

**BULLETIN TECHNIQUE
D'INSTALLATION BTI-001
Transformateurs du type sec
pour la distribution
(750 V ou moins)**

6^e édition – juin 2020



**Corporation
des maîtres électriciens
du Québec**

OBJECTIF

Le bulletin technique d'installation sur les transformateurs du type sec pour la distribution propose de commencer par un bref survol théorique du circuit magnétique composé par un transformateur. Également, les problèmes tels que la saturation et la résonance qui peuvent intervenir dans ce type de circuit seront abordés. Des solutions seront proposées afin de contrer les effets de surchauffe causés par les harmoniques et pour assurer une utilisation optimale d'un transformateur. De façon concrète, des illustrations d'installation courante permettront d'aborder les choix qui s'appliquent aux éléments suivants : conducteurs, canalisations, dispositifs de protection, emplacements et mise à la terre. Des méthodes de vérification, visuelles ou autres, d'entretien et de tests sont ensuite détaillées. D'autres réponses pourront être trouvées dans les principaux articles du Code de construction du Québec, Chapitre V – Électricité, 2018 (Code) sur les transformateurs énumérés à la toute fin du présent bulletin.

SOMMAIRE

THÉORIE	3
ÉQUILIBRE DES CHARGES	4
HARMONIQUES ET VALEURS RMS	5
PUISSANCE NOMINALE DES TRANSFORMATEURS.....	6
COURANT NOMINAL DES TRANSFORMATEURS MONOPHASÉS.....	7
COURANT NOMINAL DES TRANSFORMATEURS TRIPHASÉS.....	8
INSTALLATION DES TRANSFORMATEURS.....	9
1. Courant d'appel	9
2. Capacité de charge du transformateur.....	9
3. Calibre des conducteurs et des dispositifs de protection	10
4. Exigences de la disposition des transformateurs dans une pièce	12
5. Mise à la terre	13
ENTRETIEN ET TESTS	15

Note importante : Le contenu des « Notes importantes » peut être tiré, entre autres, de l'appendice B du Code de Construction du Québec, Chapitre V – Électricité 2018 ou du CSA C22.1HB-15, Guide explicatif du Code canadien de l'électricité – Octobre 2015.

Note

Les extraits tirés de la Norme CSA C22.10-18 – Code de construction du Québec, Chapitre V – Électricité – Code canadien de l'électricité, Première partie (Vingt-troisième édition) et Modifications du Québec et du Guide CSA C22.1HB-15– Guide explicatif du CCÉ, Explication des articles du Code canadien de l'électricité, Première partie, documents protégés par le droit d'auteur de l'Association canadienne de normalisation, 178, boul. Rexdale, Toronto, Ontario, M9W 1R3, sont reproduits avec la permission de l'Association canadienne de normalisation (CSA). Bien que l'utilisation de ce document ait été autorisée, la CSA n'est pas responsable de la manière dont les renseignements sont présentés ni de toute interprétation correspondante qui en découle. Pour plus d'informations au sujet de la CSA ou pour l'achat de normes, prière de visiter le site Internet de CSA à l'adresse store.csagroup.org ou d'appeler au 1 800 463-6727.

THÉORIE

La formulation d'un circuit électrique et celle d'un circuit magnétique sont très semblables :

Circuit électrique, loi d'Ohm	$E = RI$
Circuit magnétique	$FMM = R \phi$

où

FMM est la force magnétomotrice, soit le courant circulant dans une bobine multiplié par le nombre de tours (ex. : 1 A X 200 tours = 200 ampères • tours ou ampères).

\mathcal{R} est la réluctance ou opposition au passage des lignes de flux. La réluctance de l'air est beaucoup plus grande que celle du fer. Ce dernier étant un matériau magnétique, il est utilisé comme noyau pour les enroulements dans un transformateur nécessitant alors une FMM plus faible pour produire le même flux magnétique.

ϕ est le flux magnétique.

Cependant, étant donné qu'elle varie en fonction du flux, la valeur de la reluctance n'est pas linéaire pour un matériau donné contrairement à la résistance, et c'est pourquoi il est plus difficile de résoudre un circuit magnétique.

Le **courant de magnétisation** (I_m), c'est-à-dire, le courant nécessaire à la circulation du flux magnétique, est faible dans le cas d'un transformateur de tension. La bobine agit comme une réactance inductive (impédance) essentiellement en parallèle avec le circuit au secondaire du transformateur. Le courant de magnétisation (I_m) est donc fonction de la valeur de l'impédance (X_L) de la bobine et de la tension (E) appliquée :

$$I_m = E/X_L$$

En fonction du nombre de tours au primaire (N_1) et au secondaire (N_2), le rapport de transformation pour la tension et le courant d'un transformateur idéal est :

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 \quad \text{et} \quad N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad \text{d'où la relation : } E_1 I_1 = E_2 I_2$$

Le noyau de fer dans lequel est canalisé le flux magnétique ne peut supporter qu'un niveau donné de flux, c'est ce qu'on appelle le phénomène de saturation. Le flux magnétique étant proportionnel à la tension, si la tension augmente au-delà d'un certain niveau, le transformateur est en saturation et le courant qui traverse la bobine se met à augmenter très rapidement causant ainsi une surchauffe du transformateur. En général, on recommande de ne pas appliquer une tension excédant 110 % de la tension nominale.

Le phénomène de résonance peut faire en sorte que des tensions élevées et destructives apparaissent aux bornes des réactances. Dans un circuit résonnant en série ou mixte, les impédances de la bobine et du condensateur ont la même valeur. Il faut donc prendre des mesures pour éviter que ce genre de situation ne se produise afin de protéger les équipements concernés. Certains dispositifs sont offerts par les fabricants de condensateurs pour éviter la résonance.

L'ajout de condensateurs avec des charges motrices améliore le facteur de puissance et permet de maximiser l'utilisation d'un transformateur (Voir Guide technique 2015, art. 5.1.1 et art. 14.2). Il faut cependant planifier le tout avec précautions pour éviter le phénomène de résonance.

ÉQUILIBRE DES CHARGES

Dans un circuit triphasé, l'équilibre des charges est important à plusieurs points de vue : **au branchement**, de façon à maximiser l'utilisation des transformateurs sur le réseau d'Hydro-Québec (Livre bleu, art 2.1.3, Qualité du service) et à en éviter la surchauffe; **à la distribution électrique**, de façon à maximiser l'utilisation des transformateurs de distribution du client et à en éviter la surchauffe; et, afin que **la chute de tension des conducteurs** causée par leur impédance puisse avoir la même valeur sur chaque ligne, sans quoi le déséquilibre des tensions qui en résulte peut entraîner la surchauffe des moteurs, surchauffe causée par un déséquilibre des tensions qui introduit alors une séquence de fréquence inverse à celle de la rotation des moteurs.

Extrait de l'article 1.2.1.3 b), Déséquilibre des charges, de la Norme E.21-10, Service d'électricité en basse tension d'Hydro-Québec (Livre bleu), 10^e édition, incluant addenda février 2017

En l'absence d'une autorisation écrite d'Hydro-Québec, lorsque l'alimentation est triphasée, le client doit limiter la différence de courant entre deux phases à 10 % de l'intensité nominale. Toutefois, cette différence ne doit pas excéder [...]

Si la distribution est triphasée et que l'on utilise des transformateurs monophasés, on doit respecter l'équilibre des phases en répartissant les charges sur les 3 phases, à cause des répercussions sur la source du distributeur et sur le transformateur triphasé à la source qui ne peut supporter sur chaque phase que le tiers de sa capacité nominale totale.

HARMONIQUES ET VALEURS RMS

Les ordinateurs et les différents équipements électroniques sont généralement munis de blocs d'alimentation à découpage. Ces blocs d'alimentation sont non linéaires parce qu'ils utilisent l'onde de tension par portion – donc la courbe de courant n'est pas une sinusoïde –, ce qui cause des distorsions harmoniques de courant. Le terme « harmoniques » provient des mathématiques, soit la transformée de Fourier. Ce théorème mentionne que toute onde périodique, peu importe sa forme, peut être décomposée en une somme d'harmoniques impairs pondérés. Ainsi, les harmoniques de courant sont des ondes de courant dont la fréquence est un multiple de l'onde fondamentale qui est à 60 Hz. Si c'est vrai mathématiquement, ça l'est aussi physiquement alors que les ondes non linéaires se comportent comme une somme d'harmoniques linéaires. Certains compensateurs d'harmoniques corrigent d'ailleurs les harmoniques selon ce principe, en annulant un harmonique particulier.

Ainsi, en général, les ordinateurs ont une forte composante à 180 Hz, c'est-à-dire, le 3^e harmonique. Les ballasts magnétiques ont un faible 3^e harmonique, les ballasts électroniques ont de forts 3^e et 5^e harmoniques. Finalement, les redresseurs statiques à 6 impulsions, qui sont utilisés habituellement dans les alimentations statiques sans coupure (ASSC) triphasées et dans la plupart des entraînements, ont de fortes composantes de 5^e et de 7^e harmoniques.

Les harmoniques de courant entraînent à leur tour des harmoniques de tension causés par l'impédance des conducteurs ($E = Z \times I$). De plus, les harmoniques du troisième ordre s'additionnent sur le conducteur neutre plutôt que de s'annuler comme c'est le cas à 60 Hz. On peut donc se retrouver avec des conducteurs neutres qui portent un courant plus élevé que celui de chaque conducteur de ligne. Deux problèmes en découlent donc : le neutre surchauffera s'il n'est pas d'une grosseur adéquate et les harmoniques de tension seront importants étant donné la surintensité de courant sur le conducteur neutre. **Pour corriger ce problème**, le neutre doit être d'un calibre suffisant afin de supporter le courant présent et le transformateur devra être le plus près possible de l'appareillage alimenté.

Les **appareils de mesure à valeur efficace** (RMS) tiennent compte des harmoniques et donnent la valeur exacte du courant résultant tandis que les **appareils de mesure à valeur moyenne** ne donnent que la lecture de l'onde fondamentale. En général, la valeur de 3^e harmonique sur un ordinateur équivaut à 80 % de la valeur fondamentale. Ainsi, avec un courant de 100 A à 60 Hz, les lectures obtenues avec les différents appareils de mesure seraient approximativement les suivantes :

Lecture du courant sur appareil à valeur moyenne : 100 A

Lecture du courant sur un appareil à valeur RMS : 128 A $\left(I_{RMS} = \sqrt{100^2 + 80^2} \right)$

Les transformateurs triphasés triangle-étoile ont pour particularité de bloquer le passage des harmoniques du troisième ordre dans l'enroulement triangle au primaire (mais pas le passage des 5^e et 7^e harmoniques). L'alimentation primaire est donc partiellement protégée dans une telle situation.

Cependant, le transformateur doit être **déclassifié ou de type K** approprié sans quoi il surchauffera. Lorsqu'un transformateur est déclassifié, on doit l'indiquer clairement. La formule suivante peut être utilisée pour réévaluer la capacité nominale du transformateur ayant une charge équilibrée ligne-neutre avec une forte composante de 3^e harmonique et une valeur crête de courant élevée :

$$\text{Portion utilisable du transformateur} = \frac{\text{valeur RMS du courant} \times 1,414}{\text{valeur crête du courant}}$$

La **valeur déclassifiée** est donc :

$$\text{Puissance utilisable (kVA)} = \text{puissance nominale (kVA)} \times \text{Portion utilisable}$$

Toutefois, la déclassification a ses limites et on devra plutôt privilégier les transformateurs spécialement conçus pour supporter les courants harmoniques : ils sont désignés comme étant de **type K** (K4, K9, K13, etc.), le nombre étant l'ordre de l'harmonique maximal que le transformateur peut supporter.

La principale caractéristique de ces transformateurs est la forme des conducteurs des enroulements. Plus le facteur K est élevé, plus les conducteurs seront plats. Les pertes par effet joule – ou autres pertes – augmentent à la puissance 4 du rapport hauteur/largeur des conducteurs. Ainsi, un transformateur sans facteur K chargé de courant avec de forts harmoniques s'échauffera considérablement au point où, par exemple, on devrait le déclassifier de 80 % ou 90 %, ce qui n'est pas avantageux économiquement.

Parmi les autres caractéristiques des transformateurs de type K, on compte le point de raccord du neutre qui peut accepter un calibre deux fois supérieur aux conducteurs de ligne. D'autres caractéristiques peuvent aussi être ajoutées, notamment, un écran électrostatique entre les enroulements primaire et secondaire pour atténuer le bruit ou des enroulements zigzag pour atténuer les 5^e et 7^e harmoniques.

(Voir le *Guide technique* 2015, art. 14.3.1, art. 14.3.2, art. 14.4.1)

PUISSANCE NOMINALE DES TRANSFORMATEURS

La capacité nominale des transformateurs s'exprime en kVA, (kilovolt-ampère), donc en fonction de la puissance apparente (S), tenant compte de la puissance réactive et de la puissance résistive, donc du courant total (I) qui le traverse.

Pour une charge monophasée	$S = E \times I$	
Pour une charge triphasée équilibrée	$S = 1,732 \times E_L \times I_L$	où E_L est la tension ligne-ligne
ou, exprimée autrement	$S = 3 \times E_{PH} \times I$	où E_{PH} est la tension ligne-neutre

COURANT NOMINAL DES TRANSFORMATEURS MONOPHASÉS

Voir l'article 5.2.1 du *Guide Technique 2015*

$$I = \frac{S \times 1000}{E_L}$$

Où S = Puissance apparente en kVA et E_L = Tension ligne-ligne en V

Exemple : Quel est le courant nominal du transformateur suivant?

S = 25 kVA et E = 600/240 V

Au primaire : $E_L = 600$ V, donc

$$I = \frac{25 \times 1\,000}{600} = 41,67 \text{ A}$$

Au secondaire : $E_L = 240$ V, donc

$$I = \frac{25 \times 1\,000}{240} = 104,17 \text{ A}$$

COURANT NOMINAL DES TRANSFORMATEURS TRIPHASÉS

Voir l'article 5.2.2 du *Guide Technique* 2015

$$I = \frac{S \times 1\,000}{1,732 \times E_L}$$

Où S = Puissance apparente en kVA et E_L = Tension ligne-ligne en V

ou, exprimée autrement

$$I = \frac{S \times 1\,000}{3 \times E_{PH}}$$

Où S = Puissance apparente en kVA et E_{PH} = tension ligne-neutre en V

Exemple : Quel est le courant nominal du transformateur suivant?

S = 30 kVA et E = 347-600/120-208 V

Au primaire : $E_{PH} = 347$ V, donc

$$I = \frac{30 \times 1\,000}{3 \times 347} = 28,82 \text{ A}$$

Au secondaire : $E_{PH} = 120$ V, donc

$$I = \frac{30 \times 1\,000}{3 \times 120} = 83,33 \text{ A}$$

INSTALLATION DES TRANSFORMATEURS

Avant de procéder à l'installation de transformateurs, il est fortement recommandé de lire le Manuel d'instructions pour l'installation, l'opération et l'entretien des transformateurs du manufacturier.

Le choix de la protection d'un transformateur est régi par le Code. Les exigences du Code sont expliquées sommairement ci-après. Attention, lors de la sélection de la protection, d'autres aspects sont à prendre en considération, soit le courant d'appel du transformateur et la capacité de surcharge du transformateur.

1. Courant d'appel

Comme celle d'un moteur, la mise sous tension d'un transformateur demande un courant d'appel important. Si la protection choisie est trop faible ou si les caractéristiques du dispositif sont incompatibles avec les caractéristiques du courant d'appel, des déclenchements intempestifs pourraient survenir. La valeur habituellement reconnue du courant d'appel est de 8 à 12 fois le courant nominal, pendant 100 ms. (Voir note à l'Appendice B article 26-256 du Code).

2. Capacité de charge du transformateur

L'article 26-256, *Protection contre les surintensités des circuits de transformateurs du type sec à au plus 750 V*, du Code stipule que la protection du conducteur non mis à la terre alimentant le transformateur doit être au maximum 125 % du courant primaire nominal du transformateur. Toutefois, tous les transformateurs ne sont pas conçus pour supporter une telle surcharge. L'article 2-024 mentionne que l'appareillage électrique utilisé dans une installation électrique doit être approuvé pour l'usage auquel il est destiné, cela inclut toutes les caractéristiques de l'équipement, dont la capacité de surcharge.

L'article 26-260, *Charge continue du transformateur*, du Code stipule qu'en ce qui a trait à la protection contre les surintensités des transformateurs et à la grosseur des conducteurs, choisies conformément aux articles 26-252 à 26-258, la charge continue déterminée à partir de la charge calculée raccordée au secondaire du transformateur ne doit pas être supérieure aux valeurs spécifiées à l'article 8-104 5) ou 6).

Note importante : *Cet article vise à assurer la coordination entre les charges raccordées au secondaire d'un transformateur et les caractéristiques nominales du circuit du transformateur, incluant les caractéristiques nominales du dispositif de protection contre les surintensités du transformateur et le courant admissible des conducteurs du transformateur. La charge continue ne doit donc pas dépasser 80 % ou 100 %, selon le cas, de l'élément le plus faible du circuit, le dispositif de protection, le conducteur ou le transformateur. (CSA C22.1HB-15, Guide explicatif du Code canadien de l'électricité – Octobre 2015)*

Deux caractéristiques d'un transformateur permettent d'en déterminer la capacité de surcharge. Ce sont la classe d'isolation (ou la classe de température maximale de l'isolation) et l'élévation de température (échauffement permis de la classe). Un transformateur dont l'élévation de température correspond à l'élévation permise de la classe d'isolation de celui-ci a une capacité de 100 %, c'est-à-dire, qu'il n'a pas de capacité de surcharge.

Ainsi, un transformateur de classe d'isolation 130 °C dont l'élévation de température prévue est de 75 °C (échauffement permis de la classe 130 °C) n'a aucune capacité de surcharge. Par contre, un transformateur de classe d'isolation 220 °C (échauffement permis de 150 °C pour cette classe) dont l'échauffement selon son utilisation est de seulement 80 °C, aura alors une capacité de surcharge de 30 %. Puisqu'il existe alors plusieurs possibilités, il faut **s'adresser au fabricant pour un choix judicieux**.

Ainsi, lorsqu'on détermine le calibre de la protection, il faut porter une attention particulière aux caractéristiques de la charge et du transformateur **en demandant au fabricant de valider les choix qui sont faits**.

Selon le fabricant, certaines précautions doivent être prises lorsqu'on applique une charge à un transformateur. Le courant qui circule dans les enroulements ne doit pas être supérieur à la valeur du courant nominal acceptable pour chacune des phases, sinon les températures d'opération seront supérieures aux températures prévues. La pratique de maintenir une charge à 80 % du courant nominal du transformateur assure une opération sans surchauffe.

Note importante : La durée de vie d'un appareillage électrique est limitée par la température à laquelle est soumis son isolant. Plus, la température d'opération est élevée, plus la durée de vie de l'appareillage sera raccourcie. Des tests effectués sur des isolants ont démontré que la durée de vie d'un appareillage électrique diminue environ de moitié chaque fois que la température augmente de 10 °C au-dessus de sa température nominale.

3. Calibre des conducteurs et des dispositifs de protection

Note générale

Même si les éléments ci-dessous sont optionnels, ils sont recommandés (Voir figures 1 et 2) :

- Coussinets anti-vibration
- Base de propreté en béton
- Conduits flexibles pour les raccords

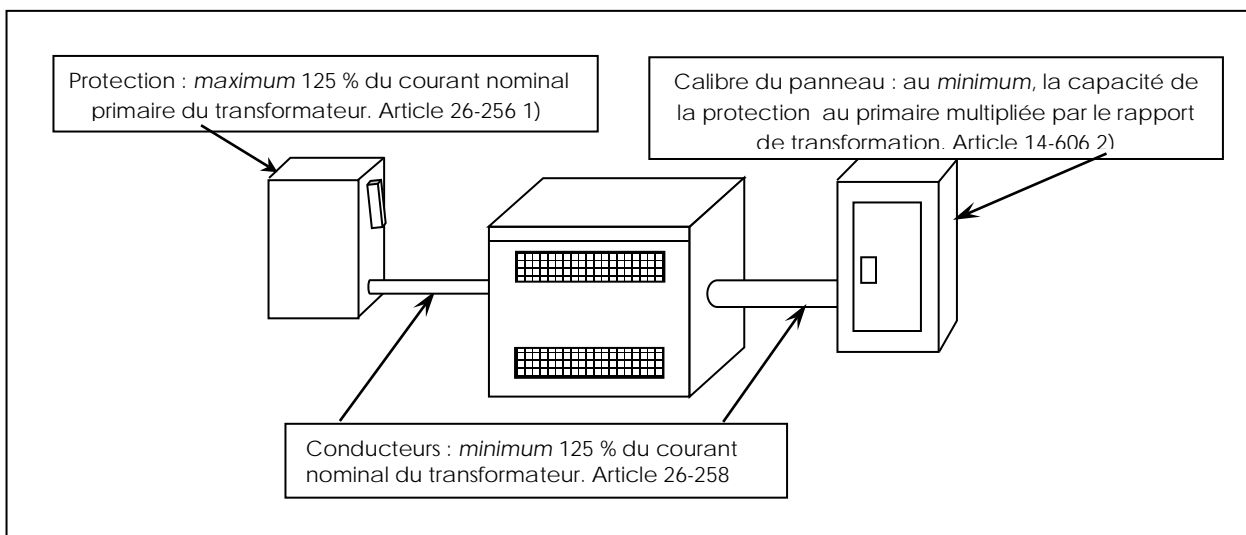


FIGURE 1 : Calibre des conducteurs, des protections et des panneaux de distribution

Notes

- La protection primaire du transformateur peut être omise si la protection maximale du secondaire ne dépasse pas 125 % du courant nominal du secondaire et si la protection de l'artère alimentant le transformateur est d'au plus 300 % du courant nominal du primaire. (Art. 26-256 2)
- Si 125 % du courant nominal du primaire ne correspond pas au courant nominal standard de protection, le courant nominal standard suivant est permis (Voir 26-256 3). Attention : dans ce cas, il y a risque de surcharger le transformateur.
- Le raccordement sur le dessus du transformateur est interdit, sauf si le transformateur porte un marquage qui le permet. (Art. 26-240 3)
- Il est permis que les courants admissibles des conducteurs et le calibre de la protection soient déterminés selon la charge raccordée, même si le transformateur est de calibre supérieur. (Art. 26-258 3)

Note importante : Attention, dans ce dernier cas, il faut garder à l'esprit que dans une telle installation, le transformateur est en sous-utilisation. Il pourrait arriver que quelqu'un raccorde d'autres charges au secondaire en se basant sur la capacité du transformateur seulement, sans prêter attention au calibre des conducteurs et à la protection du primaire, résultant ainsi en une installation non conforme. De façon générale, cette pratique n'est donc pas recommandée.

- La charge continue déterminée à partir de la charge calculée raccordée au secondaire du transformateur ne doit pas être supérieure aux valeurs spécifiées à l'article 8-104 5) ou 6). (Art. 26-260)

4. Exigences de la disposition des transformateurs dans une pièce

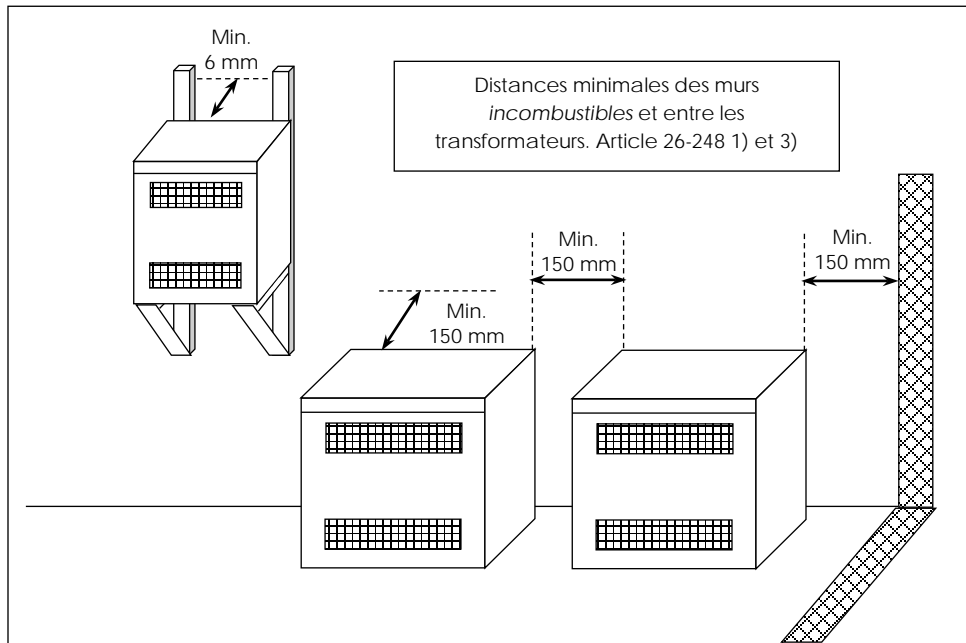


FIGURE 2 : Dispositions des transformateurs par rapport à un mur ou à un plancher incombustible

Notes

- Si la surface située directement en-dessous de l'appareillage est combustible, on doit installer une plaque d'acier d'au moins 1,6 mm d'épaisseur qui dépassera la base du transformateur sur tout son pourtour d'au moins 150 mm si l'appareillage porte un marquage exigeant une telle protection ou si le fond de l'appareillage est ouvert. (Art. 26-004)
- Si le mur est combustible, le dégagement requis avec le mur passe à 300 mm minimum. (Art. 26-248 2))
- De plus, si la surface adjacente est le mur auquel le transformateur est fixé, l'espace d'air peut être réduit à 6 mm entre le boîtier du transformateur et le mur, si ce dernier est constitué de :
 - a. matériaux incombustibles;
 - b. matériaux combustibles suffisamment protégés par un isolant thermique incombustible autre que le métal en feuille; ou
 - c. matériaux combustibles protégés par du métal en feuille mis à la terre, le métal en feuille étant séparé de la surface combustible par un espace d'air d'au moins 50 mm. (Art. 26-248 3).
- En plus des dégagements ci-dessus mentionnés, le Manuel d'instructions pour l'installation de transformateurs du fabricant comprend, entre autres, des recommandations relatives au choix de l'emplacement du transformateur quant aux problèmes de niveau de bruit et de ventilation.

5. Mise à la terre

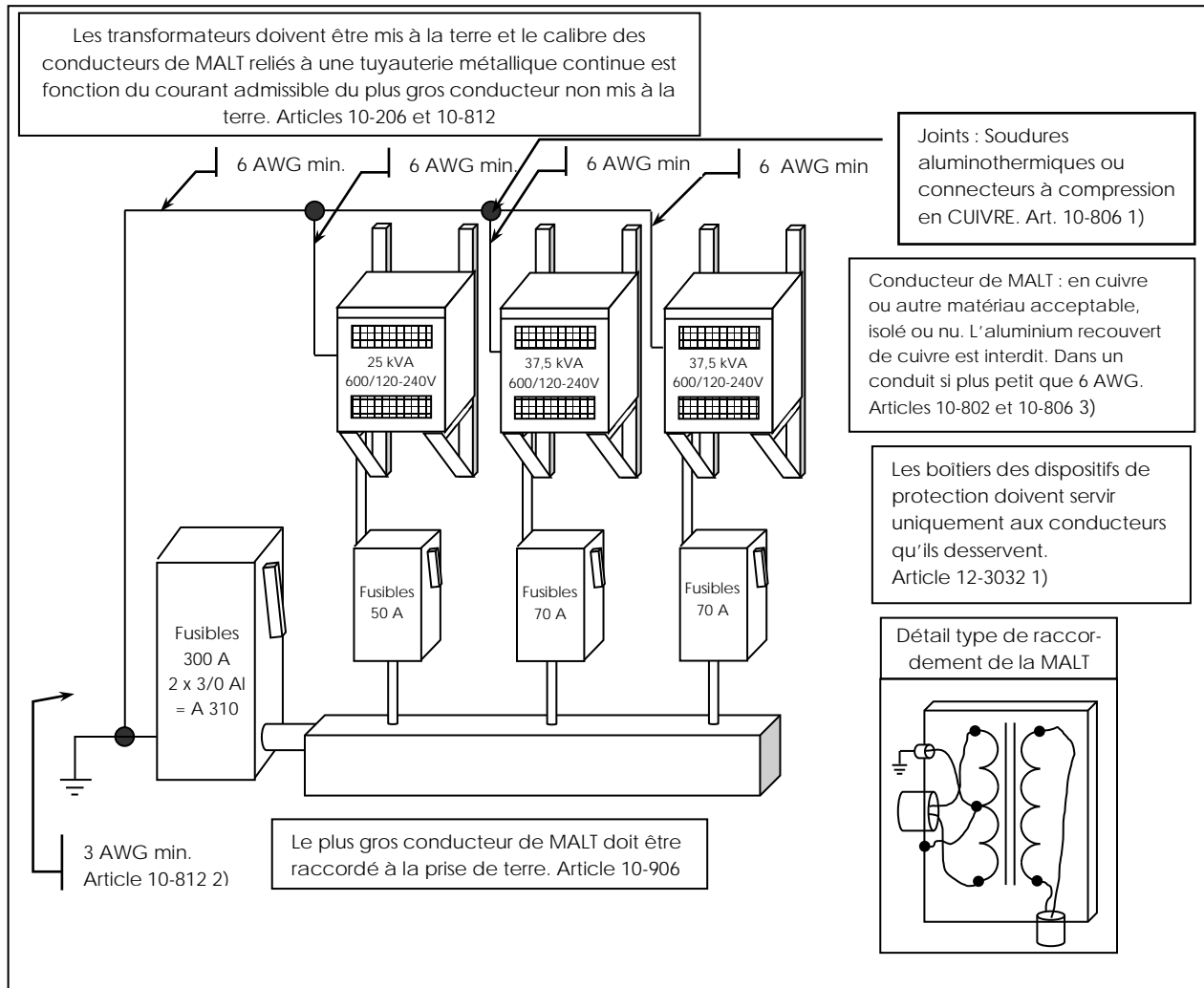


FIGURE 3 : Mise à la terre

- Pour déterminer la grosseur du conducteur de MALT du **transformateur de 37,5 kVA**, à 600/120 240 V, on calcule la grosseur du conducteur non mis à la terre du secondaire :

$$I = \frac{S \times 1\,000}{E} = \frac{37,5 \times 1\,000}{240} = 156,3\,A$$

Le conducteur doit être au minimum de $156,3\,A \times 125\,\% = 195,4\,A$. La température de terminaison n'étant pas marquée sur l'appareil, on doit donc choisir un conducteur 3/0 AWG en cuivre dont le courant admissible est de 200 A. (Art. 4-006 2), colonne 75 °C) du Tableau 2.

La prise de terre étant constituée d'un tuyau d'eau métallique ininterrompu, on doit alors se référer à l'article 10-812 2) pour déterminer la grosseur du conducteur de MALT. Le courant admissible du plus gros conducteur non mis à la terre étant de 200 A, le conducteur de MALT doit donc être du 6 AWG en cuivre ou autre matériau acceptable équivalent.

- Pour le **transformateur de 25 kVA**, à 600/120-240 V, le conducteur non mis à la terre du secondaire doit être au minimum de $104,2 \times 125 \% = 130,3 \text{ A}$; on doit donc choisir un conducteur 1/0 AWG en cuivre (150 A). (Art. 4-006), colonne 75 °C) du Tableau 2. Selon l'article 10-812 2), le conducteur de MALT doit être de grosseur 6 AWG en cuivre ou autre matériau acceptable équivalent.

Note importante – article 4-006, Températures limites : *Le courant admissible d'un conducteur indiqué aux tableaux 1, 2, 3 ou 4 est déterminé à l'aide de la température maximale admissible d'utilisation du conducteur à une température ambiante de 30 °C. Ces valeurs de courant admissibles sont établies selon la méthode Neher-McGrath et reposent sur la température à laquelle convient l'isolant. Cela signifie qu'un conducteur dont l'isolant convient à 90 °C fonctionnera à une température plus élevée qu'un conducteur dont l'isolant convient à 75 °C ou 60 °C lorsqu'il porte le courant nominal pour lequel il convient. Toutefois, conformément aux normes CSA visant les produits, par exemple la CAN/CSA-C22.2 n° 4 visant les interrupteurs, la CSA C22.2 n° 14 visant l'appareillage industriel de commande ou la CSA C22.2 n° 29 visant les panneaux, si l'appareillage convenant à au plus 600 V est évalué en fonction des températures de terminaison, on utilise des conducteurs dont la grosseur est indiquée dans la colonne 75 °C du tableau 2 ou 4.*

Lorsque la température maximale de terminaison est limitée à 75 °C, la chaleur produite par le courant admissible supérieur et la température d'utilisation plus élevée du conducteur convenant à 90 °C peut provoquer des déclenchements intempestifs et entraîner des défaillances précoces. Par conséquent, si un conducteur dont l'isolant convient à 90 °C est choisi, le courant admissible choisi pour ce conducteur doit être basé sur la valeur maximale indiquée dans la colonne 75 °C du tableau 1 à 4.

Note : *Les normes constituant le Code canadien de l'électricité, Deuxième partie et visant la mise à l'essai de produits comme des disjoncteurs ou des interrupteurs prescrivent l'utilisation de conducteurs convenant à 75 °C ou 60 °C pour le câblage à pied d'œuvre. À l'heure actuelle, aucun disjoncteur ou interrupteur convenant à au plus 600 V n'est approuvé pour utilisation avec des conducteurs convenant à 90 °C et à leur courant admissible. (CSA C22.1HB-15, Guide explicatif du Code canadien de l'électricité – Octobre 2015.)*

ENTRETIEN ET TESTS

Les transformateurs du type sec doivent être **entreposés** dans des locaux exempts d'humidité, propres et chauffés. En cas de doute, il faut prendre des moyens pour sécher les enroulements avant de mettre le transformateur sous tension. Des tests d'isolation sur les enroulements du primaire et du secondaire peuvent être faits avec un mégohmmètre.

Des **vérifications périodiques** doivent être faites sur les transformateurs et la fréquence de ces vérifications ira respectivement en augmentant selon qu'il s'agisse de transformateurs scellés, non ventilés ou ventilés. Pour la plupart des transformateurs du type sec, les vérifications ne peuvent qu'être visuelles ou sonores. Une liste doit être préparée pour enregistrer les observations. Selon l'importance des équipements alimentés, les inspections peuvent être journalières, hebdomadaires ou mensuelles.

Dans le cadre d'une **inspection préventive**, l'emploi d'une caméra infrarouge peut s'avérer très utile. Ces caméras, qui permettent de déterminer la température de tous les composants apparaissant à leur écran, ont connu de fortes baisses de prix au cours des dernières années et leur usage s'est par conséquent généralisé. Une caméra infrarouge permet l'enregistrement de plusieurs images qui, par la suite, pourront être analysées sur ordinateur. Il est alors possible d'ajuster l'image comme si on était directement sur place et la mesure de la température est obtenue pour n'importe quel point de l'image. Cette technique d'entretien prédictif est particulièrement efficace, car elle permet de détecter immédiatement la présence de points chauds ou de zones chaudes, qui sont des signes précurseurs d'une défaillance. Des inspections sommaires peuvent également être réalisées à l'aide de thermomètres laser.

Les **appareils de mesure** utilisés pour l'inspection devraient être à valeur RMS afin qu'on puisse évaluer l'importance des courants harmoniques et, s'il y a lieu, prendre les mesures nécessaires pour empêcher la surchauffe du transformateur et du conducteur neutre. Il pourrait alors s'agir de dévaluer la capacité nominale du transformateur et de grossir le conducteur neutre.

Les **accumulations de poussières** sur la portion visible du boîtier doivent être relevées. On ne doit pas enlever les couvercles sans avoir préalablement coupé l'alimentation du transformateur. Un aspirateur servira à enlever la poussière dans les endroits accessibles, puis un linge ou une brosse douce peut permettre de compléter le nettoyage. On ne doit pas utiliser de détergents ou solvants pour ne pas endommager le vernis ou l'isolant. Pour les endroits inaccessibles, en utilisant des équipements de protection individuels tels des lunettes ou visières, on se sert de l'air ou de l'azote dont le point de rosée est -46 °C ou moins et avec une pression inférieure à 172 kPa (25 psi).

Lorsque l'alimentation du transformateur est coupée et que les couvercles ont été enlevés, il faut faire attention à tous les **signes de décoloration ou autres**, pouvant indiquer qu'il y a eu arc électrique ou surchauffe. Tous les accessoires tels que les **ventilateurs** doivent être inspectés. À la fin d'une période où l'alimentation du transformateur a été coupée, si cette période a été assez longue ou si les conditions ont été humides, il est très important d'assécher complètement le transformateur puisque c'est souvent à la suite d'un arrêt qu'on voit apparaître des problèmes.

S'il y a eu des changements au **niveau sonore**, ils sont possiblement causés par un desserrement des attaches, par un défaut sur les isolateurs de vibration internes, par une surexcitation ou un endommagement sur les enroulements du primaire. La différence entre la **température de l'air entrant dans le local des transformateurs**, habituellement prise près du plancher, et celle du local lui-même ne devrait jamais dépasser 5 °C. De plus, la différence de température entre l'air entrant et celui qui est évacué du local des transformateurs ne devrait pas dépasser 15 °C.

**Principaux articles du Code de Construction du Québec, Chapitre V – Électricité 2018
s'appliquant aux transformateurs**

Généralités	2-024	Approbation d'appareillage électrique utilisé dans une installation électrique, destiné à être alimenté à partir d'une installation électrique ou à alimenter une telle installation (Voir les appendices A et B)
	26-264	Marquage des transformateurs
Conducteurs	26-258	Grosueur des conducteurs pour transformateurs
	4-006	Températures limites (Voir l'appendice B)
Protection et sectionnement	26-250	Dispositif de sectionnement pour les transformateurs
	26-256	Protection contre les surintensités des circuits de transformateurs du type sec à au plus 750 V (Voir l'appendice B)
	26-260	Charge continue du transformateur (Voir l'appendice B)
	14-606	Protection des panneaux contre les surintensités
Mise à la terre	10-204	Connexions de mise à la terre des réseaux à courant alternatif (Voir les appendices B et I)
	10-206	Connexions de mise à la terre des réseaux indépendants dans une installation (Voir l'appendice B)
	10-802	Matériau pour conducteurs de mise à la terre (Voir l'appendice B)
	10-806	Installation des conducteurs de mise à la terre d'un réseau (Voir l'appendice B)
	10-812	Grosueur du conducteur de mise à la terre dans le cas de réseaux à courant alternatif et de l'appareillage de branchement (Voir l'appendice B)
	10-906	Connexion du conducteur de mise à la terre aux prises de terre
Emplacement et espacement	2-110	Tension à la terre du circuit – Logements
	2-122	Installation de l'appareillage électrique (Voir l'appendice G)
	2-200	Généralités
	2-308	Espace utile autour de l'appareillage électrique
	2-310	Entrée et sortie de l'espace utile (Voir les appendices B, G)
	26-010	Installations à l'extérieur
	26-248	Transformateurs du type sec, à refroidissement naturel
	26-004	Appareillage placé au-dessus de surfaces combustibles (Voir l'appendice B)
Entrée des conduits	26-240	Transformateurs, généralités
Boîtiers	12-3032	Espace de câblage dans les boîtiers (Voir l'appendice B)