



BNQ

**Bureau de normalisation
du Québec**

CAN/BNQ 2501-500/2025

**Études géotechniques pour les fondations
de bâtiments et d'ouvrages d'art
dans les zones de pergélisol**

ccn  scc

NORME

CAN/BNQ 2501-500/2025

Études géotechniques pour les fondations de bâtiments
et d'ouvrages d'art dans les zones de pergélisol

*Geotechnical Site Investigations for Foundations
of Building or Structure in Permafrost Zones*



BNQ
Bureau de normalisation
du Québec

Bureau de normalisation du Québec

Le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) est un organisme québécois de normalisation créé en 1961. Il est l'un des organismes d'élaboration de normes accrédités par le Conseil canadien des normes (CCN) et, par conséquent, fait partie du système national de normes.

À titre d'unité administrative d'Investissement Québec (IQ), le BNQ produit des normes répondant aux besoins de l'industrie, des organismes publics et parapublics et des groupes concernés.

Le Bureau de normalisation du Québec consacre d'abord ses activités à la production de normes répondant aux besoins de l'industrie, des organismes publics et parapublics et des groupes concernés; il s'occupe également de la certification des produits, des processus et des services à partir des normes qu'il a élaborées, en apposant, lorsqu'il y a lieu de le faire, sa propre marque de conformité. Enfin, le BNQ offre un service d'information, en ce qui a trait aux normes tant québécoises que nationales et internationales, aux industriels désireux de se conformer aux normes dans l'optique de la fabrication et de l'exportation de produits divers et de la prestation de services.

Norme nationale du Canada

Une Norme nationale du Canada est une norme qui a été élaborée par un organisme d'élaboration de normes (OEN) titulaire de l'accréditation du Conseil canadien des normes (CCN) conformément aux exigences et lignes directrices du CCN. On trouvera des renseignements supplémentaires sur les Normes nationales du Canada à l'adresse : <https://www.scc.ca>.

Le CCN est une société d'État qui fait partie du portefeuille d'Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE). Dans le but d'améliorer la compétitivité économique du Canada et le bien-être collectif de la population canadienne, l'organisme dirige et facilite l'élaboration et l'utilisation des normes nationales et internationales. Le CCN coordonne aussi la participation du Canada à l'élaboration des normes et définit des stratégies pour promouvoir les efforts de normalisation canadiens.

En outre, il fournit des services d'accréditation à différents clients, parmi lesquels des organismes de certification de produits, des laboratoires d'essais et des organismes d'élaboration de normes. On trouvera la liste des programmes du CCN et des organismes titulaires de son accréditation à l'adresse : <https://www.scc.ca>.

DEUXIÈME ÉDITION — 2025-03-17

Cette nouvelle édition remplace celle du 20 février 2017.

La décision découlant de l'examen systématique qui permettra de déterminer si le présent document doit être modifié, révisé, reconduit ou archivé sera mise en œuvre au plus tard à la fin mars 2030.

ICS : 91.080.01; 93.020.

DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS ET D'ACHAT

Toute demande de renseignements ou d'achat concernant le présent document peut être adressée au Bureau de normalisation du Québec (BNQ) à l'adresse courriel suivante : bnqinfo@bnq.qc.ca ou via le site Web du BNQ [<https://www.bnq.qc.ca>].

RÉVISION DES DOCUMENTS DU BNQ

La collaboration des utilisateurs et des utilisatrices des documents du BNQ est essentielle à la mise à jour de ceux-ci. Aussi, toute suggestion visant à améliorer leur contenu sera reçue avec intérêt par le BNQ. Nous vous prions de nous faire parvenir vos suggestions ou vos commentaires en utilisant le formulaire que vous trouverez à la fin du présent document.

Le présent exemplaire du document, qu'il soit en format électronique ou qu'il soit imprimé, n'est destiné qu'à une utilisation personnelle. Toute distribution à des tiers, à des partenaires ou à des clients, ainsi que toute sauvegarde, diffusion ou utilisation dans un réseau informatique, est interdite, à moins qu'une entente particulière n'ait été conclue entre un acheteur enregistré et le BNQ.

Un avis par courriel mentionnant la publication d'une nouvelle édition d'un document révisé, de modificatifs ou d'erratas sera envoyé à l'adresse courriel utilisée lors de l'achat en ligne.

Les notifications et le catalogue peuvent être consultés en tout temps dans le site Web du BNQ [<https://www.bnq.qc.ca>] pour vérifier l'existence d'une édition plus récente d'un document ou de la publication de modificatifs ou d'erratas.

© BNQ, 2025

Tous droits réservés. Sauf prescription différente, aucune partie du présent document ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et le microfilmage, sans l'accord écrit du BNQ.

AVIS

COMPRÉHENSION DE LA NOTION D'ÉDITION

Il importe de prendre note que la présente édition inclut implicitement tout modificatif et tout errata qui pourront éventuellement être faits et publiés séparément. C'est la responsabilité des utilisateurs du présent document de vérifier s'il existe des modificatifs et des erratas.

INTERPRÉTATION

Les formes verbales conjuguées **doit** et **doivent** sont utilisées pour exprimer une exigence (à caractère obligatoire) qui doit être respectée pour se conformer au présent document.

Les expressions équivalentes **il convient** et **il est recommandé** sont utilisées pour exprimer une possibilité préférée, mais non exigée pour se conformer au présent document. Les formes verbales conjuguées **peut** et **peuvent** sont utilisées pour exprimer une suggestion ou un conseil utiles, mais non obligatoires, ou une autorisation.

À l'exception des notes mentionnées **notes normatives** qui contiennent des exigences (à caractère obligatoire), présentées uniquement dans le bas des figures et des tableaux, toutes les autres notes du document mentionnées **notes** sont **informatives** (à caractère non obligatoire) et servent à fournir des éléments utiles à la compréhension d'une exigence (à caractère obligatoire) ou de son intention, des clarifications ou des précisions.

Les **annexes normatives** fournissent des exigences supplémentaires (à caractère obligatoire) qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Les **annexes informatives** fournissent des renseignements supplémentaires (à caractère non obligatoire) destinés à faciliter la compréhension ou l'utilisation de certains éléments du présent document ou à en clarifier l'application, mais ne contiennent aucune exigence (à caractère obligatoire) qui doit être respectée pour se conformer au présent document.

La **graphie** de certains mots contenus dans ce document peut ne pas tenir compte de l'orthographe modernisée.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Le présent document a été élaboré à titre de document de référence à des fins d'utilisation volontaire. Le BNQ ne peut être tenu responsable d'aucun dommage pouvant découler de l'utilisation de ce document, de son interprétation ou de la mise en œuvre des exigences qui y sont prévues. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de s'assurer de vérifier si des lois ou des règlements rendent obligatoire l'utilisation du présent document ou si des règles de l'industrie ou des conditions de marché l'exigent, notamment, mais non limitativement, des règlements techniques, des plans d'inspection émanant d'autorités réglementaires, des programmes de certification. Il est également de la responsabilité de l'utilisateur de tenir compte des limites et des restrictions formulées dans le présent document et de juger de sa pertinence pour l'usage qu'il veut en faire.

EXIGENCES CONCERNANT LE MARQUAGE ET L'ÉTIQUETAGE

Il est possible que le présent document contienne des exigences concernant le marquage ou l'étiquetage, ou les deux. Dans cette éventualité, en plus de se conformer à ces exigences, les fournisseurs de produits ont la responsabilité de respecter les lois et les règlements nationaux, provinciaux ou territoriaux sur les langues en vigueur là où les produits sont distribués.

AVANT-PROPOS

La présente norme a été élaborée conformément aux exigences et lignes directrices du Conseil canadien des normes (CCN) pour les organismes d'élaboration de normes et approuvé par le CCN en tant que norme nationale du Canada. Sa publication a été approuvée par un comité de normalisation formé des membres suivants :

Fournisseurs

ARENSON, Lukas	BGC Engineering
GROZIC, Ed	Tetra Tech Canada
PIAMSALEE, Aron	Stantec Consulting

Utilisateurs

BROWN, Sara (présidente)	Northwest Territories Association of Communities (NWTAC)
DAIGNAULT, Lupin	Office d'habitation du Nunavik (OHN)
HABIYAREMYE, Faustin	Société du Plan Nord

Intérêt général

AULD, Heather	Climate Services International
BILODEAU, Jean-Pascal	Université Laval
LEWKOWICZ, Antoni G.	Université d'Ottawa

Gouvernements et organismes de réglementation

BADLEY, Warren	Ministère des Services aux collectivités — Gouvernement du Yukon
MUGHAL, Naeem	Ministère des Services communautaires et gouvernementaux — Gouvernement du Nunavut

THÉRIAULT, Yves

Relations Couronne-Autochtones et Affaires du
Nord Canada (RCAANC) — Gouvernement du
Canada

WARNER, Terry

Ministère de l'Infrastructure — Gouvernement
des Territoires du Nord-Ouest (GTNO)

Équipe de coordination du Bureau de normalisation du Québec (BNQ)

PINARD, Amélie

TREMBLAY, Carole

L'élaboration de la présente norme a été rendue possible grâce au soutien financier du Conseil canadien des normes (CCN).

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
1 OBJET	2
2 DOMAINE D'APPLICATION	3
3 RÉFÉRENCES NORMATIVES	4
3.1 GÉNÉRALITÉS	4
3.2 DOCUMENTS D'ORGANISMES DE NORMALISATION	4
3.3 AUTRE DOCUMENT	6
4 DÉFINITIONS	6
5 PLANIFICATION D'UNE ÉTUDE GÉOTECHNIQUE	11
5.1 PORTÉE D'UNE ÉTUDE GÉOTECHNIQUE	11
5.2 ÉLABORATION DU PROGRAMME D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE	12
6 QUALIFICATIONS	13
6.1 QUALIFICATION DE L'EXPERT-CONSEIL EN GÉOTECHNIQUE	13
6.2 QUALIFICATION DE L'ÉQUIPE CHARGÉE DE L'ÉTUDE DU SOUS-SOL	13
6.3 QUALIFICATION DES ORGANISATIONS RÉALISANT LES ESSAIS, LES ANALYSES ET LES INSPECTIONS	13
7 ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE DU SITE	13
7.1 GÉNÉRALITÉS	13
7.2 ÉVALUATION DOCUMENTAIRE	14
7.2.1 Généralités	14
7.2.2 Évaluation initiale des conditions climatiques	15
7.2.3 Sismicité	17
7.2.4 Géologie de surface et géomorphologie	17
7.2.5 Hydrologie des eaux de surface et des eaux souterraines	18
7.2.6 Couvert végétal	19
7.2.7 Zones de pergélisol et distribution locale	19
7.2.8 Caractéristiques du pergélisol	19
7.2.9 Caractéristiques propres au site	20
7.2.10 Accès au site du bâtiment ou de l'ouvrage d'art et logistique	21

	7.2.11	Historique de l'utilisation des sols	21
	7.2.12	Bâtiments ou ouvrages d'art voisins	21
	7.2.13	Disponibilité des matériaux d'emprunt	22
	7.3	VISITE DU SITE DU BÂTIMENT OU DE L'OUVRAGE D'ART	22
	7.4	NIVEAU DE RISQUE DU PROJET LIÉ AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	22
	7.5	RAPPORT	23
8		ÉTUDE DU SITE	23
	8.1	PROGRAMME D'ÉTUDE DU SITE	23
	8.2	ÉVALUATION DÉTAILLÉE DES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET AUTRES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	24
	8.2.1	Projections des changements climatiques	24
	8.2.2	Autres conditions environnementales	25
	8.3	TECHNOLOGIES DE TÉLÉDÉTECTION	26
	8.4	MÉTHODES D'ÉTUDE GÉOPHYSIQUE	26
	8.5	PROPRIÉTÉS DES SOLS	26
	8.5.1	Généralités	26
	8.5.2	Échantillonnage in situ	26
	8.5.3	Stratigraphie et cryostratigraphie	28
	8.5.4	Substrat rocheux	28
	8.5.5	Régime thermique du sol	29
	8.5.6	Propriétés géotechniques des sols	31
	8.5.7	Propriétés des sols à l'état gelé	31
	8.5.8	Propriétés thermiques	33
	8.6	PROPRIÉTÉS DU SUBSTRAT ROCHEUX	34
	8.6.1	Généralités	34
	8.6.2	Échantillonnage par carottage	34
	8.6.3	Stratigraphie et cryostratigraphie	35
	8.6.4	Désignation de la qualité de la roche (DQR)	35
	8.6.5	Température du substrat rocheux	35
	8.6.6	Résistance à la compression	35
	8.6.7	Salinité de l'eau souterraine	36
	8.7	CHIMIE DE L'EAU SOUTERRAINE	36
9		COMMUNICATION DES RÉSULTATS ET RECOMMANDATIONS	36
	9.1	GÉNÉRALITÉS	36
	9.2	PORTÉE DU RAPPORT	36
	9.3	CONDITIONS CLIMATIQUES	36
	9.4	SISMICITÉ	37
	9.5	GÉOLOGIE DE SURFACE ET GÉOMORPHOLOGIE	37
	9.6	HYDROLOGIE DES EAUX DE SURFACE ET DES EAUX SOUTERRAINES	37
	9.7	COUVERT VÉGÉTAL	37
	9.8	ZONES DE PERGÉLISOL ET DISTRIBUTION LOCALE	37

9.9	CARACTÉRISTIQUES PROPRES AU SITE	37
9.10	HISTORIQUE DE L'UTILISATION DU SOL	38
9.11	BÂTIMENTS ET OUVRAGES D'ART VOISINS	38
9.12	CONDITIONS DU SOUS-SOL	38
9.12.1	Caractérisation des conditions du sous-sol	38
9.12.2	Propriétés du sous-sol	38
9.12.3	Essais in situ, inspections et essais en laboratoire	39
9.13	RECOMMANDATIONS	40
9.13.1	Adéquation du bâtiment ou de l'ouvrage d'art	40
9.13.2	Recommandations relatives aux fondations et options de rechange	40
9.13.3	Préparation du site	42
9.13.4	Gestion des eaux de surface	42
9.13.5	Considérations et calendrier relatifs à la construction	42
9.14	PLANIFICATION DE L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE	42
9.15	LIMITES DE L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE	43
Tableau 1 —	Planification des visites du site du bâtiment ou de l'ouvrage d'art et des études de site	44
Annexe A —	Programme d'étude géotechnique	45
Figure A.1 —	Éléments du programme d'étude géotechnique	46
Annexe B —	Changements climatiques et dégradation du pergélisol	47
Figure B.1 —	Évolution de la température moyenne annuelle dans l'Arctique	49
Photo B.1 —	Photo aérienne montrant des affaissements causés par le dégel du pergélisol près de Fort Simpson (T.N.-O.)	52
Annexe C —	Forage et échantillonnage	53
Photo C.1 —	Équipement de forage portatif avec carottier CRREL	55
Photo C.2 —	Foreuse pneumatique chenillée	56
Photo C.3 —	Petite tarière montée sur un transporteur à chenilles, installée avec une tarière pleine et un carottier CRREL (foreuse ranger)	56
Photo C.4 —	Petite tarière, transportable par véhicule tout-terrain	57
Photo C.5 —	Foreuse à tarière d'avant-trou	58
Photo C.6 —	Tarière typique montrée sur un transporteur à chenilles	59
Photo C.7 —	Carottier CRREL et échantillon de pergélisol non remanié de sol gelé à grains fins	59
Photo C.8 —	Foreuse à diamant typique à saumure refroidie	60

Photo C.9 —	Échantillons non remaniés de grande qualité de matériaux de tills granulaires obtenus avec une foreuse à diamant à saumure refroidie	61
Photo C.10 —	Petite foreuse sonique sur un transporteur à chenilles	62
Tableau C.1 —	Comparaison d'équipements et de méthodes de forage	65
Tableau C.2 —	Équipements de forage pour l'étude du substrat rocheux	71
Annexe D —	Méthodes d'étude géophysique au sol	72
Photo D.1 —	Équipement de tomographie de résistivité électrique (TRE)	73
Photo D.2 —	Installation d'électrodes pour appareil de tomographie de résistivité électrique (TRE)	73
Photo D.3 —	Équipement de radar à pénétration de sol – Antenne 12,5 MHz	74
Photo D.4 —	Équipement de radar à pénétration de sol – Antenne en ligne 80 MHz	74
Tableau D.1 —	Caractéristiques des méthodes d'étude géophysique	75
Annexe E —	Courbe en trompette de la température	78
Figure E.1 —	Exemple de courbe en trompette de la température	78
Annexe F —	Liste de vérification	79
Annexe G —	Références informatives	82
Annexe H —	Références informatives de l'annexe B	87
Annexe I —	Bibliographie	91

INTRODUCTION

Les études géotechniques revêtent une importance primordiale pour sélectionner la conception, la construction et l'entretien adéquats des bâtiments et ouvrages d'art. Dans les zones de pergélisol, ces études présentent un degré accru de complexité en raison des facteurs suivants :

- a) la présence potentielle de glace dans le sol ou dans le substrat rocheux, dont les propriétés dépendent de plusieurs paramètres, notamment, sans toutefois s'y limiter, la température et la salinité;
- b) l'influence des changements climatiques, qui modifient le régime thermique du sol et, par conséquent, changent les propriétés du pergélisol;
- c) la présence de sols salins.

La présente norme a été élaborée dans le but d'établir une méthodologie cohérente pour la réalisation d'études géotechniques qui comprennent la collecte des données ainsi que l'évaluation des conditions propres aux sites et la communication des résultats en tenant compte des conditions climatiques saisonnières et interannuelles de même que des conditions climatiques projetées pour la durée de vie utile des fondations des bâtiments ou des ouvrages d'art. À long terme, puisqu'une mauvaise évaluation du site peut entraîner des dommages permanents, la présente norme contribuera à réduire les problèmes d'entretien persistants.

Le niveau de détail d'une étude géotechnique qui vise à obtenir l'information adéquate d'un site en vue de sélectionner et de concevoir le type de fondations approprié pour un bâtiment ou un ouvrage d'art dans une zone de pergélisol peut varier en fonction de nombreux facteurs. Il en va de même pour les plans de réhabilitation des fondations d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art existant situé dans une zone de pergélisol.

La présente norme est élaborée de manière à tenir compte des contraintes propres au Nord et de la diversité des projets de construction.

La présente norme prévoit également que chaque projet est mené dans un cadre de gestion des risques pour évaluer l'impact des changements climatiques selon le document CSA PLUS 4011. Chaque projet se voit attribuer un niveau de risque basé sur la sensibilité du site aux changements climatiques et la conséquence d'une défaillance potentielle des fondations du bâtiment et de l'ouvrage d'art. Pour les projets à risque modéré ou élevé, l'étude géotechnique sera beaucoup plus détaillée que pour les projets dont le risque est faible ou négligeable. La présente norme prévoit une certaine souplesse pour permettre d'adapter l'étude géotechnique en fonction des résultats préliminaires obtenus qui sont susceptibles d'influencer la portée des travaux lors de la réalisation de l'étape suivante. Des dangers et des risques liés à des considérations autres que les changements climatiques peuvent également être inclus dans le programme d'étude géotechnique, mais ne font pas partie de la présente norme.

Plus précisément, la norme définit une méthodologie cohérente pour les études géotechniques, mais comme de nombreux facteurs déterminent le niveau de détail nécessaire pour obtenir des données adéquates sur le site, la norme s'appuie sur le jugement de l'expert-conseil en géotechnique pour faire les recommandations appropriées au client. La norme prévoit également que l'expert-conseil en géotechnique et le client prennent les mesures nécessaires pour avoir une compréhension commune de l'ensemble des travaux à entreprendre tout au long du projet. Ce dialogue entre le client et l'expert-conseil en géotechnique permettra au client de prendre des décisions éclairées en tenant compte des risques.

La présente norme est la cinquième d'une série de normes nationales du Canada (NNC) novatrices, lesquelles visent à favoriser la durabilité et la résilience à long terme des infrastructures du Nord du Canada. Les quatre autres NNC, élaborées dans le cadre de l'Initiative de normalisation des infrastructures du Nord (ININ), sont les suivantes :

- a) CSA S500 — *Fondations à thermosiphon de bâtiments construits dans des régions pergélisolées;*
- b) CSA S501 — *Modérer les effets de la dégradation du pergélisol sur les fondations de bâtiments existants;*
- c) CSA S502 — *Gestion des risques liés aux charges de neige sur les infrastructures du Grand Nord canadien;*
- d) CSA S503 — *Planification, conception et maintenance de systèmes de drainage dans les communautés du Nord.*

Toutes ces NNC sont complémentaires; elles contribuent à l'atteinte du même objectif qui est d'aider le Grand Nord canadien à se doter d'infrastructures résilientes en dépit des incertitudes créées par les changements climatiques.

C'est aussi le cas du document CSA PLUS 4011 *Guide technique : Infrastructure dans le pergélisol : lignes directrices pour l'adaptation au changement climatique*. Il s'agit d'un document clé dont la première édition a été publiée en 2010 et rééditée en 2019 qui permet de mieux comprendre les répercussions potentielles des changements climatiques sur les infrastructures du Nord du Canada.

1 **OBJET**

La présente norme comprend des lignes directrices et des exigences afin d'assurer la réalisation cohérente et adéquate de toutes les étapes d'une étude géotechnique (planification, exécution, rapport) pour les fondations de bâtiments ou d'ouvrages d'art construits en zone de pergélisol.

La présente norme fournit une méthodologie rigoureuse pour la réalisation d'études géotechniques qui vise à obtenir l'information adéquate d'un site en vue de concevoir ou de réhabiliter les fondations de bâtiments ou d'ouvrages d'art en tenant particulièrement compte, dans un cadre de gestion des risques climatiques, des conditions qui prévalent sur le site, y compris :

- a) les caractéristiques distinctives du pergélisol;
- b) les conditions climatiques saisonnières et interannuelles de même que les conditions climatiques projetées pour la durée de vie utile des fondations du bâtiment ou de l'ouvrage d'art.

2 **DOMAINE D'APPLICATION**

La présente norme s'applique aux études géotechniques réalisées dans des zones de pergélisol afin de fournir les renseignements essentiels à la conception, à la construction et à l'entretien ou la réhabilitation des nouvelles fondations de tout type de bâtiment ou d'ouvrage d'art et des fondations de bâtiments ou d'ouvrages d'art existants.

NOTE — Les principes établis dans la présente norme peuvent s'appliquer à d'autres types d'infrastructure située dans des zones de pergélisol, mais il revient à l'utilisateur de déterminer si la présente norme convient à ses besoins.

Elle s'applique également à l'évaluation des conditions propres au site dans le cadre de l'étude géotechnique.

La présente norme s'applique uniquement aux dangers et risques liés aux changements climatiques et autres considérations environnementales.

Elle ne s'applique pas à la surveillance postconstruction d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art.

NOTE — Les utilisateurs de la présente norme qui souhaitent obtenir des renseignements sur d'autres aspects liés aux conditions, à la conception, à la surveillance et à la planification de la remise en état, qui ne sont pas couverts par la présente norme, peuvent se référer à d'autres documents, entre autres le document CSA S501.

Tous les aspects qui ne relèvent pas de la géotechnique ne sont pas couverts par la présente norme.

La présente norme est principalement destinée aux experts-conseils en géotechnique, mais elle peut également être utile aux propriétaires et aux concepteurs de bâtiments ou d'ouvrages d'art, aux entrepreneurs et aux organismes de réglementation.