



## Étude technique

### Rapport final

|                    |                                                                        |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titre</b>       | Étude de pénétration – Analyse du réseau de distribution – Pangnirtung |
| <b>Document n°</b> | 2390-ES-001 Pangnirtung                                                |
| <b>Révision</b>    | Rév. A                                                                 |
| <b>Date</b>        | Le 10 mars 2024                                                        |
| <b>Exécuteur</b>   | Ahmed Abdelfattah, ingénieur professionnel                             |
| <b>Révisé par</b>  | Dwight Alfrey, ingénieur professionnel                                 |

**Historique de révision**

|         |                 |                    | Asher Engineering Ltd.  |                            |                                           | Société d'énergie Qulliq       |
|---------|-----------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|
| Rév. n° | Date            | Description        | Créé par<br>(initiales) | Vérifié par<br>(initiales) | Approuvé par<br>(nom et signature)        | Reçu par<br>(nom et signature) |
| A       | Le 10 mars 2024 | Envoyé pour examen | AA                      | SW                         | Dwight Alfrey,<br>ingénieur professionnel |                                |
|         |                 |                    |                         |                            |                                           |                                |

Ce document a été préparé par Asher Engineering Ltd. (Asher) pour la Société d'énergie Qulliq (la SÉQ) et ne peut être utilisé que par la SÉQ. Il ne doit pas être utilisé par d'autres parties ou à d'autres fins sans le consentement écrit préalable de la SÉQ. Asher n'accepte aucune responsabilité pour toute perte, toute réclamation, toute dépense ou tout dommage, le cas échéant, que subit une tierce partie à la suite d'une décision prise ou de mesures prises sur la foi de ce document.

Bien que les informations contenues dans le présent document soient considérées comme fiables sous réserve des conditions et des limites énoncées dans le document, ce dernier est basé sur des informations qui ne sont pas sous le contrôle d'Asher et qui n'ont pas été vérifiées par Asher, et Asher ne peut donc pas garantir leur suffisance et leur exactitude. Les commentaires contenus dans le document reflètent le meilleur jugement d'Asher à la lumière des informations dont elle disposait au moment de la préparation du document.

Les résultats présentés dans le rapport sont à un niveau conceptuel; aucun travail d'ingénierie détaillé n'a encore été effectué, ni aucun équipement sélectionné, ni aucun plan opérationnel défini.

En utilisant ce document, l'utilisateur reconnaît qu'il accepte les conditions susmentionnées.

## **Table des matières**

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| Sommaire décisionnel .....             | ii |
| 1. Introduction .....                  | 1  |
| 1.1 Historique .....                   | 1  |
| 1.2 Étendue des travaux .....          | 1  |
| 2. Discussions .....                   | 2  |
| 2.1 Sources de données .....           | 2  |
| 2.2 Hypothèses .....                   | 2  |
| 2.3 Configuration du réseau .....      | 3  |
| 2.4 Procédures de calcul .....         | 3  |
| 2.5 Résultats .....                    | 7  |
| 3. Conclusion et recommandations ..... | 9  |

## **Liste des tableaux**

|                                                                                                                                            |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Tableau 1 Charges maximales et minimales enregistrées .....                                                                                | 4 |
| Tableau 2 Facteurs de demande pour le réseau existant .....                                                                                | 4 |
| Tableau 3 Catégories de charge ETAP pour différents facteurs de demande .....                                                              | 5 |
| Tableau 4 Puissance minimale de l'installation de production d'énergie renouvelable .....                                                  | 6 |
| Tableau 5 Pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable dans le réseau et emplacements de raccordement ..... | 7 |
| Tableau 6 Comparaison de la tension et des pertes dans le réseau .....                                                                     | 8 |

## **Appendices**

|                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Appendice 1 Modèle ETAP du réseau de Pangnirtung                                                                                                                                   |
| Appendice 2.A Résultats de l'analyse de débit de puissance pour le réseau existant – Utilisation de la charge maximale                                                             |
| Appendice 2.B Résultats de court-circuit du réseau existant – Utilisation de la charge maximale                                                                                    |
| Appendice 3.A Résultats de l'analyse de débit de puissance pour la pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable – Utilisation de la charge maximale |
| Appendice 3.B Résultats de court-circuit pour la pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable – Utilisation de la charge maximale                   |
| Appendice 4.A Tableaux de comparaison des tensions de bus et des courants de défaut maximum                                                                                        |
| Appendice 4.B Tableaux de comparaison des courants de ligne                                                                                                                        |

## **Sommaire décisionnel**

La Société d'énergie Qulliq (la SÉQ) fournit actuellement de l'électricité à environ 15 000 clients dans 25 communautés du Nunavut, grâce à 25 centrales au diesel autonomes d'une puissance installée totale de 76 MW. Chaque collectivité dispose de son propre réseau de production et de distribution indépendant, qui ne bénéficie d'aucun soutien de la part du réseau électrique public.

Actuellement, les clients optent de plus en plus pour l'installation de ressources énergétiques distribuées, en privilégiant les énergies renouvelables, dans le but de réduire les coûts globaux avec l'introduction de la facturation nette. Les panneaux photovoltaïques (PV) sont généralement la forme de production renouvelable la plus adaptée aux réseaux actuels de distribution d'électricité. Toutefois, cette évolution modifie le scénario du réseau de distribution. Dans une artère existante, le nombre d'installations de production d'énergie renouvelable est limité en raison des limites acceptables fixées par les services publics en matière de tension plus élevée, de déséquilibre de tension, d'harmoniques, de puissance du transformateur, de surcharge thermique de la ligne, d'équipement de régulation, de coordination de protection, de configuration de l'artère, de profil de charge et bien plus encore. Il est important pour l'exploitation et la planification de l'artère de calculer la quantité d'installations de production d'énergie renouvelable pouvant être hébergées dans une artère existante afin de satisfaire les limites de tension, de capacité thermique, d'harmoniques et de critères de protection – souvent appelée capacité d'hébergement de l'artère ou analyse de capacité d'hébergement/d'intégration. Ainsi, une évaluation de la capacité maximale du réseau de distribution à intégrer ces ressources sans surcharge ni problèmes de tension est nécessaire.

La SÉQ examine actuellement la capacité d'accueil de l'artère pour les ressources énergétiques distribuées, ainsi que pour les petites centrales solaires financées par des investisseurs qui peuvent être intégrées en toute sécurité sans surcharger les réseaux de distribution existants.

La portée de l'étude est de calculer la pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable qui peuvent être hébergées par le réseau communautaire de Pangnirtung sans ajouter de capacité de stockage de batterie au réseau et sans enfreindre les limites de tension et de température du réseau ou la capacité de court-circuit de l'équipement installé. L'étude calcule les capacités d'hébergement de l'artère maximales sans considérer aucune mise à niveau du réseau.

La principale limitation de l'ajout maximal d'installations de production d'énergie renouvelable réside dans l'exigence d'une répartition minimale de la production au diesel de 40 % de la capacité totale de la centrale de production au diesel lorsqu'un des deux générateurs de 1,1 MW est en veille.

L'étude indique que les installations de production d'énergie renouvelable peuvent être reliées aux bus du réseau comme indiqué dans le tableau 5 afin de satisfaire les critères suivants :

- Les courants des artères se situent dans les limites de courant admissible des artères existantes. Ainsi, aucune modification des artères existantes n'est nécessaire.
- Des chutes de tension minimales et des pertes de réseau sont atteintes pour chaque artère d'alimentation du réseau.
- Le courant de défaut à chaque bus du réseau est similaire à celui du réseau d'origine.

**Tableau 5 : Pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable dans le réseau et emplacements de raccordement**

| Réseau   | Capacité de production au diesel <sup>(1)</sup> (kW) | Capacité maximale des installations de production d'énergie renouvelable (kW) | Emplacement de raccordement | Tension minimale <sup>(2)</sup> (%) | Pertes |        |
|----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------|--------|
|          |                                                      |                                                                               |                             |                                     | (kW)   | (kVAR) |
| Artère 1 | 712                                                  | 412,2                                                                         | Poteau 70201048             | 97,49                               | 11,8   | 8,3    |
| Artère 2 |                                                      | 286,4                                                                         | Poteau 70202073             | 99,33                               | 4,2    | 3,5    |

<sup>(1)</sup> Basée sur 40 % de la capacité totale de l'installation de production au diesel lorsqu'un des deux générateurs de 1,1 MW est en veille.

<sup>(2)</sup> Calculée sur le côté triphasé, haute tension de la charge.

Les capacités maximales recommandées pour les installations de production d'énergie renouvelable sont basées sur la charge maximale de demande obtenue à partir des informations de mesure de la demande de courant de la SÉQ.

L'analyse globale montre que l'ajout d'installations de production d'énergie renouvelable aux artères aux endroits indiqués dans le tableau 5 améliore le profil de tension du réseau et réduit les pertes du réseau.

On s'attend à ce que l'analyse des harmoniques, de la stabilité de tension, de la stabilité du réseau et d'autres analyses requises soit effectuée conformément aux demandes spécifiques de raccordement de la production, en fonction du type, de la taille, de l'emplacement et des paramètres donnés de l'installation de production d'énergie renouvelable. Ces demandes devront respecter les exigences techniques d'interconnexion (ETI) en vigueur.

La capacité maximale de l'installation de production d'énergie renouvelable peut être divisée/partagée entre différents types de production tels que les PÉI, PÉCI et la facturation nette. Cependant, on suppose que la SÉQ veillera à équilibrer la nouvelle production distribuée sur les trois phases, en particulier la production monophasée, ou la production par facturation nette.

## **1. Introduction**

### **1.1 Historique**

La Société d'énergie Qulliq (la SÉQ) fournit actuellement de l'électricité à environ 15 000 clients dans 25 communautés du Nunavut, grâce à 25 centrales au diesel autonomes d'une puissance installée totale de 76 MW. Chaque collectivité dispose de son propre réseau de production et de distribution indépendant, qui ne bénéficie d'aucun soutien de la part du réseau électrique public.

Actuellement, les clients optent de plus en plus pour l'installation de ressources énergétiques distribuées, en privilégiant les énergies renouvelables, dans le but de réduire les coûts globaux avec l'introduction de la facturation nette. Les panneaux photovoltaïques (PV) sont généralement la forme de production renouvelable la plus adaptée aux réseaux actuels de distribution d'électricité. Toutefois, cette évolution modifie le scénario du réseau de distribution. Dans une artère existante, le nombre d'installations de production d'énergie renouvelable est limité en raison des limites acceptables fixées par les services publics en matière de tension plus élevée, de déséquilibre de tension, d'harmoniques, de puissance du transformateur, de surcharge thermique de la ligne, d'équipement de régulation, de coordination de protection, de configuration de l'artère, de profil de charge et bien plus encore. Il est important pour l'exploitation et la planification de l'artère de calculer la quantité d'installations de production d'énergie renouvelable pouvant être hébergées dans une artère existante afin de satisfaire les limites de tension, de capacité thermique, d'harmoniques et de critères de protection – souvent appelée capacité d'hébergement de l'artère ou analyse de capacité d'hébergement/d'intégration. Ainsi, une évaluation de la capacité maximale du réseau de distribution à intégrer ces ressources sans surcharge ni problèmes de tension est nécessaire.

La SÉQ examine actuellement la capacité d'accueil de l'artère pour les ressources énergétiques distribuées, ainsi que pour les petites centrales solaires financées par des investisseurs qui peuvent être intégrées en toute sécurité sans surcharger les réseaux de distribution existants.

### **1.2 Étendue des travaux**

La portée de l'étude est de calculer la pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable qui peuvent être hébergées par le réseau communautaire de Pangnirtung sans ajouter de capacité de stockage de batterie au réseau et sans enfreindre les limites de tension et de température du réseau ou la capacité de court-circuit de l'équipement installé. L'étude calcule les capacités d'hébergement de l'artère maximales sans considérer aucune mise à niveau du réseau.

Une étude de coordination de protection n'a pas pu être réalisée dans le cadre de cette étude, car ETAP ne permet pas de présenter les dispositifs de protection monophasés et triphasés sur la même courbe de coordination temps-courant. La présentation dans ETAP sera limitée aux dispositifs triphasés, ce qui ne peut pas être considéré comme une représentation appropriée de la façon dont les différents dispositifs coordonneront leur fonctionnement.

L'étude de pénétration des installations de production d'énergie renouvelable est réalisée sur la base des données fournies par la SÉQ comme indiqué à la section 2.1, des hypothèses énumérées à la section 2.2 et des procédures de calcul détaillées à la section 2.4.

## 2. Discussions

La capacité d'accueil d'une artère est définie comme la quantité de charge ou de production que l'artère peut supporter sans causer d'effets néfastes à l'artère.

La présente étude porte sur un type de capacité d'accueil : La capacité d'accueil maximale qui est définie comme la quantité maximale de charge ou de production qui peut être ajoutée à une artère sans dépasser les contraintes de l'artère.

### 2.1 Sources de données

Le modèle de réseau et les paramètres de simulation sont définis en fonction des données suivantes fournies par la SÉQ :

- **Modèle ETAP existant :**

Le modèle ETAP reçu de la SÉQ est utilisé pour obtenir le modèle du générateur, les réglages des relais de protection, les impédances des transformateurs et les longueurs des câbles principaux.

- **Schémas à lignes unifilaires :**

Le modèle de réseau est construit à l'aide des schémas à lignes unifilaires fournis. Ces schémas fournissent également des informations sur la charge connectée et la connexion de phase de chaque client.

- **Relevés de la charge réelle des relais :**

La SÉQ a fourni des tableaux indiquant la demande de charge réelle à partir des relevés enregistrés par les relais de protection. Ces relevés sont utilisés pour estimer le facteur de demande global et la demande réelle pour chaque client, qui est à son tour utilisée pour calculer l'analyse du débit de puissance pour chaque scénario d'étude de pénétration des installations de production d'énergie renouvelable.

### 2.2 Hypothèses

- Comme les câbles AASC spécifiés ne sont pas disponibles dans la bibliothèque standard d'ETAP, des câbles AAC sont utilisés à la place. Les propriétés électriques et géométriques du câble choisi sont ajustées afin de répondre aux spécifications des câbles AASC fournies par la SÉQ.
- L'analyse des harmoniques n'est pas incluse dans l'étude actuelle. Les limites thermiques des artères sont évaluées uniquement en fonction des courants admissibles des artères fournies par la SÉQ.
- On suppose que les limites de tension aux nœuds de tous les réseaux (bus) sont de +/- 5 %.
- La SÉQ a expliqué que la majorité des charges ne sont pas inductives et que le facteur de puissance global pour chaque artère est d'environ 0,99. Dans le cadre de cette étude, toutes les charges sont considérées avec un facteur de puissance de 0,95 pour une approche plus conservatrice en matière de courant de charge.

- Les câbles reliant les sources des installations de production d'énergie renouvelable aux emplacements recommandés de raccordement au réseau ne sont pas pris en compte dans l'étude. Les tailles et les longueurs de ces câbles seront déterminées lors de la conception détaillée en fonction de l'emplacement des installations de production d'énergie renouvelable.
- En se basant sur les paramètres des conducteurs de lignes aériennes fournis par la SEQ, les valeurs de résistance, de réactance et de susceptance pour les lignes aériennes sont calculées à l'aide d'ETAP en tenant compte de la configuration de conducteur suivante sur la structure du poteau :
  - Hauteur du conducteur : 34 pi (sauf indication contraire sur les schémas à lignes unifilaires).
  - Espacement entre les phases : 3 pi
- Les charges de service de la centrale ne sont pas prises en compte dans l'analyse.

## **2.3 Configuration du réseau**

Le réseau de Pangnirtung est alimenté par une centrale de production composée de deux (2) générateurs de 1,1 MW et un (1) générateur de 0,68 MW avec une tension de sortie de 4,16 kV. Les générateurs sont connectés à un appareillage de commutation principal avec deux sections de bus, de sorte que les deux générateurs de 1,1 MW sont connectés à une section de bus, et le générateur de 0,68 MW est connecté à l'autre section de bus. Les deux sections de bus sont connectées à l'aide d'un disjoncteur d'attache normalement ouvert. Chacune des artères communautaires est connectée à une section de bus et est, à son tour, reliée à différents clients, en plus d'autres charges de service.

Pour améliorer encore la fiabilité de l'alimentation électrique des clients, un générateur de secours de 725 kW est utilisé et les artères 1 et 2 sont également reliées entre elles à l'aide d'un interrupteur normalement ouvert, en plus du disjoncteur d'attache de bus. Cet interrupteur se ferme lorsque l'un des disjoncteurs de l'artère est hors service en raison d'une défaillance ou à des fins d'entretien. Puisque le scénario où les deux artères sont connectées à un seul disjoncteur d'artère, que le disjoncteur d'attache de bus est fermé ou que le générateur de secours est utilisé ne représente pas le fonctionnement normal du réseau et est utilisé uniquement à des fins d'entretien, ces configurations ne sont pas prises en compte dans l'étude de pénétration.

Le modèle ETAP du réseau existant est fourni à l'annexe 1.

## **2.4 Procédures de calcul**

### **2.4.1 Calculs des paramètres de charge**

Les données de charge de la SEQ indiquent les charges maximales et minimales de demande pour chaque artère, comme présenté dans le tableau 1.

**Tableau 1 : Charges maximales et minimales enregistrées**

|                         |                | Artère 1 |        | Artère 2 |        |
|-------------------------|----------------|----------|--------|----------|--------|
|                         |                | Max.     | Min.   | Max.     | Min.   |
| <b>Total (triphasé)</b> | <b>Ampères</b> | 119,94   | 30,68  | 78,6     | 18,41  |
|                         | <b>kVA</b>     | 864,21   | 221,05 | 566,32   | 132,63 |

Les charges enregistrées en ampères sont calculées en supposant que les données de charge sont enregistrées du côté de 4,16 kV.

Bien que les schémas à lignes unifilaires fournis par la SÉQ indiquent la charge maximale connectée à chaque point d'accès client, ces valeurs ne peuvent pas être utilisées pour l'étude de pénétration, car la chute de tension à différents points du réseau dépasserait 5 %. Utiliser ces charges nécessiterait des ajustements de la taille des câbles du réseau, ce qui n'est pas inclus dans le cadre de cette étude. Par conséquent, les charges maximales et minimales du réseau prises en compte sont basées sur les valeurs mesurées.

Puisque les charges du réseau sont modélisées avec leurs valeurs de charge connectée, les charges maximales et minimales sur chaque artère d'alimentation du réseau sont prises en compte en appliquant des facteurs de demande à chacune des charges individuelles. Les facteurs maximum et minimum de demande associés aux charges maximum et minimum de demande sont calculés comme indiqué dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Facteurs de demande pour le réseau existant**

|          | Charge connectée (kVA) | Charge max. de demande (kVA) | Facteur max. de demande | Charge min. de demande (kVA) | Facteur min. de demande |
|----------|------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Artère 1 | 2 152,5                | 864,21                       | 40 %                    | 221,05                       | 10 %                    |
| Artère 2 | 1 252,5                | 566,32                       | 45 %                    | 132,63                       | 11 %                    |

Les charges enregistrées en kW sont converties en kVA en tenant compte d'un facteur de puissance de 0,95.

La charge maximale de l'artère est composée de la charge connectée à l'artère et des pertes du circuit de distribution d'alimentation. Ces valeurs sont obtenues en effectuant une analyse du débit de puissance sur le réseau en tenant compte de la charge connectée.

Les facteurs de demande mentionnés ci-dessus sont appliqués au modèle ETAP pour les charges des clients en attribuant différentes catégories de charge, chacune représentant un facteur de demande.

Les facteurs de demande globaux pour les charges du réseau et les noms des catégories de charge ETAP qui leur sont attribuées sont répertoriés dans le tableau 3.

**Tableau 3 : Catégories de charge ETAP pour différents facteurs de demande**

| Catégorie de charge ETAP | Type de charge | Artère 1 | Artère 2 |
|--------------------------|----------------|----------|----------|
| Conception               | Connecté       | 100 %    | 100 %    |
| Charge hivernale         | Demande max.   | 40 %     | 45 %     |
| Charge estivale          | Demande min.   | 10 %     | 11 %     |

#### 2.4.2 Contraintes de conception

Les contraintes de conception établies par la SEQ sont les suivantes :

- Le niveau minimal de pénétration des installations de production d'énergie renouvelable dans l'artère ne doit pas être inférieur à 7 % de la charge minimale de l'artère. Par conséquent, la sortie minimale d'une installation de production d'énergie renouvelable lorsqu'elle est connectée à différentes parties du réseau sera comme indiqué dans le tableau 4.
- Tous les générateurs diesel fonctionnent à 40 % de leur puissance installée, tandis que les plus gros générateurs sont en veille. Par conséquent, la contribution totale de la centrale de génération diesel est de 712 kW.
- Les capacités d'accueil maximales pour différentes artères ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes :
  - Les artères de taille 4/0 AWG : 253,2 ampères
  - Les artères de 500 kcmil : 506,5 ampères
  - Les artères de 350 kcmil : 386,4 ampères
  - Les artères de 350 kcmil : 757,3 ampères
  - Lignes réseau de 1/0 AWG : 247 ampères
  - Lignes réseau de 2 AWG : 185 ampères
  - Lignes réseau de 4/0 AWG : 383 ampères

Outre ce qui précède, les contraintes de conception suivantes sont fixées pour limiter les changements des paramètres du réseau à la suite de l'introduction de sources d'énergie renouvelable :

- La tension aux bornes des principaux bus de distribution des clients est dans une plage de +/- 5 % de la tension nominale du réseau.
- Le courant de défaut maximal au niveau des bus de distribution principaux et des clients se situe dans l'ordre de grandeur du courant de défaut maximal calculé pour le réseau d'origine.

**Tableau 4 : Puissance minimale de l'installation de production d'énergie renouvelable**

| Connexion au réseau de l'installation de production d'énergie renouvelable | Puissance minimale de l'installation de production d'énergie renouvelable (kVA) |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Artère 1                                                                   | 15,47                                                                           |
| Artère 2                                                                   | 9,28                                                                            |

### 2.4.3 Méthodologie de calcul

La méthodologie utilisée pour calculer la pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable et l'emplacement de raccordement correspondant qui permettra d'atteindre la pénétration maximale tout en minimisant les pertes d'exploitation du réseau et en satisfaisant aux contraintes de conception est décrite ci-après.

- Un processus itératif a été mis en œuvre pour calculer le maximum d'installations de production d'énergie renouvelable pouvant être ajoutées au réseau de distribution. Cependant, cette capacité a été évaluée sans nécessiter de mises à niveau ou d'investissements supplémentaires.
- Après le processus itératif, les simulations ont identifié l'emplacement et la capacité des installations de production d'énergie renouvelable en fonction des différents nœuds du réseau de distribution, en maximisant la capacité d'accueil des artères pour le scénario le plus défavorable. De plus, comme le support de puissance réactive pourrait également augmenter la capacité d'accueil, cela a été inclus dans l'analyse.
- À partir des extrémités du réseau qui montrent généralement les capacités d'accueil de l'artère, la capacité maximale des installations de production d'énergie renouvelable pouvant être intégrée dans le réseau a été identifiée et les différents emplacements possibles ont été sélectionnés. Ensuite, tout en maintenant la production au diesel au niveau de répartition minimum requis, la capacité des installations de production d'énergie renouvelable a été augmentée en fonction de chaque artère individuelle, et les limites de charge ont été contrôlées pour vérifier la capacité maximale d'accueil des artères qui pourrait être ajoutée à l'emplacement spécifique sans enfreindre les limites acceptables.
- Lors de la mise à l'échelle des installations de production d'énergie renouvelable, les limites de tension et thermiques ont été surveillées pour s'assurer qu'aucune de ces contraintes n'était enfreinte et que le réseau ne connaissait pas de flux d'énergie inverse.
- Une analyse de sensibilité a été réalisée en étudiant la connexion des installations de production d'énergie renouvelable aux nœuds voisins afin de vérifier que le nœud sélectionné atteignait le niveau de pénétration maximal et maintenait de faibles pertes dans le réseau.

Il est important de noter que la portée du travail dans le cadre de cette étude est limitée à la recherche des limites thermiques, des limites de tension et des limites de court-circuit qui peuvent être déterminées en fonction du réseau disponible. Cependant, d'autres exigences techniques

d'interconnexion (TIR) de la SÉQ, telles que l'analyse harmonique, l'analyse de la stabilité et la stabilité de la tension, dépendent beaucoup des nouveaux paramètres des installations de production d'énergie renouvelable ou de la nouvelle centrale de production entrante. Ces études devraient être réalisées par les nouveaux promoteurs au fur et à mesure que ces paramètres sont disponibles. Il est recommandé d'exiger des nouveaux promoteurs qu'ils respectent les exigences techniques d'interconnexion de la SÉQ ainsi que les normes générales de l'industrie. Cela permettra de garantir la réalisation d'évaluations techniques appropriées en rapport avec l'établissement de limites standard minimales pour les niveaux d'harmoniques, le déséquilibre de tension, la fréquence du système, la stabilité de la tension, le synchronisme, la stabilité et la fonctionnalité anti-îlotage.

## 2.5 Résultats

L'utilisation de charges maximales connectées n'est pas envisagée dans l'étude de pénétration, car la chute de tension sur de nombreux bus du réseau dépassera 5 % même lorsque les charges sont totalement alimentées par le générateur. Prendre en compte les charges connectées nécessitera de modifier certaines tailles de lignes, ce qui ne fait pas partie du champ d'application de cette étude.

Les charges maximales et minimales de demande sont basées sur les relevés de comptage réels, et les facteurs de demande sont calculés tel que détaillé dans la section 2.4.1.

L'étude conclut qu'une installation de production d'énergie renouvelable peut être raccordée aux bus du réseau comme indiqué dans le tableau 5, tout en respectant les critères suivants :

- Les courants des artères se situeront dans les limites de courant admissible des artères existantes (voir la section 2.4.2). Ainsi, aucune modification des artères existantes ne sera nécessaire.
- La chute de tension minimale sera atteinte pour chaque artère d'alimentation du réseau.
- Le courant de défaut à chaque bus du réseau sera similaire à celui du réseau d'origine. Cette estimation est utilisée, car les données sur la capacité de résistance au courant de défaut des bus du réseau existant ne sont pas disponibles.

**Tableau 5 : Pénétration maximale des installations de production d'énergie renouvelable dans le réseau et emplacements de raccordement**

| Réseau   | Capacité de production au diesel <sup>(1)</sup> (kW) | Capacité maximale des installations de production d'énergie renouvelable (kW) | Emplacement de raccordement | Tension minimale <sup>(2)</sup> (%) | Pertes |        |
|----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------|--------|
|          |                                                      |                                                                               |                             |                                     | (kW)   | (kVAR) |
| Artère 1 | 712                                                  | 412,2                                                                         | Poteau 70201048             | 97,49                               | 11,8   | 8,3    |
| Artère 2 |                                                      | 286,4                                                                         | Poteau 70102073             | 99,33                               | 4,2    | 3,5    |

<sup>(1)</sup> Basée sur 40 % de la capacité totale de l'installation de production au diesel lorsqu'un des deux générateurs de 1,1 MW est en veille.

<sup>(2)</sup> Calculée sur le côté triphasé, haute tension de la charge.

Les capacités maximales recommandées ci-dessus pour les installations de production d'énergie renouvelable sont basées sur la charge maximale de demande obtenue à partir des informations de mesure de la demande de courant de la SÉQ.

Les résultats de l'analyse de charge pour le réseau existant et pour le cas où la source d'énergie renouvelable est ajoutée sont présentés dans les annexes 2.A, 2.B, 3.A et 3.B. Des tableaux comparant les tensions de bus, les courants de défaut maximum ainsi que les courants de ligne pour le réseau existant et lorsque les sources proposées d'énergie renouvelable sont connectées sont inclus dans les appendices 4.A et 4.B. Le courant de défaut maximum est calculé à la fois pour le réseau existant et pour le cas où la source d'énergie renouvelable est ajoutée, afin de vérifier que le courant de défaut à chaque bus du réseau ne diffère pas de manière significative du courant de défaut du réseau existant. Les résultats du calcul de court-circuit maximum pour chaque cas sont fournis dans les appendices 2.B et 3.B.

L'étude montre que l'ajout d'une source d'énergie renouvelable aux nœuds sélectionnés permet d'améliorer les profils de tension pour chaque artère d'alimentation du réseau et de réduire les pertes de puissance active, et réactive dans le réseau, comme le montre le tableau 6.

**Tableau 6 : Comparaison de la tension et des pertes dans le réseau**

| Détails                     | Sans installation de production d'énergie renouvelable |          | Avec l'ajout d'une installation de production d'énergie renouvelable |                 |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
|                             | Artère 1                                               | Artère 2 | Artère 1                                                             | Artère 2        |
| Emplacement de raccordement |                                                        |          | Poteau 70201048                                                      | Poteau 70202073 |
| Tension minimale (%)        | 87,37                                                  | 92,33    | 97,49                                                                | 99,33           |
| Pertes (kW)                 | 13,8                                                   | 16,2     | 11,8                                                                 | 4,2             |
| Pertes (kVAR)               | 12                                                     | 8,9      | 8,3                                                                  | 3,5             |

### **3. Conclusion et recommandations**

Les sources de production d'énergie renouvelable peuvent être utilisées pour fournir de l'énergie au réseau de distribution afin d'alimenter les clients en tenant compte de la demande maximale tout en maintenant la contribution de l'installation de production existante à son minimum. Augmenter la contribution de la centrale améliorera davantage la chute de tension et n'aura pas d'effet négatif sur les performances du réseau.

La capacité maximale calculée des installations de production d'énergie renouvelable peut être répartie entre différents types de production, tels que les PÉI, PÉCI et la facturation nette. Cependant, on suppose que la SÉQ veillera à équilibrer la nouvelle production distribuée sur les trois phases, en particulier la production par facturation nette.

L'étude recommande ce qui suit :

- Les facteurs maximum et minimum de demande pour les charges connectées à chaque artère sont calculés à partir du rapport entre la charge connectée à l'artère, y compris les pertes de l'artère, et les charges maximum et minimum enregistrées sur l'artère, y compris les pertes de l'artère. En raison de la topologie du réseau, les pertes au niveau des artères ne sont pas liées de façon linéaire à la charge de l'artère. Par conséquent, bien que les facteurs de demande calculés puissent produire des résultats acceptables, il est recommandé d'obtenir les facteurs de demande pour chaque charge individuelle afin d'obtenir des résultats plus précis.
- Les paramètres de protection doivent être fournis en tenant compte de la conception finalisée des sources de production d'énergie renouvelable.
- On s'attend à ce que l'analyse des harmoniques, de la stabilité de tension, de la stabilité du réseau et d'autres analyses requises soit effectuée conformément aux demandes spécifiques de raccordement de la production, en fonction du type, de la taille, de l'emplacement et des paramètres donnés de l'installation de production d'énergie renouvelable. Ces demandes devront respecter les exigences techniques d'interconnexion (ETI) en vigueur.