquence sur la présence de tension sur le jeu de barres.**

Au retour de la tension en amont de l'Interrupteur sectionneur (I_{GE} ou I_{GF}), après temporisation permettant de s'assurer de la stabilité, l'automatisme ouvrira l'interrupteur sectionneur de couplage (Sectionneur Bis), puis fermera l'Interrupteur sectionneur pour assurer un fonctionnement normal sur 2 artères.

Le système GTC gèrera le retour à la configuration initiale, même en cas de coupures multiples.

La GTC ne procédera pas au délestage et au re lestage des accélérateurs. Par conséquent, les armoires de commande ventilation mise en œuvre par les programmes spécifiques devront prévoir une remise en marche progressive des accélérateurs suite à un retour de la tension.

II.4.2.3. Basculements locaux

Trois modes de fonctionnement locaux seront possibles :

- Mode local marche normal :

Chaque TD est couplé au transformateur qui lui est associé,

Organe de commande	D_{GE}	D_{GE} (Bis)	D_{GF}	D_{GF} (Bis)	I_{GE}	I_{GE} (Bis)	I_{GF}	I_{GF} (Bis)
Etat	1	1	1	1	1	0	1	0

Tableau 4 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement normal

- Mode local marche secours :

Les deux TD sont couplés ensemble sur un seul transformateur,

Organe de commande	D_{GE}	D_{GE} (Bis)	D_{GF}	D_{GF} (Bis)	I_{GE}	I_{GE} (Bis)	I_{GF}	I_{GF} (Bis)
Etat	1	1	1	1	0	0	1	1

Tableau 5 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement secours

Ou l'inverse :

Organe de commande	D_{GE}	D_{GE} (Bis)	D_{GF}	D_{GF} (Bis)	I_{GE}	I_{GE} (Bis)	I_{GF}	I_{GF} (Bis)
Etat	1	1	1	1	1	1	0	0

Tableau 6 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement secours

- Mode local maintenance :

L'un des deux TGBT n'est plus du tout alimenté,

Organe de commande	D_{GE}	D_{GE} (Bis)	D_{GF}	D_{GF} (Bis)	I_{GE}	I_{GE} (Bis)	I_{GF}	I_{GF} (Bis)
Etat	1	1	1	1	0	0	1	0

Tableau 7 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement en maintenance

Ou :

Organe de commande	D_{GE}	D_{GE} (Bis)	D_{GF}	D_{GF} (Bis)	I_{GE}	I_{GE} (Bis)	I_{GF}	I_{GF} (Bis)
--------------------	----------	----------------	----------	----------------	----------	----------------	----------	----------------

Etat	1	1	1	1	1	0	0	0
------	---	---	---	---	---	---	---	---

Tableau 8 : Table d'état des disjoncteurs et interrupteurs pour le fonctionnement en maintenance

II.4.2.4. Commutation des modes de fonctionnement

Pour réaliser ces modes de fonctionnement, il sera prévu sur chaque TD, un commutateur à 4 positions:

- Mode automatique,
- Mode local marche normale,
- Mode local marche secours,
- Mode local maintenance.

Ces distinctions des 4 modes seront prévus au référentiel GTC.

Dans le cas des fonctionnements en mode local, le positionnement des organes électriques (disjoncteurs, interrupteurs) s'effectuera indépendamment de l'automate GTC et ceci par relaiage à l'intérieur des TD.

Dès le passage en mode automatique, c'est l'automatisme indépendant de la GTC qui reprendra le pilotage des organes électriques et qui assurera leur positionnement suivant la configuration en cours (comme expliqué dans le II.4.2.2).

Un mode distant peut éventuellement être ajouté, permettant la commande par la GTC après validation par l'OST (Pour le cas où le basculement serait conditionné à l'appel à ENEDIS).

A noter qu'à un instant donné, un TD peut être en mode automatique et l'autre dans l'un des modes locaux.

En cas de mise simultanée des deux TD en mode local maintenance, les deux TD ne seront alors plus alimentés. Seul le TD R fonctionnerait sur alimentation des batteries.

II.4.3. Tableau Divisionnaire normal

II.4.3.1. Répartition des équipements sur les TD

Les transformateurs seront dimensionnés pour reprendre toute la charge de la tranchée couverte en cas de perte de la seconde source d'alimentation ou du transformateur redondant. En fonctionnement normal, chaque transformateur alimentera une partie des équipements.

La charge devra être répartie sur chaque transformateur pour un meilleur fonctionnement des transformateurs et pour un meilleur équilibre de la charge sur les deux postes de livraison.

II.4.3.2. Départs pour les marchés spécifiques

Dans chaque TD Normal, des départs généraux pour le marché spécifique seront mis en œuvre :

- Départ général Eclairage,
- Départ général Ventilation/Désenfumage,
- Départ général Lutte contre l'incendie (coffret niches, coffret PST...),
- Départ général servitude,
- Départ général réseau onduleur.

Le nombre, et la répartition des protections seront définis précisément dans le tableau de dimensionnement des départs (à retrouver en Annexe 1049.0_PRO_Annexe_Dimensionnement_Distribution_Electrique), tout en veillant à répartir la charge, en utilisation normale et en scénario incendie, sur les deux TGBT.

Les protections des départs d'alimentation pour le marché spécifique seront fournies par le marché spécifique et installées par le titulaire du présent marché.

II.4.3.3. Face avant du TD

La face avant des TD sera équipée de la signalisation et des commandes locales du couplage ; il sera donc prévu :

- Une représentation synoptique de l'installation avec les voyants associés,
- Un commutateur de choix de commande des D_G et I_G : « automatique », « local marche normale », « local marche secours » et « local maintenance »,
- Les voyants de présence tension en amont des D_G et I_G ,
- Un bouton poussoir "essai lampe" pour l'ensemble du TD,
- Un voyant défauts des départs,
- Un voyant marche/arrêt accélérateur, commande local/distant accélérateur,
- Un voyant marche/arrêt éclairage, commande local éclairage,
- Un voyant présence tension sur jeux de barre du TD,

De plus, chaque TD comprendra en face avant :

- Un coup de poing de coupure électrique d'urgence de couleur rouge avec collerette de protection et signalisation,
 - La manœuvre du dispositif de coupure électrique entraînera la coupure en charge de l'alimentation complète du TD (D_G et I_G). Le déverrouillage du dispositif ne devra pas permettre la réalimentation sans action intentionnelle.
 - La manœuvre du dispositif de coupure électrique ne coupera pas l'autre TGBT présent dans le même local.
- Une centrale de mesures
- Chaque compartiment disposera également des voyants de signalisation adaptés (présence tension, défaut).

II.4.3.4. Auxiliaires

Les auxiliaires de chaque TD seront alimentés à la fois en BT 230 V (pour l'éclairage de l'armoire et les prises de courant) et en TBT 48 V 50 Hz à partir d'un transformateur monophasé 230V/48V (pour la centrale de mesure et les auxiliaires contrôle commande).

La source des auxiliaires sera créée par des combinateurs de sources sur le réseau normal (non secouru). Néanmoins en cas de perte des 2 sources d'alimentations les postes HT ne seront plus protégés, les cellules HTA ne seront plus motorisés.

II.4.3.5. Centrale de mesure

Une centrale de mesure sera prévue en face avant de chaque TD à proximité de l'arrivée.

Les prises de mesures seront mises en œuvre en aval du Disjoncteur Général. En cas de basculement, la centrale de mesure du TGBT raccordé sur le transformateur défaillant ne devra pas comptabiliser les valeurs issues de l'alimentation par l'interrupteur général (Figure 10).

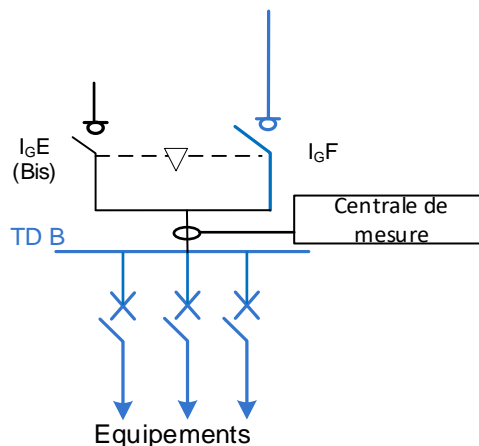


Figure 11 : Centrale de Mesure du TD

II.4.3.6. Dimensionnement des TD

Type de TD	Puissance maximale consommée (KVA)	Nombre de départs	Nécessité de mettre en place une compensation d'énergie réactive
TD E	646	21	Oui
TD F	636	22	Oui
TD R	120	29	Non

Les détails des différents départs sont récapitulés dans le tableau permettant de dimensionner chaque départ en annexe 1049.0_PRO_Annexe_Dimensionnement_Distribution_Electrique.

II.4.4. Sélectivité BT

Au niveau de l'installation électrique, les récepteurs sont reliés aux générateurs à travers une succession de dispositif de protection, sectionnement, commande et câble.

Le but de la sélectivité est de pouvoir, en cas de défaut, déconnecter le réseau le récepteur ou le départ en défaut, et seulement celui-ci, dans un but de continuité maximale.

Dans la mesure du possible, la sélectivité de l'installation électrique devra être totale, depuis les coffrets divisionnaires jusqu'aux TGBT.

II.4.5. Mise à la terre et réseau équipotentiel

II.4.5.1. Schéma de mise à la terre

Le schéma de la mise à la terre basse tension sera de type TN.

Le schéma sera TN-C entre les transformateurs et les TGBT. Le schéma sera TN-S pour l'alimentation des armoires et coffrets secondaires, mais n'est pas systématiquement imposé en aval des TGBT. En particulier, la liaison entre le TGBT et les tableaux divisionnaires pourra être réalisé en TN-C.

II.4.5.2. Mise à la terre

Dans le local technique existant, la borne de terre existante sera conservée. Sur la base de ce modèle, le nouveau réseau général de terre sera déployé dans le nouveau local technique. Le conducteur de terre doit avoir une section minimum de 50mm² en cuivre nu.

Les éléments suivants sont raccordés au réseau de terre :

- Les masses de tous les circuits du poste et notamment les gaines ou écrans conducteurs des câbles, les bâtis et pièces métalliques normalement hors tension des transformateurs, appareils de coupure, moteurs,
- Les chemins de câble.
- Les tableaux de comptage.
- Les masses des TGBT, Divisionnaire et armoires de servitudes.
- Les masses des ASI.
- Les châssis support de tous les équipements.
- La terre du neutre des transformateurs.

Le schéma en annexe 009-PRO-0-Schéma distribution BT illustre le futur schéma de mise à la terre du nouveau local technique

Le titulaire des travaux s'assurera de la conformité du réseau de terre actuel notamment sur la section des conducteurs.

II.4.5.3. Réseau équipotentiel

Le réseau équipotentiel sera constitué d'un câble nu de section 25mm² installé sur les chemins de câble Basse tension dans les 2 tubes. Le câble nu cheminera tout le long du tunnel entre les deux têtes de l'ouvrage. Pour assurer la continuité d'un potentiel nul, le câble du réseau équipotentiel sera relié à une borne de terre principale où le câble du réseau général de terre est connecté.

Le titulaire des travaux s'assurera de la liaison équipotentielle de tous les équipements.

II.4.6. Alimentation sans interruption

Une alimentation sans interruption (onduleur + batterie) sera mise en œuvre dans le local technique basse tension.

L'Alimentations Sans Interruption (ASI) sera constituée :

- D'un redresseur- chargeur,
- D'une batterie d'accumulateurs étanches sans entretien,
- D'un onduleur triphasé,
- D'un contacteur statique de by-pass automatique,

La technologie des ASI sera de type à découpage Haute Fréquence.

II.4.6.1. Modes de fonctionnement

Les différents modes de fonctionnement de l'alimentation sans interruption sont décrits ci-dessous.

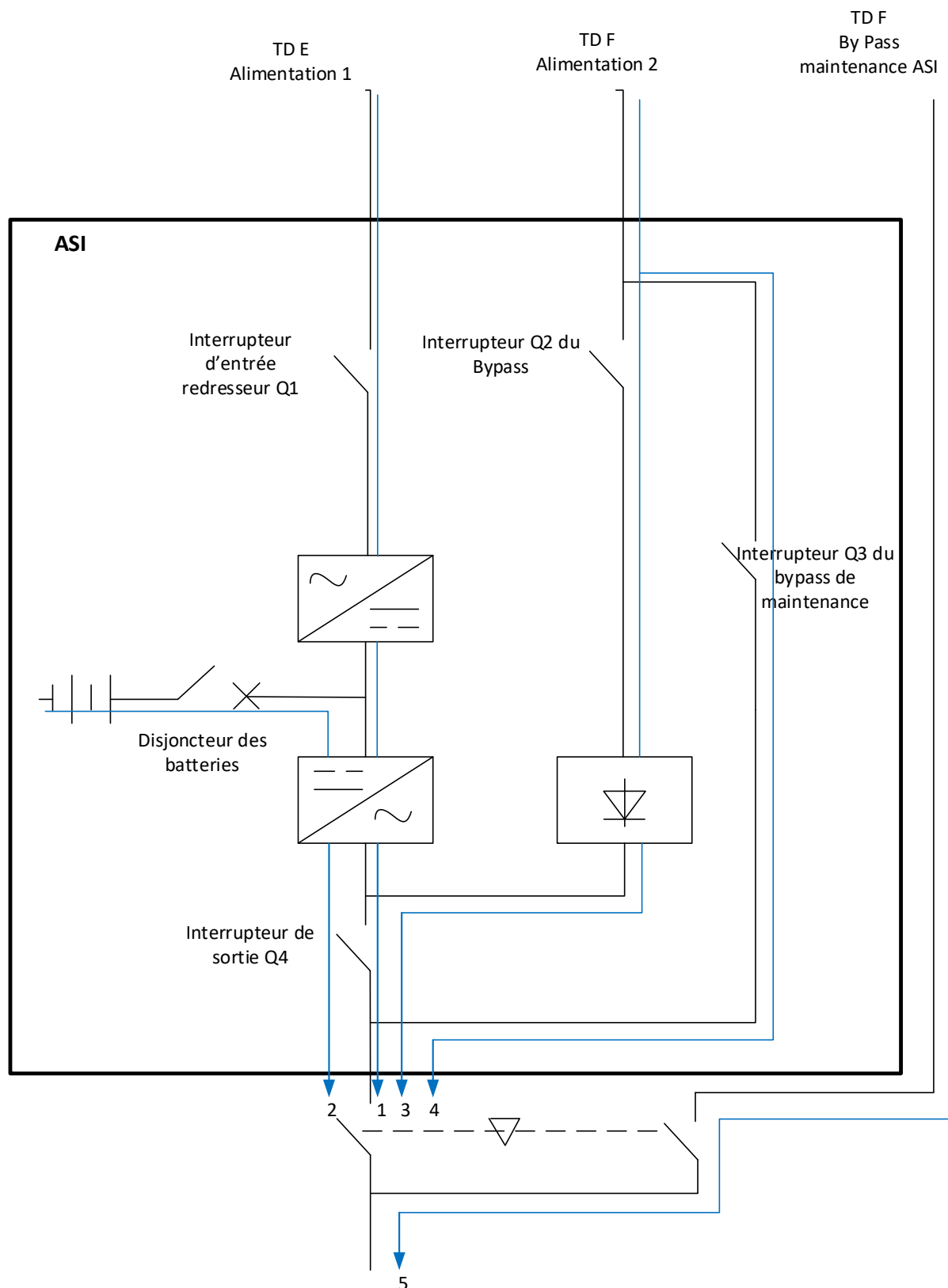


Figure 12 : Modes de fonctionnement de l'alimentation sans Interruption

1 - Mode normal

En mode normal, le TD R est alimenté par le TD E. Le TD E charge les batteries.

2 - Mode de fonctionnement sur batterie

En cas de perte de l'alimentation depuis le TD E, le TD R sera alimenté par les batteries.

3 - Mode de fonctionnement sur by-pass statique (fin autonomie batterie par exemple)

En cas de perte de l'alimentation depuis le TD E et à l'épuisement des batteries, le by-pass s'actionne et le TD F alimente le TD R.

Si lors du fonctionnement sur batterie, la demande d'énergie du TD R dépasse les capacités d'énergie de l'ASI, elle basculera l'alimentation du TD R sur le TD F de l'ASI (fonctionnalité intrinsèque de l'ASI).

4 - Mode de fonctionnement sur détournement manuel interne à l'ASI

Ce mode est utilisé pour la maintenance. Le TD F alimente le TD R.

5 - Mode de fonctionnement sur détournement manuel externe à l'ASI

Ce mode est utilisé pour la maintenance. Il permet de mettre hors tension l'ensemble de l'ASI. Le TD F alimente le TD R par l'intermédiaire d'un inverseur de source (comme représenté ci-dessus).

Les ASI seront associés à des batteries d'accumulateurs leur assurant une autonomie de 60 minutes. Les batteries seront placées dans des baies climatisées dans un local prévu à cet effet.

II.4.6.2. Tableau Divisionnaire secouru

Le TD R possédera sa propre enveloppe, séparée physiquement de l'enveloppe des autres TD

Le TD R comprendra deux arrivées à commande manuelle avec verrouillage mécanique (commutateur de sources) interdisant l'alimentation simultanée depuis le By Pass maintenance et depuis l'ASI. Deux modes de commande seront prévus : un mode automatique (avec détection de manque de tension) et un mode local.

Les arrivées seront pourvues :

- D'un disjoncteur pour la sortie de l'ASI,
- D'un interrupteur pour le « By- Pass maintenance » provenant du départ du TD F.

Les deux équipements de coupure seront verrouillés mécaniquement et débrouillables en position « ouvert ».

Chaque départ sera protégé par un disjoncteur cadenassable en position « ouvert » pour la consignation.

Le TD R comprendra les départs pour l'alimentation des équipements suivants :

- L'éclairage secouru des 2 tubes,
- Les armoires et coffrets secondaires (niche et PST),
- Les automates ou équipements associés du système GTC,
- Les auxiliaires et signalisation du poste de transformation Haute Tension, et des tableaux basse tension,
- Les baies GTC, vidéo, DAI, radio,
- La détection incendie et l'éclairage des locaux techniques.

- La climatisation et la ventilation de locaux technique.

Voir les départs du tableau secouru (TDR) en annexe : 1049.0_PRO_007_Dimensionnements des départs.

En face avant du TD seront disposés une signalisation présence tension en amont du jeu de barre et une signalisation de défaut des départs.

II.4.7. Compensation de l'énergie réactive

Une compensation d'énergie réactive devra être mise en place au niveau des 2 TGBT.

Ce système aura pour but de maintenir le facteur de puissance total de toute l'installation au minimum à 0.93. Les batteries de condensateurs permettront essentiellement de réduire l'énergie réactive des moteurs (accélérateurs, surpresseurs...). En effet ces équipements seront les seuls à consommer une grande quantité de réactif.

Une estimation de la capacité des condensateurs a été calculée en prenant comme donnée initiale un facteur de puissance de 0.88 pour les moteurs. Le calcul est réalisé pour un Tableau Divisionnaire.

Puissance active totale des moteurs (KW)	Puissance réactive totale des moteurs (KVAR)	Future puissance réactive après compensation (KVAR)	Capacité de chaque condensateur (µF)
440	6.8	7.14	2.3

Tableau 9 : Dimensionnement de chaque condensateur de la batterie d'un TD

II.5. BILAN DE PUISSANCE

L'objectif du bilan de puissance est de déterminer :

- La puissance nominale des transformateurs ;
- La puissance nominale des alimentations sans interruptions ;
- Le dimensionnement de l'enveloppe de chaque TGBT et tableaux divisionnaires.

L'alimentation des équipements sera assurée dans les configurations suivantes de réseau de distribution :

- Perte d'un transformateur d'un local technique ou perte d'une artère HT (basculement basse tension) et avec sinistre dans un tube.

Les détails des bilans de puissance sont dans : 1049.0_PRO_007_Bilan de puissance

II.5.1. Hypothèse

Afin de dimensionner les installations électriques, dont la consommation globale varie au cours de différentes situations : mise en service d'un régime d'éclairage ou utilisation des accélérateurs, les hypothèses suivantes ont été prises pour en cas de sinistre dans un tube et perte d'un transformateur :

- Eclairage de renforcement à 100% ;
- 8 Accélérateurs à 100% dans le tube sinistré et 2 accélérateurs à 100 % dans l'autre tube pour le recyclage des fumées ;
- Utilisation d'une prise pompier dans le tube sinistré : 3 prises pompier par tube ;
- Réseau ondulé alimenté par le transformateur ;

Afin de dimensionner l'alimentation sans interruption lors d'une perte du réseau ENEDIS ou des transformateurs, les hypothèses suivantes ont été prises en compte :

- Tunnel éclairé par les luminaires de secours soit 50% de la puissance de l'éclairage de base ;
- L'éclairage des niches de sécurité et des niches incendies ;
- L'éclairage des issues de secours ;
- Les plots de jalonnement ;
- Les équipements de signalisation et de signalétique ;
- Le système GTC ;
- Les Postes d'Appels d'Urgences et Téléphones de Sécurité ;
- Le système de vidéosurveillance / Détection automatique d'incendie (DAI) ;
- La détection incendie des locaux techniques ainsi que leur éclairage ;

II.5.2. Dimensionnement des appareils

Ci-dessous le détail des bilans de puissance incluant les puissances nécessaires aux bons fonctionnements des équipements avec un scénario critique.

SINISTRE DANS UN TUBE (Ouest), PERTE ALIMENTATION ENEDIS TRANCHE B, COUPLAGE HTA A et B, après rénovation batteries d'accélérateurs et éclairages						
Consommateur	qté	puissance (kW)	fact. de puissance	coeff. utilisation	kVA unitaire	kVA total
TGBT B / TD F						
Armoire DFP1 T22.366P (A86 W Entrée)	1	-	-	0	2,5	0
Armoire PST T22.358S (A86 W Canton 1 Extérieur)	1	-	-	0	12,5	0
Armoire PST T22.361V (A86 W Canton 2 IS W1)	1	-	-	0	18,3	0
Armoire PST T22.363X (A86 W Canton 3 IS W2)	1	-	-	0	18,3	0
ECL de base Tube W côté Sud	1	1	0,9	1	1	1
ECL de base Tube Y côté Sud	1	1	0,9	1	1	1
ECL de renfort Tube W VL	1	8	0,9	1	9	9
ECL de renfort Tube W VR	1	8	0,9	1	9	9
ECL de renfort Tube Y VL	1	5	0,9	1	6	6
ECL de renfort Tube Y VR	1	5	0,9	1	6	6
Accélérateur VON1	1	55	0,6	1	92	91,7
Accélérateur VON2	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VON3	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VON4	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VEN1	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VEN2	1	55	0,9	0	61	0,0
Accélérateur VEN3	1	55	0,9	0	61	0,0
Accélérateur VEN4	1	55	0,9	0	61	0,0
Baies GTC	1			0	2	0
Alimentation By pass Onduleur	1			0	104	0
Alimentation Onduleur Réseau 2	1			0	104	0
Prise tetra pompier dans coffrets niches	3	12	1	0,33	12	12
TOTAL TGBT A					379,2	
TGBT A / TD E						
Armoire DFP2 T22.365A (A86 Y Entrée)	1	-	-	0	2,5	0
Armoire PST T22.367D (A86 Y Canton 1 Extérieur)	1	-	-	0	12,5	0
Armoire PST T22.369F (A86 Y Canton 2 IS Y1)	1	-	-	0	18,3	0
Armoire PST T22.372J (A86 Y Canton 3 IS Y2)	1	-	-	0	18,3	0
ECL de base Tube W côté Sud	1	1	0,9	1	1	1
ECL de base Tube Y côté Sud	1	1	0,9	1	1	1
ECL de renfort Tube W VL	1	8	0,9	1	9	9
ECL de renfort Tube W VR	1	8	0,9	1	9	9
ECL de renfort Tube Y VL	1	5	0,9	1	6	6
ECL de renfort Tube Y VR	1	5	0,9	1	6	6
Accélérateur VOS1	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VOS2	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VOS3	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VOS4	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VES1	1	55	0,9	1	61	61,1
Accélérateur VES2	1	55	0,9	0	61	0,0
Accélérateur VES3	1	55	0,9	0	61	0,0
Accélérateur VES4	1	55	0,9	0	61	0,0
Eclairage locaux techniques TBT	2			1	0,2	0,4
Eclairage de sécurité des locaux techniques TBT	2			1	0,01	0,02
PC Locaux technique	2			1	0,4	0,8
Baies GTC	1			0	2	0
Prise tetra pompier dans coffrets niches	3	12	1	0,00	12	0
TOTAL TGBT B					337,9	
Equipement Alimentation secouru	1			1	123,286	123,3
TOTAL Equipement alimentation secourue						123,3
TOTAL GENERAL						840
Gamme transformateur						1000
Réserve						16%

Tableau 10 : Bilan de puissance pour le dimensionnement des transformateurs.

D'après ce tableau, les transformateurs auront une puissance de 1000 KVA chacun. En effet la puissance maximale fournie par un transformateur pour les équipements dans un scénario critique est de 840 KVA ce qui permet d'avoir une réserve de 16 %.

Ci-dessous le bilan de puissance pour le dimensionnement de l'onduleur. Pour cette estimation, il a été pris en compte la totalité des installations réparties sur le tableau ondulé.

MODE NOMINAL : EXPLOITATION SINISTRE, TOUS LES EQUIPEMENTS OK, BATTERIE CHARGEE, REGULATION EN FLOATING					
Consommateur	qté	coeff. utilisation	puissance unitaire (kVA)	puissance totale (kVA)	commentaire
ECL de base secours Tube W coté Nord	1	1	0,5	0,5	Eclairage de sécurité constamment alimenté
ECL de base secours Tube W coté Sud	1	1	0,5	0,5	
ECL de base secours Tube Y coté Nord	1	1	0,5	0,5	
ECL de base secours Tube Y coté Sud	1	1	0,5	0,5	
Armoire DFP2 T22.365A (A86 Y Entrée)	1	1	2,5	2,5	Ajout des PST sur l'ondulé
Armoire PST T22.367D (A86 Y Canton 1 Extérieur)	1	1	12,5	12,5	
Armoire PST T22.369F (A86 Y Canton 2 IS Y1)	1	1	18,3	18,3	
Armoire PST T22.372J (A86 Y Canton 3 IS Y2)	1	1	18,3	18,3	
Armoire DFP1 T22.356P (A86 W Entrée)	1	1	2,5	2,5	
Armoire PST T22.358S (A86 W Canton 1 Extérieur)	1	1	12,5	12,5	
Armoire PST T22.361V (A86 W Canton 2 IS W1)	1	1	18,3	18,3	
Armoire PST T22.363X (A86 W Canton 3 IS W2)	1	1	18,3	18,3	
Coffret niche Ouest section Nord W2-W1	1	1	1,3	1,3	
Coffret niche Ouest section Sud W3-W4	1	1	1,3	1,3	
Coffret niche Est section Nord W2-W1	1	1	1,3	1,3	
Coffret niche Est section Sud W3-W4	1	1	1,3	1,3	
Baies GTC	1	1	2	2	
Baies GTC	1	1	2	2	
Auxiliaires HT	2	1	1,5	3	
Auxiliaires TGBT	2	1	2	4	
DI locaux techniques	2	1	0,1	0,2	
Eclairage local BT	9	1	0,022	0,198	
Eclairage de sécurité local BT	4	1	0,022	0,088	
Radio 1	1	1	0,5	0,5	
Radio 2	1	1	0,5	0,5	
Autocom	1	0	0,2	0	sera déposé
Télécommande BAES	2	1	0,2	0,4	
TOTAL Tableau Ondulé				123,3	
Puissance projetée Onduleur				160,0	
Réserve Onduleur				23%	

Tableau 11 : Bilan de puissance pour le dimensionnement de l'onduleur

Avec les éléments présentés dans ce tableau, il sera retenu une puissance de 160 KVA pour l'onduleur ce qui permet d'avoir une réserve de 23%.

II.6. CABLES ET CHEMINEMENTS

II.6.1. Types de câbles

Différentes caractéristiques de câbles seront déployées :

- Câbles de catégorie C2 dits «non propagateurs de la flamme ». Ils seront utilisés pour les liaisons empruntant des cheminements sécurisés (fourreaux enterrés) ainsi qu'en bâtiments techniques ;
- Câbles de catégorie C1 dits «non propagateur de l'incendie ». Ils seront utilisés pour toutes les liaisons empruntant des cheminements non sécurisés (chemin de câbles) et dès lors qu'ils cheminent en tunnel, en niches de sécurité ;
- Câbles de catégorie CR1 –C1 dits « résistants au feu ». Ils seront utilisés en dehors des cheminements protégés pour l'alimentation des équipements dont l'alimentation doit être maintenue en cas d'incendie (éclairage de sécurité, accélérateurs, plots de jalonnement, signalisation) ;

Tous les câbles C1 et CR1-C1 seront sans halogène (SH).

II.6.2. Caractéristiques des cheminements

En amont de la réalisation des cheminements de câbles dans les issues de secours, niche de sécurité ou dans le tunnel, le titulaire devra s'assurer de l'état actuel des cheminements existant. Dans l'hypothèse où les cheminements sont utilisables, ils seront réutilisés pour les futures installations.

Si les chemins de câbles existants sont inexploitables, ces derniers seront déposés et remplacé par des nouveaux.

Les nouveaux chemins de câbles sont divisés en 2 catégories suivant leur caractéristique.

- Les cheminements à moins de 2 m de hauteur seront des chemins de câbles dalle marine capotée.
- Les cheminements à plus de 2 m de hauteur seront des chemins de câbles fil d'acier galvanisé.

II.6.3. Cheminement des câbles en tunnel

Les câbles d'alimentation en tunnel chemineront sur les chemins de câbles soit en sommitale (luminaires, accélérateurs, signalisation) soit en piédroits (alimentation des PST, plots de jalonnement et signalisation) :

- Le cheminement des câbles d'éclairages, de ventilation et de signalisation (FAV) se fera dans les chemins de câbles au plafond mis en œuvre dans le cadre de ce marché.
- Le cheminement des câbles d'alimentation des coffrets PST, prises pompier, signalisation des niches et issues et plots de jalonnement se fera sur des chemins de câbles sur le piédroit droit de chaque sens. La descente des câbles vers les issues et les niches seront en dalle capotée.

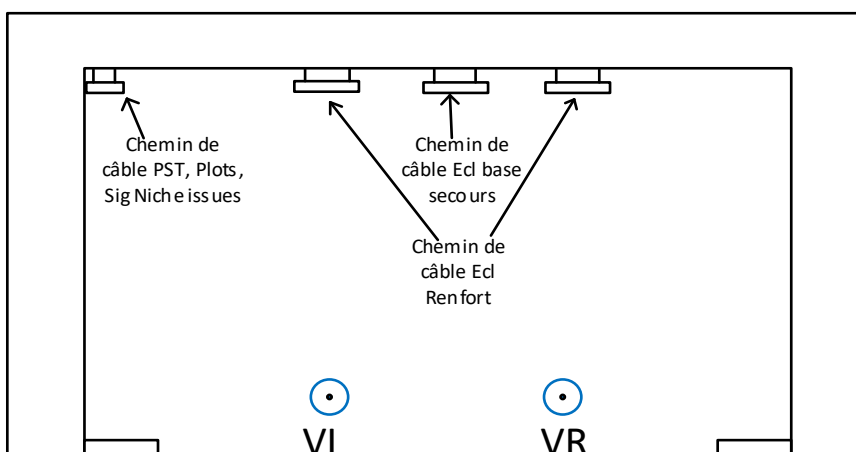


Figure 13 : Cheminement des câbles pour les circuits d'éclairage et pour les PST et Niches

De manière générale, tous les chemins de câbles seront dimensionnés en fonction de la charge à supporter et du pas des supports permettant la fixation des chemins de câbles.

II.6.4. Cheminements dans le local technique

Les spécifications des cheminements de câbles dans les LT sont détaillées dans le mémoire Local Technique.

III.SPECIFICATIONS TECHNIQUES DETAILLEES

III.1. EQUIPEMENTS HT EN LOCAL TECHNIQUE

III.1.1. Cellules HT

III.1.1.1. Normes applicables

Les cellules du poste de livraison en amont de la protection générale incluse doivent être mise en œuvre conformément à la norme NF C 13-100. Ces cellules (interrupteurs arrivées ENEDIS, transformateur de potentiel pour le comptage et protection générale) devront être conformes à la spécification EDF HN 64-S-52.

Les cellules en aval de la protection générale seront mises en œuvre conformément à la norme NF C 13-200.

L'ensemble des cellules seront conformes à la norme NF EN 62271.

III.1.1.2. Caractéristiques générales des cellules 20 kV

L'ensemble des équipements 20 kV sera du type préfabriqué modulaire en cellule protégée pour installations dans les locaux techniques HT. Les contraintes d'implantation peuvent être fortes, d'où la nécessité de matériels d'une grande compacité. Ils auront les caractéristiques suivantes :

Libellé		Caractéristiques
Tension assignée		24 kV
Tension de service		20 kV
Courant nominal du jeu de barres		400 A
Fréquence industrielle		50 Hz
Tension de tenue assignée à la fréquence industrielle pendant 1 minute	Isolement	50 kV eff
	Sectionnement	60 kV eff
Tension de tenue assignée au choc foudre 1,2/50µs	Isolement	125 kV crête.
	Sectionnement	145 kV crête.
Courant de courte durée admissible assignée		12,5/20 kA eff 1 s
Courant crête assigné		31.25 kA
Appareils à coupure		Tripolaires à isolement et coupure dans le SF6 (hexafluorure de soufre) ou dans le vide

De plus ;

- Chaque organe de coupure et de protection de cellule sera équipé de contacts auxiliaires de renvoi d'informations vers les systèmes de gestion technique centralisée mis à disposition au niveau du coffret de regroupement GTC,
- Toutes les cellules seront munies en face avant d'étiquettes dilophane gravées, lisibles à une distance de deux mètres minimums, assurant la désignation de la cellule.

- La face avant de la cellule comportera également le schéma synoptique unifilaire de la cellule au format A4.
- Un système de verrouillage fonctionnel sera réalisé par serrures et clefs au niveau des cellules pour permettre d'exécuter en toute sécurité les manœuvres nécessaires à l'exploitation, et cela conformément aux descriptifs fonctionnels du futur réseau électrique 20 kV.
- Les cellules HT seront fixées au sol des locaux techniques de manière à prévenir tout risque de chute d'équipement.
- Les cellules HT devront être posées sur un châssis surélevé, en l'absence de caniveaux techniques.

III.1.1.3. Cellules interrupteur arrivées ENEDIS

Chacune des 2 cellules interrupteur d'arrivée ERDF comprendra les équipements suivants (Arrivée réseau C13 100) :

- Un jeu de barres tripolaire 400 A.
- Un ensemble motorisé composé d'un interrupteur-sectionneur et d'un sectionneur de terre 400A.
- La commande motorisée 48VCC « type 3 Enedis » (réseau en double dérivation) comprendra :
 - 1 Relais de détection de tension
 - 1 Interrupteur de Neutralisation de la cde à distance
 - 1 Liaison pour coffret ITI/PASA avec connecteur (L=10m)
- Un jeu de contacts auxiliaires câblé sur le bornier collecteur du coffret GTC.
- Un ensemble de collecteurs de terre permettant notamment le raccordement à la terre des écrans de câbles secs.
- Un indicateur mécanique de position de l'interrupteur et du sectionneur de terre en face avant de la cellule.
- 3 voyants de présence tension en face avant de la cellule avec diviseurs capacitifs.
- Un système de verrouillage et d'inter-verrouillage de l'interrupteur par ensemble de clefs et serrures spécifiques.
- Un compartiment en partie basse de cellule, équipé de 3 plages de raccordement 400A, supports de fixation et serre-câbles pour recevoir 1 câble sec unipolaire aluminium 240 mm² maximum par phase.

III.1.1.4. Coffret ITI-PASA

Un coffret ITI-PASA 2 voies sera mis en œuvre seulement au niveau du poste de livraison HAUTE BORNE. Il devra être conforme à la spécification EDF HN 45-S-41.

Il comprendra :

- 1 Rack regroupant l'ensemble des modules électroniques
- 1 Modem RTC
- 1 Batterie Alimentation secourue
- Des connecteurs pour la liaison vers les commandes électriques des Interrupteurs
- 6 tores phase ouvrants 500/1 KSCTR500-1
- 2 Liaisons Tores 10m

III.1.1.5. Cellules transformateur de potentiel pour comptage

Une cellule transformateur de potentiel sera mise en œuvre au sein du poste de livraison afin de permettre le raccordement des tableaux de comptage.

Chaque cellule transformateur de potentiel pour comptage comprendra les équipements suivants :

- 1 jeu de barres tripolaire 400 A,
- 1 sectionneur et sectionneur de mise à la terre, liés avec les sectionneurs BT situés en aval,
- 1 indicateur mécanique de position du sectionneur de terre en face avant de la cellule.
- 3 puits fusibles UTE étanches,
- 3 fusibles de protection haute tension 6,3 A à percuteur avec contact de signalisation fusion fusible.
- 3 transformateurs de potentiel de mesure
- 3 voyants de présence tension en face avant de la cellule.
- 1 compartiment BT intégrant :
 - 1 sectionneur des circuits BT avec protection fusibles (circuit comptage)
 - 1 sectionneur des circuits BT avec protection fusibles (circuit relais protection)
 - 1 verrouillage mécanique entre le sectionneur au primaire et celui au secondaire.
- 1 ensemble de collecteurs de terre.
- Des plages de raccordement pour assurer le branchement du tableau de comptage.
- Les équipements nécessaires aux renvois d'informations de contrôle / commande vers le système de gestion technique centralisée (borniers collecteurs des informations en caisson Basse Tension, filerie, contacts auxiliaires, ...), dont notamment un relais de présence tension permettant de détecter l'absence ou la présence de tension EDF Un caisson basse tension montée en rehausse sur la cellule et permettant d'accueillir notamment les équipements
- 1 jeu de contacts auxiliaires de renvoi d'informations câblés sur le bornier collecteur du coffret GTC.

III.1.1.6. Cellule protection générale par disjoncteur

Une cellule protection générale par disjoncteur à double sectionnement sera mise en œuvre au niveau des 2 postes de livraison.

La cellule protection générale (C13 100) comprendra les équipements suivants :

- 1 jeu de barres tripolaire 400 A,
- 2 sectionneurs rotatifs de mise en court-circuit et à la terre, à commande manuelle par levier (trois positions : en service, hors service, à la terre).
- 1 verrouillage mécanique entre les 2 sectionneurs précités,
- 1 disjoncteur à coupure dans le SF6, calibre 400 A, avec bobine de déclenchement à manque et indicateurs mécaniques ressort bandé, compteur de manœuvres mécaniques,
- 3 transformateurs de courant pour la protection et le comptage,
- Des indicateurs mécaniques de position du disjoncteur et des sectionneurs en face avant de la cellule.
- 3 voyants de présence tension en face avant de la cellule,
- 1 ensemble de collecteurs de terre,

- 1 système de verrouillage et d'interverrouillage de la cellule disjoncteur double sectionnement par ensemble de clefs et serrures spécifiques,
- 1 caisson basse tension contenant :
 - Des borniers basse tension,
 - La filerie auxiliaire,
 - Une unité de contrôle, de mesure et de protection avec afficheur numérique, touches de choix et acquittement, voyants de position, intégrant les fonctions de mesures (courants, tensions, puissances, facteur de puissance, énergie, etc.), avec boîtier de connexion, boîtes à bornes d'intensité et de tension type C13-100, etc.
 - La commande de la protection
 - Un disjoncteur de protection des circuits BT ;
- 1 jeu de contacts auxiliaires câblé sur le bornier collecteur du coffret GTC

Le dispositif de protection devra pouvoir être réglé avec deux seuils de déclenchements :

- 1 déclenchement différé à $8 I_B$.
- 1 déclenchement instantané à partir de $25 I_B$

III.1.1.7. Cellule protection transformateur

Les cellules de protection par fusibles des transformateurs seront adaptées à la puissance du transformateur qu'elle protège.

Chaque cellule de protection transformateur comprendra les équipements suivants :

- 1 jeu de barres tripolaire 400 A.
- 1 interrupteur-sectionneur et sectionneur de terre 200 A,
- 1 sectionneur de terre aval,
- 3 puits fusibles étanches pour fusibles DIN L=442mm
- 3 fusibles de rechange 40A
- 3 fusibles de protection haute tension à percuteur avec contact de signalisation fusion fusible, présentant un pouvoir de coupure de 20kA en cas de court-circuit.
- Le calibre du fusible sera choisi en prenant en considération la puissance du transformateur, en aval de la cellule.
- 1 bobine de déclenchement, permettant l'ouverture de l'interrupteur sur fusion d'un fusible ou sur deuxième seuil de température du transformateur HT/BT.
- 1 dispositif d'ouverture de l'interrupteur sur fusion de l'un des fusibles, contact Fusion Fusible,
- 3 indicateurs de présence tension.
- 1 verrouillage mécanique entre interrupteur, sectionneur de terre et capot câbles
- 1 verrouillage par serrures HT/Transformateur/BT
- 1 ensemble de collecteurs de terre permettant notamment le raccordement à la terre des écrans de câbles secs,
- 3 traversées fixes 200A pour connecteurs séparables équerre ou droit 250A et câbles unipolaires $\leq 95\text{mm}^2$
- 1 jeu de contacts auxiliaires de renvoi d'information câblé sur le bornier du coffret GTC.

III.1.1.8. Cellule interrupteur

Il est traité ici de toutes les cellules interrupteur qui servent à la distribution et à la répartition des artères A et B : tableaux d'artères des locaux techniques ainsi que les cellules de départ d'artère de chaque poste de livraison.

Ces cellules comprendront les équipements suivants :

- 1 jeu de barres tripolaire 400 A.
- 1 ensemble interrupteur-sectionneur et sectionneur de terre 400 A.
- 1 jeu de contacts auxiliaires câblé sur le bornier collecteur du coffret GTC.
- 1 indicateur mécanique de position de l'interrupteur et du sectionneur de terre en face avant de la cellule.
- 1 ensemble de collecteurs de terre permettant notamment le raccordement à la terre des écrans de câbles secs.
- 1 voyant de présence tension par phase, ainsi que les équipements de contrôle / commande associés au fonctionnement de ces voyants lumineux de présence de tension (contacteurs notamment).
- 1 compartiment en partie basse de cellule, équipé de plages de raccordement ou de connecteurs pour recevoir 3 câbles secs unipolaires aluminium présentant une section déterminée par les études d'exécution de l'entreprise.
- 1 système de verrouillage de l'interrupteur par ensemble de clefs et serrures spécifiques.

Les cellules de départ d'artère, dans les postes de livraison et tableaux HT des postes de transformations seront de plus d'un détecteur de défauts de phase et de défauts homopolaires composé de trois tores et équipé d'une signalisation lumineuse et de contacts auxiliaires de sorties (1 NO + 1NF) dont les informations seront reportées à la GTC via les borniers collecteurs du coffret GTC.

III.1.2. Verrouillage des équipements HT

Tous les équipements 20 kV seront équipés de verrouillages mécaniques et électriques.

Les verrouillages sont de deux ordres :

- Les verrouillages propres à chaque cellule.
- Les verrouillages par serrure entre cellules.

III.1.2.1. Verrouillage propre aux cellules

Concernant le verrouillage des cellules interrupteur et protection transformateur les caractéristiques sont les suivantes :

- La fermeture de l'interrupteur n'est possible que si le sectionneur de mise à la terre est ouvert et le panneau d'accès au compartiment câbles est fermé.
- La fermeture du sectionneur de mise à la terre n'est possible que si l'interrupteur est ouvert.
- L'ouverture du compartiment câble d'une cellule n'est possible que si le sectionneur de terre est fermé.

- L'interrupteur est verrouillé ouvert lorsque la porte du compartiment câble de la cellule est ouverte, la manœuvre du sectionneur de mise à la terre est alors possible pour réaliser les essais de câbles.

Concernant le verrouillage des Cellules protection transformateur (verrouillage anti-retour HT/BT Transformateur) les caractéristiques sont les suivantes :

L'accès à l'intérieur de la cellule et aux bornes HT du transformateur n'est possible que lorsque l'interrupteur est verrouillé ouvert, que le sectionneur de mise à la terre est fermé, et que le disjoncteur basse tension de protection du transformateur est ouvert débouché.

III.1.2.2. Verrouillage entre cellules

Le verrouillage entre cellule interdira toute manœuvre dangereuse pour les utilisateurs, proscrite par ENEDIS et dommageable pour le matériel :

Concernant les cellules interrupteurs de départ ou arrivée d'artère :

- La fermeture du sectionneur de mise à la terre (de la tête de câble) d'une cellule n'est autorisée que si l'interrupteur de cette cellule est ouvert et que l'interrupteur de la cellule amont (à l'autre extrémité du même câble) est verrouillé ouvert.
- L'accès au compartiment câble d'une cellule coupure d'artère n'est autorisé que si les deux interrupteurs (à chaque extrémité du même câble) sont verrouillés ouverts et les sectionneurs de mise à la terre des câbles sont fermés.

Concernant la liaison HT inter poste entre les tableau HT A et HT B permettra la jonction avec l'autre poste si et seulement si son interrupteur d'arrivée EDF (Cellule 4) est ouvert. La table de vérité suivante illustre les contraintes de verrouillage à adoptées.

Disj arrivée HT A	Disj Couplage HT A	Disj arrivée HT B	Disj Couplage HT B	Sortie
0	1	1	0	Couplage des 2 tableaux HT (maintenance...) alimentation par voie B
1	0	1	0	Exploitation normale
1	0	0	1	Couplage des 2 tableaux HT (maintenance...) alimentation par voie A

III.1.3. Transformateur 20 kV / 410V

Les deux transformateurs auront les principales caractéristiques suivantes, ils seront :

- Du type "sec enrobé" classe F1 à refroidissement naturel dans l'air AN
- Conformes aux normes française NF EN 50541-1 et internationale CEI 60076-11,
- Certifié C3 (essai de type C2 à -50°C), E3 (95% humidité), F1 (autoextinguibilité)
- Garant de décharges partielles ≤ 5 pico Coulombs à $1,3 \cdot U_n$, soit deux fois mieux que l'imposition normative (10pC à $1,3U_n$)
- Certifié ISO 9001 (N°1990/113b) et ISO 14001 (N°1998/14091)
- Conforme aux règlements / directives environnementaux européens REACH / RoHS.

Ces transformateurs seront conformes au règlement Erp EcoDesign français n° 548/2014 de la Commission de régulation européenne du 21 mai 2014 en application de la Directive 2009/125/CE du

Parlement et du Conseil Européen en ce qui concerne les transformateurs de faible, moyenne et grande puissance.

Selon norme PR 50588-1 (puissance inférieure ou égale à 3150kVA)

Les transformateurs HTA / BT auront les principales caractéristiques suivantes :

Libellé	Caractéristiques
Primaire triphasé	20 kV
Fréquence	50 Hz
Niveau d'isolement assigné	24KV eff
Prise de réglage (hors tension)	$\pm 2,5$ % au primaire,
Tension secondaire à vide	410V entre phases/237V entre phase et neutre
Couplage	Dyn11
Puissance	1000 KVA
Tension de court-circuit UCC	6 %

Ils disposeront :

- D'un dispositif de mise à la terre,
- D'un dispositif de levage et manutention,
- De galets de roulement orientables,
- D'une plaque signalétique,
- D'une enveloppe métallique de protection IP31,
- D'un accès aux bornes verrouillé par serrures à clé prisonnière (à coordonner avec les verrouillages des cellules),
- De 2 sondes de protection thermique par phase dont les informations d'alarmes seront ramenées sur le bornier du coffret de regroupement GTC :
 - 1er seuil : alarme GTC
 - 2ème seuil : alarme GTC et déclenchement de la protection BT aval ainsi qu'ouverture de l'interrupteur de la cellule HT.

III.1.4. Coffret d'interface GTC/HT

Le coffret d'interface GTC/HT est un coffret mural, présent dans chaque local HT qui permet le regroupement de l'ensemble des informations des cellules et des transformateurs HT. Il sera composé d'un module d'Entrée et de borniers sectionnables.

III.2. EQUIPEMENTS BT EN LOCAL TECHNIQUE

III.2.1. Tableau Général Basse Tension (TGBT)

Les spécifications suivantes s'appliquent aux TGBT A et B

III.2.1.1. Conception électrique

Les tableaux seront de forme 2b conformément à la NF EN 60439-1 :

- Séparation des jeux de barre des unités fonctionnelles.
- Les bornes pour conducteurs extérieurs sont séparées des jeux de barres.

III.2.1.2. Equipement intérieur

A l'intérieur des tableaux, les divers appareils seront montés sur un châssis métallique en profilé.

L'équipement intérieur comprendra notamment les organes de puissance interrupteurs, disjoncteurs ou contacteurs, de calibres et de pouvoirs de coupure adaptés au circuit qu'ils protègent ou qu'ils commandent.

Le choix des disjoncteurs de protection sera déterminé en fonction des éléments suivants :

- La protection des personnes,
- Les puissances des équipements à alimenter,
- Le type d'équipement à alimenter,
- Les sections des câbles,
- Les longueurs des canalisations,
- La valeur du court-circuit au point d'installation de l'appareil,
- La sélectivité entre les différentes protections (sélectivité totale horizontale et verticale entre les étages de protection).

Ce dernier élément est à prendre en compte depuis l'origine de l'installation, jusqu'aux protections terminales des circuits d'utilisation et concerne toutes les protections.

- Les organes de commande et de protection seront équipés des contacts nécessaires au report sur la GTC et à la signalisation et la commande en façade des tableaux, les informations et les commandes seront les suivantes :
 - Interrupteurs : contacts de position,
 - Contacteurs : contacts de position, commande ouverture-fermeture,
 - Disjoncteurs généraux : contacts de position, contact de défaut,
 - Disjoncteurs divisionnaires : synthèse contacts de défaut.
- Le repérage de l'appareillage à l'intérieur de l'armoire sera assuré par étiquette en dilophane gravé fixé sur des barreaux indépendants de l'appareillage au-dessus de chaque appareil. L'étiquette comportera en clair le nom du départ.
- Les jeux de barres cuivre devront être dimensionnés en tenant compte des normes en vigueur et supporter dans dommage le courant de court-circuit susceptible d'être provoqué sur le jeu de barre,
- Les tensions intermédiaires de commande et de signalisation seront assurées par l'intermédiaire de transformateurs de séparation ou de sécurité alimentés par un départ secouru issu du TD R,
- En partie basse du tableau, le collecteur général de terre en cuivre auquel il sera raccordé, par tresses conductrices, les portes du tableau, les capteurs de mesures, les borniers,
- Concernant les goulottes de filerie, Un espace minimum de 5 cm sera réservé entre les goulottes et les bornes de raccordement des appareils ainsi que les borniers de raccordement,

La disposition de l'équipement intérieur des tableaux sera réalisée de telle manière que soit maintenue une bonne accessibilité des matériels pour la maintenance.

En particulier, il sera procédé au regroupement fonctionnel de l'appareillage

Les protections concernant les auxiliaires de tableau (prises de mesure, etc...) devront être installées au plus près de leur raccordement sur les jeux de barres.

Les disjoncteurs et interrupteurs constituant l'inverseur de source suivant les TGBT seront d'un type débrosable sur tiroir à coupure visible et condamnable par serrure.

Le raccordement des câbles en amont d'un appareillage (protection, coupure, de régulation, etc...) s'effectuera toujours par le haut, le raccordement des câbles en aval de l'appareillage s'effectuera toujours par le bas.

III.2.1.3. Equipements en face avant

En face avant sur les portes on retrouvera :

- Tous les équipements de commande et de contrôle tels que voyants, commutateurs de sélection, boutons poussoirs de commande et d'essais, afficheurs des appareils de mesure, compteurs, coup de poing d'arrêt d'urgence, etc...
- Le schéma synoptique symbolisant la distribution. Ce synoptique sera réalisé au moyen de figurines et de barrettes. Les voyants de signalisation (présence tension amont et jeu de barre), les commandes et les afficheurs de mesure et de comptage seront disposés de manière à animer ce synoptique.
- Le coup de poing d'arrêt d'urgence qui sera de couleur rouge Ø 40 à verrouillage brusque et à déverrouillage par clé standard. Il agira sur le disjoncteur de protection générale et l'interrupteur de couplage placé en tête de la distribution.
- Les organes restés sous tension après coupure générale (auxiliaires alimentés depuis un TD R...) seront signalés par une étiquette en dilophane gravée, écriture blanche sur fond rouge.

III.2.2. Tableau Divisionnaire Basse tension (TD)

Les spécifications suivantes s'appliquent aux TD E et F ainsi qu'au TD R.

III.2.2.1. Conception électrique

Les tableaux seront de forme 2b conformément à la NF EN 60439-1 :

- Séparation des jeux de barre des unités fonctionnelles.
- Les bornes pour conducteurs extérieurs sont séparées des jeux de barres.

III.2.2.2. Equipement intérieur

A l'intérieur des tableaux, les divers appareils seront montés sur un châssis métallique en profilé.

L'équipement intérieur comprendra notamment les organes de puissance interrupteurs, disjoncteurs ou contacteurs, de calibres et de pouvoirs de coupure adaptés au circuit qu'ils protègent ou qu'ils commandent.

Le choix des disjoncteurs de protection sera déterminé en fonction des éléments suivants :

- La protection des personnes,

- Les puissances des équipements à alimenter,
- Le type d'équipement à alimenter,
- Les sections des câbles,
- Les longueurs des canalisations,
- La valeur du court-circuit au point d'installation de l'appareil,
- La sélectivité entre les différentes protections (sélectivité totale horizontale et verticale entre les étages de protection).

Ce dernier élément est à prendre en compte depuis l'origine de l'installation, jusqu'aux protections terminales des circuits d'utilisation et concerne toutes les protections.

- Les organes de commande et de protection seront équipés des contacts nécessaires au report sur la GTC et à la signalisation et la commande en façade des tableaux, les informations et les commandes seront les suivantes :
 - Interrupteurs : contacts de position,
 - Contacteurs : contacts de position, commande ouverture-fermeture,
 - Disjoncteurs généraux : contacts de position, contact de défaut,
 - Disjoncteurs divisionnaires : synthèse contacts de défaut.
- Le repérage de l'appareillage à l'intérieur de l'armoire sera assuré par étiquette en dilophane gravé fixé sur des barreaux indépendants de l'appareillage au-dessus de chaque appareil. L'étiquette comportera en clair le nom du départ.
- Les jeux de barres cuivre devront être dimensionnés en tenant compte des normes en vigueur et supporter dans dommage le courant de court-circuit susceptible d'être provoqué sur le jeu de barre,
- Les tensions intermédiaires de commande et de signalisation seront assurées par l'intermédiaire de transformateurs de séparation ou de sécurité alimentés par un départ secouru issu du TD R,
- En partie basse du tableau, le collecteur général de terre en cuivre auquel il sera raccordé, par tresses conductrices, les portes du tableau, les capteurs de mesures, les borniers,
- Concernant les goulottes de filerie, Un espace minimum de 5 cm sera réservé entre les goulottes et les bornes de raccordement des appareils ainsi que les borniers de raccordement,

La disposition de l'équipement intérieur des tableaux sera réalisée de telle manière que soit maintenue une bonne accessibilité des matériels pour la maintenance.

En particulier, il sera procédé au regroupement fonctionnel de l'appareillage

Les protections concernant les auxiliaires de tableau (prises de mesure, etc...) devront être installées au plus près de leur raccordement sur les jeux de barres.

Les disjoncteurs et interrupteurs constituant l'inverseur de source précédent les TD seront d'un type débrochable sur tiroir à coupure visible et condamnable par serrure.

Le raccordement des câbles en amont d'un appareillage (protection, coupure, de régulation, etc...) s'effectuera toujours par le haut, le raccordement des câbles en aval de l'appareillage s'effectuera toujours par le bas.

III.2.2.3. Equipements en face avant

En face avant sur les portes on retrouvera :

- Tous les équipements de commande et de contrôle tels que voyants, commutateurs de sélection, boutons poussoirs de commande et d'essais, afficheurs des appareils de mesure, compteurs, coup de poing d'arrêt d'urgence, etc...
 - Voyant défauts des départs,
 - Voyant marché/arrêt accélérateur, cde local/distant accélérateur,
 - Voyant marché/arrêt éclairage, cde local éclairage,
 - Voyant présence tension sur jeux de barre du TD,
 - Voyant présence tension en amont et sur les jeux de barres
- Le schéma synoptique symbolisant la distribution. Ce synoptique sera réalisé au moyen de figurines et de barrettes. Les voyants de signalisation, les commandes et les afficheurs de mesure et de comptage seront disposés de manière à animer ce synoptique.
- Le coup de poing d'arrêt d'urgence qui sera de couleur rouge Ø 40 à verrouillage brusque et à déverrouillage par clé standard. Il agira sur le disjoncteur de protection générale et l'interrupteur de couplage placé en tête de la distribution.
- Les organes restés sous tension après coupure générale (auxiliaires alimentés depuis un TD R...) seront signalés par une étiquette en dilophane gravée, écriture blanche sur fond rouge.

III.2.2.4. Mesures

Les centrales de mesures devront permettre de visualiser les informations suivantes sur un affichage numérique :

- Mesure instantanées, moyennes, et moyennes max :
 - Tensions simples,
 - Tensions composées entre phases,
 - Intensités dans chaque phase et dans le conducteur de neutre,
 - Puissance active globale et par phase,
 - Puissance réactive globale et par phase,
 - Puissance apparente globale et par phase,
 - Fréquence,
 - Facteur de puissance global et par phase,
- Enregistrement :

Mémorisation des valeurs instantanées minimales et maximales sur 5, 10, 15, 20 ou 30 min horodatée.
- Analyse harmonique :
 - Taux de distorsion en courant (THDI) dans chacune des phases et dans le conducteur de neutre,
 - Taux de distorsion en tension (THDU) pour chaque tension simple et chaque tension composée,
 - Taux de distorsion par rang jusqu'au 27^{ème} rang au minimum pour chacun des THD ci-précités.
- Comptage :
 - Comptage de l'énergie active totale (0 à 9 999 999 kWh),
 - Comptage de l'énergie réactive totale (0 à 9 999 999 kVARh),
 - Comptage de l'énergie apparente totale (0 à 9 999 999 kVAh).

Les compteurs ne pourront pas être remis à zéro, même en cas de coupure de courant. Ils conserveront l'affichage en cours.

Un report des mesures sur la GTC sera également à prévoir.

III.2.2.5. Signalisations

Les signalisations seront du type à “ feu allumé ” et seront réalisées par des voyants équipés de diodes électroluminescentes. Un bouton « test lampe » devra permettre le contrôle de l'ensemble des lampes (défaut, position, etc...) du TD correspondant.

En face avant, chaque équipement sera repéré par étiquette dilophane gravée dont le texte sera soumis à l'approbation du Maître d'œuvre avant gravure :

- Circuit normal, gravure blanche sur fond noir,
- Circuit secouru sans coupure, gravure blanche sur fond rouge.

III.2.2.6. Compensateurs actifs d'énergie réactive

Ils seront installés au niveau des jeux de barre dans chaque Tableau Général Basse Tension de type B et C.

La compensation d'énergie réactive s'effectuera par une batterie de condensateurs fixes à fonctionnement automatiques en tout ou rien. La capacité de la batterie sera à dimensionner par l'entreprise exécutante.

Chaque batterie de condensateur aura les caractéristiques techniques suivante :

Libellé	Caractéristiques
Tension	400 V
Fréquence	50 HZ
Isolement	10 KV eff 50 HZ 1 mm
Tolérance sur valeur de capacité	0 + 10 %
Courant max admissible	1,3 In (400V)
Tension max. selon CEI 831	450 V
Conformes aux normes	NF EN 60871

III.2.2.7. Echange d'information avec la GTC

Chaque TD normal et secouru disposera d'un module d'Entrée/Sortie déportées et de borniers sectionnables afin de permettre le report d'informations à la GTC.

III.2.3. Alimentation sans interruption (ASI)

Les alimentations sans interruption seront conformes à la Norme NF EN 62040.

Les ASI seront de type double conversion avec by-pass automatique.

Les ASI devront fonctionner correctement dans des conditions de température comprises entre -5°C et +40°C.

III.2.3.1. Constitution des sources autonomes sans coupure

Ces matériels seront constitués des équipements suivants :

- Un redresseur chargeur,
- Un ensemble de batteries d'accumulateur étanche sans entretien permettant une autonomie de 1h,

- Un onduleur triphasé à transistors IGBT,
- Un inverseur normal/Secours à contacteur statique,
- Un élément de filtrage des harmoniques de rang 3, 5, 7 et 9,
- Un by-pass manuel de maintenance,
- Un ensemble de batteries d'accumulateurs externe,
- L'ensemble des liaisons électriques internes permettant de raccorder les différents équipements constitutifs de la fourniture.

Ces équipements seront installés dans une ou plusieurs cellules métalliques suffisamment rigides pour que les opérations de manutention et d'installation soient assurées sans risque pour les composants.

Ces cellules comporteront des portes avant et des panneaux amovibles arrière, ainsi que les ouvertures pour assurer la ventilation forcée des composants.

Les batteries seront installées dans un local climatisé et séparé du reste des tableaux de distribution.

III.2.3.2. Caractéristiques d'entrée des réseaux normaux et secours

- Alimentation : Triphasée sans neutre,
- Tension d'entrée : $400\text{ V} \pm 10\%$,
- Fréquence d'entrée : 50 Hz,
- Régime de neutre : TN,
- Cos Phi d'entrée redresseur : > 0.98 ,
- THDI : $< 3\%$ de charge pleine.

Le courant d'appel du chargeur à la mise sous tension sera égal à l'intensité nominale, il s'établira suivant une rampe programmée étalée sur plusieurs secondes.

III.2.3.3. Caractéristiques de sortie – Utilisation

- Sous $\cos \Phi \geq 0,9$ à la charge comprise entre 0 et 100 % de la puissance nominale
- Tension de sortie triphasée + neutre avec : $237/410\text{ V} \pm 1\%$,
- Variation de la tension de sortie pour un impact de charge de 100 % : $\pm 2\%$,
- Fréquence de sortie : 50 Hz,
- Variation de la fréquence de sortie en régime statique : $< \pm 0,50\text{ Hz}$,
- Facteur crête sans déclassement : < 3 ,
- Taux de distorsion : $< 4\%$,
- Régime de neutre : TN,

III.3. CABLES

III.3.1. Câbles d'alimentation HT 20KV

Les câbles utilisés pour les liaisons entre les cellules 20 kV des différents postes de transformation et les liaisons entre les cellules 20 kV de protection d'un poste de transformation et les transformateurs seront des câbles unipolaires torsadés à isolant sec (polyéthylène réticulé chimiquement) et à champ radial de tension assignée 24 kV.

Ils seront composés des éléments suivants :

- Une âme ronde rigide en aluminium, classe 2 câblée, dont les sections seront à confirmer par les notes de calculs et bilans de puissance réalisés par l'entreprise retenue. Avec l'installation projetée actuellement, la section des câbles HT arrivant aux cellules et aux transformateurs est estimée à 50 mm².
- Un écran semi-conducteur sur âme extrudé exempt d'halogène ;
- Une enveloppe isolante constituée d'une couche de Polyéthylène Réticulé ;
- Un écran semi-conducteur sur isolant en matériau synthétique extrudé exempt d'halogène, cet écran doit pouvoir être séparé manuellement de l'isolant ;
- Un écran ruban d'aluminium contrecollé à la gaine extérieure épaisseur 200 µm ;
- Une gaine avec marquage métrique.

Ce câble aura les caractéristiques suivantes :

- Tension de service nominale 12 / 20 (24) k V ;
- Plage de température ambiante d'utilisation de -5 °C à 40°C ;
- Température maximale de 90°C sur l'âme en régime permanent ;
- Température maximale de 120°C sur l'âme en surcharge de courte durée ;
- Température maximale de 250 °C sur l'âme lors d'un court-circuit ;
- Non propagateur de la flamme C2 ;
- Classe AD8 (Possibilité de recouvrement d'eau de façon permanente et totale), conformément à la norme C13-200 ;
- Classe AG4 (Environnements pouvant être soumis à des chocs d'énergie au plus égale à 20J) conformément à la norme C13-200 ;
- Les écrans de ce câble seront mis à la terre à chaque extrémité.

Les extrémités des câbles HTA 20KV auront les caractéristiques suivantes :

- Tension de service : 20 kV ;
- Tension d'isolement : 24 kV ;
- Fréquence assignée : 50 Hz.

III.3.1.1. Cellules avec plages de raccordement

Les extrémités des câbles 20 kV sur cellules seront du type EUIC (Extrémités Unipolaires Intérieurs Courtes), conformément à la spécification EDF HN 68 – S – 06.

Elles seront conformes aux spécifications UTE C 33-001 et UTE C 33-052.

Elles seront composées des éléments suivants :

- Une cosse en aluminium ou cuivre ;
- Un capuchon d'étanchéité assurant l'étanchéité au niveau de la cosse ;
- Une protection extérieure assurant la protection étanche du dispositif de mise à la terre ;
- Un répartiteur de tension incorporé dans la protection extérieure ;
- Un isolant PR ;
- Ecran semi-conducteur rubané ou extrudé ;
- Ecran métallique contrecollé à la gaine extérieure ou rubané ou fils cuivre, notamment NF C 33-223, UTE C 33-223, C33-226 ;
- Un dispositif de mise à la terre.

III.3.1.2. Raccordement des câbles par connecteur

Le raccordement des câbles unipolaires torsadés à isolation sec, dont les spécifications techniques détaillées sont données dans le paragraphe précédent du présent document, au niveau des cellules pourra également être réalisé par un connecteur préfabriqué séparable en équerre ou droit, possédant les caractéristiques suivantes :

- Conforme aux normes NF C 33-051, IEC 60502 ;
- Etanche à l'immersion ;
- Intensité nominale de 250A ;
- Intensité admissible en surcharge de 300A ;
- Manœuvrable exclusivement hors tension.

III.3.2. Câbles d'alimentation BT

III.3.2.1. Section des câbles BT

Un tableau récapitulatif est dressé avec les différentes sections de câbles en fonction de l'intensité du départ concerné.

III.3.2.2. Câbles basse tension type C1

Ces câbles seront utilisés pour le cheminement en tunnel (Eclairage basse et renfort, niche de sécurité).

D'une façon générale, les câbles de type FR-N1X1G1 doivent être utilisés.

Ils sont composés :

- D'une âme rigide en cuivre câblée pour les sections supérieures ou égales à 6 mm² (classe 2) et massives pour les sections inférieures ou égales à 4mm² (classe 1) conforme à la norme EN 60228,
- D'une isolation en polyoléfine,
- D'une gaine de séparation et d'étanchéité en élastomère,
- D'une gaine extérieure thermoplastique polyoléfine sans halogène, vert.

Ces câbles sont sans halogène.

III.3.2.3. Câbles basse tension type CR1-C1

Ces câbles seront utilisés pour le cheminement en tunnel et l'alimentation d'équipement même en cas d'incendie (éclairage de sécurité, accélérateurs, plots de jalonnement, signalisation). Ces câbles emprunteront un cheminement spécifique jusqu'aux équipements.

Ces câbles sont conformes à la norme NF C 32.310.

Ils sont composés :

- D'une âme rigide en cuivre câblée pour les sections supérieures ou égales à 6 mm² (classe 2) et massives pour les sections inférieures ou égales à 4mm² (classe 1) conforme à la norme EN 60228,
- D'une isolation en élastomère,
- D'une gaine de séparation et d'étanchéité en élastomère,
- D'une gaine extérieure en matériau sans halogène conforme à la norme EN 50 267 et ignifugée orange.

Ces câbles sont aussi sans halogène.

III.3.2.4. Câbles alimentation PST

Les alimentations des PST seront des câbles de type rigide FR-N1X1G1 sans halogène et composés de 5 conducteurs (3 phases + neutre + terre), la section des conducteurs dépendra de la distance entre le local technique et l'armoire PST concernée.

Les caractéristiques des câbles énergie sont les suivantes :

- Tension assignée : 0,6/1kV ;
- Température maximale à l'âme : 90° C en permanence, 250° C en court-circuit.

Ce câble est constitué :

- D'une âme rigide en cuivre ;
- D'un ruban séparateur ;
- D'une isolation PR ;
- D'une gaine d'étanchéité sans halogène.

Les températures de fonctionnement sont comprises entre - 25°C et + 60° C.

La gaine extérieure devra être en matériau sans halogène faible émetteur de fumée et répondre aux normes IEC 60332-1, IEC 60754-1 (faible toxicité), IEC 60754-2 (sans halogène) et IEC 61034 (faible émetteur de fumée).

Les caractéristiques de ce câble, devront être conformes aux spécifications des normes NF C 32-323, NF C 32-013, NF C 32-070 (catégorie C2 et C1) ainsi qu'aux spécifications E1 et G1 en ce qui concerne sa mise en oeuvre.

III.3.3. Chemins de câbles

Toutes les pièces du chemin de câble, excepté la boulonnerie devront être en acier galvanisée à chaud d'une épaisseur de 80 microns. La boulonnerie sera constituée dans un matériau ayant une résistance à la corrosion équivalente à celle des chemins de câbles et compatible avec l'acier galvanisé (pas de problème d'électrolyse).

Les chemins de câbles pourront être directement fixées sur la structure ou être fixées sur consoles murales au préalable visées. Les consoles murales seront fixées tous les 2 à 3 m en fonction de la charge à supporter et des supports permettant la fixation des chemins de câbles. Dans le cas où les chemins de câbles sont fixés à la console murale, ils pourront être encliquetés sous réserves que l'assemblage des deux pièces s'effectuent par un guidage mécanique. La solution encliquetée avec rabattement manuel de pattes sera proscrite. Si ce n'est pas le cas, la solution par écrous et boulons devra être mis en œuvre par l'entreprise.

Outre le respect des rayons de courbure, la pose sur chemin de câble devra permettre une dissipation suffisante des pertes thermiques, y compris en cas de défaut sur les circuits d'énergie.

La pose des câbles et leur fixation devront être réalisées pour supporter les dilatations thermiques des câbles et des chemins, éviter les ondulations anormales et la reptation des câbles. La fixation devra aussi être adaptée à l'effort électrodynamique, en cas de court-circuit sur les câbles d'alimentation. L'emploi des attaches métallique (élasticité insuffisante et blessante pour les câbles) et des bandes synthétiques susceptibles de se détendre ou de casser, est proscrit au profit de bandes souples imputrescibles. Au minimum les câbles devront être maintenus tous les mètres en parcours horizontal et tous les 0,5m dont la pente est supérieure à 45°.

Les câbles de différentes natures (alimentation et transmission) devront être séparés par un séparateur monté sur tout le linéaire du chemin de câble. En dérogation à la spécification G1, ils pourront donc être posés sur un même chemin de câble.

Les chemins de câbles ne seront capotés que dans les zones où ils seront installés à une hauteur inférieure à 2m du sol. Notamment, les chemins de câble permettant une remontée aéro souterraine seront capotés jusqu'à une hauteur de 2m.

IV. MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

Cette partie dédiée au phasage fait référence au schéma de phasage pour les travaux de distribution électrique visible sur le plan : 013-PRO-1-Schéma de phasage de distribution électrique.

Ces schémas de phasage électriques sont à suivre conformément au planning élaboré 013-PRO-1-Planning des travaux.

Il est à noter une précision sur l'aspect du raccordement des nouveaux appareils dans le tunnel. En effet comme les nouveaux départs ne correspondent pas aux anciens départs des TGBT Est et Ouest, il est nécessaire d'installer des tableaux provisoires afin de basculer les anciens départs dessus et continués à les alimentés (éclairage de chantier, accélérateurs dans le tube circulé, PST...). Ainsi les TGBT Ouest et Est pourront être déposés et les nouvelles armoires pourront être placées aux endroits souhaités dans le local.

Au fur et à mesure que les nouveaux équipements sont installés dans le tunnel, leurs câbles d'alimentation sont tirés et raccordés aux départs respectifs sur les nouveaux TD et les anciens câbles des précédents équipements sont retirés également au fur et à mesures. En ce qui concerne les nouveaux accélérateurs ils seront directement raccordés aux variateurs présents à l'intérieur des TD E et F.

Concernant la phase de non-redondance entre les 2 artères, cette durée est limitée à 1 jours dans le planning de phasage, en cas de rallongement à 2 jours, un groupe électrogène peut être implanté afin d'assurer une redondance avec l'autre source HT.

V. ANNEXES

V.1. ANNEXE 1 – BILAN DE PUISSANCE

V.2. ANNEXE 2 – DIMENSIONNEMENT DES DEPARTS

V.3. ANNEXE 3 – SCHEMA DISTRIBUTION BT