

*Spécification technique normalisée*

# **Transformateurs de puissance et inductances shunt de 72,5 kV à 765 kV**

**SN-14.1k**

**2020-04-03**



## Avertissement

Un amendement peut modifier la présente norme. Dans un tel cas, cet amendement a préséance sur la norme jusqu'à son intégration lors de la prochaine révision de la norme.

---

### Instructions à l'utilisateur

Le présent document contient des instructions sur la façon de décrire les transformateurs de puissance et les inductances shunt faisant l'objet d'un achat.

Cette description, qui peut prendre la forme d'un court texte ou d'une spécification technique particulière, doit préciser tous les éléments qui sont laissés au choix de l'utilisateur dans la spécification technique normalisée SN-14.1. Les autotransformateurs ou transformateurs de puissance sont dans le groupe de marchandise 660 et les inductances shunt sont dans le groupe de marchandise 675. On trouvera ci-après la liste de ces éléments.

#### Autotransformateurs ou transformateurs de puissance

- ensemble d'appareils monophasés ou triphasés;
- rapport des tensions nominales à vide;
- puissance nominale pour les différents stades de refroidissement;
- impédance en %;
- prescription de régulation automatique;
- emplacement de la régulation;
- rapport et précision des transformateurs de courant s'ils sont différents du Tableau P1.15 de la présente norme;
- tension nominale;
- tension maximale d'exploitation;
- type de refroidissement;
- type de connexion.

#### Inductances shunt

- ensemble d'appareils monophasés ou triphasés;
- puissance nominale;
- rapport et précision des transformateurs de courant s'ils sont différents du Tableau P1.17 de la présente norme;
- tension nominale;
- tension maximale d'exploitation;
- type de refroidissement;
- type de connexion.

---

**Liste des éléments à préciser**

Les éléments suivants doivent être précisés :

**a) Caractéristiques particulières**

Les caractéristiques électriques des appareils normalisés sont présentées aux Tableaux P1.1 et P1.2 de la présente norme. Les caractéristiques correspondantes des appareils qui ne sont pas normalisés doivent être définies dans une spécification technique particulière. Cette spécification devra inclure un tableau contenant les caractéristiques électriques normalisées des transformateurs telles qu'illustrées à l'Annexe C de la présente norme.

**b) Emplacement de l'installation**

La spécification technique normalisée prescrit des caractéristiques pour un usage extérieur, un niveau de pollution faible, une tenue sismique correspondant aux exigences de la TET-APG-N-0001 et un niveau de bruit selon l'article 4.2.3 de la présente norme. Lorsque les conditions l'exigent, une spécification technique particulière peut prescrire des exigences plus sévères.

**c) Changeur de prises en charge (CPC)**

Le commutateur du changeur de prises comporte 17 prises et 16 échelons. Si le nombre de prises est différent, un nouveau schéma de commande doit être prescrit dans une spécification technique particulière.

**d) Raccordement des bornes**

Les raccords sont fournis par Hydro-Québec pour tous les appareils. Pour les transformateurs qui ne sont pas normalisés et dont le raccordement se fait par câbles ou jeux de barres blindées, une spécification technique particulière doit en déterminer les détails géométriques.

**e) Circuit d'alimentation du système de refroidissement des transformateurs**

Les tensions des circuits d'alimentation des systèmes de refroidissement sont décrites à l'article 15.6.2 de la partie 2 de la présente norme. Les cas d'exception doivent faire l'objet d'une spécification technique particulière.

## Modifications

| Révision | Détails  | Date |
|----------|--|------|
| a        | Révision générale.   | 1968 |
| b        | Révision générale.   | 1971 |
| c        | Tous les articles qui composent cette spécification ont été plus ou moins modifiés, corrigés ou totalement réécrits.<br>Les articles 4, 5, 6 et 8 ont été les plus remaniés.   | 1979 |
| d        | Paragraphe 8, 9 modifiés, contact 63-AC enlevé.  | 1980 |
| e        | Tous les articles qui composent cette spécification ont été entièrement repensés et reformulés.  | 1982 |
| f        | Révision générale effectuée par Y. Vaillancourt.<br>Nouvelles caractéristiques reliées à la performance diélectrique et en surcharge;<br>Exigences sur les huiles incluses;<br>Caractéristiques de construction modifiées et précisées;<br>Dispositifs de surveillance ajoutés;<br>Exigences de vibration incluses à 765 kV.   | 1986 |
| g        | Révision générale effectuée par C. Charpentier et Y. Vaillancourt.   | 1993 |
| h        | Partie 1 : Pierre Pépin, Appareillage de transport avec la participation de Claude Rajotte.<br>Partie 2 : Gérard Banville, Automatismes de transport avec la participation de Normand Bastien et André Paillé.<br>Révision générale.   | 2007 |
| i        | Partie 1 : Claude Rajotte, ing. Appareillage de transport avec la participation de Pierre Dufour, ing.<br>Révision générale;<br>Révision des exigences pour le bruit audible;<br>Révision des exigences pour les inductances shunt;<br>Ajout d'une exigence de neutre isolé à 450 kV (BIL) pour les autotransformateurs 550 MVA;<br>Ajout d'une exigence pour l'échauffement de l'huile;<br>Ajout d'exigences dimensionnelles pour les appareils normalisés;<br>Ajout d'exigences d'utilisation des traversées en composite;<br>Précisions pour l'installation de dispositifs de sécurité sur la cuve;<br>Précision sur les exigences pour la résistance de la cuve à l'arc interne;<br>Révision des exigences sur les garnitures d'étanchéité;<br>Ajout d'exigences sur l'installation de sacs de caoutchouc dans les conservateurs;<br>Ajout d'exigences sur l'installation de fibres optiques dans les enroulements lors des essais de type;<br>Ajout d'exigences pour les conditions de service des changeurs de prise en charge;<br>Ajout d'exigences pour les besoins de maintenance des changeurs de prises en charge;<br>Précision sur les exigences de positionnement des moteurs de ventilateurs;<br>Révision des exigences pour les transformateurs de courant des transformateurs 735kV;<br>Révision des exigences pour les moniteurs de gaz dissous et d'humidité;<br>Ajout d'exigence pour la surveillance des traversées et des changeurs de prise en charge;<br>Révision des exigences pour les raccordements de mise à la terre;<br>Révision des exigences pour les raccordements des enroulements tertiaires;<br>Révision du contenu des plaques signalétiques;<br>Révision du contenu de la documentation;<br>Ajout d'exigence pour les revues de conception. | 2013 |

|   |  |      |
|---|--|------|
|   | <p>Partie 2 : Virginie Crête, ing. Conception commande, HQE.</p> <p>Référence à la IEC 62271 intégrée;</p> <p>Figures Partie 2 remplacées par dessins normalisés;</p> <p>Références normatives mises à jour; dessins normalisés ajoutés;</p> <p>Normes ASTM A1011 et B-545 ajoutées;</p> <p>Normes IEC 62262 et 62271-1 ajoutées;</p> <p>Conditions de service, nouvelles exigences de la IEC 62271 et conditions climatiques extérieures modifiées;</p> <p>Acier jauge 11 exigé; laminage à chaud accepté;</p> <p>Exigences Serrurerie modifiées;</p> <p>Exigences Ventilation modifiées;</p> <p>Exigences Barre de MALT modifiées;</p> <p>Section chauffage et anti-condensation combinées;</p> <p>Ajout de l'éclairage DEL;</p> <p>Exigences filerie modifiées;</p> <p>Exigences bornes modifiées;</p> <p>Ajout de l'unité de surveillance Calisto 2 de Morgan Schaffer;</p> <p>Mise à jour port de communication Hydran;</p> <p>Ajout module optique point chaud;</p> <p>Ajout unité de surveillance des traversées et CPC;</p> <p>Révision générale du système de communication;</p> <p>Révision des exigences acquiesceur d'entrées numérique;</p> <p>Utilisation des cordons optiques prohibée;</p> <p>Révision des exigences de l'examen visuel;</p> <p>Retrait de l'essai de chaleur humide;</p> <p>Révision des exigences essais CEM;</p> <p>Ajout de l'essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre;</p> <p>Ajout essai câbles optiques.</p> |      |
| J | <p>Révision mineure.</p> <p>Partie 1 : Claude Rajotte, ing. Appareillage de transport</p> <p>Révision des instructions aux utilisateurs;</p> <p>Ajout des niveaux de bruit des transformateurs à bruit réduit;</p> <p>Modifications à l'annexe 1.</p> <p>Partie 2 : Virginie Crête, ing. Conception commande, HQE</p> <p>Article 5.5.2 précision sur les bornes sectionnables ajoutée;</p> <p>Article 5.6.2 alimentation des moteurs spécifiée;</p> <p>Article 5.8.1.5 bornes 167 à 176 retirées.</p>  | 2014 |
| K | <p>Révision majeure</p> <p>Partie 1 : Stéphane Proulx, ing et Jonathan Charbonneau, ing.</p> <p>Ajout et mise à jour des références normatives;</p> <p>Ajout de la valve anti-déversement;</p> <p>Ajout volet qualité de la fabrication mécanique;</p> <p>Ajout simulation numérique tenue arc interne;</p> <p>Ajout schéma de principe de tuyau/robinet pour faciliter le dégazage et le traitement de l'huile isolante;</p> <p>Ajout de l'annexe E qui incorpore en bonne partie le contenu des STPN (Spécifications techniques particulières normalisées) des appareils aux caractéristiques physiques normalisées (GEL);</p> <p>Précisions sur la mesure du bruit (application);</p> <p>Modification de l'exigence afin de privilégier le mode de refroidissement de type ONAN jusqu'à 1 P.U. pour les transformateurs de 100 MVA et moins</p> <p>Révision des classes de tension et du niveau de tenue à la fréquence industrielle des traversées (Tableau P1.7)</p> <p>Ajout de certaines exigences sur la cuve du transformateur pour respecter les particularités associées aux PSEM (poste sous enveloppe métallique);</p> <p>Modification du volume du réservoir d'expansion d'huile de la cuve principale (selon la CSA);</p> <p>Ajout et modification des exigences pour les moteurs des ventilateurs (protection IP54 et IP66, durée de vie des roulements à billes);</p>   | 2020 |

Matériel homologué retiré du texte de la SN14.1 et mis dans un document complémentaire « liste des accessoires associés » pour faciliter la mise à jour sans avoir à réviser la SN14.1;

Exigences sur la troisième plaque signalétique associée au niveau de remplissage des réservoirs d'expansion d'huile de la cuve principale et du CPC (tableau de remplissage en fonction de la température de l'huile au sommet);

Ajout d'une exigence sur les liens équipotentiels des pièces métalliques;

Ajout du requis sur le dimensionnel des compartiments des traversées tertiaires;

Exigences sur la longueur des tiges filetées des traversées.

Partie 2 : Virginie Crête, ing.

Références normatives mises à jour;

Ajout des normes SN-3.2, SN-29.7, SN-65.5, RP-7-17, A666, A240, B209;

Spécifications concernant la hauteur d'installation des armoires de commande et CPC ajoutées;

Exigence pour installation d'un support à antenne GPS ajouté; Exigence de raccordement entre les différentes armoires et accessoires modifiée;

Identification conforme aux dessins normalisés;

Exigence de filerie à 250°C pour les circuits de chauffage retirée; Exigence 600 V/30 A pour les bornes ajoutées;

Fusibles factices proscrits;

Plaques chauffantes proscrites;

Entrées numériques pour les déclenchements ajoutées;

Retrait du Calisto;

Matériel homologué retiré du texte de la SN14.1 et mis dans un document à part;

Requis pour la valve anti-déversement ajoutés;

Requis du système de communication redondant ajoutés;

Modèle de commutateur modifié; modèle de l'acquisiteur d'entrées/sorties numériques modifié pour un modèle communiquant en IEC 61850;

Modèles câbles optiques modifiés.

Câbles optiques à gaine bleue et rouge ajoutés;

Modèles des connecteurs optiques sur les fibres modifiés;

Méthodes d'essais sur les fibres optiques réfèrent maintenant à la SN-65.5.



---

## Signatures

Révisé par : \_\_\_\_\_

**Stéphane Proulx, ing. (OIQ #117252)**

(Partie 1, volet électrique)

Études et Normalisation Appareillage

Direction Expertise & Soutien Opérationnel

Hydro-Québec TransÉnergie (HQT)

Révisé par : \_\_\_\_\_

**Jonathan Charbonneau, ing. (OIQ #125737)**

(Partie 1, volet mécanique)

Études et Normalisation Appareillage

Direction Expertise & Soutien Opérationnel

Hydro-Québec TransÉnergie (HQT)

Révisé par : \_\_\_\_\_

**Virginie Crête, ing. (OIQ #130746)**

(Partie 2)

Unité Normalisation et MER

Direction Ingénierie de Transport

HQ Innovation, équipement et services partagés (HQIESP)

## Table des matières

|   | Page |
|---|------|
| Avant-Propos .....  | 16   |
| PARTIE 1 : HAUTE TENSION .....  | 17   |
| 1. Généralités .....  | 17   |
| 2. Conditions normales et spéciales de service .....                    | 24   |
| 3. Définitions .....  | 24   |
| 4. Caractéristiques .....   | 25   |
| 5. Conception et construction .....                                     | 39   |
| 6. Essais .....   | 77   |
| 7. Plaques signalétiques .....  | 77   |
| 8. Assurance qualité et inspection .....                                | 81   |
| 9. Documentation .....  | 82   |
| 10. Emballage, expédition et entreposage .....                          | 89   |
| A Annexe A (normative) : Guide d'essai numérique .....                  | 91   |
| B Annexe B (normative) : Revue de conception .....                      | 126  |
| C Annexe C (normative) : Caractéristiques électriques normalisées ..... | 133  |
| D Annexe D (normative) : Dessins normalisés (MALT et Tuyauterie) .....  | 150  |
| E Annexe E (normative) : Caractéristiques physiques normalisées .....   | 157  |
| PARTIE 2 : CIRCUITS AUXILIAIRES ET DE COMMANDE .....                    | 187  |
| 11. Généralité .....  | 187  |
| 12. Conditions normales et spéciales de service .....                   | 191  |
| 13. Termes et définitions .....   | 191  |
| 14. Caractéristiques nominales .....                                    | 193  |
| 15. Conception et construction .....                                    | 194  |
| 16. Essais de type .....  | 217  |

---

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 17. | Essais individuels .....   | 221 |
| 18. | Guide pour le choix des transformateurs et inductances shunt selon le service .....    | 221 |
| 19. | Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes ... | 221 |
| 20. | Règles pour le transport, le stockage, l'installation et la maintenance .....          | 221 |
| 21. | Sécurité.....  | 221 |
| A   | Annexe A (normative) : Codification des alarmes et des déclenchements .....            | 223 |

## Liste des figures

|   | Page |
|---|------|
| Figure P1.1 : Poteaux d'ancrage amovibles et câbles de secours                                      | 44   |
| Figure A.1 : Détermination de la pression de conception   | 93   |
| Figure A.2 : Détermination du facteur d'amplification dynamique                                     | 94   |
| Figure A.3 : Détermination graphique de la pression statique $P_s$ pour l'exemple                   | 96   |
| Figure A.4 : Procédure générale de calcul   | 98   |
| Figure A.5 : Courbes de matériaux normalisées pour la modélisation                                  | 100  |
| Figure A.6 : Transition de maillage entre zone raffinée et zone externe                             | 104  |
| Figure A.7 : Dimensions minimales de la zone raffinée dans le modèle global                         | 105  |
| Figure A.8 : Modélisation des soudures dans la zone raffinée – sans jupette                         | 105  |
| Figure A.9 : Modélisation des soudures dans la zone raffinée – avec jupette                         | 106  |
| Figure A.10 : Exemple de transition brusque respectant le ratio de taille d'arête requis            | 107  |
| Figure A.11 : Options de modélisation de soudures ailleurs qu'au couvercle dans le modèle global    | 107  |
| Figure A.12 : Exemple de définition d'appuis pour une cuve (vue du fond de la cuve)                 | 108  |
| Figure A.13 : Surfaces d'application de la pression   | 109  |
| Figure A.14 : Exemple d'un sous-modèle autour de la soudure   | 110  |
| Figure A.15 : Dimensions minimales de la zone raffinée dans un sous-modèle                          | 110  |
| Figure A.16 : Exemple d'atteinte du critère de rupture dans la gorge d'une soudure d'un sous modèle | 112  |
| Figure P1.D.1 : Exigences MALT – Transformateur triphasé (N400-40140-027-01)                        | 150  |
| Figure P1.D.2 : Exigences MALT – Transformateur triphasé (N400-40140-027-01)                        | 150  |
| Figure P1.D.3 : Exigences MALT – Transformateur monophasé (N400-40140-027-01)                       | 151  |
| Figure P1.D.4 : Exigences MALT – Inductance shunt monophasée (N400-40140-027-01)                    | 152  |
| Figure P1.D.5 : Exigences MALT, détail #1 (N400-40140-026-01)                                       | 153  |
| Figure P1.D.6 : Exigences MALT, détail #2 (N400-40140-026-01)                                       | 153  |
| Figure P1.D.7 : Exigences MALT, détail #3 (N400-40140-026-01)                                       | 154  |

|   |     |
|---|-----|
| Figure P1.D.8 : Exigences MALT, détail #4 (N400-40140-026-01)                               | 154 |
| Figure P1.D.9 : Exigences MALT, détail #5 (N400-40140-026-01)                               | 155 |
| Figure P1.D.10 : Schéma de tuyauterie normalisé (N400-40140-028-01)                         | 156 |
| Figure P1.1.C.7 : Arrangement général   | 158 |
| Figure P1.2.C.7 : Ancrage à la fondation en béton   | 159 |
| Figure P1.1.C.12 : Arrangement général  | 161 |
| Figure P1.2.C.12 : Ancrage à la fondation en béton  | 162 |
| Figure P1.1.C.13 : Arrangement général  | 164 |
| Figure P1.2.C.13 : Ancrage à la fondation en béton  | 165 |
| Figure P1.1.C.14 : Arrangement général  | 167 |
| Figure P1.2.C.14 : Ancrage à la fondation en béton  | 168 |
| Figure P1.1.C.15 : Dimensions de la bride pour connexion par barres blindées                | 170 |
| Figure P1.2.C.15 : Arrangement général  | 171 |
| Figure P1.1.C.16 : Arrangement général  | 173 |
| Figure P1.2.C.16 : Vue de face du compartiment des traversées des enroulements du tertiaire | 174 |
| Figure P1.3.C.16 : Détail 1 de la figure P1.2.C.16, haut du compartiment                    | 175 |
| Figure P1.4.C.16 : Détail 2 de la figure P1.2.C.16, bas du compartiment                     | 176 |
| Figure P1.5.C.16 : Ancrage à la fondation en béton  | 177 |
| Figure P1.1.C.18 : Arrangement général  | 178 |
| Figure P1.2.C.18 : Positionnement des barres dans les compartiments tertiaires Y1 et Y2     | 179 |
| Figure P1.3.C.18 : Vue de face des compartiments des traversées de l'enroulement tertiaire  | 180 |
| Figure P1.4.C.18 : Détail 1 de la figure P1.3.C.18, haut du compartiment Y1                 | 181 |
| Figure P1.5.C.18 : Détail 2 de la figure P1.3.C.18, bas des compartiments Y1 et Y2          | 182 |
| Figure P1.6.C.18 : Ancrage à la fondation en béton  | 183 |
| Figure P1.1-IS-735 : Arrangement général  | 185 |
| Figure P1.2-IS-735 : Ancrage à la fondation en béton  | 186 |

## Liste des tableaux

|  | Page |
|--|------|
| Tableau P1.1 : Caractéristiques électriques normalisées, transformateurs et autotransformateurs.....               | 18   |
| Tableau P1.2 : Caractéristiques électriques normalisées pour les inductances shunt monophasées.....                | 18   |
| Tableau P1.3 : Niveaux de perturbations radioélectriques.....  | 27   |
| Tableau P1.4 : Tenue aux courts-circuits — Paramètres spécifiés .....  | 29   |
| Tableau P1.5 : Conditions particulières d'exploitation des transformateurs de puissance.....                       | 31   |
| Tableau P1.6 : Niveaux d'isolement des enroulements .....  | 32   |
| Tableau P1.7 : Niveaux d'isolement des traversées.....   | 33   |
| Tableau P1.8 : Distances d'isolement minimales des traversées.....   | 34   |
| Tableau P1.9 : Impédances entre enroulements HT / BT, appareils aux caractéristiques électriques normalisées ..... | 35   |
| Tableau P1.10 : Dimensions, volume d'huile et poids maximum .....  | 38   |
| Tableau P1.11 : Tiges filetées des traversées .....  | 40   |
| Tableau P1.12 : Propriétés des huiles (à la mise en service) .....   | 42   |
| Tableau P1.12a : Rayon de pliage à respecter selon l'épaisseur de la plaque d'acier .....                          | 46   |
| Tableau P1.13 : Niveaux d'énergie à contenir en fonction de la tension nominale .....                              | 47   |
| Tableau P1.14 : Exigences des garnitures d'étanchéité.....   | 51   |
| Tableau P1.15 : Transformateurs de courant requis par traversée .....  | 63   |
| Tableau P1.16 : Rapports normalisés des transformateurs de courant de type traversée .....                         | 64   |
| Tableau P1.17 : Transformateurs de courant pour les inductances shunt à 735 kV .....                               | 65   |
| Tableau P1.18 : Réglage du moniteur et de l'indicateur de température.....   | 69   |
| Tableau P1.19 : Configurations du moniteur de température.....   | 70   |
| Tableau P1.20 : Niveaux de remplissage des réservoirs d'expansion d'huile.....                                     | 80   |
| Tableau A.1 : Paramètres intrants pour l'exemple.....  | 95   |
| Tableau A.2 : Données requises pour l'évaluation de la pression statique $P_s$ pour l'exemple .....                | 96   |
| Tableau A.3 : Propriétés des matériaux à utiliser dans la modélisation .....                                       | 99   |
| Tableau A.4 : Équivalence des matériaux .....  | 100  |
| Tableau A.5 : Déformation ultime à utiliser pour matériaux non identifiés au Tableau A.3.....                      | 101  |
| Tableau A.6 : Types d'élément permis et spécifications d'utilisation.....  | 102  |
| Tableau A.7 : Tailles d'arête maximales permises dans les zones du maillage global.....                            | 103  |
| Tableau A.8 : Tailles d'arête maximales permises dans les zones des sous-modèles.....                              | 110  |
| Tableau A.9 : Détermination de la pression maximale selon le type d'accessoire.....                                | 116  |
| Tableau A.10 : Contenu du rapport de tenue à un arc interne pour qualification par calcul .....                    | 117  |
| Tableau A.11 : Contenu du rapport de tenue à un arc interne pour qualification par essai .....                     | 121  |
| Tableau A.12 : Tableau à inclure pour les accessoires dans le rapport de qualification (exemples).....             | 124  |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau P1.C.1 : Caractéristiques des TP 69/12-15 .....       | 133 |
| Tableau P1.C.2 : Caractéristiques des TP 69/25-22,5 .....     | 134 |
| Tableau P1.C.3 : Caractéristiques des TP 120/25-22,5.....     | 135 |
| Tableau P1.C.4 : Caractéristiques des TP1 120/25/12-47 .....  | 136 |
| Tableau P1.C.5 : Caractéristiques des TP2 120/25(12)-47 ..... | 137 |
| Tableau P1.C.6 : Caractéristiques des TP 120/12-47.....       | 138 |
| Tableau P1.C.7 : Caractéristiques des TP 120/25-47 .....      | 138 |
| Tableau P1.C.8 : Caractéristiques des TP 120/25-66.....       | 139 |
| Tableau P1.C.9 : Caractéristiques des TP 161/25-22,5.....     | 140 |
| Tableau P1.C.10 : Caractéristiques des TP 161/25-47.....      | 141 |
| Tableau P1.C.11 : Caractéristiques des TP 230/25-47.....      | 141 |
| Tableau P1.C.12 : Caractéristiques des TP 230/25-66.....      | 142 |
| Tableau P1.C.13 : Caractéristiques des TP 230/120-400.....    | 143 |
| Tableau P1.C.14 : Caractéristiques des TP 315/25-66 .....     | 144 |
| Tableau P1.C.15 : Caractéristiques des TP 315/25-140.....     | 145 |
| Tableau P1.C.16 : Caractéristiques des TP 315/120-450.....    | 146 |
| Tableau P1.C.17 : Caractéristiques des TP 735/230-370.....    | 147 |
| Tableau P1.C.18 : Caractéristiques des TP 735/315-550.....    | 147 |
| Tableau P1.C.19 : Caractéristiques des TP 315/26,4-100.....   | 148 |
| Tableau P1.C.20 : Caractéristiques des TP 69/12-22,5.....     | 149 |
| Tableau P2.1 : Limites de variation de tension .....          | 193 |

## Avant-Propos

La spécification technique normalisée SN-14.1, version k, comprend deux parties. La Partie 1 définit les exigences générales des transformateurs de puissance et inductances shunt. La Partie 2 définit les exigences relatives aux circuits auxiliaires et de commande.

La Partie 2 de cette spécification doit être lue conjointement avec la IEC 62271-1. Les références aux paragraphes pertinents de cette norme sont faites directement dans le texte de la Partie 2.

Note : Les accessoires homologués ou acceptés par Hydro-Québec pour les transformateurs de puissance et les inductances shunt (moniteur de température, moniteur de gaz dissous et d'humidité, etc.) sont regroupés dans un document complémentaire intitulé « liste des accessoires associés ».



## PARTIE 1 : HAUTE TENSION

### 1. Généralités

La présente spécification technique normalisée fixe les conditions techniques générales auxquelles doivent satisfaire les transformateurs ou autotransformateurs de puissance et les inductances shunt destinés aux installations électriques de postes et de centrales d'Hydro-Québec.

#### 1.1 Domaine d'application

La présente spécification technique normalisée (SN) s'applique aux transformateurs de puissance et inductances shunt ayant des caractéristiques électriques normalisées définies aux Tableaux P1.1 et P1.2.

Pour les autres transformateurs de puissance et inductances shunt, se référer aux spécifications techniques particulières (STP) pour les caractéristiques correspondantes.

**Tableau P1.1 : Caractéristiques électriques normalisées, transformateurs et autotransformateurs**

| Identification                 | Type <sup>a</sup> | Puissance nominale MVA | Rapport des tensions nominales à vide kV | Couplage |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|--|----------|
| TP 69/12-15                    | C.1               | 9-12-15                | 69-13,2                                  | Dyn1     |
| TP 69/25-22,5                  | C.2               | 13,5-18-22,5           | 69-26,4                                  | Dyn1     |
| TP 120/25-22,5                 | C.3               | 13,5-18-22,5           | 120-26,4                                 | Dyn1     |
| TP1 120/25/12-47 <sup>b</sup>  | C.4               | 28-37-47               | 120-26,4-13,2                            | YNd1d1   |
| TP2 120/25(12)-47 <sup>c</sup> | C.5               | 28-37-47               | 120-26,4 (13,2)                          | YNd1     |
| TP 120/12-47                   | C.6               | 28-37-47               | 120-13,2                                 | YNd1     |
| TP 120/25-47                   | C.7               | 28-37-47               | 120-26,4                                 | YNd1     |
| TP 120/25-66                   | C.8               | 40-53-66               | 120-26,4                                 | YNd1     |
| TP 161/25-22,5                 | C.9               | 13,5-18-22,5           | 161-26,4                                 | Dyn1     |
| TP 161/25-47                   | C.10              | 28-37-47               | 161-26,4                                 | YNd1     |
| TP 230/25-47                   | C.11              | 28-37-47               | 230-26,4                                 | YNd1     |
| TP 230/25-66                   | C.12              | 40-53-66               | 230-26,4                                 | YNd1     |
| TP 230/120-400                 | C.13              | 240-320-400            | 230-120-12,5                             | YNad1    |
| TP 315/25-66                   | C.14              | 40-53-66               | 315-26,4                                 | YNd1     |
| TP 315/25-140                  | C.15              | 84-112-140             | 315-26,4                                 | YNd1     |
| TP 315/120-450                 | C.16              | 270-360-450            | 315-120-12,5                             | YNad1    |
| TP 735/230-370 <sup>d</sup>    | C.17              | 222-296-370            | 735/ $\sqrt{3}$ -230/ $\sqrt{3}$ -12,5   | YNad1    |
| TP 735/315-550 <sup>d</sup>    | C.18              | 330-440-550            | 735/ $\sqrt{3}$ -315/ $\sqrt{3}$ -12,5   | YNad1    |
| TP 315/25-100                  | C.19              | 60-80-100              | 315-26,4                                 | YNd1     |
| TP 69/12-22,5                  | C.20              | 13,5-18-22,5           | 69-13,2                                  | Dyn1     |

<sup>a</sup> Le type correspond aux caractéristiques électriques mentionnées aux tableaux de l'annexe C.  
<sup>b</sup> Enroulements secondaires indépendants procurant une tension de 26,4 kV et de 13,2 kV.  
<sup>c</sup> Enroulements secondaires, raccordés en série ou en parallèle, 26,4kV ou de 13,2kV non simultanément.  
<sup>d</sup> Unité monophasée.

**Tableau P1.2 : Caractéristiques électriques normalisées pour les inductances shunt monophasées**

| Identification          | Puissance nominale (Mvar) | Tension nominale (kV) |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| IS 735-55 <sup>e</sup>  | 55                        | 735/ $\sqrt{3}$       |
| IS 735-110 <sup>e</sup> | 110                       | 735/ $\sqrt{3}$       |

<sup>e</sup> Option possible avec un service auxiliaire 600 V.

## 1.2 Références

Les références datées s'appliquent uniquement pour l'édition citée. Pour les références non-datées, l'édition la plus récente s'applique.

### **Hydro-Québec (HQ)**

Liste des accessoires associés : *Document regroupant les accessoires homologués ou acceptés par Hydro-Québec dans le cadre de la présente spécification technique normalisée;*

- SN-1.1 : *Emballage du matériel de poste, de lignes et de centrales;*
- SN-3.1 : *Exigences relatives à la fourniture des listes et/ou dessins d'appareil ou système par un fournisseur d'Hydro-Québec;*
- SN-3.2 : *Exigences complémentaires pour les dessins d'appareillage majeur de postes;*
- SN-14.2 : *Essais des transformateurs de puissance, des inductances de mise à la terre et des inductances shunt;*
- SN-15.6b : *Disjoncteurs à courant alternatif à 15 kV, 26,4 kV et 28,4 kV et l'amendement A1;*
- SN-16.1 : *Essais sur les transformateurs de mesure de 26,4 à 765 kV;*
- SN-29.3 : *Revêtement sur l'appareillage de postes, les tableaux de commande et autres équipements connexes;*
- SN-29.7 : *Critères pour la conception civile et mécanique des postes;*
- TET-APE-N-0003 : *Norme sur les vérifications pré-opérationnelles et essais de mise en route de l'appareillage électrique et mécanique de postes;*
- TET-APG-N-0001 : *Qualification parasismique des équipements et ouvrages du réseau de transport (remplace la SN-29.1);*

### ***Dessins normalisés :***

- N400-40140-010-01 : *Poteaux pour ancrages individuels et ancrages de câbles de secours horizontaux sur couvercle de transformateurs;*
- N400-40140-025-01 : *Schéma de principe, Circuits auxiliaires basse tension d'un transformateurs de puissance triphasé;*
- N400-40140-025-02 : *Schéma de principe, Circuits auxiliaires basse tension d'un transformateur de puissance monophasé;*
- N400-40140-026-01 : *Exigences – Détails mise à la terre, normes SN14.1 et SN14.4;*
- N400-40140-027-01 : *Exigences – Détails mise à la terre, norme SN14.1 – Transformateurs de puissance et inductances shunt 72,5 kV à 765 kV;*
- N400-40140-028-01 : *Schéma de tuyauterie pour opérations de dégazage et de traitement des huiles;*
- N400-40140-039-01 : *Schéma de principe, circuits auxiliaires basse tension des inductances shunt triphasées et monophasées;*
- N400-40140-045-01 : *Construction générale, boulons d'ancrage pour fondations de postes.*

**American Bearing Manufacturers Association (ABMA)**

ABMA std 9 : *Load Ratings and Fatigue Life for Ball Bearings.*

**American Society of Mechanical Engineers (ASME)**

ASME B1.1 : *Unified Inch Screw Threads;*

ASME B16.5 : *Pipe flanges and flanged fittings;*

ASME B16.34 : *Valves flanged threaded and welding end.*

**American Standard of Testing materials (ASTM)**

ASTM A 123 / A 123 M : *Standard specification for zinc (hot-dip galvanized) coatings on iron and steel products;*

ASTM A 143 : *Standard practice for safeguarding against embrittlement of the galvanized structural steel products;*

ASTM A 153 : *Standard specification for zinc (hot-dip galvanized) coatings on iron and steel hardware;*

ASTM A 384 : *Standard practice for safeguarding against warpage and distortion during hot-dip galvanizing of steel assemblies;*

ASTM B 535 : *Standard specification for nickel-iron-chromium-silicon alloys seamless pipe and tube;*

ASTM B 545 : *Standard specification for electrodeposited coating tin;*

ASTM B 695 : *Standard specification for coating of zinc mechanically deposited on iron and steel;*

ASTM D 395 : *Standard test methods for rubber property – compression set;*

ASTM D 471 : *Standard test method for rubber property – effect of liquids;*

ASTM D 573 : *Standard test method for rubber – deterioration in an air oven;*

ASTM E 165 : *Standard practice for liquid penetrant testing for general industry;*

ASTM E 709 : *Standard guide for magnetic particulate testing;*

ASTM F 2329 : *Standard specification for zinc coating (hot dip) – requirements for applications to carbon alloy steel, bolts, screws, washers, nuts and special threaded fasteners;*

ASTM F 3125 : *Standard specification for high strength structural bolts and assemblies, steel and alloy steel, heat treated, inch dimensions 120ksi and 150ksi minimum tensile strength, and metric dimensions 830MPa and 104 MPa minimum tensile strength;*

ASTM F 593 : *Standard specification for stainless steel bolts, hex cap screws, and stud bolts.;*

**Association canadienne de normalisation (CSA)**

- C22.2 NO. 77-F95 : 1995 (C2004) : *Moteurs à protection intégrée contre la surchauffe;*  
CAN/CSA-C88.1-96 : *Traversées des transformateurs de puissance et bobines d'inductance;*  
CAN/CSA-C88-M90 : *Transformateurs de puissance et bobines d'inductance;*  
CAN/CSA G40.21 : *Exigences générales relatives à l'acier de construction laminé ou soudé;*  
CAN/CSA Z432 : *Protection des machines;*  
W47.1 : *Certification des compagnies de soudage par fusion de l'acier;*  
W59 : *Construction soudée en acier (soudage à l'arc).*

**American Welding Society (AWS)**

- AWS D1.1 : *Structural welding steel.*

**Commission électrotechnique internationale (IEC)**

- IEC 60034-5 : *Machines électriques tournantes – Partie 5 : Degrés de protection procurés par la conception intégrale des machines électriques tournantes (code IP) – Classification;*  
IEC 60044-1 : *Instrument transformers – Part 1 : Current transformers;*  
IEC 60050 (421) : *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) — chapitre 421;*  
IEC 60050 (441) : *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) — Chapitre 441 : Appareillage et fusibles;*  
IEC 60050 (605) : *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) — Chapitre 605 : Production, transport et distribution de l'énergie électrique — Postes;*  
IEC 60076-1 : *Transformateurs de puissance — Partie 1 — Généralités;*  
IEC 60076-2 : *Transformateurs de puissance — Partie 2 — Échauffement;*  
IEC 60076-3 : *Transformateurs de puissance — Partie 3 — Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air;*  
IEC 60076-4 : *Transformateurs de puissance — Partie 4 — Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre — Transformateurs de puissance et bobines d'inductance;*  
IEC 60076-5 : *Transformateurs de puissance — Partie 5 — Tenue au court-circuit;*  
IEC 60076-7 : *Transformateurs de puissance — Partie 7 — Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile;*  
IEC 60076-8 : *Transformateurs de puissance — Guide d'application;*  
IEC 60076-10 : *Transformateurs de puissance — Partie 10 — Détermination niveaux de bruit;*  
IEC 60076-10-1 : *Transformateurs de puissance — Partie 10-1 — Détermination des niveaux de bruit — Guide d'application;*  
IEC 60076-11 : *Transformateurs de puissance — Partie 11 — Transformateurs de type sec;*

- IEC 60076-13 : *Transformateurs de puissance — Partie 13 — Transformateurs auto- protégés immergés dans un liquide diélectrique;*
- IEC 60076-14 : *Transformateurs de puissance — Partie 14 — Conception et application des transformateurs de puissance immergés dans du liquide utilisant des matériaux isolants haute température;*
- IEC 60076-18 : *Transformateurs de puissance — Partie 18 — Mesure de la réponse en fréquence;*
- IEC 60137 : *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V;*
- IEC 60214-1 : *Changeurs de prises — Partie 1 — Prescriptions de performances et méthodes d'essai;*
- IEC 60214-2 : *Changeurs de prises — Partie 2 — Guide d'application;*
- IEC 60422 : *Huile minérale isolante dans les matériels électriques;*
- IEC 60529 : *Degré de protection procuré par les enveloppes (Code IP);*
- IEC 60751 : *Thermomètres à résistance à platine industrielle et capteurs thermométriques en platine;*
- IEC 60815 : *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution;*
- IEC 61224 : *Response time in resistance temperature detectors (RTD);*
- IEC 61869-1 et 61869-2 : *Transformateurs de mesure — Partie 1-2;*
- IEC 62271 : *Spécification commune aux normes de l'appareillage à haute tension;*
- IEC 62271-1-108 : *High-voltage alternating current disconnecting circuit-breakers for rated voltages of 72,5 kV and above;*
- IEC 62271-211 : *Appareillage à haute tension — Partie 211 — Raccordements directs entre transformateurs de puissance et appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée supérieure à 52 kV;*
- IEC 62397, 2007 : *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Resistance temperature detectors.*

### **Electrical and Electronics Manufacturers Association of Canada (EEMAC)**

L10-1 : *Load Tap Changing Paralleling Schemes (Scheme).*

### **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**

- C57.12.00 : *Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers;*
- C57.13 : *IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers;*
- C57.100 : *Distribution Transformers, Test Procedure for Thermal Evaluation of Oil-Immersed;*
- C57.150 : *Guide for Transportation of transformers and Reactors rated 10 000 kVA or higher;*
- C37.23 : *Standard for metal enclosed bus.*

**National Electrical Manufacturers Association (NEMA)**

NEMA 107 : *Methods of Measurement of Radio Influence Voltage (RIV) of High Voltage Apparatus.*

**Organisme de certification nationale en essai non-destructif (OCEND)**

CGSB-48.9712 : Qualification et certification du personnel en END.

**Organisation Internationale de Normalisation (ISO)**

ISO 1090-2 : *Exigences des structures en acier et en aluminium – partie 2;*

ISO 3452-1 : *Essais non-destructifs – examens par ressuage – principes généraux;*

ISO 3834-2 et ISO 3834-5 : *Exigence qualité en soudage;*

ISO 3834-2 et ISO 3834-5 : *Exigence qualité en soudage;*

ISO 5817 : *Soudage – assemblage en acier nickel titane et leurs alliages soudés par fusion;*

ISO 9001 : *Systèmes de management de la qualité — Exigences;*

ISO 9712 : *Essais non-destructifs – qualification et certification du personnel en END;*

ISO 9934 : *Essais non-destructifs – magnétoscopie – principes généraux du contrôle;*

ISO 17637 : *Contrôle non-destructif des assemblages soudés – contrôle visuel;*

ISO 17638 : *Essais non-destructifs des assemblages soudés, contrôle par magnétoscopie;*

ISO 17640 : *Essais non-destructifs des assemblages soudés, contrôle par ultrasons;*

**The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space (SAE International)**

AMS-STD-595-A (2017-02) : *Colors Used in Government Procurement.*

**Underwriters Laboratories (UL)**

UL 94 : *Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances.*

**U.S. Government Procurement. General Service Administration. Federal Standard**

GSA Fed-Std-595B/ GSA Fed-Std-595B, Notice 1 : *Colors used in Government Procurement.*

## 2. Conditions normales et spéciales de service

### 2.1 Conditions normales de service

#### 2.1.1 Conditions d'exploitation et de mise en service

Les appareils à bobinage imprégné d'huile doivent être conçus de façon à résister sans dommage aux contraintes résultant des caractéristiques de fonctionnement spécifiées au paragraphe 4.2 de cette norme, et à satisfaire aux conditions d'exploitation et de mise en service suivantes :

- glace : 45 mm;
- vent horaire moyen : 110 km/h;
- température : - 50 °C à 40 °C;
- température moyenne quotidienne minimale : - 35 °C;
- température moyenne quotidienne maximale : 30 °C;
- niveau de pollution I (faible), tel que défini dans la IEC 60815.

Les détails d'application sont dans la SN-29.7.

#### 2.1.2 Tenue sismique

À moins d'indications contraires dans la spécification technique particulière, les transformateurs et inductances shunt doivent être conçus et construits pour résister à un séisme dont l'accélération horizontale au sol est égale à 0,50 g. Les combinaisons de charge à utiliser sur l'équipement lors de l'application de la TET-APG-N-0001 sont celles définies dans la SN-29.7.

### 2.2 Conditions spéciales de service

Toutes les conditions spéciales de service, par exemple une altitude plus élevée, une température très basse, une activité sismique plus grande, une pollution plus sévère, etc., doivent être précisées dans une spécification technique particulière.

## 3. Définitions

Les définitions de la CAN/CSA-C88, de la IEC 60076, de la IEC 60050 (421) ainsi que les définitions pertinentes de la IEC 60050 (441) et de la IEC 62271 s'appliquent.

Les termes «nominal» et «assigné» sont synonymes dans la présente spécification.

#### Détecteur de température à résistance (RTD) :

Ce type de détecteur est généralement constitué d'un fût cylindrique en acier inoxydable protégeant une sonde à résistance de platine dont la résistance varie avec la température. Ce détecteur est placé dans le conduit contenant le fluide dont la température est ainsi mesurée. Il peut être directement immergé dans le fluide ou protégé par une enveloppe intermédiaire appelée «doigt de gant»

[IEC 61224, par. 2.1]

Note : Dans la IEC 62397 de mai 2007, l'expression «sondes à résistance» est utilisée à la place de «détecteur de température à résistance» pour traduire "resistance temperature detectors" (RTD)



## 4. Caractéristiques

### 4.1 Caractéristiques générales

#### 4.1.1 Généralités

À moins d'indication contraire dans la présente spécification technique normalisée, les appareils et leurs accessoires doivent être conformes à la norme CAN/CSA-C88.

Les schémas et connexions des circuits auxiliaires basse tension doivent être exécutés conformément aux dessins normalisés listés à la Partie 2.

#### 4.1.2 Choix de l'huile isolante et des accessoires

Le choix de l'huile isolante et des accessoires tels que traversées, éléments de raccordement, changeurs de prises, etc. ne doit pas réduire la performance diélectrique, thermique et mécanique de l'appareillage pour les différentes conditions de service prescrites.

### 4.2 Caractéristiques de fonctionnement

#### 4.2.1 Fréquence

La fréquence du réseau est de 60 Hertz.

#### 4.2.2 Échauffement en régime normal

L'échauffement nominal, soit l'échauffement moyen des enroulements, doit être de 65 °C.

Les inductances shunt doivent cependant observer un échauffement de 55 °C avec point chaud de 95 °C tout en conservant une isolation dont l'échauffement nominal est de 65 °C avec point chaud de 110 °C.

#### 4.2.3 Bruit

Les exigences concernant le bruit audible doivent être rencontrées en concevant la partie active de façon à réduire le bruit généré à la source. L'usage de panneaux internes ou externes à la cuve ou d'enceintes acoustiques n'est pas accepté, à moins d'une entente particulière avec Hydro-Québec.

La mesure de bruit audible doit se faire par une mesure d'intensité acoustique et par la réalisation d'évaluations de puissance acoustique, le tout selon les prescriptions de la norme IEC 60076-10. Les mesures d'intensité acoustique et les évaluations de puissances acoustiques doivent être faites pour chacune des bandes de fréquence de 1/3 d'octave allant de 63 Hz à 1250 Hz et pour le niveau global.

Les deux évaluations suivantes doivent être réalisées :

- $L_{WA,V}$  : Puissance acoustique en mode ONAN, sous tension à 105% de la tension nominale;
- $L_{WA,C}$  : Puissance acoustique avec tout le refroidissement en fonction et à 100% de la charge nominale.

La somme logarithmique de ces deux puissances acoustiques est ensuite effectuée selon l'équation suivante :

$$L_{WA,TOTAL} = 10 \lg (10^{(L_{WA,V} / 10)} + 10^{(L_{WA,C} / 10)})$$

Note 1 : Selon la convention établie par le IEC,  $\lg x = \log_{10} x$ .

Note 2 : Lorsque le système de refroidissement est installé sur un pilier séparé, le système de refroidissement doit faire l'objet d'une mesure séparée et une somme logarithmique doit être appliquée pour le calcul de  $L_{WA,C}$  total (cuve + système de refroidissement).

Note 3 : Les deux mesures  $L_{WA,V}$  et  $L_{WA,C}$  doivent être réalisées sur la prise ou les prises correspondant aux niveaux maximaux déterminés préalablement par calcul et convenus lors de la revue de conception.

Les niveaux maximaux de puissance acoustique sont les suivants :

- a) Transformateurs 47 MVA - type C.7 du tableau P1.9  
 $L_{WA,V}$  : 72 dB(A)  
 $L_{WA,Total}$  : 79 dB(A)
- b) Transformateurs 66 MVA - types C.8, C.12 et C.14 du tableau P1.9  
 $L_{WA,V}$  : 79 dB(A)  
 $L_{WA,Total}$  : 84 dB(A)
- c) Autres transformateur de moins de 150 MVA  
 $L_{WA,V}$  : 81 dB(A)  
 $L_{WA,Total}$  : 87 dB(A)
- d) Transformateur monophasé de 150 MVA et plus  
 $L_{WA,V}$  : 95 dB(A)  
 $L_{WA,Total}$  : 101 dB(A)
- e) Transformateur triphasé de 150 MVA et plus  
 $L_{WA,V}$  : 97 dB(A)  
 $L_{WA,Total}$  : 103 dB(A)
- f) Inductance shunt  
 $L_{WA,V}$  : 92 dB(A)

La puissance en MVA du transformateur qui est indiquée aux points a) à e) correspond à la puissance nominale du transformateur avec tout le refroidissement en fonction.

Des niveaux de puissance acoustique inférieurs peuvent être exigés dans une spécification technique particulière.

#### 4.2.4 Perturbations radioélectriques

Le fabricant doit se conformer au niveau de perturbations radioélectriques prescrites par la norme IEC 62271-1-(méthode CISPR 18-2) telle qu'ils apparaissent au Tableau P1.3. Cette exigence s'applique aussi aux raccords utilisés sur les appareils.

**Tableau P1.3 : Niveaux de perturbations radioélectriques**

| Tension nominale<br>kV   | Tension d'essai<br>phase - terre kV<br>eff. | Fréquence de mesure<br>MHz | Perturbation radioélectrique<br>maximale mesurée<br>µV |
|--|---|----------------------------|--|
| 230  | 155   | 0,5                        | 2500   |
| 315  | 210   | 0,5                        | 2500   |
| 735  | 486   | 0,5                        | 2500   |
| NOTE La norme NEMA 107 (circuit de la figure 3-3c) peut être appliquée en alternative suivant un accord entre le fabricant et Hydro-Québec. La fréquence de mesure est de 1 MHz et la perturbation radioélectrique maximale mesurée est de 500 µV. |   |                            |  |

#### 4.2.5 Mise à la terre de la traversée de neutre H0, X0 et H0X0

La conception des appareils triphasés doit être exécutée en considérant qu'Hydro-Québec raccorde la borne de neutre à la terre à l'aide d'un conducteur en cuivre étamé sur une borne de terre en cuivre soudée directement sur la partie verticale de la cuve. Cette borne de terre doit être installée de manière à assurer un raccordement de la traversée de neutre de la façon la plus directe à la terre (réf. Annexe D).

Pour les appareils monophasés, Hydro-Québec réalisera le raccordement à la terre de la borne de neutre à l'aide d'un jeu de barres isolées (câble isolé ou conducteur nu isolé dans l'air) jusqu'au point de raccordement commun aux trois unités monophasées.

#### 4.2.6 Surcharge en condition d'urgence

Les appareils et leurs accessoires (ex. traversées) doivent être conçus de façon à supporter, à toutes les prises, le profil journalier de charge ci-dessous sans dépasser la température admissible du point chaud de l'enroulement, soit 140 °C.

##### 4.2.6.1 Profil journalier – régime d'été

À 30 °C, charge de 1,0 p.u. pendant 12 heures, suivies d'une charge de 1,15 p.u. pendant 8 heures, puis d'une charge de 1,22 p.u. pendant 4 heures.

##### 4.2.6.2 Profil journalier – régime d'hiver

À -20 °C, charge de 1,35 p.u. pendant 12 heures, suivie d'une charge de 1,48 p.u. pendant 8 heures, puis d'une charge de 1,5 p.u. pendant 4 heures. À moins d'indication contraire dans la spécification technique particulière, les profils journaliers indiqués ci-haut ainsi que les essais de type en surcharge ne sont pas requis pour les transformateurs de puissance installés dans les postes de centrales ou de compensation.

Note 1 p.u. = courant nominal au secondaire.

## **4.2.7 Refroidissement**

### **4.2.7.1 Généralités**

Tous les appareils doivent pouvoir être exploités en mode de refroidissement ONAN à une puissance indiquée sur la plaque signalétique (article 7.1, item 4). Les canaux de refroidissement doivent permettre la circulation naturelle de l'huile pour toutes les conditions de température, et dans les limites de viscosité du liquide isolant prescrites dans la présente spécification technique normalisée.

Pour les transformateurs et autotransformateurs de puissance munis de deux stades de refroidissement à air forcé, ONAF1-ONAF2, le premier stade de refroidissement doit être démarré lorsque la température du point chaud des enroulements atteint 65 °C, et le second stade lorsqu'elle atteint 75 °C.

### **4.2.7.2 Transformateur de puissance**

Pour les transformateurs de puissance de 100 MVA et moins, Hydro-Québec privilégie le mode de refroidissement ONAN et ce, quand l'encombrement physique le permet. Tout autre mode de refroidissement doit être approuvé par Hydro-Québec.

Pour les transformateurs de puissance de 101 MVA et plus, Hydro-Québec privilégie le mode de refroidissement ONAN-ONAF ou ONAN-ONAF1-ONAF2. Tout autre mode de refroidissement doit être approuvé par Hydro-Québec.

### **4.2.7.3 Transformateur de centrale ou destiné à un usage intensif**

Tout transformateur de puissance spécifique à une centrale ou destiné à un usage intensif (1 p.u. de charge en continue) doit pouvoir débiter sa puissance nominale sans dépasser l'échauffement nominal, même s'il est privé d'un radiateur et/ou d'un groupe de ventilateurs associé à un même démarreur (ou d'une pompe dans le cas d'un refroidissement de type OFAF ou ODAF).

Afin de réduire l'échauffement global du transformateur, le système de refroidissement complet doit être en opération.

### **4.2.7.4 Inductance shunt**

Les inductances shunt doivent être munies d'un refroidissement en mode ONAN.

#### 4.2.8 Tenue au court-circuit des appareils

Les transformateurs de puissance doivent être construits de façon à résister, sans dommage, aux contraintes thermiques et mécaniques produites par tout type de défaut externe tel que défini à l'Article 10 de la norme CAN/CSA-C88.

Les courants de défauts doivent être déterminés de façon à utiliser la tension d'exploitation pré-défaut et l'impédance du transformateur augmenté de l'impédance du réseau (voir paramètres au Tableau P1.4 ci-après). La tension pré-défaut doit être déterminée en majorant de 5 % la tension nominale à vide prescrite à chaque position du changeur de prises en charge. Les définitions et la méthode de calcul du courant asymétrique doivent être selon la norme ANSI/IEEE C57.12.00.

**Tableau P1.4 : Tenue aux courts-circuits — Paramètres spécifiés**

| Tension nominale<br>kV   | Tension prédéfaut<br>kV | P c.c.<br>spécifiée<br>MVA | Courant c.c.<br>kA | $X_0/X_1$ | X/R | Durée<br>du défaut<br>s |
|--|-------------------------|----------------------------|--------------------|-----------|-----|-------------------------|
| 13,2   | 13,9                    | 300                        | 12,5               | 1         | 30  | 2                       |
| 26,4 <sup>a</sup>  | 27,7                    | 600                        | 12,5               | 1         | 30  | 2                       |
| 26,4 <sup>b</sup>  | 27,7                    | 1200                       | 25,0               | 1         | 60  | 2                       |
| 26,4 <sup>c</sup>  | 27,7                    | 2400                       | 50,0               | 1         | 60  | 2                       |
| 69   | 72,5                    | 4000                       | 31,5               | 1         | 30  | 2                       |
| 120  | 126,0                   | 10000                      | 45,8               | 1         | 30  | 2                       |
| 161  | 169,0                   | 15000                      | 51,2               | 1         | 30  | 2                       |
| 230  | 241,5                   | 22000                      | 52,6               | 1         | 30  | 2                       |
| 315  | 330,0                   | 29000                      | 50,7               | 1         | 30  | 2                       |
| 735  | 772,0                   | 53000                      | 40,0               | 1         | 30  | 2                       |
| a Applicable aux transformateurs de moins de 47 MVA<br>b Applicable aux transformateurs de 47 et 66 MVA<br>c Applicable aux transformateurs de 140 MVA |                         |                            |                    |           |     |                         |

#### 4.2.9 Conditions particulières des transformateurs de puissance de 22,5 MVA

Les transformateurs de puissance de 22,5 MVA peuvent être implantés dans des installations où la protection haute tension est réalisée au moyen d'un sectionneur de terre rapide créant un défaut phase-terre asymétrique de 50 kA crête.

#### 4.2.10 Conditions particulières des inductances shunt

Les inductances shunt doivent pouvoir résister, sans dégradation de leurs caractéristiques originales, aux contraintes thermiques, mécaniques et diélectriques produites lors d'enclenchements survenant au moment du passage à zéro de la tension ou au moment de la valeur de crête de la tension (fréquence 60 Hz).

##### a) Contraintes relatives au courant d'appel - fermeture au zéro de tension

L'inductance shunt doit pouvoir supporter les contraintes mécaniques et thermiques produites par le courant d'appel maximal à l'enclenchement. Le fabricant devra déterminer et prendre en considération la valeur crête maximale du courant d'appel, ainsi que la constante de temps de la composante continue de ce courant en se basant sur les données suivantes :

- Niveau de surtension lors de l'enclenchement : 1,5 p.u.;
- Enclenchement au passage par zéro de la tension produisant une composante continue maximale;
- disjoncteur de manœuvre non muni de résistances d'enclenchement.

##### b) Contraintes relatives aux tensions transitoires - fermeture à la crête de tension

L'enclenchement de l'inductance shunt à la crête de tension à 60Hz produite par un préamorçage du disjoncteur lors d'une manœuvre de fermeture génère une tension transitoire haute fréquence aux bornes de l'inductance shunt. L'inductance shunt doit être conçue pour supporter le taux d'accroissement  $dV / dt$  de la surtension ainsi que les surtensions à haute fréquence associées aux résonnances internes avec les paramètres suivants :

- Niveau de surtension lors de l'enclenchement : 1,5 p.u.;
- Tension maximale de la première crête :  $2,25 \text{ p.u.} \times \sqrt{2}$ ;
- Fréquence d'oscillation : entre 250 et 500 kHz;
- Constante d'amortissement : 12  $\mu\text{s}$ .

Le fabricant doit produire une étude qui démontre que la conception et la fabrication de l'inductance shunt tiennent compte de l'application de ces contraintes et permettront d'obtenir la fiabilité attendue. Les résultats de ces études devront être discutés avec les représentants d'Hydro-Québec lors de la revue de conception.

La fréquence des enclenchements et le niveau de tension correspondant sont les suivants :

- ⇒ 100 fois/année à une tension de 1,05  $U_n$
- ⇒ 3 fois/année à une tension de 1,30  $U_n$
- ⇒ 1 fois/trois ans à une tension de 1,50  $U_n$

#### 4.2.11 Conditions d'exploitation des transformateurs de puissance

Les transformateurs de puissance et tous leurs composants doivent supporter les tensions à fréquence industrielle et les courants continus induits géomagnétiquement prescrits au tableau P1.5 ci-après.

**Tableau P1.5 : Conditions particulières d'exploitation des transformateurs de puissance**

| Tension nominale<br>( kV ) | Surtension temporaire phase-terre<br>admissibles du côté HT <sup>a</sup><br>( kV ) |     |     | Courant continu admissible<br>(Ampères / phase) |   |   |
|----------------------------|--|-----|-----|---|---|---|
|                            | 30 s   | 5 s | 1 s | 1 fois / an <sup>b</sup><br>1 min. <sup>c</sup> | 5 fois / an <sup>b</sup><br>5 min. <sup>c</sup> | 15 fois / an <sup>b</sup><br>10 min. <sup>c</sup> |
| 69                         | 50   | 60  | 65  | s/o   | s/o   | s/o   |
| 120                        | 90   | 105 | 115 | s/o   | s/o   | s/o   |
| 161                        | 120  | 140 | 150 | s/o   | s/o   | s/o   |
| 230                        | 170  | 200 | 210 | s/o   | s/o   | s/o   |
| 315                        | 230  | 265 | 285 | s/o   | s/o   | s/o   |
| 735                        | 530  | 620 | 660 | 25 A  | 15 A  | 5 A   |

a Les surtensions temporaires admissibles du côté HT doivent être considérées autant à vide qu'à pleine charge.  
 b Fréquence de la présence du courant continu.  
 c Durée en minutes de la présence du courant continu.

### 4.3 Caractéristiques électriques

#### 4.3.1 Tenue en tension en régime permanent

Les inductances shunt doivent pouvoir supporter en permanence une tension dont le niveau correspond à 105 % de la tension nominale.

En régime permanent et à pleine charge (F.P. = 0,9), les transformateurs et autotransformateurs de puissance doivent supporter un niveau de tension correspondant à 105 % de la tension nominale basse tension ou de la tension nominale de chacune des prises du changeur de prises en charge (CPC). Les enroulements de la haute tension doivent supporter les tensions calculées selon le rapport de transformation.

En régime permanent et à vide, les transformateurs et autotransformateurs doivent supporter un niveau de tension correspondant à 110 % de la tension nominale de chacune des prises du CPC.

### 4.3.2 Niveaux d'isolement des enroulements et des traversées

Les niveaux d'isolement des enroulements et des traversées doivent être conformes aux valeurs prescrites respectivement aux Tableaux P1.6 et P1.7 de cette norme.

Les niveaux d'isolement pour les classes de tensions absentes aux Tableaux P1.6 et P1.7 doivent respectivement satisfaire les prescriptions des normes CAN/CSA-C88 et CAN/CSA-C88.1.

**Tableau P1.6 : Niveaux d'isolement des enroulements**

| Tension nominale<br>$\Phi$ - $\Phi$<br>kV eff. | Classe de tension<br>$\Phi$ - $\Phi$<br>kV eff. | Tenue aux chocs de foudre<br>kV crête |             | Tenue aux chocs de manœuvre<br>$\Phi$ -T / $\Phi$ - $\Phi$ | Tenue à la tension 60 Hz<br>$\Phi$ -T | Tension induite<br>kV eff. <sup>a</sup> |         |
|--|---|---------------------------------------|-------------|--|---------------------------------------|---|---------|
|  |   | Onde pleine                           | Onde coupée | kV crête   | kV eff.                               | 7200 périodes                           | 1 heure |
| s/o  | Neutre <sup>b</sup>                             | 95                                    | s/o         | Aucune valeur applicable aux classes inférieures à 245 kV  | 34                                    | s/o                                     | s/o     |
| 12,5   | Tertiaire <sup>c</sup>                          | 95                                    | 105         |  | 34                                    | s/o                                     | s/o     |
| 13,2   | 17,5  | 95                                    | 105         |  | 34                                    | s/o                                     | s/o     |
| 26,4   | 27,5  | 125                                   | 137,5       |  | 50 <sup>d</sup>                       | s/o                                     | s/o     |
| 69   | 72,5  | 350                                   | 385         |  | 140 <sup>d</sup>                      | 145                                     | 125     |
| 120  | 145   | 550                                   | 605         |  | 230 <sup>d</sup>                      | 265                                     | 225     |
| 161  | 170   | 650                                   | 715         |  | 275 <sup>d</sup>                      | 340                                     | 290     |
| 230  | 245   | 850                                   | 935         | 750 <sup>e</sup>   | s/o                                   | 490                                     | 415     |
| 315  | 362   | 1050                                  | 1155        | 850 / 1300 <sup>f</sup>                                    | s/o                                   | 660                                     | 570     |
| 735  | 800   | 1950                                  | 2145        | 1550 / 2550 <sup>f</sup>                                   | s/o                                   | 880                                     | 750     |

<sup>a</sup> Les tensions induites sont  $\Phi$ - $\Phi$  pour les transformateurs triphasés et  $\Phi$ -T pour les transformateurs monophasés (765/ $\sqrt{3}$  kV).  
<sup>b</sup> Le niveau d'isolement du point neutre d'un enroulement, auquel est raccordé un changeur de prises en charge, est laissé au choix du fabricant. Pour l'autotransformateur TP 735/315-550, le neutre doit être conçu pour une tenue au choc de foudre de 450 kV.  
<sup>c</sup> Lorsque le tertiaire n'est pas sorti, la classe de tension est laissée au choix du fabricant.  
<sup>d</sup> Applicable lorsque les enroulements sont raccordés en delta.  
<sup>e</sup> Applicable aux autotransformateurs afin de vérifier la tenue diélectrique en cas de court-circuit de l'enroulement commun (voir 4.3.7, ci-après).  
<sup>f</sup> Tension de tenue aux chocs de manœuvre  $\Phi$ -T /  $\Phi$ - $\Phi$  exigée à toutes les prises du CPC.



Tableau P1.7 : Niveaux d'isolement des traversées

| Tension nominale<br><br>kV  | Classe de tension | Tenue aux chocs de foudre<br>kV crête |                 | Tenue aux chocs de manœuvre<br>(sous pluie) | Tenue à fréquence industrielle<br>(60 Hz) <sup>a</sup><br><br>kV eff. |
|---|-------------------|---------------------------------------|-----------------|---|---|
|   |                   | Onde pleine                           | Onde coupée 3µs |   |   |
| Neutre  | s/o               | 95                                    | s/o             | s/o   | 42  |
| Tertiaire <sup>b</sup>  | s/o               | 95                                    | 105             | s/o   | 42  |
| Tertiaire <sup>c</sup>  | s/o               | 125                                   | 137,5           | s/o   | 55  |
| 13,2  | 17,5              | <b>95</b>                             | 105             | s/o   | 42  |
| 26,4  | 27,5              | <b>125</b>                            | 137,5           | s/o   | 55  |
| 69  | 72,5              | <b>350</b>                            | 385             | s/o   | 155   |
| 120   | 145               | <b>550</b>                            | 605             | s/o   | 255   |
| 161   | 170               | <b>650</b>                            | 715             | s/o   | 305   |
| 230   | 245               | <b>850</b>                            | 935             | s/o   | 435   |
| 315   | 362               | <b>1050</b>                           | 1155            | 850   | 505   |
| 735   | 800               | <b>1950</b>                           | 2145            | 1550  | 915   |
| <p><sup>a</sup> À moins que les traversées ne soient conformes à la norme CAN/CSA-C88.1-96, la durée de l'essai à fréquence industrielle pour les classes de tension 245 kV et moins est d'une minute à sec et sous pluie. À 330 kV et 765 kV, l'essai est d'une minute à sec.</p> <p><sup>b</sup> S'applique aux traversées des enroulements tertiaires sortis des appareils triphasés.</p> <p><sup>c</sup> S'applique aux traversées des enroulements tertiaires sortis des appareils monophasés.</p> |                   |                                       |                 |   |   |

### 4.3.3 Distance d'isolement dans l'air

Les distances d'isolement minimales dans l'air doivent être déterminées conformément au paragraphe 11.4 et au Tableau 6 de la norme CAN/CSA-C88 ainsi qu'au Tableau P1.8 ci-après.

**Tableau P1.8 : Distances d'isolement minimales des traversées**

| Tension nominale<br>kV   | Classe de tension<br>kV | Ligne de fuite minimale<br>mm | Distance d'isolation<br>dans l'air ( $\Phi$ - $\Phi$ )<br>mm <sup>a, b</sup> |
|--|-------------------------|-------------------------------|--|
| Tertiaire ou neutre  | s/o                     | 240                           | 160 <sup>c</sup>   |
| 13,2   | 17,5                    | 240                           | 160 <sup>c</sup>   |
| 26,4   | 27,5                    | 430                           | 220 <sup>c</sup>   |
| 69   | 72,5                    | 1 160                         | 700 <sup>c</sup>   |
| 120  | 145                     | 2 110                         | 1 100  |
| 161  | 170                     | 2 720                         | 1 500  |
| 230  | 245                     | 3 920                         | 1 900  |
| 315  | 362                     | 5 280                         | 3 200  |
| 735  | 800                     | 12 240                        | 10 000   |
| <p><sup>a</sup> Aucun essai de tenue entre phases n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures aux valeurs indiquées.</p> <p><sup>b</sup> La distance d'isolation applicable pour des jeux de barres simples. Pour des jeux de barres doubles, la distance d'isolation doit être augmentée.</p> <p><sup>c</sup> En l'absence d'une barrière physique empêchant la présence d'animaux, d'oiseaux ou autres, la distance entre les phases des traversées de classe 72,5 kV et moins doit être au moins égale à 750 mm centre à centre.</p> |                         |                               |  |

### 4.3.4 Impédance

Les impédances des transformateurs ou autotransformateurs de puissance doivent être conformes aux valeurs prescrites au Tableau P1.9.

Tableau P1.9 : Impédances entre enroulements HT / BT, appareils aux caractéristiques électriques normalisées

| Identification      | Type | Puissance maximale<br>MVA | Rapport des tensions nominales à vide<br>kV et (% de régulation) <sup>a</sup> | Impédance directe HT/BT en % <sup>c, d</sup> |           |           | Impédance directe entre enroulements en |                           |
|---------------------|------|---------------------------|---|--|-----------|-----------|---|---------------------------|
|                     |      |                           |   | Prise 1                                      | Prise 9   | Prise 17  | HT/Tertiaire <sup>b</sup>               | BT/Tertiaire <sup>b</sup> |
| TP 69/12 – 15       | C.1  | 15                        | 69 – 13,2 (± 15 %)  | 12,0   | 11,5      | 11,0      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 69/25 – 22,5     | C.2  | 22,5                      | 69 – 26,4 (± 15 %)  | 9,5  | 10,0      | 10,5      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 120/25 – 22,5    | C.3  | 22,5                      | 120 – 26,4 (± 15 %)   | 15,5   | 16,0      | 16,5      | s/o                                     | s/o                       |
| TP1 120/25/12 – 47  | C.4  | 47                        | 120 (± 15 %) – 26,4 – 13,2  | 19,5/13,5                                    | 18,5/13,2 | 18,2/12,9 | s/o                                     | s/o                       |
| TP2 120/25(12) – 47 | C.5  | 47                        | 120 (± 15 %) – 26,4 (13,2)  | 19,5/19,5                                    | 18,5/18,5 | 18,2/18,2 | s/o                                     | s/o                       |
| TP 120/12 – 47      | C.6  | 47                        | 120 (± 15 %) – 13,2   | 13,5   | 13,2      | 12,9      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 120/25 – 47      | C.7  | 47                        | 120 (± 15 %) – 26,4   | 19,5   | 18,5      | 18,2      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 120/25 – 66      | C.8  | 66                        | 120 (± 15 %) – 26,4   | 24,0   | 26,0      | 29,5      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 161/25 – 22,5    | C.9  | 22,5                      | 161 – 26,4 (± 15 %)   | 15,5   | 16,0      | 16,5      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 161/25 – 47      | C.10 | 47                        | 161(± 15 %) – 26,4  | 19,5   | 18,5      | 18,2      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 230/25 – 47      | C.11 | 47                        | 230 (± 15 %) – 26,4   | 19,5   | 18,5      | 18,2      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 230/25 – 66      | C.12 | 66                        | 230 (+ 10,5 % - 17,5 %) – 26,4  | 23,5   | 25,0      | 27,5      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 230/120 – 400    | C.13 | 400                       | 230 – 120 (± 10 %) – 12,5   | 9,5  | 10,0      | 11,0      | 50                                      | 33                        |
| TP 315/25 – 66      | C.14 | 66                        | 315 (+ 10,2 % - 17 %) – 26,4  | 24,0   | 26,0      | 29,0      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 315/25 – 140     | C.15 | 140                       | 315 (+ 10,2 % - 17 %) – 26,4  | 25,0   | 29,0      | 36,0      | s/o                                     | s/o                       |
| TP 315/120 – 450    | C.16 | 450                       | 315 – 120 (+ 12,5 % - 7,5 %) – 12,5   | 18,5   | 19,0      | 20,0      | 64                                      | 35                        |
| TP 735/230 – 370    | C.17 | 370                       | $735/\sqrt{3} - 230/\sqrt{3} (\pm 10 \%) - 12,5$                              | 20,0   | 20,0      | 20,0      | 50                                      | 28                        |
| TP 735/315 – 550    | C.18 | 550                       | $735/\sqrt{3} - 315/\sqrt{3} - 12,5$  | s/o  | 20,0      | s/o       | 50                                      | 28                        |
| TP 315-25 - 100     | C.19 | 100                       | 315 (+10,2 – 17 %) – 26,4   | 25   | 29        | 36        | s/o                                     | s/o                       |
| TP 69/12 - 22,5     | C.20 | 22,5                      | 69 – 13,2 (± 15 %)  | 12,0   | 11,5      | 11,0      | s/o                                     | s/o                       |

a Les parenthèses indiquent l'emplacement de la régulation. Le changeur de prises en charge doit être positionné sur l'enroulement où la régulation est spécifiée.  
 b La tension nominale du tertiaire sorti est de 12,5 kV. Lorsque le tertiaire n'est pas sorti, la tension nominale et l'impédance sont laissées au choix du fabricant.  
 c Les impédances sont spécifiées sur la base de la puissance maximale et selon les rapports des tensions nominales à vide.  
 d Les tolérances des impédances sont de 5 % pour toutes les positions de prises.

### 4.3.5 Puissance nominale et échauffement des appareils

#### 4.3.5.1 Enroulements principaux

Les transformateurs et autotransformateurs abaisseurs, tels que définis au Tableau P1.1 ou dans les spécifications techniques particulières, doivent fournir la puissance nominale secondaire à la tension nominale d'exploitation secondaire (BT) avec une élévation de température moyenne de chaque enroulement ne dépassant pas 65 °C et une élévation de température du point chaud de chaque enroulement ne dépassant pas 80 °C.

Les transformateurs et autotransformateurs élévateurs (centrale, compensation), tels que définis dans les spécifications techniques particulières, doivent fournir la puissance nominale secondaire à la tension nominale d'exploitation secondaire (HT) avec une élévation de température moyenne de chaque enroulement ne dépassant pas 65 °C et une élévation de température du point chaud de chaque enroulement ne dépassant pas 80 °C.

#### 4.3.5.2 Enroulement tertiaire

Lorsqu'il est prévu d'appliquer une charge sur le tertiaire, la puissance que doit fournir le tertiaire est spécifiée par Hydro-Québec. L'enroulement tertiaire doit néanmoins être conçu pour supporter les efforts électrodynamiques de court-circuit survenant aussi bien au primaire qu'au secondaire. Sa puissance nominale ne doit pas être inférieure à 10 % de la puissance nominale des enroulements principaux (10 % de la puissance équivalente dans le cas d'un autotransformateur).

La spécification technique particulière doit indiquer si seulement une traversée du tertiaire est montée et les deux autres sont enfouies dans la cuve ou encore si les trois traversées du tertiaire sont montées. Selon le cas, suivre les prescriptions suivantes :

1. Dans le cas où une seule traversée du tertiaire est montée et les deux autres sont enfouies dans la cuve, cette traversée montée doit être mise à la terre.
2. Dans le cas où les trois traversées sont montées :
  - a. Une boîte de connexion du tertiaire est requise.
  - b. S'il y a une charge au tertiaire, Hydro-Québec doit indiquer la puissance nominale demandée.

#### 4.3.5.3 Huile

L'échauffement de l'huile au sommet ne doit pas excéder 60 °C.

### 4.3.6 Particularités applicables aux inductances shunt

La tolérance sur l'impédance mesurée à 105 % de la tension nominale par rapport à l'impédance mesurée à la tension nominale est de  $\pm 1$  %.

La tolérance sur l'impédance mesurée entre 105 % et à 150 % de la tension nominale par rapport à l'impédance mesurée à la tension nominale est de  $\pm 5$  %.

La tolérance admissible sur la puissance nominale est de  $\pm 2,5$  %. De plus, pour un groupe d'inductances d'une même commande, la variation de la puissance nominale des différentes inductances doit être inférieure à 0,5 %.

#### 4.3.7 Rapport de transformation minimal des autotransformateurs

Afin de limiter les surtensions aux bornes de l'enroulement série à 2,5 p.u. lors d'un court-circuit au secondaire (enroulement commun), le rapport de transformation d'un autotransformateur doit être supérieur à 1,66 à toutes les prises (équivalent à un  $\alpha$  minimal de 0,4 selon la norme IEC 60076-8).

Toute dérogation à ce critère doit être approuvée par Hydro-Québec. Dans le cas où une telle conception serait acceptée, le fabricant devra démontrer par un essai la capacité de supporter la totalité de la tension sur l'enroulement série, en cas de court-circuit de l'enroulement commun.

#### 4.4 Caractéristiques physiques normalisées (appareils homologués avec « gel de conception »)

Pour les appareils aux caractéristiques électriques normalisées (réf. Tableaux P1.1 et P1.2) à usage plus commun, on définit des caractéristiques physiques normalisées, lesquelles sont résumées au Tableau P1.10 et détaillées à l'annexe E.

**Tableau P1.10 : Dimensions, volume d'huile et poids maximum**

| Identification                | Dimensions hors tout (mm) |         |         | Dimensions des parties contenant de l'huile (mm) |         |         | Dimensions de la base (mm) |         | V huile (l)<br>à 25 °C | Poids max.<br>(kg) |
|-------------------------------|---------------------------|---------|---------|--|---------|---------|----------------------------|---------|------------------------|--------------------|
|                               | Longueur                  | Largeur | Hauteur | Longueur   | Largeur | Hauteur | Longueur                   | Largeur |                        |                    |
| <b>TP 120/25-47 (C.7)</b>     | 7 075                     | 5 250   | 5 520   | 6 750  | 5 121   | 5 520   | 4 780                      | 2 500   | 27 500                 | 83 000             |
| <b>TP 230/25-66 (C.12)</b>    | 9 646                     | 5 900   | 6 896   | 9 646  | 5 100   | 5 815   | 6 000                      | 2 600   | 50 000                 | 127 000            |
| <b>TP 230/120-400 (C.13)</b>  | 11 400                    | 9 550   | 8 500   | 11 400   | 9 550   | 8 000   | 10 000                     | 3 750   | 94 500                 | 255 000            |
| <b>TP 315/25-66 (C.14)</b>    | 12 070                    | 6 000   | 7 500   | 12 070   | 5 200   | 6 500   | 7 200                      | 3 200   | 62 000                 | 150 000            |
| <b>TP 315/25-140 (C.15)</b>   | 11 200                    | 6 000   | 9 000   | 11 200   | 6 000   | 7 800   | 7 000                      | 2 900   | 65 000                 | 175 000            |
| <b>TP 315/120-450 (C.16)</b>  | 13 837                    | 8 000   | 9 500   | 13 837   | 8 000   | 9 000   | 8 500                      | 3 500   | 105 000                | 350 000            |
| <b>TP 735/315-550 (C.18)</b>  | 11 600                    | 7 762   | 13 200  | 10 600   | 7 622   | 8 100   | 7 500                      | 5 500   | 100 000                | 300 000            |
| <b>IS 735-55<sup>e</sup></b>  | 10 500                    | 8 000   | 11 700  | 10 500   | 8 000   | 8 000   | 4 000                      | 2 700   | 30 000                 | 125 000            |
| <b>IS 735-110<sup>e</sup></b> | 10 500                    | 8 000   | 11 700  | 10 500   | 8 000   | 8 000   | 4 000                      | 3 500   | 35 000                 | 125 000            |

<sup>e</sup> Option possible avec un service auxiliaire 600 V.

## 5. Conception et construction

### 5.1 Traversées

#### 5.1.1 Généralités

Les traversées en usage pour les appareils traités dans cette spécification doivent être homologuées selon les critères de la norme IEC 60137. S'il s'agit de traversées de remplacement, les essais doivent être réalisés selon l'Annexe A de la SN-14.2. Les traversées doivent être sélectionnées pour supporter les surcharges spécifiées à l'article 4.2.6.

Hydro-Québec privilégie l'utilisation d'autres types d'enveloppe extérieure que la porcelaine, sauf dans un des cas suivants où l'approbation d'Hydro-Québec est requise :

- un besoin justifie l'utilisation de porcelaine pour une des raisons suivantes : dimensions, uniformité, compatibilité, etc.
- il n'existe pas d'autre alternative technique.

En cas de bris de traversée, l'étanchéité entre la cuve du transformateur et la traversée doit être maintenue.

Les caractéristiques dimensionnelles doivent satisfaire aux critères de la norme CAN/CSA-C88.1.

Dans le cas où des traversées ne rencontrent pas les dimensions prescrites par la norme CAN/CSA-C88.1, le fabricant peut faire une demande de dérogation.

L'installation des traversées montées sur le couvercle ne doit pas nécessiter l'abaissement du niveau de l'huile à un niveau qui exposerait les enroulements. Dans le cas où l'installation de la traversée requiert une intervention à l'intérieur de la cuve, les connexions doivent préférablement se faire par une ouverture d'accès sans avoir à pénétrer dans la cuve. Les niveaux d'isolement des traversées doivent être conformes aux valeurs prescrites au Tableau P1.7 ci-dessus.

La longueur de la partie isolante externe des traversées de classe de tension égale ou inférieure à 52 kV utilisées comme bornes de sorties doit être d'au moins 450 mm. Cette exigence ne s'applique pas aux traversées placées dans des barres blindées ou celles recouvertes d'une boîte d'extrémité ni aux traversées de neutre ou de tertiaire mis à la terre en permanence.

Les traversées de classe égale ou supérieure à 72,5 kV doivent être munies d'une prise de tension capacitive de type « prise de potentiel » tel que défini dans la norme IEC 60137. Une « prise de mesure » est acceptable pour toute classe de tension inférieure à 72,5 kV.

Les traversées à sec (isolation composite) dont la conception ne permet pas l'usage d'une « prise de potentiel » doivent toutefois être munies d'une « prise de mesure » pouvant supporter une tension minimale de 20 kV.

Dans les deux cas, la prise capacitive doit être isolée avec un matériau ayant de très faibles pertes diélectriques (facteur de dissipation inférieure à 0,1 %).

Afin de prévenir la possibilité d'un défaut (biphasé ou triphasé) sur les tertiaires sortis, l'isolation des cloisons, incluant les traversées, doit rencontrer la classe d'isolation suivante :

- choc de foudre : 125 kV;
- onde coupée : 137,5 kV.

### 5.1.2 Propriétés physiques

À l'exception des traversées à très fort courant (courant nominal de 10 kA et plus), les traversées isolées de papier imprégné d'huile doivent comporter un indicateur de niveau d'huile isolante ou un hublot dans sa partie supérieure qui doit permettre d'interpréter le niveau réel de l'huile avec une précision adéquate, quelle que soit l'inclinaison de la traversée. Dans le cas où un hublot est utilisé, celui-ci doit être constitué d'un matériel translucide qui résiste aux rayons UV en plus de protéger adéquatement l'huile des rayons UV.

Toutes les traversées doivent être de couleur identique pour un même appareil et ne doivent en aucun cas être munies d'éclateurs. Dans le cas où des traversées sont installées à l'horizontale sur un mur de cuve à l'intérieur d'un jeu de barres blindées ou boîtes d'extrémité, la couleur peut être différente. Lorsque des traversées de matériel composite sont utilisées, les couleurs pourraient différer selon le niveau de tension.

Les tiges filetées doivent être en aluminium nu ou en cuivre étamé. Ce revêtement d'étain doit être obtenu par dépôt électrolytique selon la norme ASTM B 545. L'épaisseur du dépôt électrolytique doit être selon la classe de service "C" de l'article 4 de la norme ASTM B 545. Les essais doivent être exécutés selon l'article 8 de la norme ASTM B 535. Les caractéristiques et dimensions indiquées au Tableau P1.11 doivent être respectées.

**Tableau P1.11 : Tiges filetées des traversées**

| Diamètre de la tige (pouce)  | Nombre de filets | Longueur (mm) |
|--|------------------|---------------|
| 1 ½  | 12 UNF-2A        | 115           |
| 2  | 12 UN-2A         | 115           |
| 2 ½  | 12 UN-2A         | 125           |
| 3  | 12 UN-2A         | 125           |
| 4  | 12 UN-2A         | 125           |
| <b>A</b><br>Les filets des tiges à utiliser sont définis par la norme ASME B1.1. |                  |               |



### 5.1.3 Efforts mécaniques en flexion

Les efforts de raccordement des traversées doivent résister aux contraintes suivantes :

- Un effort de 2 000 newtons appliqué perpendiculairement à l'axe de la tige filetée pour les traversées de classe 245 kV à 765 kV et celles des autres destinées au raccordement de deux conducteurs par phase;
- Un effort de 1 000 newtons appliqué perpendiculairement à l'axe de la tige filetée pour les traversées de classe 15 kV à 170 kV destinées au raccordement d'un conducteur par phase.

### 5.1.4 Traversées horizontales

Afin d'éviter les problèmes liés à l'utilisation de conservateurs auxiliaires, lorsque la conception d'un transformateur exige de disposer horizontalement les traversées basse tension (incluant le tertiaire), le fabricant devra fournir des traversées à sec approuvées par Hydro-Québec. Le cas échéant, celles-ci doivent être compatibles avec les huiles de transformateurs.

Les traversées dont la conception permet un refroidissement à l'aide de l'huile communiquant avec la cuve principale sont aussi acceptables pour des courants égaux ou supérieurs à 5 000 ampères.

## 5.2 Liquides isolants

Les transformateurs de puissance et inductances shunt doivent être conçus de façon à permettre leur mise sous tension sécuritaire à une température de -50 °C sans chauffage d'appoint.

Tous les matériaux utilisés dans la fabrication des transformateurs de puissance et inductances shunt doivent être compatibles avec les huiles isolantes (voir propriétés au Tableau P1.12 ci-après) et leurs sous-produits de décomposition.

Tous les liquides isolants contenus dans les accessoires, incluant les traversées et les changeurs de prises, doivent être conformes aux mêmes exigences.

Note : Pour les changeurs de prises (CPC) dont le compartiment est installé à l'extérieur de la cuve principale, il est difficile d'effectuer adéquatement les opérations de vide et cela affecte la qualité de séchage des composantes internes du CPC. Pour ces cas, malgré un remplissage avec de l'huile conforme aux exigences du Tableau P1.12, l'huile du CPC peut présenter des écarts aux valeurs limites exigées à la mise en service. Dans ce contexte, ces écarts sont acceptables.

Tableau P1.12 : Propriétés des huiles (à la mise en service)

| Propriétés   | Méthodes ASTM  | Exigences à la mise en service   |
|--|----------------|--|
| Rigidité électrique (60 Hz)  | D1816 (2 mm)   | $\geq 60$ kV   |
| Facteur de puissance<br>(Pertes diélectriques) à 100 °C  | D924           | $\leq 0,5$ %   |
| Indice de neutralisation   | D974 et D664   | $\leq 0,03$ mg KOH/g   |
| Tension interfaciale   | D971           | $\geq 40$ mN/m   |
| Viscosité cinématique à 40 °C<br>à 0 °C<br>à -40 °C  | D445           | $\leq 10$ mm <sup>2</sup> /s<br>$\leq 75$ mm <sup>2</sup> /s<br>$\leq 2500$ mm <sup>2</sup> /s |
| Point d'écoulement   | D97            | $\leq -46$ °C  |
| Point de trouble   | D2500          | Aucun jusqu'à -35 °C   |
| Densité à 15 °C  | D1298          | $\leq 0,906$ mg/cm <sup>3</sup>  |
| Teneur en DBPC <sup>a</sup>  | D2668          | De 3000 ppm à 4000 ppm<br>ou de 0,3% à 0,4 %   |
| Teneur en BPC  | D4059          | Non détectable <2 ppm  |
| Teneur en eau  | D1533          | $\leq 10$ ppm  |
| Couleur  | D1500          | $\leq 0,5$   |
| Point d'éclair   | D92            | $\geq 145$ °C  |
| Soufre corrosif  | D1275          | Non détectable   |
| Stabilité à l'oxydation<br>Huile inhibée (type II) DBPC<br>Durée<br>Boues, % après 164 heures<br>Ind. neutralisation, mg KOH/g | D2112<br>D2440 | $\geq 195$ minutes<br>$\leq 0,05$<br>$\leq 0,2$  |
| <p>A</p> <p>Le diterbutyl-para-cresol (DBPC) est le seul inhibiteur acceptable pour Hydro-Québec.</p>                          |                |  |

## 5.3 Noyau

### 5.3.1 Isolation du noyau

Le matériel isolant utilisé directement sur le noyau doit supporter des températures allant jusqu'à 180 °C. Le matériel isolant de type cellulose est à proscrire.

### 5.3.2 Mise à la terre du noyau et de la structure du noyau

Le raccordement du noyau à la terre doit se faire à l'extérieur de la cuve en utilisant une traversée. Le raccordement de la structure du noyau à la terre doit également se faire à l'extérieur de la cuve en utilisant une seconde traversée de même type que pour le noyau.

L'identification de ces deux traversées doit être spécifiée au moyen de plaques approuvées par Hydro-Québec apposées sur la cuve.

À l'intérieur de la cuve, les deux traversées doivent être raccordées à leur point respectif par des câbles de cuivre d'au moins 35 mm<sup>2</sup> (#2 AWG) avec un assemblage fileté qui permet le remplacement de la traversée sans devoir couper le câble.

Ces deux traversées doivent être localisées sur le couvercle du transformateur de façon à ce que leur remplacement puisse se faire sans avoir à abaisser l'huile à un niveau qui exposerait les enroulements. Ces deux traversées doivent être dissimulées dans une boîte de jonction en acier inoxydable où la liaison à la masse sera protégée.

## 5.4 Cuve principale et son couvercle

### 5.4.1 Généralités

La cuve principale doit être construite de façon à supporter les efforts inhérents à son transport, à sa mise en place sur sa fondation, aux phénomènes électriques, aux conditions de services survenant durant son exploitation (tenue à un arc interne) ou aux efforts sismiques.

La cuve principale doit être équipée d'un dispositif évacuant les surpressions tel que défini en 5.14.1 localisé sur le couvercle.

Les inductances shunt et les transformateurs de classe égale ou supérieure à 72,5 kV, dont la puissance est plus grande ou égale à 7,5 MVA, doivent être munis d'un système de refroidissement démontable et d'un réservoir d'expansion démontable. Il faut être en mesure de retirer ces éléments sans devoir abaisser le niveau d'huile de la cuve. Leur raccordement doit être de type bridé.

Pour les transformateurs monophasés, le système de refroidissement et le réservoir d'expansion doivent être installés sur des supports indépendants et reliés à la cuve principale par l'intermédiaire de tuyaux avec une portion flexible. Ces derniers doivent, tel que mentionné en 5.14.2.1, pouvoir maintenir leur étanchéité et l'intégrité physique de l'assemblage lorsqu'assujettis aux déplacements maximaux calculés dans le calcul sismique ainsi que ceux calculés dans le calcul de tenue à un arc interne.

Il est requis d'installer une section de tuyau flexible sur la tuyauterie entre la cuve principale et le réservoir d'expansion afin de prendre les vibrations et la dilatation thermique. De plus, elle pourra assumer les déplacements induits au couvercle lors d'un défaut d'arc interne.

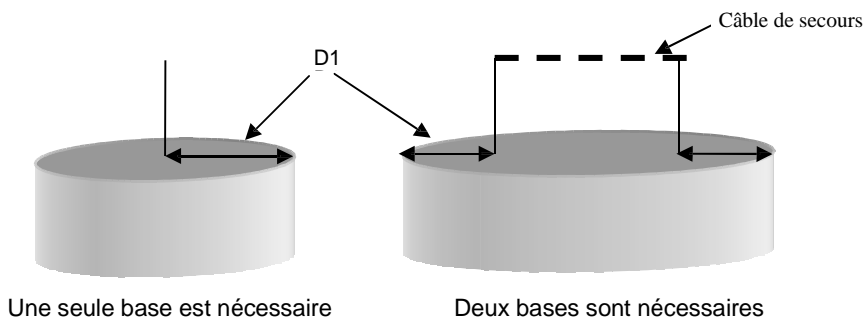
Deux supports de retenue d'échelle portative doivent être installés sur la partie supérieure de la cuve principale, sous la bride, afin d'éviter un déplacement latéral de l'échelle (échelle fournie par Hydro-Québec). La largeur entre les supports de retenue doit être de 480 mm. Un anneau doit être soudé au centre de ces deux supports à 1 m de l'assise de la cuve pour attacher l'échelle. Ces pièces doivent être peintes en jaune. Cet endroit doit être clairement indiqué sur la cuve. Les dessins, en plus d'illustrer ce dispositif, doivent aussi montrer les anneaux de levage du couvercle pouvant servir de point d'ancrage pour un système d'arrêt de chute et résister à un effort de 18 kN.

Pour les appareils dont la largeur ou la longueur est supérieure à 1,5 m, un dispositif de sécurité composé d'une (1) ou de deux (2) bases pour poteaux d'ancrage amovibles (selon la dimension du transformateur) doit être soudé sur le couvercle du transformateur. Si la hauteur de transport ne perte pas la soudure des bases, elles seront soudées au site. Chaque base pour poteau d'ancrage doit être peinte en jaune comme l'indique le dessin N400-40140-010-01.

Sur un couvercle dont tous les points du périmètre sont situés à une distance "D1" entre 1,2 et 1,9 mètre du point d'ancrage, une seule base est nécessaire (voir la Figure P1.1 ci-après).

Par contre, si certains points du périmètre excèdent 1,9 mètre à partir d'un seul point, il est nécessairement requis de positionner une deuxième base. Les deux bases doivent être disposées de telle sorte qu'aucun obstacle ne vienne obstruer l'installation d'une ligne de vie horizontale.

Pour les appareils dont la largeur ou la longueur se situe entre 1,5 et 2,4 m, un grillage antidérapant en acier galvanisé ou en aluminium de type caillebotis pressé doit être ajouté au pourtour ou sur un des côtés de la cuve de façon à ce que le dispositif de sécurité puisse être installé à une distance minimale de 1,2 m du périmètre du couvercle. De plus, un grillage antidérapant en acier galvanisé ou en aluminium type caillebotis pressé doit être ajouté du côté des parafoudres (article 5.10) de façon à rendre sécuritaire l'accès aux parafoudres. La largeur du grillage doit être d'au moins 300 mm. Les supports de parafoudres doivent tenir compte du poids d'une personne en plus des autres charges inhérentes.



Note 1 : La distance D1 doit être entre 1,2 mètre et 1,9 mètre par rapport au périmètre du couvercle.

Note 2 : Les poteaux d'ancrage amovibles et le câble de secours sont fournis par Hydro-Québec.

**Figure P1.1 : Poteaux d'ancrage amovibles et câbles de secours**

#### 5.4.2 Résistance de la cuve au vide

La cuve des appareils, le couvercle, les radiateurs, le compartiment du changeur de prises et les réservoirs d'expansion d'huile doivent pouvoir maintenir un vide, soit une pression absolue correspondant à une colonne de mercure de 0,5 mm.

De plus, les robinets, le relais de gaz et le moniteur de gaz dissous et d'humidité doivent supporter le vide.

### 5.4.3 Matériaux

La tenue mécanique à un arc interne doit être certifiée pour la cuve et ses accessoires dans l'intervalle de température de -50 °C à +100 °C. Une attention particulière doit être portée à l'utilisation de matériaux ayant des propriétés mécaniques adéquates pour résister à une surpression soudaine dans cet intervalle de température.

La partie de la cuve calculée pour l'arc interne, en contact avec de l'huile, doit être conçue avec un acier de construction ayant une résilience minimale de catégorie 3 ou 2 selon la norme CSA G40.21, soit de 27J à -30°C. Prendre note que typiquement, la classification usuelle de l'acier au Canada est 300WT et 350WT, tandis qu'en Europe, c'est S335J2 et S355J2.

Les électrodes et procédures utilisées pour les soudures sur la cuve assurant l'étanchéité doivent avoir des propriétés de résilience appropriées.

#### 5.4.3.1 Pliage à froid et à chaud

Tout pliage doit être réalisé en accord avec les meilleures pratiques de l'industrie et selon les exigences des articles suivants. Les aciers à grains fins réagissent mieux au pliage à froid et sont moins susceptibles à la fissuration. Ainsi, il est exigé de prendre les catégories 1 et plus des normes CSA ou les catégories J0 et plus des normes ISO.

##### 5.4.3.1.1 Pliage à froid

Les tôles fortes doivent être pliées perpendiculairement au sens du laminage. Le pliage à froid doit être réalisé à une température de la tôle minimale de 15 °C.

Avant pliage, l'arête d'acier doit être meulée à un rayon approprié afin d'éliminer toute amorce de fissuration.

Le pliage à froid est interdit pour les pièces dont l'épaisseur est supérieure à 25,4 mm.

Les rayons de pliage de toute pièce pliée à froid doivent suivre les spécifications du Tableau P1.12a sauf indication plus restrictive aux dessins. Tous les rayons intérieurs de pliage doivent être indiqués aux dessins de détail.

Les procédures pour la préparation des matériaux et le pliage à froid doivent être fournies à Hydro-Québec sur demande.

**Tableau P1.12a : Rayon de pliage à respecter selon l'épaisseur de la plaque d'acier**

| Épaisseur de la plaque                     | Rayon de pliage à froid minimal |           |
|--|---------------------------------|-----------|
|  | 300W / WT                       | 350W / WT |
| $T \leq 6,35 \text{ mm}$                   | 1,6 t                           | 2,5 t     |
| $6,35 \text{ mm} < t \leq 12,7 \text{ mm}$ | 2,0 t                           | 2,5 t     |
| $12,7 \text{ mm} < t \leq 25,4 \text{ mm}$ | 2,5 t                           | 4 t       |
| $25,4 \text{ mm} < t$                      | Interdit                        | Interdit  |

Si la pièce à plier ne peut pas être réalisée en respectant ces rayons, un examen par particules magnétiques selon ASTM E709 ou par liquide pénétrant selon la norme ASTM E165 doit être réalisé dans les zones de pliage afin de détecter la présence de fissures.

Alternativement, la pièce peut être pliée à chaud suivant les prescriptions de l'article suivant.

#### 5.4.3.1.2 Pliage à chaud

Le fournisseur doit s'assurer que tout pliage à chaud est réalisé de manière à garder la géométrie de la pièce intacte et ne pas affecter négativement les propriétés de l'acier. Les procédures de chauffage et de refroidissement doivent être élaborées par le fournisseur, être signées par un ingénieur et soumises à Hydro-Québec sur demande afin de pouvoir valider leur conformité avec les présentes exigences et leur application.

#### 5.4.3.1.3 Contrôle qualité

En tout temps, un représentant d'Hydro-Québec peut exiger un examen par magnétoscopie selon ASTM E709 ou par liquide pénétrant selon la norme ASTM E165 dans les zones de pliage afin de détecter la présence de fissures. Toute pièce pliée présentant des fissures est rejetée et la procédure de pliage doit être révisée.

Tous les inspecteurs du laboratoire affectés aux essais non destructifs, tels que contrôles par magnétoscopie, liquide pénétrant, ultrasons, radiographie, etc., doivent être dûment qualifiés selon la norme CAN/CGSB-48.9712 ou selon une norme équivalente approuvée par Hydro-Québec.

Une fois assemblée, avant d'aller aux essais diélectriques, la cuve doit être testée en étanchéité à une pression minimale de 35 kPa (5 psi) et une température d'huile minimale de 50 °C sur une période de 12 heures. Une inspection doit alors être réalisée afin de déceler toute fuite possible, incluant tous les joints boulonnés, les soudures sur la cuve, pliages, etc. Toute autre méthode pour tester l'étanchéité doit être approuvée par Hydro-Québec.

#### 5.4.4 Résistance à un arc interne

##### 5.4.4.1 Généralités

Les transformateurs de puissance et les inductances shunt de 72,5 kV à 765 kV doivent être construits de manière à minimiser les impacts d'un défaut diélectrique dans la cuve (arc interne). Le fabricant doit démontrer la tenue à l'arc interne de la cuve et de ses accessoires à un niveau d'énergie en kJ (kilojoule) qui dépend de la classe de tension.

Cette démonstration doit être faite soit par calcul ou par un essai de type, en se basant sur la tenue à une pression appliquée de façon continue en fonction du niveau d'énergie à contenir, de la flexibilité de la cuve et du volume d'huile dans celle-ci. Cette pression est dénotée comme étant la « pression de conception » et tient compte implicitement des effets dynamiques de la surpression créée par un arc.

L'annexe A de la partie 1 présente la détermination de la « pression de conception » et décrit la procédure de qualification requise pour la cuve principale et ses accessoires.

##### 5.4.4.2 Niveau d'énergie d'arc à contenir

Le niveau d'énergie à contenir (E) est prescrit selon la classe de tension au Tableau P1.13 ci-dessous.

**Tableau P1.13 : Niveaux d'énergie à contenir en fonction de la tension nominale**

| Classe de tension<br>(kV) | Énergie d'arc (E)<br>(kJ) |
|---------------------------|---------------------------|
| 72,5                      | 2 000                     |
| 145                       | 4 000                     |
| 170                       | 4 000                     |
| 245                       | 8 000                     |
| 330                       | 20 000                    |
| 765                       | 20 000                    |

Note : Si la tension nominale de l'appareil n'est pas indiquée dans le tableau, la classe de tension supérieure doit être utilisée; par exemple pour 120 kV on prendra l'énergie à 145 kV dans le tableau.

##### 5.4.4.3 Étanchéité et mode de rupture contrôlé

Le fabricant doit démontrer que la cuve et ses accessoires demeureront étanches sous la pression de conception; la détermination de la pression de conception est détaillée à l'annexe A. Au-delà de cette pression, la rupture de la cuve doit se faire d'abord au niveau de la soudure du couvercle pour la cuve principale. Pour les accessoires, les exigences correspondantes sont décrites à l'annexe A. Pour tenir compte de l'effet de variabilité des propriétés des matériaux, le fabricant doit démontrer que la pression de rupture de la cuve principale est au minimum de 15% supérieure à la pression de conception.

Afin de minimiser les fuites d'huile, les accessoires suivants doivent être positionnés en haut ou sur le dessus de la cuve, à moins d'une entente particulière avec Hydro-Québec :

- traversées, transformateurs de mesure;
- changeurs de prises;

- borniers de mise à la terre et de transformateurs de courant.

Le fabricant doit démontrer que lors d'une déformation de la cuve suivant un défaut d'arc interne que toutes les composantes sur la cuve en contact avec l'huile résisteront et ne causeront pas de déversement d'huile au sol.

#### **5.4.5 Vibrations et efforts sur la cuve des inductances shunt à 765 kV**

La cuve doit être conçue de façon que l'amplitude moyenne des vibrations mesurées sur la cuve ne dépasse pas 60 µm crête-crête à la tension maximale d'exploitation de l'appareil. L'amplitude maximale des vibrations mesurées en un point quelconque sur la cuve, dans les mêmes conditions, ne doit pas dépasser 200 µm crête-crête.

Hydro-Québec se réserve le droit de faire réaliser un essai de vibration pour s'assurer de la qualité de la construction de la cuve.

#### **5.4.6 Soudage**

##### **5.4.6.1 Normes de soudage utilisées pour la conception et fabrication**

Les soudures doivent être conçues, exécutées et inspectées selon la norme CSA W59, la norme AWS D1.1 ou les normes ISO 3834-2 et ISO 3834-5 avec classe de fabrication EXC-3 ou selon une entente avec Hydro-Québec.

Les dessins de fabrication doivent être signés par un ingénieur et doivent inclure les symboles de soudage selon la norme de conception applicable ainsi que les tolérances de fabrication. Les décisions relatives à la qualification, aux matériaux et aux modes opératoires de soudage doivent être prises par un ingénieur ayant une expertise en soudage.

Le fabricant devra fournir les procédures de soudage WPS (welding procedure specification), les PQR (procedure qualification record) applicables (qui supportent les WPS fournis) et les rapports d'essais s'y rattachant, sur demande.

Les procédures de soudage (WPS) doivent être qualifiées et testées pour une résilience de 27J à -30 °C dans la soudure et la zone affectée thermiquement (ZAT) pour la conception de la cuve.

##### **5.4.6.2 Certification de l'entreprise**

Les entreprises doivent être certifiées selon les exigences de la norme CSA W47.1, Division 1 ou 2, ou selon les exigences de la norme ISO 1090-2 avec classe de fabrication EXC-3, ou selon les exigences de la norme AWS D1.1.

##### **5.4.6.3 Qualification du personnel en soudage**

Le personnel en soudage doit être qualifié selon la norme CSA W47.1 ou selon l'une des autres normes acceptées par Hydro-Québec, soit AWS D1.1 ou ISO 3834-2.

Les soudeurs et les opérateurs doivent être qualifiés par un tiers indépendant qualifié, approuvé par Hydro-Québec. Ils doivent être qualifiés pour la position la plus élevée utilisée pour chaque procédé.

Le fabricant doit fournir, sur demande, la qualification du personnel en soudage et les rapports d'essais supportant leurs qualifications.



#### 5.4.6.4 Inspection visuelle

Toutes les soudures doivent être inspectées visuellement sur 100 % de leur longueur. L'inspection visuelle doit être conforme à la CSA W59, à la norme AWS D1.1 ou à la norme ISO 17637.

#### 5.4.6.5 Essais non destructifs (END)

À moins d'indication contraire dans les paragraphes ci-dessous, les critères d'acceptation des essais non destructifs sont ceux de la CSA W59 ou de l'AWS D1.1 pour les structures sous charges statiques, ou ceux de la norme ISO 5817 pour la classe B.

Hydro-Québec se réserve le droit d'effectuer des essais non destructifs additionnels sur la soudure.

Advenant le cas où des défauts sont détectés, le fabricant devra effectuer les réparations à ses frais et assumer également les frais inhérents aux essais non destructifs sur l'ensemble des soudures de l'appareil. Les essais non destructifs supplémentaires seront prescrits après analyse de la situation par le responsable technique du produit.

##### 5.4.6.5.1 Magnétoscopie et ressuage

L'examen de magnétoscopie doit être conforme à la norme ASTM E709 ou aux normes ISO 9934 et ISO 17638.

L'examen de ressuage doit être conforme à la norme ASTM E165 ou ISO 3452-1.

Toutes les soudures d'angle et toutes les soudures à pénétration partielle doivent être inspectées par ressuage ou magnétoscopie sur au minimum 20 % de leur longueur. Dans l'éventualité où un défaut est détecté, la soudure doit être inspectée par ressuage ou magnétoscopie sur 100 % de sa longueur.

Toutes les soudures internes et externes assurant l'étanchéité de l'appareil doivent être inspectées sur 100 % de leur longueur par ressuage. Pour ces soudures, aucune indication apparente n'est acceptable, aussi petite soit-elle.

##### 5.4.6.5.2 Ultrason

L'examen doit être conforme à la norme CSA W59 article 8.2, AWS D1.1 Article 6 partie F ou ISO 17640.

Toutes les soudures à pleine pénétration ou bout à bout doivent être inspectées par ultrason sur un minimum de 20 % de leur longueur. Dans l'éventualité où un défaut est détecté, la soudure doit être inspectée par ultrason sur 100 % de sa longueur.

#### 5.4.6.6 Rapport d'essai

Le fabricant doit faire et conserver un rapport écrit des résultats des essais END qui doivent être fournis à la demande d'Hydro-Québec.

#### 5.4.6.7 Qualification du personnel réalisant l'END

Le personnel réalisant l'END doit être certifié conformément à la CAN/CGSB-48.9712/ISO 9712 ou selon les exigences de la norme AWS D1.1.

La preuve de la qualification doit être présentée à Hydro-Québec sur demande.

### 5.4.7 Ancrage

Chaque appareil doit être ancré à la base de béton par boulonnage ou par soudage de capacité suffisante sur une plaque d'acier fournie par HQ pour les différents niveaux d'expositions sismiques tels que décrits dans la norme TET-APG-N-0001. Le fabricant doit spécifier la grosseur des soudures pour résister aux efforts sismiques.

### 5.4.8 Marquage

Le fabricant doit poinçonner, en chiffres de 20 mm de hauteur, l'identification de la ligne de centre de la cuve sur les deux faces transversales, et sur les deux faces longitudinales, l'identification de la ligne de centre de la traversée basse tension (phase B). Ces identifications doivent apparaître au bas de la cuve pour les appareils à fond plat ou sur le châssis pour les autres.

### 5.4.9 Joints d'étanchéité

#### 5.4.9.1 Exigences générales

Les joints soudés doivent être privilégiés sur la cuve. Des joints boulonnés avec garnitures d'étanchéité doivent être installés seulement lorsque requis. Tel qu'indiqué à l'article 5.4.11, le nombre d'ouvertures pour inspection doit être minimisé. Les garnitures d'étanchéité utilisées doivent être compatibles avec les gammes de températures auxquelles ceux-ci seront exposés ainsi qu'avec l'huile isolante de l'appareil et les peintures en contact. Le fabricant doit privilégier l'utilisation de garnitures de type « joints toriques ».

Le manuel du fabricant doit lister les informations relatives aux garnitures d'étanchéité installées sur l'appareil, notamment :

1. Type de garniture (fabricant, nomenclature);
2. Dimensions des garnitures;
3. Fiche signalétique des garnitures;
4. Emplacement sur la cuve;
5. Nombre total de chaque type installé sur la cuve.

Chaque type de garniture doit être listé dans le manuel du fabricant. Le manuel du fabricant doit également indiquer la procédure à utiliser pour le remplacement des garnitures. Cette procédure doit inclure le couple de serrage et la séquence de serrage des boulons recommandés lors de l'installation. La compression de la garniture d'étanchéité doit être limitée aux valeurs prévues par la spécification de la garniture concernée.

#### 5.4.9.2 Exigences spécifiques

Les garnitures d'étanchéité doivent respecter les exigences décrites dans le Tableau P1.14 ci-après.

Toute garniture doit être disposée dans une rainure sur l'une des deux surfaces à raccorder.

Un certificat de conformité doit être fourni précisant que les garnitures rencontrent l'ensemble des exigences du Tableau P1.14.

Le fabricant est responsable de sélectionner le matériel et la dureté (Shore A) des garnitures d'étanchéité. Par contre, le fabricant doit démontrer que le type de garniture utilisé est compatible avec le type d'huile avec lequel les garnitures seront en contact, et ce pour toutes les températures auxquelles les garnitures sont exposées, voir article 2.1.1.

**Tableau P1.14 : Exigences des garnitures d'étanchéité**

| Test   |                        | Norme                                     | Critère                         |
|--|------------------------|---|---------------------------------|
| Résistance aux fluides   | Luminol<br>VoltEsso 35 | ASTM D471<br>670 heures, 125 °C           | Variation du volume 0 à 15 %    |
| Rémanence à la compression   | Air                    | ASTM D395, méthode B<br>22 heures, 100 °C | Déformation 20 % maximum        |
|  |                        | Méthode HQ <sup>a</sup>                   | Déformation 0 à -5 %            |
| Résistance à la chaleur  | Air                    | ASTM D573<br>500 heures, 125 °C           | Duro Shore A,<br>0 à -20 points |
| <b>a</b> Méthode HQ : La garniture doit être placée entre deux brides avec un compression de 30 %, sous un vide de 0,5 torr pour une durée de 168 heures à 100 °C. |                        |   |                                 |

#### 5.4.10 Dispositifs de manutention

Quatre plaques d'appui pour vérin doivent être fixées à la cuve à une hauteur minimale de 360 mm. Pour les appareils de moins de 4 500 kg, la hauteur peut être de 150 mm.

Ces plaques d'appui doivent être construites de façon à soulever la masse totale du transformateur, incluant l'huile et tous ses accessoires. Lorsque les dimensions de l'assise (base de béton) sont précisées dans la spécification technique particulière, le centre des plaques d'appui doit être à plus de 230 mm du pourtour de celle-ci.

Tous les appareils, qu'ils soient à fond plat ou montés sur un châssis en acier profilé, doivent pouvoir être déplacés par glissement dans toutes les directions. Le fabricant doit prévoir un moyen facile d'accrochage des câbles de halage en deux points sur chaque face.

Le fabricant doit signaler sur les schémas d'expédition, les endroits prévus pour soulever les appareils au moyen d'un treuil ou d'un engin de levage.

#### 5.4.11 Ouvertures d'accès et d'inspection

Le personnel d'entretien doit pouvoir accéder ou avoir un visuel d'inspection aux enroulements de l'appareil et aux changeurs de prises au moyen d'ouvertures sur la cuve. Par contre, le nombre de ces ouvertures doit être optimisé en regard à l'arc interne et privilégier la localisation sur le couvercle et ensuite sur le côté de la cuve.

Les ouvertures doivent permettre l'inspection des différents éléments en cas d'anomalies détectées par les dispositifs de surveillance (on parle, des enroulements, sortie vers traversées, sélecteur CPC, etc). Les ouvertures d'accès doivent être suffisamment grandes (500 mm de diamètre au minimum) pour qu'on puisse s'y glisser jusqu'à l'aire de travail. Les ouvertures sur le couvercle doivent avoir un rebord d'au moins 12 mm de hauteur.

Les ouvertures ne doivent en aucun cas affaiblir la tenue mécanique et la tenue diélectrique de la cuve

principale, du couvercle et du réservoir d'expansion. Au moins une ouverture d'accès doit être localisée de chaque côté (haute tension et basse tension).

Tous les assemblages brides/couvercles conçues sur mesure par le fabricant, par exemple celles pour les ouvertures d'accès ou pour les traversées, doivent avoir une conception suffisamment rigide (épaisseur) pour assurer l'étanchéité, soit la bonne compression de la garniture sans la déformation de l'assemblage brides/couvercles en appliquant le couple de serrage adéquat. De plus, les brides doivent être de type à brides à portée surélevée « raised face » avec « joint torique ».

#### 5.4.12 Tourelle haute-tension

L'usage de tourelle haute tension de type cheminée est proscrit. Toutefois, si le fournisseur démontre qu'il n'a pas la possibilité de concevoir une cuve ayant un encombrement acceptable, la conception de la tourelle de type cheminée doit être approuvée par Hydro-Québec. Le fabricant doit notamment démontrer que sa tourelle peut résister aux efforts mécaniques causés par tout défaut interne (arc interne), de même qu'aux efforts sismiques, aussi bien dans la cuve que dans la tourelle.

De plus, une étude de champ doit démontrer que l'assemblage complet de la traversée dans sa tourelle, incluant son système d'isolation, peut résister à toutes les contraintes diélectriques qui s'appliquent avec un facteur de sécurité satisfaisant.

Pour minimiser l'impact d'un bris de tourelle, un dispositif de retenue doit être installé afin d'éviter la chute de la traversée et minimiser tout déversement d'huile. La conception du dispositif de retenue doit être approuvée par Hydro-Québec.

#### 5.4.13 Particularités des PSEM (Poste sous enveloppe métallique)

L'interface entre les caissons pressurisés au SF<sub>6</sub> du PSEM et les traversées du transformateur de puissance doit être conforme à la IEC 62271-211.

Pour ces transformateurs de puissance dédiés au PSEM, lors d'une opération de vide, le centre du couvercle de la cuve principale doit avoir une déflexion verticale maximale de 10 mm.

### 5.5 Réservoir d'expansion d'huile

#### 5.5.1 Réservoir d'expansion pour la cuve principale

Tous les transformateurs et inductances shunt doivent être munis de réservoir d'expansion (conservateur) comportant un sac (ballon) de caoutchouc ou autres matériaux imperméables à l'oxygène et compatible avec l'huile minérale pour éviter le contact direct de l'air avec l'huile du transformateur. Une défaillance du sac ne doit pas altérer le fonctionnement de l'indicateur de niveau d'huile du réservoir d'expansion de la cuve principale.

Le réservoir d'expansion doit être capable de maintenir les niveaux d'huile nécessaires au fonctionnement des appareils aux conditions extrêmes de température et de surcharge prescrites, voir les sections 2.1.1 et 4.2.6.

Ce réservoir d'expansion doit avoir la capacité de contenir 12 % du contenu d'huile de la cuve principale et du contenu d'huile du système de refroidissement (référence CSA C88-M90, article 15.1.2.2).

Le réservoir d'expansion doit être localisé sur le côté adjacent à l'axe formé par des traversées H1 X1. Il doit être installé de façon à assurer une pente de 1 % permettant la vidange complète par gravité.

Le réservoir d'expansion de la cuve principale doit être fabriqué avec une forme géométrique ne favorisant pas l'accumulation de glace. La forme cylindrique est ainsi privilégiée.

Un trou d'accès de 500 mm doit être prévu à l'extrémité la plus basse du conservateur.

Le tuyau provenant de la cuve principale vers le réservoir d'expansion de la cuve principale doit dépasser à l'intérieur de celui-ci pour éviter qu'une éventuelle accumulation d'eau ou de débris dans le réservoir d'expansion ne se rende pas dans la cuve principale.

Les transformateurs dits « hermétiques » ne sont pas admis à Hydro-Québec. Toutefois, dans certains cas, comme des transformateurs de faible puissance, le fabricant peut construire la cuve sans utiliser un réservoir d'expansion. Dans ce cas, le transformateur doit pouvoir respirer à travers un dessiccateur d'air (réf. article 5.14.6). Un robinet à tournant sphérique doit être placé entre le dessiccateur et la cuve afin de permettre le transport sans retirer l'huile.

Pour les transformateurs triphasés avec une tension primaire HT à 315 kV, une des extrémités du réservoir d'expansion d'huile de la cuve principale doit être alignée sur l'axe formé par le centre des traversées H1, H2 et H3, voir la figure P1.2.C.15 à l'annexe E.

### 5.5.2 Réservoir d'expansion pour le CPC si requis

Si un réservoir d'expansion d'huile est requis pour le CPC, le volume de celui-ci doit être à 12 % du volume d'huile du CPC. Le réservoir d'expansion d'huile du CPC doit être distinct du réservoir d'expansion d'huile de la cuve principale. Il doit être installé de façon à ce que l'élévation du niveau d'huile du réservoir d'expansion du CPC soit à une hauteur inférieure au niveau d'huile du réservoir d'expansion de la cuve principale.

## 5.6 Enroulements

### 5.6.1 Généralités

Les enroulements doivent être bobinés avec des conducteurs en cuivre.

Les papiers utilisés sur les conducteurs des enroulements dans la construction des transformateurs doivent être stabilisés thermiquement. Pour ce faire, le contenu en azote (N<sub>2</sub>) du papier doit être supérieur à 1,3 %. Tel que défini par la norme ANSI/IEEE C57.100, le papier est considéré thermiquement stabilisé lorsqu'il conserve 50 % de sa limite élastique après 65 000 heures dans un tube scellé à 110 °C. Le type et la marque de papier doivent être clairement identifiés dans le questionnaire technique.

Pour les transformateurs de puissance destinés aux centrales, l'isolation solide directement en contact avec les conducteurs, lorsque requis, doit être de type Nomex ou de classe de température équivalente.

Pour tous les transformateurs et inductances shunt, les connexions des sorties d'enroulement, dont la tension est égale ou supérieure à 69 kV, doivent être recouvertes uniquement avec une isolation de type Nomex ou de caractéristiques thermiques équivalentes, et ce au moins sur la section entre les sorties d'enroulement et le premier support du harnais.

Dans la fabrication des enroulements de transformateurs de puissance, les câbles transposés en continu (CTC : Continuously Transposed Conductors) sont souvent utilisés. Pour ces câbles, le revêtement extérieur, procurant l'isolation entre conducteurs, peut être assuré par du papier ou par différents types d'email.

Dans le cas où le revêtement extérieur est constitué d'email seulement, les conducteurs doivent être de type « netting tape » de classe 155 °C ou supérieure et l'email servant à l'isolation des brins dans le conducteur doit être de classe 120 °C ou supérieure.

Lorsque deux enroulements basse tension doivent être sortis, la construction « axial-split » n'est pas acceptée.

### 5.6.2 Court-circuit entre brins

L'isolation entre les différents brins des conducteurs utilisés dans les enroulements doit être vérifiée de la façon suivante :

- après le pressage : essais d'isolation par contact momentané entre brins avec une tension d'au moins 125 V c.c..

Aucun court-circuit entre brins n'est acceptable. Lorsqu'un court-circuit est détecté, celui-ci doit être signalé à Hydro-Québec afin de convenir des actions à prendre sur l'enroulement défectueux.

### 5.6.3 Borne neutre des enroulements

Le point neutre des enroulements en étoile doit aboutir à une traversée et ne doit pas être raccordé à la masse à l'intérieur de la cuve.

### 5.6.4 Enroulement de stabilisation

Pour les transformateurs ou autotransformateurs triphasés à couplage Y-Y qui doivent utiliser un enroulement de stabilisation raccordé en delta, on doit raccorder l'extrémité d'un des enroulements à une traversée de façon à faire le raccordement de mise à la terre à l'extérieur de la cuve.

Pour les unités monophasées, chaque extrémité de l'enroulement de stabilisation doit être raccordée à une traversée de façon à faire les raccordements à l'extérieur de la cuve. De plus, une mise à la terre permanente doit pouvoir être appliquée sur une des extrémités de l'enroulement de stabilisation de chacun des transformateurs d'une banque triphasée pour un fonctionnement en delta ouvert.

### 5.6.5 Varistances

L'usage de varistances placées aux bornes d'enroulement ou de parties d'enroulement doit être évité. Toutefois, si le fabricant démontre qu'il ne peut faire autrement, il doit faire approuver la conception par Hydro-Québec.

### 5.6.6 Sonde de température à fibres optiques

Pour les transformateurs de puissance soumis à l'essai d'échauffement (essai de type) ayant une puissance nominale supérieure à 10 MVA (puissance équivalente triphasée), jusqu'à huit sondes de température à fibre optique doivent être installées. Typiquement, deux sondes doivent être installées sur chacun des enroulements primaire et secondaire sauf sur les jambes extérieures des transformateurs triphasés où une seule sonde est requise par enroulement. Le nombre et la position des sondes à fibres optiques dans les enroulements doivent faire l'objet d'une entente lors de la revue de conception.

## 5.7 Changeur de prises

### 5.7.1 Caractéristiques générales

Les transformateurs ou autotransformateurs, prescrits avec régulation automatique, doivent être munis d'un changeur de prises en charge (CPC). Le changeur de prise doit pouvoir effectuer au minimum 300 000 opérations sans besoin de maintenance.

Le courant nominal de ces appareils doit être conforme au paragraphe 4.3.5.1 de la présente spécification technique normalisée, quelle que soit la position du CPC. Un ou deux transformateurs de courant supplémentaires doivent être réservés exclusivement à la régulation selon que l'enroulement est en étoile (phase X1) ou en delta (phases X1 et X3).

Le CPC doit satisfaire aux exigences de la norme IEC 60214.

Le CPC doit être équipé d'un moteur d'entraînement triphasé à 208 V c.a., 60 Hz ou d'un moteur d'entraînement monophasé 120 V c.a., 60 Hz.

À moins d'indications contraires ou de contraintes particulières, le CPC doit être positionné sur l'extrémité neutre de l'enroulement Y et doit comporter 17 prises et 16 échelons égaux répartis de part et d'autre de la prise centrale.

Au fur et à mesure que le numéro de prise augmente (1 → 17), le rapport de transformation diminue entre le primaire et le secondaire.

### 5.7.2 Conditions de service

Le CPC doit être opérationnel par l'automatisme de régulation de tension (ART) en mode distance sans baisse de performance jusqu'à une température d'huile de CPC au moins aussi basse que :

- - 25 °C pour un CPC dont le compartiment est installé à l'intérieur de la cuve principale;
- - 40 °C pour un CPC dont le compartiment est installé à l'extérieur de la cuve principale.

En dessous de ces températures d'huile du CPC, celui-ci doit être bloqué afin d'empêcher son opération par l'ART. Dans ce cas, un contact d'alarme doit être activé.

Aussi, en dessous de ces températures d'huile du CPC, et ce jusqu'à -50 °C, les opérations du CPC sont permises de façon manuelle et seulement quand le transformateur de puissance est mis hors tension. L'opération manuelle doit pouvoir se faire :

- en mode local à l'armoire de commande du transformateur ou;
- en mode distance, au bâtiment de commande sans que l'ART soit en fonction.

L'utilisation d'élément chauffant n'est pas permise dans le compartiment du CPC.

Lorsque des boîtiers de transfert sont utilisés pour transmettre la rotation des arbres de transmission provenant de l'armoire de commande, ceux-ci doivent être lubrifiés avec de l'huile (SAE ou équivalent) ou de la graisse (Molykote 3451 de Dow Corning ou équivalent). Les scellements de roulement doivent être choisis en conséquence du type de lubrifiant choisi. Cette combinaison de lubrifiant et de scellement doit être soumise à Hydro-Québec pour approbation.

### 5.7.3 Caractéristiques du compartiment de commutation

Le commutateur du CPC doit être localisé dans un compartiment étanche pour éviter la contamination de l'huile dans la cuve principale. L'étanchéité du compartiment du CPC doit être vérifiée par la résistance au vide prescrite au paragraphe 5.4.2 de la présente spécification technique normalisée.

La sonde de température doit être à l'intérieur d'un puit de sonde soumis pour approbation par Hydro-Québec.

Le compartiment doit être équipé d'un dispositif évacuant les surpressions, tel que défini en 5.14.1, muni d'un déflecteur permettant de diriger les gaz et l'huile vers le sol dans une direction qui ne risque pas d'éclabousser les travailleurs.

Les compartiments de commutation autant le CPC monté sur un des murs extérieurs de la cuve principale ou installé (suspendu) sous le couvercle doivent être équipés d'une tuyauterie pour la vidange/remplissage se terminant par une valve et bouchon et accessible à partir du sol. Lors de l'échantillonnage de l'huile du compartiment, le volume d'huile à purger avant d'échantillonner l'huile/gaz du compartiment doit être réduit au minimum. Pour ce faire, on suggère de mettre en parallèle au tuyau de remplissage, une tubulure pour l'échantillonnage d'huile. La tubulure d'échantillonnage doit être en acier inoxydable de type

Swagelok ou Parker à bagues compressées de 1/4 po se terminant par un appareil d'évacuation de gaz accessible à partir du sol. Le tout doit être approuvé par Hydro-Québec.

Compte tenu que l'échantillonnage d'huile se fait lorsque que le transformateur est en exploitation, ce robinet d'échantillonnage d'huile doit être facilement accessible, identifié « Robinet d'échantillonnage d'huile du compartiment de commutation » et installé à plus de 1,5 mètre du déflecteur du dispositif évacuant les surpressions.

Lorsque le CPC est monté sur un des murs extérieurs de la cuve principale, une porte montée sur charnière ou boulonnée doit permettre l'accès aux contacts du CPC. Si la porte est boulonnée, des dispositifs doivent la soutenir, une fois les boulons retirés.

Lorsque le CPC est installé (suspendu) sous le couvercle, il doit être possible de retirer le cylindre (commutateur de prises) sans interférences avec la tuyauterie, les conduits électriques ou d'autres accessoires, etc.

#### **5.7.4 Changeur de prises à vide (hors tension)**

Généralement, les changeurs de prises à vide (CPV) ne sont pas requis. Dans le cas exceptionnel où un CPV serait requis, la technologie utilisée doit être approuvée par Hydro-Québec.

### **5.8 Peinture et galvanisation**

#### **5.8.1 Peinture**

La qualité, les essais, la préparation de surface, la peinture et l'apprêt doivent être en conformité avec la SN-29.3.

Le type d'apprêt doit être approuvé par Hydro-Québec. Ce dernier est de couleur blanc ou très pâle. L'intérieur de la cuve doit avoir une application d'apprêt, pas de couche de finition. Les surfaces des brides internes en contact avec l'huile, couvercles, grosse tuyauterie doivent avoir uniquement un apprêt.

La peinture de finition doit être de couleur vert foncé n° 14036 de la AMS-STD-595-A.

Le dessus de la cuve doit être traité pour obtenir un fini antidérapant selon un procédé déterminé par le fabricant, et approuvé par Hydro-Québec.

Les accessoires ainsi que les traversées, les pompes, les moteurs de ventilateurs et les boîtes de jonction peuvent conserver leur couleur d'origine.

La tuyauterie et valve en acier inoxydable ne sont pas peinturées.

#### **5.8.2 Galvanisation**

##### **5.8.2.1 Norme de galvanisation**

Toute pièce fabriquée en acier de construction galvanisée doit respecter les prescriptions de la norme ASTM A 123 / A 123 M. Le fournisseur doit prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter la fragilisation, le claquage thermique, le gauchissement ou la déformation des pièces durant la galvanisation. Il doit, entre autres, suivre la méthode décrite dans les normes ASTM A 143 et A 384.

Aucun poinçonnage, soudage ou autre travail qui peut causer des dommages au revêtement protecteur n'est permis après la galvanisation, exception faite du taraudage des trous.

La vérification de la galvanisation en épaisseur et en adhérence doit être réalisée selon les prescriptions de la norme ASTM A 123.



### 5.8.2.2 Procédure de galvanisation des radiateurs

La surface extérieure en acier des radiateurs ou aéroréfrigérants (s'il y a lieu) doit être recouverte d'une galvanisation à chaud d'une épaisseur minimale de 55 µm. Les prescriptions de la norme ASTM A 123 / A 123 M doivent être suivies. La procédure de galvanisation complète des radiateurs doit être approuvée par Hydro-Québec avant la fabrication. La méthode d'inspection et les résultats des mesures d'épaisseurs doivent être fournis.

La procédure de la finition de surface interne des radiateurs et les moyens utilisés pour assurer l'étanchéité doivent être approuvés par Hydro-Québec. La vérification de la galvanisation (essais non destructifs) en épaisseur et en adhérence doit être réalisée selon les prescriptions de la norme ASTM A 123.

## 5.9 Bornes

### 5.9.1 Généralités

Les appareils doivent être munis de bornes permettant le raccordement au jeu de barres et au réseau de mise à la terre. Les caractéristiques des bornes ne doivent pas diminuer l'endurance électrique et mécanique des appareils.

### 5.9.2 Raccords pour conducteurs souples

Les raccords sont fournis par Hydro-Québec pour tous les appareils. Sur demande, Hydro-Québec fournira au fabricant pour la réalisation des essais électriques selon les exigences du paragraphe 4.2.4 et au tableau P1.11 de la présente spécification.

### 5.9.3 Jeux de barres blindées

Lorsque les appareils sont requis pour raccordement à un jeu de barres blindées, la borne de raccordement doit être constituée de quatre plages disposées à 90° comportant un minimum de six trous de 14,5 mm de diamètre, espacés de 45 mm, et le dispositif de fixation de la gaine doit être une collerette à seize boulons fixés sur la cuve. Toutes autres dimensions doivent être approuvées par Hydro-Québec.

### 5.9.4 Bornes de mise à la terre

La cuve des appareils doit être munie de deux bornes de mise à la terre localisées sur des faces diamétralement opposées. Ces bornes de terre doivent être en acier galvanisé et elles doivent être disposées sur la partie inférieure de la cuve (voir les dessins normalisés à l'annexe D). Hydro-Québec va raccorder ces deux bornes de mise à la terre à la grille de terre du poste.

Si les radiateurs sont montés séparément, une borne de mise à la terre en acier galvanisé doit être installée sur le support des radiateurs (voir les dessins normalisés à l'annexe D). Hydro-Québec va raccorder ces deux bornes de mise à la terre à la grille de terre du poste.

Note 1 : Les compartiments des traversées tertiaires ne doivent pas être reliés à la grille de terre du poste. La mise à la terre des compartiments des traversées tertiaires doit se faire par la cuve principale et les connexions entre les deux (compartiment des traversées tertiaires et cuve principale) doivent se faire par un cordon de soudure ou encore par deux bornes de mises à la terre reliées par un conducteur d'une capacité adéquate (capacité courant de défaut).

Note 2 : Hydro-Québec demande un lien équipotentiel des pièces métalliques qui sont flottantes sur le transformateur ou l'inductance shunt (ex. tourelles et bases de traversées, radiateurs, couvercle de trou d'accès, etc.). Tous les liens équipotentiels doivent être identifiés au Plan de détail des liens équipotentiels (réf. article 9.10.1).

## 5.9.5 Bornes de raccordement des tertiaires des transformateurs et des autotransformateurs de puissance

### 5.9.5.1 Tertiaires des transformateurs monophasés

Afin de permettre l'interchangeabilité des transformateurs monophasés de postes à 735 kV, (types C.17 et C.18, selon le tableau P1.1) les traversées tertiaires seront raccordées par des jeux de câbles (incluant les têtes de câbles) fournis par Hydro-Québec. Chacune des bornes de l'enroulement tertiaire doit être raccordée aux boîtes d'extrémités à l'intérieur d'un compartiment :

- un compartiment pour Y1;
- un compartiment pour Y2.

Pour la position et les détails des compartiments Y1 et Y2, se référer à l'annexe E, aux figures P1.2.C.18, P1.3.C.18, P1.4.C.18 et P1.5.C.18.

Chaque compartiment doit être suffisamment grand pour faciliter l'entretien. Une plaque boulonnée ou une porte doit permettre l'accès sur la face avant du compartiment. Lorsqu'une plaque boulonnée est utilisée, des dispositifs doivent soutenir la plaque lorsque les boulons sont retirés. Les câbles doivent être fixés à la cuve au moyen d'attaches ou de colliers solides, au moins à tous les 600 mm.

Afin de réduire la possibilité d'un défaut biphasé entre les traversées du tertiaire d'un autotransformateur triphasé, le fabricant doit fournir des câbles de sortie (à l'intérieur de l'appareil) dont la classe d'isolation est au moins le double de la tension de sortie.

Le compartiment de la traversée Y1 comptera trois têtes de câbles : deux des trois câbles servent à la fermeture des tertiaires en triangle et l'autre câble est branché au transformateur de mise à la terre. Les neutres concentriques des câbles sont mises à la terre dans le compartiment de la traversée Y1.

Le compartiment de la traversée Y2 comptera deux têtes de câbles. À cette extrémité, les neutres concentriques des câbles sont isolés de la masse à l'aide d'un ensemble d'isolation spécialement conçu à cet effet par le fabricant de la tête de câble.

Afin de prévoir les ouvertures, les cercles de montage et les attaches des câbles, les caractéristiques des câbles à 25 kV ainsi que des têtes de câbles qui seront utilisés par Hydro-Québec sont inscrites dans la spécification technique particulière.

À l'intérieur des compartiments Y1 et Y2 de l'enroulement tertiaire, le fabricant doit prévoir une barre de mise à la terre en cuivre (75 mm minimum) localisée verticalement sur la paroi intérieure gauche allant rejoindre une barre horizontale localisée dans le haut de la cuve en dessous des extrémités de câbles et ce, afin de permettre la mise à la terre des neutres concentriques des câbles isolés. Cette barre de cuivre doit être isolée de la boîte tertiaire. Cette barre de mise à la terre a pour fonction de mettre à la terre les neutres concentriques des extrémités des câbles isolés ou de mettre à la terre la traversée Y1 ou Y2 lorsque le tertiaire n'est pas utilisé.

La barre de mise à la terre en cuivre localisée verticalement doit être munie dans le bas, d'une plage de raccordement NEMA-2 (pour raccordement par HQ).

### 5.9.5.2 Tertiaires des transformateurs triphasés

Pour les enroulements tertiaires des transformateurs triphasés (types C.13 et C.16, selon le tableau P1.1) les traversées tertiaires Y1, Y2 et Y3 doivent être accessibles.

Pour la position et les détails du compartiment des traversées tertiaires Y1, Y2 et Y3, se référer aux figures P1.2.C.16, P1.3.C.16 et P1.4.C.16 à l'annexe E.

Les traversées tertiaires doivent être à une hauteur de 4,4 mètres de l'assise. La traversée centrale sur

la ligne médiane, les deux autres phases distancées de part et d'autre de 600 mm de la traversée centrale.

Afin de réduire la possibilité d'un défaut biphasé entre les traversées du tertiaire d'un transformateur triphasé, le fabricant doit fournir :

- un compartiment tertiaire avec des cloisons métalliques en acier placées entre les phases de la cuve de l'appareil. Ces cloisons métalliques doivent séparer les câbles isolés jusqu'au bas des jupettes des extrémités de câbles;
- des câbles de sortie (à l'intérieur du transformateur) dont la classe d'isolation est au moins le double de la tension de sortie.

Le compartiment des traversées de l'enroulement tertiaire doit être suffisamment grand pour faciliter l'entretien. Une plaque boulonnée ou une sorte de porte doit permettre l'accès sur la face avant du compartiment. Lorsqu'une plaque boulonnée est utilisée, des dispositifs doivent soutenir la plaque lorsque les boulons sont retirés. Si l'enroulement tertiaire est branché à un transformateur de mise à la terre (avec ou sans services auxiliaires), alors les câbles à 25 kV doivent être fixés à la cuve au moyen d'attaches ou de colliers solides, au moins à tous les 600 mm.

À l'intérieur du compartiment des traversées de l'enroulement tertiaire, le fabricant doit prévoir une barre de mise à la terre en cuivre (75 mm minimum) localisée verticalement sur la paroi intérieure gauche allant rejoindre une barre horizontale localisée dans le haut de la cuve en dessous des extrémités de câbles et ce, afin de permettre la mise à la terre des neutres concentriques des câbles isolés. Cette barre de cuivre doit être isolée de la boîte tertiaire. Cette barre de mise à la terre a pour fonction de mettre à la terre les neutres concentriques des câbles isolés ou de mettre à la terre la traversée Y1 lorsque le tertiaire n'est pas utilisé.

La barre de mise à la terre en cuivre localisée verticalement doit être munie dans le bas, d'une plage de raccordement NEMA-2 (pour raccordement par HQ).

## 5.10 Parafoudres

La fourniture des parafoudres (facultative), est spécifiée lors de la commande. Cependant, pour les niveaux de tension de 161 kV et moins avec des conducteurs isolés à l'air, des supports de parafoudres doivent être installés sur le transformateur par le fabricant. Pour les tensions de 49 kV et moins, le dispositif de support du parafoudre doit être prolongé pour supporter les isolateurs des jeux de barres se raccordant au transformateur de puissance.

Les supports de parafoudres devront être conçus pour résister aux conditions de services telles que définies à l'article 2.1 de la présente norme. Lorsqu'un grillage est présent au niveau des supports de parafoudre, ceux-ci doivent tenir compte du poids d'une personne en plus des autres charges inhérentes (réf. à l'article 5.4.1). Les dispositifs de fixation des parafoudres et des isolateurs ainsi que leur localisation doivent être approuvés par Hydro-Québec.

Lorsque la fourniture de parafoudre est requise, le transformateur doit être muni de parafoudres homologués pour les niveaux de tension suivants :

- Coté basse tension : 13,2 kV, 26,4kV et 120 kV.
- Coté haute tension : 69 kV et 120 kV.

## 5.11 Boulonnerie et dispositifs de fixation sur la cuve

Le câblage, les conduits et le conducteur de mise à la terre doivent être solidement fixés sur la cuve.

Les dispositifs de fixation doivent être robustes, en quantité suffisante, et maintenus par des vis et des écrous en acier galvanisé ou inoxydable à l'extérieur de la cuve. Aucun dispositif autocollant n'est permis. À l'intérieur de la cuve, la visserie doit être sans placage, de plus les rondelles freins fendues (Grower) sont interdites.

Lorsque des dispositifs de fixation en métal sont utilisés sur les conducteurs électriques, une protection doit être installée pour éviter d'endommager le recouvrement des câbles.

La visserie utilisée pour fixer les traversées, couvercles de trou d'accès, radiateurs, brides de tuyauterie et la structure doit être selon une norme reconnue, exemples : SAE J429, ASTM F3125, ASTM F593, ISO 3506, etc. avec le grade requis pour tenir les efforts sismiques et d'arc interne entre autres. Les couples de serrages associés à chaque type de boulons (diamètre, matériaux, grade, etc.) doivent être fournis.

À moins d'indication contraire dans les spécifications d'Hydro-Québec, toute la visserie doit être conforme à la dernière édition des normes Industrial Fasteners Institute (IFI), pour le genre et la qualité spécifiés par le fabricant ou à l'ISO métrique standard. Toutefois, les vis et écrous fabriqués selon ASME B1.1 sont acceptés en remplacement, si ceux-ci ne sont pas disponibles en métrique.

La galvanisation de la visserie doit respecter les prescriptions de la norme ASTM A 153. Toute la visserie en acier au carbone (boulons et écrous) doit être galvanisée à chaud selon la norme ASTM A 153 pour les boulons à faible teneur en carbone ( $< 0,25\%$ ) et selon la norme ASTM F 2329 pour les boulons à plus forte teneur en carbone ( $> 0,25\%$ ) tel que SAE grade 5 ou plus.

Pour les petites pièces d'acier ou les pièces en acier très dur (HRC supérieur à 33) telles que rondelles Belleville, rondelles plates et autres, le placage mécanique conformément à la norme ASTM B 695 classe 40 minimum, type I, est autorisé.

Les boulons ayant une dureté supérieure à 33 HRC doivent faire l'objet d'une attention particulière pour éviter la fragilisation à l'hydrogène. Les précautions et procédures mentionnées dans la norme ASTM A 143 doivent être respectées, et une vérification de la fragilisation à court et à long terme doit être exécutée.

## 5.12 Système de refroidissement

### 5.12.1 Conception

L'ensemble des détails sur le système de refroidissement doit être mentionné dans le Détails du système de refroidissement (réf. article 9.10.1).

Hydro-Québec n'accepte aucune conception de radiateur ou d'aéroréfrigérant faisant appel à des pièces placées à l'intérieur de celui-ci, qui pourraient servir d'agitateur ou à forcer des turbulences. Les tubes à ailettes bimétalliques c'est-à-dire d'ailettes d'aluminium intégrales extrudées et d'un tube intérieur en acier inoxydable sont autorisés.

Chaque radiateur doit avoir dans la partie inférieure, près de l'entrée, une valve à bille 3/4 à 1 po npt avec un bouchon à une extrémité. À la partie supérieure, diagonalement opposée, il doit y avoir un évent de 3/4 à 1 po.

La surface interne des radiateurs doit être protégée contre la rouille. La méthode utilisée doit être présentée à H-Q. De plus, les moyens utilisés pour assurer l'étanchéité et la préservation lors du transport et de l'entreposage doit aussi être présentés pour approbation par Hydro-Québec.

Tous les transformateurs dont la puissance est égale ou supérieure à 7,5 MVA doivent être conçus avec des radiateurs démontables.

Des valves doivent être installées de manière à permettre de garder l'huile dans la cuve principale lors du remplacement d'un radiateur. L'accessibilité de ces valves doit être tenue en compte, l'orientation de la poignée doit être indiquée afin d'avoir le montage adéquat en chantier dans le but de faciliter les interventions de maintenance.

L'étanchéité des radiateurs doit être testée lors d'un essai de routine chez le fabricant pour vérifier la qualité de fabrication. La procédure d'essai doit être soumise à Hydro-Québec pour approbation. Le rapport d'essai doit être transmis à Hydro-Québec sur demande.

### 5.12.2 Moteurs de ventilateurs et des pompes

Tous les moteurs de ventilateurs et des pompes doivent être de classe F, monophasés et triphasés, à protection incorporée contre les surcharges et à réarmement automatique selon la norme CSA C22.2 n° 77.

Les moteurs de ventilateurs installés sur des radiateurs doivent être à l'épreuve des intempéries avec un niveau de protection minimale de l'enveloppe IP55 selon la norme IEC 60034-5. Ces moteurs doivent être équipés de roulement à billes scellé, d'une durée de vie de 100 000 heures, L10 selon la norme ABMA std 9. Toute autre configuration doit être présentée à Hydro-Québec.

Les moteurs de ventilateurs installés sur des aéroréfrigérants doivent être à l'épreuve des intempéries avec un niveau de protection minimale de l'enveloppe IP66 selon la norme IEC 60034-5. Ces moteurs doivent être équipés de roulement à billes scellé, d'une durée de vie de 500 000 heures, L50 selon la norme ABMA std 9. Toute autre configuration doit être présentée à Hydro-Québec.

L'entrée des conducteurs doit se faire par le bas des boîtes de raccordements de façon à minimiser les risques d'infiltration d'eau.

Le grillage doit être en acier galvanisé à chaud ou en acier inoxydable avec des pales en fonte d'aluminium ou en acier inoxydable. Ce grillage doit avoir des dimensions conformément aux exigences de la norme CSA Z 432.

Tous les ventilateurs doivent être installés avec l'axe du moteur en position horizontale.

L'assemblage moteur, ventilateur et grillage de protection doit être conçu pour fonctionner adéquatement aux conditions hivernales (contraintes de neige et de glace). Le fabricant doit fournir à HQ des preuves de fonctionnalité de cet assemblage.

Le nombre de démarreurs ne doit jamais être inférieur à 2 par stade de refroidissement, et le nombre de moteurs ne doit jamais être supérieur à 4 par démarreur.

## 5.13 Transformateurs de courant

### 5.13.1 Repérage des transformateurs de courant

Le repérage des bornes de raccordement au secondaire des transformateurs de courant doit se faire de la façon suivante :

a) première partie — identification de la traversée :

- H1, H2, H3, H0    phases A, B, C, neutre du primaire H.T.;
- X1, X2, X3, X0    phases; A, B, C, neutre du secondaire B.T.;
- Y1, Y2, Y3        phases A, B, C du tertiaire;

b) deuxième partie — identification du secondaire :

- X1 polarité du premier secondaire;
- X2, X3, etc. bornes suivantes du premier secondaire;
- Y1 polarité du deuxième secondaire;
- Y2, Y3, etc. bornes suivantes du deuxième secondaire.

Exemple H3X1 = polarité (borne X1) du premier secondaire du transformateur de courant installé autour de la traversée H3.

Le raccordement du secondaire des transformateurs de courant doit se faire selon l'agencement illustré sur les dessins normalisés N400-40600-025-01 et N400-40600-025-02 et la numérotation des bornes selon la norme ANSI/IEEE C57.13.

### 5.13.2 Caractéristiques des transformateurs de courant

#### 5.13.2.1 Pour les transformateurs de puissance

Tous les transformateurs de courant ayant un rapport abaissant le courant à 5 ampères doivent être construits selon la norme ANSI/IEEE C57.13.

Lorsque requis dans les installations à 735 kV, les transformateurs de courant abaissant le courant à 1 ampère doivent comporter une précision en régime transitoire et doivent posséder un noyau à mince entrefer.

Les transformateurs de courant doivent satisfaire les exigences de la classe d'isolation B prescrite par la norme IEC 61869-1 (limite d'échauffement 85 °K).

Le rapport, la précision et le nombre de transformateurs de courant par traversée doivent être conformes aux valeurs indiquées au Tableau P1.15, à moins d'indication contraire dans la spécification technique particulière.

Pour les transformateurs de puissance monophasés, il faut ajouter un transformateur de courant additionnel par enroulement (HT et BT) pour l'image thermique. Le ratio doit être sélectionné par le fabricant pour être compatible avec le moniteur de température.

Pour les transformateurs de puissance triphasés, il faut ajouter un transformateur de courant additionnel par enroulement (HT et BT) sur la phase B seulement. Le ratio doit être sélectionné par le fabricant pour être compatible avec le moniteur de température.

Tous les transformateurs de courant doivent être à rapports multiples, offrant plusieurs rapports de transformation à l'aide de prises, comme l'indique le Tableau P1.16. Aussi, la nomenclature des bornes indiquée dans ce tableau doit être respectée.

**Tableau P1.15 : Transformateurs de courant requis par traversée**

| Identification      | Type | Haute tension |         |                   | Basse tension |                  |                                  | Neutre |         |                     | Tertiaire |                     |                   |
|---------------------|------|---------------|---------|-------------------|---------------|------------------|----------------------------------|--------|---------|---------------------|-----------|---------------------|-------------------|
|                     |      | Qté           | Rapport | Précision         | Qté           | Rapport          | Précision                        | Qté    | Rapport | Précision           | Qté       | Rapport             | Précision         |
| TP 69/12 – 15       | C.1  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 1200:5           | C400                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP 69/12 – 22,5     | C.20 | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 1200:5           | C400                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP 69/25 – 22,5     | C.2  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 1200:5           | C400                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP 120/25 – 22,5    | C.3  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 1200:5           | C400                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP1 120/25/12 – 47  | C.4  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 2000:5           | C800                             | 1      | 600:5   | C400                |           |                     |                   |
|                     |      |               |         |                   | 2             | 3000:5           | C800                             |        |         |                     |           |                     |                   |
| TP2 120/25(12) – 47 | C.5  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 3000:5           | C800                             | 1      | 600:5   | C400                |           |                     |                   |
| TP 120/12 – 47      | C.6  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 3000:5           | C800                             | 1      | 600:5   | C400                |           |                     |                   |
| TP-120/25 – 47      | C.7  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 2000:5           | C800                             | 1      | 600:5   | C400                |           |                     |                   |
| TP-120/25 – 66      | C.8  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 3000:5           | C800                             | 1      | 600:5   | C400                |           |                     |                   |
| TP-161/25 – 22,5    | C.9  | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 1200:5           | C400                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP-161/25 – 47      | C.10 | 2             | 600:5   | C400              | 2             | 2000:5           | C800                             | 1      | 600:5   | C400                |           |                     |                   |
| TP-230/25 – 47      | C.11 | 2             | 1200:5  | C400              | 2             | 2000:5           | C800                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP-230/25 – 66      | C.12 | 2             | 1200:5  | C400              | 2             | 2000:5           | C800                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP-230/120 – 400    | C.13 | 3             | 3000:5  | C800              | 2             | 3000:5           | C800                             | 1      | 3000:5  | C800                | 1         | 2000:5 <sup>a</sup> | C400              |
|                     |      |               |         |                   |               |                  |                                  |        |         |                     | 1         | 8000:5 <sup>b</sup> | C1600             |
| TP-315/25 – 66      | C.14 | 2             | 1200:5  | C400              | 2             | 2000:5           | C800                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP-315/25 – 100     | C.19 | 2             | 3000:5  | C400              | 2             | 4000:5           | C800                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP-315/25 – 140     | C.15 | 2             | 3000:5  | C400              | 2             | 4000:5           | C800                             | 1      | 1200:5  | C400                |           |                     |                   |
| TP-315/120 – 450    | C.16 | 2             | 4000:5  | C800              | 2             | 4000:5           | C800                             | 1      | 4000:5  | C800                | 1         | 2000:5 <sup>a</sup> | C400              |
|                     |      |               |         |                   |               |                  |                                  |        |         |                     | 1         | 8000:5 <sup>b</sup> | C1600             |
| TP-735/230 – 370    | C.17 | 2             | 4000:1  | 10VA<br>10 TPY 10 | 2<br>1        | 4000:1<br>4000:5 | 10VA<br>10 TPY 12,5<br>50 VA 0,5 | 2      | 4000:1  | 10VA<br>10 TPY 12,5 | 1         | 8000:5              | 400 VA<br>10 P 10 |
| TP-735/315 – 550    | C.18 | 2             | 4000:1  | 10VA<br>10 TPY 10 | 2<br>1        | 4000:1<br>4000:5 | 10VA<br>10 TPY 12,5<br>50 VA 0,5 | 2      | 4000:1  | 10VA<br>10 TPY 12,5 | 1         | 8000:5              | 400 VA<br>10 P 10 |

a Le transformateur de courant de la traversée de neutre du tertiaire.

b Le transformateur de courant à l'intérieur du delta.

Notes : - Les transformateurs de courant ayant une valeur efficace de courant secondaire de 5 A doivent avoir une précision de mesure d'au moins 0,6B1,8.  
- Les transformateurs de courant sont à rapports multiples (RM).

Tableau P1.16 : Rapports normalisés des transformateurs de courant de type traversée

| Courant nominal<br>A | Rapport | Prises<br>secondaires | Courant nominal<br>A | Rapport | Prises<br>secondaires |
|----------------------|---------|-----------------------|----------------------|---------|-----------------------|
| <b>600:5</b>         |         |                       | <b>3 000:5</b>       |         |                       |
| 50:5                 |         | X2-X3                 | 300:5                |         | X3-X4                 |
| 100:5                |         | X1-X2                 | 500:5                |         | X4-X5                 |
| 150:5                |         | X1-X3                 | 800:5                |         | X3-X5                 |
| 200:5                |         | X4-X5                 | 1 000:5              |         | X1-X2                 |
| 250:5                |         | X3-X4                 | 1 200:5              |         | X2-X3                 |
| 300:5                |         | X2-X4                 | 1 500:5              |         | X2-X4                 |
| 400:5                |         | X1-X4                 | 2 000:5              |         | X2-X5                 |
| 450:5                |         | X3-X5                 | 2 200:5              |         | X1-X3                 |
| 500:5                |         | X2-X5                 | 2 500:5              |         | X1-X4                 |
| 600:5                |         | X1-X5                 | 3 000:5              |         | X1-X5                 |
| <b>1 200:5</b>       |         |                       | <b>4 000:5</b>       |         |                       |
| 100:5                |         | X2-X3                 | 500:5                |         | X1-X2                 |
| 200:5                |         | X1-X2                 | 1 000:5              |         | X3-X4                 |
| 300:5                |         | X1-X3                 | 1 500:5              |         | X2-X3                 |
| 400:5                |         | X4-X5                 | 2 000:5              |         | X1-X3                 |
| 500:5                |         | X3-X4                 | 2 500:5              |         | X2-X4                 |
| 600:5                |         | X2-X4                 | 3 000:5              |         | X1-X4                 |
| 800:5                |         | X1-X4                 | 3 500:5              |         | X2-X5                 |
| 900:5                |         | X3-X5                 | 4 000:5              |         | X1-X5                 |
| 1 000:5              |         | X2-X5                 |                      |         |                       |
| 1 200:5              |         | X1-X5                 |                      |         |                       |
| <b>2 000:5</b>       |         |                       | <b>4 000:1</b>       |         |                       |
| 300:5                |         | X3-X4                 | 500:1                |         | X1-X2                 |
| 400:5                |         | X1-X2                 | 1 000:1              |         | X3-X4                 |
| 500:5                |         | X4-X5                 | 1 500:1              |         | X2-X3                 |
| 800:5                |         | X2-X3                 | 2 000:1              |         | X1-X3                 |
| 1 100:5              |         | X2-X4                 | 2 500:1              |         | X2-X4                 |
| 1 200:5              |         | X1-X3                 | 3 000:1              |         | X1-X4                 |
| 1 500:5              |         | X1-X4                 | 3 500:1              |         | X2-X5                 |
| 1 600:5              |         | X2-X5                 | 4 000:1              |         | X1-X5                 |
| 2 000:5              |         | X1-X5                 |                      |         |                       |



### 5.13.2.2 Pour les inductances shunt

Les inductances shunts monophasées à 735 kV, 110 Mvar et 55 Mvar doivent être munies de transformateurs de courant de type traversée tels que décrits au Tableau P1.17 ci-dessous.

**Tableau P1.17 : Transformateurs de courant pour les inductances shunt à 735 kV**

| Traversées <sup>a</sup>   | Nombre | Rapport     | Classe <sup>b, c</sup> | Usage                                |
|---|--------|-------------|------------------------|--------------------------------------|
| H1  | 1      | 2000/1000:5 | C800                   | Protection Différentielle            |
|   | 1      | 2000/1000:5 | C800                   | Protection Surintensité              |
| H0  | 1      | 4000:1 RM   | 30VA 10PR5             | Protection Différentielle            |
|   | 1      | 2000/1000:5 | C800                   | Protection Différentielle            |
|   | 1      | 600:1 RM    | 30VA 10PR30            | Détection de courant, MAIS           |
|   | 1      | 600:5 RM    | C400 – 0.6 B1.8        | Mesure<br>Détection de courant, MAIS |
| <p>A Les rapports de transformation de tous les TC doivent être selon la norme IEEE C57.13.</p> <p>b La classe R signifie avec mince entrefer (cette classe n'exige pas de réaliser l'essai de mesure en régime transitoire).</p> <p>c La classe P est utilisée pour la protection telle que définie selon IEC 60044-1.</p> |        |             |                        |                                      |

Les transformateurs de courant de la traversée H1 ne sont utilisés qu'en l'absence de disjoncteur d'inductance ou en l'absence de transformateurs de courant dans le disjoncteur d'inductance.

Pour les inductances shunt triphasées, le nombre et la description des transformateurs de courant doivent être mentionnés dans la spécification technique particulière. Voir le dessin normalisé N400-40600-039-01.

### 5.13.3 Polarité

La polarité des transformateurs de courant doit être orientée conformément au dessin normalisé N400-40600-039-01.

### 5.13.4 Essais sur les transformateurs de courant

Les transformateurs de courant avec précision TPY doivent réussir l'essai de type «Essai de vérification des performances en régime transitoire», tel que décrit dans la SN-16.1.

Pour les essais des transformateurs de courant installés dans les traversées, une constante de temps de la composante apériodique du courant de défaut en réseau de 75 ms et un temps minimal avant le début de la saturation en régime transitoire de 50 ms doivent être utilisés dans la vérification de la précision.

## 5.14 Accessoires de surveillance et autres

Les accessoires de surveillance avec affichage doivent être installés de manière à être bien visibles à partir du sol et facilement accessibles pour la lecture des informations. Le raccordement électrique des accessoires de surveillance doit se faire directement à l'armoire de commande. L'ajout de boîte de jonction ou de boîte de tirage n'est pas permis.

### 5.14.1 Dispositif évacuant les surpressions

La cuve principale et le compartiment du CPC doivent être équipés chacun de dispositif pour limiter les surpressions survenant à l'intérieur du compartiment, et ce, indépendamment du volume d'huile concerné. Ce dispositif doit être raccordé à un contact permettant l'acheminement d'un signal d'alarme.

Un conduit de déversement métallique doit être installé afin de diriger les gaz et l'huile vers le sol dans une direction qui ne risque pas d'éclabousser les travailleurs (à 1,2 m du sol) ou dans le caniveau pour les fondations de ce type.

Les dispositifs de surpression utilisés par un fournisseur doivent être approuvés par Hydro-Québec. Les disques de rupture ne sont pas permis.

### 5.14.2 Détection de surpression

#### 5.14.2.1 Relais détecteur de gaz (cuve principale)

Tous les transformateurs de classe 72,5 kV et plus et les inductances shunt doivent être munis d'un relais détecteur de gaz. La tubulure d'échantillonnage du relais de gaz doit être en acier inoxydable de type approuvé par Hydro-Québec à bagues compressées de 1/4 po se terminant par un appareil d'évacuation de gaz approuvé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés) accessible à partir du sol.

Le relais détecteur de gaz doit être d'un modèle approuvé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Le tuyau d'huile du réservoir d'expansion allant au relais de gaz doit être d'un diamètre suffisant pour faciliter la circulation d'huile à une température ambiante de -50 °C. Ils doivent être d'une épaisseur suffisante pour résister aux pressions dues aux courts-circuits (arc interne).

Deux robinets à tournant sphérique et à pleine ouverture ainsi qu'une section de tuyau flexible doivent être fournis de façon à pouvoir enlever ou remplacer le relais de gaz sans abaisser l'huile (applicable seulement si la valve anti-déversement n'est pas installée).

Le relais détecteur de gaz doit être fourni avec les options suivantes :

- contact d'alarme pour accumulation lente de gaz dans la cuve;
- contact de déclenchement suivant une accumulation subite de gaz dans la cuve.

#### 5.14.2.2 Relais de protection (CPC)

Le compartiment du CPC doit être muni d'un relais de protection par surpression ou autre dispositif tel que débitmètre autorisé par Hydro-Québec. Ce relais doit être ajusté à une pression inférieure à celle du dispositif évacuant les surpressions ou de façon à opérer plus rapidement que ce dernier. De plus, ce relais doit être ajusté à une valeur qui tient compte de la pression hydrostatique due à la hauteur du conservateur du CPC.

### 5.14.3 Détecteur, indicateur et moniteur de température

#### 5.14.3.1 Indicateurs de niveau d'huile (général)

L'indicateur de niveau d'huile, installé sur chaque compartiment distinct, doit être magnétique et lisible à partir du sol. Le hublot doit être résistant aux rayons UV et l'indicateur ne doit pas être sujet à la condensation.

Le diamètre du cadran doit être d'environ 140 mm. L'échelle doit indiquer le niveau d'huile normal pour une température de 25 °C et les niveaux maximal et minimal. Le niveau minimal est basé sur une température de l'huile de -50 °C, tandis que le niveau maximal reflète le niveau de l'huile total du conservateur.

Les indicateurs de niveau d'huile utilisés doivent être approuvés par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés).

Il est requis d'avoir trois indicateurs de niveau d'huile :

- Sur le réservoir d'expansion de la cuve principale;
- Sur le réservoir d'expansion du CPC.

##### 5.14.3.1.1 Indicateur de niveau d'huile du réservoir d'expansion de la cuve principale

Un indicateur de niveau d'huile isolante muni de deux seuils d'alarme doit être installé sur le réservoir d'expansion principal du transformateur ou de l'inductance shunt.

Le seuil d'alarme de bas niveau doit être réglé à un niveau d'huile correspondant à 15 % du volume d'huile du réservoir d'expansion. Le seuil d'alarme de haut niveau doit être réglé à 95 % du volume d'huile du réservoir d'expansion.

Un accès à l'intérieur du réservoir d'expansion doit permettre de pouvoir mesurer le niveau réel d'huile dans le réservoir d'expansion afin de valider le bon fonctionnement de l'indicateur.

Tel que stipulé à l'article 5.5.1, l'indicateur de niveau d'huile du réservoir d'expansion de la cuve principale doit être fonctionnelle malgré une défaillance du sac de caoutchouc (ballon).

##### 5.14.3.1.2 Indicateur de niveau d'huile du réservoir d'expansion du CPC

Un indicateur de niveau d'huile isolante muni de deux seuils d'alarme doit être installé sur le réservoir d'expansion du CPC. Deux contacts d'alarme doivent être fournis et réglés selon les mêmes seuils que le réservoir d'expansion d'huile de la cuve principale.

#### 5.14.3.2 Détecteur de température à résistance (RTD)

Tous les transformateurs et inductances shunt doivent être équipés d'un puit contenant un détecteur de température à résistance, communément appelé RTD, pour mesurer la température de l'huile au sommet de la cuve.

Ce détecteur doit être en platine d'une valeur de 100 ohms à 0 °C selon la norme IEC 60751 (coefficient de 0,00385/°C). Le boîtier du détecteur doit être en acier inoxydable ou en aluminium et muni de bornes de raccords montées sur isolant de composite, la porcelaine étant inacceptable. Le puit de sonde doit être en laiton afin d'éviter tout grippage au moment du desserrage.

Tous les détecteurs doivent pouvoir être enlevés sans abaisser le niveau de l'huile dans la cuve principale et doivent pouvoir être retirés du puit de sonde sans avoir à débrancher les conducteurs des borniers.

### 5.14.3.3 Indicateur de température

Tous les transformateurs de puissance et les inductances shunt de moins de 7 500 kVA doivent aussi être munis d'un indicateur de température de l'huile au sommet de la cuve « Top oil », de type conventionnel à aiguille et comportant un contact d'alarme et un contact de déclenchement.

### 5.14.3.4 Moniteur de température numérique

Les transformateurs de puissance immergés dans l'huile de 7 500 kVA et plus doivent être pourvus d'un moniteur de température numérique. Le moniteur de température numérique doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Le moniteur doit être équipé d'un modèle thermique permettant d'obtenir un ajustement propre à chacun des transformateurs. Au moyen de deux détecteurs de température à résistance, le moniteur doit pouvoir mesurer la température ambiante ainsi que la température de l'huile au sommet de la cuve, et ensuite par l'addition du niveau de courant, déterminer avec précision la température du point chaud des enroulements surveillés.

Le moniteur de température doit être équipé des éléments suivants :

- calcul de l'image thermique du point chaud d'au moins deux enroulements;
- alimentation de l'appareil de 95 V c.c. à 140 V c.c.;
- démarrage des ventilateurs et des pompes à des températures réglables;
- rotation réglable des stades de refroidissement;
- démarrage séquentiel réglable des ventilateurs ou des pompes;
- démarrage des ventilateurs ou des pompes sur une augmentation subite de courant réglable;
- démarrage anticipé des ventilateurs ou des pompes par période de température ambiante chaude réglable;
- exerciceur programmable afin de démarrer les deux stades de refroidissement pour les ventilateurs seulement;
- surveillance de la tension du circuit de déclenchement incluant une alarme;
- surveillance de l'alimentation de l'appareil et de son fonctionnement incluant une alarme;
- démarrage de tous les stades de refroidissement en cas de perte d'alimentation à 125 V c.c., de panne du moniteur ou de perte de la tension du circuit de déclenchement;
- chauffage de l'appareil permettant un démarrage à froid à -40°C;
- huit (8) relais avec contact de forme C pour contrôler les équipements de refroidissement, les signaux d'alarme ou les déclenchements;
- quatre (4) sorties analogiques isolées de 4 mA à 20 mA;
- des ports de communications;
- un relais avec contact de forme C pour indiquer la panne de système.

Les réglages de température sont indiqués au Tableau P1.18. La température de démarrage des ventilateurs doit pouvoir être ajustée et calibrée si nécessaire.

**Tableau P1.18 : Réglage du moniteur et de l'indicateur de température**

| Description  | Inductances shunt                | Transformateurs de puissance     |                           |                  |                  |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
|  | Température de l'huile au sommet | Température de l'huile au sommet | Point chaud (enroulement) |                  |                  |
|  |                                  |                                  | Centrale                  | Poste abaisseur  |                  |
|  |                                  |                                  | °C                        | 735 kV<br>°C     | Autres<br>°C     |
| Stade de refroidissement n°1   | s/o                              | s/o                              | 65                        | 65               | 65               |
| Stade de refroidissement n°2   | s/o                              | s/o                              | 75                        | 75               | 75               |
| Alarme   | 95 <sup>a</sup>                  | 95 <sup>c</sup>                  | 110 <sup>e</sup>          | 110 <sup>e</sup> | 115 <sup>e</sup> |
| Déclenchement  | 105 <sup>b</sup>                 | 105 <sup>d</sup>                 | 130 <sup>f</sup>          | 130 <sup>f</sup> | 140 <sup>f</sup> |
| <p>a Plage de réglage : 80 °C à 100 °C.</p> <p>b Plage de réglage : 95 °C à 110 °C.</p> <p>c Plage de réglage : 80 °C à 110 °C.</p> <p>d Plage de réglage : 95 °C à 120 °C.<br/>Applicable seulement aux appareils avec un mode de refroidissement OFAF.</p> <p>e Plage de réglage : 90 °C à 120 °C.</p> <p>f Plage de réglage : 95 °C à 140 °C.</p> |                                  |                                  |                           |                  |                  |

Afin de protéger adéquatement tous les transformateurs de 7 500 kVA et plus et d'uniformiser leur protection, le moniteur doit être disponible dans les deux configurations décrites au Tableau P1.19 ci-dessous.

**Tableau P1.19 : Configurations du moniteur de température**

| Configuration n°   | Description des modules                              |
|--|--|
| 1  | Température ambiante                                 |
|  | Température de l'huile au sommet de la cuve          |
|  | Mesure du courant de l'enroulement HT (point chaud)  |
|  | Mesure du courant de l'enroulement BT (point chaud)  |
| 2  | Température ambiante                                 |
|  | Température de l'huile au sommet de la cuve          |
|  | Mesure du courant de l'enroulement HT (point chaud)  |
|  | Mesure du courant de l'enroulement BT1 (point chaud) |
|  | Mesure du courant de l'enroulement BT2 (point chaud) |
| Note : D'autres configurations sont possibles pour les transformateurs spéciaux. |  |

Tous les périphériques tels que les détecteurs de température à résistance, les transformateurs de courant auxiliaires, etc. doivent être fournis avec chaque moniteur selon les besoins d'Hydro-Québec. La configuration complète de ce dernier doit être entièrement fournie par le fabricant afin de valider les résultats lors de la mise en route.

Pour le moniteur de température, l'échauffement du point chaud de chacun des enroulements au-dessus de l'huile au sommet doit être ajusté respectivement selon les résultats d'essais obtenus sur chacun des enroulements.

Pour les transformateurs triphasés, la protection thermique doit être installée sur une seule des phases, normalement sur la phase B ou à l'endroit identifié le plus critique selon la simulation numérique.

Le moniteur de température doit être localisé à l'intérieur de l'armoire de commande. Il doit être disposé à la verticale. La base du moniteur de température doit être à environ 1,5 mètre par rapport à la base de l'appareil afin de permettre une lecture ou pour accéder aux commandes de programmation à partir du sol. Une fenêtre doit être installée dans la porte extérieure pour visualiser les données.

#### 5.14.3.5 Mesure de température par fibre optique pour les têtes de séries

En plus des fonctions décrites au point 5.14.3.4, le moniteur de température des transformateurs utilisé pour les essais d'échauffement doit être équipé d'un module optique du point chaud permettant de mesurer en continu les températures des sondes à fibre optique décrites au point 5.6.6. Ce module optique du point chaud doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Ce module doit pouvoir mesurer jusqu'à 8 sondes à fibres optiques et les mesures doivent être interfacées avec le moniteur de température de façon à ce que les données puissent être acheminées par les mêmes ports de communication que les données de température décrites au tableau P1.18.

#### 5.14.4 Moniteur de gaz dissous et d'humidité

Les transformateurs de puissance de 47 MVA et plus et les inductances shunt dont la tension nominale est de 120 kV et plus doivent être équipés d'une unité de surveillance des gaz dissous et d'humidité. Le moniteur de gaz dissous et d'humidité doit être homologué ou autorisée par Hydro-Québec.

Le moniteur de gaz dissous et d'humidité doit avoir un affichage permettant d'annoncer des niveaux d'alarme atteints. En plus d'être pourvu d'un bouton de réarmement, le moniteur doit déclencher deux niveaux d'alarme configurables pour chaque signal de gaz dissous et pour un niveau d'alarme pour l'humidité.

Le moniteur de gaz dissous et d'humidité doit être installé selon les recommandations du fabricant et les consignes d'Hydro-Québec.

#### 5.14.5 Unité de surveillance des traversées et des changeurs de prises en charge

##### 5.14.5.1 Généralités

Les transformateurs de puissance 69 kV et plus équipés d'un changeur de prise en charge ainsi que les transformateurs équipés de traversées 315 kV et plus doivent être équipés d'une unité de surveillance des traversées et de changeur de prise en charge. L'unité de surveillance doit être homologuée ou autorisée par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Tous les câbles qui raccordent les capteurs à l'armoire de commande doivent être munis d'une protection mécanique et doivent donc être insérés dans un conduit flexible de 12,7 mm (1/2 pouce).

##### 5.14.5.2 Surveillance des traversées

Afin de permettre le diagnostic des traversées 315 kV et plus, un capteur de courant de fuite doit être installé à la place du bouchon de la prise capacitive. Les fonctions du capteur sont d'acheminer le courant de fuite de la traversée vers un système de mesure dans l'armoire de commande du transformateur et de limiter la tension en circuit ouvert à une valeur sécuritaire. Le système doit également être muni d'une référence temporelle de type "GPS" qui est intégré à un système d'acquisition qui convertit les signaux de courant en vecteurs.

Le capteur comporte un embout fileté qui peut se visser à la place du bouchon de la prise capacitive. Le capteur comporte une garniture d'étanchéité qui scelle l'interface entre le capteur et la bride de la traversée. Le câble peut être séparé du corps du capteur, car il est raccordé au circuit interne du capteur à l'aide de connecteurs vissés. Lorsqu'une enceinte acoustique est installée au-dessus du couvert du transformateur, une ouverture doit être prévue pour passer le câble reliant les traversées à l'armoire de commande.

#### 5.14.5.3 Surveillance des changeurs de prises en charge

Les transformateurs de puissance 69 kV et plus équipés d'un changeur de prise en charge doivent être équipés d'un système de surveillance comportant les capteurs suivants :

- Capteur de vibration piezo-électrique doit être placé le plus près possible du commutateur, doit être fixé sur le mur de cuve du changeur de prise ou de la cuve du transformateur et doit être protégé des intempéries par un boîtier ventilé;
- Pince ampèremétrique pour mesurer le courant du moteur;
- Capteur de température pour mesurer la température de l'huile dans le changeur de prise placé dans le même boîtier que le capteur de vibration piezo-électrique;
- Capteur pour mesurer la position du changeur de prise (numéro de prise).

#### 5.14.5.4 Unité d'acquisition et unité de traitement de données

L'unité d'acquisition doit être conçue de façon modulaire afin de pouvoir s'adapter aux différentes configurations suivantes :

- Surveillance d'une seule traversée;
- Surveillance de 2 traversées;
- Surveillance de 3 traversées;
- Surveillance de 2 traversées et d'un CPC;
- Surveillance de 3 traversées et d'un CPC;
- Surveillance de 6 traversées et d'un CPC;
- Surveillance d'un CPC seulement.

Une carte surveille au maximum 4 traversées et doit être adaptée au niveau de tension de la traversée.

#### 5.14.6 Dessiccateur d'air

Le fabricant doit fournir un dessiccateur d'air sur les transformateurs de puissance et les inductances shunt. Il doit être muni d'un siphon à bain d'huile, sur sa partie inférieure, pour éviter que le gel de silice soit en contact direct avec l'air extérieur, en plus de filtrer l'air aspiré. Le dessiccateur doit être accessible à partir du sol. La vitre du dessiccateur doit résister aux rayons ultra-violets, ne pas se décolorer ou devenir opaque avec le temps.

Le dessiccateur doit utiliser un mélange de gel de silice dans une proportion d'environ 95 %. Le dichlorure de cobalt ajouté au gel de silice agit comme agent indicateur. Cette substance est bleue foncée lorsque sèche. Le diamètre des cristaux de gel de silice doit être entre 3 mm et 6 mm net. Le gel de silice ne doit pas être en forme de bille.

La cartouche contenant le gel de silice doit être facilement démontable afin de permettre le remplacement du gel de silice.

Les dessiccateurs d'air utilisés par un fournisseur doivent être approuvés ou autorisés par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés).

Le réservoir d'expansion de la cuve principale et celui du CPC doivent être équipés chacun d'un dessiccateur séparé. La tubulure ainsi que les raccords entre dessiccateurs et conservateurs doivent être en acier inoxydable tels que spécifiés à l'article 5.15.2.



### 5.14.7 Valve anti-déversement

Tous les transformateurs de puissance et les inductances shunt de classe 72,5 kV et plus doivent être pourvus d'une valve anti-déversement. La valve anti-déversement doit être installée entre le relais détecteur de gaz de la cuve principale et le réservoir d'expansion de la cuve principale. La valve anti-déversement doit être homologuée ou autorisée par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés).

La valve doit être en acier inoxydable dont le siège et les garnitures sont bonnes pour l'huile minérale (WOG), du même diamètre que le tuyau reliant le réservoir d'expansion. La valve doit être construite selon ASME B16.34 à bride de classe 150, garniture de type « joint torique » avec rainure.

L'actuateur électrique de la valve doit être alimenté à 120 Vac. La valve doit pouvoir fonctionner dans les conditions de pluie, neige, glace et température citée à la section 2.1.1.

Les robinets à tournant sphérique et à pleine ouverture ainsi que des raccords doivent être fournis de façon à pouvoir enlever / remplacer le relais de gaz et la valve anti-déversement sans abaisser l'huile.

#### 5.14.7.1 Exigences pour la valve anti-déversement

Principales caractéristiques exigées pour la valve anti-déversement :

##### **Position ouverte de la valve anti-déversement (indicateur de position, vert) :**

1. L'activation d'ouverture doit se faire par une alimentation électrique;
2. Le maintien à la position ouverte doit se faire sans alimentation électrique;
3. La position ouverte doit permettre la circulation normale de l'huile (autant de la cuve principale vers le réservoir d'expansion de la cuve principale que du réservoir d'expansion vers la cuve principale);
4. Dans cette position ouverte, la valve doit être à pleine ouverture (PO);
5. Directement sur la valve anti-déversement, à la position ouverte, un indicateur de position de couleur verte doit être activé mécaniquement assurant la position ouverte réelle (mécanique) de la valve;
6. Cet indicateur de position de couleur verte doit être visible à partir du sol;

##### **Position fermée de la valve anti-déversement (indicateur de position, rouge) :**

7. L'activation de fermeture doit se faire par une alimentation électrique;
8. Le maintien à la position fermée doit se faire sans alimentation électrique;
9. La position fermée ne permet pas la circulation d'huile (autant de la cuve principale vers le réservoir d'expansion de la cuve principale que du réservoir d'expansion vers la cuve principale);
10. Dans cette position fermée, la valve doit être conçue pour tenir le vide du côté de la cuve principale tout en maintenant une pression d'une colonne d'huile d'environ trois mètres du côté du réservoir d'expansion;
11. Directement sur la valve anti-déversement, à la position fermée, un indicateur de position de couleur rouge doit être activé mécaniquement assurant la position fermée réelle (mécanique) de la valve;
12. Cet indicateur de position de couleur rouge doit être visible à partir du sol;
13. Une activation manuelle directement sur la valve peut être réalisée autant pour la fermeture que pour l'ouverture.

#### 5.14.7.2 Exigences pour la commande de la valve anti-déversement

Voici les caractéristiques exigées pour la commande de la valve anti-déversement directement installé dans l'armoire de commande du transformateur de puissance ou de l'inductance shunt :

- a) Sélecteur de mode (local/distance);
- b) En mode distance, la fermeture de la valve anti-déversement doit venir d'une commande automatisée fournie par Hydro-Québec.
- c) Contacts auxiliaires de position de la valve anti-déversement doivent être câblés jusqu'à l'armoire de commande.
- d) En mode local, deux boutons poussoirs permettent de changer la position de la valve anti-déversement :
  - FERMETURE (bouton rouge);
  - OUVERTURE (bouton vert).
- e) En mode distance, les deux boutons poussoirs sont désactivés et ne permettent pas de changer la position de la valve anti-déversement;
- f) Le sélecteur de mode permet le passage du mode local au mode distance seulement quand la valve anti-déversement est en position ouverte (vert);
- g) Le sélecteur de mode permet le passage du mode distance au mode local peu importe la position de la valve anti-déversement, autant en position ouverte (vert) qu'à la position fermée (rouge);
- h) Contact d'alarme suivant la fermeture complète de la valve anti-déversement est en position fermée (rouge) ou que le sélecteur est mode local au-delà d'une journée.
- i) Alarme suivant que la valve anti-déversement n'est ni ouverte, ni fermée.
- j) Alarme pour une perte d'alimentation.

Un exerciseur programmable doit opérer la valve une fois par semaine de la position complètement fermée à complètement ouverte sans activer les alarmes, en mode distance seulement.

### 5.15 Robinets et tuyauterie

#### 5.15.1 Robinets

La tuyauterie du système de refroidissement ainsi que celle des réservoirs d'expansion d'huile doivent être munies de raccords qui facilitent les assemblages tout en permettant des ajustements. Lorsque requis sur la tuyauterie, il doit avoir des valves à bille 3/4 à 1 po avec bouchons aux points bas pour la vidange ainsi qu'aux points les plus hauts comme évent. Elles doivent également supporter le vide durant toute la période de remplissage de la cuve du transformateur.

Les tuyaux rigides et les tuyaux flexibles menant au réservoir d'expansion ou aux radiateurs doivent être disposés de façon à éviter toute accumulation de gaz.

Les robinets ou valves en usage sur la cuve doivent être en acier inoxydable, laiton ou en bronze et à siège métallique et garnitures compatibles avec l'huile minérale. Ils doivent être munis d'un bouchon d'obturation. Le corps des robinets de grandes dimensions doivent suivre ASME B16.34 et fermé à l'aide d'un couvercle étanche. Si le modèle de valve à bille utilisé est conçu en deux parties avec un corps vissé, un blocage mécanique du corps de la valve doit être ajouté afin d'empêcher que ce dernier se dévisse lorsqu'on dévisse le bouchon à l'extrémité de la valve.

La garniture tressée des valves type papillon et autres doit être de qualité, compatible avec l'huile (voir 5.2) et demeurer étanche sur la plage de température de -40 °C à 95 °C. L'ajustement de la compression de cette garniture tressée doit être accessible facilement.

Les robinets doivent assurer l'intégrité de leur fonction pendant toute la durée de vie du transformateur et résister au vide pour les différents compartiments. Leur installation doit être telle qu'aucun dispositif ne se trouve dans un rayon de 250 mm.

Tous les raccords sur les tuyaux d'huile dont le diamètre est supérieur à 1 1/4 po doivent être de type à brides. Les raccords filetés ne sont pas acceptables. Les brides de tuyauterie doivent être conçues selon la norme ASME B16.5 de classe 150 ou supérieure. Les brides doivent être de type « raised face » et machinées pour recevoir un « joint torique ». La bride machinée doit être côté cuve.

Lorsque la tuyauterie est inférieure à 1 1/4 po de diamètre, il faut utiliser des tubes en acier inoxydable de type Swagelok ou Parker avec joint à bagues compressées.

Les robinets à tournant sphérique doivent être pleine ouverture (full port) et raccordés à la cuve au moyen d'une bride et d'une garniture d'étanchéité tel que spécifié à l'article 5.4.9.2.

Les joints flexibles et d'expansion reliant la cuve aux radiateurs et au réservoir d'expansion doivent pouvoir maintenir leur étanchéité et l'intégrité physique de l'assemblage lorsqu'assujettis aux déplacements maximaux déterminés par le calcul sismique et celui de tenue à un arc interne.

La tuyauterie doit être supportée de façon adéquate pour garantir son intégrité sous les vibrations, sous le piétinement, lors de manipulation de valves, pour les séismes et l'arc interne.

#### 5.15.1.1 Robinets pour les activités de régénération d'huile et de dégazage

Afin de faciliter les activités de régénération d'huile et de dégazage, le fabricant doit installer les robinets suivants (se référer à l'Annexe D, figure P1.D.10) :

a) sur le couvercle :

- un robinet à tournant sphérique de 1 pouce (n'importe où sur le couvercle);
- un robinet à tournant sphérique de 2 pouces (pleine ouverture) près du tuyau en provenance du réservoir d'expansion;
- un robinet à tournant sphérique de 2 pouces (pleine ouverture) diagonalement opposé à ce dernier (distance minimale de 1 mètre);
- un robinet à tournant sphérique de 2 pouces (pleine ouverture) près de l'enroulement lorsqu'il s'agit d'un transformateur monophasé ou entre deux phases d'un transformateur triphasé (le plus loin possible des parois extérieures de la cuve);

b) sur les côtés de la cuve :

- un robinet à tournant sphérique cadénassable de 2 pouces à moins de 150 mm du fond de la cuve placé du côté opposé au réservoir d'expansion. Ce robinet doit être muni d'un déflecteur interne afin d'éviter que le flux d'huile n'endommage l'isolation lors du remplissage. Ce déflecteur sert aussi à vider efficacement toute l'huile de la cuve, sa conception doit être présentée lors des revues de conception;

Tous les robinets mentionnés ci-dessus doivent être de type pleine ouverture, munis, du côté cuve principale, d'une extrémité de raccordement à bride comprenant des garnitures d'étanchéité. L'autre côté des robinets doit être muni d'une extrémité de raccordement à filetage NPT (femelle) avec bouchon fourni.

L'emplacement des robinets doit assurer la meilleure circulation possible de l'huile durant la filtration.

Chaque type de robinet doit être approuvé par Hydro-Québec.

### 5.15.1.2 Autres robinets à installer

Le fabricant doit installer les autres robinets suivants :

- a) un robinet d'échantillonnage de 0,5 pouce situé à 300 mm du fond de la cuve.

Note : Compte tenu que l'échantillonnage d'huile se fait lorsque que le transformateur ou l'inductance est en exploitation, ce robinet doit être facilement accessible, identifié « Robinet d'échantillonnage d'huile de la cuve principale » et installé à plus de 1,5 mètre du conduit de déversement métallique du dispositif évacuant les surpressions (réf. 5.14.1).

- b) un petit robinet pour la purge d'air ou de gaz aux endroits d'accumulation;
- c) des robinets à papillons pour les radiateurs démontables;
- d) un robinet à tournant sphérique de 1,5 pouce en laiton pour le moniteur de gaz dissous et d'humidité (réf. 5.14.4).

Chaque type de robinet doit être approuvé par Hydro-Québec.

### 5.15.2 Tuyauterie des réservoirs d'expansion d'huile

Les exigences du présent article sont schématisées à l'annexe D, à la figure P1.D.10.

Il doit y avoir une bride à toutes les connexions inférieures sous les réservoirs d'expansion d'huile afin d'étancher ceux-ci. Pour chaque bride, fournir les couvercles et les garnitures.

Les tuyauteries qui permettent la vidange et le remplissage des conservateurs doivent être d'un minimum de 2 pouces de diamètre, raccordés au point le plus bas de leur réservoir respectif, ramenées à 1,2 m de l'assise et se termine par une valve à bille de 2 pouces « full port » munie à la sortie d'un bouchon au bout du robinet.

Il doit y avoir une tuyauterie d'équilibrage du vide entre le réservoir principal d'expansion d'huile, le sac de caoutchouc (ballon) et le réservoir d'expansion du CPC. Prendre un tube 1 po en acier inoxydable de type Swagelok ou Parker avec les joints à bagues compressées. Installer tout juste au-dessus de chaque dessiccateur (CPC et cuve principale) un tuyau flexible avec raccord Camlock de 1 pouce mâle qui permet de débrancher les dessiccateurs pour les manœuvres de dégazage. Ils doivent être facilement accessibles à partir de l'assise. Une tubulure parallèle sert à la purge de l'air du réservoir d'expansion principal lors du remplissage final d'huile une fois le vide cassé. Le vide est d'ailleurs cassé en utilisant un des tuyaux flexibles pour introduire de l'air sec. Mettre des indications sur les deux valves qui interconnectent les tubulures des gels de silice et la tubulure de purge. Ces deux valves doivent être normalement fermées lors de l'exploitation normale.

Le tuyau dédié à faire le vide doit être localisé au sommet du réservoir d'expansion d'huile de la cuve principale, ramené à 1,2 mètre de l'assise de la cuve principale tout en utilisant le parcours le plus court, être de 2,5 pouces de diamètre et se terminer avec une valve à bille de 2,5 po (pleine ouverture) avec un bouchon. Ce tuyau dédié à faire le vide doit avoir le moins de restrictions possibles, donc, les raccords coudés à 45° sont à privilégier.

## 6. Essais

### 6.1 Généralités

Les appareils doivent être soumis aux essais décrits à la SN-14.2 d'Hydro-Québec.

En plus de ces essais, le fabricant doit exécuter, lorsque demandé par Hydro-Québec, des essais de court-circuit et des essais de fonctionnement des accessoires selon les conditions prescrites par Hydro-Québec.

La simulation numérique par analyse d'éléments finis de la tenue mécanique à la résistance à un arc interne selon le guide d'essai numérique en annexe A est requise. Un rapport d'analyse doit être soumis avec le contenu cité à l'article A8 de la même annexe.

Les essais sur les accessoires permettent de s'assurer de leur bon fonctionnement dans les conditions prescrites.

Les modalités d'essai à basse température doivent faire l'objet d'un accord entre Hydro-Québec et le fabricant.

### 6.2 Champ d'application

Toute nouvelle conception d'appareil, incluant les traversées et changeurs de prises, doit être soumise aux essais de type et à l'analyse numérique de la tenue mécanique à l'arc interne.

Dans le cas d'appareils ayant déjà été soumis à des essais et ayant été modifiés, les essais à exécuter doivent faire l'objet d'un accord entre Hydro-Québec et le fabricant.

Tous les appareils, incluant les dispositifs de commande, doivent être soumis aux essais individuels.

## 7. Plaques signalétiques

Les plaques signalétiques doivent être rigides, faites d'acier inoxydable ou d'un matériau approuvé par Hydro-Québec. Le fini de surface ne doit pas être trop poli comme un miroir afin d'obtenir un bon résultat photographique lors d'une journée ensoleillée.

Leur emplacement doit faciliter la lecture des informations à partir du sol. Afin de demeurer visibles et assurer un bon contraste pendant toute la vie utile de l'appareil, les plaques signalétiques doivent être gravées et incrustées d'époxy de couleur noire.

On exige une plaque signalétique pour le transformateur ou l'inductance shunt sur l'armoire de commande, une seconde pour le changeur de prises (s'il y a lieu) et une troisième pour les niveaux de remplissage de l'huile du ou des réservoir(s) d'expansion d'huile.

### 7.1 Plaque signalétique du transformateur ou inductance shunt

La plaque signalétique doit être placée de préférence sur l'armoire de commande et contenir les renseignements suivants :

- 1) le terme «transformateur», «autotransformateur» ou «inductance shunt»;
- 2) l'échauffement;
- 3) le mode de refroidissement;
- 4) pour les transformateurs, la puissance en MVA pour les différents modes de refroidissement à 30°C et à 0°C (incluant la puissance du tertiaire si applicable et si non enfoui) et pour les inductances, la puissance réactive en Mvar;

- 5) le nombre de phases;
- 6) la fréquence nominale;
- 7) les tensions nominales pour chacune des prises en charge et des prises à vide s'il y a lieu;
- 8) les tensions de tenue aux chocs de foudre et de manœuvre s'il y a lieu;
- 9) les courants nominaux : le courant nominal secondaire ainsi que le courant primaire (équivalent) pour chacune des prises;
- 10) l'impédance de court-circuit en pourcentage (valeurs mesurées lors des essais de routine) :
  - prise nominale indiquée à la spécification technique particulière;
  - prise centrale (9);
  - prise minimale;
  - prise maximale;
- 11) Puissance acoustique à 105 % de la tension nominale (valeurs mesurées lors des essais de routine);
- 12) Puissance acoustique à 100 % de la charge nominale (valeurs mesurées lors des essais de routine);
- 13) Puissance acoustique totale
- 14) la qualification parasismique;
- 15) l'identification du liquide isolant;
- 16) volume total d'huile en litres à 25 °C : .....
- 17) la masse en kilogrammes :
  - noyau et enroulements : .....kg;
  - cuve et accessoires : .....kg;
  - liquide isolant : .....kg;
  - total : .....kg;
- 18) une vue en plan de la position des traversées sur le couvercle;
- 19) le schéma des connexions;
- 20) la représentation vectorielle pour les transformateurs triphasés, ou la polarité pour les transformateurs monophasés;
- 21) la précision, le rapport de transformation et la polarité de tous les transformateurs de mesure;
- 22) le degré de vide et la pression positive que peuvent supporter la cuve, les radiateurs et le conservateur;
- 23) le numéro de série;
- 24) l'année de fabrication (année des essais);
- 25) le numéro de commande d'Hydro-Québec;
- 26) le numéro de la spécification technique normalisée;

- 27) le courant nominal, la tension nominale et la tenue au choc de foudre de chacune des traversées;
- 28) le nom du fabricant du transformateur de puissance ou inductance shunt;
- 29) le numéro de série de l'appareil sur lequel l'essai de type a été réalisé;
- 30) basé sur les résultats obtenus à pleine puissance au cours des essais d'échauffement <sup>1</sup> :
  - échauffement (huile sommet – ambiant) : \_\_\_\_\_ °K pour \_\_\_\_\_ MVA;
  - échauffement (point chaud enr. HT - huile sommet) : \_\_\_\_\_ °K pour \_\_\_\_\_ MVA;
  - échauffement (point chaud enr. BT - huile sommet) : \_\_\_\_\_ °K pour \_\_\_\_\_ MVA;
  - échauffement (point chaud enr. Tert. - huile sommet) : \_\_\_\_\_ °K pour \_\_\_\_\_ MVA;
  - essai d'échauffement effectué à la prise n° \_\_\_\_\_ ;
- 31) basé sur les résultats obtenus au cours des essais de routine :
  - pertes à vide à tension nominale : \_\_\_\_\_ kW;
  - pertes en charge à 75 °C et à courant nominal : \_\_\_\_\_ kW;
  - pertes totales : \_\_\_\_\_ kW (incluant les ventilateurs et/ou les pompes);
- 32) pertes totales pour les inductances shunt : \_\_\_\_\_ kW (valeurs mesurées lors des essais de routine);
- 33) l'identification et le type d'isolation des conducteurs.

## 7.2 Plaque signalétique du changeur de prise en charge (CPC)

La plaque signalétique doit être placée à proximité du mécanisme de commande du CPC et contenir les renseignements suivants :

- 1) l'identification (type, modèle, numéro de série, etc.);
- 2) le courant nominal;
- 3) le nombre de positions;
- 4) le nombre de coupures garanti des contacts, au courant nominal;
- 5) la température de blocage du CPC
- 6) Inscrire suivante : « En cas de blocage par basse température de l'huile du CPC, il est possible de l'opérer en mode manuel à condition que le transformateur soit hors tension »;
- 7) l'entretien et la vérification après ..... commutations;
- 8) le degré de vide ou la pression positive que peut supporter le compartiment du CPC. Une note d'avertissement doit être incluse sur la plaque signalétique si le vide de la cuve principale influe sur le compartiment du CPC;
- 9) la quantité d'huile du CPC (en litres à 25 °C).

---

<sup>1</sup> Note : Les valeurs d'échauffement du point chaud à indiquer sur la plaque signalétique sont les valeurs maximales entre l'échauffement prévu par calcul et l'échauffement mesuré avec les fibres optiques. Parfois les fibres optiques ne sont pas parfaitement localisées sur le point le plus chaud de l'enroulement.

### 7.3 Plaques de niveaux de remplissage des réservoirs d'expansion d'huile

Une plaque des niveaux de remplissage des réservoirs d'expansion d'huile de la cuve principale et du CPC (si applicable) doit être installée près l'armoire de commande.

La plaque doit indiquer sous forme de tableau (Tableau P1.20) les éléments suivants :

- la hauteur d'huile « H » à ajuster en fonction de la température moyenne de l'huile dans la cuve principale, mais exprimée selon la valeur de la température de l'huile au sommet qui peut être lue par un (e) employé (e), à l'indicateur de température (article 5.14.3.3);
- pour chaque hauteur, on doit avoir le % niveau d'huile qu'on peut lire sur l'indicateur de niveau d'huile (article 5.14.3.1);
- pour chaque hauteur, indiquer la quantité d'huile en kg à ajouter.

**Tableau P1.20 : Niveaux de remplissage des réservoirs d'expansion d'huile**

| Niveau de remplissage du réservoir d'expansion d'huile cuve principale |                      |                          |                       |                                       |
|--|----------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Température d'huile<br>au sommet<br>« Top oil »<br>(°C)                | Hauteur<br>H<br>(mm) | Hauteur<br>H<br>(pouces) | Niveau d'huile<br>(%) | Quantité d'huile<br>à ajouter<br>(kg) |
| -40  |                      |                          |                       |                                       |
| -20  |                      |                          |                       |                                       |
| 0  |                      |                          |                       |                                       |
| 15   |                      |                          |                       |                                       |
| 25   |                      |                          |                       |                                       |
| 30   |                      |                          |                       |                                       |
| 45   |                      |                          |                       |                                       |
| 60   |                      |                          |                       |                                       |
| 80   |                      |                          |                       |                                       |

De plus, la plaque doit indiquer :

- un schéma illustrant le réservoir d'expansion d'huile avec la hauteur d'huile « H » à ajuster;
- le volume total que peut contenir le réservoir d'expansion d'huile.



## 8. Assurance qualité et inspection

### 8.1 Assurance qualité

Le fabricant doit établir et maintenir un programme d'assurance de la qualité conformément aux prescriptions de la norme suivante : ISO-9001, *Systèmes qualité – Modèle pour l'assurance de la qualité en conception, développement, production, installation et prestations associées*.

### 8.2 Revue de conception

Les revues de conception électrique et mécanique sont requises pour permettre à Hydro-Québec de convenir d'une conception et de suivre les changements apportés par les fabricants. À moins que la conception ne soit pas conforme aux exigences de la présente SN, les revues de conception ne servent pas à imposer une conception, mais plutôt à évaluer une performance en fonction des prescriptions d'Hydro-Québec. Les renseignements obtenus demeurent confidentiels.

Les sujets au programme des revues de conception sont décrits à l'Annexe B de ce document. Les représentants d'Hydro-Québec et le fabricant doivent consigner les caractéristiques de la conception en rédigeant un compte rendu des réunions, au plus tard deux mois après la date de la revue de conception.

### 8.3 Inspection

Le fabricant doit soumettre son programme d'assurance qualité et de fabrication détaillé contenant les données requises pour effectuer une relance et une inspection appropriées ainsi que les contrôles prévus au programme.

Le représentant d'Hydro-Québec se réserve le droit d'inspecter en tout temps les pièces, soit à l'usine du fabricant, soit chez ses sous-traitants, afin de s'assurer que leur fabrication est conforme aux prescriptions de la présente spécification technique normalisée. Tout l'équipement et le matériel nécessaires à cette inspection doivent être mis à sa disposition.

Le fabricant doit fournir au représentant d'Hydro-Québec les renseignements qui lui permettent d'identifier :

- les caractéristiques de fonctionnement visées;
- les propriétés des huiles;
- les propriétés des garnitures;
- les propriétés des papiers, des cartons isolants ou autres matériaux isolants;
- les types de conducteurs utilisés;
- le type d'acier utilisé pour la fabrication du noyau;
- le type d'acier pour la cuve (mill test);
- les rapports d'essais non-destruction;
- les papiers de qualification pour la certification du soudage et soudeurs.
- les caractéristiques des brides, valves vs ASME B16;
- les accessoires incluant les armoires de commande;
- les traversées et les raccordements;
- les changeurs de prises et les raccordements aux bobinages incluant les supports isolants,
- etc.

## 9. Documentation

### 9.1 Manuel d'entretien et d'exploitation

Le manuel d'entretien et d'exploitation doit contenir tous les renseignements nécessaires aux différents intervenants, soit l'ingénierie, la construction des installations, le transport, l'entreposage, le montage, la mise en route, l'exploitation et l'entretien des installations et de l'appareillage.

Les renseignements relatifs au transport et à l'entreposage (voir article 9.3), au montage, ajustements et vérifications (voir article 9.4) et à la mise en route (voir article 9.5) doivent être soumis deux mois avant la livraison de l'appareil.

Le fabricant doit livrer aux dates et selon les quantités prescrites.

La documentation requise du fabricant doit être rédigée en français.

Une copie électronique du manuel d'entretien et d'exploitation doit être fournie pour approbation avant la livraison. À la livraison, le fabricant doit fournir deux copies (2) papier et une copie électronique.

Lorsque plusieurs transformateurs identiques sont livrés dans une installation pour une même commande, la documentation doit être fournie une seule fois, mais les numéros de série de tous les appareils applicables doivent apparaître clairement dans la documentation.

Le manuel d'entretien et d'exploitation doit être présenté dans des reliures à anneaux avec couvertures rigides d'un maximum de 4 pouces d'épais. Les différents chapitres doivent être séparés par des intercalaires numériques ou alphabétiques. Dans la mesure du possible, tous les dessins inclus dans le manuel d'entretien et d'exploitation doivent être de format minimum de 11" x 17" et les dessins doivent être pliés de manière à laisser paraître le cartouche.

Le manuel d'entretien et d'exploitation doit comporter une table des matières indiquant les chapitres suivants ainsi qu'une liste par ordre alphabétique numérique de tous les dessins inclus dans la documentation.

- Description de l'appareil (9.2);
- Transport et entreposage (9.3);
- Montage, ajustements et vérifications (9.4);
- Mise en route (9.5);
- Exploitation (9.6);
- Entretien et démontage (9.7);
- Pièces de rechange pour fins de maintenance et pour fins d'assurance (9.8);
- Accessoires (9.9);
- Dessins (9.10);
- Rapports d'essais (9.11).

## 9.2 Description de l'appareil

La description de l'appareil comprend ce qui suit :

- a) Informations de base sur la couverture et la tranche du manuel d'entretien et d'exploitation :
  - titre et numéro du manuel d'entretien et d'exploitation;
  - nom du client;
  - nom du poste (lieu d'installation);
  - numéro de commande HQ;
  - numéro de l'appel d'offres HQ;
  - nom de l'appareil;
  - numéro de série;
  - année de fabrication de l'appareil.
- b) Informations techniques sur les premières pages du manuel d'entretien et d'exploitation :
  - puissances et mode de refroidissement;
  - tensions primaires et secondaires;
  - fréquence;
  - nombre de phases;
  - impédance directe garantie haute tension / basse tension à la position nominale;
  - type de changeur de prises;
  - type de mécanisme d'entraînement;
  - numéros de série des traversées et du changeur de prises en charge (si applicable);
  - valeur de tenue sismique;
  - plaque signalétique;
  - nom, adresse et numéro de référence du fournisseur;
  - date d'émission du manuel d'entretien et d'exploitation.

### 9.3 Transport et entreposage

Cette section doit inclure :

- tous les renseignements relatifs au transport et à l'entreposage;
- les essais et vérifications à faire lors de la réception des appareils et des accessoires;
- les impacts maximaux que l'appareil peut supporter lors d'un transport;
- les données enregistrées à l'aide des deux (2) enregistreurs d'impact (fixés sur le chariot de transport ou localisés sur le transformateur) doivent être acceptées par Hydro-Québec à la réception de l'appareil à destination;
- un document certifiant que l'appareil n'a pas subi de choc supérieur aux impacts maximaux définis ci-haut lors du transport doit être remis par le fournisseur et conservé au dossier de la commande;
- les précautions à prendre si l'on doit soulever l'appareil au moyen d'un engin de levage (à indiquer sur le dessin ou sous forme de bulletin technique);
- instructions particulières en vue d'un entreposage prolongé supérieur à six mois.

### 9.4 Montage, ajustements et vérifications

Cette section doit inclure :

- tous les renseignements relatifs à l'enlèvement et l'installation des pièces de blocage utilisées lors du transport;
- tous les renseignements nécessaires présentés par ordre logique pour réaliser le montage de l'appareil et de ses accessoires;
- tous les renseignements relatifs à la résistance au vide des différents compartiments;
- toutes les procédures relatives au remplissage et au traitement de l'huile isolante;
- tous les renseignements pour les ajustements et le calibrage des accessoires;
- la description des mesures spéciales de sécurité pour le personnel lors d'intervention sur l'appareil.

### 9.5 Mise en route

Cette section doit inclure :

- tous les résultats des mesures des caractéristiques techniques exécutées lors des essais individuels (selon la SN-14.2);
- les essais à effectuer avant la mise sous tension de l'appareil;
- les précautions ou exigences particulières pour la mise sous tension et sous charge.

## 9.6 Exploitation

Cette section doit inclure :

- les renseignements et consignes relatifs à l'exploitation de l'appareil et de ses accessoires en mode normal, en mode de surcharge et en mode dégradé, c'est-à-dire en cas de perte d'un groupe dans un stage de refroidissement, d'un ventilateur, deux ventilateurs, etc.;
- le remplacement physique des indicateurs et le réglage recommandé.

## 9.7 Entretien et démontage

Cette section doit inclure :

- les renseignements pour accéder aux raccordements des traversées;
- les renseignements relatifs aux raccordements électriques détaillés des enroulements, des écrans et de toutes les connexions incluant les noyaux et les presses culasses;
- les procédures pour rendre inopérante toute forme d'énergie utilisée pour le fonctionnement de l'appareil;
- les renseignements et procédures à suivre pour un décuvage en atelier;
- les renseignements et procédures sur les inspections, vérifications, ajustements et essais requis ainsi que leurs fréquences et critères d'acceptation recommandée;
- les procédures pour l'échantillonnage d'huile dans les traversées (si applicable);
- la liste et description des outils spéciaux requis;
- l'information relative à la sécurité, spécifique à l'équipement.

## 9.8 Pièces de rechange pour fins de maintenance et pour fins d'assurance

Cette section s'applique au transformateur de puissance, inductance shunt, changeur de prises et accessoires. Les quantités et les numéros de pièces doivent être indiqués dans les listes ci-après.

### 9.8.1 Liste des pièces

Le fabricant doit fournir la liste des pièces qui composent l'appareil.

### 9.8.2 Liste des pièces de rechange pour fins de maintenance (pièces d'usure)

Le fabricant doit fournir la liste des pièces de rechange requises lors de l'entretien de l'appareil.

### 9.8.3 Liste des pièces de rechange pour fins d'assurance

Le fabricant doit fournir la liste des pièces de rechange pour fins d'assurance dont la consommation n'est pas prévisible. Cette liste comprend les pièces autres que les pièces d'usure que le fournisseur recommande de tenir en inventaire (ex.: pièces ayant un long délai de livraison).

Pour les accessoires majeurs tels que radiateur, pompe, ventilateur, traversée, changeur de prises, moteur, transformateur de courant et tout autre accessoire fourni par un sous-traitant, le fabricant doit fournir :

- illustrations des pièces de rechange pour fins d'assurance;

- les méthodes et spécifications techniques nécessaires pour le remplacement de ces accessoires par un équivalent;
- les spécifications des accessoires tels que relais de gaz, moniteur de température, dispositifs de surpression, dessiccateur, etc.

## 9.9 Accessoires

Les accessoires doivent être indiqués dans les listes de matériel apparaissant avec leurs numéros de catalogue. Le fabricant doit fournir les fiches techniques (illustrations, brochure, croquis, schémas de raccordement, etc.) des accessoires incluant les traversées, les changeurs de prises, les huiles, les moniteurs de température, les relais de gaz, les dispositifs de surpression, les indicateurs de niveau d'huile, les garnitures et autres s'il y a lieu.

Les accessoires fournis à Hydro-Québec doivent être clairement identifiés dans le fascicule s'y rapportant, lorsque celui-ci couvre une famille d'accessoires. Les renseignements non pertinents à l'appareil ou aux accessoires fournis à Hydro-Québec doivent être exclus (ex.: le catalogue de vente).

## 9.10 Dessins

Cette section doit inclure :

- Dessins d'encombrement;
- Plaques signalétiques;
- Schémas de principe;
- Schémas de filerie;
- Schémas d'assemblage;
- Schémas d'expédition;
- Photos montant le noyau avant la mise en cuve et les enroulements côtés haute et basse tension;
- Photos montrant la fabrication des transformateurs, la construction du circuit magnétique à différentes étapes, le montage des enroulements HT, BT, régulation, tertiaire ainsi que des écrans magnétiques et l'installation des MALT sur le noyau et les presses culasses;

Les dessins doivent être conformes aux exigences des normes SN-3.1 et SN-3.2.

### 9.10.1 Dessins d'encombrement

Les dessins d'encombrement doivent être à l'échelle et comporter tous les détails relatifs à l'ingénierie, à l'installation au chantier, à l'entretien, etc., tels que :

- les dimensions, la masse totale, les masses et leurs distributions, les centres de gravité par rapport aux trois axes de référence pour la réalisation des structures et des fondations;
- détails d'encombrement interne pour accéder aux différentes parties du transformateur ou de l'inductance shunt, vue de coupe et la hauteur nécessaire pour le décufrage;
- le schéma électrique détaillé des enroulements, des écrans et de toutes les connexions incluant les noyaux et les presses culasses;
- le marquage prescrit au paragraphe 5.4.8;

- la liste des équipements ou de matériel;
- le degré de vide et la pression positive que peuvent supporter la cuve, réservoir (s) d'expansion d'huile et les radiateurs;
- les dimensions, type et emplacement des robinets, raccords, conduits et accessoires, ainsi que l'emplacement des points d'appui pour les vérins;
- les dimensions de la tôle amovible du fond de l'armoire de commande, et son emplacement par rapport aux axes et à la base de l'appareil;
- le poids en kg et la quantité en litres à 25 °C de l'huile des différents composants (cuve principale, CPC, réservoir(s) d'expansion d'huile, radiateurs, etc.);
- si applicable, le détail de la plaque d'ancrage avec le diamètre des trous et la grosseur des boulons requis, le tout selon le plan normalisé N400-40300-045;
- tous les couples de serrage pour les boulons, s'ils ne sont pas inscrits dans la notice d'entretien;
- détails des matériaux et des dimensions de toutes les garnitures utilisées pour l'appareil;
- détails des liens équipotentiels (réf. article 5.9.4, note 2);
- détails du système de refroidissement (réf. article 5.12.1) :
  - dégagement nécessaire autour du transformateur ou de l'inductance shunt afin d'assurer l'efficacité du système de refroidissement;
  - capacité de refroidissement total;
  - capacité de refroidissement par radiateur;
  - capacité de refroidissement d'un ventilateur par groupe de refroidisseur;
  - capacité de refroidissement par pompe;
- détails du réservoir d'expansion de la cuve principale avec le sac de caoutchouc;
- détails de la position des valves en exploitation normale (normalement ouverte / fermée).

### 9.10.2 Plaques signalétiques

Les trois plaques signalétiques requises (transformateur ou inductance, changeur de prises et niveaux de remplissage) doivent comporter les valeurs décrites à l'Article 7, exception faite des valeurs provenant des résultats d'essais.

### 9.10.3 Schémas de principe

Les schémas de principe des auxiliaires de commande, du changeur de prises, des ventilateurs, pompes, etc., où les fiches techniques doivent illustrer toutes les caractéristiques électriques nécessaires :

- aux précisions de raccordement;
- aux réglages;
- à l'identification de chaque composant.
- Les charges raccordées sur les différents circuits d'alimentation pour les différents auxiliaires et le système de refroidissement doivent être indiquées sur les schémas de principe avec la consommation de puissance associée.

### 9.10.4 Schémas de filerie

Les schémas de filerie doivent illustrer tous les borniers avec le calibre des conducteurs, selon la numérotation et la disposition prescrites par Hydro-Québec.

Les schémas de filerie des accessoires (acquisiteur, moniteur de température, etc.) doivent être illustrés.

### 9.10.5 Schémas d'assemblage

Les schémas d'assemblage doivent illustrer tous les détails relatifs à l'armoire de commande principale, armoire du changeur de prises, compartiment des traversées tertiaires (si applicable), etc., tels que :

- les dimensions;
- la disposition physique et à l'échelle des composants à l'intérieur de l'armoire;
- l'identification des composants représentés sur les figures de la présente spécification en respectant la nomenclature (dessins N400) d'Hydro-Québec;
- les composants encastrés dans une porte (vues porte ouverte et porte fermée).

### 9.10.6 Schémas d'expédition

Le schéma d'expédition doit contenir les renseignements suivants :

- les dessins pour identifier les pièces de blocage interne et externe utilisées lors du transport;
- détail et description de la position des deux (2) enregistreurs d'impact;
- les dimensions du gabarit de transport;
- la masse de transport;
- la position du centre de gravité (deux faces);
- le numéro de référence du manuel d'entretien et d'exploitation pour le transport et entreposage.

## 9.11 Rapports d'essais

Le fabricant doit fournir dans le manuel d'entretien et d'exploitation les rapports d'essais individuels du transformateur de puissance ou de l'inductance shunt (réf. Tableau 1 de la norme SN14.2).



## 10. Emballage, expédition et entreposage

### 10.1 Généralités

Tout le matériel concernant les transformateurs de puissance et les inductances shunt expédié à Hydro-Québec doit être préparé et emballé selon les prescriptions de la classe EM-1 de la SN-1.1 et les prescriptions particulières décrites ci-dessous.

Tout le matériel doit être préparé en prévision d'un entreposage de six mois sans entretien. Le fabricant doit aussi fournir les instructions particulières en vue d'un entreposage prolongé supérieur à six mois. Ces instructions doivent être mises dans le manuel du fabricant, voir l'article 9.

Lorsque les transformateurs de puissance et les inductances shunt ne sont pas munis de patins, ni d'œilletons de levage, ils doivent être fixés à une base structurale rigide pour expédition et manutention. Dans tous les cas, les appareils doivent pouvoir être déchargés et installés au moyen d'un treuil, d'un vérin et d'une grue.

### 10.2 Obligation du fabricant

Le point de rosée dans la cuve de l'appareil doit être mesuré avant l'expédition du transformateur ou de l'inductance shunt. La mesure doit être prise après une période de stabilisation correspondant au temps nécessaire pour que l'humidité soit équilibrée dans l'isolation (période typiquement entre 12 et 24 heures). La mesure du point de rosée doit correspondre à une teneur en humidité dans l'isolation inférieure ou égale à 0,8 %, de façon à ce que l'humidité de l'isolation soit inférieure ou égale à 1 % avant le remplissage final au site où l'appareil doit être installé. Le fabricant doit s'assurer que l'isolation interne est maintenue dans des conditions satisfaisantes durant le transport de l'appareil entre l'usine et le point de livraison.

Les appareils doivent être expédiés vides et, le cas échéant, l'huile isolante doit être livrée séparément.

À la réception, la vérification du point de rosée est réalisée par le représentant d'Hydro-Québec au moyen d'un appareil adéquat.

La plupart des appareils sont livrés sans huile, et doivent être remplis d'air sec ou d'azote sec sous une pression mesurée et maintenue entre 115 kPa et 125 kPa absolu. Le fabricant doit fournir un indicateur de pression monté provisoirement sur une des ouvertures prévues pour la tuyauterie ou sur un des robinets. Le manomètre doit être lisible à partir du sol et doit être protégé contre les chocs et le vandalisme. Apposer une étiquette de sécurité indiquant que l'appareil est sous pression de gaz non respirable.

Le fabricant doit enregistrer la pression interne, le taux d'humidité et la température avant d'expédier l'appareil. Ces mesures doivent être clairement indiquées sur la cuve. Durant le transport, la pression d'air sec ou d'azote sec doit être maintenue aux valeurs prescrites au paragraphe précédent.

Pour les appareils expédiés remplis d'huile, le fabricant doit vérifier le point de rosée avant le remplissage de l'huile. Celui-ci doit correspondre à une teneur en humidité inférieure ou égale à 1 %.

L'expédition doit être contrôlée de façon continue durant toute la durée des opérations, soit jusqu'au déchargement au point de livraison ou position finale. À cet effet, l'appareil doit avoir deux (2) enregistreurs d'impact triaxiaux ayant une durée d'enregistrement égale ou supérieure à la durée de l'expédition complète. Un document certifiant que l'appareil n'a pas subi de choc lors du transport doit être remis par le fournisseur et conservé au dossier de la commande.

La manipulation et la surveillance apportées aux transformateurs et inductances shunt et leurs accessoires lors du transport et du déchargement doivent suivre les prescriptions de la norme IEEE C57.150.

### 10.3 Accessoires

Des planches de bois recouvertes d'un coussin de rembourrage doivent être fixées entre chaque radiateur pour empêcher le frottement et éviter ainsi d'abîmer la galvanisation. Les radiateurs doivent être livrés sous pression d'azote ou d'air sec 5 psi et munis d'un manomètre protégé contre les chocs ou autre principe présenté à Hydro-Québec. De plus, les moyens utilisés pour assurer l'étanchéité et la préservation lors du transport et de l'entreposage doivent aussi être approuvés par Hydro-Québec.

Les moteurs des ventilateurs doivent être recouverts d'une membrane imperméable maintenue par un feuillard de serrage en nylon.

Les traversées doivent être expédiées sur un support d'acier ou dans des caisses en bois complètement fermées afin d'en prévenir le bris. Les traversées à isolation papier-huile doivent être livrées inclinées sur leur support de manière à ce que l'isolation baigne toujours dans l'huile. Quelle que soit leur position, chacune des traversées doit être déposée sur un matériau rembourré adéquatement afin d'empêcher le déplacement durant le transport. Toutefois, en raison des conditions climatiques, le fabricant doit prendre les précautions nécessaires pour imperméabiliser chaque caisse afin de prévenir la détérioration de ce matériau de rembourrage et d'éviter que celui-ci ne colle à l'isolateur au point de provoquer des problèmes de nettoyage ou de bris au moment de l'installation. Si le fabricant le juge nécessaire, il peut bloquer les traversées au moyen de feuillards de nylon pour les maintenir fixes dans la caisse.

Pour les traversées sensibles à l'infiltration d'humidité pouvant affecter la tenue diélectrique (par exemple les traversées de type RIP), un réservoir de protection pressurisé en air sec ou azote sec doit être installé pour protéger la traversée pour un entreposage prolongé de plus de six mois.

Le fabricant doit prévoir un cordon de rallonge pour le chauffage de l'armoire de commande lors de l'entreposage d'une longueur d'au moins 2 mètres. Les accessoires, la tuyauterie et la boulonnerie doivent être rembourrés et expédiés dans des caisses fermées.

Les réservoirs d'expansion, les compartiments de changeurs de prises, l'équipement acoustique, les supports métalliques ainsi que le matériel étanche et traité contre la corrosion doivent être expédiés sur une base de type palette.

Les accessoires suivants doivent être emballés selon les prescriptions de la classe EM-2 de la SN-1.1 :

- tourelles et cheminées contenant des transformateurs de courant et scellées avec de l'air sec ou azote sec. Tous les secondaires des transformateurs de courant doivent être court-circuités et mis à la terre;
- parafoudres;
- pompes, relais de gaz, indicateur de niveau d'huile, indicateurs de température, indicateurs de flux d'huile, manomètres, indicateurs de position, conduits d'huile, joints d'expansion, robinets, résistances de mise à la terre (ces articles doivent être à l'intérieur de caisses fermées).

Les accessoires suivants doivent être emballés selon les prescriptions de la classe EM-3CH de la SN-1.1 :

- matériau et matériel d'isolation électrique tels que papier crêpé, bois, carton, papier isolant, garnitures, écran pare-effluves isolés au papier;
- matériau corrosif tel que diluant, peinture, colle, résine;
- dessiccateur au gel de silice;
- pièces de rechange.

## A Annexe A (normative) : Guide d'essai numérique

### Renseignements relatifs à la conception et la qualification des appareils à la tenue à l'arc interne.

#### A.1 Introduction

Le but de la présente annexe est de décrire comment la pression de conception doit être déterminée, de même que les méthodes de qualification acceptées par Hydro-Québec pour vérifier la résistance de la cuve et de ses accessoires à cette pression.

#### A.2 Méthodes de qualification acceptées pour la cuve principale

L'exigence de tenue à l'arc est basée sur la résistance de la cuve à la pression de conception dénotée par  $P_c$ . Cette pression est considérée uniforme et constante à tout moment à l'intérieur de la cuve.

La validation de cette exigence peut être établie par une des deux méthodes suivantes :

- par calcul, par la méthode des éléments finis statique non linéaire ;
- par essai, par pressurisation quasi statique de la cuve.

Les exigences relatives à chaque méthode sont décrites ci-après.

#### A.3 Détermination de la pression de conception

Peu importe la méthode de qualification retenue, la pression de conception doit être déterminée à l'aide d'un modèle éléments-finis représentant adéquatement la cuve et sa flexibilité. Ce modèle est appelé 'modèle global' et doit être réalisé selon les exigences de modélisation détaillées dans cette annexe, en particulier aux sections A.4.3 et A.4.4.

##### A.3.1 Formules de base

Les formules A.1 et A.2 sont à la base de la détermination de la pression de conception  $P_c$ . Dans un premier temps, la pression statique résultant de l'introduction de l'énergie de défaut dans la cuve est évaluée. Cette pression est déterminée dans une boucle incrémentale de calcul tenant compte des déformations plastiques qui se développent dans la cuve, selon la procédure décrite à la section A.3.2. La pression  $P_s$  est donnée par :

$$P_s = 100 \cdot \sqrt{0.25 + \frac{k' \cdot E}{C}} - 50 \quad (\text{A.1})$$

$P_s$  la pression statique due à l'énergie introduite dans la cuve (kPa)

$k'$  une constante adimensionnelle égale à  $5.5 \cdot 10^{-6}$

$E$  l'énergie du défaut selon la classe de tension de l'appareil (kJ), (réf. Tableau P1.13)

$C$  la flexibilité sécante de la cuve (m<sup>3</sup>/kPa), établie de façon incrémentale selon la procédure décrite à la section A.3.2.

La pression de conception  $P_c$  est établie en tenant compte des effets dynamiques suite à l'introduction rapide d'énergie dans la cuve pour un défaut d'arc d'une durée de 3 cycles (50 ms). La pression de conception  $P_c$  est donnée par :

$$P_c = FAD \cdot P_s + P_h \quad (\text{A.2})$$

avec :

- FAD le facteur adimensionnel d'amplification dynamique, tel qu'établi dans la procédure incrémentale décrite à la section A.3.2
- $P_h$  la pression hydrostatique moyenne dans la cuve, due à l'huile dans la cuve et le conservateur s'il y a lieu (kPa)

### ***A.3.2 Procédure pour déterminer la pression de conception***

La pression de conception  $P_c$  est déterminée selon l'algorithme illustré à la Figure A.1. Les intrants et éléments de l'algorithme sont décrits dans les sous-sections qui suivent.

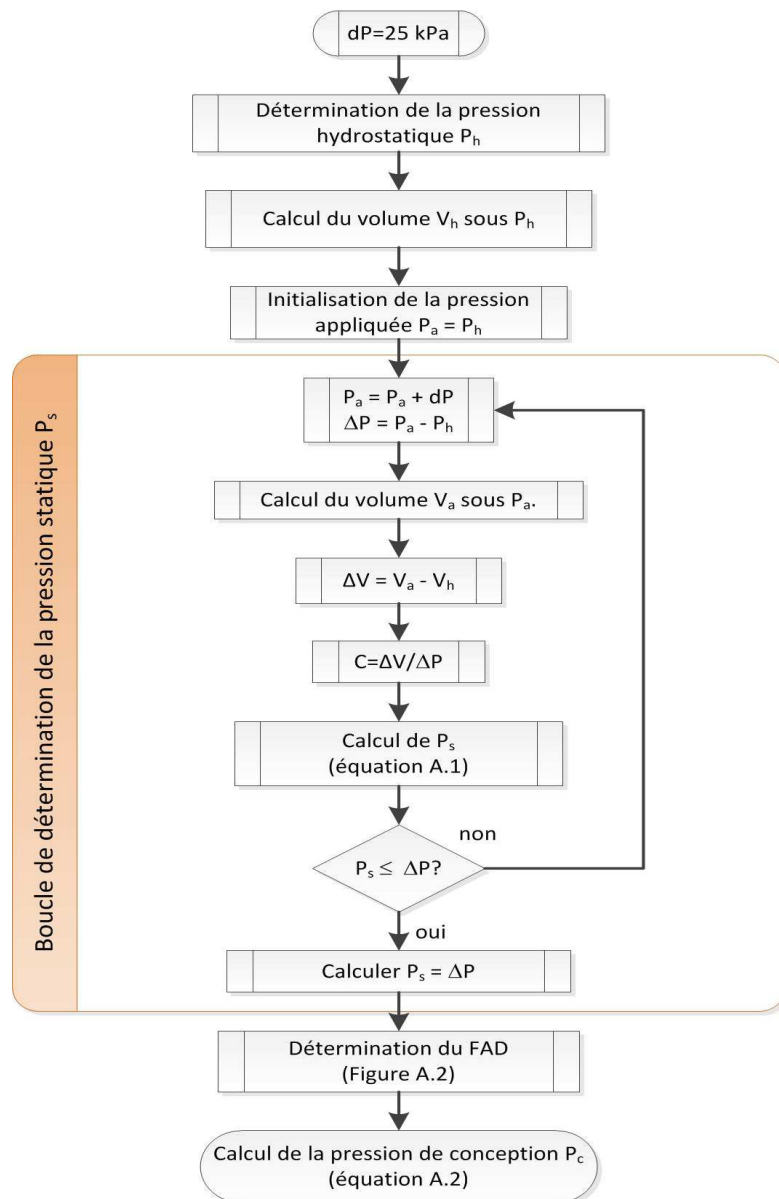


Figure A.1 : Détermination de la pression de conception

**A.3.2.1 Incrément de pression  $dP$** 

La solution du modèle global éléments-finis doit être évaluée par une procédure de calcul pas à pas dans laquelle la pression est augmentée de l'incrément  $dP$  à chaque pas. La valeur de  $dP=25$  kPa est l'incrément de pression minimal recommandé ; un incrément plus fin peut être utilisé.

**A.3.2.2 Détermination de la pression hydrostatique**

La pression hydrostatique moyenne dans la cuve doit être considérée. Elle est calculée avec la différence de hauteur du milieu du conservateur au milieu de la cuve. Si aucun conservateur n'est présent, la différence de hauteur est calculée du dessus de la cuve au milieu de celle-ci.

### A.3.2.3 Calcul du volume $V_h$ sous la pression hydrostatique

Le volume de la cuve sous la pression hydrostatique,  $V_h$ , doit être déterminé avec le modèle éléments-finis global. Par la suite, cette valeur sert de référence pour le calcul de la flexibilité sécante dans la boucle de calcul.

### A.3.2.4 Initialisation de la pression appliquée

Pour débiter la boucle de calcul déterminant la valeur de la pression statique  $P_s$ , la pression appliquée  $P_a$  est initialisée à la valeur de la pression hydrostatique  $P_h$ .

### A.3.2.5 Détermination de la pression statique $P_s$

La pression  $P_s$  est évaluée par une boucle de calcul dans laquelle la pression appliquée à l'intérieur de la cuve,  $P_a$ , est augmentée pas à pas par l'incrément de pression  $dP$ . À chaque pas, les quantités suivantes sont évaluées :

- $\Delta P$  le changement de pression par rapport à  $P_h$  :  $P_a - P_h$  ;
- $V_a$  le volume sous la pression appliquée  $P_a$  ;
- $\Delta V$  le changement de volume par rapport à  $V_h$  :  $V_a - V_h$  ;
- $C$  la flexibilité sécante :  $\Delta V / \Delta P$  ;
- $P_s$  la pression statique selon l'équation A.1, fonction de  $C$  et  $E$  ;

À la fin de chaque pas, on vérifie si la pression  $P_s$  calculée est égale ou inférieure à  $\Delta P$ . Dans le cas contraire, la pression appliquée est augmentée de  $dP$  et on réévalue la valeur de  $P_s$  par la boucle de calcul. Si c'est le cas, alors on sort de la boucle et on détermine par interpolation linéaire la valeur exacte de  $P_s$  telle qu'elle égale à  $\Delta P$ . Pour ce faire on utilise les valeurs de  $P_s$  et  $\Delta P$  du pas courant, avec celles du pas précédent. Pour simplifier, l'utilisateur peut aussi évaluer  $P_s$  à la valeur de  $\Delta P$  du pas courant.

Le calcul avec le modèle global doit cependant se poursuivre à des pressions supérieures pour obtenir les intrants requis à la détermination de la pression de rupture avec les sous-modèles. Il est recommandé de poursuivre le calcul jusqu'à au moins 2 fois la valeur de  $P_s$ .

### A.3.2.6 Détermination du facteur d'amplification dynamique

Une fois la pression  $P_s$  déterminée, le facteur d'amplification dynamique  $FAD$  est déterminé en fonction du rapport entre la flexibilité de la cuve  $C$  ( $\text{m}^3/\text{kPa}$ ) et le volume total d'huile dans la cuve  $V$  ( $\text{m}^3$ ),  $C/V$ , selon la Figure A.2. La valeur de flexibilité  $C$  à utiliser est la dernière valeur calculée à l'étape précédente lors de la détermination de  $P_s$ . Le volume  $V$  est le volume d'huile dans la cuve seule et n'inclut pas la quantité d'huile contenue dans les radiateurs, le conservateur et les autres accessoires externes à l'enveloppe de la cuve. Le facteur  $FAD$  représente les effets dynamiques de pression et de déformation des parois.

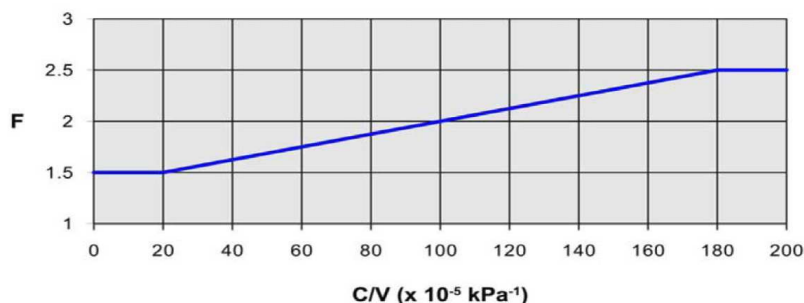


Figure A.2 : Détermination du facteur d'amplification dynamique

### A.3.2.7 Détermination de la pression de conception

Finalement, la pression de conception est déterminée avec  $P_s$ ,  $FAD$  et  $P_h$  selon l'équation A.2.

#### A.3.2.8 Exemple de calcul de la pression de conception

L'exemple porte sur un transformateur de puissance monophasé de 735 kV. Les paramètres intrants au calcul sont donnés au Tableau A.1.

**Tableau A.1 : Paramètres intrants pour l'exemple**

| Paramètre                       | Valeur            |
|---------------------------------|-------------------|
| Tension maximale                | 735 kV            |
| Énergie d'arc (Tableau 1.1) $E$ | 20,000 kJ         |
| Volume d'huile $V$              | 83 m <sup>3</sup> |
| Pression hydrostatique $P_h$    | 41 kPa            |

En premier lieu le volume interne de la cuve  $V_h$  sous la pression  $P_h$  de 41 kPa est évalué. Le Tableau A.2 présente les résultats du modèle éléments finis globaux pour le volume  $V_a$  sous la pression appliquée  $P_a$ , de même que l'évaluation des valeurs nécessaires dans la boucle de calcul pour évaluer  $P_s$ . La valeur  $V_a$  au pas 0 correspond au volume  $V_h$  sous la pression hydrostatique. Les pas subséquents correspondent aux valeurs évaluées dans la boucle de calcul. Il est observé que la condition de sortie de la boucle de calcul est atteinte au pas 8 pour laquelle la valeur  $P_s$  de 177 kPa est inférieure à la valeur  $\Delta P$  de 200 kPa ; la ligne correspondante est surlignée en vert dans le tableau. La solution a par la suite été évaluée et consignée dans le tableau jusqu'au pas 14 pour fins d'illustration.

Une fois la condition de sortie de la boucle atteinte, la valeur pour laquelle  $P_s = \Delta P$  est déterminé par l'intersection entre les droites passant entre les valeurs des pas 7 et 8 pour  $P_s$  et  $\Delta P$  ; la Figure A.3 illustre cette intersection. Pour  $P_s$  l'équation correspondante de la droite est :

$$P_s = 198 + \frac{177 - 198}{241 - 216} \cdot x = 198 - 0.84 \cdot x$$

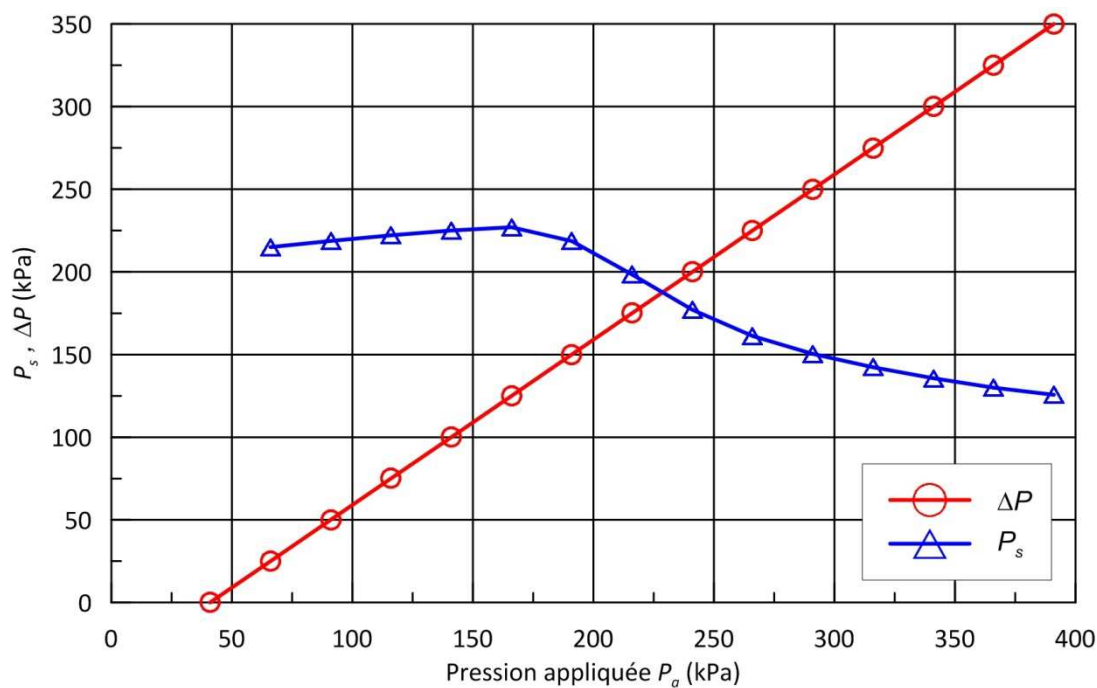
avec  $x$  l'incrément de pression appliquée à partir du point 7 ( $P_a=216$  kPa). Pour  $\Delta P$  l'équation est :

$$\Delta P = 175 + \frac{200 - 175}{241 - 216} \cdot x = 175 + x$$

En faisant l'égalité entre ces 2 équations, on trouve  $x = 12.5$ , ce qui correspond à  $P_s = \Delta P = 187.5$  kPa.

**Tableau A.2 : Données requises pour l'évaluation de la pression statique  $P_s$  pour l'exemple**

| Pas | $P_a$ (kPa) | $\Delta P$ (kPa) | $V_a$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta V$ (m <sup>3</sup> ) | $C$ (m <sup>3</sup> /kPa) | $P_s$ (kPa) | $P_s \leq P_a$ ? |
|-----|-------------|------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------|------------------|
| 0   | 41          | 0                | 103.563                 | na                           | na                        | na          | na               |
| 1   | 66          | 25               | 103.969                 | 0.406                        | 1.624E-02                 | 215         | NON              |
| 2   | 91          | 50               | 104.352                 | 0.789                        | 1.578E-02                 | 219         | NON              |
| 3   | 116         | 75               | 104.716                 | 1.153                        | 1.537E-02                 | 222         | NON              |
| 4   | 141         | 100              | 105.066                 | 1.503                        | 1.503E-02                 | 225         | NON              |
| 5   | 166         | 125              | 105.416                 | 1.853                        | 1.482E-02                 | 227         | NON              |
| 6   | 191         | 150              | 105.932                 | 2.369                        | 1.580E-02                 | 219         | NON              |
| 7   | 216         | 175              | 106.813                 | 3.250                        | 1.857E-02                 | 198         | NON              |
| 8   | 241         | 200              | 108.046                 | 4.483                        | 2.241E-02                 | 177         | OUI              |
| 9   | 266         | 225              | 109.443                 | 5.880                        | 2.613E-02                 | 161         | OUI              |
| 10  | 291         | 250              | 110.865                 | 7.302                        | 2.921E-02                 | 150         | OUI              |
| 11  | 316         | 275              | 112.333                 | 8.769                        | 3.189E-02                 | 142         | OUI              |
| 12  | 341         | 300              | 113.879                 | 10.316                       | 3.439E-02                 | 136         | OUI              |
| 13  | 366         | 325              | 115.523                 | 11.960                       | 3.680E-02                 | 130         | OUI              |
| 14  | 391         | 350              | 117.141                 | 13.578                       | 3.879E-02                 | 126         | OUI              |

**Figure A.3 : Détermination graphique de la pression statique  $P_s$  pour l'exemple**



Par la suite le facteur d'amplification dynamique est déterminé avec la valeur de flexibilité sécante de  $0.0224 \text{ m}^3/\text{kPa}$  au pas 8. Le rapport C/V correspondant est ici de  $27 \times 10^{-5} \text{ kPa}^{-1}$ . Le facteur d'amplification dynamique correspondant selon la Figure A.2 est de 1.54. La pression de conception est donc ici selon l'équation A.2 de :

$$P_c = FAD \cdot P_s + P_h = 1.54 \cdot 187.5 + 41 = 330 \text{ kPa}$$

## A.4 Qualification de la cuve par calcul

La méthode de calcul par éléments finis non linéaires doit être utilisée. Cette méthode doit tenir compte des non-linéarités géométriques et des non-linéarités de matériaux dans le domaine plastique. Le fabricant doit démontrer dans son rapport de qualification à la tenue à l'arc que la méthodologie utilisée répond intégralement aux exigences détaillées dans cette section.

### A.4.1 Système d'unités

Le système métrique international doit être utilisé dans la modélisation et le rapport de tenue à l'arc par calcul.

### A.4.2 Procédure générale

La procédure générale de calcul à suivre est illustrée à la Figure A.4. Dans un premier temps, le modèle global de la cuve doit être créé. Par la suite, des sous-modèles seront analysés pour déterminer la pression de rupture aux endroits d'intérêts où les déformations les plus élevées ont été identifiées dans le modèle global.

Le modèle global sert à :

- déterminer la pression de conception  $P_c$  ;
- déterminer les zones de plus fortes déformations pour identifier les sous-modèles requis ;
- obtenir les variations de déplacements qui seront appliquées aux frontières des sous-modèles.

Les sous-modèles servent à déterminer la pression de rupture  $P_r$ . Trois sous-modèles doivent obligatoirement être créés dans les régions suivantes :

**Région 1:** dans la (les) soudure (s) de l'assemblage du couvercle ;

**Région 2:** dans la jonction entre le fond de la cuve et la paroi verticale ;

**Région 3:** dans la jonction entre un raidisseur (interne ou externe) et la cuve, ou ailleurs dans la cuve selon l'endroit où la déformation est maximale en dehors des régions 1 et 2.

Ces sous-modèles doivent être centrés dans ces régions aux endroits des plus fortes déformations identifiées du modèle global.

La pression de rupture minimale  $P_r$  doit survenir obligatoirement dans la (les) soudure (s) de l'assemblage du couvercle (région 1) ; dans le cas contraire, la conception n'est pas considérée adéquate. La pression de rupture  $P_r$  doit aussi respecter l'exigence être d'au moins 15% supérieure à la pression de conception  $P_c$ .

La modélisation utilisée dans la procédure de qualification par calcul doit obligatoirement respecter les exigences détaillées dans les sous-sections suivantes.

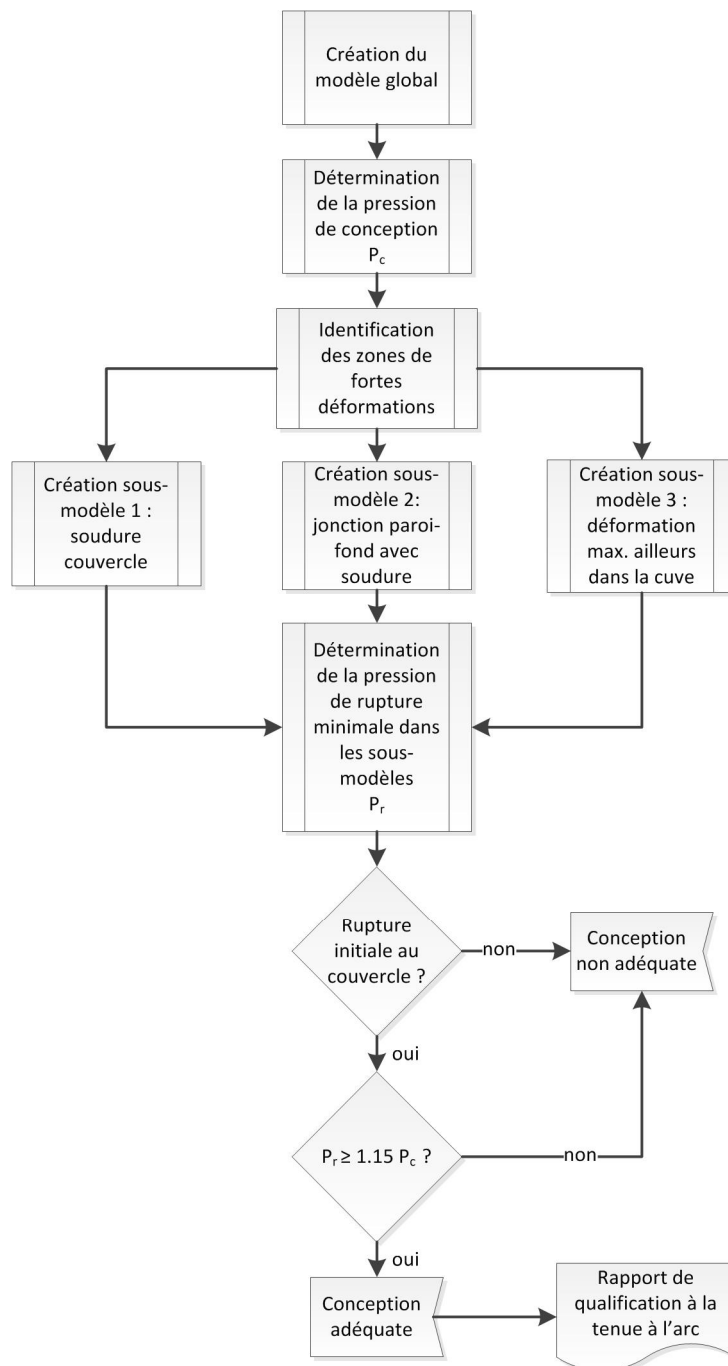


Figure A.4 : Procédure générale de calcul

#### A.4.3 Modélisation des matériaux

Les matériaux entrant dans le modèle global (et les sous-modèles) doivent être obligatoirement modélisés de façon bilinéaire avec les propriétés identifiées au Tableau A.3 et illustrées à la Figure A.5; la limite élastique et la contrainte ultime identifiées correspondent aux valeurs minimales normalisées de ces matériaux selon les normes identifiées. Les équivalences américaines et européennes de ces matériaux sont données au Tableau A.4. La définition des symboles utilisés au Tableau A.2 est la suivante :

- $E$  : module de Young ou module d'élasticité
- $\nu$  : coefficient de Poisson
- $S_y$  : limite élastique
- $S_u$  : contrainte ultime vraie<sup>2</sup>
- $\epsilon_u$  : déformation ultime vraie

Les courbes contraintes-déformations doivent toujours être modélisées avec les valeurs vraies et non les valeurs d'ingénierie. Après l'atteinte du point contrainte/déformation ultime, la valeur de la contrainte doit demeurer constante pour tout accroissement de déformation au-delà (lignes pointillées à la Figure A.5).

Dans le cas où un matériau ne se retrouve pas dans le Tableau A.3, les propriétés du matériau dont la limite élastique est inférieure ou égale à celle d'un matériau du tableau doivent être utilisées, en respectant la valeur de déformation ultime identifiée pour la classe de matériau au Tableau A.5.

**Tableau A.3 : Propriétés des matériaux à utiliser dans la modélisation**

| Matériau   | $E$<br>(GPa) | $\nu$ | $S_y$<br>(MPa) | $S_u$<br>(MPa) | $\epsilon_u$ | Norme                                      |
|------------|--------------|-------|----------------|----------------|--------------|--|
| 4340       | 200          | 0.30  | 740            | 993            | 0.066        | ASTM A322 4340                             |
| 44W        | 200          | 0.30  | 300            | 511            | 0.13         | CSA G40.20/G40.21-04 Type W                |
| 50W        | 200          | 0.30  | 350            | 519            | 0.14         | CSA G40.20/G40.21 Type W                   |
| 304L       | 200          | 0.30  | 172            | 770            | 0.47         | ASTM A167 type 304L                        |
| 316L       | 200          | 0.30  | 205            | 750            | 0.38         | ASTM A240/A240M (2013)                     |
| 309L       | 135          | 0.30  | 450            | 700            | 0.30         | AWS A5.4/A5.4M: 2006:<br>309/309L-15,16,17 |
| E70C-6M H4 | 200          | 0.30  | 400            | 531            | 0.10         | AWS A5.18/A5.18M: 2005                     |

<sup>2</sup> Les valeurs de  $S_u$  et  $\epsilon_u$  correspondent au point de la courbe contrainte-déformation d'un essai de traction uni axiale où la striction débute, converties de valeurs d'ingénierie en valeurs vraies.

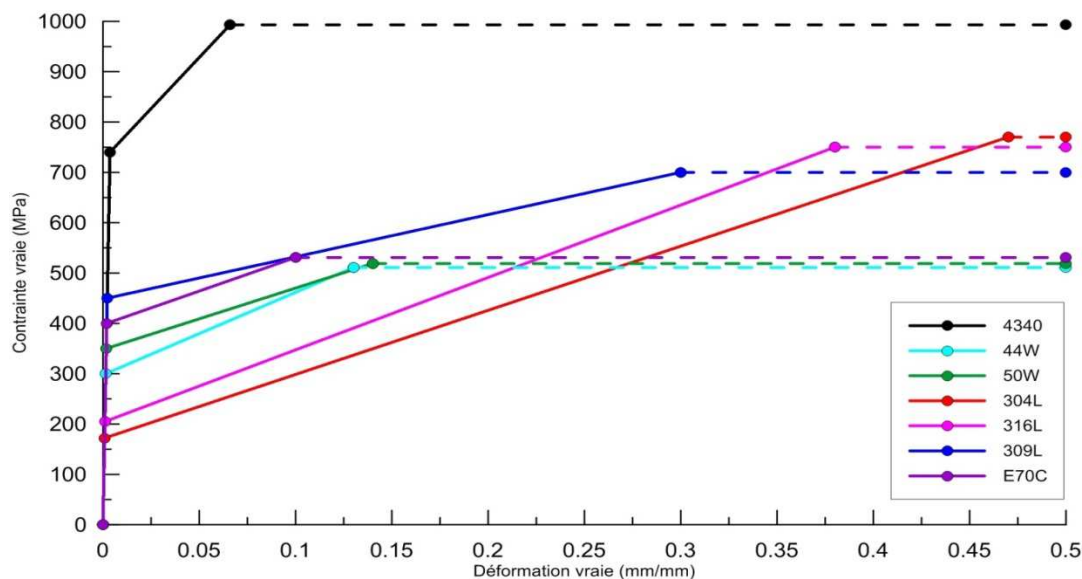


Figure A.5 : Courbes de matériaux normalisées pour la modélisation

Tableau A.4 : Équivalence des matériaux

| Matériaux                                       | Normes Canadiennes                   | Normes Américaines                         | Normes Européennes                        |
|---|--------------------------------------|--|---|
| <b>4340</b>                                     |                                      | ASTM A322-91 (2001) Gr4340                 | DIN 1.6582 / 34CrNiMo6                    |
| <b>44W</b>                                      | CSA G40.20/G40.21-04<br>44W/300W     | ASTM A572, Gr 42                           | s/o                                       |
| <b>50W</b>                                      | CSA G40.20/G40.21<br>50W/350W        | ASTM A572/A572M-18, Gr 50                  | EN 10025:2004<br>S355J2G3                 |
| <b>304L</b>                                     | s/o                                  | ASTM A240/A 240M-03c 304L                  | EN 10028-7:2000<br>X2CrNi19-11 1.4306     |
| <b>316L</b>                                     | s/o                                  | ASTM A240/A 240M-03c 316L                  | EN 10028-7:2000<br>X2CrNiMo17-12-2 1.4404 |
| <b>309L</b>                                     | CWB/CSA W48-06,<br>309/309L-15,16,17 | AWS A5.4/A5.4M: 2006:<br>309/309L-15,16,17 | DIN 8556 / E 23 12 LR 23                  |
| <b>E70C-6M H4</b><br>(95%Ar/5%CO <sub>2</sub> ) | CWB/CSA W48-06,<br>E491C-6MJ-H4      | AWS A5.18/A5.18M: 2005,<br>ASME SFA-A5.18: | EN ISO 17632-A (EN 758)<br>T 46 4 MM 1 H5 |

**Tableau A.5 : Déformation ultime à utiliser pour matériaux non identifiés au Tableau A.3**

| Classe de matériau                 | $\epsilon_u$ |
|------------------------------------|--------------|
| Acier structural doux              | 0.13         |
| Matériau d'apport acier doux       | 0.10         |
| Acier inoxydable                   | 0.35         |
| Matériau d'apport acier inoxydable | 0.30         |

**A.4.4 Exigences de modélisation du modèle global****A.4.4.1 Symétrie**

Il est permis de ne modéliser qu'une partie de la cuve si un ou des plans de symétrie sont présents par rapport à la flexibilité globale de la cuve.

**A.4.4.2 Options de modélisation**

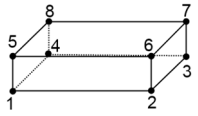
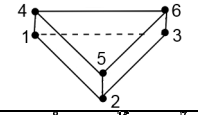
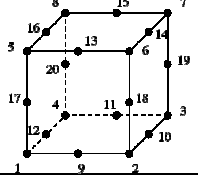
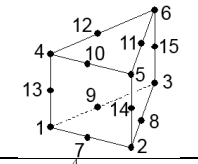
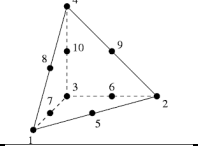
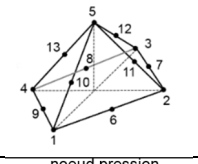
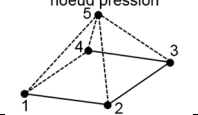
L'option grande déformation et l'option de non-linéarité des matériaux doivent être activées.

**A.4.4.3 Types d'éléments finis permis**

**Le modèle global doit obligatoirement être maillé avec des éléments tridimensionnels (3D) ; l'utilisation des éléments de type coque (2D) n'est pas permise.** Les différentes parties de la cuve doivent être modélisées avec les éléments et spécifications donnés au Tableau A.6. Selon la partie modélisée, plus d'un type d'élément est permis ; le nom des éléments dans les logiciels *ANSYS Mechanical* et *MSC NASTRAN* est indiqué.

Les éléments 3D de type hexaédrique à 8 nœuds (ou éléments dégénérés) de fonction de forme linéaire ne sont pas permis en aucun cas.

Tableau A.6 : Types d'élément permis et spécifications d'utilisation

| Type                              | Désignation | Nombre de nœuds | Fonction de forme | Illustration   | Dénomination ANSYS | Dénomination NASTRAN | Élément dégénéré permis | Permis pour                                      |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|-------------------|--|--------------------|----------------------|-------------------------|--|
| Coque volumique 3D                | CV8n        | 8               | linéaire          |    | SOLSH190           | s/o                  | CV6n                    | murs, couvercle, fond, raidisseurs               |
| Prisme coque volumique            | CV6n        | 6               | linéaire          |    | SOLSH190           | s/o                  | s/o                     | murs, couvercle, fond, raidisseurs               |
| Hexaèdre 20 nœuds                 | HEX20n      | 20              | quadratique       |    | SOLID186           | CHEXA                | PRI15n<br>PYR13n        | murs, couvercle, fond, raidisseurs et soudures   |
| Prisme (élément de transition)    | PRI15n      | 15              | quadratique       |    | SOLID186           | CHEXA                | s/o                     | zones de transition dans la cuve et les soudures |
| Tétraèdre (élément de transition) | TET10n      | 10              | quadratique       |   | SOLID 187          | CTETRA               | s/o                     | zones de transition dans la cuve et les soudures |
| Pyramide (élément de transition)  | PYR13n      | 13              | quadratique       |  | SOLID186           | CHEXA                | s/o                     | zones de transition dans la cuve et les soudures |
| Fluide hydrostatique              | FL5n        | 5               | linéaire          |  | HSFLD242           | s/o                  | s/o                     | calcul du volume de la cuve                      |

#### A.4.4.4 Zones de maillage et transition entre celles-ci

Le maillage global est généralement constitué de deux types de zones qui diffèrent par la taille des éléments utilisés :

- **Zone raffinée** : zone où la taille des éléments du maillage est fine pour capturer adéquatement des changements rapides de déformation. Les soudures entrant dans le modèle global doivent toujours être dans une zone raffinée.
- **Zone externe** : zone où la taille des éléments est significativement plus grande que dans la zone raffinée pour limiter la taille du maillage (nombre d'éléments utilisés), tout en capturant généralement la réponse de la cuve à la surpression.

Dans le modèle global, la zone raffinée est dédiée à la modélisation des soudures du couvercle, de même qu'une partie des pièces immédiatement en contact avec celles-ci. La zone externe est utilisée pour le maillage du reste de la cuve. Il est toutefois permis de modéliser d'autres endroits de la cuve en zone raffinée avec la taille d'éléments correspondante.

Les tailles maximales permises des éléments dans les deux types de zones sont indiquées au Tableau A.7. Les dimensions indiquées correspondent à celles permises pour les **longueurs d'arête** des éléments. En autant que possible, l'utilisation d'éléments de taille uniforme est recommandée dans ces zones, sauf pour une transition entre celles-ci telle que décrit ci-après.

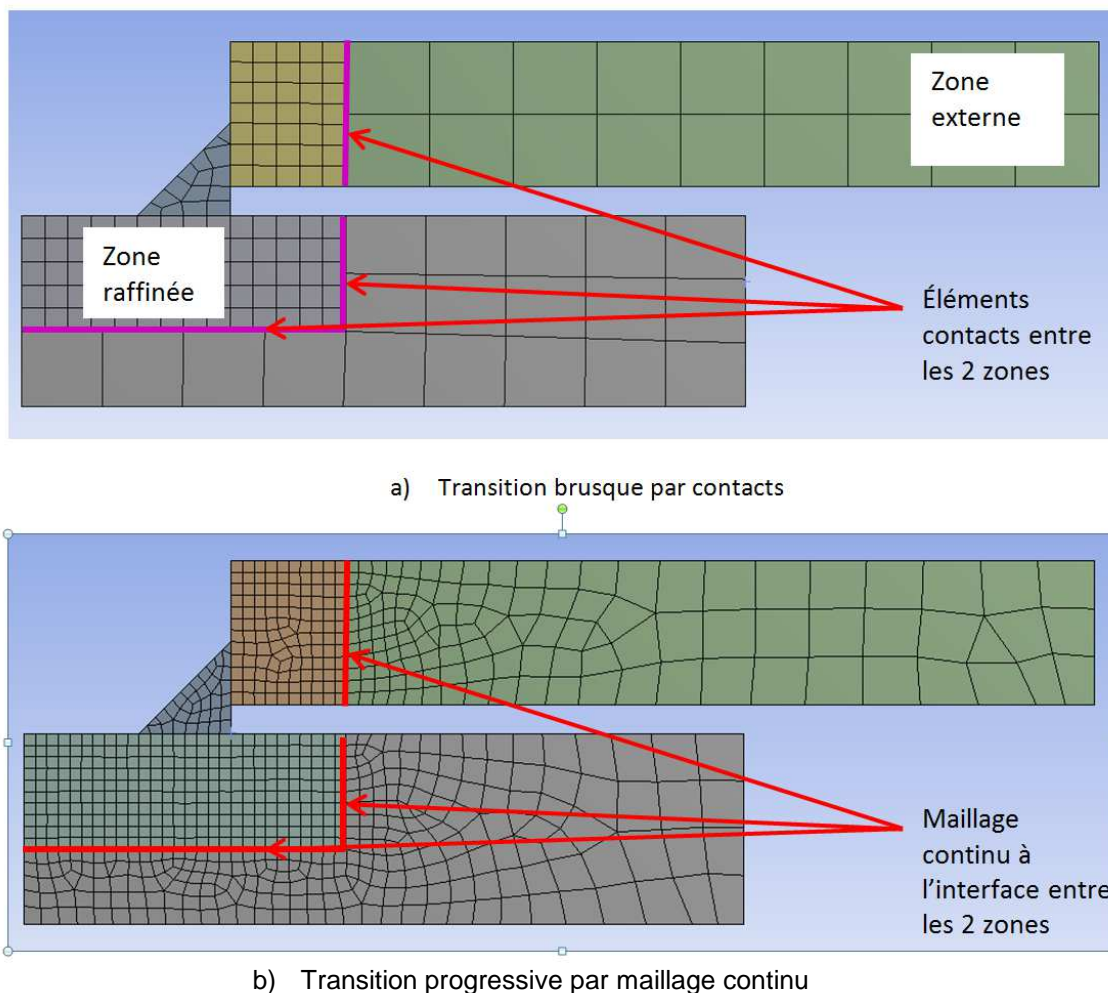
**Tableau A.7 : Tailles d'arête maximales permises dans les zones du maillage global**

|                      |       |
|----------------------|-------|
| <b>Zone raffinée</b> | 5 mm  |
| <b>Zone externe</b>  | 40 mm |

La transition entre ces zones peut se faire de deux façons :

- **Transition brusque** : transition faite par **éléments contacts** où la taille du maillage change brusquement entre les deux types de zone. Dans ce type de transition, les nœuds des éléments aux interfaces entre les 2 zones ne sont pas communs (i.e non partagés entre les éléments adjacents), même si ces nœuds peuvent occuper physiquement le même endroit.
- **Transition progressive** : transition faite par maillage continu où la taille du maillage change progressivement de dimension entre les deux types de zones. Dans ce type de transition, les nœuds des éléments aux interfaces entre les 2 zones sont communs.

La Figure A.6 donne des exemples des deux types de zones et des deux types de transition possibles.



**Figure A.6 : Transition de maillage entre zone raffinée et zone externe**

#### **A.4.4.5 Dimensions minimales de la zone raffinée**

Dans le modèle global, la zone raffinée doit s'étendre d'un **minimum** de 20 mm dans les directions perpendiculaire au cordon de (des) soudure (s), tel qu'illustré à la Figure A.7.



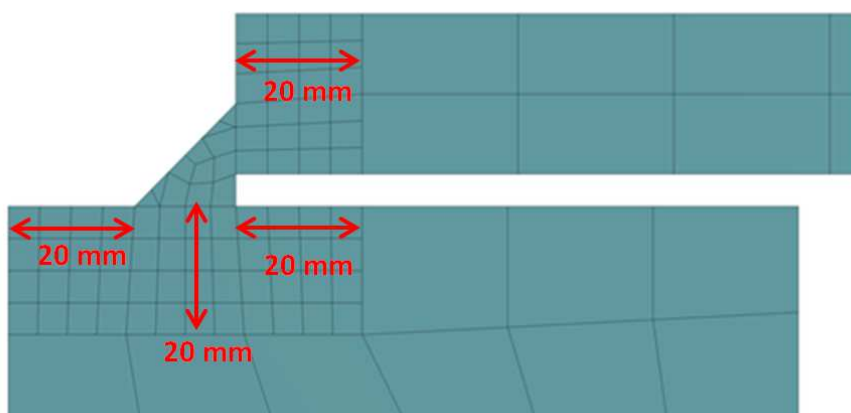


Figure A.7 : Dimensions minimales de la zone raffinée dans le modèle global

#### A.4.4.6 Maillage des soudures dans la zone raffinée

Dans la zone raffinée, le maillage doit être continu aux interfaces couvercle-soudure, bride-soudure, ou jupette-soudure; **les éléments contacts ne sont pas permis pour lier la (les) soudure(s) aux autres parties**. Des exemples de modélisation de soudures sont présentés aux figures suivantes ; les traits rouges y représentent les endroits où le maillage des soudures doit être continu avec les pièces adjacentes.

Il est aussi important de vérifier qu'aucun élément de contact n'est actif aux interfaces bride-jupette et couvercle-jupette qui ne sont pas liées par des soudures (voir en bleu à la Figure A.9), car sinon un lien non physique sera créé; pour ce faire, il est recommandé de laisser un jeu artificiel minime entre ces parties.

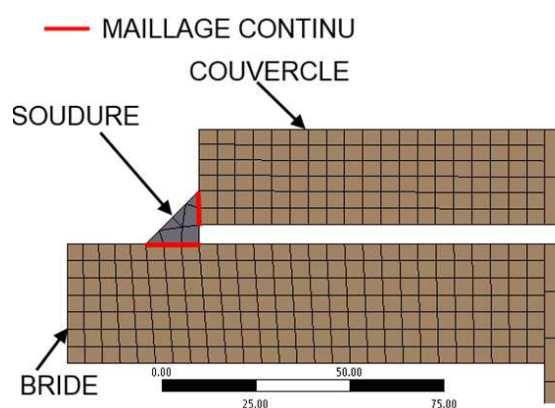
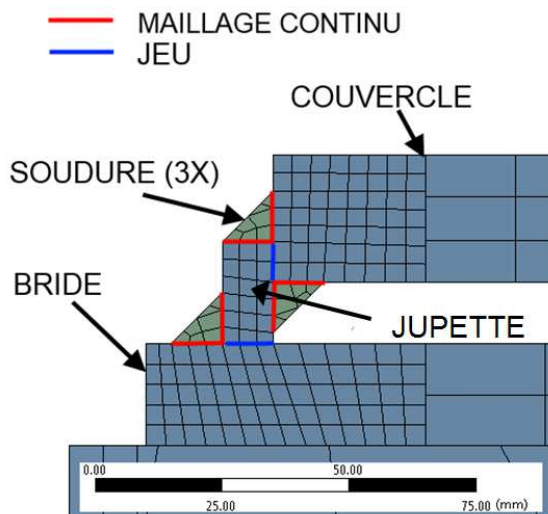


Figure A.8 : Modélisation des soudures dans la zone raffinée – sans jupette



**Figure A.9 : Modélisation des soudures dans la zone raffinée – avec jupette**

#### **A.4.4.7 Nombre d'éléments de transition entre les zones raffinée et externe**

Tel qu'indiqué au Tableau A.6, certains éléments ne sont réservés que pour la transition entre les deux types de zones. Le nombre des éléments de transition doit respecter la règle suivante :

- Ils ne devraient pas constituer plus de 5% des éléments dans la zone raffinée et dans la zone externe (le % étant calculé séparément pour chaque zone).

#### **A.4.4.8 Nombre de points d'intégration pour les éléments coque volumiques**

Dans le cas des éléments de type coque volumique, un minimum de 5 points d'intégration doit être utilisé sur l'épaisseur par couche d'éléments. Une seule couche d'élément de type coque volumique est nécessaire dans la zone externe, sauf lorsque la pièce est en contact avec la zone raffinée, et qu'un ratio de taille d'éléments doit être respecté tel que détaillé à la prochaine section.

#### **A.4.4.9 Transition par contact entre zones raffinées et externes**

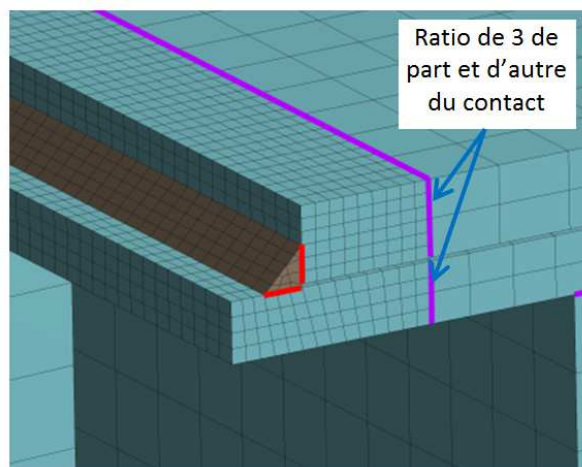
Dans le cas d'une transition brusque par éléments contacts, les tailles d'arête des éléments de part et d'autre du contact doivent respecter l'exigence suivante :

- le ratio de la taille d'arête entre les solides de la zone externe de la zone raffinée liés par contact ne doit pas dépasser 3.

Par exemple, tel qu'illustré à la Figure A.10 pour un contact entre la partie du couvercle dans la zone raffinée, et le reste du couvercle d'épaisseur de 30 mm dans la zone externe, on utilisera deux couches d'éléments volumiques pour obtenir des arêtes de 15 mm dans la zone externe, correspondant à un ratio de 3 avec les éléments adjacents d'arête de 5 mm.

Dans le logiciel *ANSYS Mechanical*, les paramètres à utiliser pour les zones de contact sont les valeurs par défaut, soit :

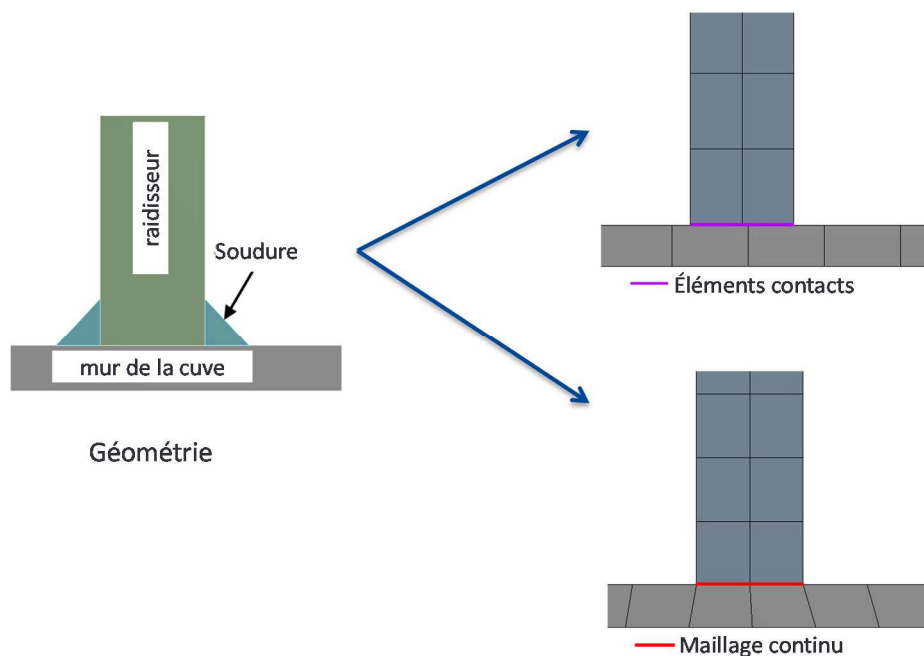
- algorithme de contact algorithme : méthode du Lagrangien augmentée ;
- détection des contacts : points de Gauss ;
- facteur de rigidité (FKN) : 10.0 ;
- facteur de pénétration (FTOLN) : 0.10.



**Figure A.10 : Exemple de transition brusque respectant le ratio de taille d'arête requis**

#### **A.4.4.10 Modélisation des soudures ailleurs qu'au niveau du couvercle**

La modélisation des soudures dans le modèle global ailleurs qu'au niveau du couvercle (par exemple entre raidisseurs et parois) est facultative. Il est plutôt recommandé de modéliser le lien créé par celles-ci par des maillages continus ou des contacts, sans modéliser le volume occupé par la soudure les reliant. La Figure A.11 illustre les façons possibles de modéliser leur effet.



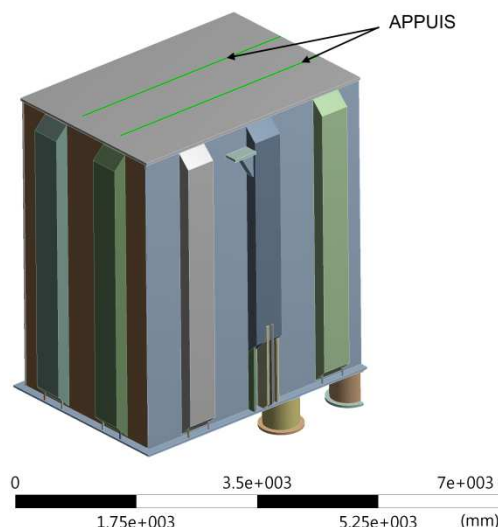
**Figure A.11 : Options de modélisation de soudures ailleurs qu'au couvercle dans le modèle global**

#### A.4.4.11 Conditions frontières pour les appuis de la cuve

Les conditions frontières (appuis) à utiliser doivent correspondre approximativement aux conditions d'installation de l'appareil. Par exemple, pour un transformateur soudé sur des rails ancrés à un socle de béton, on fixera tous les nœuds de la structure correspondant à ceux soudés sur les rails.

Les conditions d'appuis requises sont de fixer rigidement tous les degrés de liberté en translation. Un exemple d'application d'appuis est illustré à la Figure A.12.

Le fabricant demeure libre d'utiliser les conditions aux appuis qu'il juge réaliste; il doit simplement le justifier dans son analyse et son rapport.



**Figure A.12 : Exemple de définition d'appuis pour une cuve (vue du fond de la cuve)**

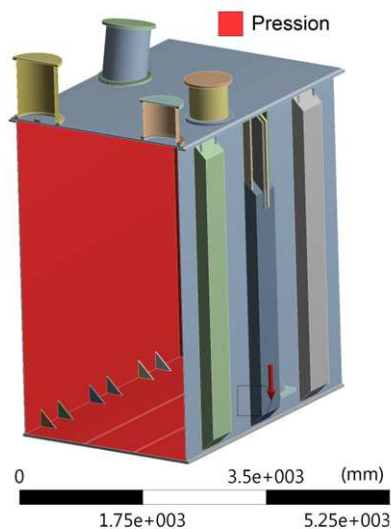
#### A.4.4.12 Chargements

Les chargements suivants doivent être considérés dans le calcul :

- la pression appliquée  $P_a$  ;
- l'accélération gravitationnelle, appliquée sur la masse de la cuve, de même que la masse des principaux composants externes.

La pression  $P_a$  doit être appliquée de façon incrémentale par une succession de pas de chargements, selon l'algorithme détaillé à la Figure A.1 et illustré à la Figure A.3. Cette pression doit être appliquée uniformément sur toutes les surfaces internes de la cuve (Figure A.13).

L'accélération gravitationnelle est appliquée selon l'axe vertical de la cuve en tant que charge statique permanente pendant tous les pas de chargements de la pression. La masse des principaux composants attachés à la cuve que sont les traversées haute tension, radiateurs, conservateurs et autres doit être considérée ; la masse des accessoires de moins de 100 kg peut être négligée. L'effet des composants considérés peut être appliqué sous forme de masse ponctuelle aux points d'attache correspondants sur la cuve, de même que par les moments induits correspondants dans le cas où la masse est fortement excentrée de son point d'application sur la cuve (par exemple pour le conservateur). Il est acceptable aussi de le faire en modélisant l'accessoire d'un maillage plus grossier plutôt que d'utiliser une masse ponctuelle.



(La pression est appliquée sur les 3 côtés de la cuve ici, sur le fond et sous le couvercle – seule l'application sur 1 côté et le fond est ici illustrée – surfaces en rouge).

**Figure A.13 : Surfaces d'application de la pression**

#### **A.4.5 Exigences de modélisation pour sous-modèles**

Les sous-modèles sont utilisés pour déterminer la pression de rupture minimale dans la cuve. Les exigences pour la création des sous-modèles sont décrites dans les sous-sections qui suivent. Plusieurs des exigences sont semblables à celle du modèle global.

##### **A.4.5.1 Taille minimale des sous-modèles**

Les sous-modèles doivent avoir une taille **minimale** de 500 mm x 500 mm x 500 mm centrés sur les zones de fortes déformations<sup>3</sup>.

##### **A.4.5.2 Types d'éléments finis permis**

Seuls des éléments de type solide (3D) peuvent être utilisés dans les sous-modèles ; tous les éléments doivent avoir des fonctions de forme quadratique (Tableau A.6).

##### **A.4.5.3 Zones de maillage et transition entre celles-ci**

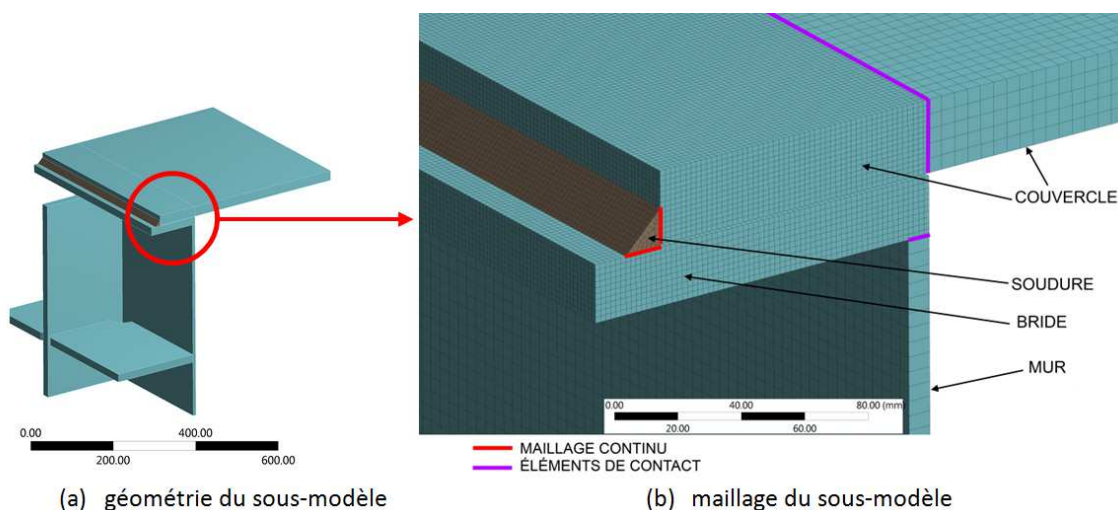
Tout comme pour le modèle global et pour les mêmes raisons, les sous-modèles sont habituellement constitués de deux zones avec maillages de taille d'arête différente, soit la 'zone raffinée' où la taille d'arête est très fine et la 'zone externe' où le maillage est plus grossier. La zone raffinée doit être centrée à l'endroit où les déformations sont les plus élevées et doit obligatoirement comprendre toutes les soudures du sous-modèle. L'utilisation de deux tailles d'arête permet de réduire la taille des sous-modèles et la durée de calcul. Les tailles maximales permises des arêtes dans ces zones sont indiquées au Tableau A.8 ; une taille de 1 mm est préférable dans la zone raffinée si la taille du modèle demeure adéquate pour un temps de calcul acceptable.

<sup>3</sup> Une taille de 500 x 500 x 500 mm est normalement suffisante, à moins qu'il soit nécessaire d'agrandir la zone pour simplifier le sous-modèle (pour éviter par exemple de couper la moitié d'un raidisseur).

**Tableau A.8 : Tailles d'arête maximales permises dans les zones des sous-modèles**

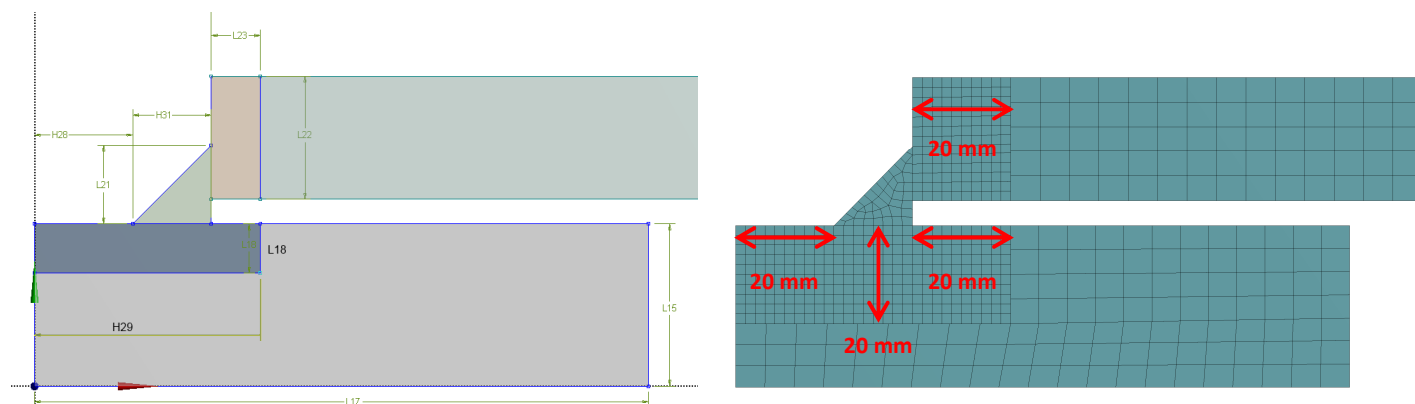
|                      |      |
|----------------------|------|
| <b>Zone raffinée</b> | 2 mm |
| <b>Zone externe</b>  | 5 mm |

La transition entre ces zones peut se faire de la même façon que pour le modèle global, soit par transition **brusque** ou **progressive**. La Figure A.14 illustre un exemple de sous-modèle au niveau de la soudure du couvercle, de même que les 2 types de zones avec une transition brusque entre celles-ci.

**Figure A.14 : Exemple d'un sous-modèle autour de la soudure**

#### A.4.5.4 Dimensions minimales de la zone raffinée

Dans les sous-modèles, la zone raffinée doit s'étendre sur un *minimum* de 20 mm dans le plan de coupe perpendiculaire à la longueur de la (des) soudure (s), à partir de l'interface des soudures présentes (ou du point de déformation maximal identifié dans le modèle global si des soudures ne sont pas présentes), telle qu'illustrée à la Figure A.15.

**Figure A.15 : Dimensions minimales de la zone raffinée dans un sous-modèle**

#### **A.4.5.6 Maillage des soudures dans la zone raffinée**

Les règles suivantes s'appliquent pour la modélisation des soudures dans les sous-modèles :

- toutes les soudures dans le sous-modèle doivent être totalement comprises dans la zone raffinée ;
- toutes les soudures présentes en pratique doivent faire partie des sous-modèles, même si elles n'ont pas été modélisées dans le modèle global ;
- comme pour le modèle global, le maillage doit être continu (sans contact) entre toutes les parties entrant dans la zone raffinée (par exemple entre la soudure et le couvercle), tel qu'illustré à la Figure A.14 ;
- la zone raffinée doit s'étendre sur toute la largeur du sous-modèle dans la direction de la longueur de la (des) soudure (s).

#### **A.4.5.7 Nombre d'éléments de transition entre les zones raffinée et externe**

Tel qu'indiqué au Tableau A.6, certains éléments ne sont réservés que pour la transition entre les deux types de zones. Le nombre des éléments de transition doit respecter la règle suivante :

- Ils ne devraient pas constituer plus de 5% des éléments dans la zone raffinée et dans la zone externe (le % étant calculé séparément pour chaque zone).

#### **A.4.5.8 Transition par contact entre zones raffinées et externes**

Dans le cas d'une transition brusque par éléments contacts, les tailles d'arête des éléments de part et d'autre du contact doivent respecter l'exigence suivante :

- le ratio de la taille des arêtes entre les solides liés par contact ne doit pas dépasser 3.

Les paramètres de contrôle à utiliser dans la modélisation pour les zones de contact sont les mêmes que pour le modèle global (section A.4.4.10).

### **A.4.6 Détermination de la pression de rupture**

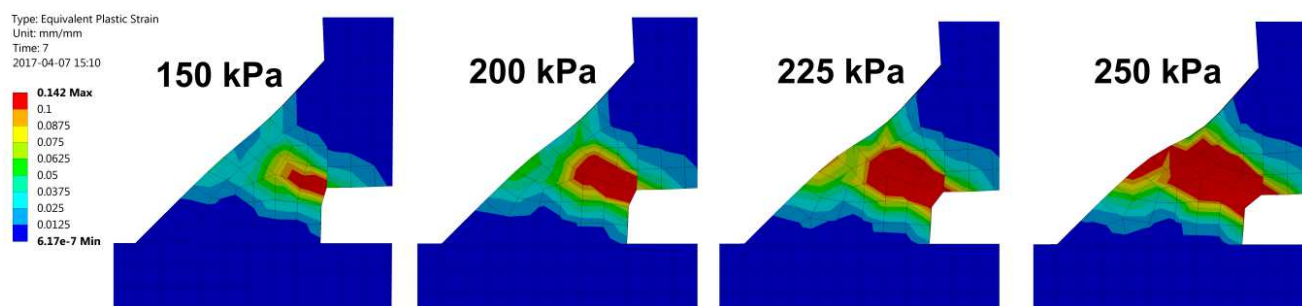
Les sous-modèles sont analysés pour déterminer la pression de rupture dans ceux-ci à partir de l'application incrémentale des déplacements extraits du modèle global sur leurs frontières, correspondant aux incréments de pression pour lesquels le modèle global a été évalué.

#### **A.4.6.1 Critère de rupture**

Le critère de rupture à considérer est basé sur la **déformation ultime vraie** du matériau sous étude. La déformation équivalente de Von Mises doit être utilisée. La contrainte ultime vraie n'est pas acceptée comme critère de rupture. Le critère de rupture à considérer dans les sous-modèles est l'atteinte et/ou le dépassement de la déformation ultime vraie du matériau considéré sur l'épaisseur complète dans une pièce ou une soudure.

La Figure A.16 illustre l'atteinte progressive de la rupture dans une soudure d'un sous-modèle avec l'augmentation de la pression ; la pression de rupture ici est de 250 kPa. L'affichage en coupe du champ de déformation plastique permet d'établir la pression de rupture lors de l'atteinte du critère établi sur toute l'épaisseur de la gorge (valeur de déformation ultime vraie de 10 % dans l'exemple ici). Le plan de coupe doit se faire où les valeurs de déformations sont maximales dans le sous-modèle.





**Figure A.16 : Exemple d'atteinte du critère de rupture dans la gorge d'une soudure d'un sous modèle**

#### **A.4.6.2 Détermination de la zone de rupture**

Les résultats sur les plans de coupe des sous-modèles où les déplacements du modèle global sont appliqués ne peuvent être utilisés dans cette analyse, vu que des discontinuités numériques menant à des déformations artificielles peuvent y survenir. Ces plans ne devraient donc pas contenir des zones de déformations élevées, ce qui est généralement obtenu lorsque le sous-modèle est centré sur la zone de fortes déformations. Par contre si le plan de coupe correspond à un plan de symétrie du modèle global, les résultats sur ce plan peuvent être utilisés, car aucun déplacement n'y est appliqué.

Dans le cas où plus d'une soudure fait partie de l'assemblage du couvercle, par exemple dans le cas d'un montage avec jupette (Figure A.9), l'atteinte du critère de rupture dans une seule soudure est suffisante pour conclure à la rupture. L'atteinte de la rupture dans une soudure d'un raidisseur interne ou externe qui ne provoque pas l'ouverture de la paroi de la cuve et une fuite d'huile est acceptable (i.e. un raidisseur peut se détacher localement de la paroi sans provoquer une fuite d'huile).

Dans le cas où la rupture est d'abord identifiée dans le sous-modèle représentant l'assemblage du couvercle, sans être survenue dans les autres à la même pression, il n'est pas obligatoire de poursuivre la détermination de la pression de rupture dans ces derniers. Dans ce cas, il faudra alors indiquer et illustrer dans le rapport de l'essai l'état des déformations maximales sur l'épaisseur dans ces sous-modèles à la pression de rupture du couvercle, et démontrer que la rupture n'est pas atteinte dans ces derniers à cette pression.

#### **A.4.6.3 Vérification de la rupture au niveau du couvercle**

Tel qu'indiqué dans la procédure générale de calcul à la Figure A.4, il doit être démontrée que la pression de rupture minimale doit survenir au niveau de l'assemblage du couvercle.

#### **A.4.6.4 Vérification de la relation requise entre la pression de rupture et la pression de conception**

Tel qu'indiqué dans la procédure générale de calcul à la Figure A.4, il doit être démontrée que la pression de rupture minimale doit être d'au moins 15 % supérieure à la pression de conception,  $P_c$ . La relation suivante doit donc être vérifiée :

$$P_r \geq 1.15 \cdot P_c$$



## A.5 Qualification de la cuve par essai

Alternativement à la qualification par calcul, la cuve peut être qualifiée par un essai de pressurisation quasi-statique. La procédure d'essai doit être discutée et fournie à Hydro-Québec pour approbation préalablement à la réalisation de l'essai.

### A.5.1 Système d'unités

Le système métrique international doit être utilisé dans le rapport de tenue à l'arc par essai.

### A.5.2 Détermination de la pression de conception

Dans la qualification par essai, la pression à utiliser est la pression de conception  $P_c$  obtenue par calcul selon la méthode des éléments finis, tel que selon la procédure décrite à la section A.3

### A.5.3 Procédure générale d'essai

La cuve doit être vidée de son contenu (partie active), sauf des éléments contribuant à la rigidité structurale de la cuve (par exemple : supports de la partie active soudés au couvercle). La cuve doit être libre de ses principaux accessoires (conservateur, radiateurs, traversées, etc.) et tous les orifices correspondants sur la cuve doivent être scellés hermétiquement. Pour l'essai, les dispositifs de décharge de la pression doivent être enlevés et les orifices correspondants doivent être scellés hermétiquement. Les trous d'accès et petits accessoires boulonnés sur l'enveloppe de la cuve peuvent être conservés en autant que le fabricant puisse garantir qu'ils demeureront étanches jusqu'à la rupture de la cuve dans l'essai.

La montée de pression est créée par une injection de liquide (eau) à l'aide d'une pompe hydraulique ou d'un autre dispositif. Dans un premier temps, la pression est augmentée sans interruption jusqu'à la pression de conception  $P_c$  afin de tester l'étanchéité de la cuve. Elle doit être maintenue pour un minimum de 60 s. Par la suite, la pression doit être augmentée jusqu'à la rupture de façon à vérifier que le couvercle cède bien en premier, et de vérifier le respect du rapport requis de 1.15 entre la pression de rupture et la pression de conception (section 5.4.3.3).

Un essai de tenue à l'arc électrique dans l'huile ne peut être accepté comme essai de qualification étant donné la variation d'énergie pouvant survenir même pour des paramètres constants de courant et durée du défaut (la résistance d'arc étant variable), de même qu'à cause de la variation inhérente aux différentes positions où le défaut pourrait être créé.

### A.5.4 Instrumentation requise

Le volume de liquide injecté doit être mesuré. La pression doit être mesurée dans la cuve pendant l'essai en un minimum de 3 positions (haut, milieu, bas de la cuve par exemple). La courbe de volume de liquide injecté (changement de volume) versus changement de pression pendant l'essai doit être obtenue et incluse dans le rapport de qualification.

L'essai doit être filmé par caméra numérique; une copie du fichier doit être fournie à Hydro-Québec avec le rapport de qualification.

## A.6 Qualification des accessoires

### A.6.1 Qualification et pression maximale

Les accessoires externes à la cuve principale (attachés ou non sur la cuve) et présentant un potentiel de fuite d'huile doivent maintenir leur étanchéité sans projection ou détachement suite à un défaut d'arc. La qualification des accessoires consiste dans un premier temps à déterminer leur pression maximale d'opération ou de rupture ; le terme 'pression maximale' et l'abréviation  $P_{max}$  étant utilisés de façon

générique dans ces deux cas.

La pression maximale d'un accessoire peut être déterminée par l'une des 3 méthodes suivantes :

1. par un essai de pressurisation statique jusqu'à la perte d'étanchéité ou rupture de l'accessoire ;
2. selon la pression maximale d'opération à 100 °C correspondant à la classe du composant selon un organisme de normalisation reconnu (ANSI, ASTM, ASME, etc.), ou encore la pression maximale d'opération spécifiée par son fabricant. Dans ce dernier cas, la détermination de cette pression doit être justifiée et documentée adéquatement, et doit contenir un facteur de sécurité d'au moins 2 si la détermination a été faite par calcul.
3. par une méthode reconnue de calcul, par exemple par calcul analytique pour un assemblage boulonné ;

Un accessoire dont la pression maximale est déterminée par la méthode 1. ou 2. ci-avant est considéré comme qualifié si sa pression maximale est supérieure à 1.15 fois la pression de conception  $P_c$ , soit :

$$P_{\max} \geq 1.15 \cdot P_c$$

ou

$$\frac{P_{\max}}{1.15 \cdot P_c} \geq 1$$

Un accessoire dont la pression maximale est déterminée par la méthode 3. ci-avant est considéré comme qualifié si sa pression maximale est supérieure à 1.15 fois la pression de conception, **avec un facteur de sécurité de 2**, soit :

$$P_{\max} \geq 2 \cdot 1.15 \cdot P_c$$

ou

$$\frac{P_{\max}}{1.15 \cdot P_c} \geq 2$$

Il est important de noter qu'un même accessoire peut être qualifié pour une certaine cuve mais non pour une autre, vu que la pression de conception d'une cuve varie.

Si un accessoire est sous le critère  $FS > 2$  et qu'il n'y a pas d'alternative, une dérogation peut être demandée avec la justification expliquant la situation.

#### **A.6.2 Pression maximale d'un accessoire composé de plusieurs composants indépendants**

La pression maximale d'un accessoire complexe composé de plusieurs composants indépendants peut être déterminée comme la valeur la plus faible des pressions maximales individuelles de chacun de ses composants. Par exemple pour un échangeur de chaleur, les pressions maximales d'un des échangeurs, d'une des conduites, de la pompe, etc., peuvent être déterminées individuellement, plutôt que de faire un essai sur l'accessoire assemblé avec tous ses composants.

### **A.6.3 Accessoires dont la pression maximale a déjà été déterminée**

La détermination de la pression maximale d'un accessoire qui a déjà été faite n'a pas besoin d'être répétée, en autant qu'elle est documentée dans un rapport déjà en possession d'Hydro-Québec et référencée adéquatement dans le rapport de tenue à l'arc de la cuve sous étude. L'accessoire en question demeurera qualifié en autant que sa pression maximale respecte les exigences de la section A.6.1.

### **A.6.4 Détermination de la pression maximale d'accessoires par famille**

La pression maximale d'accessoires dont les caractéristiques de construction sont les mêmes (mêmes épaisseurs, mêmes matériaux, mêmes tailles de soudure, etc.) mais qui diffèrent seulement par leur taille géométrique peut être déterminée comme la même pour toutes les tailles de la famille, en prenant la pression maximale du plus gros élément. Par exemple, la qualification d'une famille de radiateurs de même construction peut se faire pour l'ensemble par un essai de pressurisation statique sur le plus gros de la famille.

### **A.6.5 Accessoires et méthodes acceptées pour en déterminer la pression maximale**

Le tableau A.9 présente la liste des accessoires visés et les méthodes acceptées pour en déterminer la pression maximale. La détermination de la pression maximale de tout accessoire non inclus dans ce tableau doit faire l'objet d'une entente séparée avec Hydro-Québec.

**Tableau A.9 : Détermination de la pression maximale selon le type d'accessoire**

| Accessoire   | Méthode(s) acceptée(s)  | Note   |
|--|---|--|
| Bride, conduite rigide, valve, robinet, pompe ; spécifié par classe normalisée ou spécifiée par le fabricant | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pression maximale d'opération à 100 °C selon la classe du composant ou selon la spécification du fabricant</li> </ul>  | Les accessoires dont la pression maximale est spécifiée par le fabricant doivent avoir fait l'objet d'un calcul ou d'un essai par le fabricant, dont le rapport de qualification est remis à Hydro-Québec sur demande.   |
| Bride, conduite, valve, robinet, pompe ; sans spécification  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Essai de pressurisation statique</li> </ul>  |  |
| Changeur de prises   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Calcul avec facteur de sécurité minimum de 2 pour l'assemblage boulonné</li> <li>Essai de pressurisation statique</li> </ul>   | La pression maximale à retenir est celle au seuil de la perte d'étanchéité pour l'assemblage boulonné.   |
| Conduite flexible  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Essai de pressurisation statique</li> <li>Pression maximale d'opération à 100 °C si certifiée par le fabricant</li> </ul>  | L'essai doit se faire avec l'application des déplacements maximums prévus en cas de défaut d'arc ou de séisme. Le fabricant doit certifier que le composant peut maintenir son étanchéité avec l'application des déplacements maximums prévus en cas de défaut d'arc ou de séisme. |
| Échangeur de chaleur   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Essai de pressurisation statique</li> <li>Pression maximale d'opération si certifiée par le fabricant</li> </ul>   | La détermination de la pression maximale doit considérer tous les composants incluant la tuyauterie et la pompe s'il y a lieu.   |
| Obturbateur entre cuve et conservateur   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Essai de pressurisation statique</li> <li>Pression maximale d'opération à 100 °C si certifiée par le fabricant</li> </ul>  |  |
| Radiateur sur les cuves  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Essai de pressurisation statique</li> </ul>  | La détermination de la pression maximale doit considérer tous les composants incluant la tuyauterie et le collecteur s'il y a lieu.  |
| Sondes   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Essai de pressurisation statique</li> <li>Pression maximale d'opération à 100 °C si certifiée par le fabricant</li> </ul>  |  |
| Traversées, transformateurs de mesure, parafoudres   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Calcul avec facteur de sécurité minimum de 2 pour assemblage d'attache boulonné</li> <li>Essai de pressurisation statique pour les composants pouvant être pressurisé</li> </ul> |  |
| Trous d'homme (manhole)<br>Trous d'accès (handhole)<br>Trous de mise à la terre                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Calcul avec facteur de sécurité minimum de 2</li> <li>Essai de pressurisation statique</li> </ul>  | La pression maximale à retenir est celle au seuil de la perte d'étanchéité pour l'assemblage boulonné.   |

### A.6.6 Documentation sur la qualification des accessoires

La documentation pertinente à la détermination de la pression maximale de chacun des accessoires et à leur qualification doit se retrouver explicitement dans le rapport de tenue à l'arc tel que décrit à la section A.8.

### A.7 Lien entre la conception de tenue à un arc interne et la conception parasismique

L'étanchéité d'une cuve et de ses accessoires doit être maintenue suite à un séisme. En particulier, aucune rupture pouvant mener à des déversements d'huile importants ne peut être tolérée suite à un séisme. Une attention particulière doit être portée au fait qu'un déplacement différentiel significatif entre certains composants peut survenir pendant un séisme, notamment entre une cuve et un système de refroidissement non attaché sur la cuve. Le fabricant doit démontrer dans sa qualification parasismique qu'une telle éventualité a été tenue en compte. De même, le fabricant doit démontrer que toutes les conduites et systèmes d'attache des accessoires peuvent accommoder sans rupture les déplacements différentiels attendus.

### A.8 Rapports de qualification de tenue à un arc interne et données à fournir

#### A.8.1 Rapport de qualification par calcul

Le rapport de qualification par calcul doit obligatoirement contenir les sections et éléments décrits au Tableau A.10.

**Tableau A.10 : Contenu du rapport de tenue à un arc interne pour qualification par calcul**

Tableau 11-10 : Contenu du rapport de tenue à un arc interne pour qualification par calcul

| Section | Titre   | Contenu requis  |                    |
|---------|---|---|--------------------|
| 1.      | Introduction  | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau décrivant l'appareil qualifié ; par exemple :</li></ul> |                    |
|         |   | Type d'appareil   | Autotransformateur |
|         |   | Fabricant   | XYZ                |
|         |   | Nombre de phases  | Triphasé           |
|         |   | Puissance   | 450 MVA            |
|         |   | Tension maximale  | 315 kV             |
|         |   | Numéro de série   | 123456789          |
|         |   | Numéro de contrat   | 987654321          |
|         |   | Poste   | Radisson           |
|         |   | Type de commande  | Gel de conception  |
|         |   | Numéro de rapport du fabricant  | ABCD1234-Rev 2     |
|         |   | Date du rapport (mm/jj/aaaa)  | 01/01/2019         |
|         |   | Version SN-14.1 utilisée  | SN-14.1j           |
|         | <ul style="list-style-type: none"><li>Figure illustrant une vue globale du transformateur qualifié ou un plan</li></ul> |   |                    |
| 2.      | Objet et paramètres de calcul   |   |                    |

| Section                        | Titre                      | Contenu requis  |                       |      |
|--------------------------------|----------------------------|---|-----------------------|------|
| 2.1                            | Caractéristiques générales | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau décrivant les dimensions de la cuve et son volume d'huile; par exemple :</li></ul>  |                       |      |
|                                |                            | Longueur interne de la cuve (m)   | 8.11                  |      |
|                                |                            | Largeur interne de la cuve (m)  | 2.71                  |      |
|                                |                            | Hauteur interne de la cuve (m)  | 4.70                  |      |
|                                |                            | Volume interne de la cuve sans partie active (m³)   | 102.8                 |      |
|                                |                            | Volume d'huile dans la cuve seule (m³)  | 83.0                  |      |
|                                |                            | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau donnant les propriétés de matériaux utilisés ; par exemple :</li></ul>  |                       |      |
|                                |                            | Matériau  | 50W                   | E70C |
|                                |                            | Densité (kg/m³)   | 7930                  | 7860 |
|                                |                            | Module de Young (GPa)   | 200                   | 200  |
|                                |                            | Coefficient de poisson  | 0.3                   | 0.3  |
|                                |                            | Limite élastique S <sub>y</sub> (MPa) (pour 0.2% de déformation)  | 350                   | 400  |
| Contrainte ultime vraie (MPa)  | 519                        | 531   |                       |      |
| Déformation ultime vraie (MPa) | 0.14                       | 0.10  |                       |      |
| 2.2                            | Paramètres de calcul       | <ul style="list-style-type: none"><li>Figure illustrant les courbes contrainte-déformation des matériaux utilisés</li><li>Figure illustrant la distribution spatiale des matériaux dans la cuve</li><li>Tableau décrivant les paramètres de base pour le calcul ; par exemple :</li></ul> |                       |      |
|                                |                            | Niveau de tension maximal de l'appareil   | 315 kV                |      |
|                                |                            | Classe de tension utilisée de SN 14.1   | 330 kV                |      |
|                                |                            | Niveau d'énergie à contenir selon SN 14.1   | 20,000 kJ             |      |
|                                |                            | Logiciel et version utilisés pour l'analyse   | ANSYS Mechanical 18.2 |      |
| 3.                             | Analyse du modèle global   |   |                       |      |
| 3.1                            | Modèle géométrique         | <ul style="list-style-type: none"><li>Vues du modèle original et du modèle simplifié utilisé dans l'analyse</li><li>Description des simplifications apportées au modèle original</li></ul>  |                       |      |

| Section                           | Titre                                      | Contenu requis  |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|-----------------------------------|--|---|--------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|------|----------|--------------|--|------------------------|------|----------|--|--|-------------------|-------|----------|--|--|---------------|-------|----------|--|--|--------------------|--------|----------|--|-----------------|--------------------------------|--------|----------|------------|--|-----------------------------------|--------|-----------|-------------|--|----------------------------------|--------|----------|-------------|--|-------------------------|--|--|--------|---------|----------------------------|--|--|-----|----|
| 3.2                               | Maillage                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>Vues du maillage global et du maillage de la zone raffinée</li><li>Tableau décrivant les caractéristiques du maillage global ; par exemple :</li></ul>  |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Taille d'arête globale pour la zone externe   | 40 mm        |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Taille d'arête globale pour zones raffinées   | 5 mm         |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Nombre total d'éléments   | 352,422      |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Type de transition entre les zones raffinées et la zone externe   | par contact  |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Nombre de couches d'éléments coque volumique pour le couvercle dans la zone externe.  | 2            |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Nombre de couche d'éléments coque volumique pour les parois dans la zone externe.   | 1            |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Nombre de couche d'éléments coque volumique pour les raidisseurs dans la zone externe.  | 1            |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Nombre de couches d'éléments coque volumique pour le fond dans la zone externe.   | 1            |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | Nombre de points d'intégration pour chaque couche des éléments coque volumique  | 5            |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau décrivant le nombre d'éléments de chaque type et pourcentage de chacun sous forme d'une table avec référence à la dénomination des éléments dans le logiciel utilisé, et montrant le respect du pourcentage maximum du nombre d'éléments de transition utilisés dans les deux types de zones ; par exemple :</li></ul>  |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
|                                   |  | <table><tr><th>Type</th><th>Désignation</th><th>Dénomination ANSYS</th><th>Nombre dans zone externe (%)</th><th>Nombre dans zone raffinée (%)</th></tr><tr><td>Coque volumique 3D</td><td>CV8n</td><td>SOLSH190</td><td>27,425 (96%)</td><td></td></tr><tr><td>Prisme coque volumique</td><td>CV6n</td><td>SOLSH190</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Hexaèdre 8 noeuds</td><td>HEX8n</td><td>SOLID185</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Prisme solide</td><td>HEX6n</td><td>SOLID185</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Hexaèdre 20 noeuds</td><td>HEX20n</td><td>SOLID186</td><td></td><td>323,933 (100 %)</td></tr><tr><td>Prisme (élément de transition)</td><td>PRI15n</td><td>SOLID186</td><td>392 (1.4%)</td><td></td></tr><tr><td>Tétraèdre (élément de transition)</td><td>TET10n</td><td>SOLID 187</td><td>278 (1.0 %)</td><td></td></tr><tr><td>Pyramide (élément de transition)</td><td>PYR13n</td><td>SOLID186</td><td>414 (1.5 %)</td><td></td></tr><tr><td colspan="3">Nombre total d'éléments</td><td>28,509</td><td>323,933</td></tr><tr><td colspan="3">% d'éléments de transition</td><td>4 %</td><td>0%</td></tr></table> | Type         | Désignation        | Dénomination ANSYS           | Nombre dans zone externe (%)  | Nombre dans zone raffinée (%) | Coque volumique 3D | CV8n | SOLSH190 | 27,425 (96%) |  | Prisme coque volumique | CV6n | SOLSH190 |  |  | Hexaèdre 8 noeuds | HEX8n | SOLID185 |  |  | Prisme solide | HEX6n | SOLID185 |  |  | Hexaèdre 20 noeuds | HEX20n | SOLID186 |  | 323,933 (100 %) | Prisme (élément de transition) | PRI15n | SOLID186 | 392 (1.4%) |  | Tétraèdre (élément de transition) | TET10n | SOLID 187 | 278 (1.0 %) |  | Pyramide (élément de transition) | PYR13n | SOLID186 | 414 (1.5 %) |  | Nombre total d'éléments |  |  | 28,509 | 323,933 | % d'éléments de transition |  |  | 4 % | 0% |
|                                   |  | Type  | Désignation  | Dénomination ANSYS | Nombre dans zone externe (%) | Nombre dans zone raffinée (%) |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Coque volumique 3D                | CV8n                                       | SOLSH190  | 27,425 (96%) |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Prisme coque volumique            | CV6n                                       | SOLSH190  |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Hexaèdre 8 noeuds                 | HEX8n                                      | SOLID185  |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Prisme solide                     | HEX6n                                      | SOLID185  |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Hexaèdre 20 noeuds                | HEX20n                                     | SOLID186  |              | 323,933 (100 %)    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Prisme (élément de transition)    | PRI15n                                     | SOLID186  | 392 (1.4%)   |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Tétraèdre (élément de transition) | TET10n                                     | SOLID 187   | 278 (1.0 %)  |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Pyramide (élément de transition)  | PYR13n                                     | SOLID186  | 414 (1.5 %)  |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| Nombre total d'éléments           |  |   | 28,509       | 323,933            |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| % d'éléments de transition        |  |   | 4 %          | 0%                 |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| 3.3                               | Conditions aux appuis                      | <ul style="list-style-type: none"><li>Conditions aux appuis considérées et figure illustrant leur application</li></ul>   |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| 3.4                               | Chargements considérés                     | <ul style="list-style-type: none"><li>Décrire les chargements considérés et illustrer leur application/direction</li><li>Liste des accessoires de plus de 100 kg considérés comme masse ponctuelle incluant leur localisation et leur valeur massique.</li></ul>  |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |
| 3.5                               | Détermination de la pression de conception | <ul style="list-style-type: none"><li>Options générales de modélisation : méthode et critères pour établir la convergence à chaque pas d'application de la charge</li><li>Formules pression/énergie utilisée (selon la version de la norme SN-14.1 en vigueur)</li><li>Pression hydrostatique moyenne</li><li>Courbes illustrant :<ul style="list-style-type: none"><li>changement de volume de la cuve avec la pression appliquée</li><li>flexibilité de la cuve avec la pression appliquée</li><li>pression de conception statique et incrément de pression ΔP, en fonction de la pression appliquée (voir exemple Figure A.3)</li></ul></li><li>Détermination du facteur d'amplification dynamique</li><li>Calcul de la pression de conception</li></ul>   |              |                    |                              |                               |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |     |    |

| Section   | Titre   | Contenu requis  |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
|---|---|---|----------|--------|------------------------------|---------|---------------------------|---------|--------------------|----------------------|---|------|
| 3.6   | Identifications des zones de fortes déformations              | <ul style="list-style-type: none"><li>Vues illustrant les contours de déformation dans les trois régions d'intérêts pour la détermination des sous-modèles requis : 1. Zone du couvercle ; 2. Zone de la jonction entre les parois et le fond de la cuve ; 3. Autre zone. Inclure une vue globale et une vue zoom de l'endroit des déformations maximales pour les 3 zones.</li><li>Donner les valeurs quantitatives des maximums observés dans ces 3 zones et leurs positions.</li></ul>   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| 4.  | Analyse des sous-modèles                                      |   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| 4.1   | Géométrie et maillage des sous-modèles                        | <ul style="list-style-type: none"><li>Vues illustrant les découpes et dimensions retenues des 3 sous-modèles dans le modèle global.</li><li>Vues illustrant les maillages de chaque sous-modèle.</li><li>Tableau décrivant le nombre d'éléments de chaque type et pourcentage de chacun sous forme d'une table avec référence à la dénomination des éléments dans le logiciel utilisé, et montrant le respect du pourcentage maximum du nombre d'éléments de transition utilisés dans les deux types de zones (même tableau que pour le modèle global).</li></ul>   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| 4.2   | Détermination de la pression de rupture dans les sous-modèles | <ul style="list-style-type: none"><li>Valeur de pression et endroit de la rupture dans les 3 sous-modèles</li><li>Vues illustrant l'atteinte du critère de rupture dans les 3 sous-modèles.</li><li>Noter si la rupture entraîne la perte d'étanchéité de la cuve le cas échéant.</li></ul>   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| 5.  | Qualification des accessoires                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>Voir section A.8.3 pour le contenu requis</li></ul>   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| 6.  | Conclusions   | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau résumant les principaux résultats du rapport ; par exemple :<table><tr><th>Résultat</th><th>Valeur</th></tr><tr><td>Pression de conception <math>P_c</math></td><td>236 kPa</td></tr><tr><td>Pression de rupture <math>P_r</math></td><td>277 kPa</td></tr><tr><td>Endroit de rupture</td><td>soudure<br/>couvercle</td></tr><tr><td>Rapport entre la pression de rupture et la pression de conception <math>P_r/P_c</math></td><td>1.17</td></tr></table></li><li>Conclusions sur la qualification de tenue à l'arc de l'appareil et des accessoires:<ul style="list-style-type: none"><li>Adéquation ou non de l'endroit de la rupture</li><li>Adéquation ou non du rapport entre la pression de rupture et la pression de conception</li><li>Adéquation des accessoires</li><li>Besoin de dérogation s'il y a lieu</li></ul></li></ul> | Résultat | Valeur | Pression de conception $P_c$ | 236 kPa | Pression de rupture $P_r$ | 277 kPa | Endroit de rupture | soudure<br>couvercle | Rapport entre la pression de rupture et la pression de conception $P_r/P_c$ | 1.17 |
| Résultat  | Valeur  |   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| Pression de conception $P_c$  | 236 kPa   |   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| Pression de rupture $P_r$   | 277 kPa   |   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| Endroit de rupture  | soudure<br>couvercle  |   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| Rapport entre la pression de rupture et la pression de conception $P_r/P_c$ | 1.17  |   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| 7.  | Références  | <ul style="list-style-type: none"><li>Inclure toutes les références pertinentes telles que les rapports de qualification des accessoires.</li><li>Toutes les références indiquées doivent être soit en possession d'Hydro-Québec, soit être disponibles sur demande</li></ul>   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |
| 8.  | Annexe  | <ul style="list-style-type: none"><li>Inclure en annexe la détermination de la pression maximale pour les accessoires qualifiés par calcul.</li></ul>   |          |        |                              |         |                           |         |                    |                      |   |      |



### A.8.2 Rapport de qualification par essai

Le rapport de qualification par essai doit contenir les sections et éléments décrits au Tableau A.11.

**Tableau A.11 : Contenu du rapport de tenue à un arc interne pour qualification par essai**

| Section  | Titre   | Contenu requis   |  |                                 |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|--|---|--|--|---------------------------------|---------------------------------------|--------|---|-----------|---|--------------------------------|------------------|----------|---|-------|-----------|--|------|--|------------------|--------|------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------------|-----|-------------------|------------------------|-----|-----|--|----------|-----|-------------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|----------------|--|--|------------------------------|------------|--|--|--------------------------|----------|--|--|
| 1.   | Introduction  | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau décrivant l'appareil qualifié ; par exemple :<table><tr><td>Type d'appareil</td><td colspan="3">Autotransformateur</td></tr><tr><td>Fabricant</td><td colspan="3">XYZ</td></tr><tr><td>Nombre de phases</td><td colspan="3">Triphasé</td></tr><tr><td>Puissance</td><td colspan="3">450 MVA</td></tr><tr><td>Tension maximale</td><td colspan="3">315 kV</td></tr><tr><td>Numéro de série</td><td colspan="3">123456789</td></tr><tr><td>Numéro de contrat</td><td colspan="3">987654321</td></tr><tr><td>Poste</td><td colspan="3">Radisson</td></tr><tr><td>Type de commande</td><td colspan="3">Gel de conception</td></tr><tr><td>Numéro de rapport du fabricant</td><td colspan="3">ABCD1234-Rev 2</td></tr><tr><td>Date du rapport (mm/jj/aaaa)</td><td colspan="3">01/01/2019</td></tr><tr><td>Version SN-14.1 utilisée</td><td colspan="3">SN-14.1j</td></tr></table><ul style="list-style-type: none"><li>Figure illustrant une vue globale du transformateur qualifié ou un plan</li></ul></li></ul> | Type d'appareil  | Autotransformateur              |                                       |        | Fabricant                                 | XYZ       |   |                                | Nombre de phases | Triphasé |   |       | Puissance | 450 MVA                                |      |  | Tension maximale | 315 kV |      |                 | Numéro de série | 123456789 |                       |     | Numéro de contrat | 987654321              |     |     | Poste  | Radisson |     |                               | Type de commande | Gel de conception |                                |      | Numéro de rapport du fabricant | ABCD1234-Rev 2 |  |  | Date du rapport (mm/jj/aaaa) | 01/01/2019 |  |  | Version SN-14.1 utilisée | SN-14.1j |  |  |
|  |   |  | Type d'appareil  | Autotransformateur              |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Fabricant  | XYZ                             |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Nombre de phases   | Triphasé                        |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Puissance  | 450 MVA                         |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Tension maximale   | 315 kV                          |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Numéro de série  | 123456789                       |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Numéro de contrat  | 987654321                       |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Poste  | Radisson                        |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Type de commande   | Gel de conception               |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Numéro de rapport du fabricant   | ABCD1234-Rev 2                  |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Date du rapport (mm/jj/aaaa)   | 01/01/2019                      |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Version SN-14.1 utilisée   | SN-14.1j                        |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| 2.   | Objet et paramètres de calcul pour déterminer la pression de conception |  |  |                                 |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  | 2.1   | Caractéristiques générales   | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau décrivant les dimensions de la cuve et son volume d'huile; par exemple :<table><tr><td>Longueur interne de la cuve (m)</td><td colspan="2">8.11</td></tr><tr><td>Largeur interne de la cuve (m)</td><td colspan="2">2.71</td></tr><tr><td>Hauteur interne de la cuve (m)</td><td colspan="2">4.70</td></tr><tr><td>Volume interne de la cuve sans partie active (m³)</td><td colspan="2">102.8</td></tr><tr><td>Volume d'huile dans la cuve seule (m³)</td><td colspan="2">83.0</td></tr></table><ul style="list-style-type: none"><li>Tableau donnant les propriétés de matériaux utilisés ; par exemple :<table><tr><td>Matériau</td><td>50W</td><td>E70C</td></tr><tr><td>Densité (kg/m³)</td><td>7930</td><td>7860</td></tr><tr><td>Module de Young (GPa)</td><td>200</td><td>200</td></tr><tr><td>Coefficient de poisson</td><td>0.3</td><td>0.3</td></tr><tr><td>Limite élastique S<sub>y</sub> (MPa) (pour 0.2% de déformation)</td><td>350</td><td>400</td></tr><tr><td>Contrainte ultime vraie (MPa)</td><td>519</td><td>531</td></tr><tr><td>Déformation ultime vraie (MPa)</td><td>0.14</td><td>0.10</td></tr></table><ul style="list-style-type: none"><li>Figure illustrant les courbes contrainte-déformation des matériaux utilisés</li><li>Figure illustrant la distribution spatiale des matériaux dans la cuve</li></ul></li></ul></li></ul> | Longueur interne de la cuve (m) | 8.11                                  |        | Largeur interne de la cuve (m)            | 2.71      |   | Hauteur interne de la cuve (m) | 4.70             |          | Volume interne de la cuve sans partie active (m³) | 102.8 |           | Volume d'huile dans la cuve seule (m³) | 83.0 |  | Matériau         | 50W    | E70C | Densité (kg/m³) | 7930            | 7860      | Module de Young (GPa) | 200 | 200               | Coefficient de poisson | 0.3 | 0.3 | Limite élastique S <sub>y</sub> (MPa) (pour 0.2% de déformation) | 350      | 400 | Contrainte ultime vraie (MPa) | 519              | 531               | Déformation ultime vraie (MPa) | 0.14 | 0.10                           |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Longueur interne de la cuve (m)                                  |   |  |  | 8.11                            |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Largeur interne de la cuve (m)                                   |   |  |  | 2.71                            |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Hauteur interne de la cuve (m)                                   |   |  |  | 4.70                            |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Volume interne de la cuve sans partie active (m³)                |   |  |  | 102.8                           |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Volume d'huile dans la cuve seule (m³)                           |   |  |  | 83.0                            |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Matériau   |   |  |  | 50W                             | E70C                                  |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Densité (kg/m³)  |   |  |  | 7930                            | 7860                                  |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Module de Young (GPa)  |   |  |  | 200                             | 200                                   |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Coefficient de poisson   |   |  |  | 0.3                             | 0.3                                   |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Limite élastique S <sub>y</sub> (MPa) (pour 0.2% de déformation) |   |  |  | 350                             | 400                                   |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Contrainte ultime vraie (MPa)                                    |   |  |  | 519                             | 531                                   |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Déformation ultime vraie (MPa)                                   |   |  |  | 0.14                            | 0.10                                  |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| 2.2  | Paramètres de calcul  | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau décrivant les paramètres de base pour le calcul de la pression de conception ; par exemple :<table><tr><td>Niveau de tension maximal de l'appareil</td><td>315 kV</td></tr><tr><td>Classe de tension utilisée de SN 14.1</td><td>330 kV</td></tr><tr><td>Niveau d'énergie à contenir selon SN 14.1</td><td>20,000 kJ</td></tr><tr><td>Logiciel et version utilisés pour l'analyse</td><td>ANSYS Mechanical 18.2</td></tr></table></li></ul>  | Niveau de tension maximal de l'appareil  | 315 kV                          | Classe de tension utilisée de SN 14.1 | 330 kV | Niveau d'énergie à contenir selon SN 14.1 | 20,000 kJ | Logiciel et version utilisés pour l'analyse | ANSYS Mechanical 18.2          |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Niveau de tension maximal de l'appareil  | 315 kV                          |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Classe de tension utilisée de SN 14.1  | 330 kV                          |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
|  |   |  | Niveau d'énergie à contenir selon SN 14.1  | 20,000 kJ                       |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| Logiciel et version utilisés pour l'analyse                      | ANSYS Mechanical 18.2   |  |  |                                 |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| 3.   |   | Détermination de la pression de conception   |  |                                 |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |
| 3.1  | Modèle géométrique  | <ul style="list-style-type: none"><li>Vues du modèle original et du modèle simplifié utilisé dans l'analyse</li><li>Description des simplifications apportées au modèle original</li></ul>   |  |                                 |                                       |        |   |           |   |                                |                  |          |   |       |           |  |      |  |                  |        |      |                 |                 |           |                       |     |                   |                        |     |     |  |          |     |                               |                  |                   |                                |      |                                |                |  |  |                              |            |  |  |                          |          |  |  |

| Section                           | Titre                                      | Contenu requis   |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|-----------------------------------|--|--|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|------|----------|--------------|--|------------------------|------|----------|--|--|-------------------|-------|----------|--|--|---------------|-------|----------|--|--|--------------------|--------|----------|--|-----------------|--------------------------------|--------|----------|------------|--|-----------------------------------|--------|-----------|-------------|--|----------------------------------|--------|----------|-------------|--|-------------------------|--|--|--------|---------|----------------------------|--|--|
| 3.2                               | Maillage                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>Vues du maillage global et du maillage de la zone raffinée</li><li>Tableau décrivant les caractéristiques du maillage global ; par exemple :</li></ul>   |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Taille d'arête globale pour la zone externe  | 40 mm                       |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Taille d'arête globale pour zones raffinées  | 5 mm                        |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Nombre total d'éléments  | 352,422                     |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Type de transition entre les zones raffinées et la zone externe  | par contact                 |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Nombre de couches d'éléments coque volumique pour le couvercle dans la zone externe.   | 2                           |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Nombre de couche d'éléments coque volumique pour les parois dans la zone externe.  | 1                           |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Nombre de couche d'éléments coque volumique pour les raidisseurs dans la zone externe.   | 1                           |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Nombre de couches d'éléments coque volumique pour le fond dans la zone externe.  | 1                           |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | Nombre de points d'intégration pour chaque couche des éléments coque volumique   | 5                           |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | <ul style="list-style-type: none"><li>Tableau décrivant le nombre d'éléments de chaque type et pourcentage de chacun sous forme d'une table avec référence à la dénomination des éléments dans le logiciel utilisé, et montrant le respect du pourcentage maximum du nombre d'éléments de transition utilisés dans les deux types de zones ; par exemple :</li></ul>   |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
|                                   |  | <table><tr><th>Type</th><th>Désignation</th><th>Dénomination ANSYS</th><th>Nombre dans zone externe(%)</th><th>Nombre dans zone raffinée (%)</th></tr><tr><td>Coque volumique 3D</td><td>CV8n</td><td>SOLSH190</td><td>27,425 (96%)</td><td></td></tr><tr><td>Prisme coque volumique</td><td>CV6n</td><td>SOLSH190</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Hexaèdre 8 noeuds</td><td>HEX8n</td><td>SOLID185</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Prisme solide</td><td>HEX6n</td><td>SOLID185</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Hexaèdre 20 noeuds</td><td>HEX20n</td><td>SOLID186</td><td></td><td>323,933 (100 %)</td></tr><tr><td>Prisme (élément de transition)</td><td>PRI15n</td><td>SOLID186</td><td>392 (1.4%)</td><td></td></tr><tr><td>Tétraèdre (élément de transition)</td><td>TET10n</td><td>SOLID 187</td><td>278 (1.0 %)</td><td></td></tr><tr><td>Pyramide (élément de transition)</td><td>PYR13n</td><td>SOLID186</td><td>414 (1.5 %)</td><td></td></tr><tr><td colspan="3">Nombre total d'éléments</td><td>28,509</td><td>323,933</td></tr><tr><td colspan="3">% d'éléments de transition</td><td>4 %</td><td>0%</td></tr></table> | Type                        | Désignation                   | Dénomination ANSYS | Nombre dans zone externe(%) | Nombre dans zone raffinée (%) | Coque volumique 3D | CV8n | SOLSH190 | 27,425 (96%) |  | Prisme coque volumique | CV6n | SOLSH190 |  |  | Hexaèdre 8 noeuds | HEX8n | SOLID185 |  |  | Prisme solide | HEX6n | SOLID185 |  |  | Hexaèdre 20 noeuds | HEX20n | SOLID186 |  | 323,933 (100 %) | Prisme (élément de transition) | PRI15n | SOLID186 | 392 (1.4%) |  | Tétraèdre (élément de transition) | TET10n | SOLID 187 | 278 (1.0 %) |  | Pyramide (élément de transition) | PYR13n | SOLID186 | 414 (1.5 %) |  | Nombre total d'éléments |  |  | 28,509 | 323,933 | % d'éléments de transition |  |  |
| Type                              | Désignation                                | Dénomination ANSYS   | Nombre dans zone externe(%) | Nombre dans zone raffinée (%) |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Coque volumique 3D                | CV8n                                       | SOLSH190   | 27,425 (96%)                |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Prisme coque volumique            | CV6n                                       | SOLSH190   |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Hexaèdre 8 noeuds                 | HEX8n                                      | SOLID185   |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Prisme solide                     | HEX6n                                      | SOLID185   |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Hexaèdre 20 noeuds                | HEX20n                                     | SOLID186   |                             | 323,933 (100 %)               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Prisme (élément de transition)    | PRI15n                                     | SOLID186   | 392 (1.4%)                  |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Tétraèdre (élément de transition) | TET10n                                     | SOLID 187  | 278 (1.0 %)                 |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Pyramide (élément de transition)  | PYR13n                                     | SOLID186   | 414 (1.5 %)                 |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| Nombre total d'éléments           |  |  | 28,509                      | 323,933                       |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| % d'éléments de transition        |  |  | 4 %                         | 0%                            |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| 3.3                               | Conditions aux appuis                      | <ul style="list-style-type: none"><li>Conditions aux appuis considérées et figure illustrant leur application</li></ul>  |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| 3.4                               | Chargements considérés                     | <ul style="list-style-type: none"><li>Décrire les chargements considérés et illustrer leur application/direction</li><li>Liste des accessoires de plus de 100 kg considérés comme masse ponctuelle incluant leur localisation et leur valeur massique.</li></ul>   |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| 3.5                               | Détermination de la pression de conception | <ul style="list-style-type: none"><li>Options générales de modélisation : méthode et critères pour établir la convergence à chaque pas d'application de la charge</li><li>Formules pression/énergie utilisée (selon la version de la norme SN-14.1 en vigueur)</li><li>Pression hydrostatique moyenne</li><li>Courbes illustrant :<ul style="list-style-type: none"><li>changement de volume de la cuve avec la pression</li><li>flexibilité de la cuve avec la pression</li><li>pression appliquée et pression de conception statique</li></ul></li><li>Détermination du facteur d'amplification dynamique</li><li>Calcul de la pression de conception</li></ul>  |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |
| 4.                                | Essai de qualification                     |  |                             |                               |                    |                             |                               |                    |      |          |              |  |                        |      |          |  |  |                   |       |          |  |  |               |       |          |  |  |                    |        |          |  |                 |                                |        |          |            |  |                                   |        |           |             |  |                                  |        |          |             |  |                         |  |  |        |         |                            |  |  |

| Section   | Titre                         | Contenu requis   |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
|---|-------------------------------|--|----------|--------|------------------------|---------|---------------------|---------|--------------------|-------------------|---|------|
| 4.1   | Montage d'essai               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Description du laboratoire et le nom des personnes présentes lors de l'essai</li><li>• Description du montage d'essais incluant des photos représentatives</li><li>• Description des accessoires externes enlevés pour l'essai</li><li>• Description du système utilisé pour l'injection du liquide</li><li>• Description du système utilisé pour mesurer le volume de liquide injecté</li><li>• Description des capteurs utilisés pour mesurer la pression dans la cuve, incluant les courbes de calibration</li></ul>  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| 4.2   | Résultats d'essai             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Courbe temporelle de volume de liquide injecté</li><li>• Courbes temporelles de la variation de pression mesurées par les capteurs.</li><li>• Courbe de volume de liquide injecté versus le changement de pression dans la cuve pour toute la durée de l'essai</li><li>• Description du comportement de la cuve lors du maintien de la pression de conception.</li><li>• Description du comportement de la cuve à la rupture incluant la valeur de pression à la rupture, et des photos démontrant la rupture au niveau du couvercle, de même que des photos démontrant l'étanchéité de la cuve ailleurs.</li></ul>  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| 5.  | Qualification des accessoires | <ul style="list-style-type: none"><li>• Voir section A.8.3 pour le contenu requis</li></ul>  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| 6.  | Conclusions                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Tableau résumant les principaux résultats du rapport ; par exemple :<table><tr><th>Résultat</th><th>Valeur</th></tr><tr><td>Pression de conception</td><td>236 kPa</td></tr><tr><td>Pression de rupture</td><td>277 kPa</td></tr><tr><td>Endroit de rupture</td><td>soudure couvercle</td></tr><tr><td>Rapport entre la pression de rupture et la pression de conception</td><td>1.17</td></tr></table></li><li>• Conclusions sur la qualification de tenue à l'arc de l'appareil et des accessoires:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Adéquation de l'endroit de la rupture</li><li>○ Adéquation du rapport entre la pression de rupture et la pression de conception</li><li>○ Adéquation des accessoires</li><li>○ Besoin de dérogation s'il y a lieu</li></ul></li></ul> | Résultat | Valeur | Pression de conception | 236 kPa | Pression de rupture | 277 kPa | Endroit de rupture | soudure couvercle | Rapport entre la pression de rupture et la pression de conception | 1.17 |
| Résultat  | Valeur                        |  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| Pression de conception  | 236 kPa                       |  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| Pression de rupture   | 277 kPa                       |  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| Endroit de rupture  | soudure couvercle             |  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| Rapport entre la pression de rupture et la pression de conception | 1.17                          |  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| 7.  | Références                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Inclure toutes les références pertinentes telles que les rapports de qualification des accessoires.</li><li>• Toutes les références indiquées doivent être soit en possession d'Hydro-Québec, soit être disponibles sur demande</li></ul>  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |
| 8.  | Annexe                        | <ul style="list-style-type: none"><li>• Inclure en annexe la détermination de la pression maximale pour les accessoires qualifiés par calcul.</li></ul>  |          |        |                        |         |                     |         |                    |                   |   |      |

### **A.8.3 Section à inclure dans les rapports de tenue à l'arc sur la qualification des accessoires**

La qualification des accessoires listés à la section A.6.5 doit être traitée de façon explicite au chapitre 5 du rapport de qualification de tenue à l'arc par calcul ou par essai. Le tableau A.12 qui résume le statut de qualification des accessoires doit y être inclus ; ce tableau inclut des exemples fictifs. On note qu'une colonne est «  **$P_{\max} / 1.15 \cdot P_c$  minimum requis** » et fait référence à la valeur minimale de 1 requise pour ce ratio lorsque la qualification est faite par essai ou selon la classe du composant ou par le fabricant, soit à la valeur minimale de 2 requise de ce ratio si la qualification est faite par calcul (voir section A.6.1). Les calculs liés aux accessoires dont la pression maximale est déterminée par calcul doivent être inclus en annexe du rapport de qualification.

**Tableau A.12 : Tableau à inclure pour les accessoires dans le rapport de qualification (exemples)**

| Accessoire ou composant                  | Positionnement sur la cuve | Fabricant     | Classe et norme        | Méthode utilisée pour déterminer $P_{max}$ | $P_{max}$ (kPa) | Déjà testé et référence            | $P_{max} / 1.15 \cdot P_c$ minimum requis | $P_{max} / 1.15 \cdot P_c$ obtenu | Qualifié ? |
|--|----------------------------|---------------|------------------------|--|-----------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|------------|
| Radiateur                                | Côté                       | Menk          | na                     | Essai                                      | 426             | oui<br>Rapport IREQ-2016-036       | 1   | 1.05                              | Oui        |
| Trou d'homme $\phi$ 19 po                | Côté et dessus             | Même que cuve | na                     | Calcul                                     | 1492            | na                                 | 2   | 4.03                              | Oui        |
| Conduite 3 po entre cuve et conservateur | Dessus                     | Même que cuve | 150<br>ASME/ANSI B16.5 | Spécification                              | 1908            | na                                 | 1   | 5.16                              | Oui        |
| Trou de mise à la terre                  | Dessus                     | Même que cuve | na                     | Calcul                                     | 2412            | na                                 | 2   | 10.2                              | Oui        |
| Pompe échangeur de chaleur               | Externe                    | A & H         | na                     | Essai                                      | 2500            | oui<br>Rapport A & H #101900 Rev.2 | 1   | 6.76                              | Oui        |

---

**A.8.4 Fichier numérique et données à fournir**

Une copie du fichier du modèle géométrique de la cuve doit être fournie à Hydro-Québec pour la réalisation de son essai numérique. Ce fichier doit contenir la géométrie détaillée et non simplifiée de la cuve, comprenant la géométrie des composants internes, de même que celle des accessoires (traversées, conservateur, radiateurs, etc.). Aussi, une liste donnant la masse de tous les accessoires doit être fournie. Au besoin, des dessins de certains accessoires et leurs propriétés mécaniques devront être fournis également.

Une description des principales soudures utilisées sur la cuve telles qu'entre le couvercle et la bride, entre les raidisseurs et la cuve, entre les murs et le fond de la cuve, doit aussi être fournie avec le modèle numérique,

Une entente de confidentialité peut être signée par Hydro-Québec au besoin pour l'échange d'un tel fichier.

**Références :**

- [1] Spécification technique normalisée « Transformateurs de puissance et inductances shunt de 72,5 kV à 765 kV, » SN-14.1j, Hydro-Québec, 2014.
- [2] Dastous, J.-B., Bélanger, S., « Changements proposés à la partie « Résistance à l'arc interne » de la norme SN-14.1 – version 2 » Rapport IREQ-2019-0097, Décembre 2019.

---

## **B                    Annexe B (normative) : Revue de conception**

Description des sujets au programme des revues de conception pour permettre la consignation des paramètres de conception et des renseignements nécessaires à l'exploitation.

### **B.1      Conception du noyau**

La conception du noyau comprend les éléments suivants :

- nombre de colonnes;
- dimensions des fenêtres;
- espacement entre colonnes des noyaux;
- diamètre équivalent des sections du noyau;
- méthode d'assemblage du noyau;
- description des tôles d'acier;
- description des conduits d'huile et des isolants solides;
- description des dispositifs de serrage;
- description de la mise à la terre du noyau et de la structure du noyau;
- méthode appliquée pour prévenir la circulation de courant entre les dispositifs de fixation et le noyau;
- densité de flux magnétique par colonne ou noyau pour obtenir le courant d'excitation optimal;
- élévation de température du noyau et distribution sur le noyau;
- conception des écrans statiques et leur emplacement;
- flux résiduel maximum en % du courant d'excitation;
- courant d'appel maximal avec un flux résiduel maximal;
- courbe de magnétisation jusqu'à 150 % de la tension nominale.

### **B.2      Conception des enroulements et des raccordements aux traversées**

La conception des enroulements et des raccordements aux traversées comprend ce qui suit :

- schéma des enroulements;
- dimensions des enroulements;
- type de bobine pour chaque enroulement requis;
- emplacement physique des prises, du trajet des connexions, des écrans statiques et de la mise à la terre;
- arrangement des lisières de fils et des transpositions pour les différents enroulements;
- caractéristiques dimensionnelles des enroulements;
- description des sections prévues pour la circulation des liquides isolants et de la méthode de dissipation de chaleur;

- identification du petit matériel utilisé comme « espaceur » et dispositifs de fixation;
- procédure de contrôle de la qualité des joints et de la disposition des enroulements et des connexions aux traversées.

### B.3 Évaluation de la performance diélectrique

Cette évaluation doit permettre de connaître les conditions d'exploitation les plus sévères pour chacun des composants utilisés dans l'isolation et de déterminer la prise choisie pour exécuter les essais diélectriques.

Les principaux sujets traités concernent la distribution de tension :

- sur les pieds de traversées;
- sur l'assemblage complet de la traversée dans sa tourelle, incluant son système d'isolation;
- entre les bornes d'enroulements et la masse;
- sur tous les enroulements par rapport à la terre ou entre phases;
- sur les connexions externes aux enroulements haute tension, basse tension et tertiaire;
- sur les connexions de phases adjacentes;
- sur les connexions de prises.

Les autres sujets traités sont les suivants :

- forme d'onde et répartition des tensions en fonction des différents essais;
- description des limites d'isolation imposées par le concepteur.

Les emplacements les plus critiques doivent être identifiés sur le croquis indiquant les enroulements les plus sollicités par les essais.

### B.4 Évaluation de la tenue au court-circuit des appareils

Cette évaluation doit permettre de connaître la résistance des différents composants du transformateur aux différents types de défauts externes survenant sur le réseau d'Hydro-Québec.

Les sujets traités sont les suivants :

- les forces générées sur chaque enroulement, prises et bornes de sortie ainsi que leur direction;
- les moyens utilisés pour résister aux efforts;
- l'emplacement de la rupture anticipée, si la limite des forces est dépassée;
- les charges axiales et radiales des enroulements et la méthode de retenue choisie;
- les procédures de fabrication des enroulements et les tolérances admissibles;
- l'emplacement des efforts les plus critiques agissant sur les croisements de conducteurs et les bornes des enroulements;
- les niveaux de température atteints sur les enroulements et leur effet sur les propriétés mécaniques du matériel utilisé pour l'isolement des enroulements;
- la démonstration que la conception des enroulements résiste au niveau de défaut prescrit;

- l'effet des procédures de fabrication, des joints et des procédés appliqués sur la résistance au court-circuit.

## B.5 Évaluation de la performance thermique à la charge normale et en surcharge

Les sujets traités sont les suivants :

- les propriétés physiques des liquides isolants ayant une influence sur la performance thermique;
- les dimensions des canaux de circulation d'huile;
- la vitesse de circulation d'huile;
- le mode de transfert de la chaleur;
- les modes de contrôle de la circulation d'huile;
- les pertes dans le noyau, les enroulements et les autres composants structuraux;
- les températures moyennes calculées;
- les températures des points chauds et leur emplacement;
- les températures moyennes de l'huile calculées dans les parties supérieure et inférieure de la cuve;
- une représentation graphique des champs électromagnétiques et des pertes dues aux courants de fuite permettant de déterminer l'emplacement des écrans;
- la capacité des appareils en fonction du temps et de la perte du système de refroidissement;
- les solutions prévues si les échauffements admissibles sont dépassés lors des essais d'échauffement.

## B.6 Procédés d'isolation

Les méthodes d'isolation et les procédés de séchage doivent être présentés pour l'appareil en commande aussi bien à l'usine qu'au chantier.

Les critères d'acceptation, suite au séchage des enroulements et au traitement de l'huile, doivent être signalés.

## B.7 Circuit équivalent

Le circuit équivalent d'un transformateur doit être monté pour simuler les différents paramètres du circuit électrique (variation de tension, de charge et du facteur de puissance). Cette simulation doit permettre de déterminer la concentration de flux dans le noyau.

Le modèle doit inclure les paramètres suivants :

- inductance par rapport à l'amplitude de la tension appliquée;
- résistance du noyau par rapport à l'amplitude de la tension appliquée;
- inductance équivalente des enroulements haute et basse tension;
- pertes dans les enroulements, haute et basse tension.



Le modèle doit être valide pour des tensions variant de 0,9 p.u. à 1,25 p.u. et pour des charges variant :

- 0,0 p.u. à 1,5 p.u. pour les transformateurs dont la tension est de 735 kV;
- 0,0 p.u. à 1,6 p.u. pour tous les autres transformateurs.

Les valeurs inductives et capacitives des impédances (phase-phase et phase-terre), incluant les traversées, doivent être fournies pour les différents niveaux de tension prescrits (60 Hz, surtension de manœuvre et chocs de foudre). Celles-ci doivent être vérifiées avec les mesures prises lors des essais individuels.

## **B.8 Modèle de réponse transitoire de la conception proposée**

Le fabricant doit présenter le mode de simulation utilisé pour évaluer les effets des niveaux de surtension sur la conception.

## **B.9 Précisions dans l'évaluation des pertes**

Le fabricant doit présenter les renseignements relatifs aux méthodes de calcul et de mesure des pertes.

Les précisions des mesures doivent être analysées en fonction de l'instrumentation utilisée.

## **B.10 Précisions dans les niveaux de bruit**

Le fabricant doit présenter les renseignements relatifs aux méthodes de calcul et de mesure des niveaux de bruit. Les précisions des mesures doivent être analysées en fonction de l'instrumentation et de la méthode utilisées.

## **B.11 Résistance aux courants continus produits par les orages géomagnétiques**

Le fabricant doit présenter les effets des courants continus sur l'élévation de température sur le noyau, les enroulements, la cuve et autres pièces métalliques. Pour les transformateurs de 735 kV, une évaluation de l'augmentation de température et des pertes doit être réalisée en fonction des niveaux de courant continu de 5 A, 15 A et 25 A.

## B.12 Conception de la cuve et arrangement physique

Le fabricant doit présenter les critères de conception de la cuve incluant la démonstration du respect des exigences de la résistance à l'arc interne et un croquis montrant l'arrangement physique de l'appareil et le positionnement des accessoires pour permettre l'entretien des appareils (trous d'inspection, robinets, etc.) : Une maquette 3D en CAO est requise.

- Type de valves et brides ASME B16;
- Garnitures;
- Grosseur de la tuyauterie, 2 ou 3 po, inox;
- Support de la tuyauterie;
- Type de soudure, soudure pour l'étanchéité;
- Hauteur des armoires de commandes;
- Rapport de tenue à un arc interne;
- Agencement du sac de caoutchouc dans le réservoir d'expansion d'huile de la cuve principale (dessin 3D). Plan de tuyauterie.

## B.13 Liste des composants critiques

Le fournisseur doit soumettre la liste des composants critiques de l'appareil, soit la liste des composants dont la défaillance peut entraîner un bris majeur du transformateur. Un changement de conception ou de fournisseur d'une pièce critique doit être signifié préalablement à Hydro-Québec avant son implantation. À noter qu'un changement peut compromettre les résultats d'essais et remettre en cause l'homologation de l'appareil. Les frais de reprise d'essai, le cas échéant, sont sous la responsabilité du fournisseur.

Ces composants critiques doivent faire l'objet d'un suivi plus serré avec les constructeurs au niveau des changements de caractéristique ou de fournisseur. Cette liste doit contenir le numéro de dessin, l'indice de révision, la liste des fournisseurs pour chacune des pièces et l'endroit de fabrication ainsi que le numéro de cahier des charges, si applicable. Hydro-Québec doit être averti de tout changement de conception, de fournisseur ou de procédé de fabrication. Hydro-Québec peut exiger des essais spéciaux ou la reprise des essais de type si les preuves présentées sont jugées insuffisantes suite à un changement.

Il est à noter que les composants qui ne sont pas considérés comme critiques ne sont pas moins importants et leurs caractéristiques sont pour la plupart définies dans les spécifications. Les composants non critiques sont cependant considérés comme affectant de façon moins directe la fiabilité des appareils.

La liste des composants considérés critiques doit inclure minimalement :

### Enroulements :

- conducteur de cuivre isolé;
- pièces de structure et de support.

### Noyau :

- acier magnétique;
- pièces structurales : presse culasse, plaque de tirage;
- segments de noyau pour les inductances shunt.

### Traversées :

- corps isolant interne;
- isolateur externe.

**Changeur de prise en charge :**

- cylindre ou paroi isolante;
- mécanisme d'entraînement, d'accouplement et d'accumulation d'énergie;
- sélecteur, inverseur, interrupteur, notamment les bouteilles à vide si applicable.

**Système d'isolation des appareils 315 et 735 kV :**

- pied de traverse;
- sortie et conducteurs haute tension.

**Cuve :**

- Acier

Le fournisseur doit ajouter à cette liste tout composant additionnel qu'il considère critique pour l'appareil et Hydro-Québec se réserve le droit d'ajouter des composants à cette liste lors de la revue de conception.

**B.14 Conception du changeur de prise**

Une revue de conception spécifique est requise sur les changeurs de prise et doit inclure les éléments suivants :

**Données techniques (caractéristiques électriques et générales, etc.) :**

- Nomenclature du type de changeur de prises;
- Caractéristiques courant/tension nominales et maximales;
- Schémas unifilaires;
- Plage de température et de conditions d'opération;
- Type de connexions;
- Type de régulation;
- Niveaux d'isolation nominaux et distances d'isolation.

**Principe d'opération et conception :**

- Critères de conception et marge de conception (ex. : champs électriques maximaux, facteurs de sécurité, etc.);
- Séquence de changement de prises;
- Temps d'opération - valeurs nominales et tolérances;
- Considérations techniques pour applications spéciales ou limites selon les conditions d'opération (ex. : températures extrêmes) et selon l'application (ex: HVDC);
- Partage de courant entre contacts mis en parallèle;
- Impédances de passage – sélection et conception;
- Arrangement du commutateur et sélecteur ou sélecteur en charge;
- Types de contacts : conception générale et principe d'opération, pression de contact, course des ampoules à vide, durée de vie et usure, impact/effets des surcharges;
- Exigences pour les composants particuliers (résistance insérée pour l'inversion de polarité, commutateur pour cette résistance, etc);
- Impact en cas de court-circuit;
- Moyens pris pour assurer la sécurité du personnel;
- Risques pour l'environnement en service ou lors du rebut;
- Mécanisme d'entraînement : conception générale et principe d'opération (ressorts, graisses, autres), performances à basse température, durée de vie et usure, armoire du changeur de prises : conformité aux spécifications de la SN-14.1;
- Garnitures d'étanchéités;

- Pièces isolantes : Contraintes et caractéristiques électriques et mécaniques, érosion due aux champs électriques, critères de conception et facteurs de sécurité.

**Maintenance :**

- Programme de maintenance recommandé : ajustements et vérifications à faire (ressorts, ampoules à vide, autre);
- Liste des pièces de maintenance recommandées;
- Détection des défaillances et des défauts internes et blocages;
- Technologies de monitoring en option;
- Améliorations apportées pour augmenter les intervalles de maintenance et la fiabilité;
- MTBF (Mean time between failure);
- Problématiques et faiblesses des versions antérieures.

**Programmes d'essais :**

- Essais de type et "Type test summary report" (TTSR);
- Essais de routine et plan d'essais (ITP);
- Essais supplémentaires;
- Essais de prélèvement sur les pièces critiques.

## C Annexe C (normative) : Caractéristiques électriques normalisées

Les tableaux suivants décrivent les caractéristiques électriques normalisés par type selon le Tableau P1.1 présenté à l'article 1.1 dans cette norme.

### C.1 Transformateur triphasé 69 kV/13,2 kV, 15 MVA (TP 69/12-15)

**Tableau P1.C.1 : Caractéristiques des TP 69/12-15**

| # de prise   | Tension nominale de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire |              | Tension de prise de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal de l'enroulement secondaire<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>p.u. <sup>a</sup> | Impédance sur la base de la tension de la prise et 15 MVA<br>(Tolérance de $\pm 5\%$ )<br>% |
|--|--|--|--------------|--|--|---|--|---|
|  |  | Borne<br>A                                 | Enroul.<br>A |  |  |   |  |   |
| 1  | 69   | 107  | 62           | 11,2   | 656  | 13,2  | 1,1  | 12,0  |
| 9  | 69   | 126  | 72           | 13,2   | 656  | 13,2  | 1,1  | 11,5  |
| 17   | 69   | 145  | 83           | 15,2   | 656  | 13,2  | 1,1  | 11,0  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 700 mm entre les phases haute tension, et à 160 mm entre les phases basse tension.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 69 kV/13,2 kV <math>\pm 8 \times 1,875 \%</math>.</p> <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (69 kV et 13,2 kV).</p> |  |  |              |  |  |   |  |   |

## C.2 Transformateur triphasé 69 kV/26,4 kV, 22,5 MVA (TP 69/25-22,5)

**Tableau P1.C.2 : Caractéristiques des TP 69/25-22,5**

| # de prise  | Tension nominale de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire |              | Tension de prise de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal de l'enroulement secondaire<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br><sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 22,5 MVA<br>(Tolérance de ± 5%)<br>% |
|---|--|--|--------------|--|--|---|---|---|
|   |  | Borne<br>A                                 | Enroul.<br>A |  |  |   |   |   |
| 1   | 69   | 160  | 92           | 22,4   | 492  | 26,4  | 1,1   | 9,5   |
| 9   | 69   | 188  | 109          | 26,4   | 492  | 26,4  | 1,1   | 10,0  |
| 17  | 69   | 217  | 125          | 30,4   | 492  | 26,4  | 1,1   | 10,5  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 700 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 69 kV/26,4 kV -7/+9 x 1,93 %.</p> |  |  |              |  |  |   |   |   |
| <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (69 kV et 26,4 kV).</p>  |  |  |              |  |  |   |   |   |

### C.3 Transformateur triphasé 120 kV/26,4 kV, 22,5 MVA (TP 120/25-22,5)

**Tableau P1.C.3 : Caractéristiques des TP 120/25-22,5**

| # de prise   | Tension nominale de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire |              | Tension de prise de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal de l'enroulement secondaire<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>p.u. <sup>a</sup> | Impédance sur la base de la tension de la prise et 22,5 MVA<br>(Tolérance de ± 5%)<br>% |
|--|--|--|--------------|--|--|---|--|---|
|  |  | Borne<br>A                                 | Enroul.<br>A |  |  |   |  |   |
| 1  | 120  | 92   | 53           | 22,4   | 492  | 26,4  | 1,1  | 15,5  |
| 9  | 120  | 108  | 63           | 26,4   | 492  | 26,4  | 1,1  | 16,0  |
| 17   | 120  | 125  | 72           | 30,4   | 492  | 26,4  | 1,1  | 16,5  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1100 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 120 kV/26,4 kV ± 8 x 1,875 %.</p> |  |  |              |  |  |   |  |   |
| <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (120 kV et 26,4 kV).</p>  |  |  |              |  |  |   |  |   |

## C.4 Transformateur triphasé 120 kV/26,4 kV/13,2kV, 47 MVA (TP1 120/25/12-47)

**Tableau P1.C.4 : Caractéristiques des TP1 120/25/12-47**

| # de prise  | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>a<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>b<br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 47 MVA<br>(tolérance de ± 5%)<br>% |
|---|--|---|---|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|   |  |   |   | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1   | 138  | 197   | 26,4  | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 19,5  |
| 9   | 120  | 226   | 26,4  | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,5  |
| 17  | 102  | 266   | 26,4  | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,2  |
| 1   | 138  | 197   | 13,2  | 2056                          | 1187             | 13,2                                       | 1,1  | 13,5  |
| 9   | 120  | 226   | 13,2  | 2056                          | 1187             | 13,2                                       | 1,1  | 13,2  |
| 17  | 102  | 266   | 13,2  | 2056                          | 1187             | 13,2                                       | 1,1  | 12,9  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1100 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension à 26,4 kV et 160 mm entre les phases basse tension à 13,2 kV.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 120 kV ± 8 x 1,875 %/26,4 kV/13,2 kV.</p> |  |   |   |                               |                  |  |  |   |
| <p>a    Le transformateur doit être muni d'enroulements secondaires indépendants procurant une tension de 26,4 kV et 13,2 kV pouvant être utilisés simultanément sans excéder 47 MVA individuellement ou au total.</p> <p>b    En p.u. basé sur les tensions nominales (120 kV, 26,4 kV et 13,2 kV).</p>  |  |   |   |                               |                  |  |  |   |



## C.5 Transformateur triphasé 120 kV/26,4 kV(13,2kV), 47 MVA (TP2 120/25(12)-47)

**Tableau P1.C.5 : Caractéristiques des TP2 120/25(12)-47**

| # de prise  | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV <sup>a</sup> | Courant nominal au secondaire |               | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>p.u. <sup>b</sup> | Impédance sur la base de la tension de la prise et 47 MVA<br>(tolérance de ± 5%)<br>% |
|---|--|---|---|-------------------------------|---------------|--|--|---|
|   |  |   |   | Borne A                       | Enroulement A |  |  |   |
| 1   | 138  | 197   | 26,4  | 1028                          | 594           | 26,4                                       | 1,1  | 19,5  |
| 9   | 120  | 226   | 26,4  | 1028                          | 594           | 26,4                                       | 1,1  | 18,5  |
| 17  | 102  | 266   | 26,4  | 1028                          | 594           | 26,4                                       | 1,1  | 18,2  |
| 1   | 138  | 197   | 13,2  | 2056                          | 1187          | 13,2                                       | 1,1  | 19,5  |
| 9   | 120  | 226   | 13,2  | 2056                          | 1187          | 13,2                                       | 1,1  | 18,5  |
| 17  | 102  | 266   | 13,2  | 2056                          | 1187          | 13,2                                       | 1,1  | 18,2  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1100 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension à 26,4 kV et 160 mm entre les phases basse tension à 13,2 kV.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 120 kV ± 8 x 1,875 %/26,4 kV/13,2 kV.</p> |  |   |   |                               |               |  |  |   |
| <p><sup>a</sup>    Le transformateur doit être muni d'enroulements secondaires raccordés en série ou en parallèle procurant une tension de 26,4 kV ou de 13,2 kV non simultanément.</p> <p><sup>b</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (120 kV, 26,4 kV et 13,2 kV).</p>  |  |   |   |                               |               |  |  |   |

## C.6 Transformateur triphasé 120 kV/13,2 kV 47 MVA (TP 120/12-47)

Tableau P1.C.6 : Caractéristiques des TP 120/12-47

| # de prise   | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 47 MVA<br>(tolérance de ± 5%)<br>% |
|--|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|  |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1  | 138  | 197   | 13,2   | 2056                          | 1187             | 13,2                                       | 1,1  | 13,5  |
| 9  | 120  | 226   | 13,2   | 2056                          | 1187             | 13,2                                       | 1,1  | 13,2  |
| 17   | 102  | 266   | 13,2   | 2056                          | 1187             | 13,2                                       | 1,1  | 12,9  |
| NOTE 1 Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1100 mm entre les phases haute tension, et à 160 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| NOTE 2 Rapport de transformation: 120 kV ± 8 x 1,875 %/13,2 kV.  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| a En p.u. basé sur les tensions nominales (120 kV et 13,2 kV).   |  |   |  |                               |                  |  |  |   |

## C.7 Transformateur triphasé 120 kV/26,4 kV 47 MVA (TP 120/25-47)

Tableau P1.C.7 : Caractéristiques des TP 120/25-47

| # de prise   | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 47 MVA<br>(tolérance de ± 5%)<br>% |
|--|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|  |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1  | 138  | 197   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 19,5  |
| 9  | 120  | 226   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,5  |
| 17   | 102  | 266   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,2  |
| NOTE 1 Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1100 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| NOTE 2 Rapport de transformation: 120 kV ± 8 x 1,875 %/26,4 kV.  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| a En p.u. basé sur les tensions nominales (120 kV et 26,4 kV).   |  |   |  |                               |                  |  |  |   |

## C.8 Transformateur triphasé 120 kV/26,4 kV 66 MVA (TP 120/25-66)

**Tableau P1.C.8 : Caractéristiques des TP 120/25-66**

| # de prise  | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 66 MVA<br>(tolérance de $\pm 5\%$ )<br>% |
|---|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|   |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1   | 138  | 276   | 26,4   | 1444                          | 833              | 26,4                                       | 1,1  | 24,0  |
| 9   | 120  | 318   | 26,4   | 1444                          | 833              | 26,4                                       | 1,1  | 26,0  |
| 17  | 102  | 374   | 26,4   | 1444                          | 833              | 26,4                                       | 1,1  | 29,5  |
| NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1100 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| NOTE 2    Rapport de transformation: 120 kV $\pm 8 \times 1,875 \%$ / 26,4 kV.  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| a<br>En p.u. basé sur les tensions nominales (120 kV et 26,4 kV).   |  |   |  |                               |                  |  |  |   |

## C.9 Transformateur triphasé 161 kV/26,4 kV 22,5 MVA (TP 161/25-22,5)

**Tableau P1.C.9 : Caractéristiques des TP 161/25-22,5**

| # de prise   | Tension nominale de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire |              | Tension de prise de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>p.u. <sup>a</sup> | Impédance sur la base de la tension de la prise et 22,5 MVA<br>(Tolérance de ±5%)<br>% |
|--|--|--|--------------|--|------------------------------------|---|--|--|
|  |  | Borne<br>A                                 | Enroul.<br>A |  |                                    |   |  |  |
| 1  | 161  | 69   | 40           | 22,4   | 492                                | 26,4  | 1,1  | 15,5   |
| 9  | 161  | 81   | 47           | 26,4   | 492                                | 26,4  | 1,1  | 16,0   |
| 17   | 161  | 93   | 54           | 30,4   | 492                                | 26,4  | 1,1  | 16,5   |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1500 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 161 kV/26,4 kV ± 8 x 1,875 %.</p> |  |  |              |  |                                    |   |  |  |
| <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (161 kV et 26,4 kV).</p>  |  |  |              |  |                                    |   |  |  |

## C.10 Transformateur triphasé 161 kV/26,4 kV 47 MVA (TP 161/25-47)

Tableau P1.C.10 : Caractéristiques des TP 161/25-47

| # de prise   | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 47 MVA<br>(tolérance de ± 5%)<br>% |
|--|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|  |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1  | 185  | 147   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 19,5  |
| 9  | 161  | 169   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,5  |
| 17   | 137  | 198   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,2  |
| NOTE 1 Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1500 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| NOTE 2 Rapport de transformation: 161 kV ± 8 x 1,875 %/26,4 kV.  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| <sup>a</sup> En p.u. basé sur les tensions nominales (161 kV et 26,4 kV).  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |

## C.11 Transformateur triphasé 230 kV/26,4 kV 47 MVA (TP 230/25-47)

Tableau P1.C.11 : Caractéristiques des TP 230/25-47

| # de prise   | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 47 MVA<br>(tolérance de ± 5%)<br>% |
|--|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|  |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1  | 265  | 103   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 19,5  |
| 9  | 230  | 118   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,5  |
| 17   | 195  | 140   | 26,4   | 1028                          | 594              | 26,4                                       | 1,1  | 18,2  |
| NOTE 1 Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1900 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| NOTE 2 Rapport de transformation: 230 kV ± 8 x 1,875 %/26,4 kV.  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| <sup>a</sup> En p.u. basé sur les tensions nominales (230 kV et 26,4 kV).  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |

## C.12 Transformateur triphasé 230 kV/26,4 kV 66 MVA (TP 230/25-66)

**Tableau P1.C.12 : Caractéristiques des TP 230/25-66**

| # de prise  | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 66 MVA<br>(tolérance de $\pm 5\%$ )<br>% |
|---|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|   |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1   | 254  | 150   | 26,4   | 1444                          | 833              | 26,4                                       | 1,1  | 23,5  |
| 7   | 230  | 165   | 26,4   | 1444                          | 833              | 26,4                                       | 1,1  | 24,5  |
| 9   | 222  | 172   | 26,4   | 1444                          | 833              | 26,4                                       | 1,1  | 25,0  |
| 17  | 190  | 200   | 26,4   | 1444                          | 833              | 26,4                                       | 1,1  | 27,5  |
| NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1900 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| NOTE 2    Rapport de transformation: 230 kV +6/-10 x 1,75 %/26,4 kV.  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| <sup>a</sup><br>En p.u. basé sur les tensions nominales (230 kV et 26,4 kV).  |  |   |  |                               |                  |  |  |   |

### C.13 Transformateur triphasé 230 kV/120 kV 400 MVA (TP 230/120-400)

Tableau P1.C.13 : Caractéristiques des TP 230/120-400

| # de prise  | Tension nominale au primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement série<br>A | Tension de prise au secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire<br>A | Courant de prise de l'enroulement commun<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>p.u. <sup>a</sup> | Impédance H.T./B.T. sur la base de la tension de la prise et 400 MVA (tolérance de ± 5 %)<br>% <sup>b</sup> |
|---|------------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|--|---|
| 1   | 230                                | 904  | 108                                  | 1925                               | 1021  | 120   | 1,1  | 9,5   |
| 9   | 230                                | 1004   | 120                                  | 1925                               | 921   | 120   | 1,1  | 10,0  |
| 17  | 230                                | 1105   | 132                                  | 1925                               | 820   | 120   | 1,1  | 11,0  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 1900 mm entre les phases haute tension, à 1100 mm entre les phases basse tension et à 160 mm entre les phases à 12,5 kV.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 230 kV/120 kV ± 8 x 1,25 %/12,5 kV.</p> |                                    |  |                                      |                                    |   |   |  |   |
| <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (230 kV et 120 kV).</p> <p><sup>b</sup>    Impédance à la prise 9, à 400 MVA, H.T. / Tertiaire = 50 %, B.T. / Tertiaire = 33 %, avec une tolérance de ± 10 % dans les deux cas.</p>  |                                    |  |                                      |                                    |   |   |  |   |

## C.14 Transformateur triphasé 315 kV/26,4 kV 66 MVA (TP 315/25-66)

**Tableau P1.C.14 : Caractéristiques des TP 315/25-66**

| # de prise  | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 66 MVA<br>(tolérance de $\pm 5\%$ )<br>% |
|---|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|---|
|   |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |   |
| 1   | 347  | 110   | 26,4   | 1444                          | 834              | 26,4                                       | 1,1  | 24,0  |
| 7   | 315  | 121   | 26,4   | 1444                          | 834              | 26,4                                       | 1,1  | 25,0  |
| 9   | 304  | 125   | 26,4   | 1444                          | 834              | 26,4                                       | 1,1  | 26,0  |
| 17  | 261  | 146   | 26,4   | 1444                          | 834              | 26,4                                       | 1,1  | 29,0  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 3200 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 315 kV +6/-10 x 1,7 %/26,4 kV.</p> |  |   |  |                               |                  |  |  |   |
| <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (315 kV et 26,4 kV).</p>   |  |   |  |                               |                  |  |  |   |



## C.15 Transformateur triphasé 315 kV/26,4 kV 140 MVA (TP 315/25-140)

Tableau P1.C.15 : Caractéristiques des TP 315/25-140

| # de prise  | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 140 MVA<br>(tolérance de $\pm 5\%$ )<br>% |
|---|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|--|
|   |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |  |
| 1   | 347  | 233   | 26,4   | 3062                          | 1768             | 26,4                                       | 1,1  | 25   |
| 7   | 315  | 257   | 26,4   | 3062                          | 1768             | 26,4                                       | 1,1  | 28   |
| 9   | 304  | 266   | 26,4   | 3062                          | 1768             | 26,4                                       | 1,1  | 29   |
| 17  | 261  | 310   | 26,4   | 3062                          | 1768             | 26,4                                       | 1,1  | 36   |
| NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 3200 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |  |
| NOTE 2    Rapport de transformation: 315 kV +6/-10 x 1,7 %/26,4 kV.   |  |   |  |                               |                  |  |  |  |
| <sup>a</sup><br>En p.u. basé sur les tensions nominales (315 kV et 26,4 kV).  |  |   |  |                               |                  |  |  |  |

**C.16 Autotransformateur triphasé 315 kV/120 kV, 450 MVA (TP 315/120-450)****Tableau P1.C.16 : Caractéristiques des TP 315/120-450**

| # de prise   | Tension nominale au primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement série<br>A | Tension de prise au secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire<br>A | Courant de prise de l'enroulement commun<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>p.u. <sup>a</sup> | Impédance H.T./B.T. sur la base de la tension de la prise et 450 MVA (tolérance de ± 5 %)<br>% <sup>b</sup> |
|--|------------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|--|---|
| 1  | 315                                | 763  | 111                                  | 2165                               | 1402  | 120   | 1,1  | 18,5  |
| 7  | 315                                | 825  | 120                                  | 2165                               | 1340  | 120   | 1,1  | 19,0  |
| 9  | 315                                | 845  | 123                                  | 2165                               | 1320  | 120   | 1,1  | 19,0  |
| 17   | 315                                | 928  | 135                                  | 2165                               | 1237  | 120   | 1,1  | 20,0  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 3200 mm entre les phases haute tension, et à 1100 mm entre les phases basse tension.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 315 kV/120 kV + 10/- 6 x 1,25 %/12,5 kV.</p> |                                    |  |                                      |                                    |   |   |  |   |
| <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (315 kV et 120 kV).</p> <p><sup>b</sup>    Impédance à la prise 7, à 450 MVA, H.T. / Tertiaire = 64 %, B.T. / Tertiaire = 35 %, avec une tolérance de ± 10 % dans les deux cas.</p>   |                                    |  |                                      |                                    |   |   |  |   |

**C.17 Autotransformateur monophasé 735 kV/230 kV/12,5 kV, 370 MVA (TP 735/230-370)****Tableau P1.C.17 : Caractéristiques des TP 735/230-370**

| # de prise | Tension nominale au primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement série<br>A | Tension de prise au secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire<br>A | Courant de prise de l'enroulement commun<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>a<br>p.u. | Impédance H.T./B.T. sur la base de la tension de la prise et 370 MVA (tolérance de ± 5 %)<br>b<br>% |
|------------|------------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|--|---|
| 1          | 735/√3                             | 785  | 207/√3                               | 2786                               | 2001  | 230/√3  | 1,1  | 20,0  |
| 9          | 735/√3                             | 870  | 230/√3                               | 2786                               | 1914  | 230/√3  | 1,1  | 20,0  |
| 17         | 735/√3                             | 959  | 253/√3                               | 2786                               | 1827  | 230/√3  | 1,1  | 20,0  |

NOTE Rapport de transformation: 735/√3 kV/230/√3 kV ± 8 x 1,25 %/12,5 kV.

a En p.u. basé sur les tensions nominales (735/√3 kV et 230/√3 kV).

b Impédance à la prise 9, à 370 MVA, H.T. / Tertiaire = 50 %, B.T. / Tertiaire = 28 %, avec une tolérance de ± 10 % dans les deux cas.

**C.18 Autotransformateur monophasé 735 kV/315 kV/12,5 kV, 550 MVA (TP 735/315-550)****Tableau P1.C.18 : Caractéristiques des TP 735/315-550**

| # de prise | Tension nominale au primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement série<br>A | Tension de prise au secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire<br>A | Courant de prise de l'enroulement commun<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>a<br>p.u. | Impédance H.T./B.T. sur la base de la tension de la prise et 550 MVA (tolérance de ± 5 %)<br>b<br>% |
|------------|------------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|--|---|
| s/o        | 735/√3                             | 1296   | 315/√3                               | 3024                               | 1728  | 315/√3  | 1,1  | 20,0  |

NOTE Rapport de transformation: 735/√3 kV/315/√3 kV/12,5 kV.

a En p.u. basé sur les tensions nominales (735/√3 kV et 315/√3 kV).

b Impédance à 550 MVA, H.T. / Tertiaire = 50 %, B.T. / Tertiaire = 28 %, avec une tolérance de ± 10 % dans les deux cas.

## C.19 Transformateur triphasé 315 kV/26,4 kV, 100 MVA (TP 315/26,4-100)

**Tableau P1.C.19 : Caractéristiques des TP 315/26,4-100**

| # de prise  | Tension de prise de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire<br>A | Tension nominale de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal au secondaire |                  | Tension d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide <sup>a</sup><br>p.u. | Impédance sur la base de la tension de la prise et 100 MVA<br>(tolérance de $\pm 5\%$ )<br>% |
|---|--|---|--|-------------------------------|------------------|--|--|--|
|   |  |   |  | Borne<br>A                    | Enroulement<br>A |  |  |  |
| 1   | 347  | 166   | 26,4   | 2187                          | 1263             | 26,4                                       | 1,1  | 25   |
| 7   | 315  | 183   | 26,4   | 2187                          | 1263             | 26,4                                       | 1,1  | 28   |
| 9   | 304  | 190   | 26,4   | 2187                          | 1263             | 26,4                                       | 1,1  | 29   |
| 17  | 261  | 221   | 26,4   | 2187                          | 1263             | 26,4                                       | 1,1  | 36   |
| NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 3200 mm entre les phases haute tension, et à 220 mm entre les phases basse tension. |  |   |  |                               |                  |  |  |  |
| NOTE 2    Rapport de transformation: 315 kV +6/-10 x 1,7 %/26,4 kV.   |  |   |  |                               |                  |  |  |  |
| <sup>a</sup><br>En p.u. basé sur les tensions nominales (315 kV et 26,4 kV).  |  |   |  |                               |                  |  |  |  |

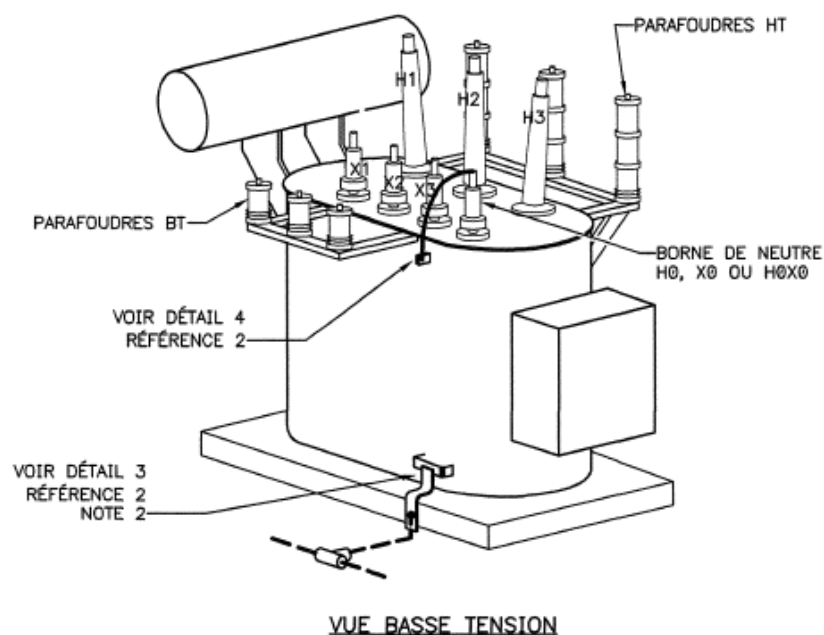
**C.20 Transformateur triphasé 69 kV/13,2 kV, 22,5 MVA (TP 69/12-22,5)****Tableau P1.C.20 : Caractéristiques des TP 69/12-22,5**

| # de prise   | Tension nominale de l'enroulement primaire<br>kV | Courant de prise de l'enroulement primaire |              | Tension de prise de l'enroulement secondaire<br>kV | Courant nominal de l'enroulement secondaire<br>A | Tension nominale d'exploitation au secondaire<br>kV | Tension admissible en régime permanent à vide<br>p.u. <sup>a</sup> | Impédance sur la base de la tension de la prise et 22,5 MVA<br>(Tolérance de ± 5%)<br>% |
|--|--|--|--------------|--|--|---|--|---|
|  |  | Borne<br>A                                 | Enroul.<br>A |  |  |   |  |   |
| 1  | 69   | 160  | 92           | 11,2   | 984  | 13,2  | 1,1  | 12,0  |
| 9  | 69   | 188  | 109          | 13,2   | 984  | 13,2  | 1,1  | 11,5  |
| 17   | 69   | 217  | 125          | 15,2   | 984  | 13,2  | 1,1  | 11,0  |
| <p>NOTE 1    Aucun essai de tenue entre phases dans l'air n'est requis si les distances d'isolement entre phases dans l'air sont supérieures à 700 mm entre les phases haute tension, et à 160 mm entre les phases basse tension.</p> <p>NOTE 2    Rapport de transformation: 69 kV/13,2 kV ± 8 x 1,875 %.</p> |  |  |              |  |  |   |  |   |
| <p><sup>a</sup>    En p.u. basé sur les tensions nominales (69 kV et 13,2 kV).</p>   |  |  |              |  |  |   |  |   |

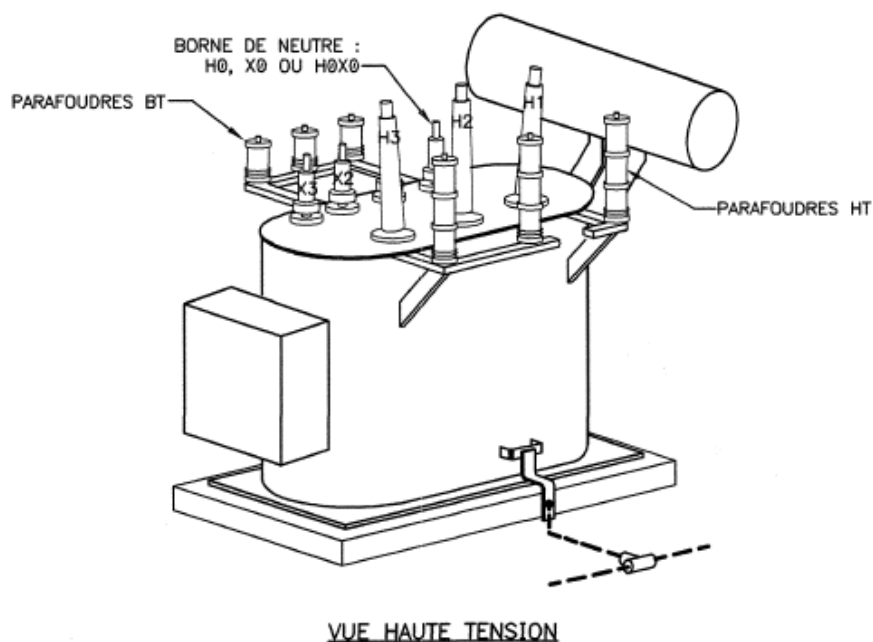
## D Annexe D (normative) : Dessins normalisés (MALT et Tuyauterie)

L'annexe D présente des dessins normalisés :

- Figures P1.D.1 à P1.D.9 pour la mise à la terre des appareils;
- Figure P1.D.10 pour l'agencement général des tuyaux et des robinets sur la cuve pour faciliter les opérations de dégazage et de traitement de l'huile isolante.



**Figure P1.D.1 : Exigences MALT – Transformateur triphasé (N400-40140-027-01)**



**Figure P1.D.2 : Exigences MALT – Transformateur triphasé (N400-40140-027-01)**

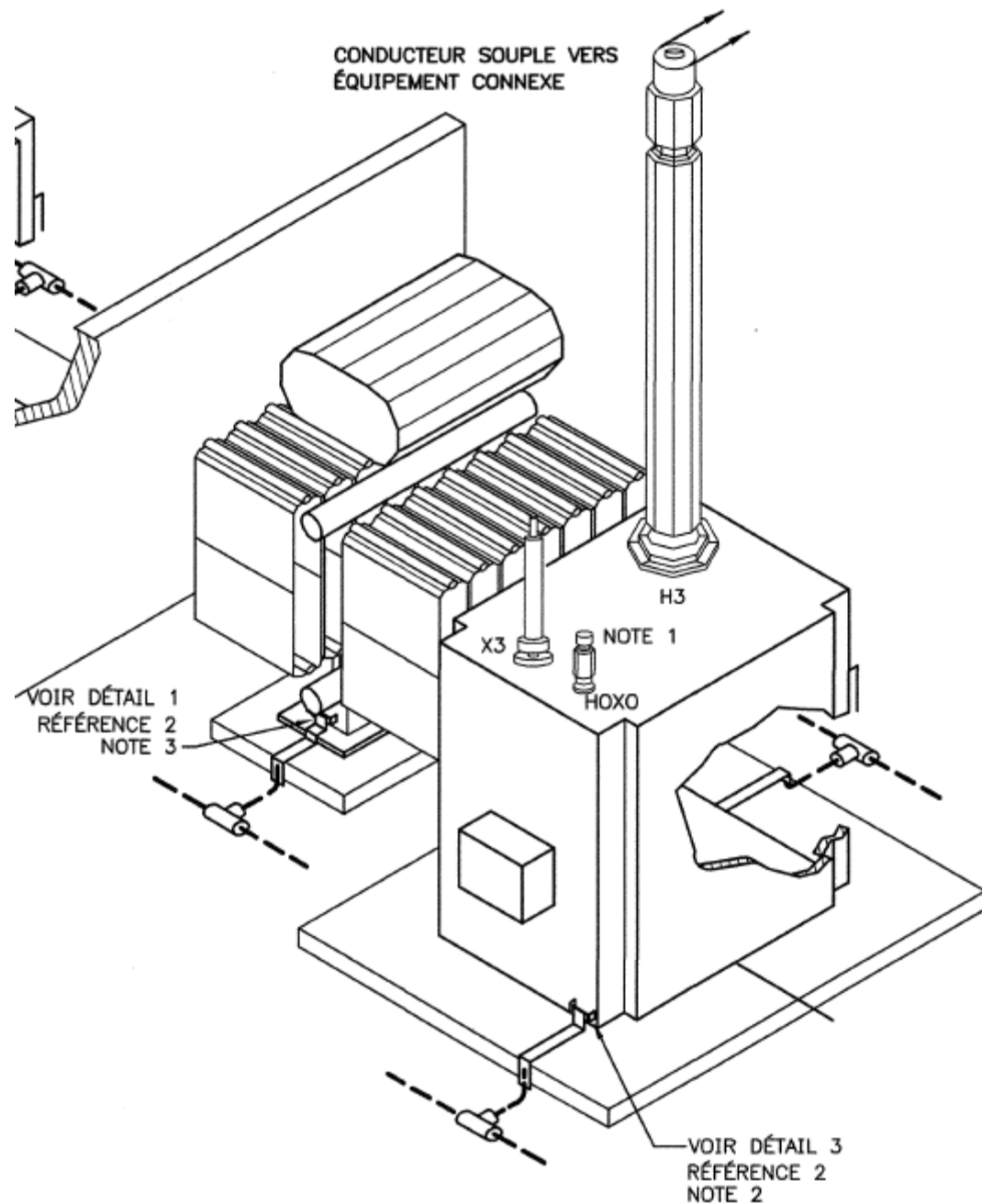


Figure P1.D.3 : Exigences MALT – Transformateur monophasé (N400-40140-027-01)

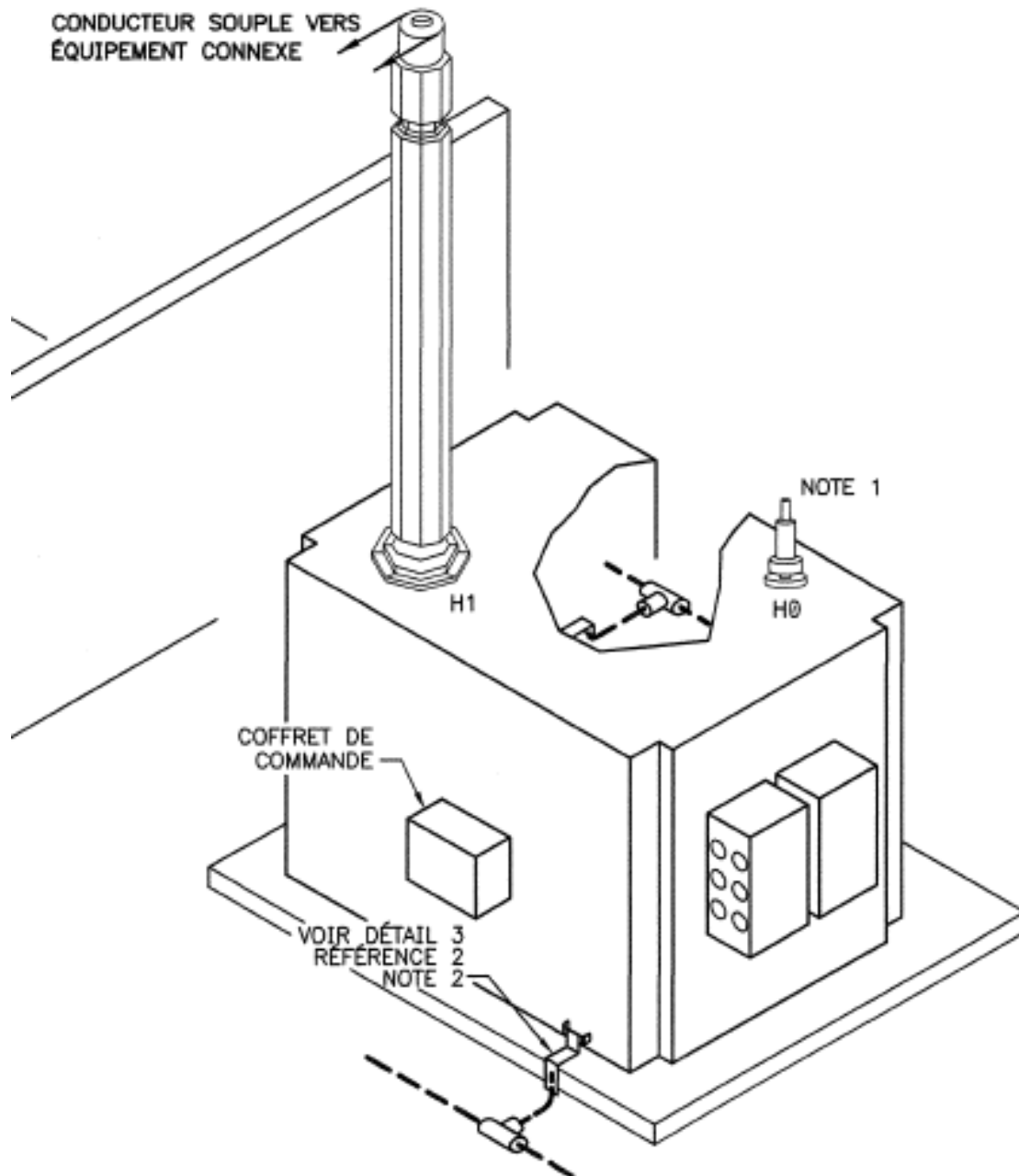
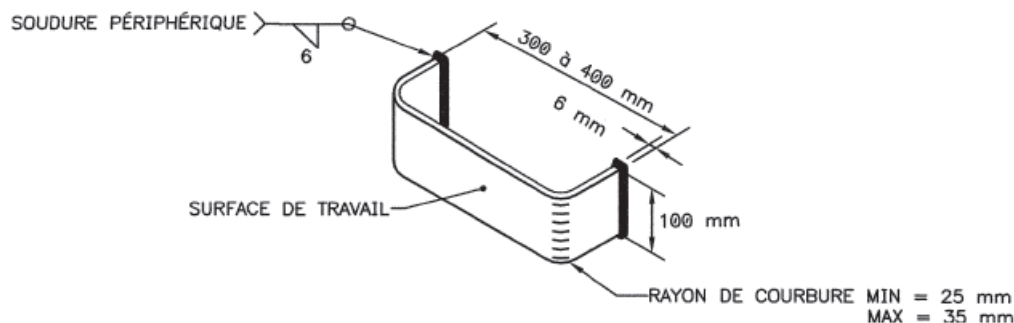


Figure P1.D.4 : Exigences MALT – Inductance shunt monophasée (N400-40140-027-01)



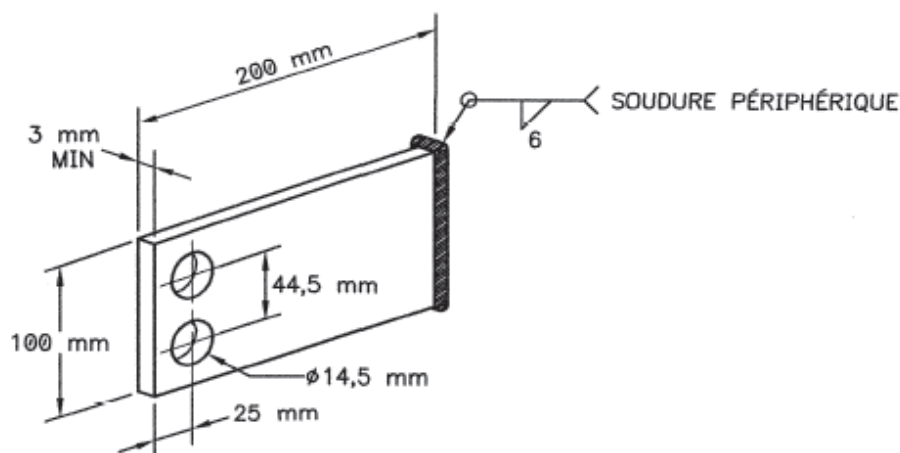
**DÉTAIL 1**

BORNE DE TERRE EN ACIER GALVANISÉ  
POUR LA CUVE DU TRANSFORMATEUR

**FABRICATION**

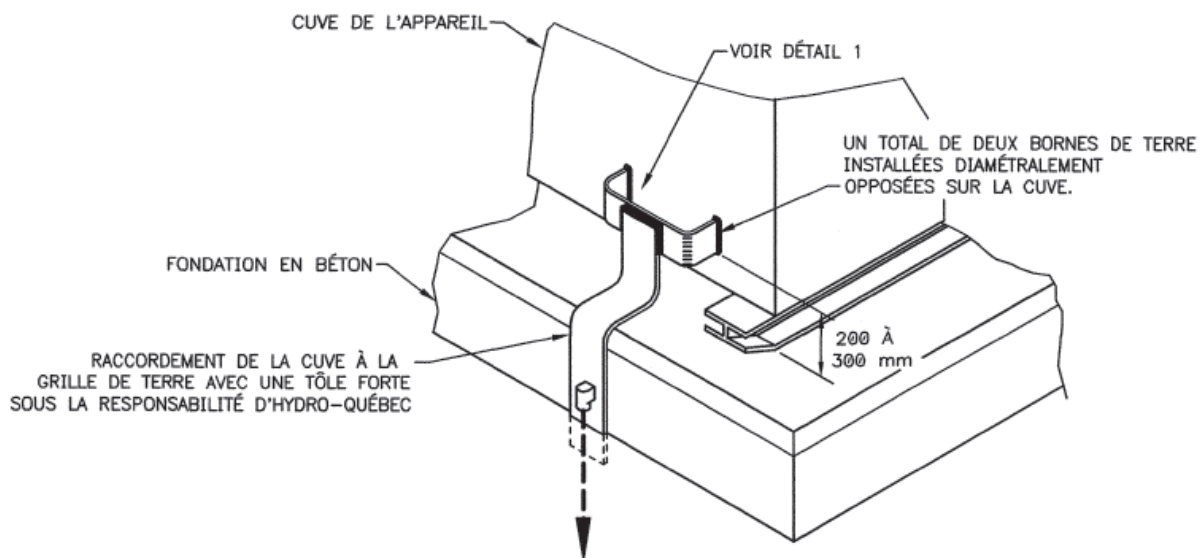
- A) TÔLE FORTE SELON LA NORME CAN/CSA G40.21 M, 300 OU 300 W SOUDÉE AU CHÂSSIS DE L'APPAREIL.
- B) HAUTEUR 100 mm, ÉPAISSEUR 6 mm.
- C) LA SURFACE DE TRAVAIL (100 mm X 300-400 mm) DOIT ÊTRE DISPOSÉE DE FAÇON À CE QUE LA PLAQUE QUI Y SERA SOUDÉE, ENTRE CETTE SURFACE ET LA FONDATION EN BÉTON, SOIT DISPOSÉE VERTICALEMENT.
- D) GALVANISATION APRÈS FORMAGE SELON ASTM-123.

**Figure P1.D.5 : Exigences MALT, détail #1 (N400-40140-026-01)**

**DÉTAIL 2**

BORNE DE TERRE EN CUIVRE  
POUR LA MISE À LA TERRE DE TRAVERSÉE DE NEUTRE

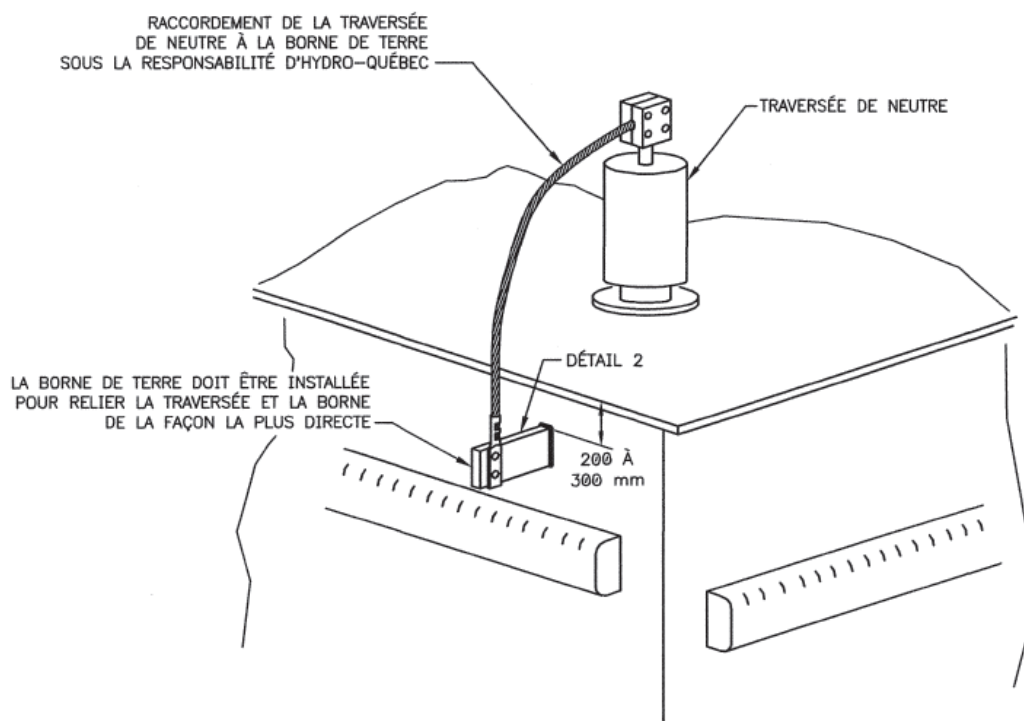
**Figure P1.D.6 : Exigences MALT, détail #2 (N400-40140-026-01)**



### DÉTAIL 3

RACCORDEMENT À LA TERRE DE LA CUVE

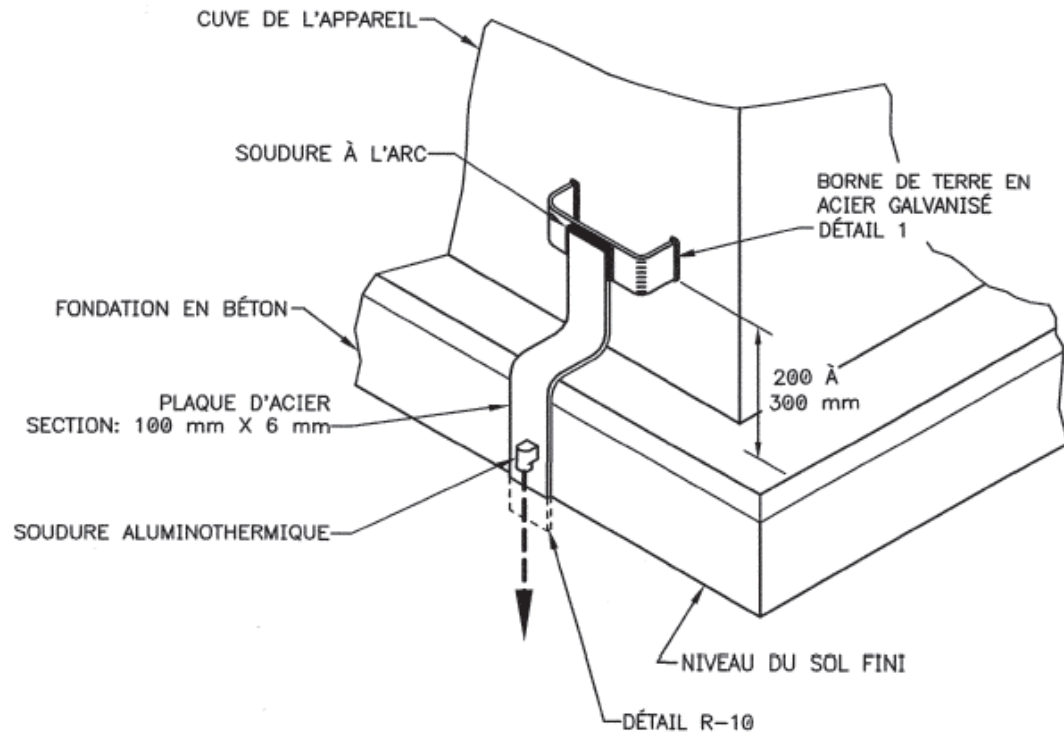
**Figure P1.D.7 : Exigences MALT, détail #3 (N400-40140-026-01)**



### DÉTAIL 4

RACCORDEMENT À LA TERRE D'UNE BORNE DE NEUTRE

**Figure P1.D.8 : Exigences MALT, détail #4 (N400-40140-026-01)**



### DÉTAIL 5

RACCORDEMENT À LA TERRE PAR UNE PLAQUE D'ACIER

**Figure P1.D.9 : Exigences MALT, détail #5 (N400-40140-026-01)**

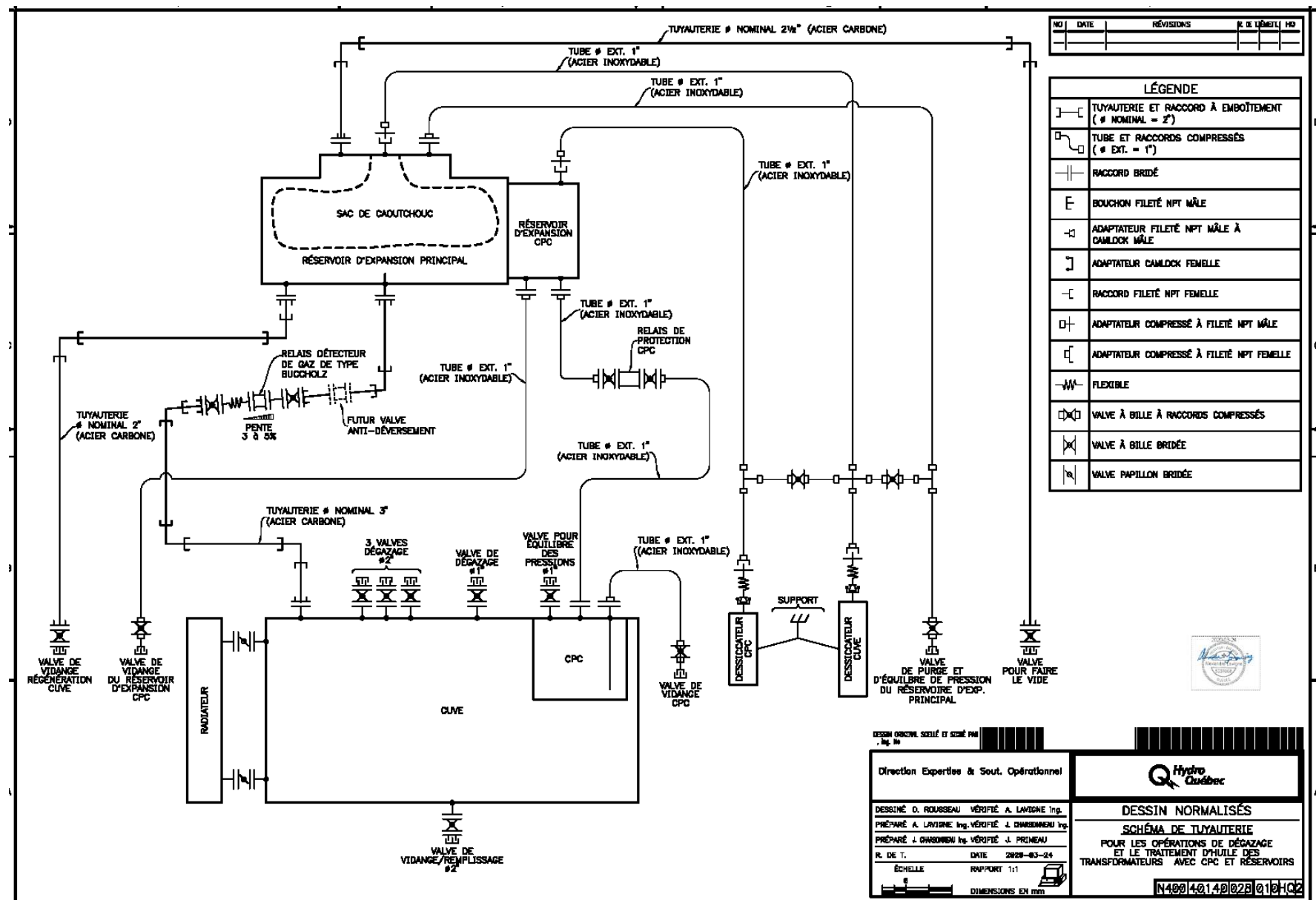


Figure P1.D.10 : Schéma de tuyauterie normalisé (N400-40140-028-01)

© Hydro-Québec Innovation, équipement et services partagés et TransÉnergie, 2020

Toute reproduction ou diffusion de ce document, en partie ou en totalité, ou toute utilisation qui n'est pas pour les fins d'Hydro-Québec ou de TransÉnergie est prohibée, sans l'autorisation d'Hydro-Québec ou de TransÉnergie.

## E Annexe E (normative) : Caractéristiques physiques normalisées

Cette annexe présente des exigences de conception plus détaillées pour les appareils aux caractéristiques physiques normalisées présentés au Tableau P1.10 à l'article 4.4 de la présente norme.

### TP 120/25-47 (C.7) - Transformateur triphasé 120 kV/26,4 kV, 47 MVA

#### A. Encombrement physique

##### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 7 075
- Profondeur maximale (mm) 5 250
- Hauteur maximale (mm) 5 520

##### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 11 400
- Profondeur maximale (mm) 9 550
- Hauteur maximale (mm) 8 000

##### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 4 780
- Profondeur maximale (mm) 2 500

##### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 27 500

##### Poids

- Poids total maximal (kg) 83 000

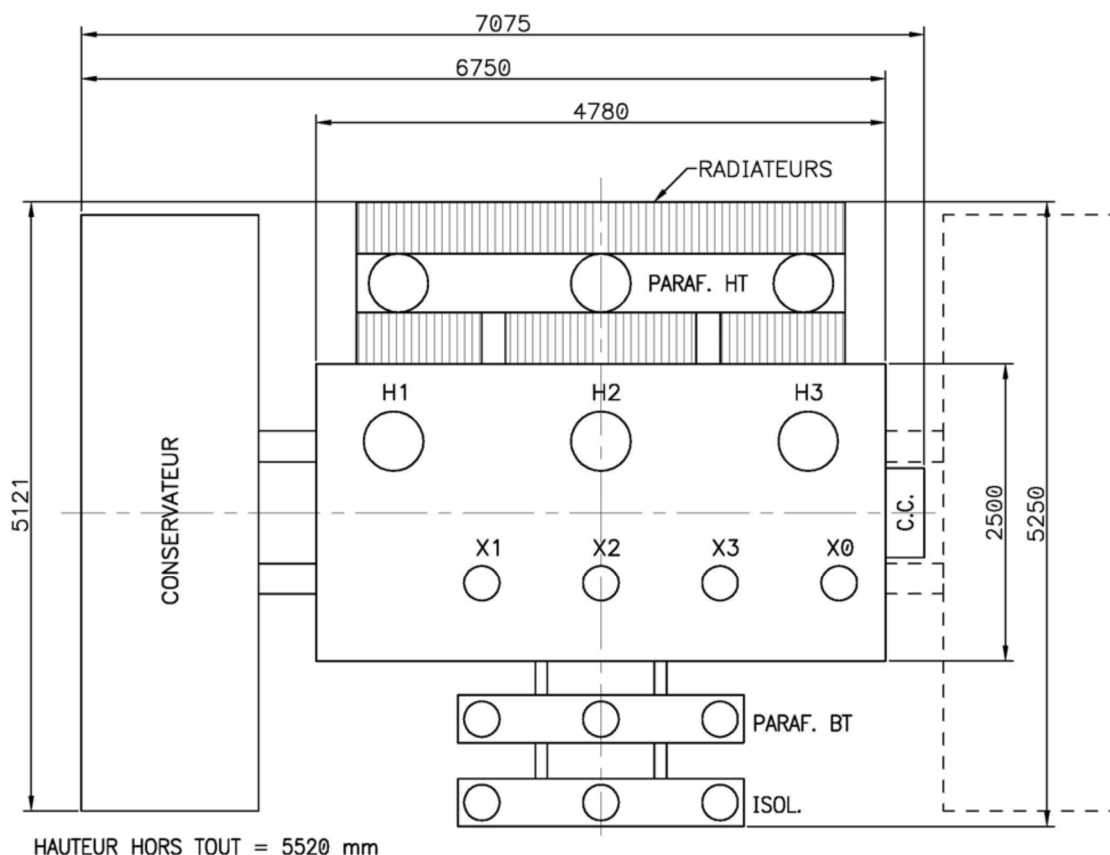
##### Présence et disposition des principaux composants

- Conservateur Du côté de la traversée H1  
Transférable du côté H3
- Coffret de commande Du côté de la traversée H3
- Changeur de prises en charge Du côté de la traversée H1
- Radiateurs Du côté haute tension  
Si requis, pour plus de radiateurs, les installer du côté basse tension
- Parafoudres Non livrés avec le transformateur
- Présence de supports de parafoudres, Oui  
côté haute tension
- Présence de supports de parafoudres Oui  
côté basse tension

- Distance entre phases des supports de 1 000  
parafofoudres, côté basse tension (mm)
- Présence d'ancrages pour isolateurs, Non  
côté haute tension
- Présence d'ancrage pour isolateurs, Oui  
parafofoudres, côté basse tension
- Distance entre phases des ancrages pour 1 000  
Isolateurs, côté basse tension (mm)

#### Nature du fond de la cuve

- Fond reposant sur des patins Acceptable
- Fond plat Non acceptable



**Figure P1.1.C.7 : Arrangement général**

## B. Ancrage à la fondation en béton

Le dispositif d'ancrage aux fondations doit permettre un assemblage tant par boulonnage que par soudage. Les boulons d'ancrage doivent être sélectionnés parmi les modèles normalisés définis dans le dessin N400-40300-045-01-A-PE-2. Les dimensions maximales pour l'ancrage du transformateur de puissance sont indiquées à la figure P1.2.C.7.

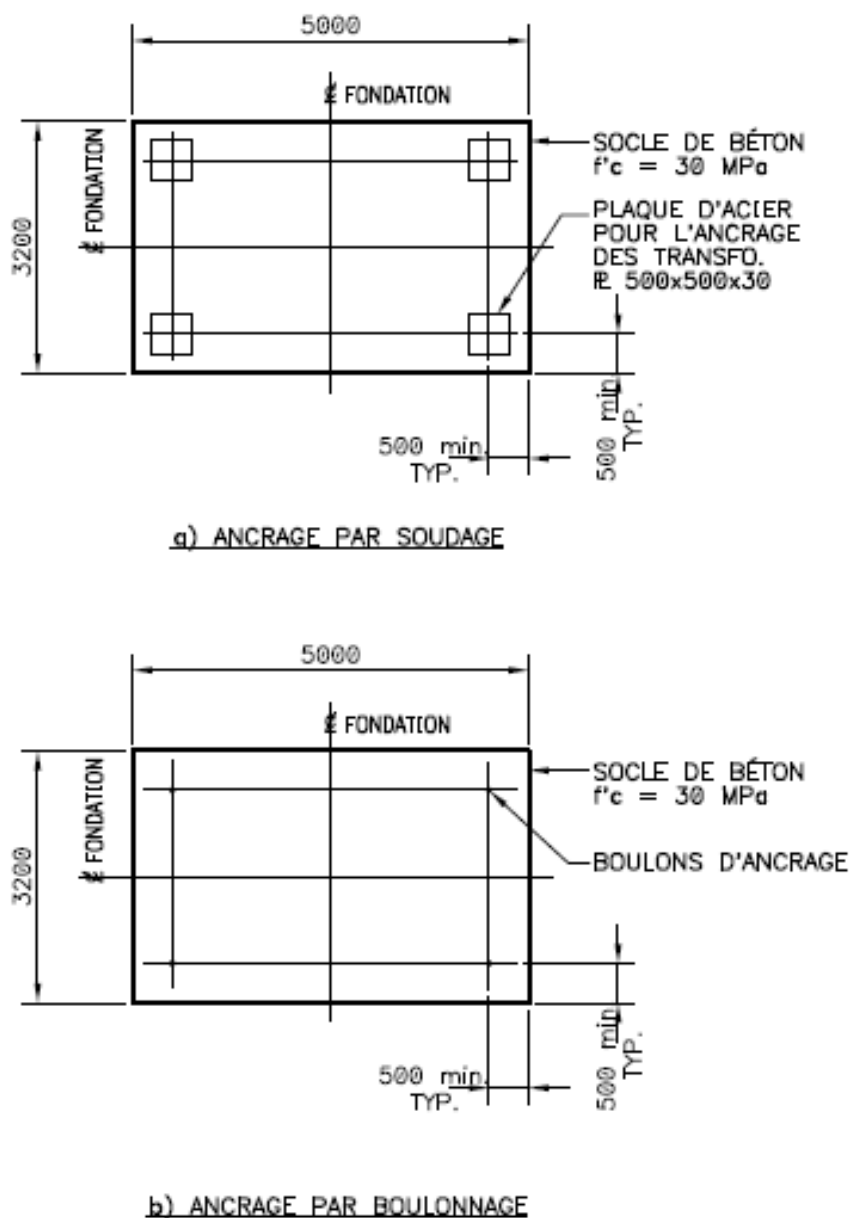


Figure P1.2.C.7 : Ancrage à la fondation en béton

## TP 230/25-66 (C.12) - Transformateur triphasé 230 kV/26,4 kV, 66 MVA

### A. Encombrement physique

#### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 9 646
- Profondeur maximale (mm) 5 900
- Hauteur maximale (mm) 6 896

#### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 9 646
- Profondeur maximale (mm) 5 100
- Hauteur maximale (mm) 5 815

#### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 6 000
- Profondeur maximale (mm) 2 600

#### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 50 000

#### Poids

- Poids total maximal (kg) 127 000

#### Présence et disposition des principaux composants

- Conservateur Du côté de la traversée H1  
Transférable du côté H3

Le conservateur doit être désaxé vers le côté basse tension afin de ne pas excéder l'axe formé par les tiges de raccordement des traversées H1 et H3. Un dégagement phase-terre minimal de 2 200 mm doit être respecté entre les parties sous tension de la traversée haute tension et le conservateur.

- Coffret de commande Du côté de la traversée H3
- Radiateurs Du côté basse tension
- Parafoudres Non livrés avec le transformateur
- Présence de supports de parafoudres, côté haute tension Non
- Présence de supports de parafoudres, côté basse tension Oui
- Distance entre phases des supports de parafoudres, côté basse tension (mm) 1 000
- Présence d'ancrages pour isolateurs, côté haute tension Non



- Présence d'ancrage pour isolateurs, parafoudres, côté basse tension Oui
- Distance entre phases des ancrages pour Isolateurs, côté basse tension (mm) 1 000

#### Nature du fond de la cuve

- Fond reposant sur des patins Acceptable
- Fond plat Non acceptable

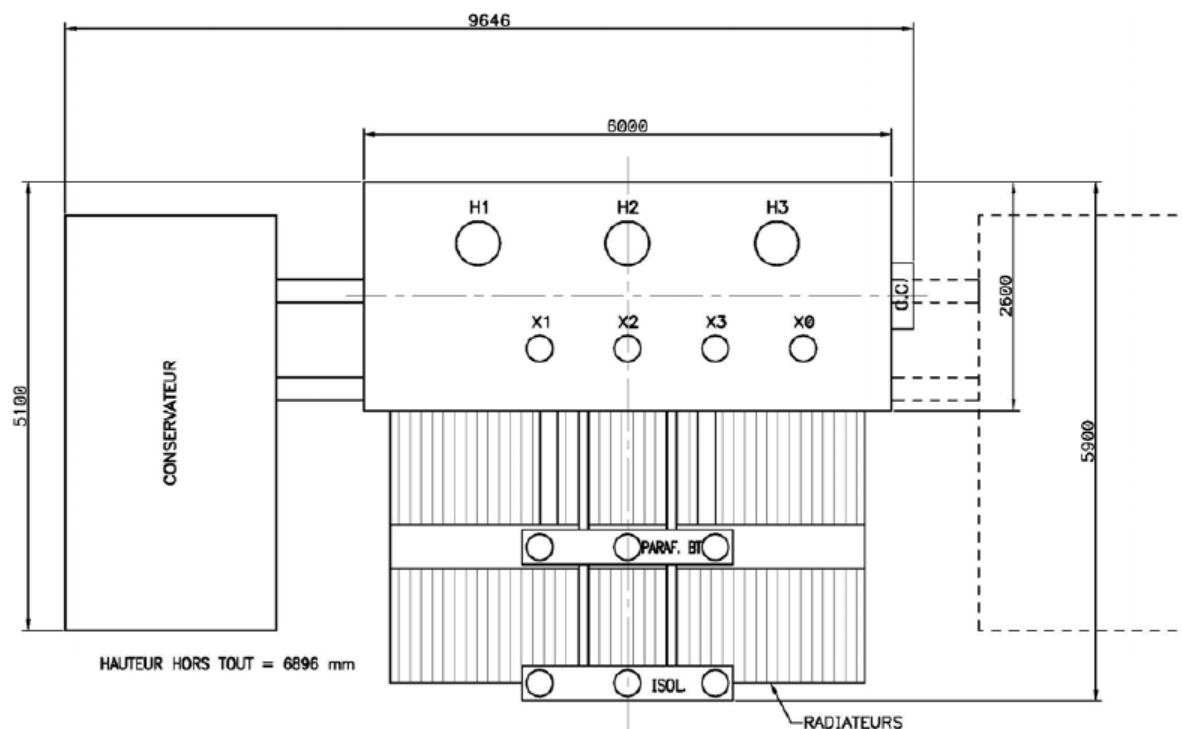


Figure P1.1.C.12 : Arrangement général

## B. Ancrage à la fondation en béton

Le dispositif d'ancrage aux fondations doit permettre un assemblage tant par boulonnage que par soudage. Les boulons d'ancrage doivent être sélectionnés parmi les modèles normalisés définis dans le dessin N400-40300-045-01-A-PE-2. Les dimensions maximales pour l'ancrage du transformateur de puissance sont indiquées à la figure P1.2.C.12.

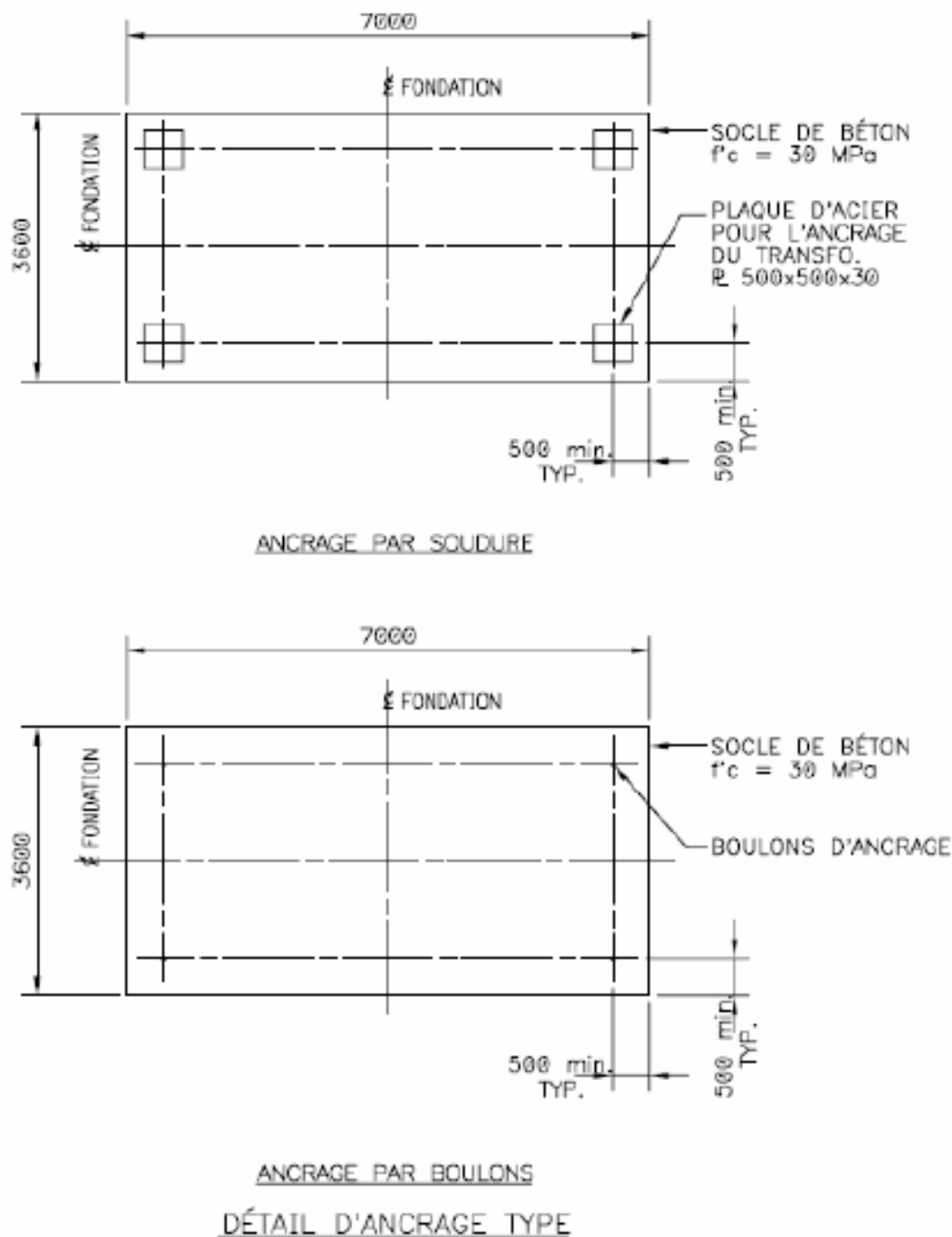


Figure P1.2.C.12 : Ancrage à la fondation en béton

## TP 230/120-400 (C.13) - Transformateur triphasé 230 kV/120 kV, 400 MVA

### A. Encombrement physique

#### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 11 400
- Profondeur maximale (mm) 9 550
- Hauteur maximale (mm) 8 500

#### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 11 400
- Profondeur maximale (mm) 9 550
- Hauteur maximale (mm) 8 000

#### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 10 000
- Profondeur maximale (mm) 3 750

#### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 94 500

#### Poids

- Poids total maximal (kg) 255 000

#### Présence et disposition des principaux composants

- Traversées du tertiaire Une seule traversée est sortie pour la mise à la terre du triangle
- Conservateur Du côté des traversées H3-X3
- Coffret de commande Du côté des traversées H3-X3
- Changeur de prises en charge Du côté des traversées H3-X3
- Radiateurs Sur deux côtés : haute tension et basse tension
- Parafoudres Non livrés avec le transformateur
- Présence de supports de parafoudres, côté haute tension Oui
- Présence d'ancrage pour isolateurs côté basse tension Non
- Présence d'ancrage pour parafoudres ou Isolateurs, côté haute tension Oui – Selon l'installation

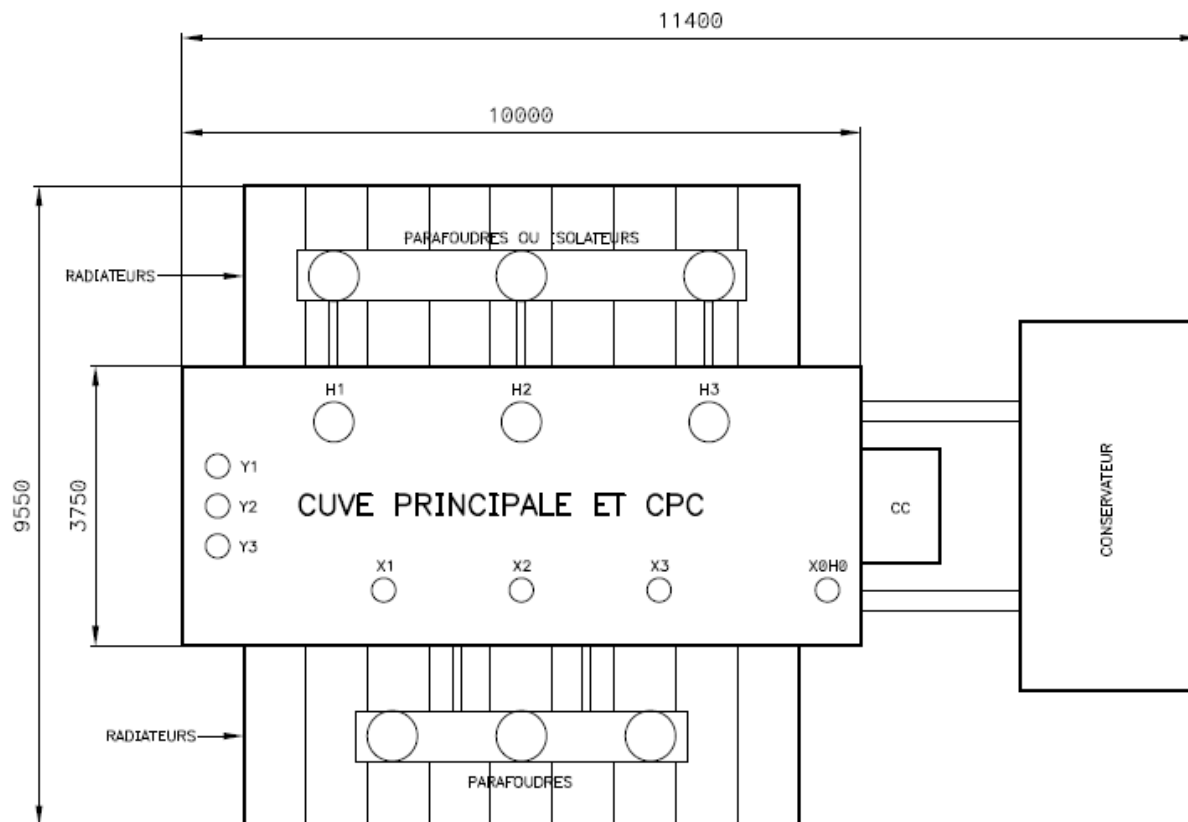
#### Nature du fond de la cuve

- Fond reposant sur des patins Acceptable
- Fond plat Acceptable

### Compartiment des traversées des enroulements tertiaires

Pour le compartiment des traversées des enroulements tertiaires, se référer au type C.16, plus loin dans le présent annexe :

- Figure P1.2.C.16 : Vue de face du compartiment des traversées des enroulements du tertiaire;
- Figure P1.3.C.16 : Détail 1 de la figure P1.2.C.16, haut du compartiment;
- Figure P1.4.C.16 : Détail 2 de la figure P1.2.C.16, bas du compartiment.



**Figure P1.1.C.13 : Arrangement général**

## B. Ancrage à la fondation en béton

Le dispositif d'ancrage aux fondations doit permettre un assemblage tant par boulonnage que par soudage. Les boulons d'ancrage doivent être sélectionnés parmi les modèles normalisés définis dans le dessin N400-40300-045-01-A-PE-2. Les dimensions maximales pour l'ancrage du transformateur de puissance sont indiquées à la figure P1.2.C.13.

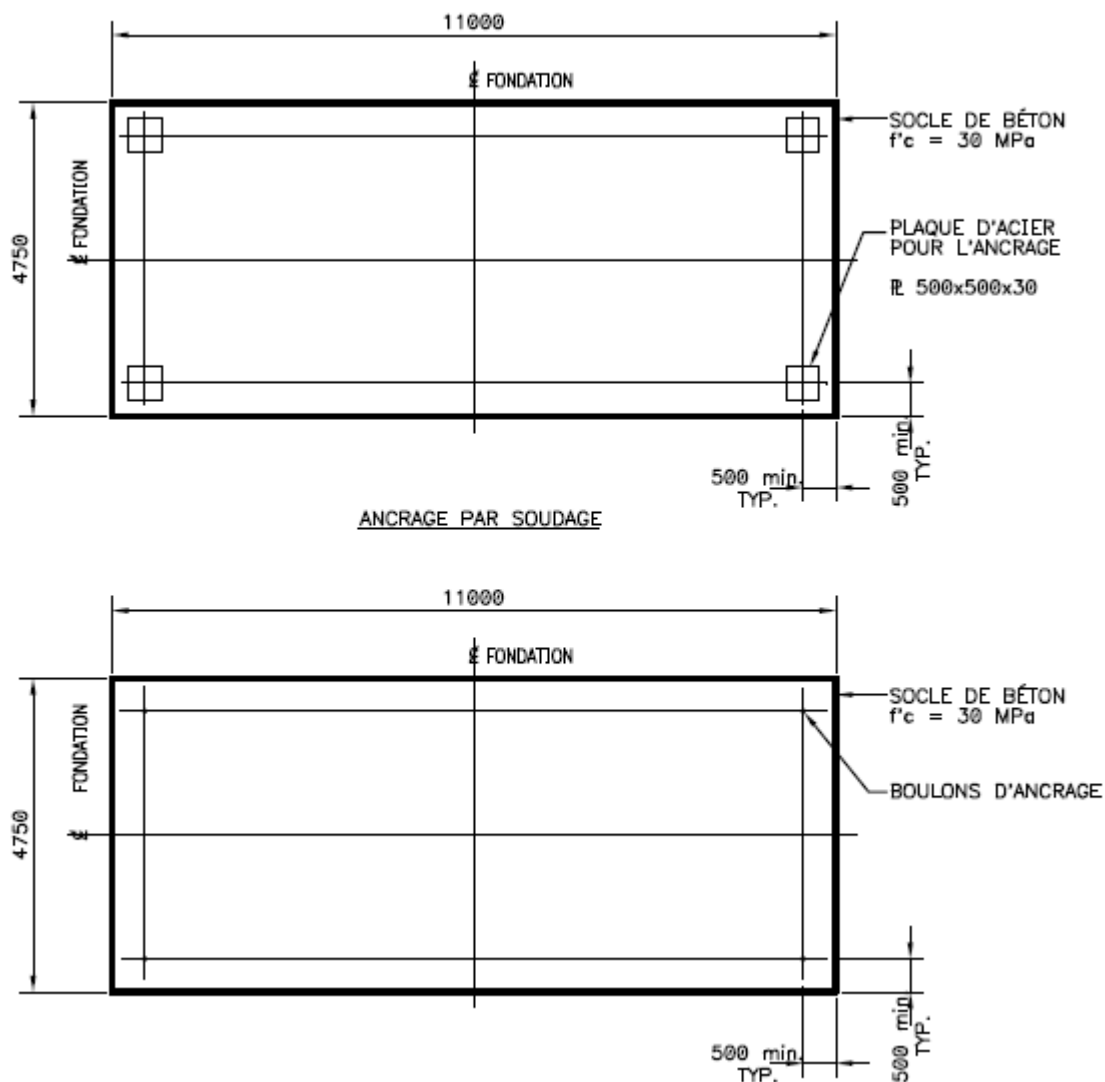


Figure P1.2.C.13 : Ancrage à la fondation en béton

## TP 315/25-66 (C.14) - Transformateur triphasé 315 kV/26,4 kV, 66 MVA

### A. Encombrement physique

#### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 12 070
- Profondeur maximale (mm) 6 000
- Hauteur maximale (mm) 7 500

#### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 12 070
- Profondeur maximale (mm) 5 200
- Hauteur maximale (mm) 6 500

#### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 7 200
- Profondeur maximale (mm) 3 200

#### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 62 000

#### Poids

- Poids total maximal (kg) 150 000

#### Présence et disposition des principaux composants

- Conservateur Du côté de la traversée H1  
Transférable du côté H3

Le conservateur doit être désaxé vers le côté basse tension afin de ne pas excéder l'axe formé par les tiges de raccordement des traversées H1 et H3. Un dégagement phase-terre minimal de 2 700 mm entre les parties sous tension de la traversée HT et du conservateur doit être respecté.

- Coffret de commande Du côté de la traversée H3
- Radiateurs Du côté basse tension
- Parafoudres Non livrés avec le transformateur
- Présence de supports de parafoudres, Non  
côté haute tension
- Présence de supports de parafoudres, Oui  
côté basse tension
- Distance entre phases des supports de 1 000  
parafoudres, côté basse tension (mm)
- Présence d'ancrage pour isolateurs Non  
côté haute tension

- Présence d'ancrage pour isolateurs Oui  
côté basse tension
- Distance entre phases des ancrages 1 000  
isolateurs, côté basse tension (mm)

#### Nature du fond de la cuve

- Fond reposant sur des patins Acceptable
- Fond plat Non acceptable

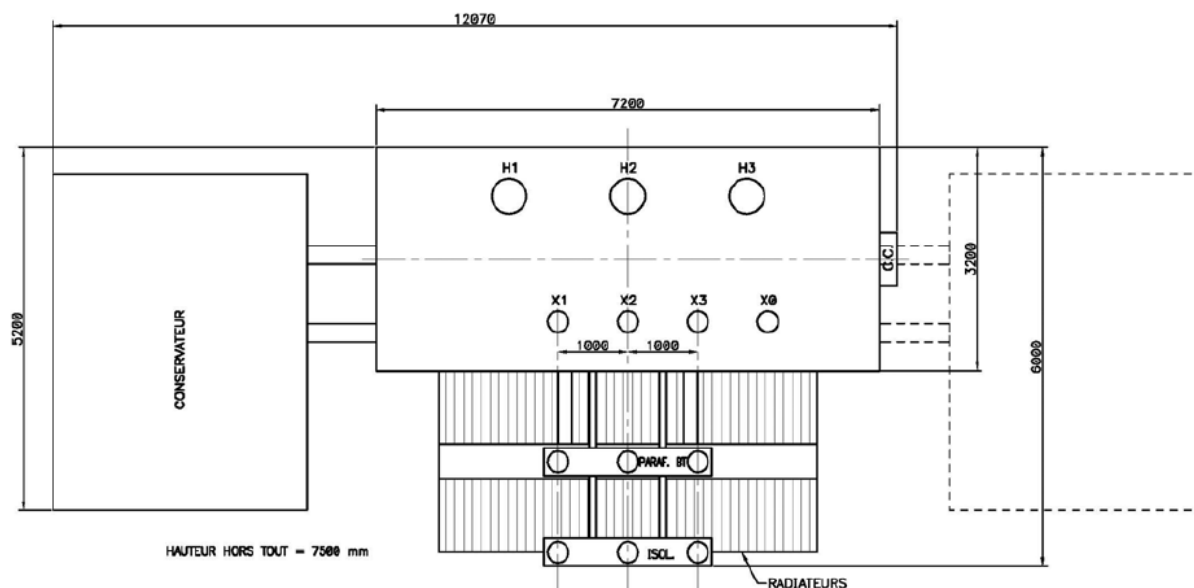


Figure P1.1.C.14 : Arrangement général

## B. Ancrage à la fondation en béton

Le dispositif d'ancrage aux fondations doit permettre un assemblage tant par boulonnage que par soudage. Les boulons d'ancrage doivent être sélectionnés parmi les modèles normalisés définis dans le dessin N400-40300-045-01-A-PE-2. Les dimensions maximales pour l'ancrage du transformateur de puissance sont indiquées à la figure P1.2.C.14.

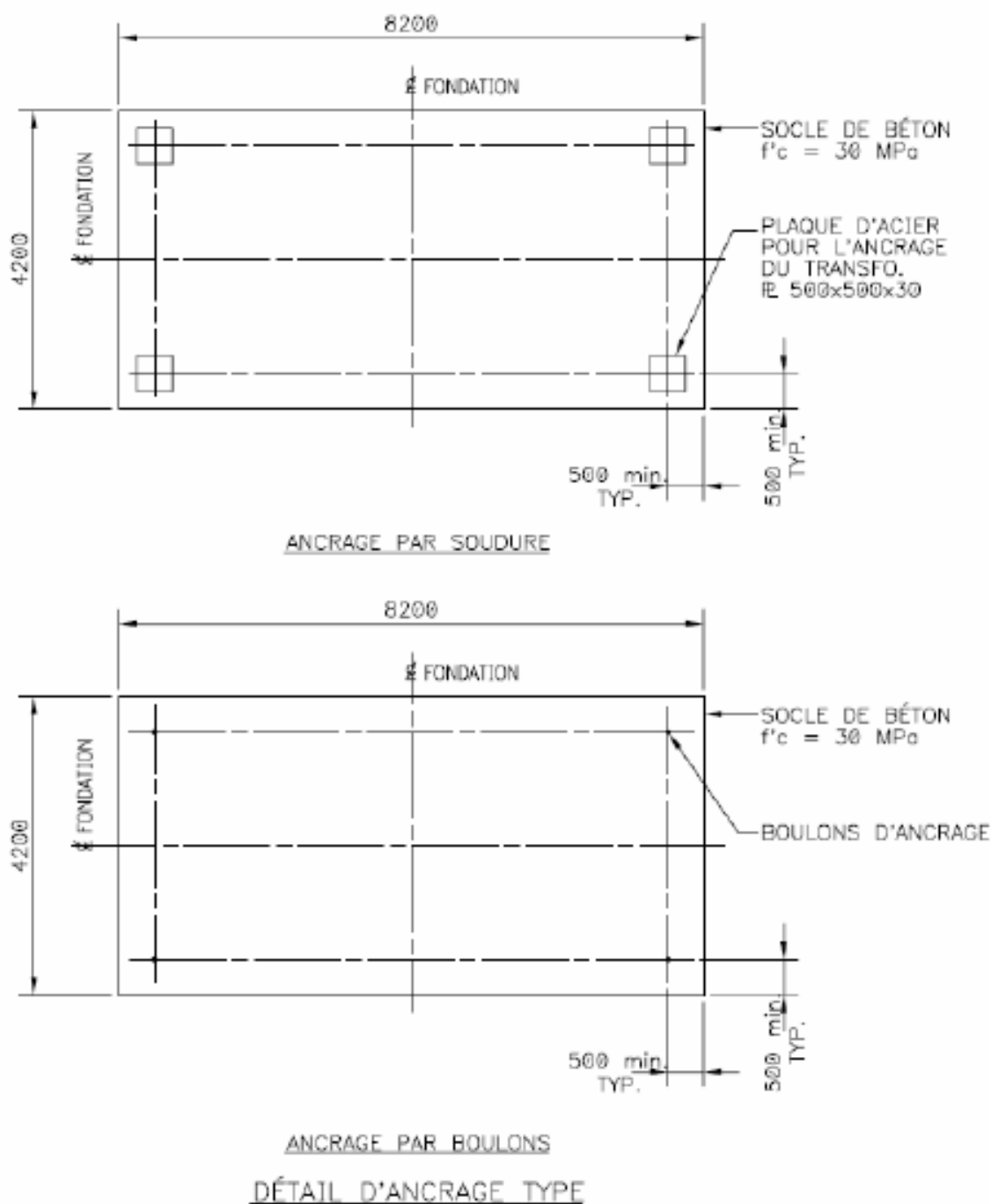


Figure P1.2.C.14 : Ancrage à la fondation en béton



## TP 315/25-140 (C.15) - Transformateur triphasé 315 kV/26,4 kV, 140 MVA

### A. Encombrement physique

#### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 11 200
- Profondeur maximale (mm) 6 000
- Hauteur maximale (mm) 9 000

#### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 11 200
- Profondeur maximale (mm) 6 000
- Hauteur maximale (mm) 7 800

#### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 7 000
- Profondeur maximale (mm) 2 900

#### Autres caractéristiques dimensionnelles

- Hauteur maximale du conservateur principal (mm) 7 000
- Distance maximale entre la ligne H2X2 et la limite externe du conservateur (mm) 7 000
- Distance souhaitée, centre à centre, entre les têtes des traversées BT voisines (mm) 1 250  
Note : Distance minimale acceptable : 1245 mm.

#### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 65 000

#### Poids

- Poids total maximal (kg) 175 000

#### Support pour parafoudres et isolateurs à la basse tension

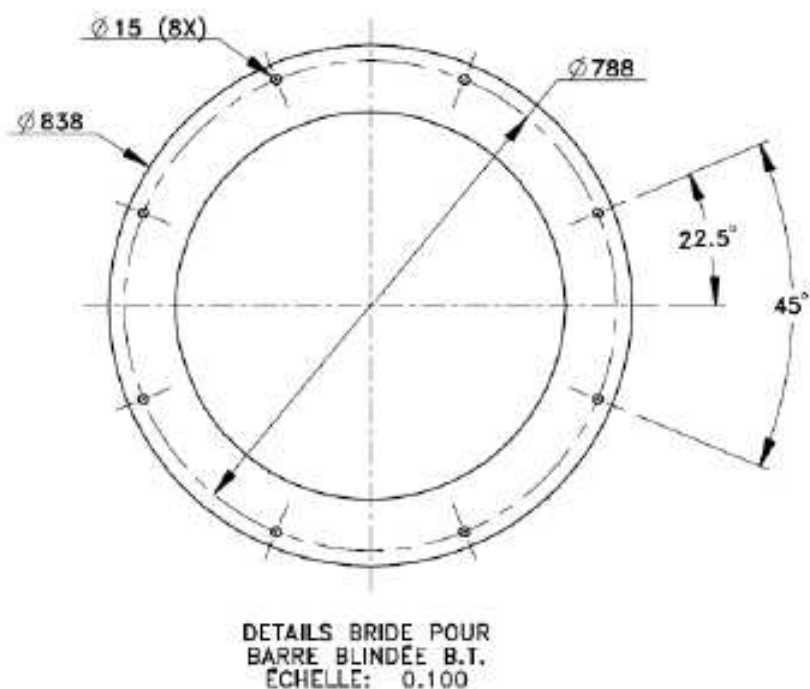
Un support doit être monté sur le côté basse tension de la cuve principale, avec des bases de fixation pour trois parafoudres et trois isolateurs.

#### Connexion de la basse tension (26,4 kV)

La connexion de la basse tension sera faite à l'air libre ou avec des conducteurs dans des barres blindées, selon l'installation. Si la technologie le permet, un seul type de traversée devrait être utilisé.

En prévision de la connexion par barres blindées, une collerette (bride) doit être installée autour de chaque traversée, avec les dimensions suivantes.

| # | Dimensions                            | Valeurs |
|---|---------------------------------------|---------|
| 1 | Diamètre extérieur (mm)               | 838     |
| 2 | Diamètre du cercle de boulonnage (mm) | 788     |
| 3 | Diamètre d'un trou de boulon (mm)     | 15      |
| 4 | Nombre de boulons                     | 8       |



**Figure P1.1.C.15 : Dimensions de la bride pour connexion par barres blindées**

#### Position du conservateur principal

Aucune partie du conservateur ne doit dépasser le plan des centres des traversées H1-H2-H3.

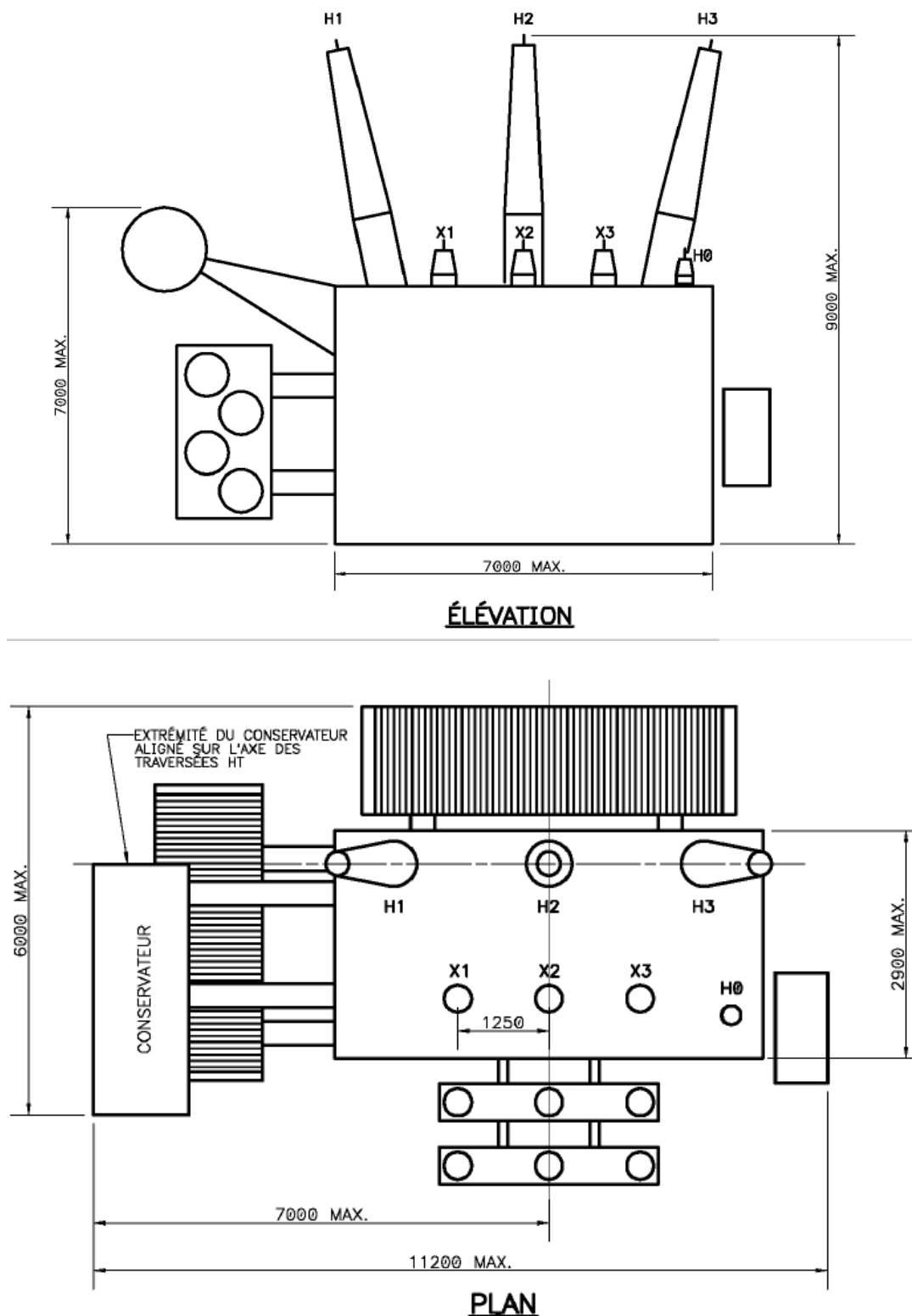


Figure P1.2.C.15 : Arrangement général

## TP 315/120-450 (C.16) - Transformateur triphasé 315 kV/120 kV, 450 MVA

### A. Encombrement physique

#### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 13 837
- Profondeur maximale (mm) 8 000
- Hauteur maximale (mm) 9 500

#### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 13 837
- Profondeur maximale (mm) 8 000
- Hauteur maximale (mm) 9 000

#### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 8 500
- Profondeur maximale (mm) 3 500

#### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 105 000

#### Poids

- Poids total maximal (kg) 350 000

#### Présence et disposition des principaux composants

- Traversées du tertiaire Du côté de la traversée H1
- Conservateur Du côté de la traversée H3
- Coffret de commande Du côté de la traversée H3
- Changeur de prises en charge Du côté de la traversée H3
- Radiateurs Sur deux côtés : haute tension et basse tension
- Parafoudres Non livrés avec le transformateur
- Présence de supports de parafoudres, Oui  
côté basse tension
- Présence d'ancrage pour isolateurs Non  
côté basse tension

#### Nature du fond de la cuve

- Fond reposant sur des patins Acceptable
- Fond plat Acceptable

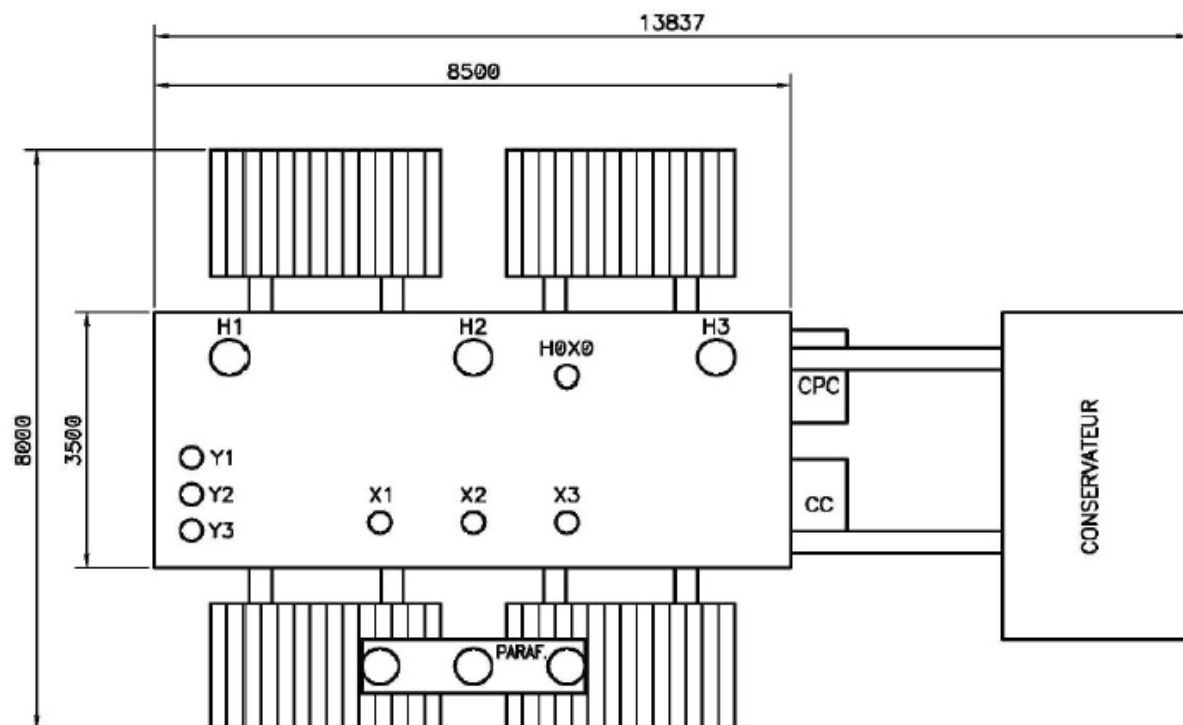


Figure P1.1.C.16 : Arrangement général

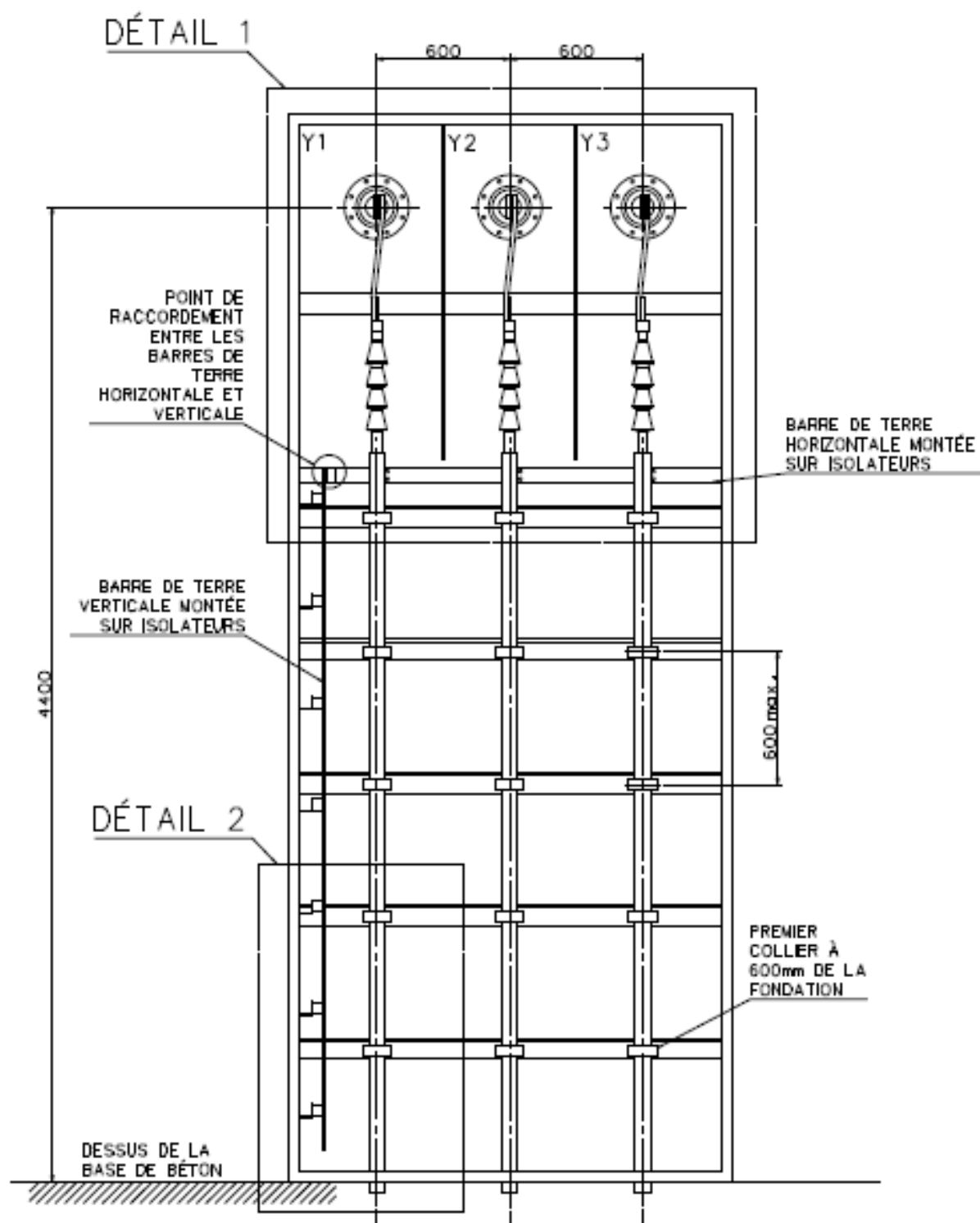
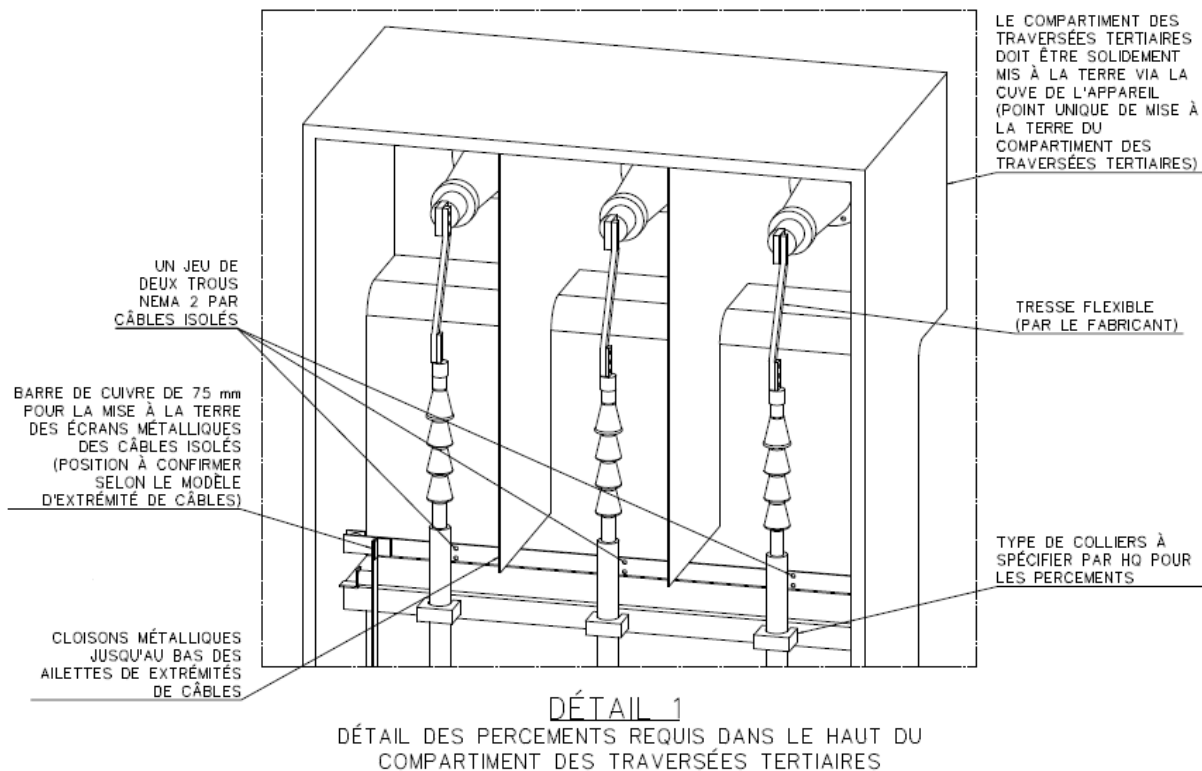
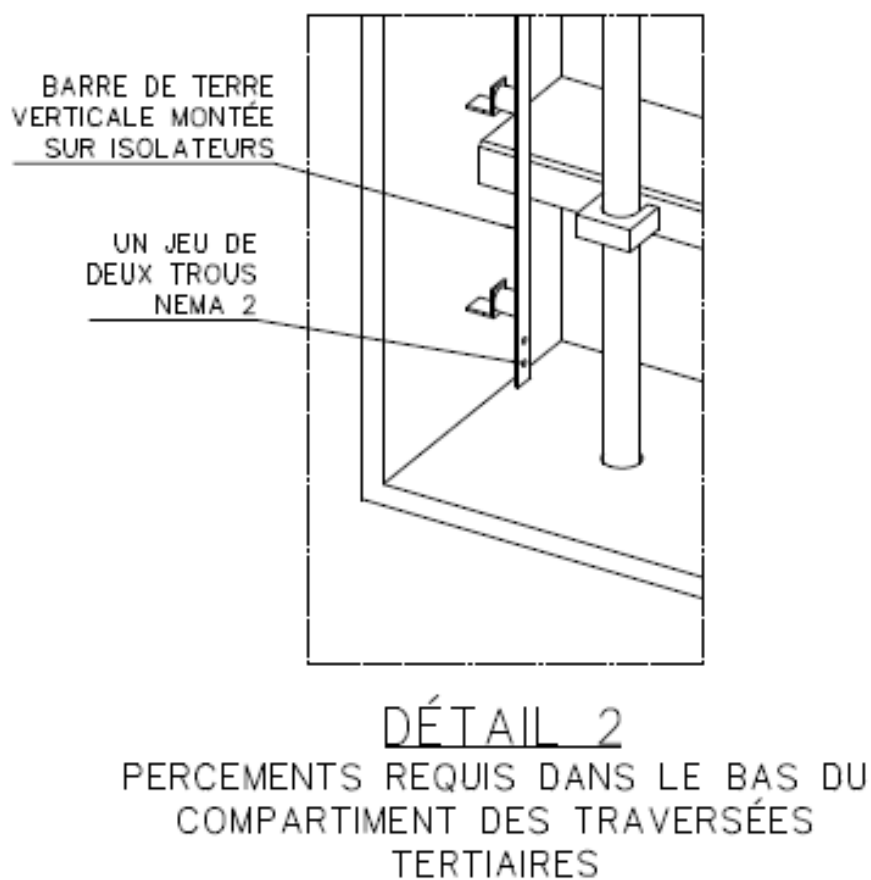


Figure P1.2.C.16 : Vue de face du compartiment des traversées des enroulements du tertiaire



**Figure P1.3.C.16 : Détail 1 de la figure P1.2.C.16, haut du compartiment**

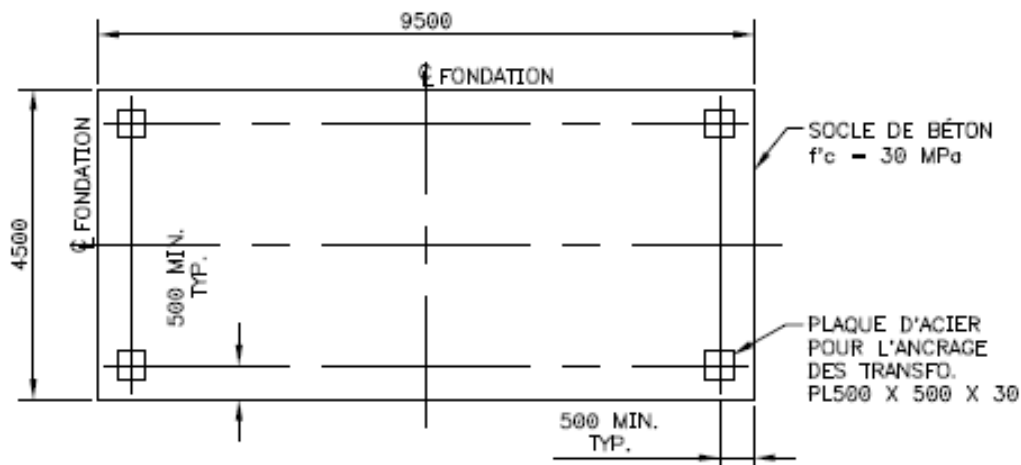


**Figure P1.4.C.16 : Détail 2 de la figure P1.2.C.16, bas du compartiment**

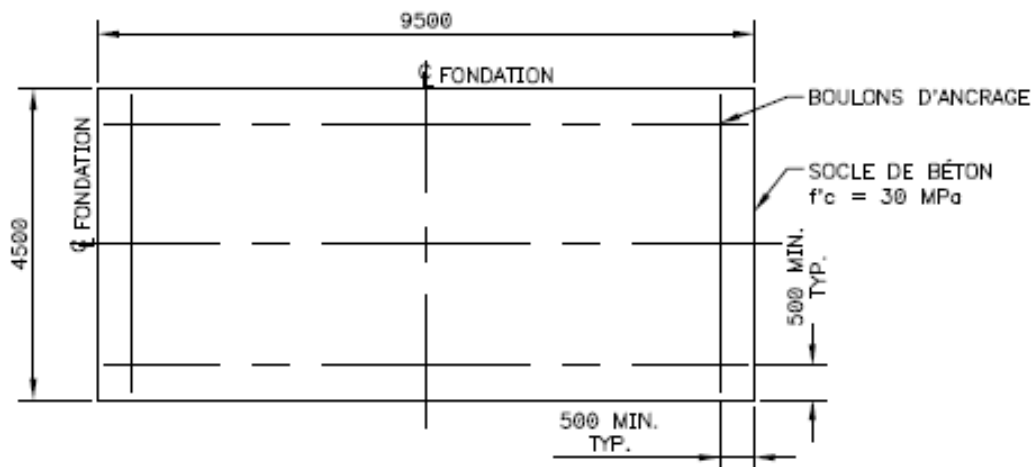


## B. Ancrage à la fondation en béton

Le dispositif d'ancrage aux fondations doit permettre un assemblage tant par boulonnage que par soudage. Les boulons d'ancrage doivent être sélectionnés parmi les modèles normalisés définis dans le dessin N400-40300-045-01-A-PE-2. Les dimensions maximales pour l'ancrage du transformateur de puissance sont indiquées à la figure P1.5.C.16.



### ANCRAGE PAR SOUDAGE



### ANCRAGE PAR BOULONNAGE

Figure P1.5.C.16 : Ancrage à la fondation en béton

## TP 735/315-550 (C.18) - Autotransformateur monophasé 735 kV/120 kV/12,5 kV, 550 MVA

### A. Encombrement physique

#### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 11 600
- Profondeur maximale (mm) 7 662
- Hauteur maximale (mm) 13 200

#### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 10 600
- Profondeur maximale (mm) 7 622
- Hauteur maximale (mm) 8 100

#### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 7 500
- Profondeur maximale (mm) 5 500

#### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 100 000

#### Poids

- Poids total maximal (kg) 300 000

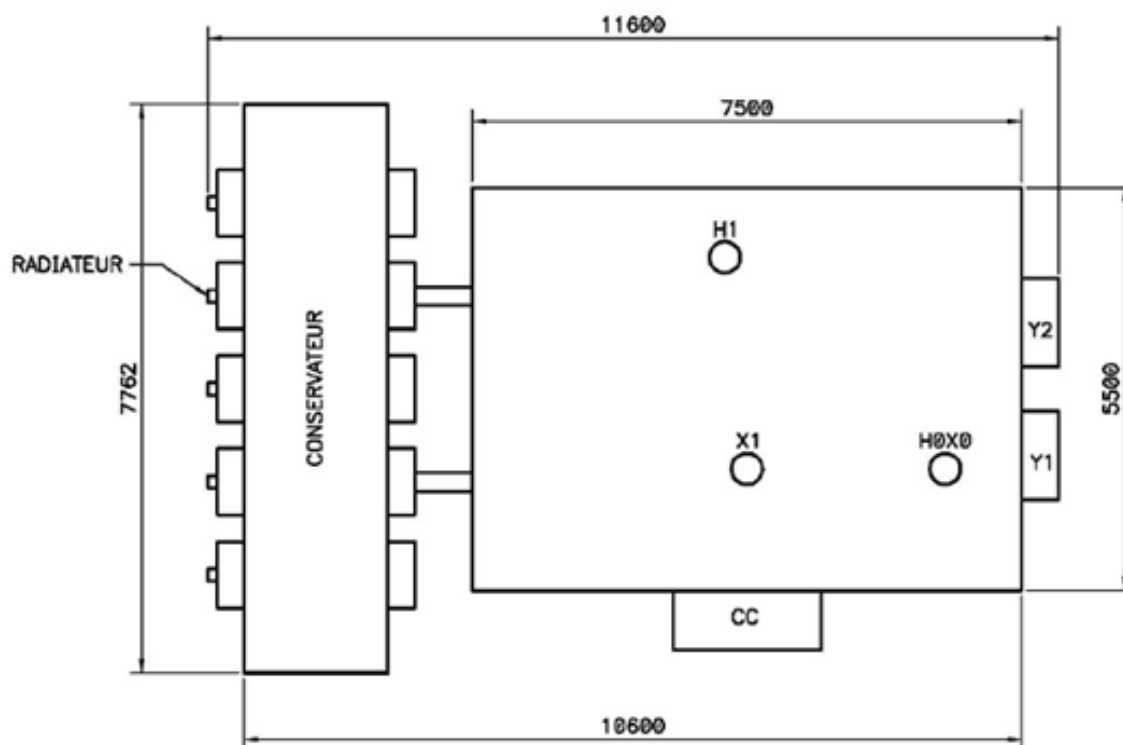
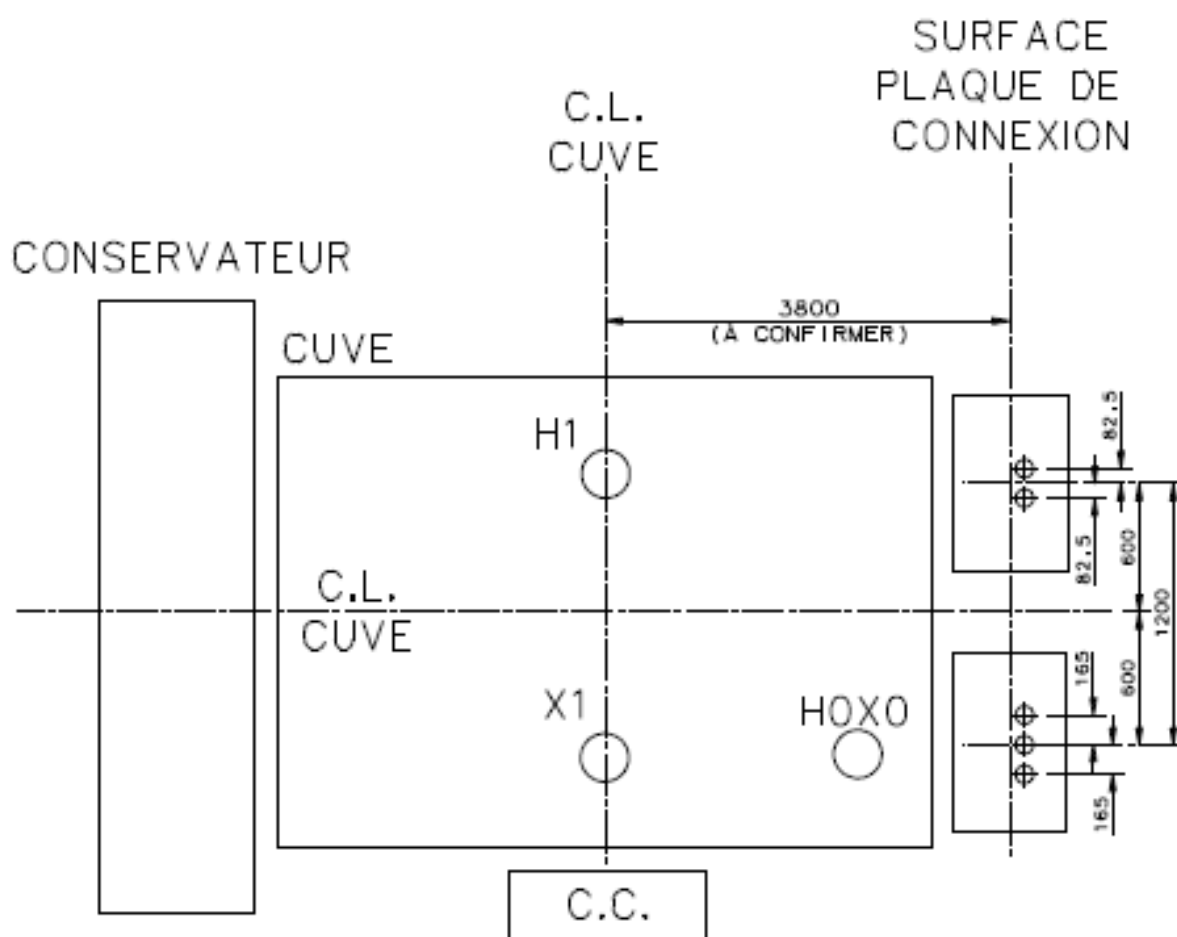
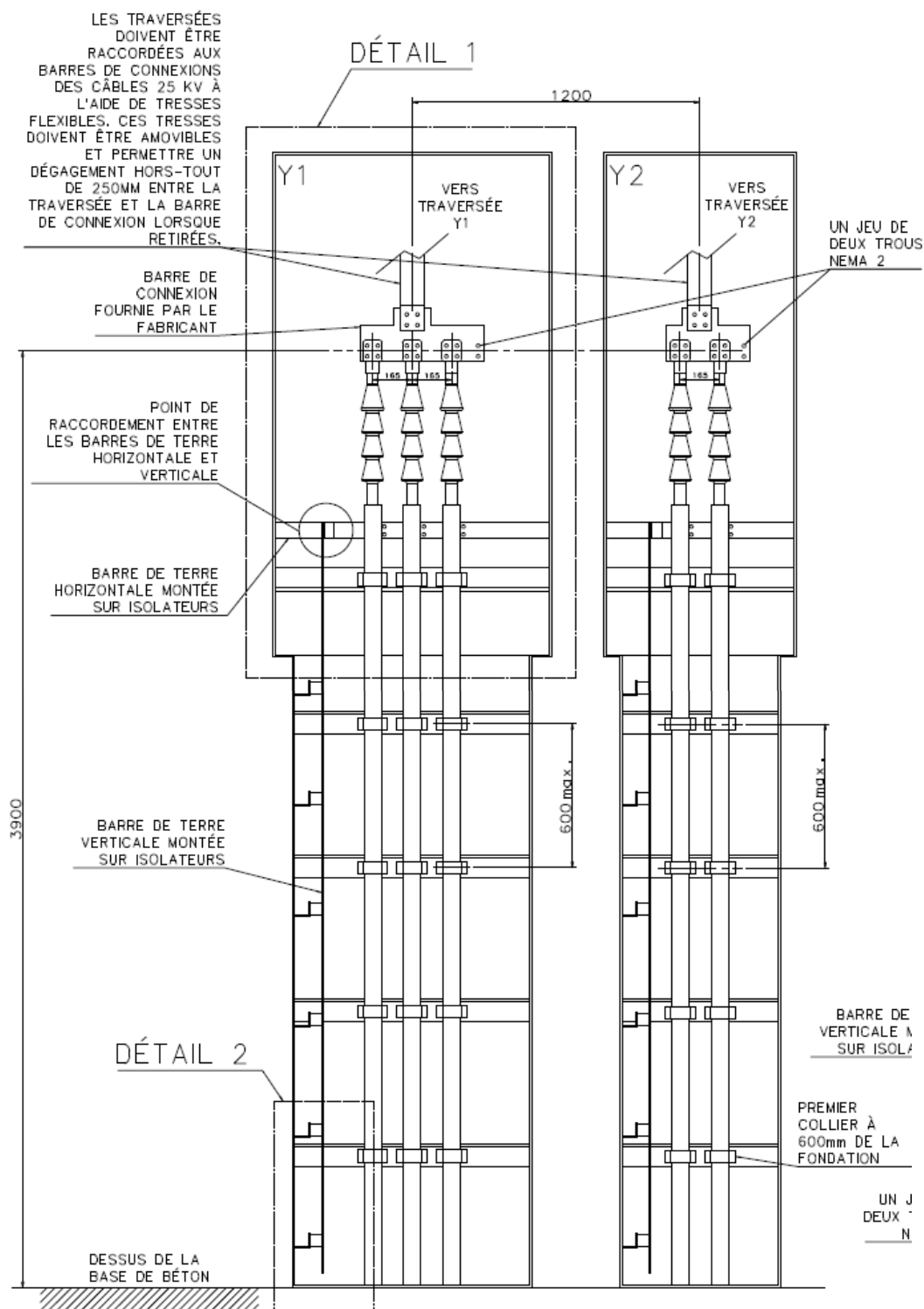


Figure P1.1.C.18 : Arrangement général

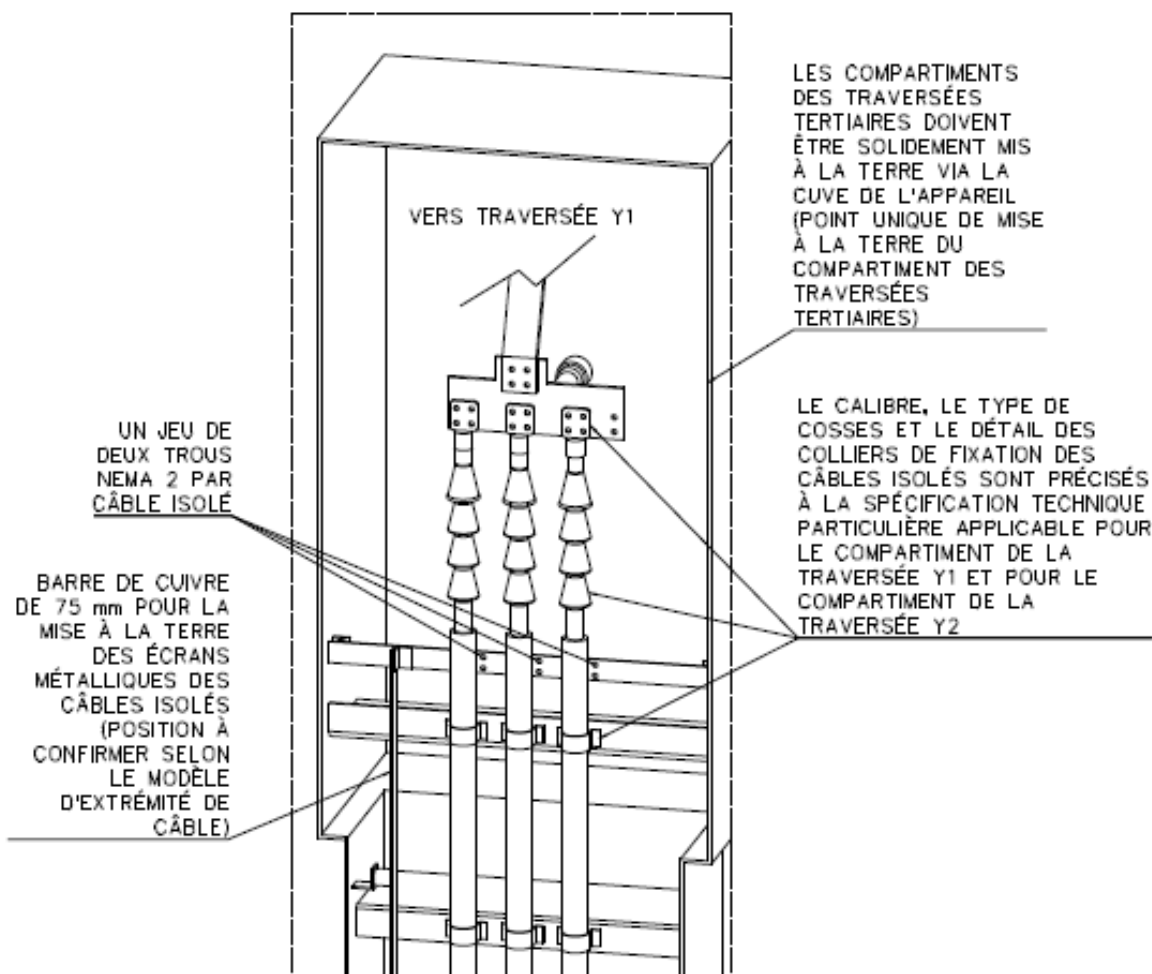


## POSITIONNEMENT DES BARRES DE CONNEXIONS

**Figure P1.2.C.18 : Positionnement des barres dans les  
compartiments tertiaires Y1 et Y2**



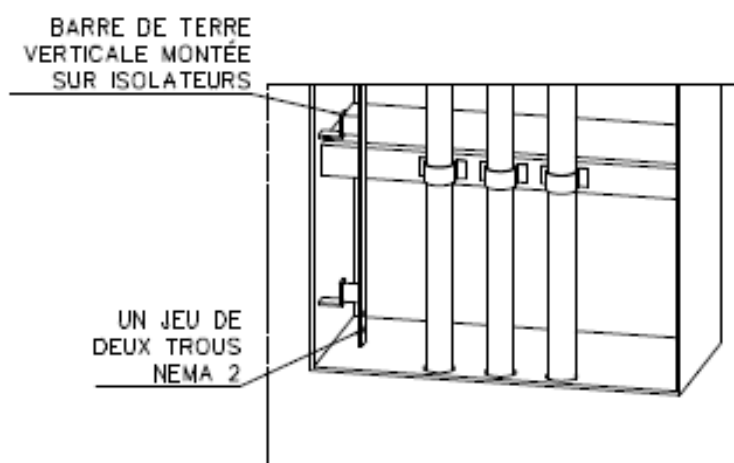
**Figure P1.3.C.18 : Vue de face des compartiments des traversées de l'enroulement tertiaire**



### DÉTAIL 1

DÉTAIL DES PERCEMENTS REQUIS DANS LE HAUT DU COMPARTIMENT DE LA TRAVERSÉE Y1 (NOTE 1)

**Figure P1.4.C.18 : Détail 1 de la figure P1.3.C.18, haut du compartiment Y1**



## DÉTAIL 2

DÉTAIL DES PERCEMENTS REQUIS DANS LE  
BAS DES COMPARTIMENTS DES  
TRAVERSÉES (Y1 ET Y2) DE  
L'ENROULEMENT TERTIAIRE

**Figure P1.5.C.18 : Détail 2 de la figure P1.3.C.18, bas des  
compartiments Y1 et Y2**

## B. Ancrage à la fondation en béton

Le dispositif d'ancrage aux fondations doit permettre un assemblage tant par boulonnage que par soudage. Les boulons d'ancrage doivent être sélectionnés parmi les modèles normalisés définis dans le dessin N400-40300-045-01-A-PE-2. Les dimensions maximales pour l'ancrage du transformateur de puissance sont indiquées à la figure P1.6.C.18.

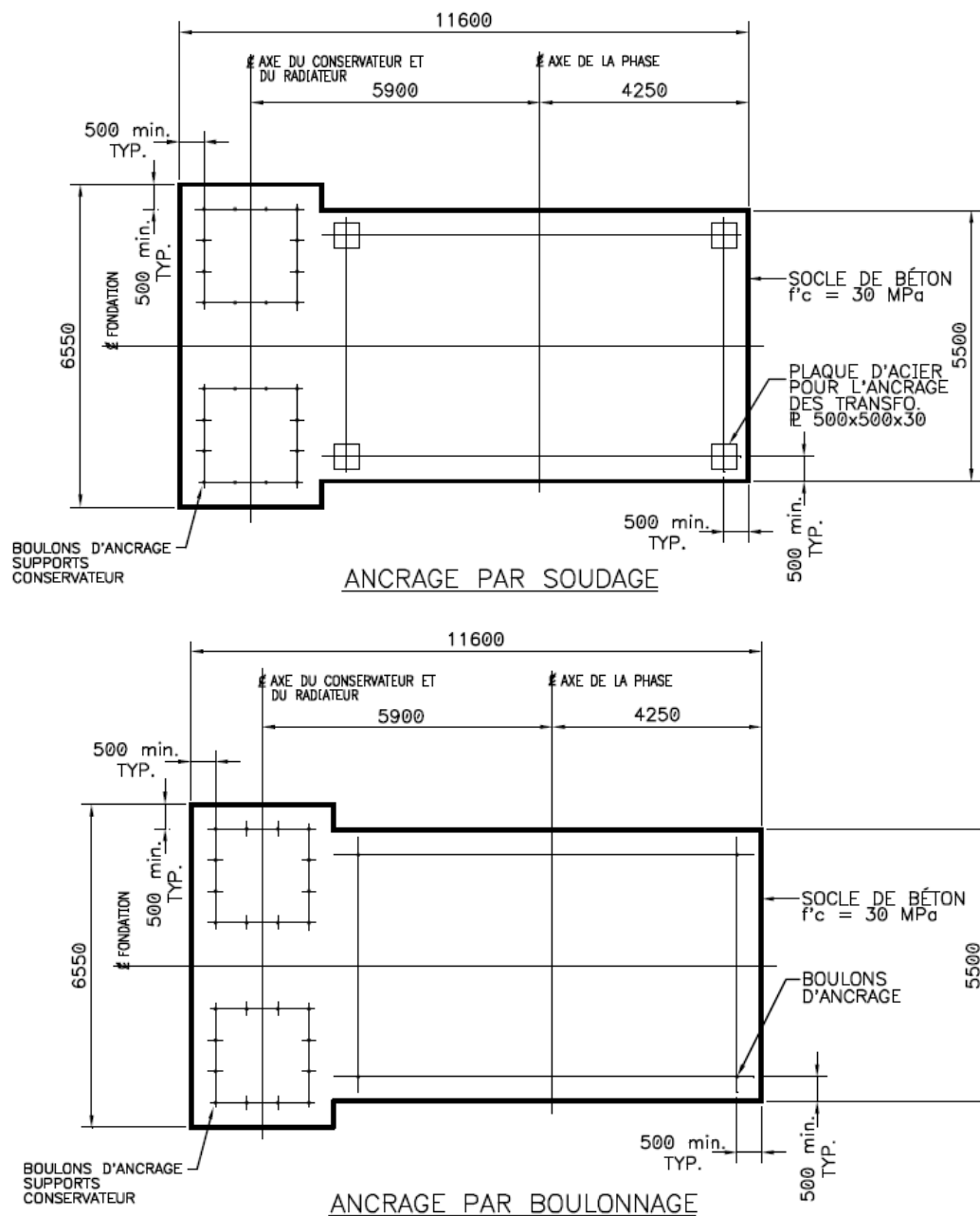


Figure P1.6.C.18 : Ancrage à la fondation en béton

## IS-735-01 et IS-735-02 - Inductances shunt 735 kV à 55 et 110 MVAR

### A. Encombrement physique

#### Dimensions hors tout

- Longueur maximale (mm) 10 500
- Profondeur maximale (mm) 8 000
- Hauteur maximale (mm) 11 700

#### Dimensions des parties contenant de l'huile

- Longueur maximale (mm) 10 500
- Profondeur maximale (mm) 8 000
- Hauteur maximale (mm) 8 000

#### Dimensions de la base de la cuve

- Longueur maximale (mm) 4 000
- Profondeur maximale (mm) 3 500

#### Volume d'huile

- Volume d'huile total maximal (litres) 35 000

#### Poids

- Poids total maximal (kg) 255 000

#### Emplacement de l'inductance par rapport au conducteur de la ligne

La ligne de centre de la cuve se situe sur la même ligne de centre que la phase du conducteur haute tension.

La traversée haute tension H1 peut être décalée au maximum de 1,25 mètre par rapport à la ligne de centre commune de la cuve et du conducteur haute tension. Comme l'inductance peut être tournée à 90° en fonction des besoins de l'installation, cette exigence est valide dans les deux directions horizontales (longueur et profondeur).

#### Présence et disposition des principaux composants

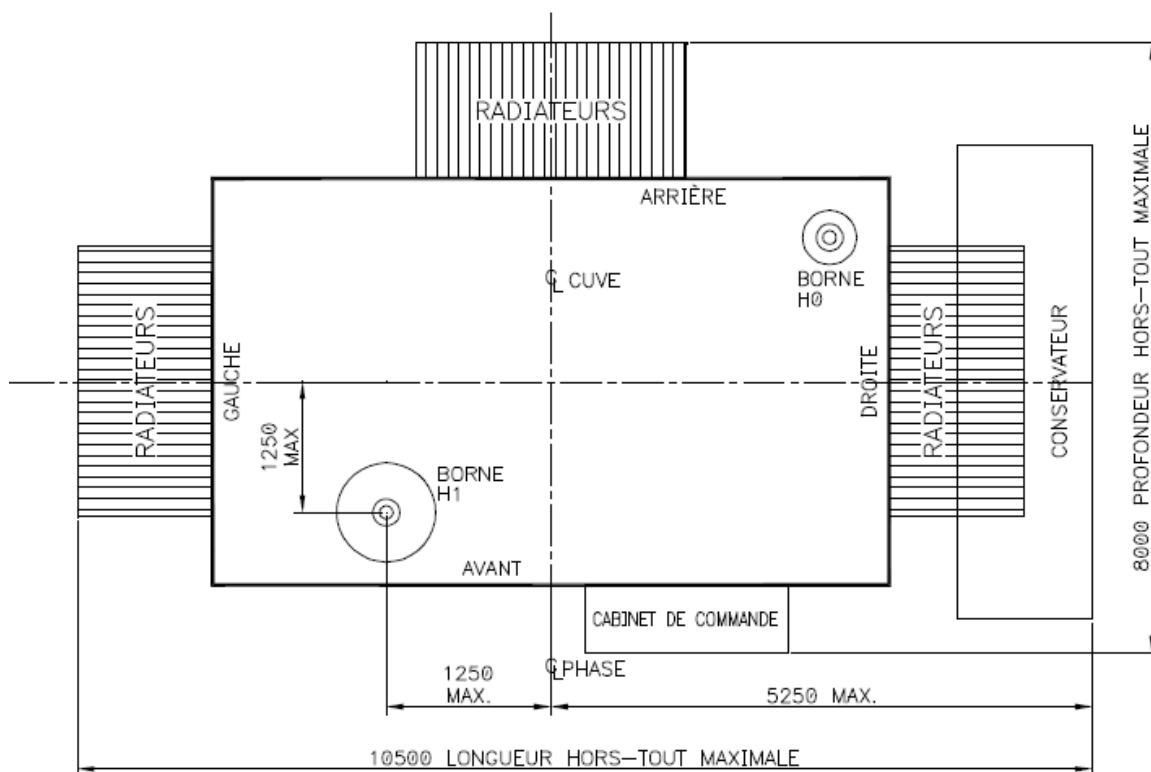
- Traversées haute tension sur le couvercle de la cuve Du côté du conducteur de ligne, considérée comme côté avant.
- Traversée de neutre sur le couvercle de la cuve Du côté arrière
- Conservateur
  - Fixation Accroché sur la cuve
  - Position p/r à la cuve À droite de la cuve
- Radiateurs
  - Fixation Accrochés sur la cuve
  - Nb. de faces occupées sur la cuve Deux au maximum



- Présence sur la face avant de la cuve      Acceptable. L'armoire de commande est alors placé sur la face arrière. Le banc de radiateurs et l'armoire de commande doivent être interchangeables.
- Présence sur la face arrière de la cuve      Acceptable. L'armoire de commande est alors placé sur la face avant. Le banc de radiateurs et l'armoire de commande doivent être interchangeables.
- Présence sur la face droite de la cuve      Acceptable et recommandée
- Présence sur la face gauche de la cuve      Acceptable, mais à éviter.
- Armoire de commande - position      Sur la face avant ou arrière de la cuve. Il doit être transférable sur la face avant ou arrière de la cuve, selon les besoins de l'installation.

#### Nature du fond de la cuve

- Fond reposant sur des patins      Acceptable
- Fond plat      Acceptable



**Figure P1.1-IS-735 : Arrangement général**

## B. Ancrage à la fondation en béton

Le dispositif d'ancrage aux fondations doit permettre un assemblage tant par boulonnage que par soudage. Les boulons d'ancrage doivent être sélectionnés parmi les modèles normalisés définis dans le dessin N400-40300-045-01-A-PE-2. Les dimensions maximales pour l'ancrage du transformateur de puissance sont indiquées à la figure P1.2-IS-735.

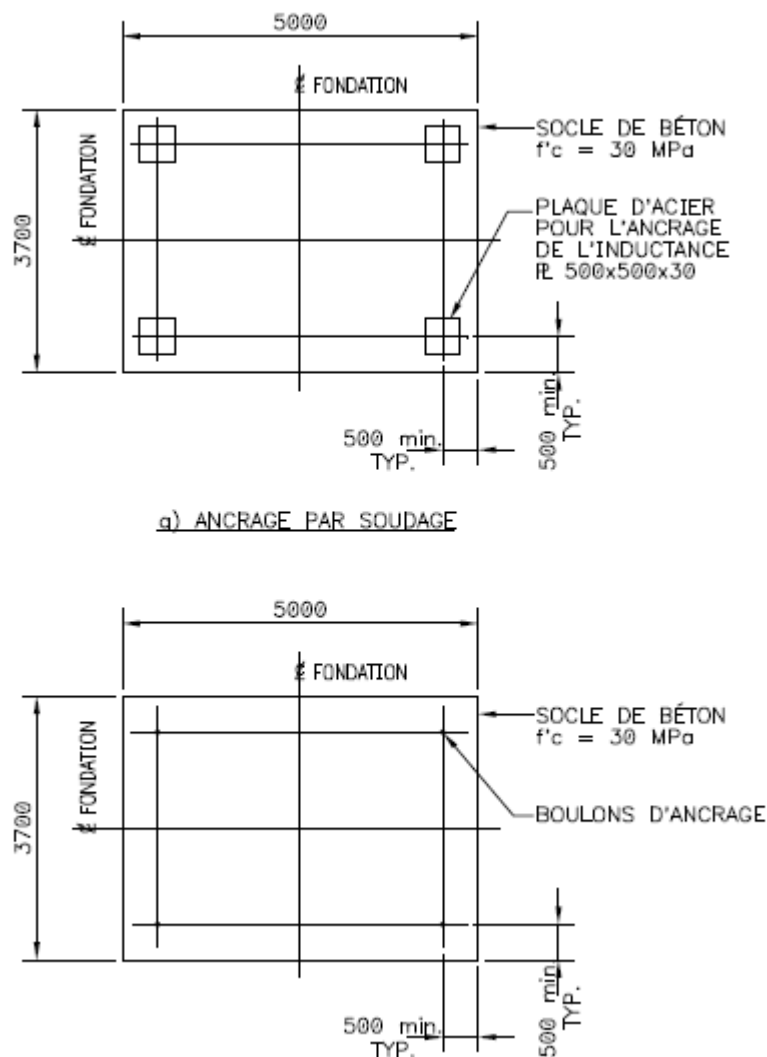


Figure P1.2-IS-735 : Ancrage à la fondation en béton

## PARTIE 2 : CIRCUITS AUXILIAIRES ET DE COMMANDE

### 11. Généralité

#### 11.1 Domaine d'application

Les exigences techniques prescrites à la Partie 2 de la présente spécification s'appliquent aux circuits auxiliaires et de commande des transformateurs de puissance et inductances shunt de 72,5 kV à 765 kV dont les exigences générales sont couvertes dans la Partie 1.

#### 11.2 Référence normative

Les références datées s'appliquent uniquement pour l'édition citée. Pour les références non-datées, l'édition la plus récente s'applique.

##### **Hydro-Québec (HQ)**

- SN-1.1 : *Spécification technique normalisée, Emballage du matériel de poste de lignes et de centrales;*
- SN-3.1 : *Spécification technique normalisée, Exigences relatives à l'émission des dessins de fabrication ou d'installation et des listes pour HQ;*
- SN-3.2 : *Spécification technique normalisée, Exigences complémentaires pour les dessins d'appareillage majeur;*
- SN-11.2 : *Spécification technique normalisée, Réalisation des installations électriques et travaux connexes;*
- SN-29.3 : *Spécification technique normalisée, Revêtement sur l'appareillage de postes, les tableaux de commande et autres équipements connexes;*
- SN-29.7 : *Spécification technique normalisée, Critères généraux pour la conception civile et mécanique des postes;*
- SN-65.5 : *Spécification technique normalisée, Câbles et connecteurs de fibres optiques.*

##### ***Dessins normalisés :***

- N400-40600-025-01 : *Schéma de principe, Circuits auxiliaires basse tension d'un transformateur de puissance triphasé;*
- N400-40600-025-02 : *Schéma de principe, Circuits auxiliaires basse tension d'un transformateur de puissance monophasé;*
- N400-40600-025-03 : *Schéma de principe, 49 – Moniteur de température Qualitrol ITM509 et moniteur optique point chaud pour transformateur  $\geq 7500$  kVA;*
- N400-40600-025-04 : *Schéma de principe, HYD – Moniteur de gaz dissous Hydran M2 et Calisto 2, Transformateur triphasé et monophasé;*
- N400-40600-025-05 : *Schéma de principe, Système de communication, Transformateur de puissance triphasé et monophasé;*

- N400-40600-025-06 : *Schéma de principe, TMU-100 – Unité de surveillance des traversées et changeur de prises sous charge (CPC), Transformateur de puissance et inductance shunt;*
- N400-40600-025-07 : *Schémas de principe, Disposition des bornes, Armoire de régulation et de commande, Transformateur monophasé YNad1 avec changeur de prises;*
- N400-40600-025-08 : *Schémas de principe, Disposition des bornes, Armoire de commande transformateur monophasé YNad1 sans changeur de prises;*
- N400-40600-025-09 : *Schémas de principe, Disposition des bornes, Armoire de commande, Transformateur triphasé YNad1 avec changeur de prises;*
- N400-40600-025-10 : *Schémas de principe, Disposition des bornes, Armoire de commande, Transformateur triphasé YNd1 sans changeur de prises;*
- N400-40600-025-11 : *Schémas de principe, Disposition des bornes, Armoire de commande, Transformateur triphasé YNd1 avec changeur de prises;*
- N400-40600-025-12 : *Schémas de principe, Disposition des bornes, Armoire de commande, Transformateur triphasé Dyn1 avec changeur de prises;*
- N400-40600-039-01 : *Schéma de principe, circuits auxiliaires basse tension des inductances shunt triphasée et monophasée;*
- N400-40600-039-02 : *Schéma de principe, Système de communication, Inductances shunt triphasée et monophasée;*
- N400-40600-039-03 : *Schéma de principe, HYD – Moniteur de gaz dissous Hydran M2 et Calisto 2, Inductance shunt triphasée et monophasée;*
- TET-APG-N-0001 : *Qualification parasismique des équipements et ouvrages du réseau de transport.*

### **American Society for Testing and Materials (ASTM)**

- A 666-15 : *Standard Specification for Annealed or Cold-Worked Austenitic Stainless Steel, Sheet, Strip, Plate and Flat Bar;*
- A240/ A240M - 18 : *Spécification standard pour chrome et nickel-chrome tôles d'acier inoxydable, feuilles et bandes pour les navires de pression et pour les applications générales;*
- A1008/A1008 M – 18 : *Standard Specification for Steel, Sheet, Cold-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, Solution Hardened, and Bake Hardenable;*
- A 1011 / A 1011 M – 18 : *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength;*
- B209 / B209M - 14 : *Standard Specification for Aluminum and Aluminum Alloy Sheet and Plate (Metric);*
- B 187 / B 187 M -16 : *Standard Specification for Copper, Bus Bar, Rod, and Shapes and General Purpose Rod, Bar, and Shapes;*
- B 545 – 13 : *Standard Specification for Electrodeposited Coatings of Tin.*

**American National Standards Institute (ANSI) / IES**

RP-7-17 : *Recommended Practice for Lighting Industrial Facilities.*

**Association canadienne de normalisation (ACNOR)**

CAN/CSA-C88-FM16 (2016) : *Transformateurs de puissance et bobines d'inductance.*

**Commission électrotechnique internationale (IEC)**

IEC 60050 (421) (1990) : *Vocabulaire Électrotechnique International — Chapitre 421 : Transformateurs de puissance et bobines d'inductance;*

IEC 60050 (441) (1984) : *Vocabulaire Électrotechnique International — Chapitre 441 : Appareillage et fusibles;*

IEC 60227-2 (1997)+AMD1(2003) : *Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle, de tension nominale au plus égale à 450/750 V — Partie 2 : Méthodes d'essais;*

IEC 60529 (1989) +AMD1(1999) +AMD2(2013) : *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP);*

IEC 60695-11-5 (2016) : *Essais relatifs aux risques du feu — Partie 11-5: Flammes d'essai — Méthode d'essai au brûleur-aiguille — Appareillage, dispositif d'essai de vérification et lignes directrices;*

IEC 61000-4-1 (2016) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-1: Techniques d'essai et de mesure — Vue d'ensemble de la série IEC 61000-4;*

IEC 61000-4-2 (2008) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure — Essai d'immunité aux décharges électrostatiques;*

IEC 61000-4-3 (2006) +AMD1 (2007) +AMD2 (2010) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure — Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques;*

IEC 61000-4-4 (2012) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure — Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves;*

IEC 61000-4-5 (2014) +AMD1 (2017) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure — Essai d'immunité aux ondes de choc;*

IEC 61000-4-6 (2013) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure — Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques;*

IEC 61000-4-8 (2009) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-8: Techniques d'essai et de mesure — Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau;*

IEC 61000-4-29 (2000) : *Compatibilité électromagnétique (CEM) — Partie 4-29: Techniques d'essai et de mesure — Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension sur les accès d'alimentation en courant continu;*

IEC 62262 (2002) : *Degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels*

*électriques contre les impacts mécaniques externes (code IK);*

IEC 62271-1 (2017) : *Spécification commune aux normes de l'appareillage à haute tension.*

#### **Gouvernement du Québec**

Code de l'électricité du Québec 2018 : *Code de construction du Québec, Chapitre V: Électricité - Code canadien de l'électricité, Première partie (vingt-troisième édition) et Modifications du Québec.*

#### **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**

IEEE Std 315 (1975) : *Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams;*

IEEE Std 315A (1986) : *Supplement to Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams;*

IEEE Std C37.2 (2008) : *Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms and Contact Designations.*

#### **Organisation Internationale de Normalisation (ISO)**

ISO 261 (1998) : *Filetage métrique ISO pour usages généraux — Vue d'ensemble;*

ISO 9001 (2015) : *Systèmes de management de la qualité — Exigences.*

#### **The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space (SAE International)**

AS22759D (2018-05) : *Aerospace Standard — Wire, Electric, Fluoropolymer-Insulated, Copper or Copper Alloy, Specification Sheet AS22759/16, — Wire, Electric, Fluoropolymer-Insulated, Extruded ETFE, Medium Weight, Tin-Coated Copper Conductor, 600-Volt, 150°C, ROHS;*

AMS-STD-595-A (2017-02) : *Colors Used in Government Procurement.*

#### **Underwriters Laboratories Inc.**

UL 94 (2013-03) : *Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances.*

## **12. Conditions normales et spéciales de service**

### **12.1 Conditions normales de service**

#### **12.1.1 Équipements pour l'intérieur**

Le paragraphe 4.1.2 de la IEC 62271-1 est applicable avec les compléments suivants à l'article f : cette exigence est remplacée par les exigences de la TET-APG-N-0001

#### **12.1.2 Équipement pour l'extérieur**

Le paragraphe 4.1.3 de la IEC 62271-1 est applicable avec les compléments suivants :

Pour les articles e et f, ces exigences sont remplacées par les exigences de la SN-29.7 et pour l'article h, cette exigence est remplacée par les exigences de la TET-APG-N-0001.

Les armoires doivent être conçues pour fonctionner adéquatement à des températures ambiantes variant de -50 °C à +40 °C.

### **12.2 Conditions spéciales de service**

Les conditions spéciales de service, s'il y a lieu, sont mentionnées dans la spécification technique particulière associée à la demande d'achat.

## **13. Termes et définitions**

Les définitions de la CAN/CSA-C88-FM90 et de la IEC 60050 (421) ainsi que les définitions pertinentes de la IEC 60050 (441) et de la IEC 62271-1 s'appliquent.

Pour faciliter l'utilisation de la Partie 2 de cette norme, certaines définitions du Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) ont été rappelées ci-après.

Les définitions de certains termes d'usage courant à Hydro-Québec ont été ajoutées afin de clarifier le sens des différents paragraphes de la Partie 2.

Les termes «nominal» et «assigné» sont synonymes dans la présente spécification.

### **13.1 Termes généraux**

#### **Détecteur de température à résistance (RTD) :**

Ce type de détecteur est généralement constitué d'un fût cylindrique en acier inoxydable protégeant une sonde à résistance de platine dont la résistance varie avec la température. Ce détecteur est placé dans le conduit contenant le fluide dont la température est ainsi mesurée. Il peut être directement immergé dans le fluide ou protégé par une enveloppe intermédiaire appelée «doigt de gant»

[IEC 61224, par. 2.1]

Note : Dans la IEC 62397 de mai 2007, l'expression «sondes à résistance» est utilisée à la place de «détecteur de température à résistance» pour traduire "resistance temperature detectors" (RTD)

## 13.2 Parties d'appareillage

### 13.2.1 Circuits auxiliaires et de commande

Système constitué par :

- les circuits de commande et auxiliaires montés sur l'appareillage, ou adjacents à l'appareillage, et comprenant les circuits des armoires centrales de commande;
- les équipements de surveillance, diagnostic, etc., faisant partie des circuits auxiliaires de l'appareillage;
- les circuits connectés aux bornes secondaires des transformateurs de mesure et faisant partie de l'appareillage.

[IEC 62271-1, par. 3.5.24]

### 13.2.2 Enveloppe

Enceinte assurant le type et le degré de protection approprié pour l'application prévue.

Les enveloppes assurent la protection des personnes ou des animaux contre l'accès aux parties dangereuses.

Les barrières, formes d'ouverture ou tout autres moyens (qu'ils soient solidaires de l'enveloppe ou formés par le matériel interne) appropriés pour empêcher ou limiter la pénétration des calibres d'essai spécifiés, sont considérés comme une partie de l'enveloppe, quand ils sont sécurisés en position par verrouillage, clés, ou par un ensemble spécial nécessitant un outil pour l'enlever.

[IEC 62271-1, par. 3.5.1]

### 13.2.3 Armoire de commande monophasée

Enveloppe utilisée avec les transformateurs et inductances shunt monophasées pour le raccordement des câbles d'alimentation, de mesure, de protection, d'alarmes, de régulation de tension, de transformateurs de courant, etc. Il peut contenir des relais, contacteurs, disjoncteurs, fusibles, etc.

Note : Dans certains textes de l'entreprise, le terme armoire de phase ou armoire monopolaire est parfois utilisé.

### 13.2.4 Armoire de commande triphasée

Enveloppe utilisée avec les transformateurs et inductances shunt triphasées pour le raccordement des câbles d'alimentation, de mesure, de protection, d'alarmes, de régulation de tension, de transformateurs de courant, etc. Il peut contenir des relais, contacteurs, disjoncteurs, fusibles, composants pour la régulation de tension, etc.

### 13.2.5 Armoire de régulation de tension

Enveloppe utilisée pour les transformateurs monophasés avec régulation de tension par circulation de courant pour le raccordement des câbles d'alimentation, de mesure, de commande, d'alarmes, etc. Il contient tous les composants requis à la régulation de tension.



### 13.2.6 Armoire du changeur de prises en charge

Enveloppe contenant tous les composants requis pour le fonctionnement et la commande du changeur de prises.

## 14. Caractéristiques nominales

### 14.1 Tension nominale d'alimentation des circuits auxiliaires et de commande ( $U_a$ )

#### 14.1.1 Généralités

La tension d'alimentation des circuits auxiliaires et de commande est la tension mesurée aux bornes du circuit sur l'appareil lui-même pendant son fonctionnement.

Le fonctionnement normal de l'équipement doit être assuré si la tension d'alimentation respecte les tolérances définies en 14.1.3 et, pour l'alimentation en courant continu, la tension d'ondulation définie en 14.1.4 ainsi que les creux de tension et les coupures d'alimentation définies en 14.1.5.

Hydro-Québec fournit les circuits d'alimentation nécessaires au fonctionnement des appareils.

#### 14.1.2 Tension nominale ( $U_a$ )

Les tensions nominales d'alimentation sont les suivantes :

- 125 V c.c. pour le moniteur de température, l'unité de surveillance des traversées et CPC et le système de communication;
- 120 V c.a. pour les circuits alimentant le changeur de prises, le moniteur de gaz dissous et d'humidité, la valve anti-déversement, l'unité de parallélisme (si requis), le chauffage, l'éclairage et la prise de courant;
- 120/208 V c.a. ou 600 V c.a. pour les moteurs (ventilateurs ou pompes);
- 120 V c.a. ou 120/208 V c.a. pour le moteur du changeur de prises ainsi que les systèmes de commande du changeur de prises et des ventilateurs.

Note : La valeur inférieure de la tension 120/208 V c.a. désigne la tension entre phase et neutre et la valeur supérieure désigne la tension entre phases pour un réseau triphasé à quatre fils.

#### 14.1.3 Tolérances

Les tolérances de l'alimentation en courant alternatif ou continu en usage normal, mesurée aux bornes d'entrée du système secondaire, sont données au Tableau P2.1.

**Tableau P2.1 : Limites de variation de tension**

| Tension nominale | Limite inférieure de tension | Limite supérieure de tension |
|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 125 V c.c.       | 90 V c.c.                    | 140 V c.c.                   |
| 120/208 V c.a.   | 102/177 V c.a.               | 132/229 V c.a.               |
| 600 V c.a.       | 510 V c.a.                   | 660 V c.a.                   |

Dans le cas de tensions d'alimentation inférieures à la valeur minimale définie pour la source d'alimentation, des précautions doivent être prises pour prévenir tout dommage à l'équipement électronique ainsi que toute manœuvre dangereuse résultant d'un fonctionnement non prévu. La spécification technique particulière

peut préciser éventuellement le comportement de l'équipement dans ce cas.

L'alimentation en courant continu fournie par Hydro-Québec est pourvue d'une référence à la terre à travers un diviseur résistif, et une mesure du courant de fuite à la terre est effectuée. En condition normale, cette référence est centrée sur la tension d'alimentation. Une mise à la terre accidentelle de la polarité positive ou négative du système d'alimentation en courant continu est possible pour une période momentanée ou de longue durée. Cette possibilité accidentelle ne doit pas affecter le fonctionnement des circuits auxiliaires et de commande ni modifier ses paramètres ou consignes.

Si par erreur un équipement est alimenté par des polarités inversées, aucun dommage matériel à l'exception de la fusion éventuelle d'un fusible, aucune perte de données, ni fonctionnement erratique ne doit survenir.

#### 14.1.4 Tension d'ondulation

Dans le cas d'une alimentation à courant continu, la tension d'ondulation, c'est-à-dire la valeur crête-à-crête de la composante alternative de la tension d'alimentation à la charge nominale, ne doit pas être supérieure de plus de 5 % à la valeur de la composante continue. La tension est mesurée aux bornes d'entrées de l'équipement auxiliaire.

#### 14.1.5 Creux de tension et coupure d'alimentation

L'alimentation en courant continu aux bornes d'entrée du système secondaire peut être sujette à des creux de tension de 30 % de la valeur nominale pendant 100 ms et à des coupures brèves d'alimentation pendant 40 ms.

### 14.2 Fréquence assignée d'alimentation

Les valeurs normales de la fréquence assignée d'alimentation sont en courant continu et 60 Hz.

## 15. Conception et construction

### 15.1 Enveloppes

#### 15.1.1 Conception générale

Les exigences relatives aux enveloppes pour le matériel basse tension destinées à un usage extérieur et celles destinées à un usage intérieur sont identiques, sauf lorsque c'est explicitement mentionné dans l'un des paragraphes de la présente section.

Les enveloppes destinées à recevoir les circuits auxiliaires et de commande ainsi que les boîtes de jonction doivent être construites avec des matériaux capables de supporter les contraintes mécaniques, électriques, thermiques et climatiques aussi bien que les effets de l'humidité qui sont susceptibles d'être rencontrés en service normal.

Les enveloppes doivent être en acier de jauge 11. L'acier doit être laminé à froid, de classe CS Type B, exposé, fini mat et huilé, conformément à la norme ASTM A 1008 / A 1008 M - 01a ou laminé à chaud, de classe CS Type B (HRS P&O) exposé, fini mat et huilé, conformément à la norme ASTM A 1011 / A 1011 M.

Les enveloppes doivent être de dimensions suffisantes pour permettre l'installation du matériel basse tension ainsi que son raccordement sur des bornes. La profondeur des enveloppes doit être suffisante pour qu'aucun composant n'excède à l'extérieur lorsque la porte est ouverte.

Une ouverture rectangulaire doit être pratiquée sur la surface inférieure des armoires de commande. Une plaque, devant être percée sur place pour s'adapter au nombre et aux dimensions des conduits d'entrée des câbles d'Hydro-Québec, doit couvrir cette ouverture de l'intérieur et assurer l'étanchéité des armoires. L'ouverture doit avoir des dimensions minimales de 180 mm x 540 mm.

Aucun rivet ni aucune vis ne doivent percer les surfaces externes de l'enveloppe. Les boulons et écrous

sont permis s'ils sont utilisés avec des rondelles d'étanchéité. Ces boulons et écrous doivent être en acier inoxydable lorsqu'ils sont exposés aux intempéries extérieures. Les œilletons de levage doivent être en acier inoxydable, non peint ou en acier galvanisé, non peint.

Les enveloppes doivent être conçues pour empêcher toute accumulation d'eau sur le dessus.

### 15.1.2 Revêtement

Le procédé de peinture du fabricant doit avoir réussi les essais prescrits dans la SN-29.3.

La couleur vert foncé 14036 de la norme AMS-STD-595-A doit être utilisée pour les surfaces extérieures des enveloppes en acier.

La couleur blanc 17875 de la norme AMS-STD-595-A doit être utilisée pour les plaques de montage en acier.

Dans le cas où une isolation thermique est apposée sur toutes les surfaces intérieures d'une enveloppe, les surfaces recouvertes par l'isolant peuvent être peintes de la couleur spécifique du fournisseur, en blanc 17875 selon la norme AMS-STD-595-A ou de couches d'apprêt.

### 15.1.3 Degrés de protection procurés par les enveloppes

#### 15.1.3.1 Protection contre la pénétration d'eau et de corps solides étrangers

Les enveloppes destinées à recevoir le matériel basse tension doivent avoir un degré de protection correspondant à IP43 lorsqu'elles sont destinées à un usage extérieur, et à IP42 lorsqu'elles sont destinées à un usage intérieur. Les définitions, les prescriptions et les essais pour ces degrés de protection sont contenus dans la IEC 60529.

Les ouvertures pour l'entrée des câbles, les plaques de fermeture, etc., doivent être conçues de telle sorte que, lorsque les câbles sont installés convenablement, le degré de protection requis d'une enveloppe pour les circuits auxiliaires et de commande soit obtenu.

#### 15.1.3.2 Protection contre les impacts mécaniques

Les enveloppes doivent pouvoir résister aux impacts mécaniques externes en condition normale de service. Le niveau d'impact minimal auquel elles doivent résister est de IK07 pour un usage intérieur et IK10 pour un usage extérieur, conformément à la IEC 62262.

### 15.1.4 Serrurerie

Les portes des armoires, incluant la porte intérieure, doivent pouvoir s'ouvrir à 135 degrés et être bloquées en position ouverte par un cran d'arrêt muni d'une retenue automatique.

Les portes doivent pouvoir être verrouillées en position fermée à l'aide d'un cadenas. L'orifice pour le cadenas doit avoir un diamètre de 12 mm.

Tous les accessoires qui sont susceptibles d'être exposés aux intempéries extérieures, requis pour la porte extérieure, incluant la charnière, le cran d'arrêt, la poignée, doivent être fabriqués en acier inoxydable.

La poignée Eberhard #8061-SS ou équivalent approuvé par Hydro-Québec doit être utilisée.

La porte intérieure, s'il y a lieu, doit être retenue fermée par un boulon captif vissable et dévissable sans l'aide d'un outil.

### 15.1.5 Ventilation

Une ventilation efficace de l'intérieur des armoires doit être assurée par des ouvertures munies d'un écran ou disposées de telle sorte que le même degré de protection requis en 15.1.3 ci-dessus pour les enveloppes soit conservé.

La ventilation doit se faire par convection naturelle. Des aérateurs de type Faisant-Frères #FF00062513230, ou équivalent approuvé par HQ, doivent être installés en bas et en haut de chaque côté de l'armoire.

### 15.1.6 Isolation thermique

L'isolation thermique des armoires doit être suffisante pour garantir, en conjonction avec le chauffage, la température intérieure minimale requise pour le bon fonctionnement des composants basse tension, électroniques, numériques et à relais, selon les spécifications les concernant.

Les surfaces apparentes de l'isolant utilisé doivent être recouvertes d'une surface protectrice qui n'entraîne pas la combustion. La surface protectrice doit être rigide en plastique ou en acier peint selon l'article 15.1.2 de la présente norme.

La couche d'isolation thermique doit être suffisante pour que tous les composants des circuits de commande fonctionnent correctement deux heures après l'interruption du chauffage. Les conditions climatiques à considérer sont celles décrites au paragraphe 4.2.4 de la IEC 62271-1 avec les compléments de l'article 12 de la présente norme.

### 15.1.7 Mise à la terre

Toutes les armoires doivent être munies d'une barre de mise à la terre en cuivre, conformément à la norme ASTM B187 / B187M. Sa section minimale doit être de 3 mm x 25 mm. La barre de mise à la terre doit être plaquée à l'étain par dépôt électrolytique selon la norme ASTM B 545.

L'épaisseur du dépôt doit être selon l'article 4 Type C de la norme ASTM B 545 et doit être uniforme.

La barre de mise à la terre doit être percée de trous taraudés pour vis M5, conformément à la norme ISO 261, dont le nombre requis est indiqué sur les dessins normalisés. Un nombre équivalent de vis M5 en nickel-chrome ou en acier inoxydable et de rondelles de blocage doit être fourni. Les têtes des vis doivent être rondes et de type Robertson (carré) ou fendu (plat). Cette barre doit également être percée d'au moins un trou de 14,5 mm servant à y raccorder un conducteur de mise à la terre. L'espacement minimal entre les trous doit être de 15 mm.

La barre de mise à la terre doit être fixée mécaniquement à une des parois de l'armoire et être positionnée de façon à laisser un dégagement suffisant pour les raccordements, incluant celui du conducteur de mise à la terre. Elle doit être reliée électriquement à une des parois.

Aucune partie amovible de l'armoire ne doit pouvoir, lorsque la barre de mise à la terre est en place, se trouver isolée de la partie sur laquelle la prise de terre est connectée. Des connexions équipotentielles entre l'armoire et ces parties amovibles doivent assurer cette fonction.

Les dispositifs de protection contre les surtensions, le blindage des câbles et des circuits, ainsi que les masses mécaniques doivent être directement raccordés à la barre de mise à la terre sans possibilité de sectionnement.

Advenant l'utilisation de boîtiers à l'intérieur des armoires, ceux-ci peuvent être utilisés comme circuit de masse à condition qu'ils soient monobloc (sans vis d'assemblage) ou qu'une continuité électrique soit assurée par un dispositif conçu à cet effet (ex. insertion métallique).

Tous les dispositifs de protection et les pièces métalliques des boîtiers des modules électroniques doivent être reliés à la prise de terre par des liens électriques.

Les sources d'alimentation en courant continu d'Hydro-Québec étant flottantes, les circuits alimentés à 125 V c.c. ne doivent jamais être mis à la terre.

### 15.1.8 Types, localisation et dimensionnement des armoires

Le transformateur et l'inductance shunt peuvent être équipés de certaines armoires parmi les suivantes :

- armoire de commande triphasée;
- armoire de commande monophasée;
- armoire du changeur de prises en charge;
- armoire de régulation de tension.

Leur nombre, leur localisation et leur installation sont définis dans les paragraphes suivants en fonction du type de transformateur et d'inductance shunt.

Le dimensionnement des armoires, sauf celle du changeur de prises, doit tenir compte des besoins futurs. Une surface égale à 20 % de celle occupée par les composants sur la plaque de montage doit être gardée libre. Cette surface libre pour besoins futurs doit être offerte dans une même zone de la plaque de montage; les autres endroits laissés libres par le fabricant lors du montage de ses composants ne doivent pas être considérés dans le calcul du pourcentage de surface libre pour besoins futurs.

#### 15.1.8.1 Armoire de commande triphasée

Le transformateur et l'inductance shunt triphasés doivent être équipés d'une armoire de commande triphasée. Cette armoire doit contenir les circuits auxiliaires et de commande, les bornes pour effectuer les points de connexion des câbles vers le bâtiment de commande ou vers d'autres armoires et les bornes pour le raccordement des transformateurs de courant. Une cloison métallique doit séparer ces dernières bornes des autres composants, mais permettre le passage des câbles.

L'armoire de commande triphasée doit être localisée du côté des traversées H3 - X3.

Le bas de l'armoire doit être à 500 mm au-dessus des assises de l'appareil. L'armoire de commande doit avoir une hauteur maximale de 2 m pour permettre l'accès aux composantes par les opérateurs. L'armoire doit être montée sur une boîte de tirage en acier pour installation directement sur la fondation. La hauteur de cette boîte est de 500 mm et les dimensions en largeur et profondeur doivent être égales à celles de l'armoire de commande. Sa fermeture sur toute la face avant doit être réalisée par une plaque vissée du même matériau. La boîte de tirage doit être en acier inoxydable ou en alliages d'aluminium. L'acier inoxydable doit être conforme à l'ASTM A 666 et A 240. Les alliages d'aluminium doivent être conformes à l'ASTM B 209.

Une alarme signalant que la porte de l'armoire est ouverte doit être raccordée aux bornes 122A-123A-123B. L'armoire doit être munie d'un support extérieur pour l'installation d'une antenne GPS telle que spécifiée à l'article 15.11.

#### 15.1.8.2 Armoire de commande monophasée

Le transformateur et l'inductance shunt monophasés doivent être équipés de trois armoires de commande monophasée identiques, soit une par phase. Cette armoire doit contenir les circuits auxiliaires et de commande, les bornes pour effectuer les points de connexion des câbles vers le bâtiment de commande ou vers d'autres armoires et les bornes pour le raccordement des transformateurs de courant. Une cloison métallique doit séparer ces dernières bornes des autres composants, mais permettre le passage des câbles.

L'armoire de commande monophasée doit être localisée du côté opposé au conservateur.

Le bas de l'armoire doit être à 500 mm au-dessus des assises de l'appareil. L'armoire de commande doit avoir une hauteur maximale de 2 m pour permettre l'accès aux composantes par les opérateurs. L'armoire doit être montée sur une boîte de tirage en acier pour installation directement sur la fondation. La hauteur de cette boîte est de 500 mm et les dimensions en largeur et profondeur doivent être égales à celles de l'armoire de commande. Sa fermeture sur toute la face avant doit être réalisée par une plaque vissée du même matériau. La boîte de tirage doit être en acier inoxydable ou en alliages d'aluminium. L'acier

inoxydable doit être conforme à l'ASTM A 666 et A 240. Les alliages d'aluminium doivent être conformes à l'ASTM B 209.

Une alarme signalant que la porte de l'armoire est ouverte doit être raccordée aux bornes 122A- 123A-123B. L'armoire doit être munie d'un support extérieur pour l'installation d'une antenne GPS telle que spécifiée à l'article 15.11.

#### 15.1.8.3 Armoire du changeur de prises en charge

Le transformateur monophasé ou triphasé muni d'un changeur de prises en charge (CPC) doit être équipé d'une armoire spécifique pour le CPC. Cette armoire doit contenir les circuits auxiliaires et de commande ainsi que les bornes pour effectuer les points de connexions des câbles vers d'autres armoires.

Le bas de l'armoire doit être à 500 mm au-dessus des assises de l'appareil. L'armoire de commande doit avoir une hauteur maximale de 2 m pour permettre l'accès aux composantes par les opérateurs. L'armoire doit être montée sur une boîte de tirage en acier pour installation directement sur la fondation. La hauteur de cette boîte est de 500 mm et les dimensions en largeur et profondeur doivent être égales à celles de l'armoire de commande. Sa fermeture sur toute la face avant doit être réalisée par une plaque vissée du même matériau. La boîte de tirage doit être en acier inoxydable ou en alliages d'aluminium. L'acier inoxydable doit être conforme à l'ASTM A 666 et A 240. Les alliages d'aluminium doivent être conformes à l'ASTM B 209.

Une plaque d'avertissement doit être installée en façade près des commandes de hausse et de baisse contenant le texte suivant : « En cas de blocage par basse température de l'huile du CPC, il est possible de l'opérer en mode manuel à la condition que le transformateur soit hors tension ».

#### 15.1.8.4 Armoire de régulation de tension

L'armoire de régulation de tension avec parallélisme par circulation de courant n'est plus requise sauf dans de rares exceptions. Si elle est requise, la demande d'achat doit le préciser clairement et contenir la justification. L'armoire de régulation peut aussi être commandée séparément comme pièce de rechange.

Lorsque la régulation de tension est requise, le transformateur monophasé doit être équipé d'une armoire de régulation. Cette armoire doit contenir les circuits auxiliaires et de commande ainsi que les bornes pour effectuer les points de connexions des câbles vers le bâtiment de commande ou vers d'autres armoires.

L'armoire de régulation de tension doit être localisée sur la phase B du transformateur monophasé, sauf indication contraire par Hydro-Québec. Il doit être facilement accessible à partir du sol.

Une alarme signalant que la porte de l'armoire est ouverte doit être raccordée aux bornes 124A-125A-125B.

#### 15.1.9 Chauffage et anticondensation

Toutes les armoires doivent être pourvues d'éléments chauffants pour l'anticondensation, commandés par thermostat. L'élément doit être désalimenté lorsque la température ambiante des armoires atteint 30 °C.

Les armoires contenant des composantes basse tension, électronique, numérique et à relais, doivent également posséder un dispositif de chauffage commandé par thermostat. La puissance des éléments chauffants doit être choisie afin d'assurer une température ambiante intérieure garantissant le bon fonctionnement des composants de l'armoire. Une surveillance de ce circuit de chauffage est requise et doit être réalisée de la façon suivante :

- Un relais signalant la perte d'alimentation c.a. doit être installé sur chaque phase en aval des fusibles du circuit de chauffage ; (27/CH ou 23/CHR);
- Un thermostat d'alarme signalant une température sous le seuil acceptable pour le fonctionnement garanti des composants; (23-C3 ou 23-R3);
- Les alarmes de perte d'alimentation c.a. et de basse température sont regroupées à la même

sortie. bornes 251A-252A-252B (armoire de commande) ou 148A-149A-149B (armoire de régulation).

Le chauffage de base doit entrer en fonction lorsque la température intérieure de l'armoire est inférieure ou égale à 10°C. Le thermostat d'alarme doit être ajusté à la température intérieure minimale requise pour le bon fonctionnement des composants de l'armoire. Les sondes de ces deux thermostats doivent être situées à proximité l'une de l'autre.

La température de réglage des thermostats doit être indiquée au moyen d'une étiquette fixée sur ou tout près des thermostats. Un dispositif doit empêcher le dérèglement des thermostats qui pourrait être causé par vibration ou effleurement involontaire.

Tous les composants des circuits de commande doivent fonctionner correctement à une température ambiante de -25 °C sans aucun apport des éléments chauffants.

Toutes les armoires doivent être munies d'un cordon d'alimentation fonctionnel, long d'au moins deux mètres, pour le chauffage en période d'entreposage. Le cordon d'alimentation doit être raccordé au circuit de chauffage à 120 V c.a.; il sera enlevé par Hydro-Québec ultérieurement.

Les principes de raccordement sont montrés sur le dessin normalisé N400-40600-025-01, pour les transformateurs triphasés, sur le dessin N400-40600-025-02 pour les transformateurs monophasés, et sur le dessin N400-40600-039-01 pour les inductances shunt.

#### 15.1.10 Éclairage

Un éclairage incandescent ou DEL antivibrations approprié, actionné par l'ouverture de la porte, doit être dans chaque type d'armoire. L'ampoule doit être munie d'un enduit ou d'un protecteur apte à en retenir les éclats advenant le bris de celle-ci.

L'intensité doit permettre de travailler de façon sécuritaire à l'intérieur de l'armoire lors des activités d'entretien. Le niveau moyen de l'éclairage doit être de 500 lux.

Si l'éclairage est de technologie DEL, il doit satisfaire aux exigences suivantes :

- L'éclairage doit avoir une intensité équivalente à l'éclairage incandescent;
- Les ampoules ou des modules d'éclairage de technologie DEL doivent être protégés mécaniquement par une surface transparente incassable ou être installés dans des réceptacles prévus à cet effet;
- Les ampoules ou des modules d'éclairage de technologie DEL doivent fonctionner à une tension de 120 V c.a. sans ajout d'équipement complémentaire.

L'utilisation d'éclairage de type néon n'est pas permise.

#### 15.1.11 Raccordements électriques des armoires

Le fabricant doit fournir tout le matériel nécessaire à la réalisation des liaisons électriques entre les différentes armoires et vers les transformateurs de courant des transformateurs et inductances.

Les conducteurs provenant des transformateurs de courant doivent être raccordés à l'armoire de commande monophasée ou triphasée, selon le type de transformateur ou d'inductance.

L'entrée des câbles dans les armoires doit se faire par le bas de façon à minimiser les risques d'infiltration d'eau.

Tous les raccordements fournis par le fabricant doivent être acheminés par des conduits étanches, armés, à l'épreuve des rayons ultraviolets et prévus pour une utilisation dans les gammes de températures définies à l'article 16.1.2 de la présente spécification.

## 15.2 Protection contre les chocs électriques

Le paragraphe 6.4.2 de la IEC 62271-1 est applicable.

## 15.3 Risque de feu

Le paragraphe 6.18 de la IEC 62271-1 est applicable.

## 15.4 Composants installés dans les enveloppes

### 15.4.1 Choix des composants

Le paragraphe 6.4.3.1 de la IEC 62271-1 est applicable à l'exception du premier alinéa qui est remplacé par le texte suivant :

Tous les composants utilisés dans les circuits auxiliaires et de commande doivent être garantis pour fonctionner correctement dans les conditions réelles de service à l'intérieur des armoires; la gamme de températures minimales et maximales est spécifiée à l'article 12.1.2 du présent document.

### 15.4.2 Installation des composants

Les composants doivent être installés conformément aux instructions de leur constructeur.

### 15.4.3 Accessibilité

Le paragraphe 6.4.3.2 de la IEC 62271-1 est applicable avec les compléments suivants :

Les recommandations du paragraphe 6.4.3.2 doivent être considérées comme des exigences.

Dans chaque armoire, tous les composants doivent être montés sur une plaque de montage en acier fixée au fond de celle-ci, sauf pour les prises de courant, les éléments d'anticondensation et de chauffage. L'utilisation de vis autotaraudeuses pour le montage des composants n'est pas permise. L'utilisation d'écrous à l'arrière des plaques de montage pour fixer les composants n'est pas permise.

Le montage des composants de part et d'autre de la plaque de montage n'est pas acceptable, même si la conception de l'armoire le permet. Si nécessaire, il faut utiliser une deuxième plaque de montage de telle sorte que les composants soient toujours montés sur une seule face d'une plaque.

Les composants utilisés pour la commande et l'indication, tels les commutateurs, boutons-poussoirs, etc., peuvent être installés sur une platine de contrôle fixée à l'armoire.

### 15.4.4 Identification

Le paragraphe 6.4.3.3 de la IEC 62271-1 est applicable avec le complément suivant :

L'identification des composants et celle des schémas et dessins de câblage doivent être la même que celle présente sur les dessins normalisés listés en référence. Les schémas de filerie doivent montrer tous les raccordements des composants.



## 15.5 Exigences applicables aux composants des circuits auxiliaires et de commande

### 15.5.1 Câblage et filerie

#### 15.5.1.1 Filerie

La filerie des armoires doit être réalisée avec des conducteurs en cuivre de diamètre 14 AWG, noir, 19 brins toronnés, isolés au fluoropolymère 600 V, 150 °C conformément à la norme SAE AS22759/16.

La filerie des transformateurs de courants doit être réalisée avec des conducteurs de cuivre 12 AWG, vert, 37 brins toronnés, isolés au fluoropolymère 600 V, 150 °C conformément à la norme SAE AS22759/16.

La filerie des transformateurs de tension doit être réalisée avec des conducteurs de cuivre 14 AWG, rouge, 19 brins toronnés, isolés au fluoropolymère 600 V, 150 °C conformément à la norme SAE AS22759/16.

La filerie des circuits des moteurs doit être réalisée avec des conducteurs de diamètre approprié, noir, isolés au fluoropolymère 600 V, 150 °C conformément à la norme SAE AS22759/16.

La filerie des connexions équipotentielles entre les armoires et leurs parties amovibles doit être réalisée avec des conducteurs de cuivre 10 AWG, vert (ligné jaune) 37 brins toronnés, isolés au fluoropolymère 600 V, 150 °C conformément à la norme SAE AS22759/16.

Les éléments chauffants prescrits à la section 15.1.9 doivent être choisis pour être raccordés avec des conducteurs en cuivre de diamètre 14 AWG, noir, 19 brins toronnés, isolés au fluoropolymère 600 V, 150 °C conformément à la norme SAE AS22759/16. Les raccordements aux éléments chauffants doivent être faits par des cosses thermorésistantes.

Les connexions doivent se faire sur des bornes fixes, et les fils ne doivent pas avoir de raccordements intermédiaires avec une jonction de fil, telles une épissure ou une soudure.

Lors de la pose d'un conducteur dans une borne, la partie de l'isolation enlevée doit permettre de voir l'âme du conducteur sur une longueur de 3 mm lorsque celui-ci est introduit entièrement à l'intérieur de la borne.

Chaque conducteur doit être identifié aux deux extrémités par une inscription rapportant l'adresse de sa source et celle de sa destination; la source doit être marquée distinctement de la destination, par exemple en soulignant l'adresse de la source. L'inscription doit être indélébile; la conformité avec cette prescription est vérifiée par l'essai du paragraphe 1.8 de la IEC 60227-2.

L'identification des conducteurs doit être conforme à celle indiquée aux schémas et dessins de câblage du fabricant.

Les conducteurs isolés doivent être maintenus convenablement et ne doivent pas reposer contre des arêtes vives. [réf : IEC 62271-1, paragraphe 6.4.3.4.2]

Les conducteurs raccordés aux composants montés sur des portes doivent être disposés de manière qu'aucun dommage mécanique ne puisse advenir aux conducteurs par suite du mouvement des portes. [réf : IEC 62271-1, paragraphe 6.4.3.4.2]

Les fils transitant dans les armoires doivent cheminer dans des goulottes de grosseur appropriée.

Les bases autocollantes ne sont pas acceptées pour tenir les conducteurs. Elles doivent être de type vissé.

Lorsque des cosses sont nécessaires pour effectuer le branchement des fils, des cosses à œilletons de dimension appropriée doivent être utilisées.

Les fils transitant à travers une articulation doivent être protégés par une gaine spirale ou équivalent approuvé par HQ.

### 15.5.1.2 Câblage

Les câbles fournis par le fabricant, en accord avec les prescriptions de 15.1.11 Partie 2 ci-dessus, doivent être choisis en fonction du courant admissible, de la chute de tension, des contraintes mécaniques auxquelles le câble est soumis et du type d'isolation.

Les câbles entre deux armoires ou entre une armoire et les transformateurs de courant ne doivent pas avoir de raccordements intermédiaires avec une jonction de fil ou une soudure, et leurs connexions doivent se faire sur des bornes fixes.

L'espace disponible pour le branchement doit permettre l'épanouissement de câbles à âmes multiples et le raccordement correct de leurs conducteurs. Pour ce faire, une distance de 150mm minimum doit être laissée libre à droite des borniers identifiés Hydro-Québec. Les conducteurs ne doivent pas être soumis à des contraintes qui réduisent leur durée de vie normale. [réf : IEC 62271-1, paragraphe 6.4.3.4.2]

Le raccord du fil de mise à la terre de la gaine doit être le plus court possible et être branché à la barre de mise à la terre de l'armoire.

Le câblage doit être identifié à chaque extrémité selon les pratiques en vigueur à Hydro-Québec.

### 15.5.2 Bornes

Les blocs de jonction doivent être montés verticalement et disposés conformément aux dessins normalisés suivants :

N400-40600-025-07; N400-40600-025-08; N400-40600-025-09; N400-40600-025-10;  
N400-40600-025-11; N400-40600-025-12.

Le regroupement ou l'élimination de blocs de jonction montrés dans ces figures n'est pas permis. Leur disposition et leur numérotation demeurent invariables. Le fabricant ne peut insérer aucun bloc de jonction pour son usage personnel dans ces borniers. Dans le cas où la conception nécessite l'usage de bloc de jonction supplémentaire, ceux-ci doivent être installés sur des borniers distincts.

Les bornes doivent être numérotées sur les deux côtés.

Toutes les bornes représentées sur les dessins normalisés doivent être de type vissé-vissé, homologuées ou autorisées par Hydro-Québec et conformes à la classe V-0 de la norme UL 94. Les bornes standards doivent être choisies pour s'adapter à des conducteurs de diamètre 6 AWG à 14 AWG. Elles doivent être conçues pour supporter 600 V et 30 A.

Les bornes d'essais sectionnables montrées sur les dessins normalisés doivent être équipées d'alvéoles pour permettre l'insertion de fiches bananes et doivent être choisies pour s'adapter à des conducteurs de diamètre 8 AWG à 20 AWG. Elles doivent être conçues pour supporter 600 V et 30 A.

Les bornes, utilisées seulement pour la filerie interne du fabricant, qui ne sont pas présentes sur les dessins normalisés et qui ne sont pas utilisées par Hydro-Québec, doivent être choisies en fonction des câbles qui y sont raccordés. Les bornes doivent aussi être conformes à la classe V0 de la norme UL 94, être de type vissé-vissé, être homologuées ou autorisées par Hydro-Québec et être conçues pour supporter 600 V et 30 A.

Le côté droit des bornes est réservé aux connexions des câbles d'Hydro-Québec sauf dans le cas de quelques connexions de l'acquisiteur d'entrées numériques clairement identifiées sur les dessins de disposition des bornes. Les bornes des circuits de commande doivent être séparées des bornes des circuits de courant par une cloison métallique en acier inoxydable de jauge 16 non peinte.

Les bornes d'alimentation à 600 V doivent être localisées dans le bas de l'armoire et recouvertes d'un écran protecteur de type polycarbonate d'une épaisseur minimale de 3 mm, pour prévenir tout contact accidentel. Une étiquette tracée noire sur fond rouge indiquant « Danger 600 V » doit être apposée près de ces bornes.

Les bornes ne doivent pas nuire au tirage des câbles. La distance entre l'entrée des câbles et les rangées de bornes doit être suffisante pour faciliter les raccordements.

### 15.5.3 Interrupteurs auxiliaires

Le paragraphe 6.4.3.4.4 de la IEC 62271-1 ne s'applique pas.

### 15.5.4 Contacts auxiliaires et de commande

Le paragraphe 6.4.3.4.5 de la IEC 62271-1 ne s'applique pas.

### 15.5.5 Contacts basse tension autres que les contacts auxiliaires et de commande

Un contact basse tension autre qu'un contact auxiliaire ou de commande est défini comme tout contact d'un composant (relais, contacteur, interrupteur basse tension, etc.) utilisé dans les circuits auxiliaires et de commande.

Les contacts basse tension disponibles pour Hydro-Québec doivent appartenir à la classe 2, conformément aux prescriptions du tableau 6 du paragraphe 6.4.3.4.5 de la IEC 62271-1.

Pour les contacts d'indication du changement de prises, soit 95-1 N.O. et 95-2 N.F., le pouvoir de coupure doit être de 5 A inductif à 120 V c.a. et selon les exigences du paragraphe précédent à 125 V c.c..

Les documents techniques fournis par le fabricant doivent indiquer le courant nominal, le pouvoir de fermeture et le pouvoir de coupure des contacts disponibles pour Hydro-Québec.

### 15.5.6 Relais

Le paragraphe 6.5 et l'annexe D de la IEC 62271-1 sont applicables avec les exigences pour les contacts des relais disponibles pour Hydro-Québec mentionnées à l'article 15.5.5, Partie 2, du présent document.

### 15.5.7 Contacteurs et démarreurs de moteurs

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable avec les exigences pour les contacts des relais disponibles pour Hydro-Québec mentionnées à l'article 15.5.5, Partie 2, du présent document.

### 15.5.8 Déclencheurs shunt d'ouverture et de fermeture

Les paragraphes 6.9.2 et 6.9.3 de la IEC 62271-1 ne s'appliquent pas.

### 15.5.9 Interrupteurs basse tension

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable avec les exigences pour les contacts des relais disponibles pour Hydro-Québec mentionnées à l'article 15.5.5, Partie 2, du présent document.

### 15.5.10 Disjoncteurs basse tension

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable. Certains disjoncteurs doivent être munis de boîtes ou d'accessoires cadenassables telles qu'illustrées dans les dessins normalisés N400-40600-025-01, N400-40600-025-02 et N400-40600-039-01

### 15.5.11 Fusibles basse tension

Les fusibles utilisés doivent être de type HRC et homologués ou autorisés par Hydro-Québec.

Les porte-fusibles de 250 V et moins doivent être munis d'un couvercle et l'ensemble doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec.

Les porte-fusibles de plus de 250 V doivent être munis de boîtes cadenassables fournies par Hydro-Québec telles qu'illustrées dans les dessins N400-40600-025-01, N400-40600-025-02 et N400-40600-039-01.

L'utilisation de fusible factice (dummy) sur les circuits de neutre est proscrite. Un fils 19 brins toronnés, isolés au fluoropolymère 600 V, 150 °C conformément à la norme SAE AS22759/16 de grosseur et de couleur appropriée au circuit et muni de cosses isolées doit être installé dans le porte-fusible du neutre du circuit tel qu'illustré dans les dessins normalisés.

#### **15.5.12 Sectionneurs basse tension**

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable.

#### **15.5.13 Moteurs**

L'annexe D de la IEC 62271-1 ne s'applique pas.

#### **15.5.14 Éléments chauffants**

L'article 6.4.3.4.6 de la IEC 62271-1 est applicable avec les compléments suivants :

La puissance consommée par les résistances de chauffage à la tension nominale doit avoir la valeur indiquée par le constructeur avec une précision relative de  $\pm 10 \%$ .

L'utilisation d'éléments chauffants de type plaques chauffantes est proscrite, car celles-ci deviennent très chaudes malgré l'ajout de protecteurs.

#### **15.5.15 Appareils de mesure**

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable avec les exigences pour les contacts des relais disponibles pour Hydro-Québec mentionnées à l'article 15.5.5, du présent document.

#### **15.5.16 Voyants lumineux**

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable.

#### **15.5.17 Prises de courant**

Une prise de courant de type extérieur doit être munie d'un disjoncteur différentiel de classe A doit être installée conformément au Code d'électricité du Québec sur une des surfaces latérales extérieures de l'armoire de commande des transformateurs et inductances shunt. Elle doit être protégée par un disjoncteur et raccordée comme le montrent les dessins normalisés N400-40600-025-01, N400-40600-025-02 et N400-40600-039-01. Aussi, cette prise de courant doit être à l'épreuve des intempéries et munie d'un couvercle convenant aux emplacements mouillés et ce, qu'une fiche soit introduite ou non.

#### **15.5.18 Cartes imprimées**

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable.

#### **15.5.19 Résistances**

L'annexe D de la IEC 62271-1 est applicable avec les exigences pour les contacts des relais disponibles pour Hydro-Québec mentionnées à l'article 15.5.5 du présent document.

## 15.6 Circuits basse tension

### 15.6.1 Circuit de commande pour le refroidissement des transformateurs

Le circuit de commande pour le refroidissement des transformateurs triphasé et monophasé est présenté sur les dessins normalisés N400-40600-025-01 et N400-40600-025-02.

Le circuit de refroidissement est constitué de deux stades dont chacun est composé de plusieurs groupes de démarreurs (2 ou plus). Le premier stade démarre lorsque la température du point chaud des enroulements atteint 65 °C et le deuxième lorsqu'elle atteint 75 °C. Les deux stades démarrent simultanément lorsque le moniteur de température (voir article 15.9 ci-après) n'est plus alimenté ou en panne, ou encore lors d'une perte de tension du module de supervision de déclenchement du point chaud.

Une alarme pour chaque stade est requise en cas de panne du système de refroidissement (relais 2A-1 et 2A-2).

Pour chacun des deux stades de refroidissement, il faut prévoir une alarme lorsque les commutateurs 43-1, 2, 3, 4, etc. sont à la position «Manuelle» ou «Hors-circuit».

### 15.6.2 Circuits d'alimentation des moteurs et des appareils auxiliaires

Les circuits d'alimentation du moteur du changeur de prises, des moteurs des ventilateurs (et des pompes), du moniteur de gaz dissous et d'humidité, de la valve anti-déversement, de l'unité de surveillance des traversées et CPC, du système de communication et du moniteur de température des transformateurs triphasés et monophasés sont montrés sur les dessins normalisés N400-40600-025-01 et N400-40600-025-02.

Pour les transformateurs équipés d'un enroulement basse tension à 12kV ou 25 kV, l'alimentation des moteurs est triphasée et doit se faire à 120/208 V (4 fils). Pour les autres transformateurs, incluant les transformateurs de centrales, l'alimentation triphasée doit être à 600 V (3 fils). Pour les inductances shunt, seule l'alimentation du moniteur de gaz dissous et d'humidité est requise. Voir le dessin normalisé N400-40600-039-01.

Un relais de surveillance de tension (27/ALIM), alimenté à 120 V, doit être raccordé à l'entrée de la tension d'alimentation des moteurs des ventilateurs (et des pompes) et donner une alarme en cas d'absence d'alimentation.

Lorsque les moteurs des ventilateurs (et des pompes) sont alimentés à 600 V et qu'il n'y a pas de source à 120 V ou à 120 V/208 V raccordée entre les bornes 371 à 374 de l'armoire de commande, il faut installer un transformateur auxiliaire monophasé 600 V/120 V ou triphasé 600 V/208 V/120 V, selon l'alimentation du moteur du changeur de prises. Voir les dessins normalisés N400-40600-025-01 et N400-40600-025-02 pour les principes de raccordements.

### 15.6.3 Circuit d'alimentation du chauffage, de l'éclairage et de la prise de courant

Le circuit d'alimentation du chauffage, de l'éclairage et de la prise de courant est présenté sur les dessins normalisés suivants :

- N400-40600-025-01 Transformateur triphasé;
- N400-40600-025-02 Transformateur monophasé et armoire de régulation;
- N400-40600-039-01 Inductance shunt.

## 15.7 Surveillance de l'huile et de la pression de gaz

### 15.7.1 Transformateurs triphasés et monophasés

Le transformateur triphasé et chaque phase du transformateur monophasé doivent avoir :

- a) Les contacts de déclenchement par pression de gaz suivants :
  - D63GHT pour le transformateur, bornes 61A-62A-62B et entrées IN\_408A et IN\_408B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - D63GHC pour le changeur de prises, bornes 161A-162A -162B et entrées IN\_501A et IN\_502B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
- b) Les contacts d'alarme suivants :
  - A63GHT, accumulation de gaz, bornes 65A-66A-66B et entrées IN\_301A et IN\_301B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A71QHT, haut niveau d'huile du transformateur, bornes 253A-254A-254B et entrées IN\_303A et IN\_303B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A71QHC, haut niveau d'huile du changeur de prises, bornes 253A-254B-254B et entrées IN\_303A et IN\_303B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A71QBT, bas niveau d'huile du transformateur, bornes 263A-264A-264B et entrées IN\_304A et IN\_304B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A71QBC, bas niveau d'huile du changeur de prises, bornes 263A-264A-264B et entrées IN\_304A et IN\_304B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A63QHT, suppression d'huile du transformateur, bornes 232A-233A-233B et entrées IN\_302A et IN\_302B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A63QHC, suppression d'huile du changeur de prises, bornes 232A-233A-233B et entrées IN\_302A et IN\_302B de l'acquisiteur d'entrées numériques.

La codification des alarmes et des déclenchements est expliquée à l'Annexe A de la Partie 2 de la présente spécification.

### 15.7.2 Inductances shunt triphasé et monophasé

L'inductance shunt triphasée et chacune des phases de l'inductance shunt monophasée doivent avoir :

- a) Le contact de déclenchement suivant :
  - D63GHI pour la pression de gaz, bornes 61A- 62A-62B et entrées IN\_401A et IN\_401B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
- b) Les contacts d'alarme suivants :
  - A63GHI, accumulation de gaz, bornes 65A-66A-66B et entrées IN\_301A et IN\_301B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A71QHI, haut niveau d'huile, bornes 253A-254A-254B et entrées IN\_303A et IN\_303B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A71QBI, bas niveau d'huile, bornes 263A-264A-264B et entrées IN\_304A et IN\_304B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A63QHI, suppression d'huile, bornes 232A-233A-233B et entrées IN\_302A et IN\_302B de l'acquisiteur d'entrées numériques.

La codification des alarmes et des déclenchements est expliquée à l'Annexe A de la Partie 2 de la présente

spécification.

## **15.8 Moniteur de gaz dissous et d'humidité**

Le moniteur de gaz dissous et de l'humidité doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Le moniteur est requis pour tous les transformateurs de puissance de 120 kV et plus et de 47 MVA et plus, ainsi que pour les inductances shunt dont la tension nominale est de 120 kV et plus.

### **15.8.1 Unité de surveillance**

#### **15.8.1.1 Interfaces d'entrées-sorties**

L'unité doit avoir une interface personne-machine (IPM) en face avant avec écran et clavier ou touches de programmation.

#### **15.8.1.2 Ports de communication**

Les données ainsi que la console de réglage et de configuration doivent être accessibles par le même port de communication.

Le moniteur se raccorde au réseau via un port EIA-485 jusqu'au serveur de liens série qui converti ensuite les données en Ethernet optique 100BaseFX.

Les principes de raccordement du système de communication sont illustrés sur les dessins normalisés N400-40600-025-05 pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances.

#### **15.8.1.3 Protocoles de communication**

L'unité doit pouvoir communiquer à distance selon les protocoles DNP 3 et IEC 61850.

#### **15.8.1.4 Logiciel**

Le fabricant doit fournir un logiciel pour communiquer localement et à distance avec l'unité. Le logiciel doit fonctionner sur PC avec les systèmes d'exploitation les plus récents.

Toutes les opérations réalisables directement à l'écran de l'unité doivent aussi être exécutables au moyen du logiciel.

Le logiciel doit exécuter, entre autres, les tâches suivantes :

- le réglage de tous les paramètres de fonctionnement de l'unité;
- un survol continu et en ligne des états des alarmes et des informations de base en provenance d'une ou plusieurs unités;
- l'enregistrement en temps réel des informations en provenance d'une ou plusieurs unités;
- le téléchargement continu ou programmé de fichiers historiques en provenance d'une ou plusieurs unités avec affichage graphique;
- le téléchargement de valeurs de fonctionnement d'une ou plusieurs unités vers un ordinateur portable ou un système SCAD (surveillance, commande et acquisition de données);
- la mise à jour du logiciel intégré dans une ou plusieurs unités.

### 15.8.1.5 Alarmes

L'unité doit être munie de cinq relais d'alarme indépendants et configurables par logiciel ayant chacun un contact N.O. et un contact N.F. avec un point commun entre les deux. Ces contacts doivent être disponibles sur un bornier d'alarmes.

Les quatre premiers relais d'alarme sont assignés aux conditions suivantes :

a) Pour les transformateurs :

- A7GH1T, taux de concentration de gaz dissous, 1<sup>er</sup> seuil;
- A7GH2T, taux de concentration de gaz dissous, 2<sup>e</sup> seuil;
- A7HH1T, taux d'humidité, 1<sup>er</sup> seuil;
- A7HH2T, taux d'humidité, 2<sup>e</sup> seuil;

b) Pour les inductances shunt :

- A7GH1I, taux de concentration de gaz dissous, 1<sup>er</sup> seuil;
- A7GH2I, taux de concentration de gaz dissous, 2<sup>e</sup> seuil;
- A7HH1I, taux d'humidité, 1<sup>er</sup> seuil;
- A7HH2I, taux d'humidité, 2<sup>e</sup> seuil.

Le cinquième relais est dédié à l'alarme de défaillance du moniteur. L'alarme de défaillance utilise un contact N.F. alors que les quatre autres alarmes utilisent un contact N.O.

Une alarme de défaillance doit être activée lorsque, entre autres, l'une ou l'autre des conditions suivantes se produit :

- panne complète ou partielle de l'alimentation c.a.;
- impossibilité de redémarrer le micro-processeur;
- unité non initialisée;
- défaillance de matériel;
- réglages perdus;
- trop d'intervention des circuits de surveillance en peu de temps.

Les alarmes doivent être transmises par réseau tel que c'est indiqué sur le dessin normalisé N400-40600-025-04 pour les transformateurs et N400-40600-039-03 pour les inductances.

La codification des alarmes est expliquée à l'Annexe A de la Partie 2 de la présente spécification.

## 15.9 Surveillance de la température

### 15.9.1 Détecteur de température à résistance (sonde pyrométrique)

Tous les transformateurs et inductances shunt doivent être équipés d'un détecteur de température à résistance de type RTD PT 100  $\Omega$ , communément appelé sonde pyrométrique. Ce détecteur est raccordé aux bornes T1 à T3 de l'armoire de commande monophasée ou triphasée.



### 15.9.2 Indicateur de température

En plus du détecteur mentionné à l'article 15.9.1, tous les transformateurs et inductances shunt de moins de 7 500 kVA doivent être équipés d'un indicateur de température de type conventionnel à aiguille, muni des contacts suivants pour la température de l'huile au sommet de la cuve :

- a) Un contact de déclenchement :
  - D49QHT pour le transformateur, bornes 285A-286A-286B et entrées IN\_502A et IN\_502B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - D49QHI pour l'inductance, bornes 285A-286A-286B et entrées IN\_402A et IN\_402B de l'acquisiteur d'entrées numériques.
- b) Un contact d'alarme :
  - A49QHT, pour le transformateur, bornes 265A-266A-266B et entrées IN\_403A et IN\_403B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
  - A49QHI, pour l'inductance, bornes 265A-266A-266B et entrées IN\_305A et IN\_305B de l'acquisiteur d'entrées numériques.

### 15.9.3 Moniteur de température numérique

Les transformateurs de puissance immergés dans l'huile de 7500 kVA et plus doivent être pourvus d'un moniteur intelligent de température. Le moniteur de température doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Le moniteur doit être entièrement configuré par le fabricant selon les exigences d'Hydro-Québec et doit être installé à l'intérieur de l'armoire de commande.

#### 15.9.3.1 Interfaces d'entrées-sorties

Le moniteur doit avoir une interface personne-machine (IPM) en face avant avec écran et clavier ou touches de programmation.

#### 15.9.3.2 Ports de communication

Les données ainsi que la console de réglage et de configuration doivent être accessibles par le même port de communication, soit un port Ethernet optique 100BaseFX.

#### 15.9.3.3 Protocoles de communication

Le moniteur doit pouvoir communiquer à distance selon les protocoles DNP 3 et IEC 61850.

#### 15.9.3.4 Logiciel

Le fabricant doit fournir un logiciel pour communiquer localement et à distance avec le moniteur. Le logiciel doit fonctionner sur PC avec les systèmes d'exploitation les plus récents.

Toutes les opérations réalisables directement à l'écran du moniteur doivent aussi être exécutables au moyen du logiciel.

Le logiciel doit permettre le réglage des paramètres et la configuration :

- des ports de communication;
- des modules d'entrées-sorties;
- de l'exerciseur pour le système de refroidissement.

Le logiciel doit permettre la permutation des deux stades de refroidissement.

### 15.9.3.5 Alarmes, déclenchement et refroidissement

Le moniteur doit être muni d'un relais pour l'état du système et d'au moins 8 relais avec contacts de forme C pour les alarmes, les fonctions de déclenchement et la commande du système de refroidissement.

L'alimentation du circuit de protection des déclenchements du point chaud de l'enroulement et de la température de l'huile au sommet de la cuve doit être surveillée en permanence par un module de supervision installé sur le circuit de déclenchement du point chaud. Les principes de raccordement sont illustrés sur les dessins normalisés N400-40600-025-03 et N400-40600-039-03.

Trois relais sont requis pour les alarmes suivantes :

- A49QHT, température de l'huile au sommet de la cuve;
- A49EHT, point chaud d'enroulement;
- panne de déclenchement ou perte de tension de supervision du circuit de déclenchement du point chaud d'enroulement.

Deux relais sont nécessaires pour les déclenchements ci-après :

- D49EHT, point chaud d'enroulement, bornes 281A-282A-282B et entrées IN\_502A et IN\_502B de l'acquisiteur d'entrées numériques;
- D49QHT, température de l'huile au sommet de la cuve (OFAF seulement), bornes 285A-285A-285B et entrées IN\_601A et IN\_601B de l'acquisiteur d'entrées numériques.

Deux relais sont utilisés pour les stades de refroidissement suivants :

- commande des ventilateurs pour le premier stade de refroidissement lorsque la température d'enroulement atteint 65°C;
- commande des ventilateurs pour le deuxième stade de refroidissement lorsque la température d'enroulement atteint 75°C.
- Un relais pour usage futur.
- Un relais d'alarme pour la panne du système, bornes 293A-294A-294B et entrées IN\_403A et IN\_403B de l'acquisiteur d'entrées numériques.
- Les contacts pour la commande des ventilateurs et des pompes ainsi que le contact indiquant une panne de déclenchement ou une perte de tension doivent être du type FS (Fail Safe). Le relais d'un contact de type FS est alimenté en position normale. Ainsi, les contacts 49-1 et 49-2 de type FS sont fermés lorsque la température est au-dessus du point de réglage ou que le moniteur n'est plus alimenté. Voir les dessins normalisés N400-40600-025-03;
- La codification des alarmes et des déclenchements est expliquée à l'Annexe A de la Partie 2 de la présente spécification.

### 15.9.3.6 Modules d'entrée

Le moniteur doit être équipé des 8 modules suivants :

- deux modules d'entrée de détecteur de type RTD pour la température ambiante et la température de l'huile au sommet de la cuve;
- trois modules d'entrée de transformateur de courant pour les températures d'enroulement haute tension, basse tension et tertiaire. Le module pour le tertiaire est optionnel et peut être utilisé pour un secondaire à deux enroulements;
- un module d'entrée de boîtier de contact alimenté électriquement, avec faible courant de détection, pour la supervision du circuit des déclenchements du point chaud de l'enroulement et

- de la température de l'huile au sommet;
- un module d'entrée de potentiomètre pour niveau d'huile;
- au moins un module d'entrée pour usage futur.

Le moniteur doit être livré avec un détecteur de température à résistance de type RTD PT 100  $\Omega$ , pour chaque module d'entrée de détecteur, ainsi qu'une pince ampèremétrique de 10 A et un câble de 15 m pour chaque module d'entrée de transformateur de courant.

#### 15.9.4 Module optique point chaud

Le premier transformateur fabriqué avec une nouvelle spécification technique, communément appelé tête de série, doit être muni de sondes à fibre optique pour mesurer directement les températures d'enroulements afin de comparer avec les valeurs calculées.

Les sondes optiques doivent traverser la paroi de la cuve et se connecter à une traversée optique. La plaque des traversées optiques doit être boulonnée ou soudée selon le choix fait lors de la conception. Une boîte de jonction doit protéger les traversées. Des câbles d'extension pour fibre optique relient les traversées au module optique point chaud qui est situé dans l'armoire de commande.

Le module optique point chaud doit accepter 8 sondes, il est conçu pour convertir le signal de température capté par la fibre optique en signal numérique. Ce module optique point chaud doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Le module optique se raccorde ensuite au moniteur de température via un câble EIA-485.

Les principes de raccordement sont illustrés sur le dessin normalisé N400-40600-025-03.

### 15.10 Changeur de prises en charge (CPC)

#### 15.10.1 Fonctionnement

Les transformateurs ou autotransformateurs avec régulation de tension doivent être équipés d'un CPC. Le CPC peut être commandé par :

- une commande manuelle locale ou à distance;
- l'unité de parallélisme agissant sur le régulateur ou
- un automatisme de régulation de tension;
- exceptionnellement, le régulateur de tension par circulation de courant. (ce cas sera inscrit dans la demande d'achat).

Le CPC doit entrer en action sur réception d'un ordre momentané ou maintenu, se verrouiller et poursuivre son opération jusqu'à exécution complète, que l'ordre soit maintenu ou non. Le maintien d'un ordre à la fin d'une première opération ne doit pas commander une seconde opération. Lors d'une commande automatique, un dispositif doit rappeler la minuterie de commande entre chaque changement de prises. En cas de panne d'électricité, le commutateur ne doit pas s'arrêter entre deux prises. Le changement amorcé doit s'achever dès que le courant est rétabli.

#### 15.10.2 Synchronisation des prises

Pour les transformateurs monophasés, l'exécution d'une commande «Hausse-Baisse» quelle que soit son origine, doit être simultanément transmise aux trois CPC (phase A, B et C) selon le principe de maître-esclave. La synchronisation des prises, leur surveillance ainsi que les dispositifs servant à leur interconnexion relèvent de la responsabilité du fabricant des transformateurs. Aucun décalage de prises n'est admis.

### 15.10.3 Composants requis

Lorsqu'un transformateur est équipé d'un CPC, ce dernier doit comprendre ce qui suit :

- a) un sélecteur (43-T) pour la commande «Locale – Distance» pour les transformateurs avec régulation de type pas à pas (ART) comportant quatre contacts ou un sélecteur (43-T) pour la commande «Locale – Distance– Auto» pour les rares cas où la régulation de tension par circulation de courant est requise, comportant six contacts indépendants (voir les dessins normalisés N400-40600-025-01 et N400-40600-025-02);
- b) un commutateur «Hausse – Baisse» pour la commande sur place (84CC);
- c) une manivelle amovible servant à la commande manuelle locale. La mise en place de cette manivelle doit condamner et verrouiller la commande électrique (84/CM);
- d) deux aiguilles témoins de positions maximales et minimales et un compteur d'opération électrique du type pas-à-pas avec un cadran à six chiffres sans remise à zéro;
- e) des interrupteurs de fin de course (FC/A, FC/D). Si le changeur de prises comporte plus de 17 prises, ces contacts doivent être réglables pour limiter l'étendue du réglage;
- f) trois contacts auxiliaires, l'un fermé et deux ouverts pendant les opérations (95-1, 95-2, 95-3);
- g) un commutateur à gradins (plots isolés) pour la signalisation à distance (33-2) et, pour les transformateurs monophasés, un commutateur à gradins (plots isolés) pour la vérification de décalage (33-1);
- h) une matrice de diodes (MDD) pouvant fournir une indication de 1 à 17 selon le code BCD. Cette matrice doit être raccordée en permanence au commutateur 33-2;
- i) un cadran indicateur de position facilement lisible à partir du sol. À des numéros de prises croissants correspondent des rapports de transformation décroissants;
- j) un verrouillage électrique et mécanique entre les contacteurs «Hausse – Baisse» (84-A, 84-D);
- k) un contact d'alarme de blocage (A49PBC) pour des températures d'huile du CPC inférieures aux valeurs mentionnées au paragraphe 5.7.2 de la Partie 1 de cette norme.

### 15.10.4 Composant optionnel

Le CPC peut inclure, si spécifié dans la demande d'achat, un commutateur à gradins (plots isolés) pour la vérification de décalage (33-1) pour les transformateurs triphasés.

Le commutateur à gradins doit pouvoir, sans modification, s'installer en tout temps au chantier sur le transformateur. Il doit pouvoir fonctionner et être réglé sans chauffage.

### 15.10.5 Connexions

Toutes les connexions du CPC doivent être regroupées dans l'armoire de commande du CPC. Cette armoire doit avoir les mêmes caractéristiques que les autres armoires de commande du transformateur tel que mentionné à l'article 15.1.8.3.

### 15.10.6 Alarme

En plus des alarmes mentionnées au paragraphe 15.7.1, du présent document, le CPC doit avoir l'alarme suivante : A49PBC, blocage des prises par basse température de l'huile du CPC, bornes 269A-270A-270B.

La codification de l'alarme est expliquée à l'Annexe A de la Partie 2 de la présente spécification.

## 15.11 Unité de surveillance des traversées et CPC

Les transformateurs et inductances shunt de 69kV et plus équipés d'un changeur de prise en charge ou de traversées 315kV et plus doivent être équipés d'une unité permettant le diagnostic en continu des traversées et du CPC. Le système est décrit à la section 5.14.5 de la Partie 1 du présent document. L'unité d'acquisition de données doit être homologuée ou autorisée par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés) et doit être installée dans l'armoire de commande du transformateur ou de l'inductance. Une antenne GPS doit également être installée sur l'armoire de commande. Les données sont transmises à un ordinateur, approvisionné par Hydro-Québec, et situé dans le bâtiment de commande, qui en fait l'analyse.

L'unité de surveillance doit être homologuée et entièrement configurée par le fabricant selon les exigences d'Hydro-Québec.

Le raccordement de l'unité de surveillance des traversées et CPC doit être réalisé tel que spécifié sur le dessin normalisé N400-40600-025-06.

### 15.11.1 Interfaces d'entrées-sorties

L'unité de surveillance doit avoir une interface personne-machine (IPM) sur la face avant avec écran et clavier ou touches de programmation.

### 15.11.2 Ports de communication

Les données ainsi que la console de réglage et de configuration doivent être accessibles par le même port de communication, soit un port Ethernet optique 100BaseFX.

### 15.11.3 Protocoles de communication

Le moniteur doit pouvoir communiquer à distance selon les protocoles DNP 3 et IEC 61850.

### 15.11.4 Logiciel

Le fabricant doit fournir un logiciel pour communiquer localement et à distance avec le moniteur. Le logiciel doit fonctionner sur PC avec les systèmes d'exploitation les plus récents.

Toutes les opérations réalisables directement à l'écran du moniteur doivent aussi être exécutables au moyen du logiciel.

Le logiciel doit permettre le réglage des paramètres et la configuration :

- des ports de communication;
- des modules d'entrées-sorties.

## 15.12 Régulation de tension

### 15.12.1 Parallélisme par circulation de courant

La régulation de tension avec parallélisme par circulation de courant n'est plus requise sauf dans de rares exceptions. Si elle est requise, la demande d'achat doit le préciser clairement et contenir la justification. L'armoire de régulation peut aussi être commandée séparément comme pièce de rechange.

S'il est requis, le parallélisme par circulation de courant entre deux ou plusieurs transformateurs doit se faire selon la norme EEMAC L10-1 (schéma A) et doit comprendre, entre autres, les composants suivants :

- un relais numérique de régulation de tension (90), voir paragraphe 15.12.2, du présent document;
- une unité de mise en parallèle (TCA1), comme le module M-0115A de Beckwith ou

équivalent;

- un relais de blocage si requis (68), voir paragraphe 15.12.3, Partie 2 du présent document;
- un relais de surintensité (51);
- un relais de sous-tension (27);
- un transformateur de courant auxiliaire (TCA2) à rapports multiples, soit 8,66/5 A au primaire et 0,16 A à 0,28 A (échelon de 0,02 A) au secondaire;
- un transformateur de tension d'isolation;
- un interrupteur court-circuiteur au primaire du transformateur de courant auxiliaire;
- un interrupteur d'essais court-circuiteur pour chaque entrée-sortie de courant (bornes P1, P3, P4 et P6);
- des fusibles de 6 A pour la tension de référence.

La régulation de tension est installée dans l'armoire de commande du transformateur triphasé ou dans l'armoire de régulation du transformateur monophasé. Elle peut aussi être installée dans le bâtiment de commande. (Voir les dessins normalisés N400-40600-025-01 et N400-40600-025-02).

### 15.12.2 Relais numérique de régulation (90)

Dans les rares exceptions où le parallélisme par circulation de courant est requis, la régulation de tension doit se faire avec un relais numérique homologué par Hydro-Québec, tel le M-2001C de Beckwith ou un équivalent approuvé par Hydro-Québec.

### 15.12.3 Relais de blocage (68)

Lorsque le parallélisme par circulation de courant est requis, un relais de blocage triphasé d'une commande du CPC, lorsque la tension de référence excède une valeur déterminée, est requis pour tout transformateur triphasé dont la tension secondaire est égale ou inférieure à 44 kV (voir le dessin normalisé N400-40600-025-01). Le relais homologué Beckwith M-5329 ou un équivalent approuvé par Hydro-Québec doit être utilisé.

Le relais de blocage doit avoir l'alarme suivante : A68PHBC, blocage d'une commande de hausse ou de baisse des prises, bornes 134-135.

La codification de l'alarme est expliquée à l'Annexe A de la Partie 2 de la présente spécification.

## 15.13 Valve anti-déversement

Tous les transformateurs et inductances shunt doivent être équipés d'une valve anti-déversement tel que décrit à la section 5.14.7.2 de la Partie 1. Cette valve permet d'éviter les déversements d'huile en bloquant le flux d'huile du conservateur vers la cuve principale en cas de bris de cuve ou autre défaut majeur du transformateur ou de l'inductance. Elle doit être raccordée aux bornes de l'armoire de commande monophasée ou triphasée tel que spécifié sur les dessins normalisés N400-40600-025-01, N400-40600-025-02 et N400-40600-025-05.

### 15.13.1 Position mécanique, ouverture et fermeture

La valve anti-déversement doit être munie d'un relais signalant sa position mécanique et d'une commande électrique pour les fonctions d'ouverture et de fermeture.

## 15.14 Matériel de communication

### 15.14.1 Généralités

Le fabricant doit fournir et installer, dans l'armoire de commande d'un transformateur ou inductance shunt triphasée ainsi que dans chacune des armoires d'un transformateur ou d'une inductance shunt monophasés, un système de communication pour transmettre toutes les données à distance. Selon les besoins du poste où il sera installé, le transformateur ou l'inductance devra avoir un système de commande simple ou redondant. Dans tous les cas, l'espace disponible pour installer le matériel requis pour la redondance doit être prévu dans l'armoire de commande.

### 15.14.2 Composants du système

Le système de communication comprend les composants suivants :

- un commutateur Ethernet optique;
- une ou deux boîte(s) de jonction optique;
- un ou deux acquiseur (s) d'entrées et de sorties numériques;
- un serveur de lien série;
- des câbles optiques;
- des connecteurs optiques.

Tous les composants doivent être conçus pour fonctionner aux conditions climatiques décrites à l'article 12.1.2. Les principes de raccordement sont illustrés sur le dessin N400-40600-025-05 pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances shunt.

### 15.14.3 Commutateur Ethernet optique

Un commutateur Ethernet optique est requis pour transmettre à distance toutes les données des différents composants de l'armoire de commande. Le commutateur doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Aussi, il doit être muni de 6 ports de communication Ethernet 10/100TX avec connecteur de type RJ45 et trois ports 100FX, multimode-1300nm avec connecteur de type ST.

### 15.14.4 Boîte de jonction optique

Le fabricant doit fournir et installer dans l'armoire de commande de l'appareil une ou deux boîtes de jonction optique terminale à 12 ports. La boîte de jonction utilisée doit être homologuée ou autorisée par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés)

Les principes de raccordement sont illustrés sur les dessins normalisés N400-40600-025-05, pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances shunt.

### 15.14.5 Acquisiteur d'entrées et sorties numériques

Un ou deux acquiseurs d'entrées et sorties numériques, homologués ou autorisés par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés), sont requis pour transmettre les alarmes et les déclenchements des transformateurs et des inductances shunt ainsi que l'indication des prises des CPC par le réseau de communication. Le fabricant doit fournir et installer dans l'armoire de commande des transformateurs et des inductances les acquiseurs d'entrées et sorties numériques.

L'acquisiteur doit pouvoir communiquer à distance selon le protocole DNP3 et IEC 61850. Les principes de raccordement sont illustrés sur les dessins normalisés N400-40600-025-05, pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances shunt.

#### 15.14.6 Serveur de liens série

Un serveur de liens série, homologué ou autorisé par Hydro-Québec, est requis pour réaliser l'interface entre les composants du système de communication. Le serveur de lien série doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés). Il doit être muni de 2 ports série RS485/RS422/RS232, d'un port Ethernet 10/100BaseTX et de deux ports Ethernet optiques 100BaseFX multimode à 1300 nm avec connecteurs de type ST.

Le serveur doit pouvoir communiquer à distance selon le protocole DNP 3. Les principes de raccordement sont illustrés sur les dessins normalisés N400-40600-025-05, pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances shunt.

#### 15.14.7 Câbles EIA-485 et RJ-45

Le fabricant doit fournir et installer un câble blindé EIA-485 entre le moniteur de gaz dissous et d'humidité et le serveur de liens série. Le câble Belden 89842 ou un équivalent approuvé doit être utilisé. Si la régulation par parallélisme est requise, le fabricant doit également fournir et installer un câble Ethernet RJ-45 entre le régulateur M-2001C et le serveur de liens série. Un câble Belden 7921A ou équivalent doit être utilisé. Les principes de raccordement sont illustrés sur les dessins normalisés N400-40600-025-05, pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances shunt.

#### 15.14.8 Câbles optiques

Les câbles optiques transitant par l'extérieur de l'armoire doivent être fabriqués pour usage extérieur avec protection contre les petits rongeurs et contenir quatre fibres, tel le câble OC- 0001441 d'Optical Cable Corporation ou un produit équivalent approuvé par Hydro-Québec. Les câbles optiques transitant à l'intérieur de l'armoire doivent contenir 2 fibres multimodes de type « breakout » tels que le câble à gaine orange B-002DWST5OR d'Optical Cable Corporation, le câble à gaine bleu B-002DWST5BR ou le câble à gaine rouge B-002DWST5RR ou un produit équivalent approuvé par Hydro-Québec. Les couleurs de la gaine à utiliser sont spécifiées sur les dessins normalisés N400-40600-025-05 pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances shunt.

#### 15.14.9 Cordons optiques

L'utilisation de cordons optiques n'est pas permise.

#### 15.14.10 Connecteurs optiques

Le fabricant doit fournir et installer des connecteurs optiques de type ST multimode de la compagnie OCC modèle AFC-ST6-3MM-BLK de type époxy noir et des connecteurs optiques de type LC multimode de la compagnie OCC modèle AFC-LC6-3MM-BLK de type époxy ou tout autre produit équivalent approuvé par Hydro-Québec.

#### 15.14.11 Interrupteurs d'essais

Le fabricant doit installer des interrupteurs d'essais sur les circuits de déclenchement mécanique aux endroits indiqués sur le dessin normalisé N400-40600-025-05 pour le pour les transformateurs et N400-40600-039-02 pour les inductances shunt. Les interrupteurs doivent être de type FT-1 600Vca 30A par pôle. Ils doivent posséder 10 pôles positions A à J et être munis d'un couvercle cadenassable. Le modèle d'interrupteur doit être homologué ou autorisé par Hydro-Québec (réf. liste des accessoires associés).



### 15.15 Dessins, listes et schémas

Les listes et les dessins relatifs aux circuits auxiliaires et de commande doivent être conformes aux exigences de la SN-3.1 et de la norme complémentaire SN-3.2.

Les caractéristiques techniques des composants et les charges de chacun des circuits doivent être indiquées sur les dessins des circuits auxiliaires et de commande.

Les schémas de principe, de câblage et de filerie doivent être élaborés selon les prescriptions de la IEEE Std 315 et de la IEEE Std 315A. En cas de divergence entre ces normes et la SN-3.1 ou la norme complémentaire SN-3.2, cette dernière a priorité.

La numérotation des fonctions des composants apparaissant sur ces schémas doit être conforme à la liste établie dans la IEEE Std C37.2, mais doit respecter la codification indiquée à l'Annexe A de la Partie 2 et aux dessins normalisés.

## 16. Essais de type

### 16.1 Généralités

Les circuits auxiliaires et de commande doivent satisfaire aux essais de type apparaissant ci-après.

Les essais sont sous la responsabilité du fournisseur, doivent être effectués en présence d'un représentant d'Hydro-Québec et être réalisés dans un laboratoire certifié. Le fournisseur a l'obligation de soumettre un programme d'essais, décrivant, entre autres, le protocole détaillé de chacun des essais. Ceux-ci doivent être effectués selon l'ordre et les modalités préalablement approuvés.

Les résultats de tous les essais de type doivent être enregistrés dans des rapports d'essais contenant suffisamment de données pour prouver la conformité avec les caractéristiques assignées. Les informations à fournir sont décrites à l'article 7.1.3 de la IEC 62271-1.

Dans un esprit de réduction de coût et de délai d'homologation, le fournisseur peut, s'il le désire, présenter les rapports des essais réalisés sur ce matériel par un laboratoire accrédité ISO 9001. Hydro-Québec demeure cependant seul juge de l'admissibilité de tels rapports et de l'interprétation des résultats aux fins de qualification du matériel.

Lorsque le système secondaire ressemble à un autre système déjà homologué, mêmes composants, mêmes configurations, etc., mais avec quelques différences fonctionnelles, il peut être considéré comme étant de la même famille. Dans ce cas, Hydro-Québec peut dispenser le fabricant des essais de type et homologuer son produit suite à la réussite des essais de série.

Sauf pour les essais d'environnement en 16.10 ci-après, où les paramètres sont fixés en fonction du type d'épreuve, la gamme normale des conditions atmosphériques pour l'exécution des mesures et des essais de cet article est la suivante :

- La plage de température est de 15 °C à 35 °C;
- L'humidité relative varie de 25 % à 75 %;
- La pression de l'air varie de 86 kPa à 106 kPa.

### 16.2 Examen visuel

Sans s'y limiter, la vérification doit comprendre les points suivants :

- la nature de matériaux, la qualité de l'assemblage, la finition et les revêtements de protection contre la corrosion;
- la qualité, la quantité et l'installation de l'isolation thermique;
- le chauffage et la ventilation;

- les exigences spécifiques concernant les différents composants;
- le montage l'assemblage, l'accessibilité, l'interchangeabilité et la commodité de réglage des composants;
- la qualité de la filerie et du câblage, les types de bornes et de connecteurs utilisés;
- le cheminement des conducteurs et des câbles afin d'éviter la proximité d'arêtes vives, d'éléments chauffants ou de parties mobiles;
- l'identification de la filerie à chaque extrémité;
- l'identification des composants selon les dessins normalisés;
- les renseignements sur la plaque signalétique;
- la conformité des circuits selon les dessins normalisés listés à la norme;
- les clauses de maintenabilité et le contenu de la notice technique.

L'examen visuel doit être fait d'après une liste de vérification préalablement préparée. Cette liste doit couvrir toutes les exigences exprimées à l'Article 15, afin de vérifier si elles sont toutes satisfaites.

### **16.3 Essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre**

Le paragraphe 7.4.3 de la IEC 62271-1 est applicable.

### **16.4 Vérification de la protection des enveloppes**

#### **16.4.1 Vérification de la codification IP**

Le paragraphe 7.7.1 de la IEC 62271-1 est applicable avec les compléments suivants :

Les exigences de l'Article 14 de la IEC 60529 doivent également être considérées pour effectuer les essais sur les enveloppes.

Les conditions d'essai doivent être établies en fonction des degrés de protection exigés à l'article 15.1.3.1.

#### **16.4.2 Vérification de la codification IK**

Le paragraphe 7.7.2 de la IEC 62271-1 est applicable avec le complément suivant : Le troisième alinéa est remplacé par le texte suivant :

Lorsque le représentant d'Hydro-Québec a un doute au sujet de la conformité à ces exigences, les essais doivent être effectués aux endroits jugés nécessaires par Hydro-Québec.

Les conditions d'essai doivent être établies en fonction des degrés de protection exigés à l'article 15.1.3.2. de la Partie 2.

### **16.5 Essais fonctionnels**

#### **16.5.1 Généralités**

Un essai fonctionnel de tous les circuits à basse tension doit être exécuté pour vérifier leur bon fonctionnement. Pour les circuits dont les essais de fonctionnement ont déjà été entièrement réalisés lors d'un essai appliqué à l'ensemble de l'appareil ou dans des conditions appropriées, les essais de fonctionnement apparaissant dans les paragraphes suivants peuvent être omis.

Les essais doivent être exécutés à la valeur de tension nominale définie en 14.1.2 et aux valeurs limites supérieures et inférieures de la tension d'alimentation définies en 14.1.3.

Les essais fonctionnels décrits dans les paragraphes suivants sont applicables pour tout inductance ou transformateur, en tenant compte toutefois des exigences différentes décrites à l'Article 15 ci-dessus. Le cahier d'essais doit alors tenir compte de l'appareil sous essai et conserver parmi les essais fonctionnels ceux qui sont pertinents aux circuits basse tension de cet appareil.

Pour chaque essai, la séquence doit être déterminée, les réglages notés, l'état des voyants constaté et le résultat de l'opération inscrit.

### **16.5.2 Commande des moteurs**

Il est requis d'effectuer le démarrage de chaque moteur à l'aide du circuit de commande.

### **16.5.3 Surveillance du chauffage et de la perte d'alimentation**

S'il y a un système de surveillance, l'alarme de perte d'alimentation doit être vérifiée en ouvrant le circuit.

Le fonctionnement des thermostats de chauffage et des alarmes doivent être vérifiés.

### **16.6 Mesurage de la résistance des contacts des circuits auxiliaires**

Le paragraphe 7.4.1 et 7.4.2 de la IEC 62271-1 ne s'applique pas.

### **16.7 Vérification des caractéristiques de fonctionnement des contacts auxiliaires**

Le paragraphe 7.10.3 de la IEC 62271-1 ne s'applique pas.

### **16.8 Essai d'échauffement des équipements auxiliaires et de commande**

Le paragraphe 7.5.3.2 de la IEC 62271-1 est applicable.

### **16.9 Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande**

Le paragraphe 7.10.5 de la IEC 62271-1 est applicable.

### **16.10 Essais d'environnement**

#### **16.10.1 Généralités**

Le paragraphe 7.10.4.1 de la IEC 62271-1 est applicable.

#### **16.10.2 Essai de froid**

Le paragraphe 7.10.4.2 de la IEC 62271-1 est applicable.

#### **16.10.3 Essai de chaleur sèche**

Le paragraphe 7.10.4.3 de la IEC 62271-1 est applicable.

#### **16.10.4 Essai cyclique de chaleur humide**

Le paragraphe 7.10.4.4 de la IEC 62271-1 n'est pas applicable.

### 16.10.5 Essais de comportement aux vibrations et de tenue aux séismes

Le paragraphe 7.10.4.5 de la IEC 62271-1 est applicable.

### 16.10.6 Vérification finale

Les essais de tenue de tension à fréquence industrielle prescrits en 16.9, Partie 2 doivent être répétés à la fin des essais d'environnement afin de vérifier l'absence de réduction des performances.

### 16.11 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)

Les essais de compatibilité électromagnétique décrits au paragraphe 6.9 de la IEC 62271-1 ne s'appliquent pas si tous les composants électroniques et de communication des armoires sont déjà qualifiés par Hydro-Québec. Dans le cas contraire, les essais CEM prescrits au paragraphe 6.9 de la IEC 62271-1 peuvent être exigés.

### 16.12 Essais relatifs aux risques du feu

La sévérité des essais et les critères d'acceptation doivent viser à reproduire des conditions réalistes pour l'évaluation des risques du feu des circuits auxiliaires et de commande dans leur application particulière. Toutefois, il devient complexe et laborieux de spécifier certains essais d'auto-inflammation pour constater si un constituant électrique sous tension défectueux ou surchargé peut prendre feu et brûler avec une intensité et pendant une durée telles que le feu puisse se propager. Ces essais doivent être effectués sur plus d'un composant dans des conditions spécifiées de défaillance, de surcharge maximale et de dissipation maximale, afin de s'assurer que les exigences spécifiées d'inflammation et de température sont satisfaites.

Le concept de risque de feu inclut également des essais d'inflammation provoquée pour constater avec quelle facilité un composant peut être enflammé par l'exposition à une flamme ou à une source de chaleur voisine et brûler à son tour avec une intensité et pendant une durée telles que le feu puisse se propager.

De façon à simplifier les essais relatifs aux risques de feu concernant d'une part l'auto-inflammation et d'autre part l'inflammation provoquée, l'essai prescrit dans ce paragraphe se limite à vérifier si un niveau limité d'inflammabilité est respecté dans l'utilisation des matériaux constituant les enveloppes et les circuits auxiliaires et de commande.

Un niveau limité d'inflammabilité est requis comme exigence de base pour les matériaux utilisés dans la confection des enveloppes, leur isolation, leur étanchéité, etc., ainsi que pour les composants utilisés dans la réalisation des circuits auxiliaires et de commande, de façon à éviter la propagation du feu. Les matériaux classés 94V-0 ou 94V-1 conformément aux prescriptions de la norme UL 94 peuvent être soustraits à l'essai au brûleur aiguille décrit au paragraphe suivant.

De façon à vérifier que les composants dont les matériaux ne sont pas classés 94V-0 ou 94V-1 possèdent des caractéristiques acceptables lors de la combustion, un essai au brûleur-aiguille tel que le prescrit la IEC 60695-2-2 doit leur être appliqué avec succès. La durée minimale d'application de la flamme d'essai est de 30 s. Dans la situation particulière où le volume de l'échantillon ne permet pas de juger de façon satisfaisante le risque de feu du composant au point d'application de la flamme d'essai, une durée d'application plus longue doit être choisie.

---

**17. Essais individuels****17.1 Inspection des circuits auxiliaires et de commande et vérification de la conformité aux schémas de câblage**

Le paragraphe 8.3.1 de la IEC 62271-1 est applicable.

**17.2 Essais fonctionnels**

Le paragraphe 8.3.2 de la IEC 62271-1 est applicable avec le remplacement du premier alinéa par le texte suivant :

Un essai fonctionnel des circuits à basse tension doit être effectué pour vérifier le bon fonctionnement des circuits auxiliaires et de commande en liaison avec les autres parties de l'appareillage. Les procédures d'essai sont définies au paragraphe 16.5. Les essais doivent être exécutés en utilisant les valeurs limites supérieures et inférieures de la tension d'alimentation définie au Tableau P2.1, article 14.1.3.

**17.3 Essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre**

Le paragraphe 7.4.3 de la IEC 62271-1 est applicable.

**17.4 Essais diélectriques**

Le paragraphe 8.3.4 de la IEC 62271-1 est applicable, mais selon les modalités d'essais du paragraphe 7.10.5 de la IEC 62271-1.

**17.5 Essais sur les câbles optiques**

Les essais sur les fibres optiques doivent être réalisés selon la SN-65.5.

**18. Guide pour le choix des transformateurs et inductances shunt selon le service**

L'Article 9 de la IEC 62271-1 ne s'applique pas au système secondaire.

**19. Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes**

L'Article 10 de la IEC 62271-1 ne s'applique pas au système secondaire.

**20. Règles pour le transport, le stockage, l'installation et la maintenance**

Le paragraphe 11.1 de la IEC 62271-1 est applicable avec le complément suivant :

La préparation et l'emballage doivent être au moins équivalents aux exigences de la SN 1.1.;

Le paragraphe 11.2 de la IEC 62271-1 est applicable.

**21. Sécurité**

Les mesures de sécurité des personnes contre divers risques sont mentionnées ci-après.

---

### 21.1 Aspects électriques

Les exigences des paragraphes 15.1 à 15.5 de la présente norme et du paragraphe 6.14.2 de la IEC 62271-1 doivent être respectés.

### 21.2 Aspects mécaniques

Les exigences du paragraphe 15.1.3.2 de la Partie 2 de la présente norme et des paragraphes 6.14.2 et 6.14.3 de la IEC 62271-1 doivent être respectés.

### 21.3 Aspects thermiques

Les exigences du Tableau 14 et du paragraphe 6.18 de la IEC 62271-1 doivent être respectés.

## A Annexe A (normative) : Codification des alarmes et des déclenchements

La codification des alarmes et des déclenchements est définie de la façon suivante :

- a) Le premier caractère désigne la fonction :
  - A = alarme;
  - D = déclenchement.
- b) Les chiffres indiquent le numéro normalisé de la fonction du dispositif :
  - 7 = taux de changement de l'élément concerné;
  - 49 = température;
  - 63 = pression;
  - 68 = blocage;
  - 71 = niveau;
  - 80 = débit.
- c) Le caractère après les chiffres désigne l'élément concerné :
  - G = gaz;
  - H = humidité;
  - Q = huile;
  - P = prises de régulation.
- d) Les caractères suivants, sauf le dernier, qualifient la fonction du dispositif :
  - B = bas, sans spécifier de seuil;
  - B1 = bas de premier seuil;
  - B2 = bas de deuxième seuil;
  - H = haut, sans spécifier de seuil;
  - H1 = haut de premier seuil;
  - H2 = haut de deuxième seuil;
  - HB = hausse ou baisse.
- e) Le dernier caractère désigne l'appareil :
  - C = changeur de prises;
  - I = inductance;
  - T = transformateur.