

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

Champ d'application

Groupe(s) concerné(s) Exploitation et infrastructures Planification énergétique et expérience client
Processus concernés Raccordement d'un producteur d'électricité au réseau de distribution d'Hydro-Québec Raccordement d'un autoproducteur au réseau de distribution d'Hydro-Québec
Précisions sur le champ d'application Le présent guide est une méthode d'application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec. Cette méthode d'adresse aux consultants, aux clients ainsi qu'au personnel d'Hydro-Québec.

Table des matières

Champ d'application	1
Table des matières	1
Définitions	3
Acronymes et abréviations	3
1 Objet et domaine d'application	3
2 Sommaire.....	3
3 Portée	4
4 Objectifs.....	5
5 Application.....	6
6 Appareillage	8
6.1 Transformateur de MALT	8
6.2 Résistance de neutre	8
7 Effets	9
7.1 Court-circuit.....	9
7.2 Protection.....	9
7.2.1 Aucune charge chez le client.....	9
7.2.2 Court-circuit phase-terre sur le réseau d'Hydro-Québec	10
7.2.3 Court-circuit phase-terre chez le client	10
7.2.4 Étude de protection détaillée	10
7.3 Harmonique homopolaire	11
8 Protection.....	11
8.1 Protection différentielle de la résistance de neutre (87-1)	11

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

8.2 Perte de phase	12
8.3 Déclenchement par protection	12
8.3.1 Surintensité de la résistance de neutre (50N)	13
8.3.2 Protection thermique de la résistance de neutre (49T)	13
8.3.3 Protection d'alimentation accidentelle de la production décentralisée (3-1)	13
8.3.4 Protection de défaillance du disjoncteur de production (50BF)	13
8.3.5 Protection de surintensité du disjoncteur du transformateur de MALT (50/51)	14
8.3.6 Protection différentielle de la résistance de neutre (87-1)	14
9 Conclusion	14
Historique des révisions	16
Références	16
Suivi et authentification du document	17
Annexe A - Ordinogramme d'application	18
Annexe B - Schéma de principe	19
Annexe C - Schéma trifilaire	20
Annexe D - Schéma logique	21
Annexe E - Schéma de spécification de la résistance de neutre	22
Annexe F - Schéma de calcul du coefficient de mise à la terre	23
Annexe G - Exemple	24
Annexe H - Calculateur	25

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

Définitions

Sans objet	
------------	--

Acronymes et abréviations

BT	Basse tension
CdMALT	Coefficient de mise à la terre
IPE	Installation de production d'électricité
MALT	Mise à la terre
MT	Moyenne tension
PR	Point de raccordement
SERMO	Source d'énergie raccordée au moyen d'onduleurs
XFO	Transformateur

1 Objet et domaine d'application

Le présent guide s'adresse aux consultants, aux clients ainsi qu'au personnel d'Hydro-Québec ayant identifié, dans le cadre d'un dossier d'étude de raccordement de production décentralisé au réseau de distribution d'Hydro-Québec, le besoin d'ajouter un transformateur de mise à la terre (MALT) dans une installation de production d'électricité (IPE) dont la source d'énergie est raccordée au moyen d'onduleur (SERMO).

Ce guide présente une méthode pour l'application d'un transformateur de MALT pour de la production décentralisée comportant des SERMO.

2 Sommaire

L'objectif d'ajouter un transformateur de MALT dans une IPE équipée de SERMO est de limiter les surtensions sur les phases saines lors de courts-circuits phase-terre sur le réseau d'Hydro-Québec et sur le réseau du client. C'est-à-dire de maintenir un réseau effectivement mis à la terre en tout temps, même lorsque le lien avec le poste électrique source est rompu. Cet aspect est important, notamment pour assurer l'intégrité des équipements installés en réseau (parafoudres, transformateurs, isolateurs, etc.).

Les normes de raccordement de production décentralisée au réseau de distribution d'Hydro-Québec exigent de maintenir un coefficient de mise à la terre (CdMALT) de 80% ou moins lorsque le réseau est alimenté par les onduleurs du client, avec le disjoncteur de départ de la ligne ouvert (c'est-à-dire en l'absence de la source homopolaire principale située dans le poste électrique source).

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

À noter que le même critère s'applique lorsque la source d'énergie du client est un groupe synchrone conventionnel. Or, la méthode d'évaluation du régime de neutre dans cette situation est éprouvée. Les groupes synchrones agissant comme une source de tension constante en série avec une impédance, l'utilisation des ratios d'impédance ($X0/X1 \leq 3$ et $R0/X1 < 1$) comme outils d'évaluation d'un régime de neutre effectivement mis à la terre est adéquate et permet de maintenir le CdMALT à 80% ou moins.

Dans le cas d'une SERMO, celle-ci agit comme une source de courant. Cette caractéristique a un impact important sur les surtensions sur les phases saines lors de courts-circuits à la terre. Dans ce cas, la méthode pour l'évaluation du CdMALT est différente et doit inclure la charge du client. Par ailleurs, ce guide présente une méthode pour vérifier le CdMALT, des outils de calculs et des schémas.

Au moment de la rédaction de ce guide, les logiciels conventionnels d'analyse de court-circuit n'ont pas la capacité d'analyser adéquatement les situations où des sources de production décentralisées composées de SERMO sont présentes. C'est-à-dire que des calculs manuels doivent être effectués pour vérifier, entre autres, l'efficacité de l'ajout d'un transformateur de MALT sur les surtensions sur les phases saines lors de courts-circuits phase-terre et ainsi confirmer le maintien d'un réseau effectivement mis à la terre. Des outils de calculs ont été développés et sont fournis avec ce guide.

En 2021, l'organisme EPRI (*Electric Power Research Institute*) publia le document "*Effective Grounding for Inverter-Connected DER, Final Report 3002020130*". Ce document, s'adressant aux utilités publiques d'électricité, propose des moyens pour maintenir le CdMALT d'un système électrique dans les limites désirées en présence de SERMO. Le présent guide est une méthode d'application des moyens proposés dans le document EPRI et est destiné à être utilisé pour des clients du réseau de distribution d'Hydro-Québec.

Les étapes menant à l'exigence d'ajouter un transformateur de MALT ne seront pas abordées en détail dans ce guide. Toutefois, les grandes lignes menant vers cette exigence concernent les aspects suivants :

- Les onduleurs du client n'ont pas la certification UL1741-SB.
- Le neutre du réseau (vue du PR) n'est pas raccordé aux onduleurs du client.
- Le ratio de la charge minimale du client divisé par la production maximale du client est faible.
- La charge minimale du client ne comporte pas assez de charges phase-neutre, vue du point de raccordement (PR).

3 Portée

Ce guide présente une méthode d'application d'un transformateur de MALT dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec.

Ce guide est destiné à être utilisé dans un dossier actif de raccordement de production décentralisée, lorsque l'ajout d'un transformateur de MALT est exigé par Hydro-Québec.

Ce guide s'applique dans le cas suivant :

- Le client est alimenté en basse tension ou en moyenne tension par Hydro-Québec; et
- Le client a une source de production synchronisée au réseau;
- La source du client est une SERMO triphasée.

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

De plus, les prérequis suivants sont nécessaires :

- Le client à un dossier actif de raccordement de production décentralisé au réseau de distribution d'Hydro-Québec; et
- Un transformateur de MALT est exigé par Hydro-Québec;
- Pour les clients alimentés en basse tension, l'installation du client doit être 3-phases, 4 fils;
- Pour les clients alimentés en basse tension, il doit y avoir une seule connexion de mise à la terre pour l'installation;

Ce guide ne traite pas les cas suivants :

- Le client est alimenté par le réseau de transport d'Hydro-Québec; ou
- La SERMO n'est pas triphasée;
- La source d'énergie est autre qu'une SERMO.

Ce guide ne traite pas des aspects suivants :

- Les étapes menant à l'exigence d'ajouter un transformateur de MALT;
- L'ajout d'un transformateur de MALT dans un réseau basse tension autre que 3-phases, 4 fils;
- L'ajout d'un transformateur de MALT dans un réseau basse tension comportant plus d'une connexion de mise à la terre.

Ce guide montre une méthode générale d'application. Il est de la responsabilité des utilisateurs de ce guide d'assurer une installation conforme. Par ailleurs, ceux-ci doivent maîtriser plusieurs aspects du domaine électrique afin d'être en mesure d'appliquer ce guide à un dossier.

ATTENTION

Le guide, les annexes ainsi que le calculateur doivent uniquement être utilisés dans le cadre prévu à cet effet, par des ingénieurs ayant des connaissances et aptitudes suffisantes en électricité industrielle et appliqués à la demande d'Hydro-Québec. Le non-respect de ces consignes pourrait entraîner des problématiques réseau, des dommages aux équipements et des risques pour la sécurité des personnes. Le client ou le consultant du client demeure responsable de l'implantation, du fonctionnement et de la maintenance de leur système ainsi que des problématiques et perturbations que leur système pourrait causer.

4 Objectifs

L'objectif d'ajouter un transformateur de MALT dans une IPE équipée de SERMO est de limiter les surtensions sur les phases saines lors de courts-circuits phase-terre sur le réseau d'Hydro-Québec et sur le réseau du client. C'est-à-dire de maintenir un réseau effectivement mis à la terre en tout temps, incluant lorsque le lien avec le poste électrique source est rompu.

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

Les normes de production décentralisée d'Hydro-Québec exigent de maintenir un CdMALT de 80% ou moins. L'ajout d'un transformateur de MALT, comme démontré dans ce guide, permet de satisfaire cette exigence.

Or, dans le présent contexte, la méthode pour démontrer le respect de cette exigence est inhabituelle et a menée à la préparation de ce guide. Par ailleurs, ce guide utilise les paramètres suggérés dans le document EPRI *"Effective Grounding for Inverter-Connected DER, Final Report 3002020130"* publié en 2021.

Les objectifs sont les suivants :

- Encadrer l'application de l'ajout d'un transformateur de MALT dans une IPE équipée de SERMO;
- Fournir une méthode générale d'application;
- Fournir des outils et des explications pour les clients, les consultants et les représentants d'Hydro-Québec;

Ce guide n'est pas :

- Une norme ou un addenda à une norme d'Hydro-Québec;
- Un gabarit d'étude de raccordement de production décentralisé au réseau de distribution d'Hydro-Québec;

5 Application

L'utilisateur doit suivre l'ordinogramme d'application fourni en Annexe A - Ordinogramme d'application. L'utilisateur doit prendre connaissance de l'ensemble de l'information. L'utilisateur doit déterminer l'endroit d'installation du transformateur de MALT et de la résistance de neutre. Il convient de rappeler que la présence du transformateur de MALT causera la circulation d'un courant homopolaire chez le client et le conducteur de neutre portera trois fois ce courant homopolaire. Cette situation sera observable en opération normal, c'est-à-dire en l'absence de court-circuit et aussi en l'absence totale de charge chez le client. Le calculateur fourni en Annexe H - Calculateur permet d'évaluer l'amplitude de ce courant, par exemple pour le premier palier de déclenchement.

L'ajout du transformateur de MALT doit atteindre les objectifs suivants :

1. Maintenir un CdMALT de 80% ou moins en présence de courts-circuits phase-terre sur le réseau d'Hydro-Québec, lorsque le lien avec le poste électrique source est rompu, tel que présenté en Annexe F - Schéma de calcul du coefficient de mise à la terre;
2. Le transformateur de MALT doit rester actif assez longtemps afin de permettre aux protections de réserve du client de détecter une condition anormale et de déclencher la production, conformément aux durées de passage à travers les sous-tensions et les surtensions tel qu'indiqué dans les normes de raccordement de production décentralisée au réseau de distribution d'Hydro-Québec;
 - a. En d'autres termes, la protection de surintensité de la résistance de neutre (50N) n'est pas une protection contre les courts-circuits sur le réseau d'Hydro-Québec, celle-ci est une protection de surchauffe de la résistance de neutre, pourvu que les paramètres cibles soient respectés.

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

De plus, les objectifs suivants doivent être atteints :

3. Tous les appareillages doivent être en mesure de supporter, en continu, le courant circulant lors d'un déséquilibre de tension homopolaire $V_0 = 0.08$ pu, notamment;
 - a. Transformateur de MALT;
 - b. Résistance de neutre;
 - c. Conducteurs de phases;
 - d. Conducteur de neutre;
 - e. Transformateurs d'instrumentation et relais;
 - f. Disjoncteur alimentant le transformateur de MALT.
4. Tel que présenté en Annexe E - Schéma de spécification de la résistance de neutre, les appareillages doivent être en mesure de supporter le courant circulant lors d'un déséquilibre de tension homopolaire :
 - a. $V_0 = 0.22$ pu pour 30 secondes;
 - b. $V_0 = 0.36$ pu pour 21 secondes;
 - c. $V_0 = 0.50$ pu pour 12 secondes;
 - d. $V_0 = V_{0\text{ultime}}$ pu pour 3.0 secondes.
 - i. $V_{0\text{ultime}}$ est la plus élevée de ces valeurs :
 1. 0.70 pu, ou;
 2. La tension homopolaire V_0 lors d'un court-circuit phase-terre franc au PR (si client MT) ou au 1er nœud MT en amont du PR (si client BT) avec le lien avec le poste électrique source rompu.
5. Le disjoncteur du transformateur de MALT doit protéger adéquatement les conducteurs de phases, le conducteur de neutre et le transformateur de MALT;
6. La courbe de protection du disjoncteur du transformateur de MALT doit coordonner (être plus lente) que la protection de surintensité de la résistance de neutre (50N);
7. Le transformateur de MALT doit être alimenté par un disjoncteur. Si l'utilisateur souhaite utiliser des fusibles, le système proposé doit être équivalent au système avec disjoncteur;
8. Le système de détection de perte de phase du client doit coordonner (être plus lent) que les protections de tensions de la production décentralisée;
9. La protection de surintensité de la résistance de neutre (50N) doit protéger adéquatement la résistance de neutre selon la limite énergétique;
10. La protection de la résistance de neutre doit être complétée par une protection thermique. Par exemple, une sonde de température ou bien un interrupteur thermique avec signal vers le relais de protection. De plus, un délai est requis entre chaque déclenchement par protection de la résistance de neutre, afin de permettre le refroidissement. Le délai devra être vérifié avec le fabricant;
11. Si le client applique une protection différentielle de la résistance de neutre (87-1), le relais et le transformateur d'instrumentation doivent être en mesure de supporter le court-circuit maximal pouvant transiter. De plus, le signal de déclenchement doit passer par le relais de protection du système;
12. La borne H0 du transformateur de MALT doit être dimensionnée pour 3I0;
13. Aucun dispositif ne doit être connecté aux bornes secondaires du transformateur de MALT. Le raccordement de charge est interdit. De plus, une étiquette d'avertissement doit être apposée indiquant que ceci est un transformateur de MALT et que le raccordement de charge et de tout dispositif est interdit;
14. L'utilisateur doit porter attention à la méthode dont les conducteurs alimentant le transformateur sont acheminés. Les courants homopolaires dans chacune des phases étant égaux en amplitude

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

et en anglais, ceux-ci doivent être cheminé dans le même conduit que le conducteur neutre de retour. Ceci permet d'éviter des problématiques d'induction et permet aussi d'éviter d'augmenter inutilement la réactance homopolaire;

15. La présence d'un dispositif ayant pour effet de rompre la continuité des schémas homopolaire entre le PR et le transformateur de MALT est interdite. Par exemple, la présence d'un transformateur triangle/étoile est interdite;
16. La charge minimale doit être celle tel que vue à l'entrée électrique du client. Si un pourcentage de charge phase-neutre est entré dans le calculateur, cette charge doit être phase-neutre tel que vue du PR;
17. L'ajout du transformateur de MALT doit être intégré dans l'étude de raccordement de production décentralisée au réseau de distribution d'Hydro-Québec. De plus, les documents suivants doivent être fournis à Hydro-Québec;
 - a. Le calculateur rempli;
 - b. Les courbes-temps courant montrant minimalement les informations telles que l'exemple en annexe.

Une tension homopolaire de 0.08 pu est sélectionnée pour le premier palier de protection, notamment puisque ce seuil est suffisamment élevé pour :

- Être considéré problématique puisque le déséquilibre maximal en continu, en condition normale et marginale est de 0.04 pu.
- Éviter de solliciter la protection lors de fort déséquilibre en cas de reprise après panne.
- Éviter de solliciter la protection lorsqu'une certaine quantité d'harmoniques homopolaires circulent chez le client.

6 Appareillage

6.1 Transformateur de MALT

Les bornes H1, H2 et H3 porteront le courant homopolaire, tandis que la borne H0 portera trois fois le courant homopolaire.

- Le transformateur peut être de type Y/D ou Zigzag;
- La borne H0 du transformateur doit être en mesure de supporter trois fois le courant homopolaire;
- La borne H0 du transformateur doit avoir une isolation adéquate;
- Aucun dispositif ne doit être connecté aux bornes secondaires du transformateur de MALT. Le raccordement de charge est interdit;
- Une étiquette d'avertissement doit être apposée indiquant que ceci est un transformateur de MALT et que le raccordement de charge et de tout dispositif est interdit.

6.2 Résistance de neutre

Une application se rapprochant des présents besoins est l'utilisation d'une résistance de freinage. La résistance de neutre portera trois fois le courant homopolaire.

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

- La limite énergétique de la résistance de neutre doit être compatible avec l'application, c'est-à-dire que la résistance de neutre doit être en mesure de supporter le courant la traversant et pour la durée déterminée;
- La résistance de neutre doit être protégée par le relais de protection (protection de surintensité de la résistance de neutre 50N), selon la limite énergétique;
- La protection de la résistance de neutre doit être complétée par une protection thermique. Par exemple, une sonde de température ou bien un interrupteur thermique avec signal vers le relais de protection;
- Un délai est requis avant le redémarrage de l'installation par suite d'un déclenchement par protection de la résistance de neutre, afin de garantir le temps le refroidissement. Le délai devra être vérifié avec le fabricant.

7 Effets

Pour des clients du réseau de distribution d'Hydro-Québec, l'ajout d'un transformateur de MALT pour la présente application est une situation inhabituelle. Cette section aborde plusieurs aspects pouvant être affectés.

7.1 Court-circuit

L'ajout d'un transformateur de MALT chez un client alimenté en distribution par Hydro-Québec a un impact sur le court-circuit phase-terre maximal pour le client et pour Hydro-Québec.

L'utilisateur doit vérifier l'impact pour le client. L'impact devrait être négligeable, pourvu que les paramètres cibles soient respectés.

Pour Hydro-Québec, l'impact est considéré négligeable si la contribution homopolaire du client est de moins de 5 A en moyenne tension.

L'ajout du transformateur de MALT n'a aucun impact sur le court-circuit triphasé.

7.2 Protection

L'ajout d'un transformateur de MALT chez un client a un impact sur les protections du client et celles d'Hydro-Québec, particulièrement sur la protection de terre. Plusieurs situations sont abordées ci-dessous.

7.2.1 Aucune charge chez le client

Le réseau de distribution étant déséquilibré, une tension homopolaire est présente en opération normale et un courant circulera chez le client, même en absence totale de charge chez celui-ci.

Pour le client, cette situation a un impact sur la protection de terre seulement si le client n'a pas de transformateur de courant pour la protection de terre (habituellement installé sur la barre de neutre ou entre la barre de neutre et la barre de continuité des masses). Dans ce cas, un courant de court-circuit phase-terre correspondant à trois fois la contribution homopolaire du transformateur de MALT sera lu par la

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

protection de terre du client. De plus, un courant de court-circuit phase-terre correspondant à la contribution homopolaire du transformateur de MALT sera lu par la protection de phase du client.

Si le client a un transformateur de courant pour la protection de terre, aucun impact ne sera observable sur la protection de terre du client.

Pour Hydro-Québec, l'impact est considéré négligeable si la contribution homopolaire du client est de moins de 5 A en moyenne tension.

7.2.2 Court-circuit phase-terre sur le réseau d'Hydro-Québec

Identique au cas précédent.

7.2.3 Court-circuit phase-terre chez le client

Pour le client, cette situation a un impact.

Si le client a un transformateur de courant pour la protection de terre, le courant de court-circuit phase-terre lu par la protection sera augmentée de trois fois le courant homopolaire fourni par le transformateur de MALT chez le client.

Si le client n'a pas de transformateur de courant pour la protection de terre (ex. : un client MT), aucun impact ne sera observable sur la protection de terre du client. Il est toutefois possible que le courant lu par la protection de terre soit réduit, vu la présence du transformateur de MALT dans l'installation du client. La réduction devrait être faible, pourvu que les paramètres cibles soient respectés.

Le courant de court-circuit phase-terre lu par la protection de phase du client sera augmenté de deux fois le courant homopolaire fourni par le transformateur de MALT chez le client.

Pour Hydro-Québec, l'impact est considéré négligeable si la contribution homopolaire du client est de moins de 5 A en moyenne tension.

7.2.4 Étude de protection détaillée

Une étude de protection détaillée est requise seulement si la contribution homopolaire du client est de 5 A ou plus en moyenne tension. Il est souhaitable d'éviter une étude de protection détaillée. Si une étude de protection détaillée est requise, celle-ci doit faire partie de l'étude de raccordement de production décentralisée au réseau de distribution d'Hydro-Québec.

$$I_0 = \frac{V_0}{Z_0}$$

I_0 : Contribution homopolaire du client en MT.

Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

V_0 : Tension homopolaire lors d'un court-circuit phase-terre franc au PR (si client MT) ou au 1er nœud MT en amont du PR (si client BT). Avec le transformateur de MALT du client déconnecté et avec le lien avec le poste électrique source maintenu.

Z_0 : Impédance homopolaire équivalente du client, vue du PR (si client MT) ou vue du premier nœud MT en amont du PR (si client BT), excluant la charge phase-neutre.

$I_0 < 5A \rightarrow$ étude de protection détaillée non requise

$I_0 \geq 5A \rightarrow$ étude de protection détaillée requise

7.3 Harmonique homopolaire

L'ajout d'un transformateur de MALT chez un client alimenté en distribution par Hydro-Québec a un impact sur la circulation des harmoniques homopolaire en réseau. Une partie des harmoniques homopolaire circuleront dans le transformateur de MALT du client plutôt que dans le transformateur de MALT du poste source d'Hydro-Québec. Toutefois, l'impact est limité notamment par le maintien d'un ratio élevé entre l'impédance homopolaire équivalente du client divisé par l'impédance homopolaire équivalente du réseau (le calculateur fourni Annexe H - Calculateur permet d'évaluer ce ratio). Un autre moyen de limiter l'effet est d'appliquer un transformateur de MALT ayant l'impédance équivalente la plus élevée possible tout en restant dans les paramètres cibles, c'est d'ailleurs l'approche souhaitable.

Un suivi régulier des installations (ex. : documenter de façon détaillée et rapporter les déclenchements et les conditions particulières) ainsi que des entretiens préventifs selon la norme E.12-03 sont des outils importants afin de déterminer si des mesures de mitigation supplémentaires sont requises.

Voici des exemples de mesures de mitigations supplémentaires concernant les harmoniques homopolaire :

- Effectuer une étude de qualité de l'onde détaillée avec mesures.
- Utilisation d'un transformateur de MALT avec un facteur K plus élevé que 1 (par exemple 3 ou 5);
- Ajout de sonde de température pour la protection du transformateur de MALT;
- Ajout d'une protection de surintensité de type « *true RMS* ».
- Augmenter le seuil du premier palier de protection 50N (les équipements doivent être dimensionnés en conséquence).
- Diminuer la production maximale de l'installation ou bien augmenter la charge minimale de l'installation, dans le but d'augmenter l'impédance homopolaire équivalente du client.

8 Protection

8.1 Protection différentielle de la résistance de neutre (87-1)

La protection différentielle de la résistance de neutre est optionnelle. Cette protection concerne les équipements et l'installation du client. Par conséquent, il n'est pas requis que le relais de protection 87-1

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

soit qualifié selon E.12-09. Toutefois, si le client met en place une protection différentielle de la résistance de neutre, le relais et le transformateur d'instrumentation doivent être en mesure de supporter le court-circuit maximal pouvant transiter. De plus, le signal de déclenchement doit passer par le relais de protection du système.

Sans protection différentielle de la résistance de neutre, un court-circuit d'isolation dans la résistance de neutre ou le conducteur de neutre serait difficilement détectable. Une telle condition pourrait être détectée lors du prochain entretien préventif prévu selon la norme E.12-03. De plus, si un tel court-circuit d'isolation se produit, le courant homopolaire suivra un autre chemin que celui étant prévu à cet effet, par exemple via la continuité des masses du client. Cette situation comporte des risques pour la sécurité des personnes. Il convient de rappeler qu'un courant homopolaire circulera, même en absence totale de charge chez le client et que cette situation sera observable en opération normal, c'est-à-dire en l'absence de court-circuit sur le réseau d'Hydro-Québec et sur le réseau du client.

8.2 Perte de phase

Les livres vert et rouge d'Hydro-Québec (E.21-11 et E.21-12) ont chacun des articles mentionnant que le client doit se prémunir contre les conséquences d'une perte d'alimentation sur une phase. Une situation de perte de phase doit être détectée par le système de protection de perte de phase du client. La perte de phase se situe entre le poste électrique source et le PR. Une perte de phase peut aussi survenir en aval du PR.

Un transformateur de MALT peut générer une tension balancée sur la phase ouverte, rendant difficile la détection de cette condition. Toutefois, ceci ne sera pas problématique dans le présent cas, puisque la charge minimale du client sera assez imposante et l'impédance du transformateur de MALT sera assez élevée pour limiter cet effet, pourvu que les paramètres cibles soient respectés. Par ailleurs, l'approche souhaitable est d'appliquer un transformateur de MALT ayant l'impédance équivalente la plus élevée possible tout en restant dans les paramètres cibles.

Le système de détection de perte de phase du client doit coordonner (être plus lent) que les protections de tensions de la production décentralisée. C'est-à-dire que la temporisation de la protection de perte de phase du client doit être plus lente que le temps de déclenchement le plus lent de la protection de tension de la production décentralisée.

Il n'est pas requis que le système de détection de perte de phase du client coordonne avec le système de protection mis en place pour le transformateur de MALT. À noter que lors d'une perte de phase, le transformateur de MALT injectera un courant homopolaire et, dépendant de la charge du client, ce courant homopolaire sera en mesure de solliciter les protections du système et faire déclencher le disjoncteur de la production.

Le transformateur de MALT doit être alimenté par un disjoncteur. Si l'utilisateur souhaite utiliser des fusibles, le système proposé doit être équivalent au système avec disjoncteur.

8.3 Déclenchement par protection

La conception du système doit faire en sorte que le transformateur de MALT reste actif assez longtemps afin de permettre aux protections de réserve du client de détecter la condition anormale et de déclencher

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

la production. Par conséquent, tout déclenchement du système de protection du transformateur de MALT doit être documenté et analysé afin d'en déterminer la cause.

8.3.1 Surintensité de la résistance de neutre (50N)

Le déclenchement du système par la protection de surintensité de la résistance de neutre (50N) indique qu'un courant homopolaire de grande amplitude a été présent pour une durée anormalement longue. Voici des exemples de situations pour lesquelles le système déclencherait par cette protection :

- Perte de phase entre le poste électrique source et le PR, ou bien en aval du PR (et en amont du transformateur de MALT).
- Intervention par Hydro-Québec sur le réseau de distribution, ouverture ou fermeture du réseau une phase à la fois.
- Important déséquilibre du réseau de distribution. Par exemple :
 - Court-circuit avec impédance élevée et de longue durée sur le réseau de distribution;
 - Ouverture d'un bloc de charge monophasé sur le même tronçon que le client, lors d'une reprise après panne.
- Défectuosité du système de protection de la production décentralisée;
- Coordination inadéquate entre les protections de la production décentralisée et la protection de surintensité de la résistance de neutre.

8.3.2 Protection thermique de la résistance de neutre (49T)

Le déclenchement du système par la protection thermique (49T) de la résistance de neutre indique une température anormalement élevée pour l'équipement. Voici des exemples de situations pour lesquelles le système déclencherait par cette protection :

- Court-circuit intermittent;
- Défectuosité de la protection de surintensité de la résistance de neutre (50N);
- Court-circuit d'isolation dans la résistance de neutre ou sur le conducteur de neutre, si le client n'a pas la protection différentielle de la résistance de neutre (87-1).
- Charge minimale du client plus faible que celle prévue;
- Circulation importante d'harmoniques homopolaires chez le client.

8.3.3 Protection d'alimentation accidentelle de la production décentralisée (3-1)

Le déclenchement du système par la protection d'alimentation accidentelle de la production décentralisée (3-1) indique que le transformateur de MALT est hors circuit lorsque la production décentralisée est en circuit.

8.3.4 Protection de défaillance du disjoncteur de production (50BF)

Le déclenchement du système par la protection de défaillance du disjoncteur de production (50BF) indique que la tentative du système de déclencher le disjoncteur de la production a échoué.

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

8.3.5 Protection de surintensité du disjoncteur du transformateur de MALT (50/51)

Le déclenchement par la protection de surintensité du disjoncteur du transformateur de MALT (50/51) indique un courant anormalement élevé. Voici des exemples de situations pour lesquelles le système déclencherait par cette protection :

- Court-circuit en aval du dispositif;
- Le transformateur de MALT alimente de la charge ou de la production.
- Le transformateur de MALT est défectueux;

8.3.6 Protection différentielle de la résistance de neutre (87-1)

Le déclenchement du système par la protection différentielle de la résistance de neutre (87-1) indique que le courant homopolaire circule par un autre chemin que celui prévu à cet effet. Voici des exemples de situations pour lesquelles le système déclencherait par cette protection :

- Court-circuit d'isolation dans la résistance de neutre ou dans le conducteur de neutre;
- Court-circuit à la terre entre le transformateur de courant de la protection différentielle de la résistance de neutre (87-1) et le transformateur de MALT.
- Le transformateur de MALT est défectueux;

9 Conclusion

Ce guide présente une méthode pour l'application d'un transformateur de MALT dans une IPE équipée de SERMO.

Ce guide concerne des installations connectées au réseau de distribution d'Hydro-Québec, ayant une source de production décentralisée composée de SERMO et dont Hydro-Québec exige l'ajout d'un transformateur de MALT. Cette exigence concerne le maintien d'un CdMALT de 80% ou moins, lorsque le lien avec le poste électrique source est rompu. Par ailleurs, cette exigence se trouve dans les normes de production décentralisée d'Hydro-Québec. De plus, le transformateur de MALT doit rester actif assez longtemps afin de permettre aux protections de réserve du client de détecter une condition anormale et de déclencher la production.

Ce guide est destiné à être utilisé dans un dossier actif de raccordement de production décentralisée, lorsque l'ajout d'un transformateur de MALT est exigé par Hydro-Québec.

Ce guide discute des différences fondamentales entre des sources de production décentralisée conventionnelle telles que des groupes synchrones, agissant comme des sources de tension constante en série avec une impédance et des SERMO, agissant comme des sources de courant. Ce guide mentionne aussi que les méthodes conventionnelles utilisées pour les calculs d'un régime de neutre effectivement mis à la terre (les ratios $X0/X1$ et $R0/X1$) ne peuvent s'utiliser pour des SERMO. Ce guide mentionne aussi qu'au moment de sa rédaction, les logiciels conventionnels d'analyse de court-circuit ne permettent pas d'analyser adéquatement les situations avec des sources de production décentralisée composée de SERMO. Des outils de calculs ont été développés et sont fournis.

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

Ce guide présente une méthode d'application des moyens proposés dans le document EPRI *"Effective Grounding for Inverter-Connected DER, Final Report 3002020130"*, publié en 2021. Cette méthode d'application permet notamment de vérifier que le CdMALT est conforme.

Pour des clients du réseau de distribution d'Hydro-Québec, l'ajout d'un transformateur de MALT pour la présente application est une situation inhabituelle. Ce guide discute de plusieurs enjeux découlant de l'ajout d'un tel système, permettant aux consultants et aux clients d'en être informés et d'en mitiger les conséquences, au besoin. Ce guide discute aussi des protections du système.

Ce guide a les objectifs suivants :

- Encadrer l'application de l'ajout d'un transformateur de MALT dans une IPE équipée de SERMO;
- Fournir une méthode générale d'application;
- Fournir des outils et des explications pour les clients, les consultants et les représentants d'Hydro-Québec;

Finalement, ce guide présente plusieurs outils pouvant être utilisés, dont des schémas (Annexe B - Schéma de principe, Annexe C - Schéma trifilaire et Annexe D - Schéma logique), des explications, un ordinogramme (Annexe A - Ordinogramme d'application), un exemple (Annexe G - Exemple) et un calculateur (Annexe H - Calculateur). Ce guide montre une méthode générale d'application. Il est de la responsabilité des personnes utilisant ce guide d'assurer une installation conforme.

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

Historique des révisions

Date (AAAA-MM-JJ)	Modification	Responsable (unité administrative)
2025/04/29	Version initiale	Jonathan Giroux, ing. Conception du réseau de distribution

Références

- EPRI Final Report 3002020130 (2021) Effective Grounding for Inverter-Connected DER;
- IEEE Std C62.92.6-2017 IEEE Guide for Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems, Part VI-Systems Supplied by Current-Regulated Sources;
- IEEE Std C62.92.1-2016 IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems—Part I: Introduction
- IEEE std C57.12.59-2015 IEEE Guide for Dry-Type Transformer Through-Fault Current Duration;
- IEEE std C57.12-01-2020 IEEE Standard for General Requirement for Dry-Type Distribution and Power Transformers;
- CSA C22.10-2018 Code de construction du Québec. Chapitre V – Électricité;
- CSA-C9-2017 Dry-Type transformers;
- Conrad St-Pierre. A Practice Guide to Short-Circuit Current Calculation. Third Edition, 2011;
- E.21-11 Service d'électricité en basse tension à partir de postes distributeurs (Hydro-Québec);
- E.21-12 Service d'électricité en moyenne tension (Hydro-Québec);
- E.12-01 Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau de distribution moyenne tension d'Hydro-Québec;
- E.12-03 Exigences de maintenance périodique des équipements utilisés pour l'intégration d'un Producteur/Client-producteur au réseau d'Hydro-Québec Distribution;
- E.12-05 Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée au réseau basse tension d'Hydro-Québec;
- E.12-06 Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée sans injection de puissance au réseau de distribution d'Hydro-Québec;
- E.12-09 Exigences relatives à la qualification des équipements de protection utilisés pour le raccordement de la production décentralisée sur le réseau de distribution d'Hydro-Québec.



Encadrement Méthode

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

Suivi et authentification du document

Responsabilités

Responsable de l'application Tout le personnel de la direction – Conception intégrée et optimale du système énergétique
Mécanismes de suivi

Préparé par

Prénom et nom, titre et unité administrative des signataires de cette section Jonathan Giroux, ing. Ingénieur, Conception du réseau de distribution Ouest, Conception intégrée et optimale du système énergétique	Signature	Date AAAA-MM-JJ 2025-04-29
--	-----------	--------------------------------------

Vérifié par (le cas échéant)

Prénom et nom, titre et unité administrative des signataires de cette section Philippe Venne, ing. Ingénieur - Innovation du système énergétique – Croissance du réseau	Signature	Date AAAA-MM-JJ
--	-----------	-----------------

Approbation administrative

Prénom et nom, titre et unité administrative des signataires de cette section Martin Raymond, ing. Chef, Conception du réseau de distribution Ouest, Conception intégrée et optimale du système énergétique	Signature	Date AAAA-MM-JJ
--	-----------	-----------------

Collaboration

Prénom et nom, appellation d'emploi, nom de l'unité et domaine David Lafontaine, ingénieur, Conception du réseau de distribution Philippe Venne, ingénieur, Innovation du système énergétique – Croissance du réseau
--



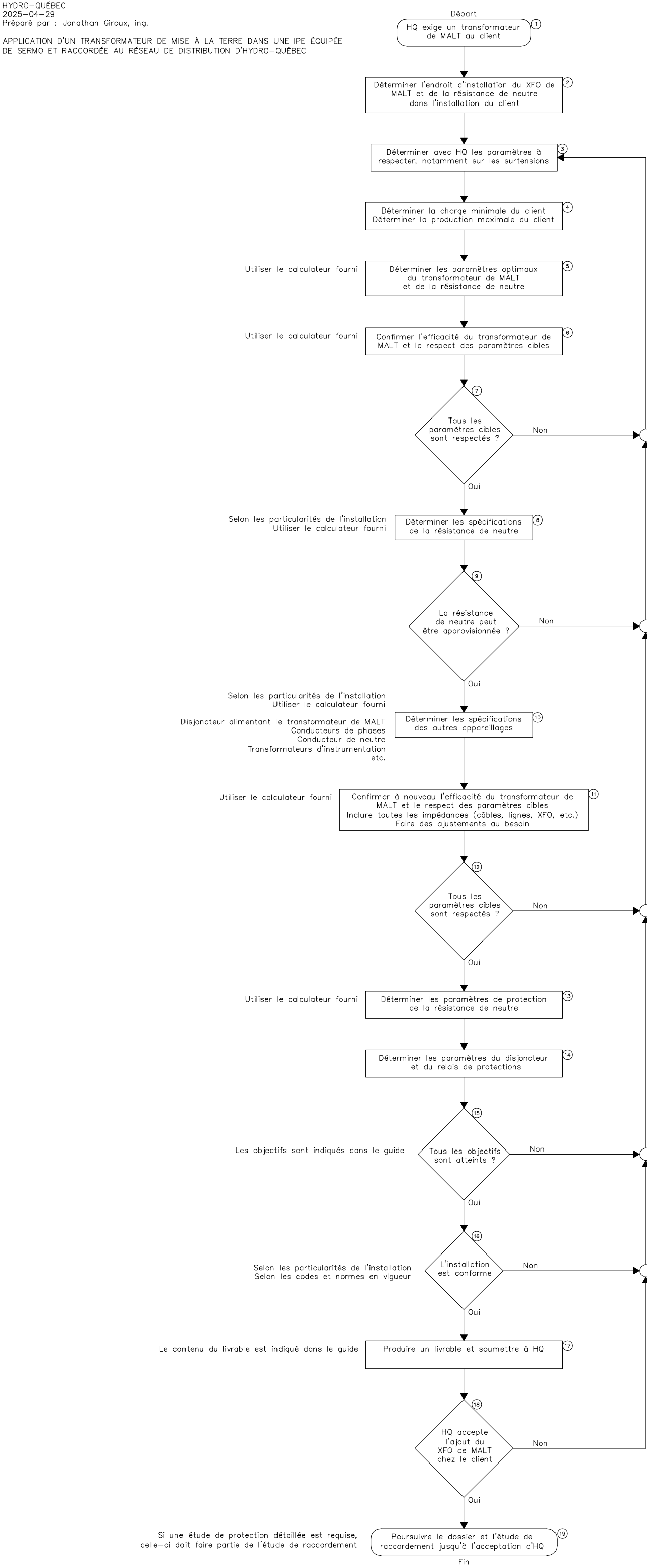
Encadrement Méthode

Titre de l'encadrement Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	Numéro de l'encadrement A.5-09	En vigueur le AAAA-MM-JJ 2025-04-29
---	--	---

Annexe A - Ordinogramme d'application

HYDRO-QUÉBEC
2025-04-29
Préparé par : Jonathan Giroux, ing.

APPLICATION D'UN TRANSFORMATEUR DE MISE À LA TERRE DANS UNE IPE ÉQUIPÉE
DE SERMO ET RACCORDÉE AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC

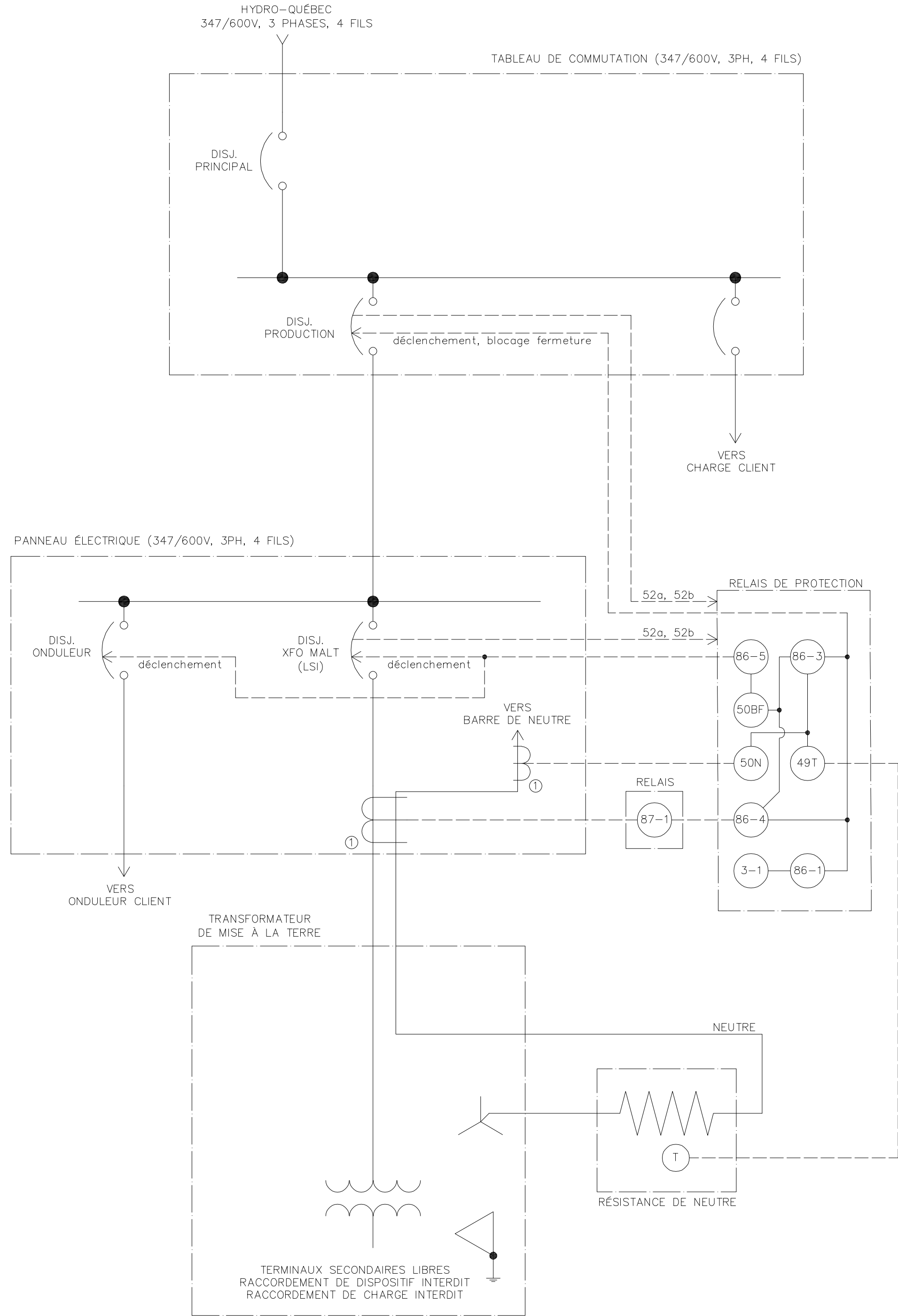


Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

Annexe B - Schéma de principe

SCHÉMA DE PRINCIPE

APPLICATION D'UN TRANSFORMATEUR DE MISE À LA TERRE DANS UNE IPE ÉQUIPÉE
DE SERMO ET RACCORDÉE AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC





Encadrement Méthode

Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

Annexe C - Schéma trifilaire

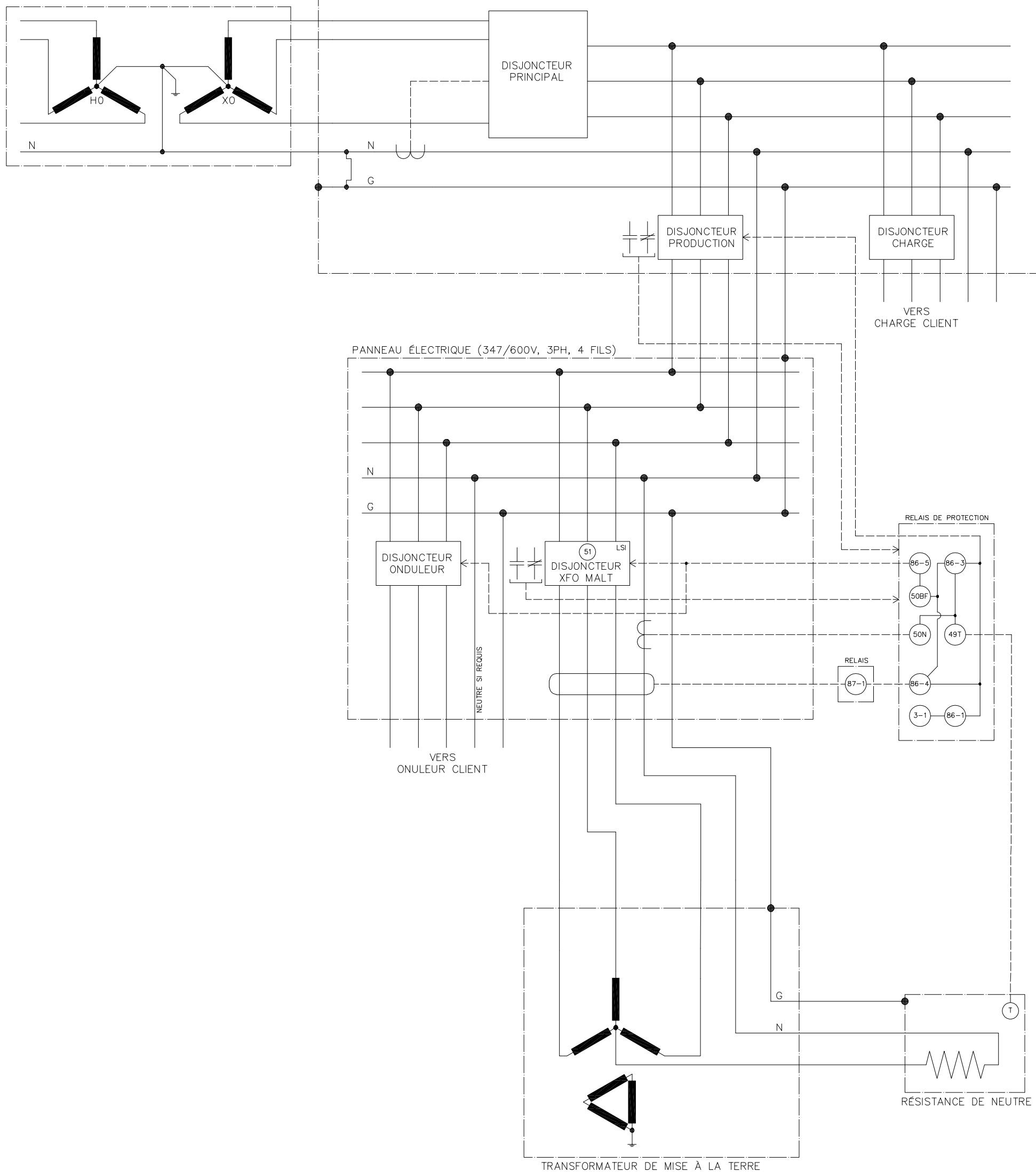
SCHÉMA TRIFILAIRE

HYDRO-QUÉBEC
2025-04-29
Préparé par : Jonathan Giroux, ing.

APPLICATION D'UN TRANSFORMATEUR DE MISE À LA TERRE DANS UNE IPE ÉQUIPÉE
DE SERMO ET RACCORDÉE AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC

TRANSFORMATEUR(S) HQ (MT/BT)
3 X MONOPHASÉS OU
1 X TRIPHASÉ À 5 COLONNES

TABLEAU DE COMMUTATION (347/600V, 3PH, 4 FILS)





Encadrement
Méthode

Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

Annexe D - Schéma logique

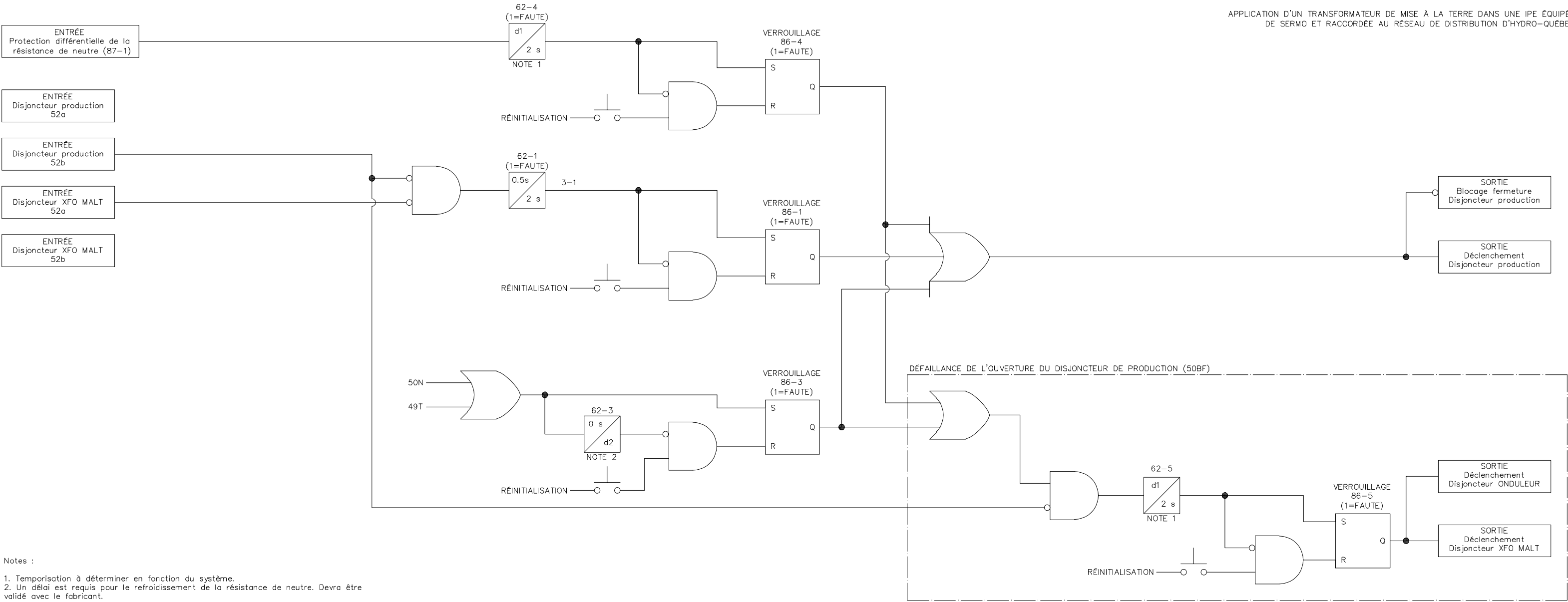
SCHÉMA LOGIQUE

HYDRO-QUÉBEC

2025-04-29

Préparé par : Jonathan Giroux, ing.

APPLICATION D'UN TRANSFORMATEUR DE MISE À LA TERRE DANS UNE IPE ÉQUIPÉE
DE SERMO ET RACCORDÉE AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC



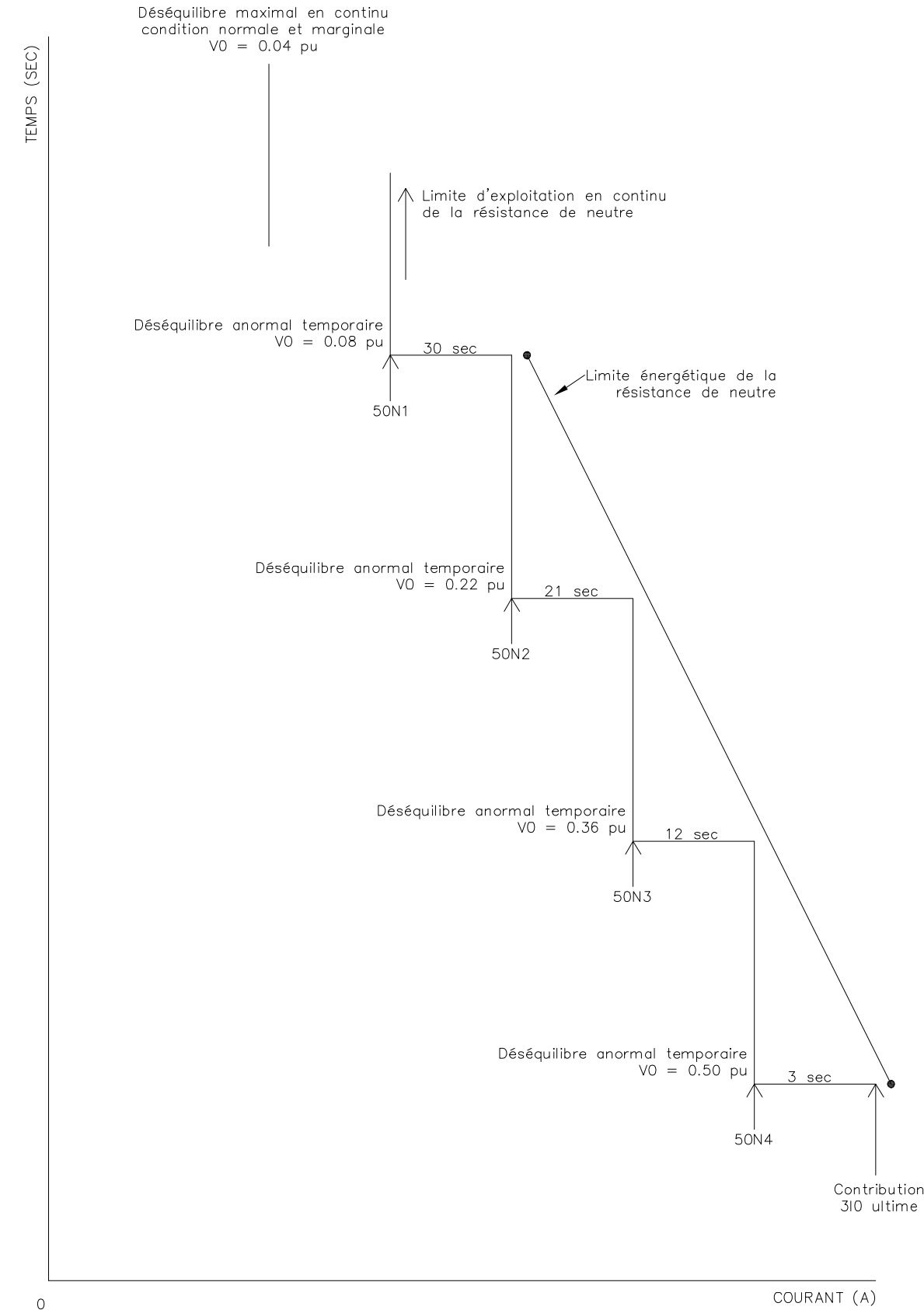
Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

Annexe E - Schéma de spécification de la résistance de neutre

SCHÉMA DE SPÉCIFICATION DE LA RÉSISTANCE DE NEUTRE

HYDRO-QUÉBEC
2025-04-29
Préparé par : Jonathan Giroux, ing.

APPLICATION D'UN TRANSFORMATEUR DE MISE À LA TERRE DANS UNE IPE ÉQUIPÉE
DE SERMO ET RACCORDÉE AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC



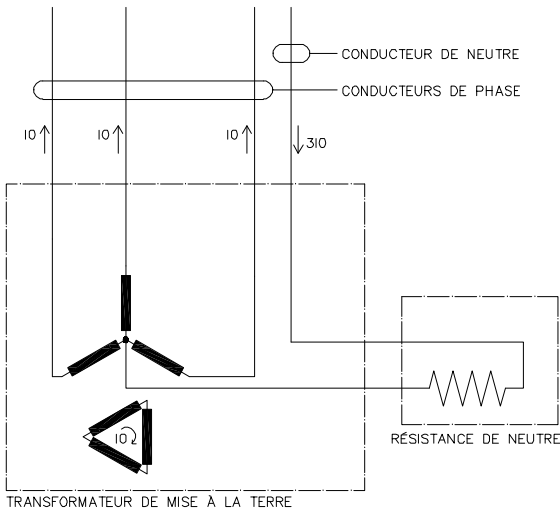
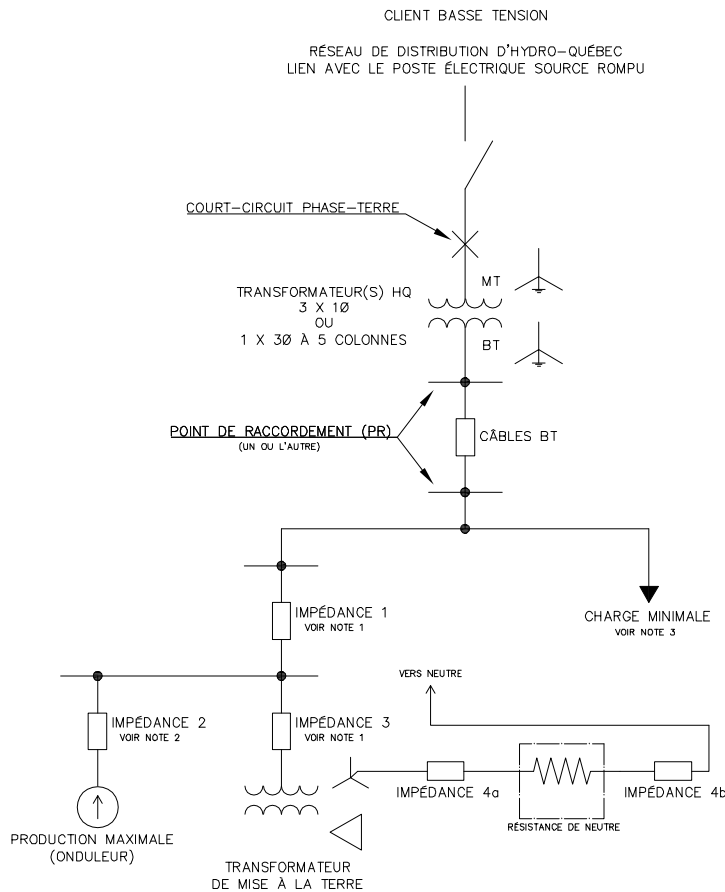


Encadrement Méthode

Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

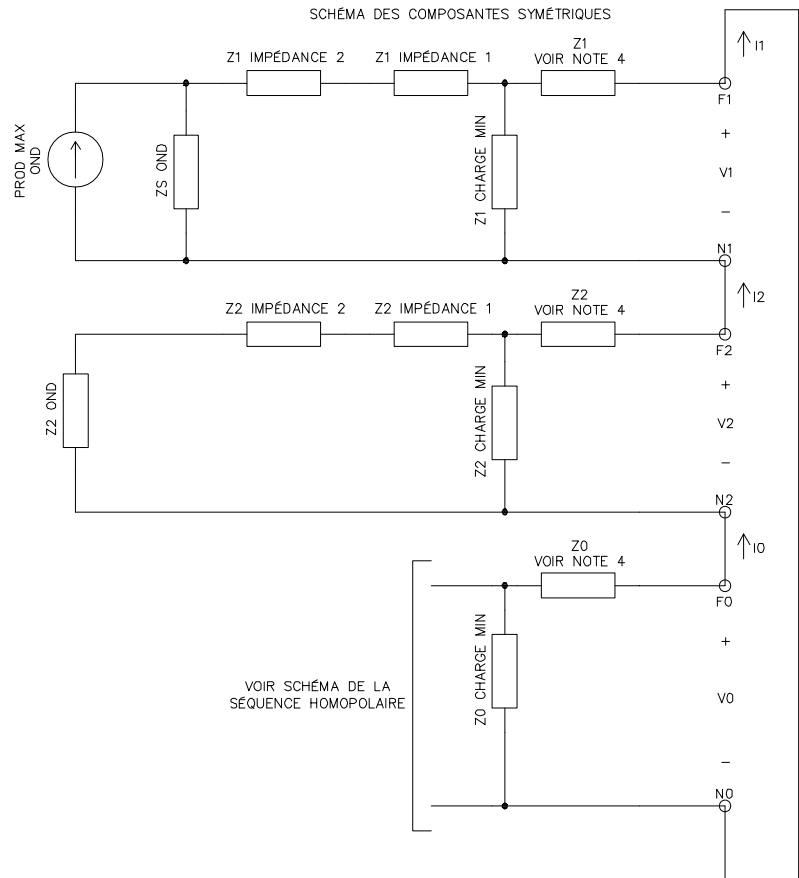
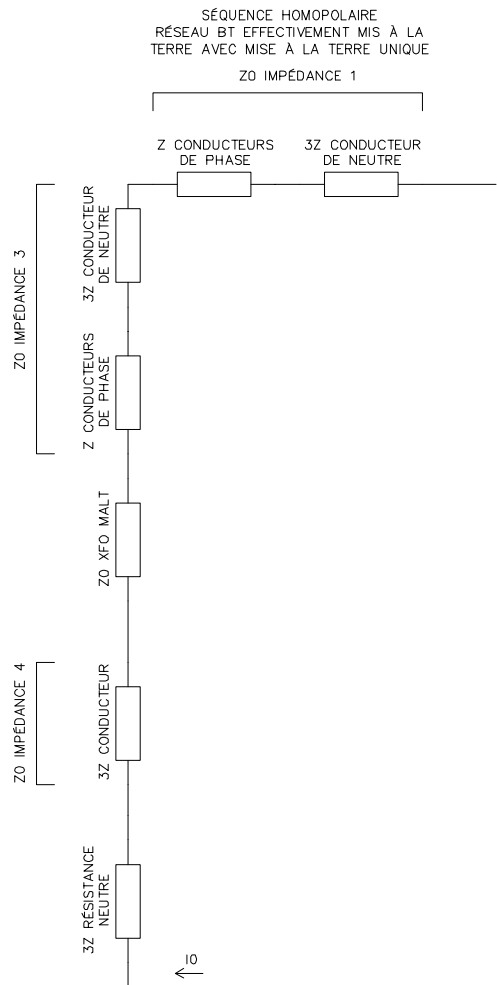
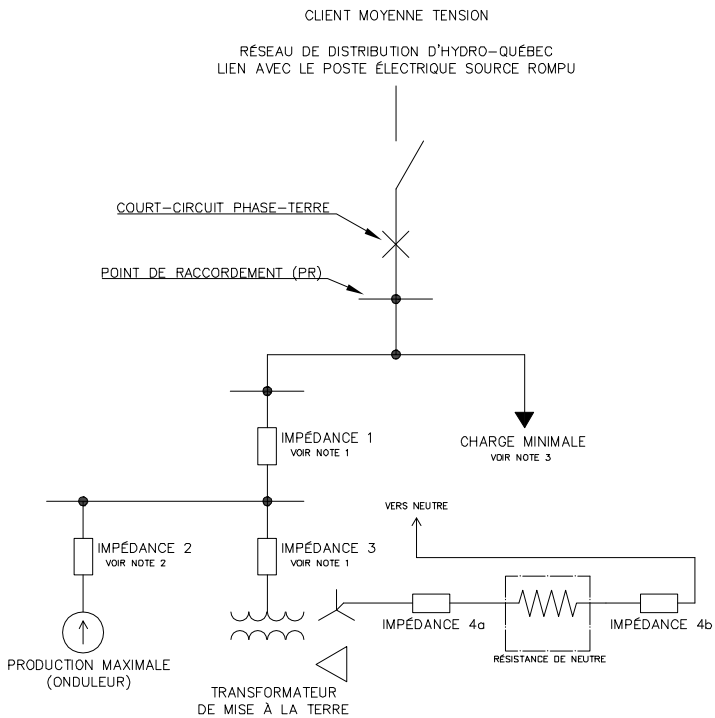
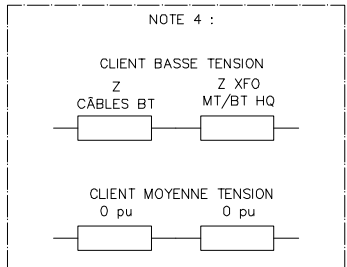
Annexe F - Schéma de calcul du coefficient de mise à la terre

APPLICATION D'UN TRANSFORMATEUR DE MISE À LA TERRE DANS UNE IPE ÉQUIPÉE
DE SERMO ET RACCORDÉE AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'HYDRO-QUÉBEC



NOTES :

- La présence d'un dispositif ayant pour effet de rompre la continuité des schémas homopolaire entre le PR et le transformateur de MALT est interdite. Par exemple, la présence d'un transformateur TRIANGLE/YMALT est interdite.
- Seulement les impédances de séquence directe et inverse sont requises.
- La charge minimale telle que vue à l'entrée électrique du client. Si un pourcentage de charge phase-neutre est entré dans le calculateur, cette charge doit être phase-neutre tel que vue du PR.





Encadrement
Méthode

Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

Annexe G - Exemple

DONNÉES D'ENTRÉES	
CLIENT ET/OU MT BT	
DONNÉES DE BASE	
S_{base}	1 MVA
V_{base1}	25 kV
V_{base2}	20 A
Z_{base1}	625 Ω
V_{base2}	0,6 kV
I_{base2}	962,3 A
Z_{base2}	0,36 Ω
RÉSEAU SOURCE (HQ)	
AU DÉPART DE LIGNE	
R_{s1}	0,0120 pu
R_{s2}	0,0004 pu
X_{s1}	0,0120 pu
RÉSEAU SOURCE (HQ)	
AU PR DU CLIENT	
côté MT du VSC ou du PR	
Z_{s1}	0,0149 pu
R_{s1}	0,0033 pu
X_{s1}	0,0145 pu
Z_{s2}	0,0349 pu
R_{s2}	0,0100 pu
X_{s2}	0,0338 pu
TRANSFORMATEUR MT/BT (HQ)	
V_{base}	25 kV
V_{base1}	25 kV
I_{mp}	45 %
X/R	8
X/R_0	0,0300
$X_{L1,0}$	0,0037 pu
$X_{L1,0}$	0,0298 pu
CÂBLES BT (HQ ou client)	
Z_{L1}	0,00366 pu
R_{L1}	0,00250 pu
X_{L1}	0,00267 pu
Z_{L2}	0,01464 pu
R_{L2}	0,00099 pu
X_{L2}	0,01470 pu
ONDULEUR (client)	
V_{base}	0,6 V
V_{base}	480 V
S_{base}	500 kW
I_{base}	1,1 pu _{équipement}
$I_{base ref}$	0 deg
Z_{L1eq}	0 deg
Z_{L2eq}	0 deg
Z_{L1eq}	63,0 deg
$I_{base ref}$	0,55 pu
Z_{L1}	140,0 pu
R_{L1}	140,0 pu
X_{L1}	0,0
Z_{L2}	12,0 pu
R_{L2}	5,4 pu
X_{L2}	10,7 pu
CHARGE MINIMALE (client)	
$S_{charge min}$	420 kVA
$FP_{charge min}$	98 %
ind/cap	1 ind - 1 cap
NPH-N	5 %
X/R	0,20
Z_{L1}	2,881 pu
R_{L1}	2,833 pu
X_{L1}	0,0478 pu
Z_{L2}	47,628 pu
R_{L2}	46,667 pu
X_{L2}	9,476 pu
IMPÉDANCE 1	
Z_{L1}	0,00457 pu
R_{L1}	0,00399 pu
X_{L1}	0,00233 pu
Z_{L2}	0,01829 pu
R_{L2}	0,01596 pu
X_{L2}	0,00894 pu
IMPÉDANCE 2	
Z_{L1}	0,10804 pu
R_{L1}	0,09598 pu
X_{L1}	0,10490 pu
IMPÉDANCE 3	
Z_{L1}	0,01186 pu
R_{L1}	0,01168 pu
X_{L1}	0,01977 pu
IMPÉDANCE 4	
Z_{L1}	0,00388 pu
R_{L1}	0,00352 pu
X_{L1}	0,00161 pu

CONCEPTION									
TRANSFORMATEUR DE MALT									
V_{max} système	600	V							
I_{max} transformateur	902,3	A							
V_{nom}	600	V							
S_{nom}	75	kVA							
Imp.	6,5	%							
X/R	1,67	-							
I_{sc}	72,2	A							
Z_0	0,867	pu							
R_0	0,446	pu							
X_0	0,743	pu							
RÉSISTANCE DE NEUTRE									
Z	0,30	Ω							
R	0,30	Ω							
X	0,00	Ω							
Z_1	0,83	pu							
R_2	0,83	pu							
X_2	0,00	pu							
Z (ÉQUIVALENT CLIENT (sans charge))									
client MT : au PR									
client BT : coté MT du KFO									
X_0/R_0	0,26	-							
Z_{eq1}	3,21	pu							
Z_{eq2}	3,11	pu							
X_{eq1}	0,82	pu							
V résistance de neutre $V_{max/0.00.00.00.00.00}$									
CONDITIONS NORMALE ET MARGINALE									
	pu	A_{max1}	$A_{max2max1}$		VO (pu)		Temp (sec)		
I_1	0,012	0,3	12,0		0,04		en continue		
I_2	0,037	0,9	36,0					10,8	
PALIER DE PROTECTION									
I_1	0,025	0,6	24,0		0,08		30		
I_2	0,075	1,7	61,9					21,6	
I_3	0,069	1,6	65,9		0,22		21		59,3
I_4	0,205	4,7	197,8						
I_1	0,132	2,6	107,9		0,36		12		97,1
I_2	0,336	7,8	323,7						
I_3	0,156	3,6	149,8		0,50		3		134,9
I_4	0,467	10,8	449,5						
CONDITIONS MARGINAL ET ULTIME									
I_1	0,187	4,3	180,3		0,60		-		162,3
I_2	0,562	13,0	543,0		max HQ				
I_3	0,218	5,0	209,8		0,70		-		188,8
I_4	0,654	15,1	629,4		ultime HQ				
I_1	0,162	3,7	155,5		0,52		-		139,9
I_2	0,485	11,2	465,5		ultime client				
EXPLOITATION TRANSFORMATEUR DE MALT									
I_1 / I_2 max secant	0,17	pu (max en continu, normal et marginal)							
	0,33	pu (max, 1er cas de protection)							
	2,91	pu (ultime)							
LIMITE ÉNERGÉTIQUE RÉSISTANCE DE NEUTRE									
I_{max} en continu	72	A_{max1}							
P_{max}	1,6	kW							
P_{max} secant	11,7	kW							
P_{max} secant	0,35	MioJoules							
P_{max} secant	31,4	kW							
P_{max} secant	0,66	MioJoules							
P_{max} secant	60,6	kW							
P_{max} secant	0,73	MioJoules							
P_{max} secant	11								

PARAMÈTRES CIBLES			
$Z_{\text{eq}} \text{ mT (cible)} / Z_{\text{eq}} \text{ mT (202)}$	40	pu (min)	_____
$Z_{\text{eq}} \text{ mT (cible)} / F_{\text{A charge mT (cible)}}$	1	pu (min)	_____
	2	pu (max)	_____
$X_{\text{eq}} \text{ mT (cible)} / R_{\text{eq}} \text{ mT (cible)}$	0,01	pu (min)	_____
	0,30	pu (max)	_____
CdMALT	0,80	(max)	_____
$f_{\text{A}} (\text{cible})$ max (202)	5,0	$A_{\text{M}} (\text{max})$	_____
$3I_{\text{A}} \text{ cible}$	-	$A_{\text{M}1}$	_____
		$A_{\text{M}2}$	_____
$3I_{\text{B}} \text{ max en condition (202-402)}$	-	$A_{\text{M}1}$	_____
		$A_{\text{M}2}$	_____
Pertes max en condition (202-402)	-	kW	_____
$Z_{\text{eq}} \text{ mT (cible)} > 40$	1	$Z_{\text{eq}} \text{ mT (cible)} < 2$	
$Z_{\text{eq}} \text{ mT (202)}$		$Z_{\text{A charge min M}} (\text{cible})$	
$0,01 < \frac{X_{\text{eq}} \text{ mT (cible)}}{R_{\text{eq}} \text{ mT (cible)}} < 0,3$		CdMALT < 0,80	
		f_{A} contribution max en MT < 5 A	

NOTES

Donnée à entrer par l'utilisateur

Donnée calculée automatiquement

--	--

Client BT

V_{nom1} Tension nominale au E^e réseau MT en amont du PR

V_{nom2} Tension nominale au PR

Client MT

V_{nom3} Tension nominale au PR

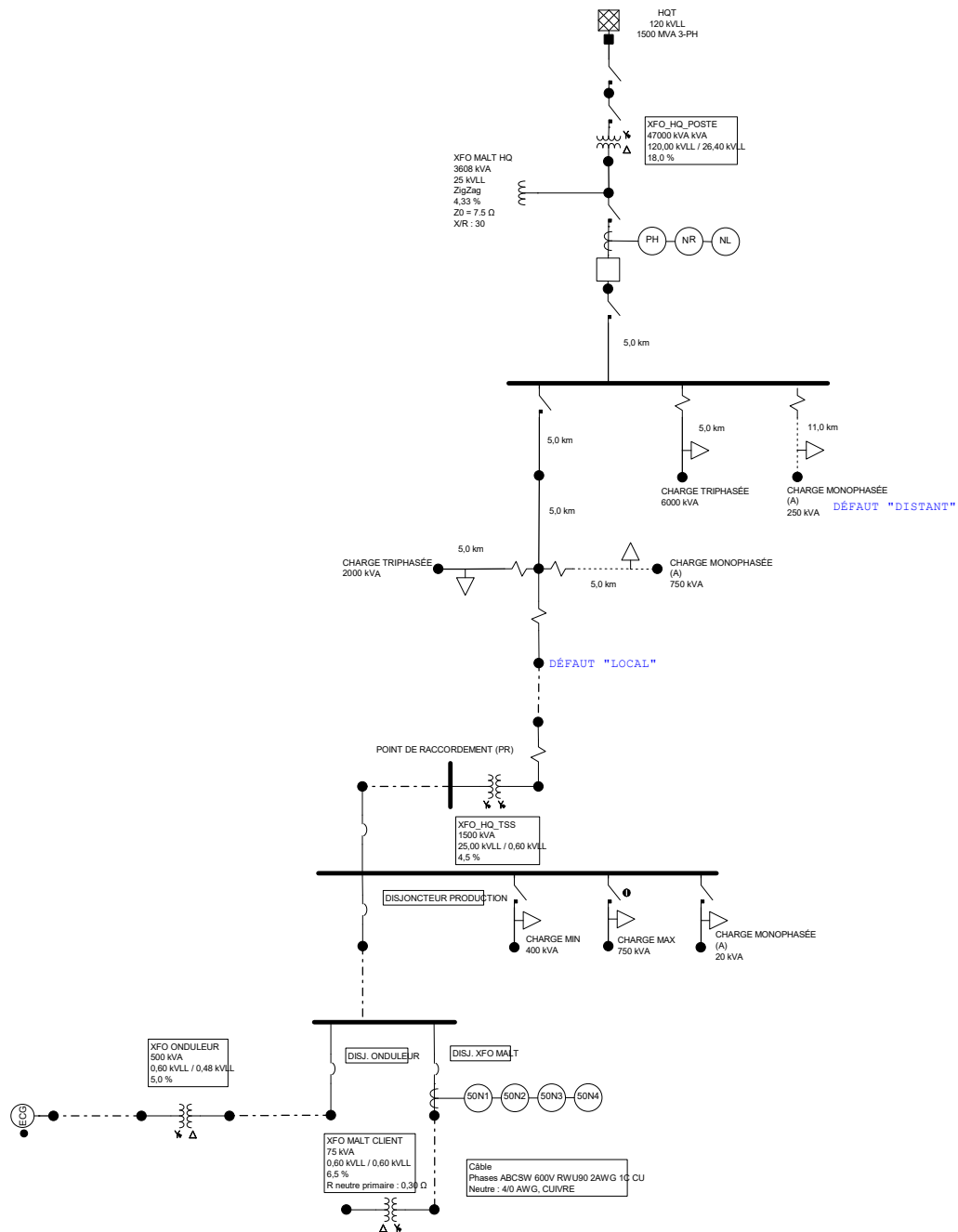
V_{nom4} Tension nominale à l'endroït où est le transformateur de MALT

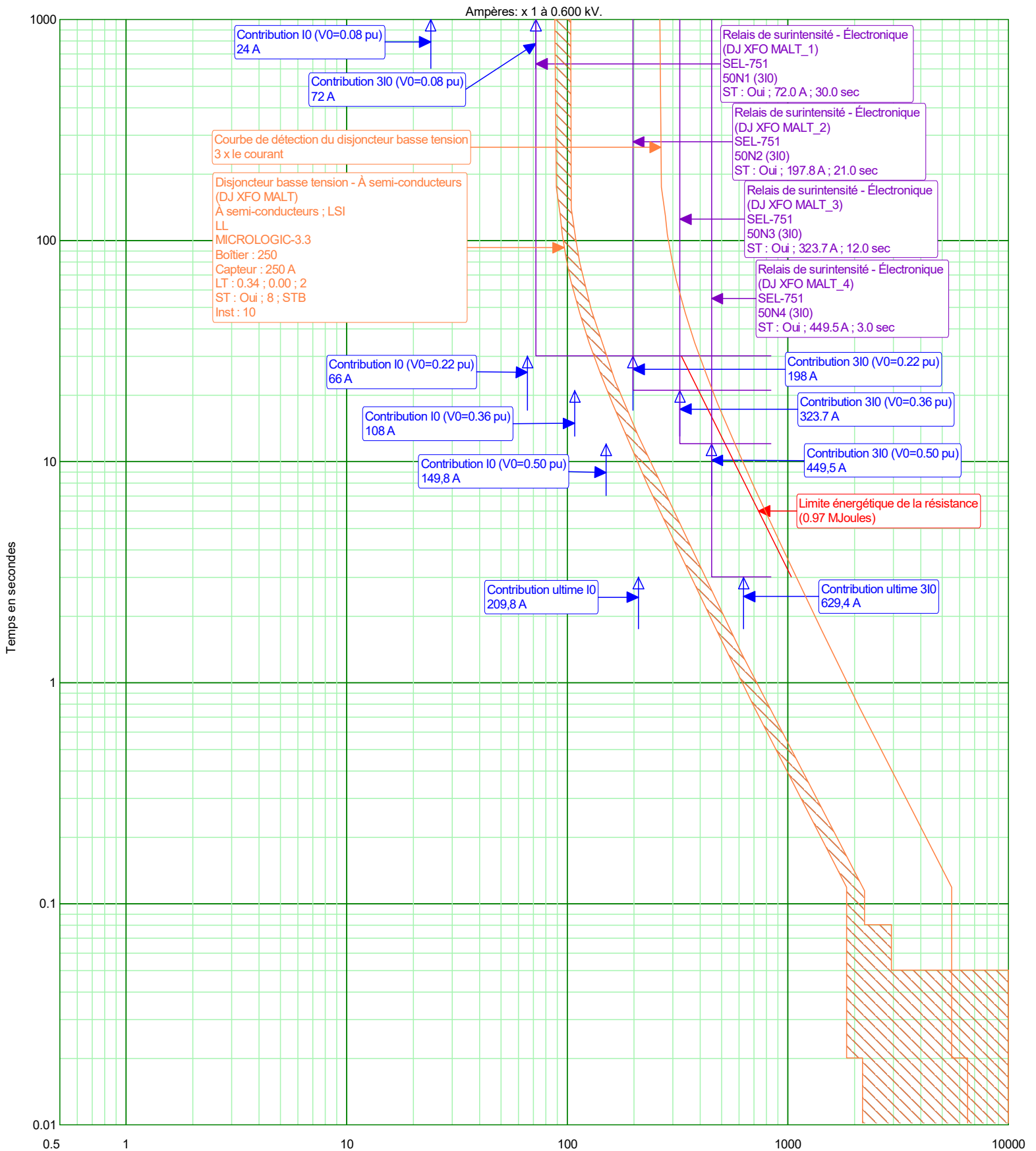
Si un pourcentage de charge phase-neutre est entré dans le calculateur, la charge doit être phase-neutre tel que vu du PR.

La tension $V_{base_systeme}$ est la tension de base à l'endroït où est connecté l'équipement.

Les impédances 1, 2, 3 et 4 doivent être entrées manuellement par l'utilisateur.

RÉSULTATS		
→	71	ADEQUAT
→	1.34	ADEQUAT
→	0.26	ADEQUAT
→	0.79	ADEQUAT
→	4.3	ADEQUAT
→	15.1	-
→	629.4	-
→	0.9	-
→	36.0	-
→	0.51	-
Sans XFO de MALT		
[V ₀]	0.00	pu
[V ₀]	2.07	pu
[V ₀]	2.10	pu
V ₀	1.18	pu
CdMALT	1.21	
Avec XFO de MALT		
[V ₀]	0.00	pu
[V ₀]	1.30	pu
[V ₀]	1.37	pu
V ₀	0.52	pu
CdMALT	0.79	

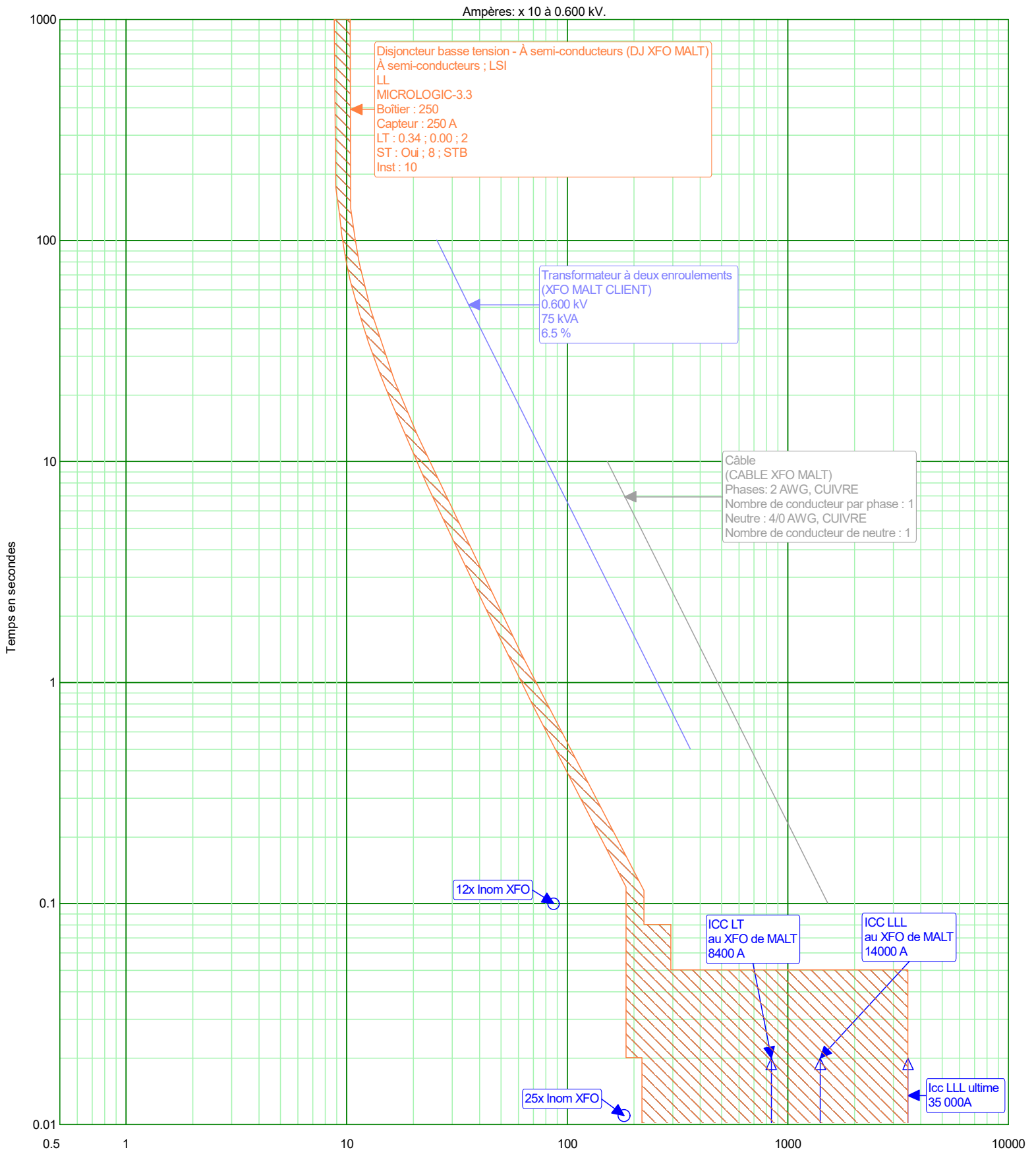




Application d'un transformateur de mise à la terre dont la source d'énergie est raccordée au moyen d'onduleur

Exemple de courbe temps-courant
 TCC-1

Jonathan Giroux, ing (Hydro-Québec)
 2025-04-09



Application d'un transformateur de mise à la terre dont la source d'énergie est raccordée au moyen d'onduleur

Exemple de courbe temps-courant
TCC-2

Jonathan Giroux, ing (Hydro-Québec)
2025-04-09

Titre de l'encadrement	Numéro de l'encadrement	En vigueur le AAAA-MM-JJ
Application d'un transformateur de mise à la terre dans une IPE équipée de SERMO et raccordée au réseau de distribution d'Hydro-Québec	A.5-09	2025-04-29

Annexe H - Calculateur