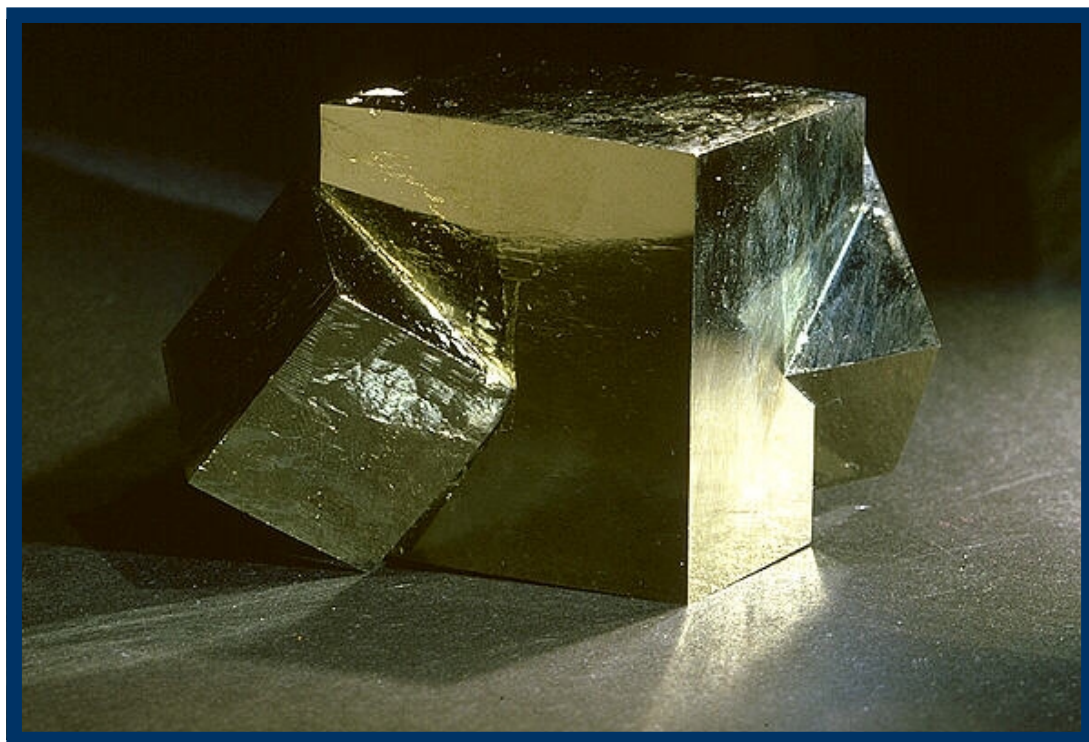


∞ LA PYRITE ∞

ANALYSE STATISTIQUE DE RAPPORTS D'EXPERTISE CTQ-M200 RELEVANT LES DOMMAGES STRUCTURAUX ATTRIBUABLES À LA PRÉSENCE DE PYRITE DANS LES REMBLAIS SOUS DALLES DE BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS



Préparé pour :



**Par :
Marie-Claude Cormier**

**École Polytechnique de Montréal
Décembre 2000**

AVANT PROPOS

Ce rapport a été conçu, premièrement dans le cadre d'un stage industriel effectué à l'École Polytechnique de Montréal, par la suite, il a été complété lors du projet de fin d'études.

Il a été réalisé par Marie-Claude Cormier sous la direction de Denis Marcotte.

Marie-Claude Cormier, étudiante

Denis Marcotte, Professeur

REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Denis Marcotte pour sa souplesse ainsi que la confiance qu'il m'a accordée tout au long de ce stage. Merci à François Côté pour ses conseils et explications. Merci spécial aux membres de l'ACQC pour leur appui.

Je tiens également à remercier les gens qui m'ont aidé dans la cueillette d'informations sur la pyrite, ainsi que les laboratoires qui m'ont permis de consulter leurs dossiers :

Marie-Claude Bourque de **Inspec-Sol**,
Charles Simard et Tommy Falardeau de **Labo-SM**,
Serge Leroux et Yvon Latreille de **LVM-Fondatec**,
Michel Dussault et Michel Moncho de **Quéformat**,
Jean-Léo Guimond de **Technisol**.

Je tiens à remercier spécialement la Société d'habitation du Québec pour le financement octroyé ainsi que monsieur Benoît Denis pour avoir appuyé le projet.

RÉSUMÉ

Un certain nombre de bâtiments résidentiels sont atteints de problèmes de gonflement surtout attribuables à la présence de pyrite dans les remblais sous dalle. Depuis quelques années, plusieurs laboratoires d'essais ont effectué globalement des milliers d'expertises de résidences selon le protocole CTQ M-200. Bien que les causes des endommagements des dalles soient bien connues, le fait qu'aucune analyse statistique systématique des rapports d'expertises n'ait été menée empêche de cerner l'ampleur exacte de ce phénomène. Notre étude vise à combler cette lacune.

Le but de ce travail est de constituer une base de données des expertises des laboratoires et d'en extraire, par une analyse statistique poussée, toute l'information pertinente relative au problème de l'endommagement des dalles de béton. Les objectifs poursuivis sont :

- de décrire l'évolution dans le temps des principales variables (caractéristiques des remblais et dalles).
- d'identifier les principales variables liées à la présence de dommages.
- de déterminer s'il existe une interaction entre les variables liées à l'apparition de dommages et les provenances des données (laboratoires et municipalités).
- de décrire l'importance actuelle du problème d'endommagement et effectuer, tenant compte du vieillissement des maisons, des projections à moyen terme du nombre de nouveaux cas attendus.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons répertorié 2486 cas (sous-sols et garages confondus) représentant 1700 maisons (construites avant 1996) et provenant de cinq laboratoires d'essais différents. La banque de données couvre 26 villes, les plus peuplées de la rive sud de Montréal. Au total, une soixantaine de variables ont été extraites de chaque rapport et seules les expertises faites après le 20 juillet 1999, date où l'utilisation du protocole CTQ M-200 était généralisée et systématique, ont été considérées afin d'assurer une plus grande uniformité des données.

Utilisant les fissures (nombre, ouverture, aspect), soulèvements et autres dommages observables lors du relevé visuel et notés dans les rapports d'expertises, nous avons défini un indice quantifiant les dommages observés. Cet indice de dommages a été subdivisé en 3 catégories (dommages nuls ou faibles, moyens, élevés). Nous avons examiné la distribution dans le temps de l'indice et de la proportion des maisons endommagées et d'autres variables importantes. Nous avons effectué des analyses discriminantes afin d'identifier les variables les plus corrélées à l'indice de dommages et des régressions ont permis de tester l'influence sur ces variables des laboratoires et des municipalités (lien possible avec la géologie par la nature des sols, la position de la nappe phréatique, le drainage, la provenance des remblais, etc.). Finalement, une analyse discriminante a été utilisée pour prédire l'évolution temporelle du nombre de cas sur une période de 10 ans.

Un premier point que notre étude a démontré est l'incidence plus grande des dommages élevés au garage (16,4%) qu'au sous-sol (6,6%). Nous retrouvons cette même prévalence pour la sulfatation (garage, 27,1% ; sous-sol, 11,3%). Une très bonne concordance existe entre ces statistiques et les valeurs moyennes d'IPPG au garage (31,9) et au sous-sol (8,6). Le fait d'utiliser un remblai de moindre qualité au garage a donc des répercussions importantes sur l'endommagement et la sulfatation des dalles.

Un second point mis en lumière est la forte corrélation entre l'IPPG et la probabilité qu'une maison présente des dommages élevés. En effet, les proportions des maisons démontrant un niveau élevé de dommages sont de 3%, 15% et 30% pour les IPPG compris entre 0-10, 10-20 et 20-100 respectivement. La valeur d'IPPG fixée à 10 pour déterminer les cas qui peuvent être considérés problématiques semble donc être un excellent seuil. Un lien similaire a pu être établi entre dommages élevés et calibre du remblai avec des proportions de 2%, 3% et 23% pour des remblais de sable, de pierres nettes (comprenant tous les calibres supérieurs à 5mm ex : 5-20, 5-56, 20, 20-56) et de pierres étalées (criblures (0-5 et 0-10), 0-20, 0-56...). Cependant, nous avons constaté que les pierres nettes possèdent généralement des IPPG faibles.

Nous avons identifié une évolution parallèle dans le temps de l'indice de dommages, de l'IPPG et du calibre du remblai. Ainsi, les maisons plus anciennes montrent des proportions avec dommages élevés très supérieures aux maisons plus récentes. De

même, les maisons plus récentes montrent des IPPG plus faibles et des remblais plus « nets ». Une bonne partie de la relation entre l'indice de dommages et le temps peut donc s'expliquer par l'utilisation, antérieurement, de remblais de moindre qualité.

Nous avons relevé une forte association entre l'IPPG et la sulfatation de la dalle et noté qu'aucun cas de sulfatation n'a été observé en présence d'un polyéthylène (213 cas).

L'analyse discriminante (AD) effectuée sur les groupes établis selon le niveau de dommages a identifiée les variables suivantes comme significatives (par ordre d'importance) : IPPG, calibre du remblai, et âge de la résidence. Ces variables ont permis de bien classer, au sous-sol, 84% des observations. La grande majorité des observations mal classées sont des maisons classées « endommagées » par l'AD mais pour lesquelles peu de dommages ont été rapportés. Presque toutes les maisons classées « non-endommagées » ne présentaient effectivement aucun dommage (99,3%). On peut donc utiliser les résultats de l'AD avec confiance pour valider et accepter un ensemble donné de paramètres pour les dalles et remblais.

Le calcul des probabilités d'appartenance des résidences au groupe « endommagé » fourni par l'analyse discriminante a permis de prévoir une augmentation de 6,6% (pourcentage de cas connus) à 7,9% des cas d'endommagement au sous-sol sur une période de 10 ans. Au delà de cette période, la proportion des maisons présentant un problème d'endommagement devrait se stabiliser ou même décroître en raison de l'amélioration de la qualité des remblais utilisés pour les constructions neuves.

En conclusion, cette étude a permis d'identifier l'IPPG et le calibre du remblai comme les facteurs les plus importants liés à l'endommagement des dalles de béton et à la sulfatation de celles-ci. L'étude a montré l'efficacité du polyéthylène pour empêcher la sulfatation de la dalle. Il est apparu que même en tenant compte des particularités des cas traités par chaque laboratoire, il subsiste des différences significatives entre laboratoires quant à la valeur moyenne de l'IPPG. Par contre les dommages semblent rapportés de façon uniforme par les laboratoires. Au cours des 10 prochaines années, on prévoit que le nombre additionnel de maisons présentant des dommages élevés au sous-sol représentera moins de 20% du nombre de cas existant actuellement.

TABLE DES MATIÈRES

<i>Avant Propos</i>	<i>I</i>
<i>Remerciement</i>	<i>II</i>
<i>Résumé</i>	<i>III</i>
<i>Table des Matières</i>	<i>VI</i>
<i>Liste des Annexes</i>	<i>IX</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>IX</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>X</i>
1- Introduction	1
1.1 Problématique	1
1.2 Historique	1
1.3 Objectifs	2
2 – L'Apparition de Dommages	4
2.1 Provenance de la pyrite	4
2.2 Mécanismes de réaction	6
2.2.1 Oxydation de la pyrite	7
2.2.2 Formation de gypse	7
2.2.3 Gonflement du remblai	8
2.3 Désordres associés	9
3 - Les Expertises	10
3.1 Relevé visuel	10
3.2 Réalisation des sondages	11
3.3 Essais en laboratoire	11
3.3.1 Étude du béton	11
3.3.2 Analyse granulométrique	12
3.3.3 Étude pétrographique	12
3.3.4 Étude des matériaux du terrain naturel	13
4 - Étude Statistique	14
4.1 Statistique sur la banque de données	14
4.1.1 Démarches suivies pour la cueillette de données	14
4.1.2 Laboratoires	14
4.1.3 Données recueillies	15
4.1.4 Cause de la réalisation d'une expertise de pyrite	17
4.1.5 Région	17
4.1.6 Distribution des cas par villes	18
4.1.7 Âge des maisons	19

4.2	Statistiques de construction	20
4.2.1	Statistiques de construction - Présence d'un pare vapeur	20
4.2.2	Statistiques de construction - Calibre du remblai	22
4.2.3	Statistiques de construction - Nature du remblai	22
4.2.4	Statistiques de construction - Épaisseur de béton	23
4.2.5	Statistiques de construction - Épaisseur de remblai	24
4.2.6	Statistiques de construction - IPPG	25
4.2.7	Comparaison des caractéristiques au sous-sol et au garage	25
4.3	Statistique sur la présence de dommages et de sulfatation	26
4.3.1	PROBABILITÉ D'AVOIR DES DOMMAGES	30
4.3.1.1	Dommages VS IPPG	30
4.3.1.2	Dommages VS nature du remblai	30
4.3.1.3	Dommages VS calibre du remblai	31
4.3.1.4	Dommages VS épaisseur de remblai	31
4.3.1.5	Dommages VS année de construction	32
4.3.2	PROBABILITÉ DE SULFATATION	33
4.3.2.1	Sulfatation VS IPPG	33
4.3.2.2	Sulfatation VS nature du remblai	33
4.3.2.3	Sulfatation VS calibre du remblai	34
4.3.2.4	Sulfatation VS épaisseur de remblai	34
4.3.2.5	Sulfatation VS année de construction	35
4.4	Analyse multivariable	36
4.4.1	Effet de la variable laboratoire	36
4.4.1.1	Effet sur l'IPPG	36
4.4.1.2	Effet sur l'établissement des cas endommagés	38
4.4.2	Analyse discriminante	38
4.4.2.1	Présentation de la méthode	38
4.4.2.2	Résultats sur la prédiction de l'endommagement	41
4.4.2.3	Résultats sur la prédiction de la sulfatation	43
4.5	Étude dynamique des probabilités d'endommagement	45
4.5.1	Effet temporel des variables	45
4.5.1.1	Sous-sol	46
4.5.1.2	Garage	48
4.5.2	Prévision à moyen terme	49
5	Discussion et analyse des résultats	51
5.1	Présence de dommages	51
5.1.1	Épaisseur de remblai	52
5.1.2	IPPG et calibre du remblai	53
5.1.3	Nature du remblai	56
5.1.4	Âge de la maison	57
5.1.5	Épaisseur de béton	58
5.1.6	Les laboratoires	58
5.1.7	Les villes	59
5.1.8	Résultats de l'analyse discriminante	60

5.2	Sulfatation	62
5.3	Expertises répertoriées	64
6	<i>Conclusion</i>	65
7	<i>Recommandation</i>	67
7.1	Les expertises	67
7.1.1	Le relevé visuel	67
7.1.2	Les analyses au laboratoire	69
7.2	Construction de nouvelle maison	69
7.3	Banque de données	70
	<i>Bibliographie</i>	71

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE A : Clé du codage des variables*
ANNEXE B : Rapport type du Comité technique québécois
ANNEXE C : Probabilité de gonflement et de sulfatation par ville
ANNEXE D : Extraits du Code national de construction de maisons et Guide illustré-Canada, 1998
ANNEXE E : Extraits du Code canadien de construction d'habitations, 1990
ANNEXE F : Tableaux résumant les probabilités de gonflement et de sulfatation selon les différents paramètres

LISTE DES FIGURES

- Figure 2.1 : Stratigraphie de la région de Montréal* _____ 4
Figure 2.2: Pyrite framboïdale vue au microscope _____ 6

Figure 4.1 : Région ciblée par la banque de données _____ 17
Figure 4.2: Proportion de cas dans chaque ville pour chaque laboratoire _____ 37

Figure 5.1 : Distribution des cas endommagés, sulfatés ou ayant les deux phénomènes. _____ 51
Figure 5.2 : Graphique sur les probabilités d'endommagement en fonction de l'épaisseur de remblai. _____ 53
Figure 5.3 : Graphique sur les probabilités d'endommagement en fonction de l'IPPG. _____ 54
Figure 5.4 : Organigrammes (endommagement en fonction de l'IPPG et du calibre du remblai) 55
Figure 5.5: Distribution des probabilités de gonflement pour l'ensemble des cas. _____ 59
Figure 5.6 : Relation entre la présence de sulfatation et l'IPPG moyen par groupe d'âge. _____ 63

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 3.1 : Faciès pétrographiques fréquents et IPPG associé</i>	12
<i>Tableau 3.2 : Exemple d'un calcul d'IPPG</i>	13
<i>Tableau 4.1 : Cause de la réalisation d'une expertise de pyrite</i>	17
<i>Tableau 4.2 : Fréquence d'utilisation des polyéthylènes</i>	20
<i>Tableau 4.3 : Fréquence d'utilisation des polyéthylènes pour les constructions de 1990 et plus</i>	21
<i>Tableau 4.4 : Comparaison des caractéristiques au sous-sol et au garage</i>	25
<i>Tableau 4.5: Image de la situation actuelle (en l'an 2000) sur les probabilités d'avoir des dommages et la présence de sulfatation au sous-sol</i>	28
<i>Tableau 4.6 : Image de la situation actuelle (en l'an 2000) sur les probabilités d'avoir des dommages et la présence de sulfatation au garage.</i>	29
<i>Tableau 4.7 : Proportion des IPPG dans chaque catégorie selon les laboratoires</i>	36
<i>Tableau 4.8: Probabilité d'endommagement par laboratoire</i>	38
<i>Tableau 4.9 : Prévion pour le sous-sol</i>	50
<i>Tableau 4.10 : Prévion pour le garage</i>	50
<i>Tableau 5.1 : Comparaison des cas au garage et au sous-sol</i>	52
<i>Tableau 5.2 : Augmentation du nombre de cas endommagé</i>	61

1- INTRODUCTION

1.1 Problématique

L'endommagement des dalles de béton des bâtiments résidentiels est un problème pouvant avoir d'importantes répercussions économiques pour l'ensemble de la société. Depuis quelques années, la pratique d'exiger une expertise au moment de la vente des maisons (suivant la procédure CTQ-M200) a permis d'assembler une quantité considérable de données qui, malheureusement, se trouvent dispersées en plusieurs endroits. La conséquence est que l'on mesure encore mal l'ampleur réelle du problème et qu'il est difficile d'effectuer des pronostics éclairés quant à l'évolution de celui-ci surtout si l'on désire tenir compte de l'évolution des techniques de construction, comme l'utilisation accrue de membrane de polyéthylène sous la dalle et la meilleure sélection des remblais grâce à une caractérisation du potentiel gonflant de ceux-ci (CTQ-M100).

Les mécanismes de réactions reliés au gonflement du shale pyriteux ont été bien établis depuis les dix dernières années. Cependant, le problème demeure complexe car des fissures ou un soulèvement de dalle ne sont pas nécessairement causés par la pyrite. Inversement, même en l'absence de fissures, il peut y avoir un potentiel de gonflement. Les réactions se produisant dans un milieu ouvert, de nombreux facteurs externes rendent le problème difficile à prévoir.

1.2 Historique

Les premiers cas de gonflement liés à la pyrite ont été identifiés en 1935 dans l'état d'Ohio aux États-Unis. On parlait alors de déformations structurales dues à la présence de shale noir pyriteux. Les déformations ont été décrites comme continues et elles se manifestent plusieurs années après la construction du bâtiment. Au Canada ce n'est que

vers 1970 que le phénomène fit son apparition dans la région d'Ottawa, où l'on a relevé des soulèvements de 76 mm dus au gonflement du roc sous-jacent. Par la suite, en 1975 un texte fût publié résumant les principes et les réactions causant le gonflement des argiles pyriteuses ainsi que les dommages qui y sont associés. Ce n'est qu'en 1985 que des cas de gonflement ont été identifiés dans la région de Montréal. À cette époque, l'on croyait qu'il s'agissait de quelques cas isolés. Mais à l'automne 1998, le reportage télévisé «*La Fracture*» mets finalement à jour l'ampleur du problème. Depuis, plus d'un millier de personnes ont signalé que leur maison semblait avoir les symptômes associés au gonflement sulfatique. La majorité des déformations structurales observées semblent créées par un changement de volume dans les matériaux de fondation plutôt que dans le roc sous-jacent.

1.3 Objectifs

L'objectif principal de cette étude vise à quantifier l'ampleur de la problématique du gonflement lié à la pyrite. Plusieurs auteurs ont déjà signalé l'importance de procéder à de telles études. Notamment, François Côté (1990) dans son mémoire de maîtrise intitulé : Expansion de shales pyriteux, mentionne ; « Plusieurs autres études pourraient être complétées et améliorer les connaissances déjà acquises. Par exemple, une étude qui dénombrerait et localiserait tous les cas de gonflement non répertoriés permettrait de démontrer l'ampleur du problème dans le but de sensibiliser le plus d'intervenants possible. ». Dans un deuxième temps, l'étude permettra d'obtenir de l'information sur la qualité des constructions pour la région ciblée. Finalement, la construction d'une base de données considérable nous permettra de procéder à une étude statistique approfondie sur les paramètres de construction favorables au gonflement.

La page suivante démontre schématiquement le chemin emprunté afin d'arriver à concrétiser nos objectifs.

Construction de la base de données

(1700 maisons provenant de la Rive-Sud)

codification des données



Analyse Statistique Corrélation

Modèle mathématique permettant de corréler les dommages en fonction de :

- IPPG
- Âge
- Présence d'un polyéthylène
 - Calibre du remblai
 - Épaisseur du remblai
- Épaisseur de la dalle de béton
- Localité (aspect géologique et hydrologique)



Analyse Statistique Prévision

Pour les anciennes maisons :

- Établir les statistiques de construction
- Proportions actuelles des bâtiments sujets au gonflement dû à la pyrite dans les remblais et à la sulfatation de la dalle de béton
- Prédire une évolution de la problématique dans le temps



Discussion et recommandations

2 – L'APPARITION DE DOMMAGES

2.1 Provenance de la pyrite

La pyrite est un sulfure de fer (FeS_2) que l'on retrouve en petits grains dans plusieurs types de roches selon des pourcentages variables (1% à 10%). Le principal faciès pétrographique reconnu comme étant le grand responsable du gonflement est le shale argileux. Dans la région de Montréal, nous le retrouvons surtout dans la formation géologique du Shale d'Utica. Certaines autres unités sont également considérées comme ayant un potentiel gonflant, soit le sommet du Trenton et la base du Lorraine. Ces formations sont indiquées en rouge sur la [figure 2.1](#).

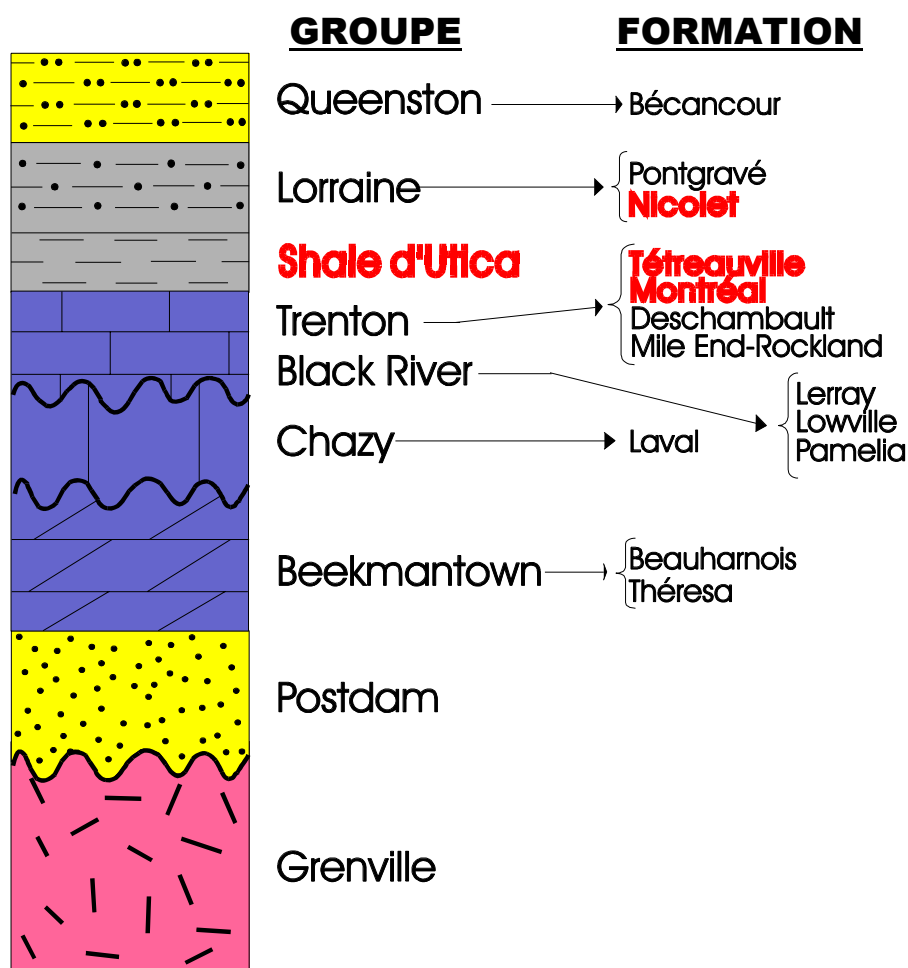


Figure 2.1 : Stratigraphie de la région de Montréal

Le groupe de Trenton

Le groupe de Trenton est composé de calcaires cristallins et fossilifères à la base de la stratigraphie. Plus nous nous retrouvons vers le haut de la séquence sédimentaire plus les calcaires sont argileux. Les formations de **Montréal** et de **Tétreauville** sont donc constituées de calcaire argileux qui est favorable à la présence de pyrite sédimentaire. Elles présentent donc un potentiel gonflant, plus particulièrement la formation de Tétreauville qui est caractérisée par une abondance de lit de shale calcaireux.

Les Shales d'Utica

Cette formation est le résultat d'un lent dépôt de sédiments fins en eaux très profondes. Elle est composée de shale noir argileux comme son nom l'indique. Elle atteint une épaisseur allant jusqu'à 200 mètres. Le shale de cette unité a la propriété de se déliter en plaquettes lorsqu'on le soumet à des cycles de mouillage et de séchage. De plus, il contient de la pyrite microcristalline ce qui lui confère toutes les caractéristiques d'un matériau potentiellement gonflant.

Le groupe de Loraine

La base de ce groupe se caractérise par la formation de **Nicolet**. Elle est constituée de dépôts terrigènes de granulométries fines interstratifiées de grès et de calcaire. L'apparition de plus en plus importante de dépôts de calcaires permet de définir la formation **Pontgravé**. La formation de Nicolet contient donc des quantités importantes d'argiles, de la matière organique ainsi que des teneurs en pyrite allant de 1 à 8%. Elle présente donc un potentiel gonflant qui mérite considération.

De nombreuses carrières ont longtemps exploité ces formations potentiellement gonflantes dans la région de Montréal. Ce qui a eu pour conséquence d'affecter le domaine de la construction résidentielle. En effet, ces matériaux ont servi de remblai dans plusieurs cas, ce qui a créé le phénomène que l'on connaît : Les problèmes de gonflement liés à la présence de pyrite dans les remblais sous dalle.

2.2 Mécanismes de réaction

Les mécanismes de réaction ont été bien établis, voir Côté (1990), elles ne seront que brièvement citées dans ce rapport afin de remémorer au lecteur les principales composantes.

Il existe deux formes de pyrite : la pyrite cubique qui est stable et la pyrite framboïdale, [figure 2.2](#), qui est instable. Les grains de pyrite associés aux roches argileuses sont généralement instables. Ce deuxième type de pyrite peut s'oxyder en présence d'humidité puis réagir avec les carbonates pour former du gypse. Lorsque celui-ci se forme, il occupe un volume beaucoup plus important que la pyrite, d'où le gonflement du remblai et, éventuellement, le soulèvement de la dalle et sa fissuration. D'autre part, si les solutions chimiques formées lors de l'oxydation sont absorbées par le béton, cela peut entraîner la sulfatation et le gonflement de la dalle. Il y a donc deux composantes possibles dans le gonflement total, soit celui du remblai et celui de la dalle.

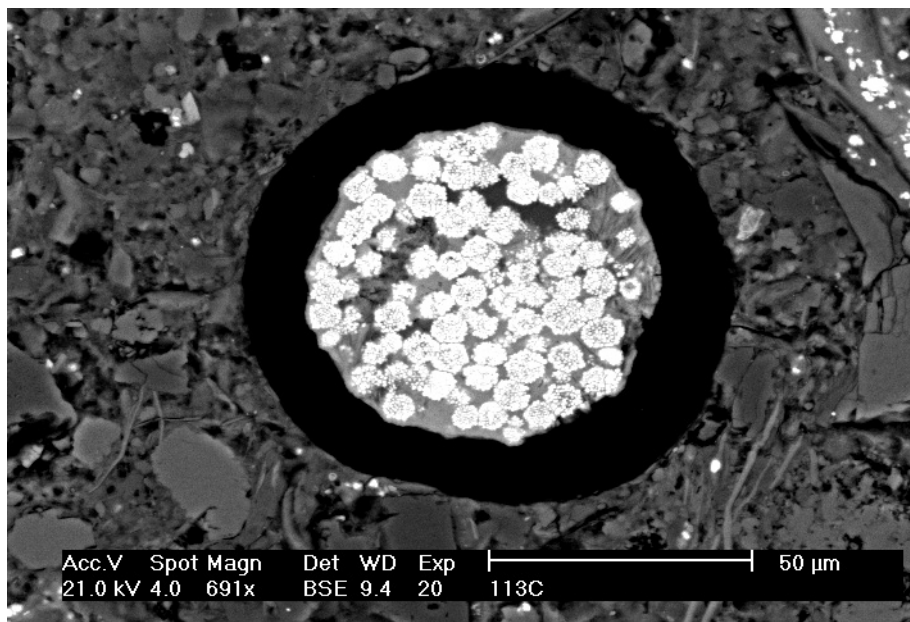


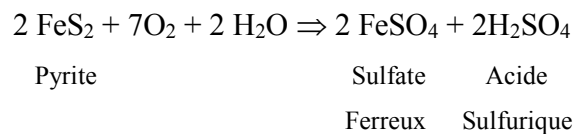
Figure 2.2: Pyrite framboïdale vue au microscope

2.2.1 Oxydation de la pyrite

Le terme pyrite est ici employé au sens large et inclut tous les sulfures instables chimiquement.

L'altération de la pyrite est un processus d'oxydation chimique et microbiologique. La réaction d'oxydation du sulfure de fer donne du sulfate et plusieurs chercheurs croient que cette réaction est facilitée par l'action de bactéries.

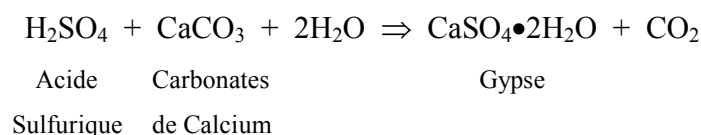
La pyrite s'oxyde en présence d'humidité et d'oxygène selon :



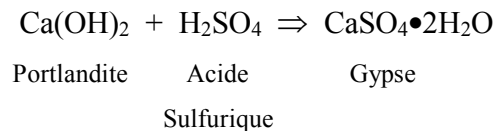
Le volume d'acide sulfurique produit est proportionnel à la quantité de pyrite présente dans la roche d'origine.

2.2.2 Formation de gypse

La réaction précédente donne lieu à un milieu acide, ce qui favorise la mise en solution des carbonates pour rétablir le pH. L'acide sulfurique qui se trouve en excès réagit donc avec les carbonates et provoque la formation de sulfates de calcium, c'est-à-dire du gypse selon :



Par contre, si les conditions ne permettent pas la précipitation du gypse dans le remblai, il est possible que les sulfates puissent migrer par capillarité (si le milieu est propice) vers la dalle de béton et en causer la détérioration. L'acide sulfurique attaque la portlandite de la pâte de ciment pour former du gypse selon :



Par la suite il y a création d'étringite secondaire qui attaque la pâte de ciment et entraîne la désintégration du béton.

L'acide sulfurique pénètre plus facilement dans un béton poreux. La qualité du béton est donc aussi en cause dans le phénomène de sulfatation des dalles de béton.

2.2.3 Gonflement du remblai

Nous avons vu que les carbonates se convertissent en gypse. Lors de cette transformation le volume augmente du simple au double, mais le plus important est la force de cristallisation du gypse. Dans des conditions idéales cette force peut être considérable. Lorsque le gypse se développe, il a tendance à former des cristaux aciculaires qui forcent les strates à s'écarter. Cela a pour conséquence de provoquer des soulèvements bien plus importants que ceux créés par l'augmentation de volume due à la formation de gypse.

Les facteurs qui contribuent à l'altération de la pyrite et au soulèvement des planchers ne sont pas encore précisément connus. Par contre, des études, actuellement en cours à l'Université de Sherbrooke, sur des structures endommagées démontrent l'existence de facteurs communs ; l'infiltration d'air, la présence d'humidité et des températures élevées. La vitesse et l'ampleur du gonflement dépendent donc de ces facteurs ainsi que de l'épaisseur du remblai et de la dalle, de la quantité de pyrite et de la composition du remblai. Celui-ci est problématique s'il est constitué de roches argileuses qui sont perméables à l'air et à l'eau et moins résistantes aux poussées du gypse.

2.3 Désordres associés

Pour le propriétaire d'un bâtiment résidentiel, la problématique d'un gonflement pyritique se manifeste premièrement par l'apparition de bombements sur la dalle de béton. Ceux-ci sont accompagnés par des fissures qui se développent le plus souvent en étoile à partir du centre des ces bombements. Un sous-produit blanchâtre est à l'occasion observé à l'intérieur des fissures. Dans les cas plus sévères, nous notons des soulèvements de plusieurs centimètres de la dalle provoquant des soulèvements et déformations des éléments architecturaux appuyés sur celle-ci (ex : flambage). Parfois la présence de fissures dans les murs de fondations est notée, ceux-ci peuvent même subir un déplacement latéral vers l'extérieur si l'épaisseur de remblai et les conditions sont favorables pour ce type de dommage. Le gonflement peut être accompagné d'une détérioration (sulfatation) du béton de la dalle sur sol.

Outre l'inconfort et les inconvénients reliés à la présence de planchers qui ondulent, les murs de partitions qui fissurent et les cadres de porte qui bougent, le gonflement pyritique ne semble aucunement nocif pour la santé des occupants et il affecte rarement l'intégrité structurale du bâtiment. Les fissures sont généralement perceptibles cinq à dix ans après la construction du bâtiment. Le soulèvement peut varier de 1 à 5 mm par année et peut s'échelonner sur plus de 40 ans.

Le problème du gonflement est complexe. Des fissures ou un soulèvement de dalle ne sont pas nécessairement causés par la pyrite, il peut s'agir d'un tassement différentiel ou d'un retrait du béton. Inversement, même en l'absence de fissures, il peut y avoir un potentiel de gonflement dû à la présence de remblai ou roc constitué de roches argileuses pyriteuses.

3 - LES EXPERTISES

Le 20 juillet 1999, le Comité technique québécois d'étude des problèmes associés à la pyrite a rendu public un protocole d'expertise qui permet de déceler la présence de faciès potentiellement gonflant sous les dalles de bâtiments existants. Le protocole d'expertise, appelé CTQ-M200, offre désormais aux propriétaires qui ont recours aux services de professionnels qualifiés, la possibilité d'obtenir un diagnostic fiable quant à la présence de pyrite ainsi qu'à la nature des problèmes déjà causés ou susceptibles de se produire. Il permet également aux propriétaires d'obtenir des précisions sur l'état de la situation de leur résidence. Le rapport type du Comité technique québécois est présenté en [annexe B](#).

Le protocole d'expertise sur les bâtiments résidentiels existants se compose de trois étapes distinctes, soit :

- Le relevé visuel,
- La réalisation des sondages,
- Les essais en laboratoire.

3.1 Relevé visuel

Le relevé visuel permet de déterminer si des désordres pouvant être reliés au gonflement du remblai sont présents.

Le relevé visuel est normalement effectué par les mêmes techniciens que ceux qui exécutent le forage et récupèrent l'échantillon. La première étape consiste à bien identifier le bâtiment; l'adresse civique, le type de construction, l'année de construction, le propriétaire et les raisons qui le pousse à effectuer une expertise de pyrite. Par la suite l'inspection des lieux est réalisée à l'aide des sections 2.2, 2.3 et 2.4 du rapport type du Comité technique québécois. Un croquis résume les désordres relevés sur les éléments visuellement observables.

3.2 Réalisation des sondages

En général un forage est nécessaire pour chaque niveau de dalle de béton, soit le niveau sous-sol ou le niveau de la rue. Le diamètre du forage peut varier mais dans la plupart des cas il est de 150 mm. La profondeur du forage dépend de l'emplacement de celui-ci. Un sondage réalisé au sous-sol devra permettre la récupération des matériaux granulaire sur toute leur épaisseur. De plus, les matériaux retrouvés sous le remblai granulaire (terrain naturel, emprunt granulaire, roc en place, etc.) devront être identifiés et récupérés sur une profondeur minimale de 150 mm. Dans le cas du sondage au garage les matériaux granulaires doivent être récupérés sur une profondeur minimale de 450 mm. Dans certains cas exceptionnels où un seul sondage est réalisé au garage et aucun au sous-sol, la norme du sous-sol s'applique.

Toutes les informations et remarques pertinentes, telles que la présence d'un vide entre la dalle et le remblai, la présence d'un pare vapeur, la profondeur de la nappe phréatique etc., doivent être notées. La section 3.2 du rapport type est prévu à cet effet.

3.3 Essais en laboratoire

Les essais en laboratoire se divisent en quatre grandes étapes : l'analyse du béton, l'analyse granulométrique et pétrographique des matériaux granulaires et l'étude des matériaux du terrain naturel.

3.3.1 Étude du béton

La dalle de béton est analysée afin de déterminer sa qualité générale, son épaisseur, la présence de décoloration et de sulfatation, la présence d'une membrane de polyéthylène, etc.

3.3.2 Analyse granulométrique

La distribution du calibre de l'échantillon est à cette étape identifiée selon la norme NQ 2560-040 jusqu'au tamis 5 mm.

3.3.3 Étude pétrographique

L'étude des matériaux granulaires inclut leur examen en mégascopie et la détermination de l'indice pétrographique du potentiel de gonflement (IPPG). L'IPPG est un indice et non un pourcentage variant entre 0 et 100. Il traduit le potentiel de gonflement d'un remblai constitué de plusieurs faciès pétrographique. Chaque faciès se voit attribuer une valeur d'IPPG entre 0 (potentiel nul) et 1 (potentiel élevé). Cette valeur est corrigée par la fraction partielle (%) du faciès en question. Le tableau 4.1 présente les faciès les plus fréquents avec la valeur d'IPPG associée.

Tableau 3.1 : Faciès pétrographiques fréquents et IPPG associé

Type de faciès	IPPG
Shale	1,00
Pelite argileuse	0,75
Calcaire argileux et dolomie argileuse	0,50
Calcaire avec plaquage argileux et dolomie avec plaquage argileux	0,25
Calcaire avec plaquage argileux mince et dolomie avec plaquage argileux mince	0,10
Calcaire à grain fin non argileux et dolomie à grain fin non argileux	0,00
Calcaire cristallin et dolomie cristalline	0,00
Schiste micacé à chlorite, à séricite, etc.	0,25
Cornéenne	0,00
Syénite	0,00
Autre faciès (granite, gneiss, basalte, etc.)	0,00

Le tableau 3.2 démontre un exemple détaillé d'un calcul d'IPPG.

Tableau 3.2 : Exemple d'un calcul d'IPPG

# d'échantillon	Indice	> 31,5 mm	31,5- 20 mm	20 - 14 mm	14 - 10 mm	10 - 5 mm	< 5 mm	%	IPPG
% passant		100 %	22 %	12 %	4 %	0 %	0 %		
Calcaire cristallin.	0	0,00%	2,46%	18,20%	58,68%	10,70%	0,00%	8,82	0,0
Pelite argileuse	0,75	0,00%	3,52%	12,08%	17,15%	8,21%	0,00%	5,66	4,2
Calcaire argileux	0,5	0,00%	16,77%	23,48%	16,89%	15,50%	0,00%	17,40	8,7
Roche Cornéenne	0	0,00%	15,82%	5,56%	7,27%	18,27%	0,00%	14,22	0,0
Shale noir	1	0,00%	61,44%	40,68%	0,00%	47,32%	0,00%	53,90	53,9
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00	
								100,00	67
		0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%		
Masse totale		0,0 gr	1897,9 gr	248,3 gr	191,2 gr	108,4 gr	0,0 gr	2445,8 gr	
Calcaire cristallin.			46,7 gr	45,2 gr	112,2 gr	11,6 gr			
Pelite argileuse			66,8 gr	30,0 gr	32,8 gr	8,9 gr			
Calcaire argileux			318,2 gr	58,3 gr	32,3 gr	16,8 gr			
Roche Cornéenne			300,2 gr	13,8 gr	13,9 gr	19,8 gr			
Shale noir			1166,0 gr	101,0 gr		51,3 gr			



3.3.4 Étude des matériaux du terrain naturel

Le terrain naturel doit être identifié afin de déterminer s'il paraît problématique ou non.

En conclusion, le rapport doit permettre au propriétaire de savoir si les désordres affectant sa résidence proviennent d'un gonflement pyritique. De plus, il doit permettre d'établir la situation de la résidence quant aux probabilités de désordres futurs affectant les éléments structuraux de la maison.

4 - ÉTUDE STATISTIQUE

4.1 *Statistique sur la banque de données*

4.1.1 Démarches suivies pour la cueillette de données

Pour la présente étude un certain nombre de données ont été recueillies afin de procéder aux analyses envisagées. La cueillette s'est effectué du 9 mai au 7 juillet 2000. Les données provenant de **1700 maisons** (domiciles avec adresses différentes) ont été recueillies. Une maison peut avoir fait l'objet d'une expertise au sous-sol et au garage ou l'un des deux emplacements uniquement. Le nombre de cas total se divise donc comme suit :

Garage	880
Sous-sol	1606
Total	2486

Un cas représente donc un forage qui se situe soit au niveau sous-sol ou au niveau de la rue. La procédure suivie consistait à rencontrer dans un premier temps le responsable des dossiers de pyrite dans les laboratoires mentionnés ci-bas afin de leur présenter le projet et d'avoir leur permission pour consulter leurs dossiers. Par la suite une semaine était fixée ou j'allais dans le dit laboratoire pour compiler les données.

4.1.2 Laboratoires

Les laboratoires sélectionnés sont tous membres de l'Association canadienne des laboratoires d'essais (ACLE) et sont de plus inscrit au tableau expertise liées à la pyrite (ACLE). Pour faire partie de ce tableau, les laboratoires doivent rencontrer les critères établis par le comité technique québécois d'étude des problèmes de gonflement associés à la pyrite pour réaliser les expertises sur les bâtiments existants conformément à la méthodologie CTQ-M200. Un nombre de cinq laboratoires a été choisi :

Inspec-Sol Inc.

4600, boul. Côte-Vertu
Saint-Laurent (Québec) H4S 1C4
Téléphone : (514) 333-5151

Labo-SM Inc.

2111, boul. Fernand-Lafontaine
Longueuil (Québec) J4G 2J4
Téléphone : (450) 651-0981

LVM-Fondatech Inc.

1200, boul. Saint-Martin Ouest
Laval (Québec) H7S 2E4
Téléphone : (514) 281-5151

Quéformat Ltée

581, rue Le Breton
Longueuil (Québec) J4G 1R9
Téléphone : (450) 641-1740

Technisol

665, Chemin du Lac
Boucherville (Québec) J4B 6W8
Téléphone : (540) 641-1740

4.1.3 Données recueillies

Les données ont été répertoriées dans le logiciel Microsoft Excel. Les variables recueillies sont les suivantes :

VARIABLES POUR L'ANALYSE

(tirées du CTQ-M200)

Identification

- Laboratoire et numéro de dossier
- Date du relevé (après le 20 juillet 1999 – formulaire CTQ-M200)
- Maison : ville et nom de la rue (Rive-Sud uniquement)
 - type de maison (unifamilial uniquement)
 - année de construction de la maison
- Cause de l'étude : vente, problèmes ou information personnelle

Relevé des désordres

- Fissures : type (en étoiles ou autres)
 - nombre
 - ouverture et soulèvement
 - présence de poudre blanchâtre
- Plancher : dénivellation
- Murs de fondations (nombre de fissures)
- Déplacement d'un mur (gonflement)

Stratigraphie du forage

- Dalle de Béton : épaisseur
 - qualité
 - épaisseur de sulfatation
- Pare vapeur : polyéthylène, styromousse, treillis métallique
- Remblai : calibre (pierre nette, pierre étalée...)
 - épaisseur de remblai
- Terrain Naturel : argile, silt, sable, roc, till
- Eau : remblai humide mouillé ou sec

Mesures en Laboratoire

- IPPG
- Catégorie de remblai (Cornéenne, calcaire, dolomie, mélange, shale, intrusif...)
- Analyse chimique (soufre total, soufre sulfaté)
- Absorption
- Lame Mince

Chaque variable est muni d'un codage spécial pour accélérer la prise des données. Ce code est disponible en [annexe A](#) avec toutes les informations additionnelles sur les variables.

4.1.4 Cause de la réalisation d'une expertise de pyrite

Tableau 4.1 : Cause de la réalisation d'une expertise de pyrite

<u>Cause de l'expertise</u>	<u>Nombre</u>	<u>%</u>
Vente	1640	96,5%
Problèmes et réparations	22	1,3%
Information personnelle	38	2,2%
Total	1700	100%

4.1.5 Région

Une région avait été sélectionnée au départ soit la Rive-Sud de Montréal. Dans cette région, nous avons retenu les municipalités les plus peuplées. Finalement voici une carte des villes où ont été répertoriées des maisons qui sont incluses dans la banque de données.

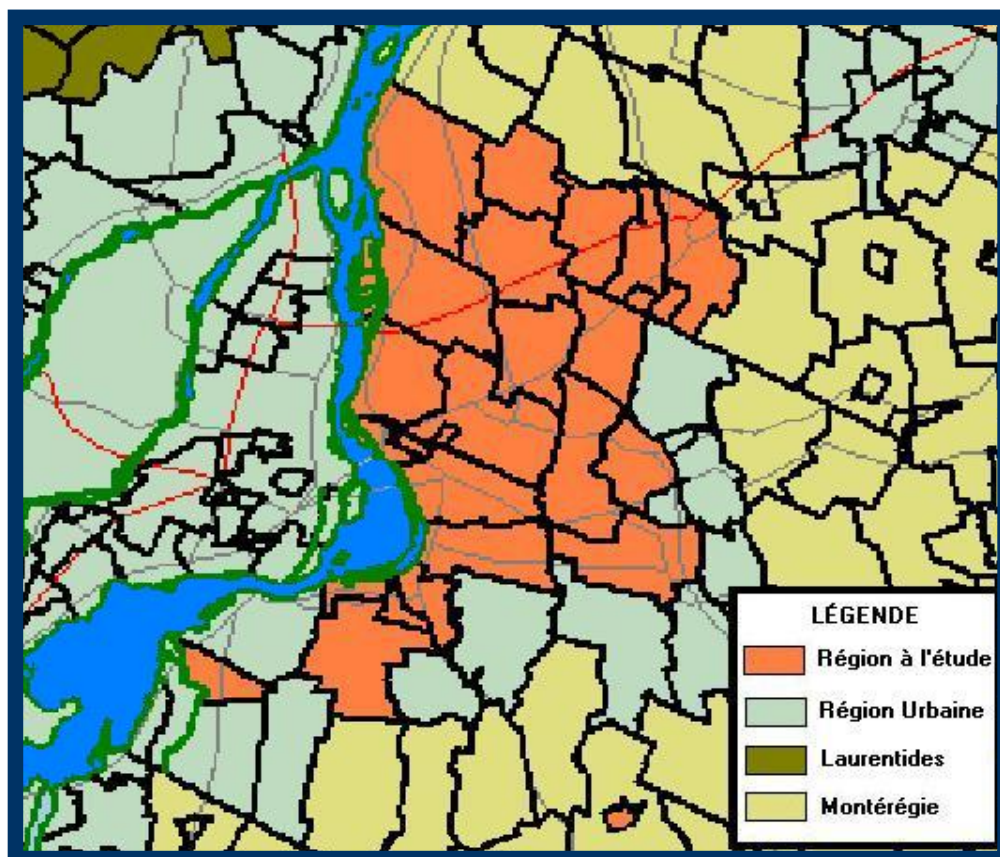
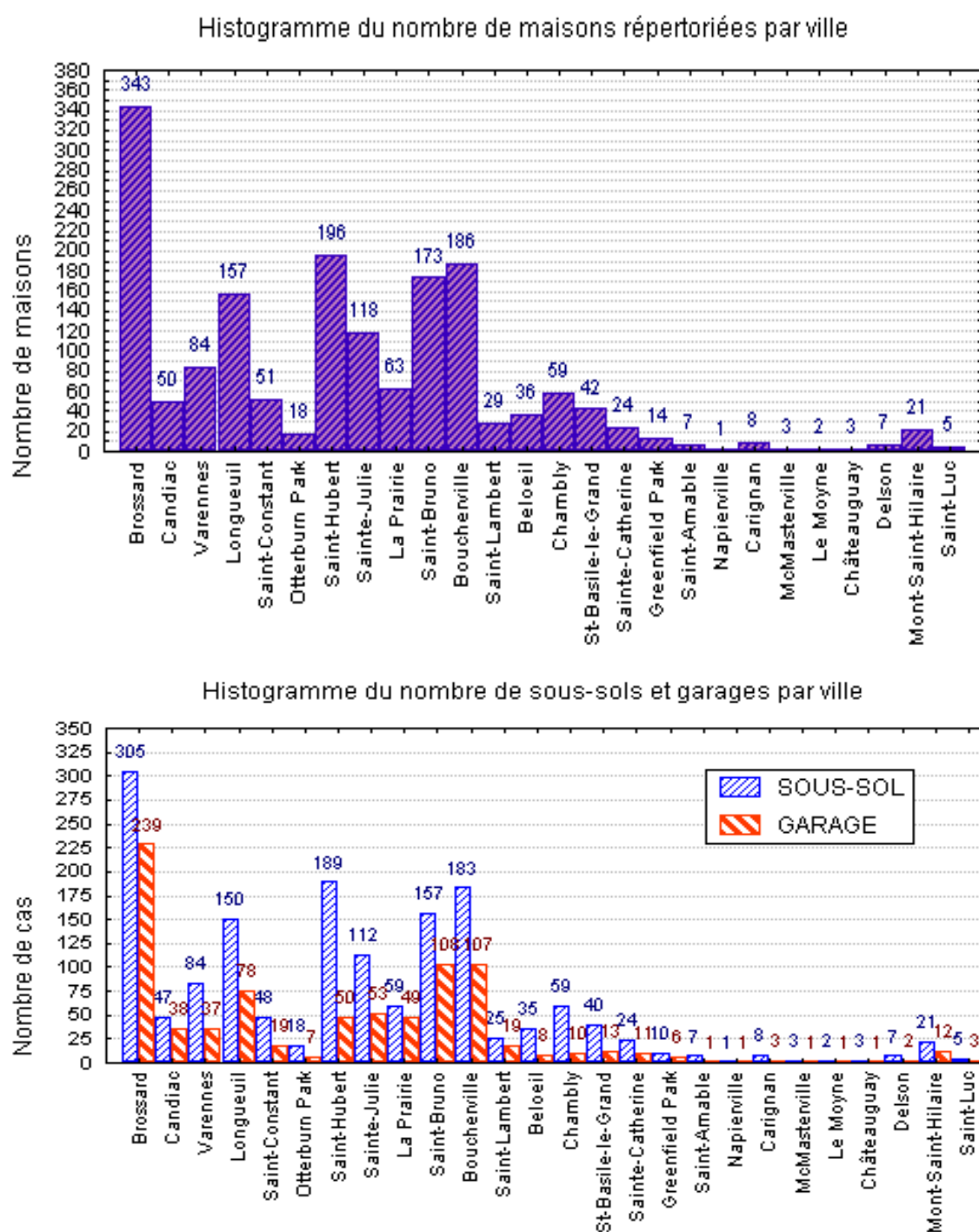


Figure 4.1 : Région ciblée par la banque de données

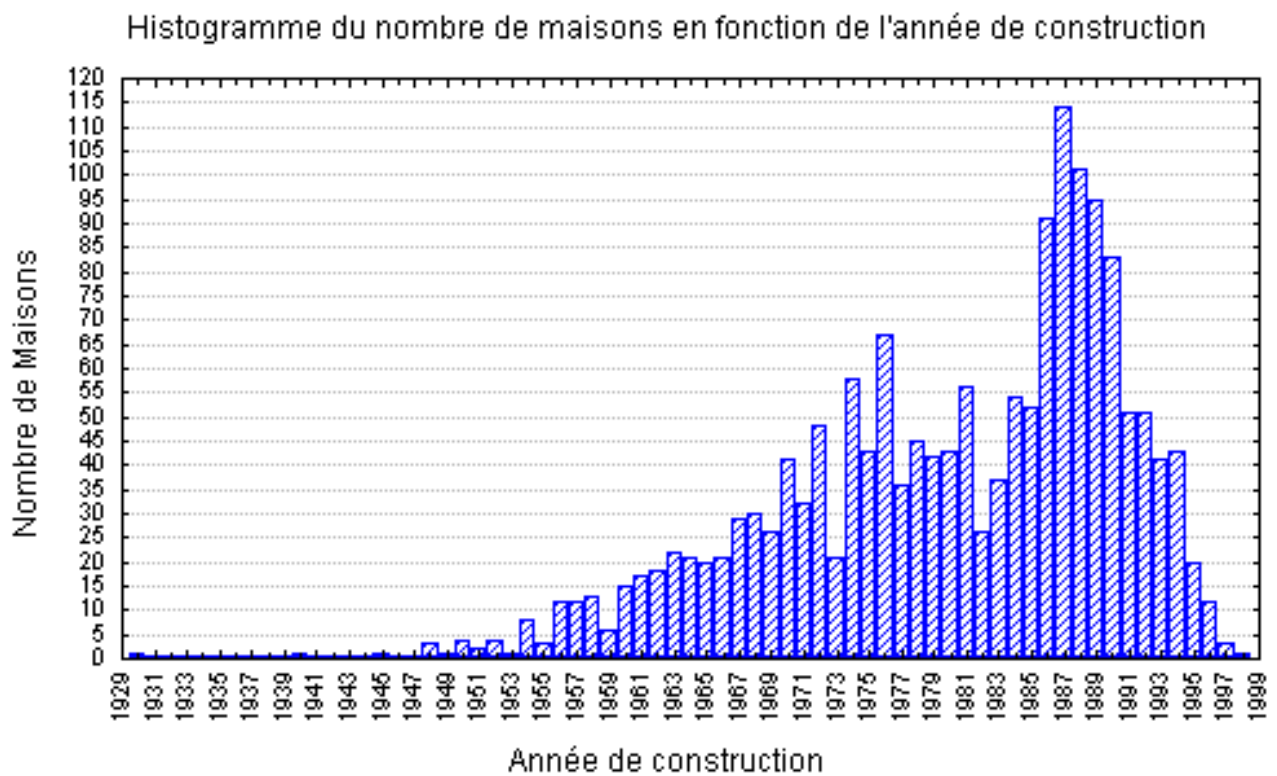
Au total, 26 villes ont été répertoriées. Des histogrammes de la distribution des maisons et des cas par ville sont présentés ci-bas.

4.1.6 Distribution des cas par villes



4.1.7 Âge des maisons

Pour la présente étude les maisons d'un trop jeune âge, soit 1996 et plus, ont été exclues de la banque de donnée car celles-ci présentent rarement des signes d'endommagement dus à la pyrite.



4.2 Statistiques de construction

Deux codes de construction ont servi de référence dans l'établissement des cas qui ne correspondent pas aux normes reconnues. Le premier est le Code canadien de construction d'habitations, 1990 ; et le second est le Code national de construction de maisons et Guide illustré-Canada, 1998. Les mêmes lois ont été observées dans les deux codes, seulement ceux-ci ne s'appliquent pas aux mêmes genres de bâtiments. Il faut cependant rappeler, qu'au Québec, la réglementation de construction de petits bâtiments est de juridiction municipale. Il est par conséquent non-garanti que ces codes sont adoptés par les municipalités dès leur publication. Des extraits pertinents provenant des deux guides ont été répertoriés en [annexe D](#) et [E](#), à des fins de consultations.

4.2.1 Statistiques de construction - Présence d'un pare vapeur

Le tableau 4.2 présente la fréquence d'utilisation des membranes pare vapeur de polyéthylènes, des isolants styromousses et des treillis métalliques, qui généralement sont de 5 mm de diamètre.

Tableau 4.2 : Fréquence d'utilisation des polyéthylènes pour l'ensemble des années de construction.

	Polyéthylène		Styromousse		Treillis métallique	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%
Sous-Sol	187	11,67%	3	0,19%	16	1,00%
Garage	26	2,96%	2	0,23%	72	8,21%
Total	213	8,59%	5	0,20%	88	3,55%

Depuis 1990 le Code canadien de construction d'habitations (section 9.13.1.2)¹ stipule que toutes les dalles sur le sol, à l'exception des garages et des parties non fermées, doivent être protégées contre l'humidité. La section 9.13.6² du code traite des moyens

¹ Pour le Code national de construction de maisons la section correspondante est 2.8.1.1

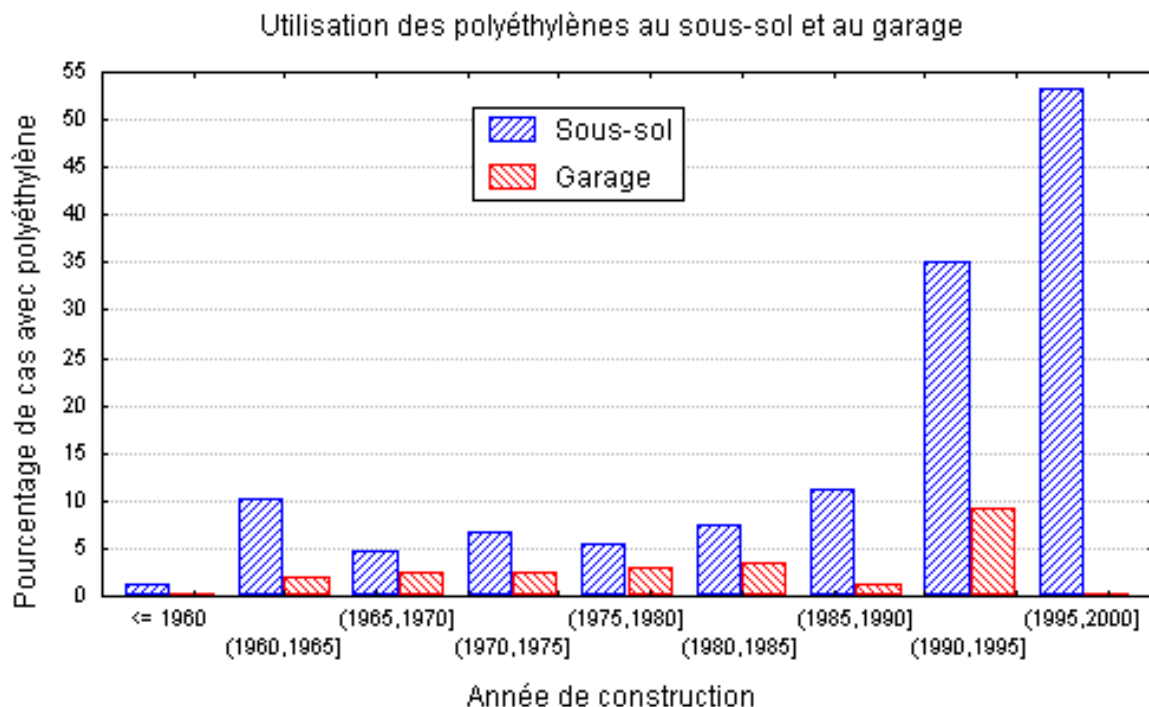
² Pour le Code national de construction de maisons la section correspondante est 2.8.4

utilisés pour protéger les dalles contre l'humidité. En général, le revêtement d'étanchéité doit être posé sous celle-ci. Le matériau de protection doit être du polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur. En regardant le pourcentage de cas étant muni d'un pare vapeur de polyéthylène pour les constructions de 1990 et plus nous observons une augmentation considérable.

Tableau 4.3 : Fréquence d'utilisation des polyéthylènes pour les constructions de 1990 et plus

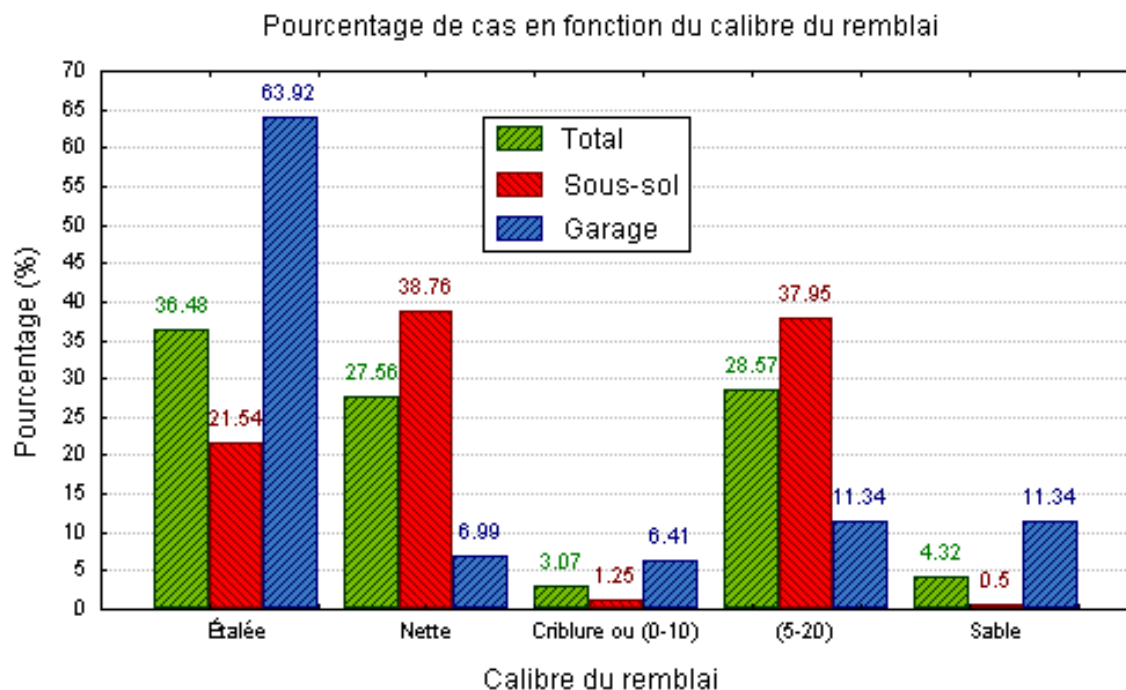
	Polyéthylène	
	Nb	%
Sous-Sol (1990 et plus)	88	30,24%
Garage (1990 et plus)	11	6,79%
Total	99	21,85%

Le graphique qui suit présente la fréquence d'utilisation des polyéthylènes en fonction de l'année de construction. Nous pouvons y voir qu'il y a une augmentation croissante à partir de 1985. Par contre l'utilisation s'avère beaucoup plus fréquente au sous-sol qu'au garage car le code n'oblige pas la pose d'un pare vapeur au garage.

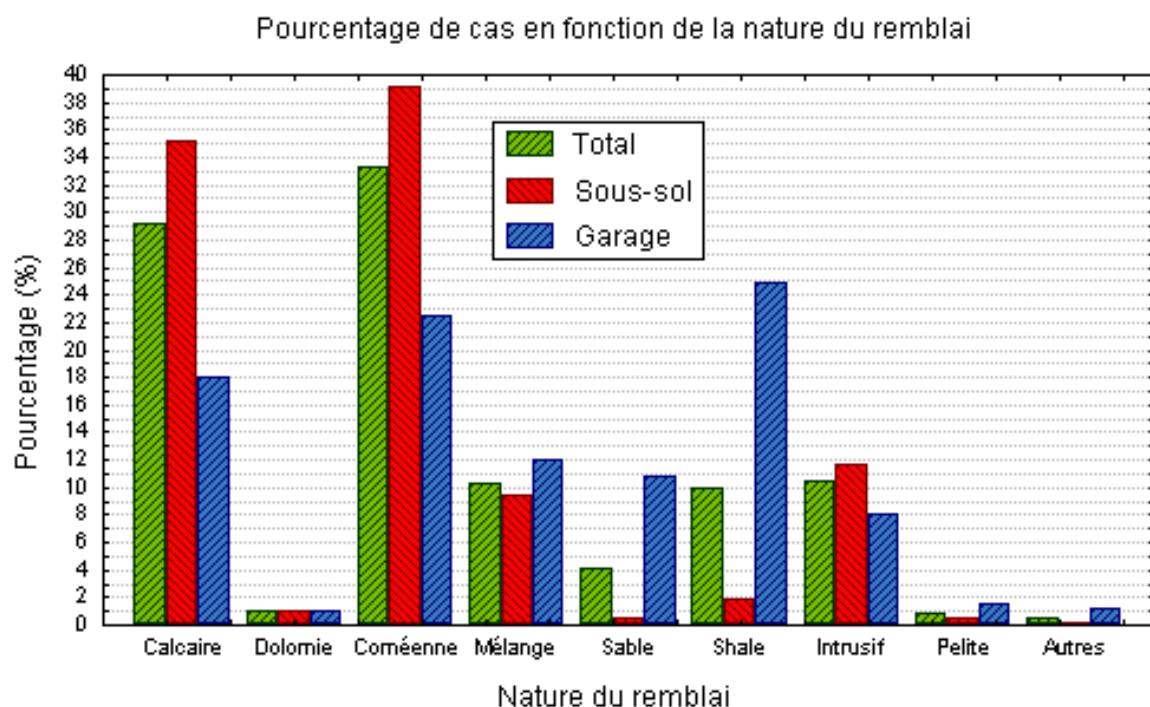


Les histogrammes suivants démontrent la distribution des cas au garage et au sous-sol selon les caractéristiques de construction recueillies.

4.2.2 Statistiques de construction - Calibre du remblai

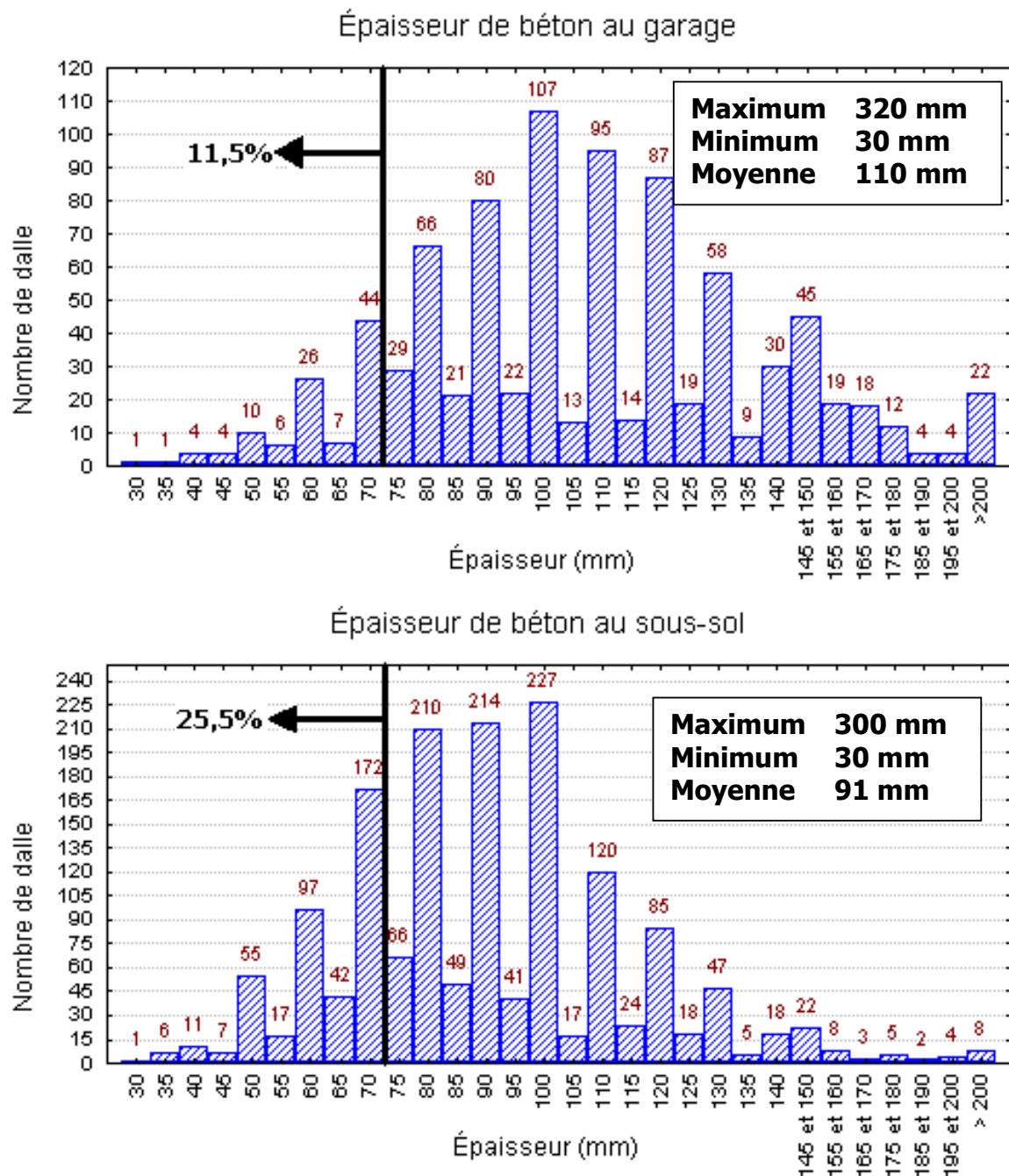


4.2.3 Statistiques de construction - Nature du remblai



Note : La nature du remblai est déterminée selon la composition majoritaire de celui-ci.

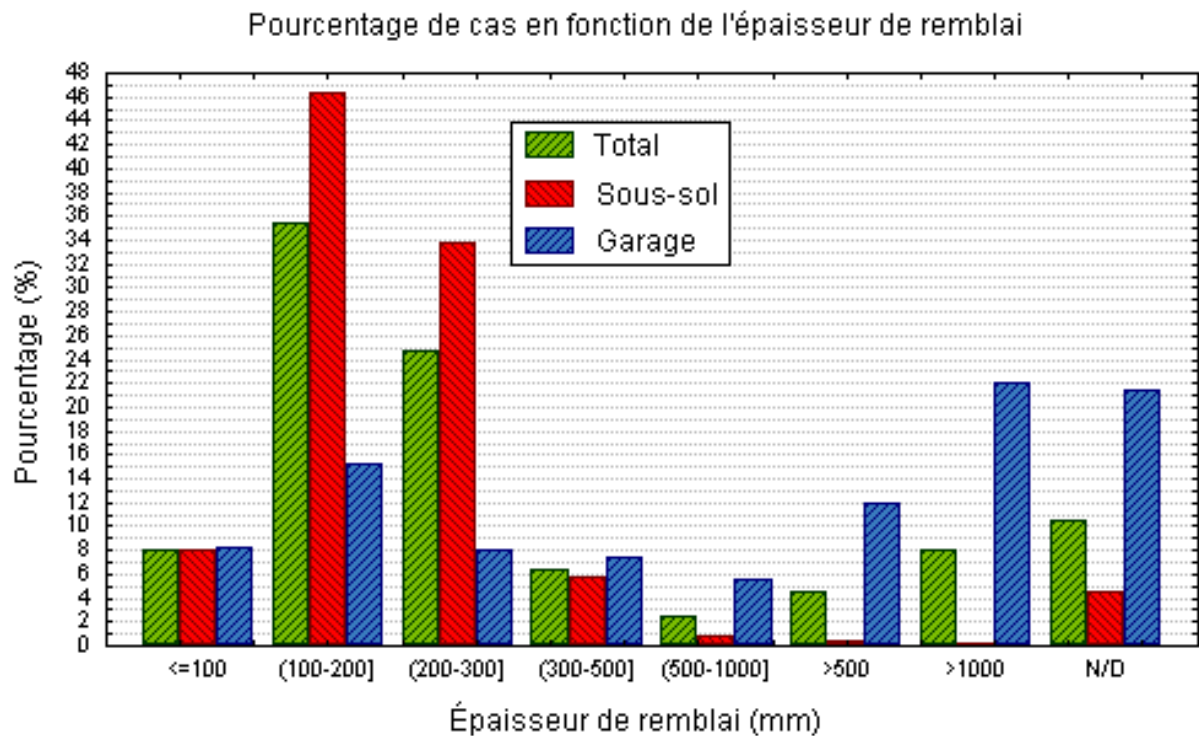
4.2.4 Statistiques de construction - Épaisseur de béton



Le Code canadien de construction d'habitation, 1990 (section 9.16.4.3) ainsi que le Code national de construction de maison, 1998 (section 2.6.4.2) stipulent que l'épaisseur minimum pour les dalles de béton sur sol est de 75 mm.

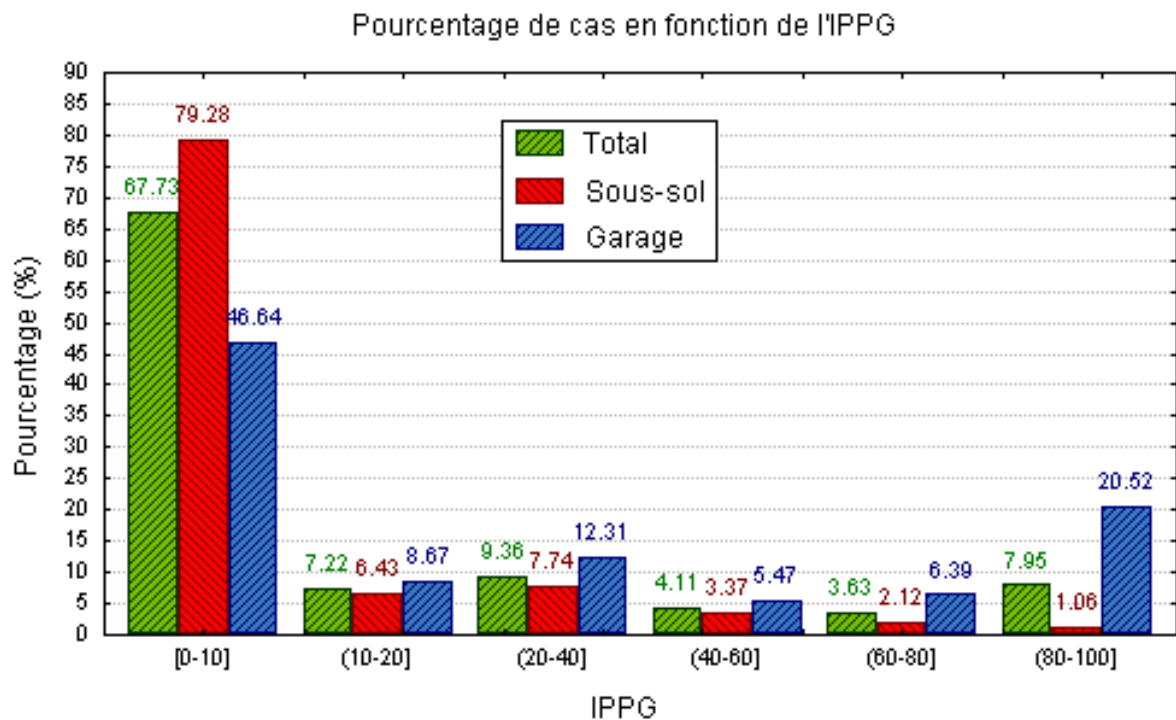
Nous avons donc 25,5% des dalles au sous-sol et 11,5% des dalles au garage qui sont sous la norme prescrite en ce qui concerne l'épaisseur de béton.

4.2.5 Statistiques de construction - Épaisseur de remblai



De très faibles épaisseurs de remblai (< 200 mm) sont notées au garage seulement lorsque celui-ci se situe au niveau de la rue.

4.2.6 Statistiques de construction - IPPG



4.2.7 Comparaison des caractéristiques au sous-sol et au garage

Tableau 4.4 : Comparaison des caractéristiques au sous-sol et au garage

	GARAGE	SOUS-SOL
IPPG moyen	31,92	8,63
Épaisseur de béton moyenne	110 mm	91 mm
Épaisseur de remblai moyenne	580,8 mm	204,6 mm
Calibre moyen du remblai 1= net 2 = étalé	1,6	1,2

4.3 Statistique sur la présence de dommages et de sulfatation

Comme expliqué précédemment, la présence de dommages peut-être causée par deux phénomènes soit le gonflement du remblai par l'adsorption d'eau suivi de la formation de gypse ou par la sulfatation du béton. Les dommages liés à ces deux phénomènes étant les mêmes, soit le soulèvement de la dalle et la fracturation de celle-ci, il est pratiquement impossible de faire une distinction entre les deux par l'inspection visuelle des dommages.

Une équation a été développée dans la présente étude afin de quantifier les dommages et d'établir les cas endommagés. L'équation est simple :

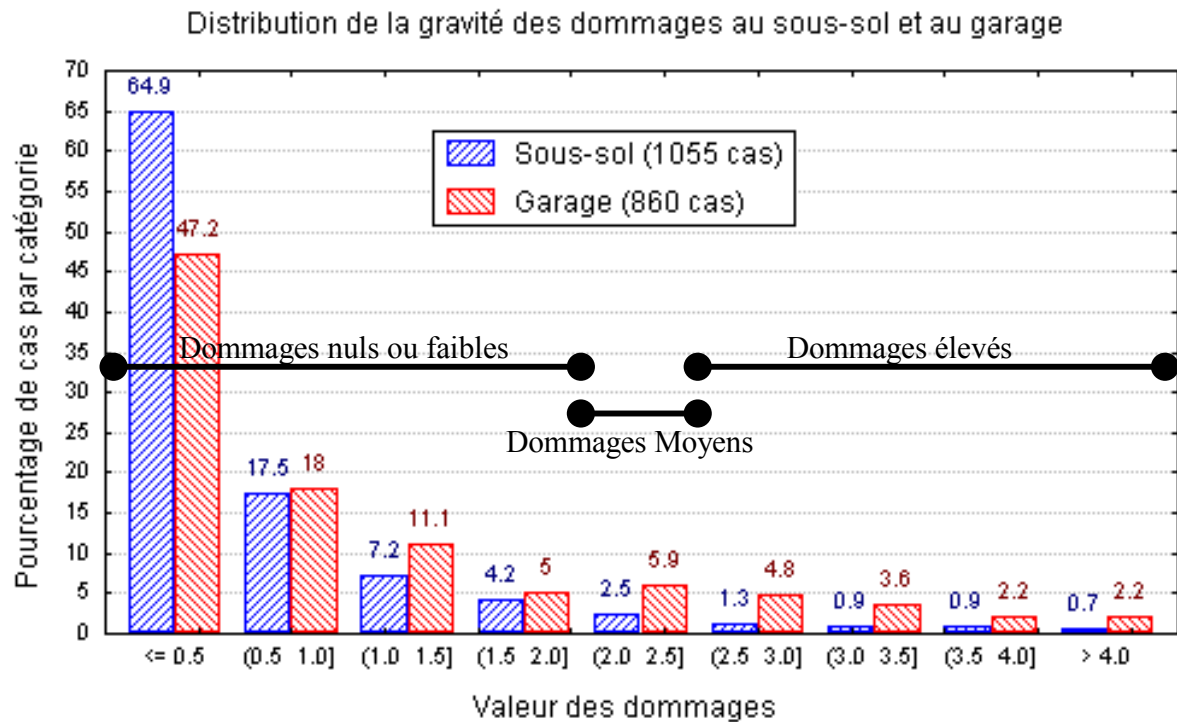
$$\text{Indice des dommages} = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{Fissures régulières} + \text{Fissures en étoiles} \times 2^{\{0-3\}}}{\sqrt{\text{Portion visible (\%)}}} \times \text{Ouverture} \times \frac{2}{3} + \begin{array}{l} \text{Soulèvement} + \text{Damage au plancher} + \text{Poudre} + \\ \{0-3\} \quad \quad \quad \{0-2\} \quad \quad \quad \{0-1\} \\ \text{Murs de fondation} \times \frac{1}{2} + \text{Déplacement d'un mur} \\ \{0-3\} \quad \quad \quad \{0-1\} \end{array} \right)$$

Si l'une de ces valeurs est manquante, la valeur attribuée à la variable dommages est N/D pour non déterminé. Pareillement, si la surface observable est moindre que 10%, les dommages sont dits N/O pour non observables.

Les valeurs obtenues avec cette équation se situent entre 0 et 7. L'ampleur des dommages est considérée sévère lorsque la valeur obtenue est supérieure ou égale à 2,5. Une autre catégorie décrivant les dommages comme modérés comprends les valeurs se situant entre 2,0 et 2,5. Pour les valeurs inférieures à 2,0 les dommages sont mineurs ou nuls.

Dans les tableaux et figures suivants, les cas de dommages élevés et moyens ont été regroupés lorsque seul le mot endommagement est utilisé.

L'histogramme suivant présente les proportions obtenues selon la gravité des dommages calculés. Nous retrouvons 1055 cas valides pour le sous-sol et 860 cas pour le garage (les autres cas ne pouvant être observés en raison de couvre-planchers).



A titre d'exemple, un garage ayant 1 fissure en étoile et 5 fissures normales possédant de fortes ouvertures (entre 2 et 10 mm), où la dalle est soulevée en plus de deux endroits entre 10 et 50 mm et où la présence de 2 fissures de moins de 4 mm est notée dans les murs de fondation, se verra attribué une valeur de dommages de 2.8 et sera classé dans la catégorie dommages élevés.

Les cas de sulfatation ne sont pas nécessairement des cas endommagés. Il est possible que la dalle de béton aie été sulfatée sans toutefois gonfler pour causer des dommages considérables et visibles lors de l'inspection visuelle. Une dalle sulfatée présente donc une décoloration et une délamination jusqu'à une désagrégation de la dalle.

Les tableaux 4.5 et 4.6 indiquent les probabilités d'endommagement et de sulfatation par ensemble de villes regroupées en fonction de leur localisation. Ces groupes ont été formés afin d'obtenir des probabilités significatives. Les proportions ont été pondérées par le nombre total de maisons dans les groupes de villes. [L'annexe C](#) contient les tableaux non pondérés pour chaque ville ainsi que pour les groupes établis.

Tableau 4.5: Image de la situation actuelle (en l'an 2000) sur les probabilités d'avoir des dommages et la présence de sulfatation au sous-sol

		SOUS-SOL								
Nombre de logements privés occupés possédés ¹		Nombre de sous-sol ²	Dommages						Sulfatation	
Villes	(1996)		moyens		élevés		total		Nombre	%
Bross	16 485	16 485	529	3,2%	353	2,1%	882	5,3%	2 507	15,2%
Bchvl	10 045	10 045	520	5,2%	173	1,7%	693	6,9%	384	3,8%
StHub	19 350	19 350	710	3,7%	178	0,9%	888	4,6%	2 252	11,6%
Long	21 695	21 695	913	4,2%	913	4,2%	1827	8,4%	3 592	16,6%
StBno, StBasLG	10 125	10 125	333	3,3%	266	2,6%	600	5,9%	1 490	14,7%
LaPr, Cand	7 470	7 470	111	1,5%	111	1,5%	223	3,0%	1 268	17,0%
Cham, Carignan, StLuc	11 565	11 565	907	7,8%	227	2,0%	1 134	9,8%	1 767	15,3%
VLeM, StLam, Gpk	9 940	9 940	0	0,0%	710	7,1%	710	7,1%	785	7,9%
SteJulie, Vrms, StAmable	13 460	13 460	198	1,5%	495	3,7%	693	5,1%	597	4,4%
Belo, MtStHilr, OtrbrnPk, McMstrvl	11 985	11 985	982	8,2%	393	3,3%	1 375	11,5%	934	7,8%
StC, VSteCath, Dlsn, Chtg, Naprvl.	23 030	23 030	1 279	5,6%	0	0,0%	1 279	5,6%	1 942	8,4%
Moyenne				4,0%		2,7%		6,7%		11,2%
TOTAL	155 150	155 150	6 483	4,2%	3 819	2,5%	10 303	6,6%	17 519	11,3%

¹ Données issus du recensement de la population de 1996 mené par Statistique Canada (<http://ww2.statcan.ca/francais/profil/>)

² Nous supposons que toutes les maisons sont dotées d'un sous-sol.

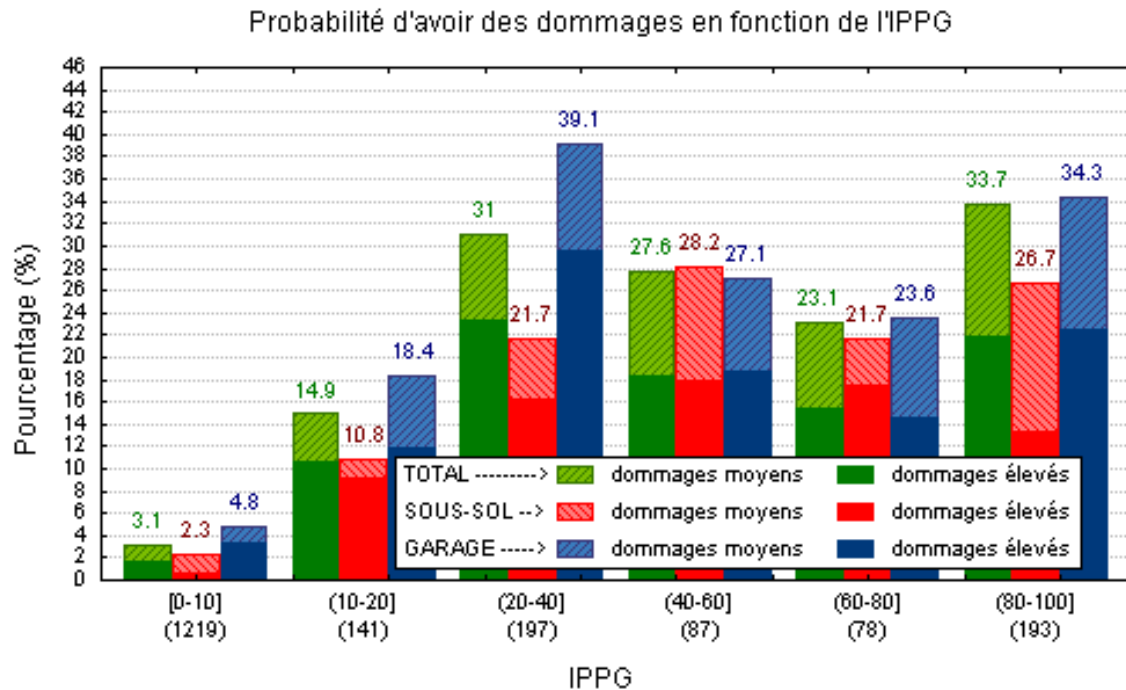
Tableau 4.6 : Image de la situation actuelle (en l'an 2000) sur les probabilités d'avoir des dommages et la présence de sulfatation au garage.

		GARAGE									
Nombre de logements privés occupés possédés¹		% de maison avec garage	Nombre de garage	Dommages						Sulfatation	
Villes	(1996)			moyens		élevés		total		Nombre	%
Bross	16 485	70%	11 487	1 752	15,1%	973	8,4%	2 725	23,5%	4 362	37,7%
Bchvl	10 045	58%	5 779	818	14,2%	273	4,7%	1 090	18,9%	1 728	29,9%
StHub	19 350	26%	4 936	1 108	22,0%	403	8,0%	1 510	30,0%	2 316	46,0%
Long	21 695	50%	10 778	1 165	10,8%	291	2,7%	1 457	13,5%	2 626	24,4%
StBno, StBasLG	10 125	56%	5 698	1 014	17,8%	338	5,9%	1 352	23,7%	1 931	33,9%
LaPr, Cand	7 470	77%	5 751	669	11,6%	468	8,1%	1 137	19,8%	1 917	33,3%
Cham, Carignan, StLuc	11 565	22%	2 570	0	0,0%	161	6,3%	161	6,3%	0	0,0%
VLeM, StLam, Gpk	9 940	58%	5 743	442	7,7%	221	3,8%	663	11,5%	1 325	23,1%
SteJulie, Vrms, StAmable	13 460	44%	5 861	266	4,5%	67	1,1%	333	5,7%	515	8,8%
Belo, MtStHilr, OtrbrnPk, McMstrvl	11 985	36%	4 302	172	4,0%	172	4,0%	344	8,0%	461	10,7%
StC, VSteCath, Dlsn, Chtg, Naprvl.	23 030	40%	9 105	536	5,9%	536	5,9%	1 071	11,8%	2 410	26,5%
Moyenne		49%			10,3%		5,4%		15,7%		24,9%
TOTAL	155 150	46%	72 010	7 941	11,0%	3 902	5,4%	11 843	16,4%	19 591	27,1%

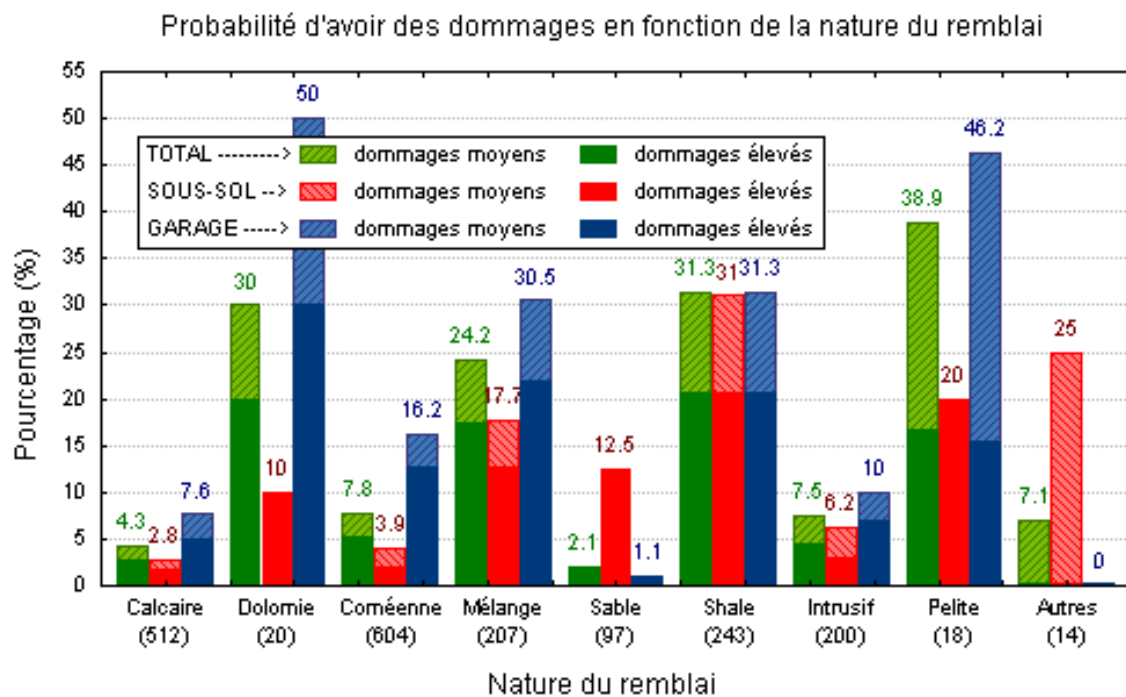
¹ Données issus du recensement de la population de 1996 mené par Statistique Canada (<http://ww2.statcan.ca/francais/profil/>)

4.3.1 *PROBABILITÉ D'AVOIR DES DOMMAGES*

4.3.1.1 *Dommages VS IPPG*

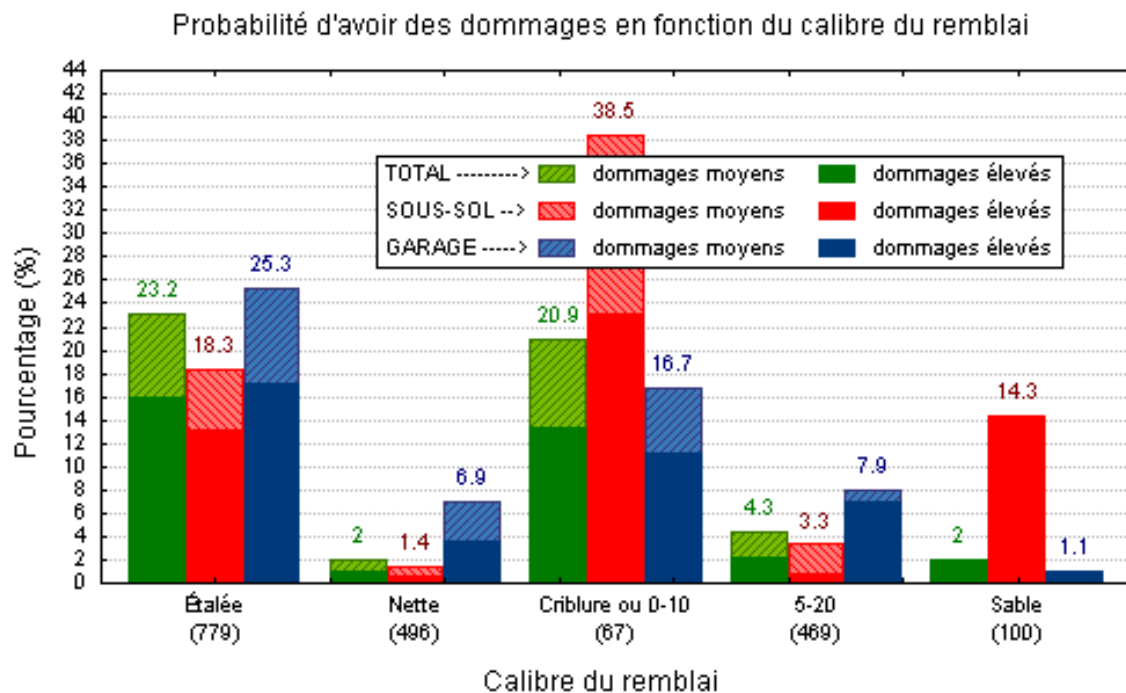


4.3.1.2 *Dommages VS nature du remblai*

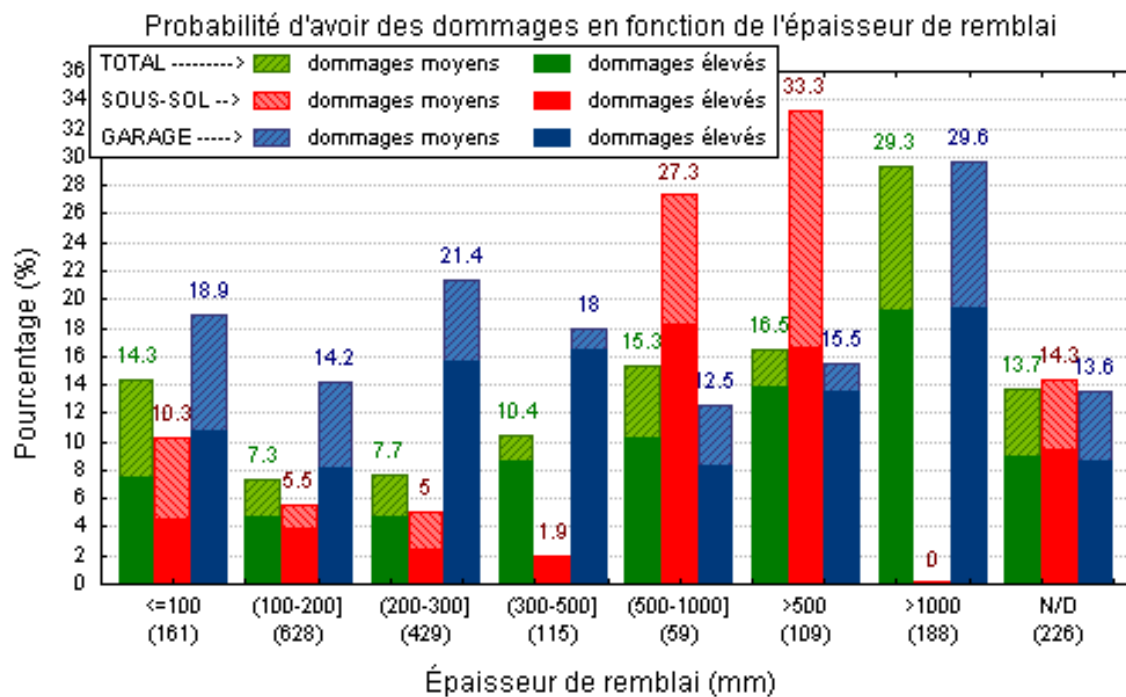


note : les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre total de cas se trouvant dans chaque catégorie

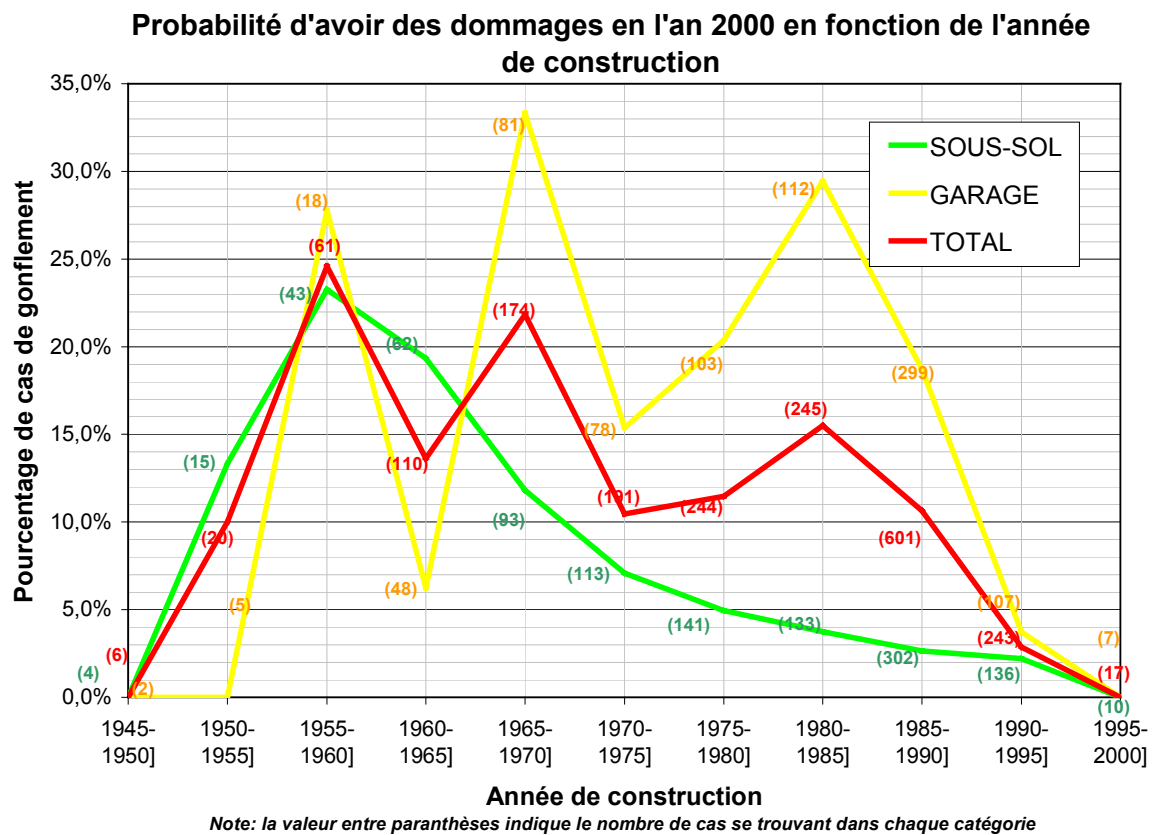
4.3.1.3 Dommages VS calibre du remblai



4.3.1.4 Dommages VS épaisseur de remblai

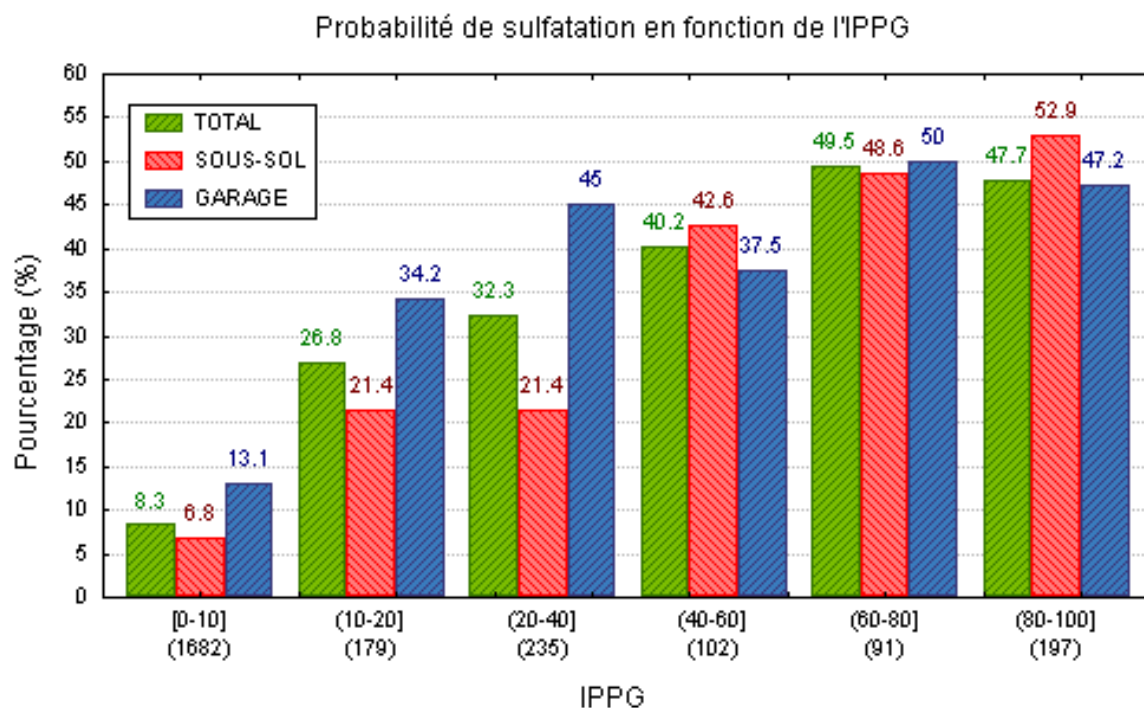


4.3.1.5 Dommages VS année de construction

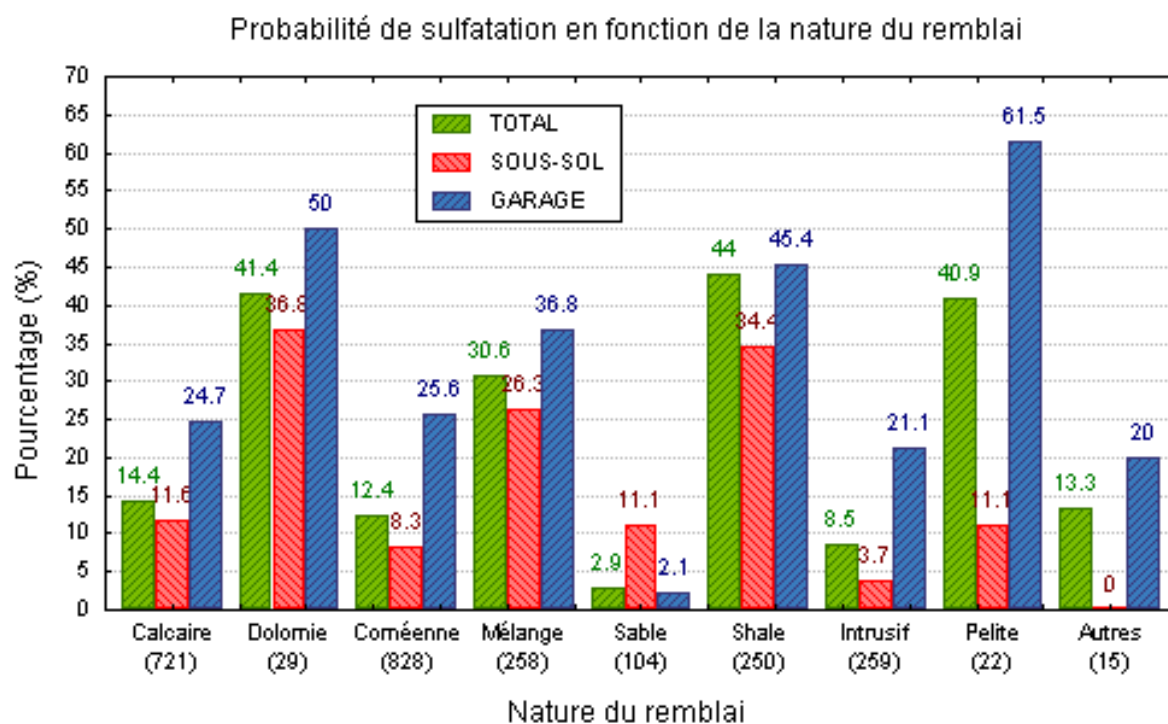


4.3.2 *PROBABILITÉ DE SULFATATION*

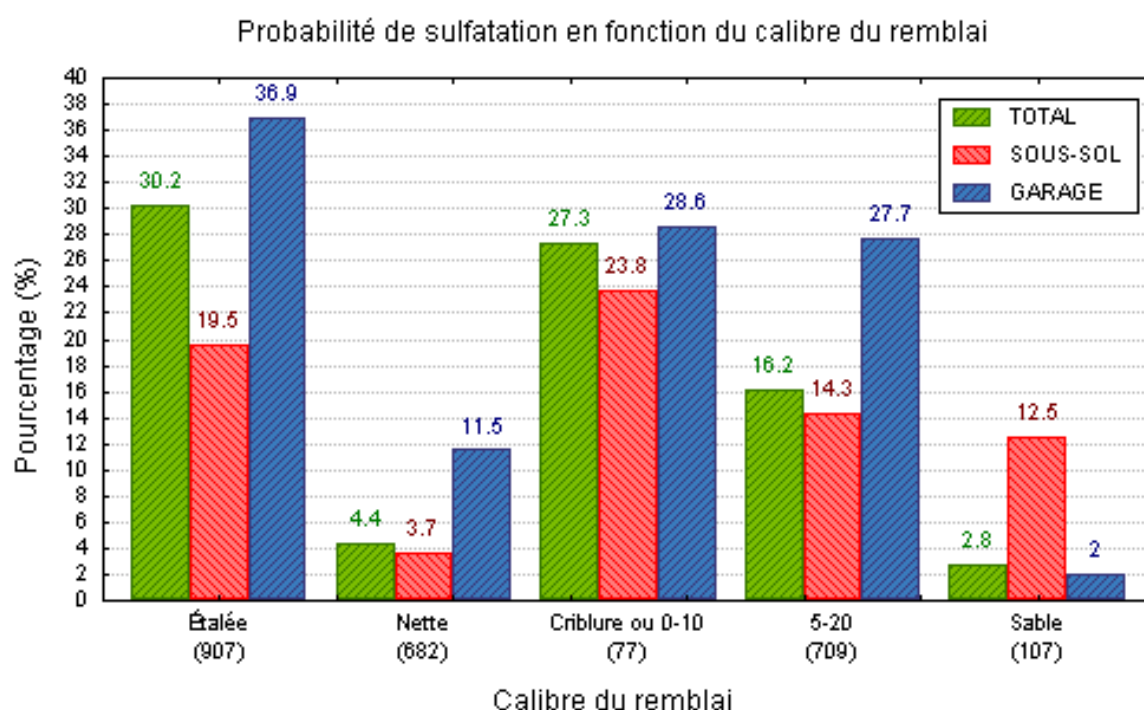
4.3.2.1 *Sulfatation VS IPPG*



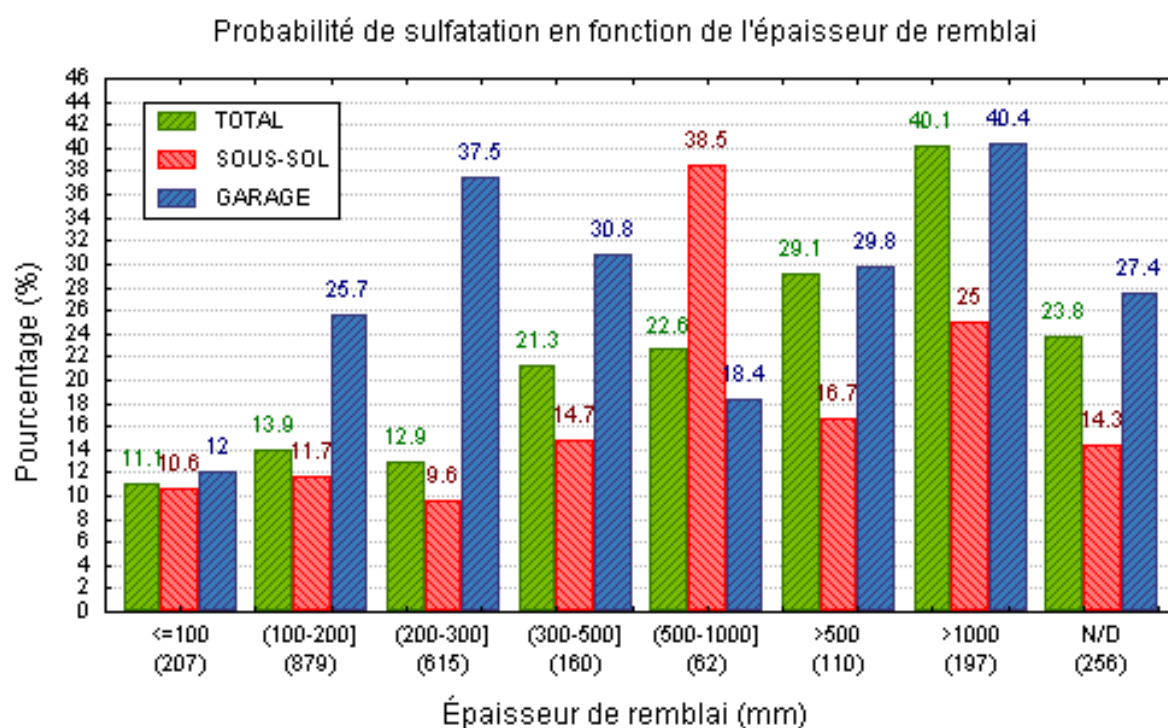
4.3.2.2 *Sulfatation VS nature du remblai*



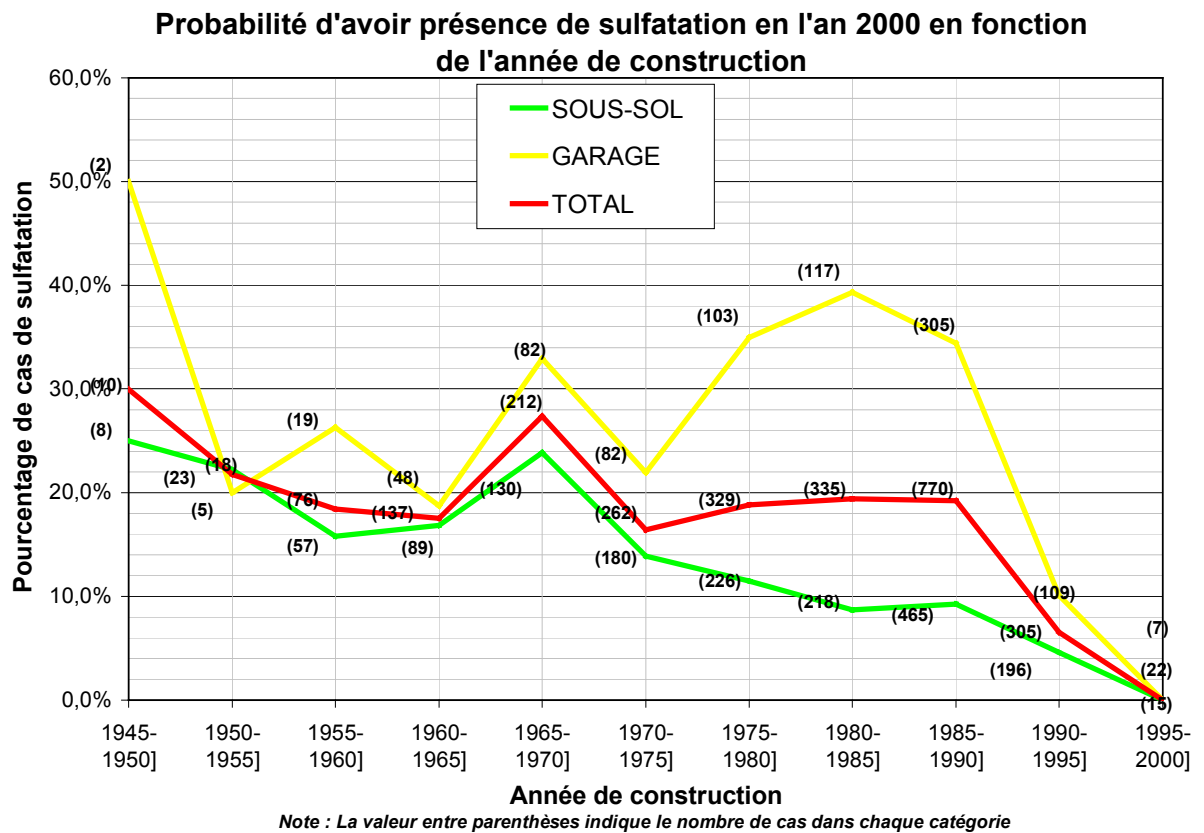
4.3.2.3 Sulfatation VS calibre du remblai



4.3.2.4 Sulfatation VS épaisseur de remblai



4.3.2.5 Sulfatation VS année de construction



4.4 Analyse multivariable

Dans cette section, nous présentons différents modèles de prédiction des dommages obtenus par analyse discriminante. Les modèles permettent de classer les résidences selon leur risque d'avoir des dommages en fonction des paramètres de construction.

4.4.1 Effet de la variable laboratoire

L'étude de la variable laboratoire constitue un élément important. Nous cherchons à déterminer s'il existe des différences significatives entre les laboratoires dans l'établissement des cas endommagés et la détermination des valeurs d'IPPG. Pour ce faire, nous avons utilisé des régressions linéaires « pas à pas », c'est-à-dire que les variables explicatives sont introduites une à une jusqu'à l'ajout de la dernière variable significative. Si la variable laboratoire est introduite dans le modèle de régression, cela implique que le laboratoire en question joue un rôle important dans l'explication de la variable dépendante (IPPG ou endommagement).

4.4.1.1 Effet sur l'IPPG

Le tableau 4.7 présente la proportion de cas retrouvée dans chaque catégorie d'IPPG selon les laboratoires.

Tableau 4.7 : Proportion des IPPG dans chaque catégorie selon les laboratoires

IPPG	Laboratoire 1	Laboratoire 2	Laboratoire 3	Laboratoire 4	Laboratoire 5	Moyenne
0-10	66,86 %	71,63 %	62,55 %	72,97 %	55,45 %	65,89 %
10-20	5,67 %	6,21 %	9,05 %	5,74 %	11,83 %	7,70 %
20-40	8,78 %	10,28 %	10,70 %	10,36 %	5,80 %	9,19 %
40-60	6,80 %	3,01 %	4,94 %	3,04 %	5,10 %	4,58 %
60-80	3,68 %	0,89 %	3,70 %	3,49 %	7,42 %	3,84 %
80-100	8,22 %	7,98 %	9,05 %	4,39 %	14,39 %	8,80 %

Nous pouvons remarquer que le laboratoire 5 possède une plus forte proportion de valeurs élevées d'IPPG, contrairement au laboratoire 4, qui lui a plus de valeurs faibles. Les différences ne sont cependant pas énormes et pourraient s'expliquer par les territoires desservis préférentiellement par chacun des laboratoires ou par d'autres facteurs. La

figure 4.2 expose les proportions de cas retrouvées dans chaque ville pour les cinq laboratoires.

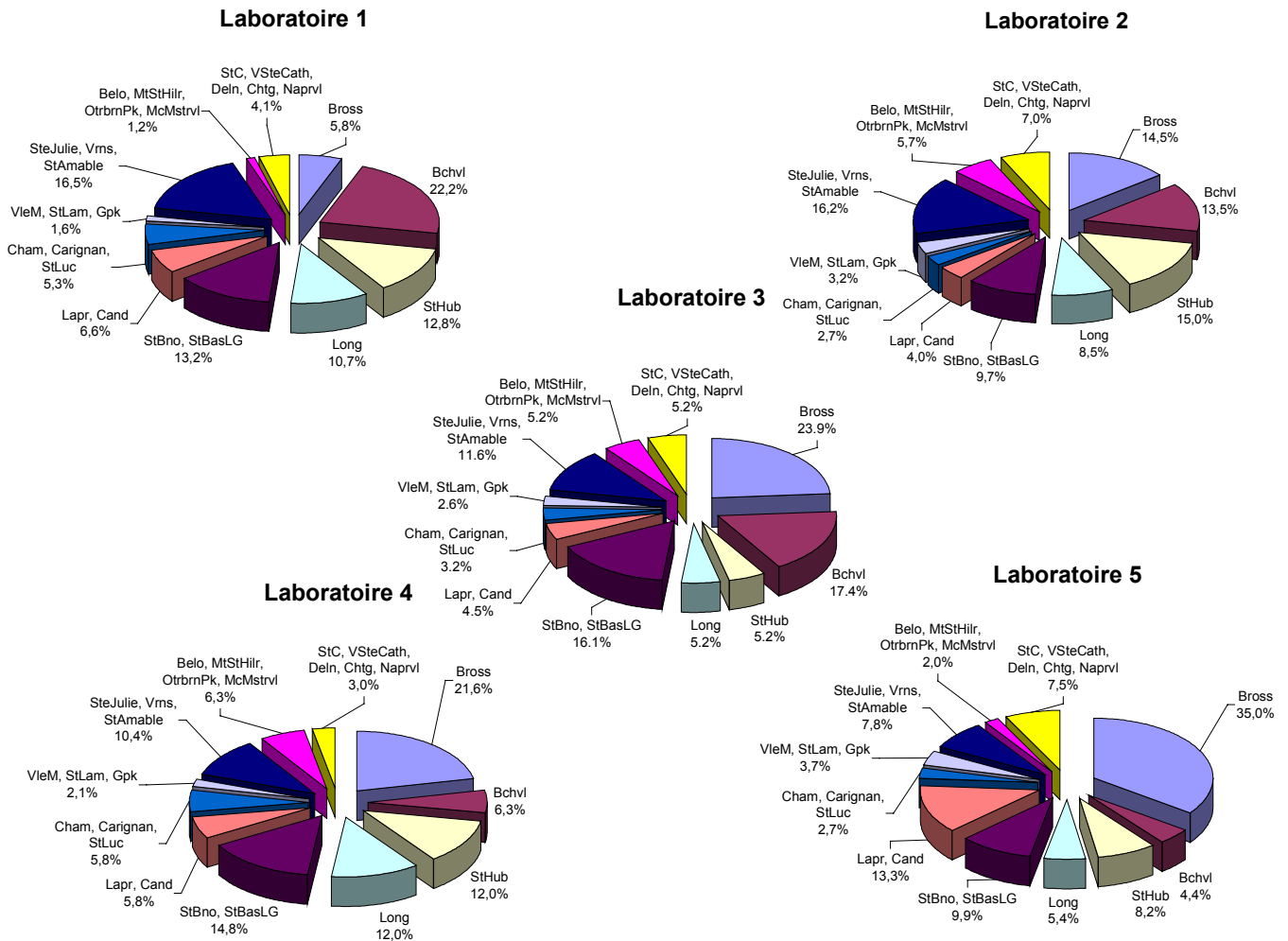


Figure 4.2: Proportion de cas dans chaque ville pour chaque laboratoire

Avec le modèle de régression (non présenté dans ce rapport), nous avons identifié des différences significatives (à l'intérieur d'un intervalle de confiance de niveau 5%) de l'IPPG moyen d'un laboratoire par rapport à l'ensemble des laboratoires pour 3 des 5 laboratoires d'essais. Ces différences subsistent même en éliminant l'effet de la municipalité et de l'âge des maisons examinées par chaque laboratoire et même en considérant différents codages de l'IPPG (ex. $\log(\text{IPPG}+1)$; 3 catégories 0-10, 10-20, >20). Ceci indique un certain manque d'uniformité dans la détermination des IPPG.

4.4.1.2 Effet des laboratoires sur l'établissement des cas endommagés

Le tableau 4.8 présente les proportions d'endommagement observées pour chaque laboratoire. Ces proportions ont été pondérées par le nombre d'habitation respectif de chaque ville afin d'établir si le relevé des dommages, qui nous permet d'établir la proportion de cas endommagés, varie d'un laboratoire à l'autre.

Tableau 4.8: Proportion d'endommagement par laboratoire

	Laboratoire 1		Laboratoire 2		Laboratoire 3		Laboratoire 4		Laboratoire 5		Total	
	ss	g	ss	g	ss	g	Ss	g	ss	g	ss	g
Probabilité d'endommagement	4,96 %	8,11 %	6,35 %	22,02 %	8,87 %	29,59 %	4,40 %	14,61 %	9,30 %	23,30 %	6,26 %	18,70 %
Probabilité d'endommagement pondérée par le nombre d'habitation de chaque ville	3,76 %	7,64 %	6,97 %	19,63 %	8,13 %	22,82 %	4,21 %	11,46 %	11,37 %	19,18 %	6,64 %	16,40 %

Malgré les différences en apparences importantes, un seul laboratoire a montré une différence légèrement significative lorsque nous contrôlons les effets des autres variables (IPPG, calibre du remblai, âge de la résidence, ville).

4.4.2 Analyse discriminante

4.4.2.1 Présentation de la méthode

L'analyse discriminante est une méthode statistique qui tente d'expliquer l'influence de diverses variables sur la formation de groupes connus a priori. Elle vise, en premier lieu, à distinguer les principales différences rencontrées parmi les variables mesurées. Par la suite, elle permet de déterminer le groupe d'appartenance d'une nouvelle observation uniquement à partir des variables mesurées.

Pour la présente étude, les groupes formés sont au nombre de trois soit : le groupe dommages faibles ou nuls, le groupe dommages moyens et le groupe dommages élevés. Seuls les groupes dommages faibles et dommages élevés ont été conservés pour l'analyse

discriminante afin d'accentuer la discrimination et de réduire les risques de mauvaise classification initiale. Les variables introduites dans l'analyse sont les suivantes :

- IPPG
- Logarithme de l'âge de la résidence¹
- Présence d'un polyéthylène (0 = absence, 1 = présence)
- Calibre du remblai regroupé selon :
 - Étalée et Criblure (valeur = 2)
 - Nette et 5-20 (valeur = 1)
 - Sable (valeur = 0)
- Épaisseur de remblai
- Nature du remblai (8 natures)
- Épaisseur de béton

Avec cette méthode, nous déterminons donc l'influence de chaque variable sur la formation des groupes.

La façon d'établir la qualité du modèle obtenu, se fait avec le pourcentage de "bien classés". Bien que simple, cette information nous donne une excellente idée de la validité de notre modèle. Cette statistique est calculée en utilisant l'équation obtenue par l'analyse discriminante (AD) pour classer les observations dont nous connaissons le véritable groupe. Par la suite, nous vérifions le classement par le pourcentage de bien classés. Ainsi, considérons une analyse discriminante ayant été effectuée sur une population de 200 observations distribuées en deux groupes et dont le tableau de classement est :

		Classement par l'AD	
		<i>Groupe 1</i>	<i>Groupe 2</i>
Groupe véritable	<i>Groupe 1</i>	50	10
	<i>Groupe2</i>	30	110
		80	120

¹ La transformation logarithmique a été utilisée de façon à accroître l'importance des premières années de vieillissement où sont plus susceptibles de survenir les dommages.

Pour cet exemple, nous avons $(50 + 110) = 160$ observations de bien classées. Le pourcentage de bien classé est donc $160 / 200 = 80\%$. De plus, les observations du groupe 1 sont bien classées dans une proportion de $50 / (50 + 10) = 83\%$ alors que les observations du groupe 2 sont bien classées dans une proportion de $110 / (110 + 30) = 79\%$.

L'analyse discriminante permet l'ajout successif de variables afin d'obtenir une discrimination plus prononcée entre les groupes. Le caractère significatif de l'ajout d'une variable se détermine par la statistique « V » de Rao. Pour être significative, une variable ajoutée doit présenter :

$$V \text{ de Rao}(p+1) - V \text{ de Rao}(p) > \chi^2_{1,0.95}$$

Où p est le nombre de variables dans l'AD

$\chi^2_{1,0.95}$ vaud 3,84.

Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel Matlab 5.3 en utilisant les fonctions `ad.m` et `adpas.m` de Marcotte (1999). De plus, les définitions suivantes expliquent certains concepts utilisés lors de l'élaboration des modèles mathématiques.

Méthode Utilisée $\Rightarrow$ pas à pas avant

Avec cette méthode, un modèle de discrimination est construit étape par étape. À chaque étape, les variables sont réévaluées afin de déterminer laquelle va contribuer le plus à la discrimination des groupes. La variable sera donc incluse dans le modèle et le processus continue jusqu'à l'ajout de la dernière variable significative.

Probabilité a priori $\Rightarrow$ égale pour chaque groupe (50%)

Chaque observation possède, au départ, 50% de chance de se retrouver dans le groupe endommagé et 50% de chance de se retrouver dans le groupe non-endommagé.

4.4.2.2 Résultats sur la prédiction de l'endommagement

Les résultats de l'AD sont exposés ci-dessous. Deux modèles ont été construits dues aux différences marquées entre les données du sous-sol et celles du garage.

ANALYSE DISCRIMINANTE POUR LES DONNÉES DU SOUS-SOL

RAPPEL :

(groupe 1 = dommages faibles ou nuls / groupe 2 = dommages élevés)

Résumé de l'analyse discriminante :

Les variables ayant produit la meilleure discrimination pour les données du sous-sol sont par ordre d'importance :

L'IPPG

Le calibre du remblai

Le logarithme de l'âge de la résidence

Une vieille maison avec un IPPG élevé et un remblai étalé a une plus forte probabilité de montrer des dommages élevés.

% de bien classés :

Matrice de classification pour le sous-sol

N = 1029		% de bien classés	Groupes prédits	
			Groupe1	Groupe2
			p = 50%	p = 50%
Groupes observés	groupe 1	84,3%	834	155
	groupe 2	85,0%	6	34
	Total	84,4%	840	189

Nous notons un fort pourcentage de bien classés (84,3%). Nous notons aussi qu'une observation classée « dommages nuls » a très peu de chances ($6/840 * 100 = 0,7\%$) de montrer en réalité des dommages.

ANALYSE DISCRIMINANTE POUR LES DONNÉES DU GARAGE

RAPPEL :

(groupe 1 = dommages faibles ou nuls / groupe 2 = dommages élevés)

Résumé de l'analyse discriminante :

Les variables ayant produit la meilleure discrimination pour les données du garage sont par ordre d'importance :

L'IPPG

L'épaisseur de béton

Le calibre du remblai

Le logarithme de l'âge de la résidence

L'épaisseur de remblai

Une vieille maison avec un IPPG élevé, un remblai étalé de forte épaisseur et avec une dalle de béton mince a une plus forte probabilité de montrer des dommages.

% de bien classés :

Matrice de classification pour le garage

N = 630		% de bien classés	Groupes prédits	
			Groupe1	Groupe2
			p = 50%	p = 50%
Groupes observés	groupe 1	70,7%	379	157
	groupe 2	76,6%	22	72
	Total	71,6%	401	229

Bien qu'acceptable à 72% le pourcentage de bien classés est nettement moindre que pour le sous-sol. Les mêmes variables que précédemment contribuent à la discrimination et d'autres variables se sont ajoutées (épaisseur de béton et épaisseur de remblai).

4.4.2.3 Résultats sur la prédiction de la sulfatation

ANALYSE DISCRIMINANTE POUR LES DONNÉES DU SOUS-SOL

NOTE : LES CAS OU LA DALLE EST MUNIE D'UN PARE VAPEUR ONT ÉTÉ RETIRÉS DU MODÈLE CAR NOUS AVONS MONTRÉ QUE LA PRÉSENCE D'UN TEL ÉLÉMENT ENRAYAIT LA PROBABILITÉ DE SULFATATION.

(groupe 1 = absence de sulfatation / groupe 2 = présence de sulfatation)

Résumé de l'analyse discriminante :

Les variables ayant produit la meilleure discrimination pour les données du sous-sol sont par ordre d'importance :

L'IPPG

L'épaisseur de remblai

Le logarithme de l'âge de la résidence

Une vieille maison avec un IPPG élevé et une forte épaisseur de remblai a une plus forte probabilité d'avoir une dalle sulfatée.

% de bien classés :

Matrice de classification pour le sous-sol

N = 1354		% de bien classés	Groupes prédits	
			Groupe1	Groupe2
			p = 50%	p = 50%
Groupes observés	groupe 1	84,9%	1003	178
	groupe 2	46,2%	93	80
	Total	80,0%	1096	258

Malgré un bon pourcentage de bien classés (80%), la prédiction d'une dalle sulfatée est médiocre (46% de bien classés). Toutefois, un ensemble de paramètres pointant vers l'absence de sulfatation a 92% des chances de se réaliser.

ANALYSE DISCRIMINANTE POUR LES DONNÉES DU GARAGE

NOTE : LES CAS OU LA DALLE EST MUNIE D'UN PARE VAPEUR ONT ÉTÉ RETIRÉS DU MODÈLE CAR NOUS AVONS MONTRÉ QUE LA PRÉSENCE D'UN TEL ÉLÉMENT ENRAYAIT LA PROBABILITÉ DE SULFATATION.

(groupe 1 = absence de sulfatation / groupe 2 = présence de sulfatation)

Résumé de l'analyse discriminante :

Les variables ayant produit la meilleure discrimination pour les données du garage sont par ordre d'importance :

L'IPPG

Le calibre du remblai

Le logarithme de l'âge de la résidence

Une vieille maison avec un IPPG élevé et un calibre de remblai étalé a une plus forte probabilité d'avoir une dalle sulfatée.

% de bien classés :

Matrice de classification pour le garage

N = 850		% de bien classés	Groupes prédits	
			Groupe1	Groupe2
			p = 50%	p = 50%
Groupes observés	groupe 1	66,3%	392	199
	groupe 2	67,2%	85	174
	Total	66,6%	477	373

Il semble qu'au garage, la prédiction de la sulfatation se fait difficilement, seulement 67% de biens classés est obtenu.

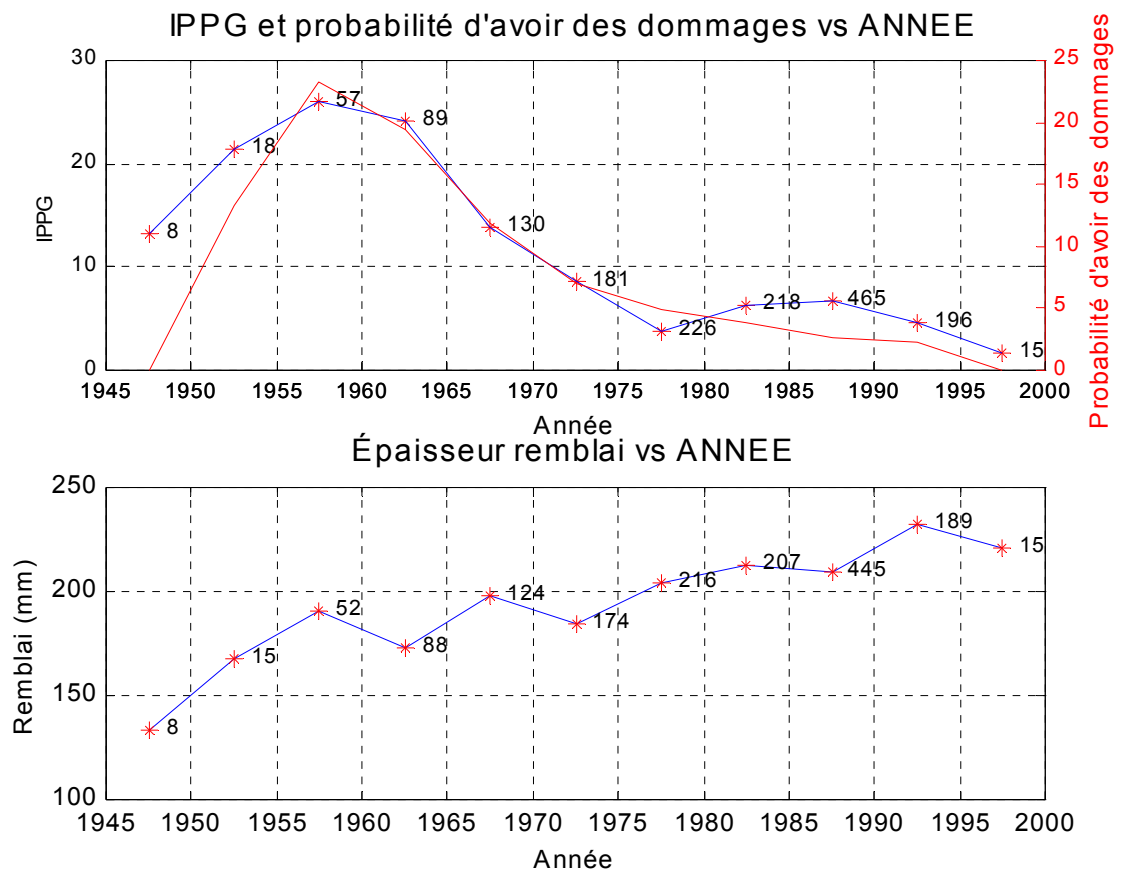
4.5 Étude dynamique des probabilités d'endommagement

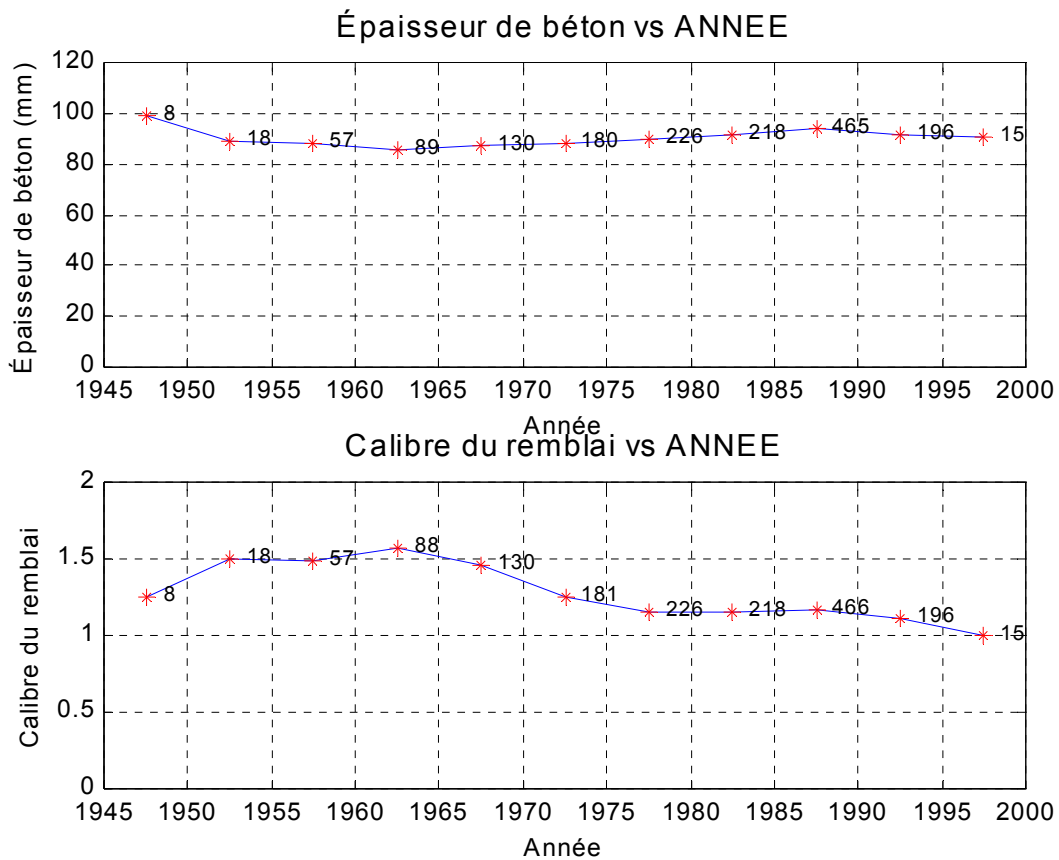
Cette section comprend une étude temporelle des différentes variables, afin de prédire un pourcentage de maisons qui seront, dans un futur proche touchées par la présence de dommages structuraux liés à la présence de pyrite. La période de prévision s'échelonne sur 10 ans, c'est-à-dire jusqu'en 2010.

4.5.1 Effet temporel des variables

Les sections suivantes exposent les variations trouvées dans l'utilisation des différentes caractéristiques de construction à travers les années. Encore une fois celles du sous-sol et du garage ont été séparées. Sur les graphiques, le chiffre en étiquette représente le nombre de cas se trouvant dans la catégorie d'âge appropriée.

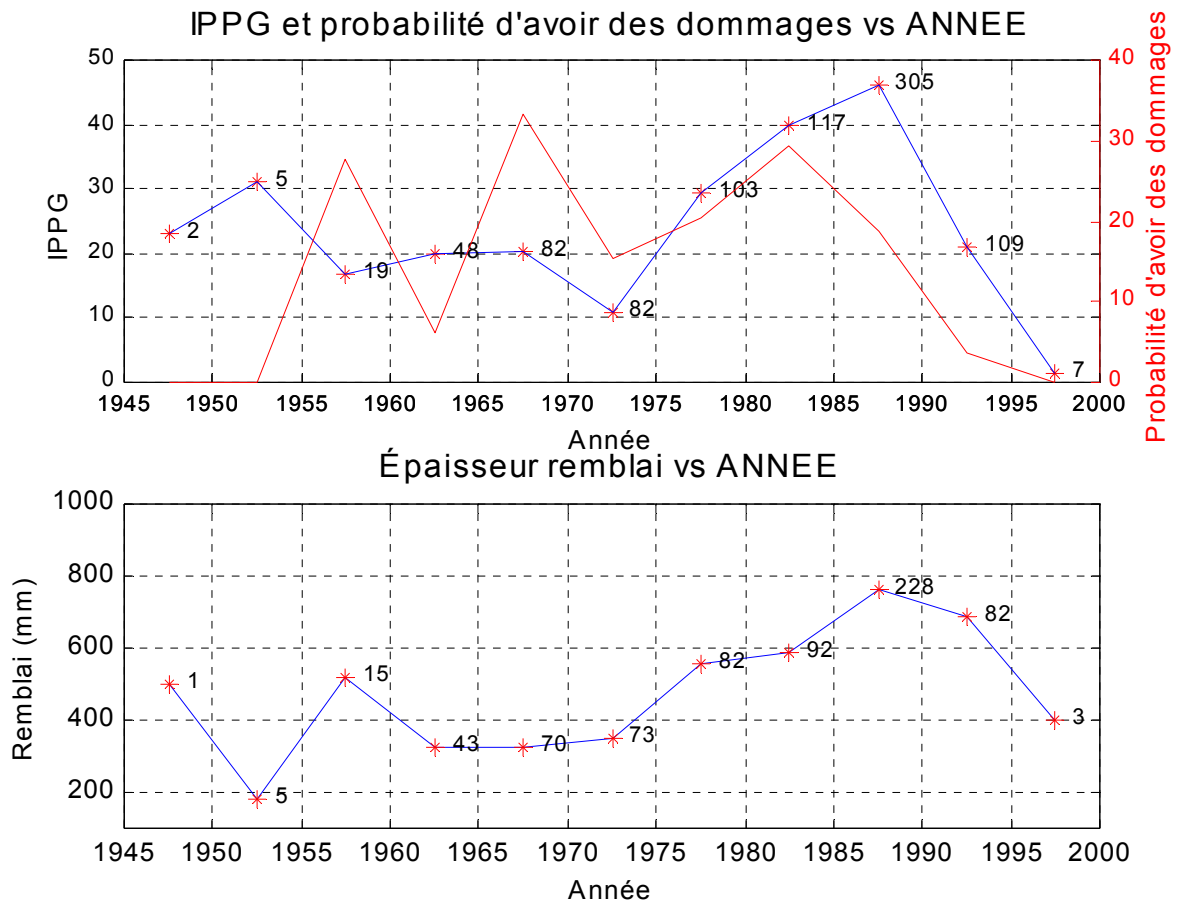
4.5.1.1 Sous-sol

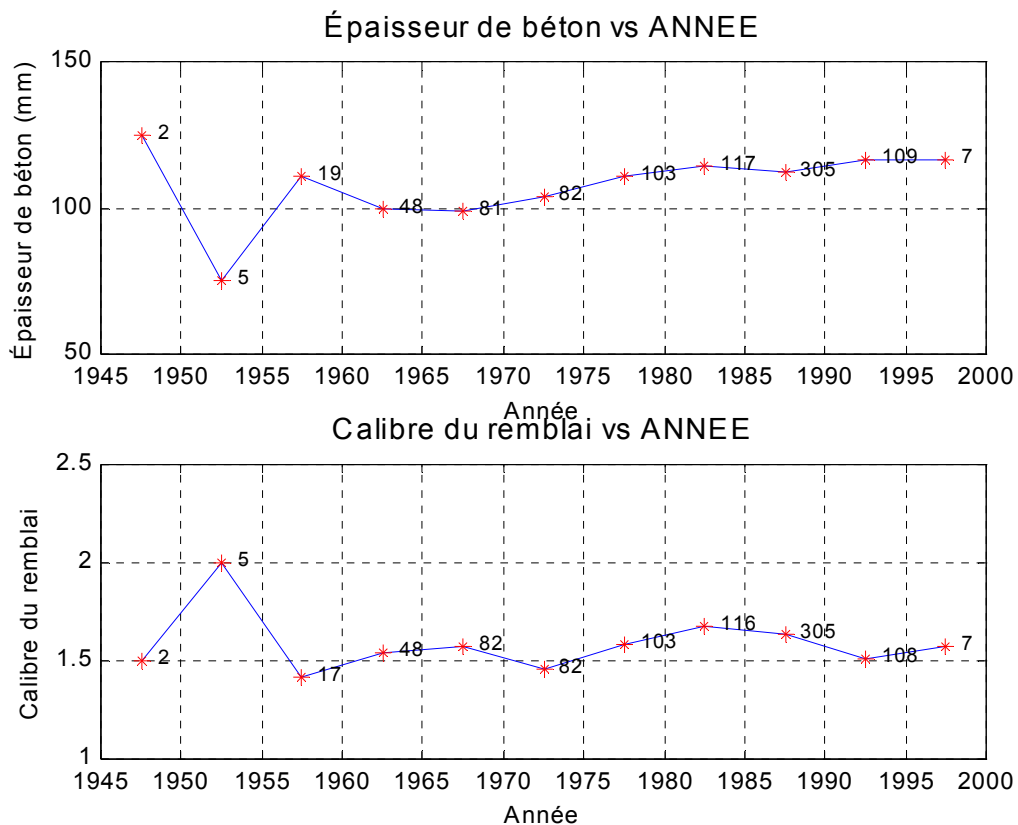




Pour le sous-sol, la qualité et l'épaisseur des remblais augmentent avec les années ; l'IPPG diminue et l'épaisseur de béton reste stable. Nous notons l'excellente concordance dans le temps entre l'IPPG et la probabilité d'avoir des dommages.

4.5.1.2 Garage





Pour le garage nous remarquons une augmentation des valeurs moyennes d'IPPG pour les années 1970-1990. Associé à ce phénomène, nous retrouvons également une augmentation notable de l'épaisseur de remblai. Pour les autres facteurs (calibre, épaisseur de béton) aucune variation importante n'est remarquée.

4.5.2 Prédiction à moyen terme

La prévision de l'augmentation du nombre de cas a été réalisée à l'aide des modèles prédictifs obtenus par l'analyse discriminante. Nous faisons vieillir chaque maison et pour chacune nous calculons la probabilité de dommages au temps considéré puis nous calculons la probabilité moyenne pour l'ensemble. L'augmentation relative dans le temps de ces probabilités moyennes est utilisé comme facteur multiplicatif appliqué aux proportions réelles et actuelles des cas avec dommages.

Tableau 4.9 : Prévision pour le sous-sol

Année	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Pourcentage de sous-sol avec dommage	Actuel	Prévision				
	6,64 %	6,94 %	7,20 %	7,45 %	7,67 %	7,87 %
Augmentation	7,87% - 6,64% = 1,23 %					

Tableau 4.10 : Prévision pour le garage

Année	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Pourcentage de garage avec dommage	Actuel	Prévision				
	16,40%	17,42%	18,28%	19,02%	19,67%	20,26%
Augmentation	20,26% - 16,40% = 3,86%					

5 – DISCUSSION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Cette section réfère aux résultats trouvés à la section 4 du présent document. La présence de dommages et de sulfatation sont ici traités afin d'établir quels sont les principaux éléments favorables à leurs occurrences. Chaque caractéristique a donc été discutée séparément pour les cas endommagés et les cas sulfatés. Rappelons qu'un cas avec dommages ne présente pas nécessairement de la sulfatation et vice versa. La figure 5.1 expose le nombre de cas endommagés, sulfatés ou présentant les deux phénomènes (dans l'encadré).

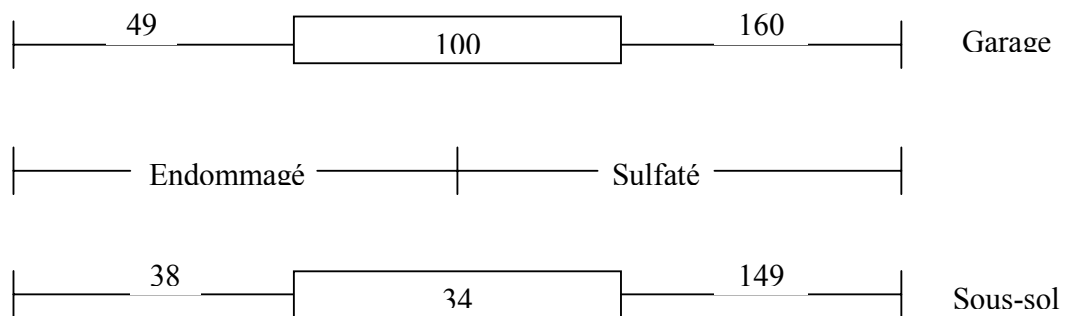


Figure 5.1 : Distribution des cas endommagés, sulfatés ou ayant les deux phénomènes.

5.1 Présence de dommages

Le tableau 5.1 présente une classification des caractéristiques de construction en fonction de leur caractère, favorisant ou non, l'endommagement des dalles de béton. La classification est tirée des histogrammes présentés à la [section 4.3.1](#). Nous donnons également le pourcentage de cas, au garage et au sous-sol, où nous retrouvons ces caractéristiques.

Tableau 5.1 : Comparaison des cas au garage et au sous-sol

Caractéristiques défavorables		Caractéristiques favorables	
Nature du remblai			
Dolomie		Calcaire	
Mélange		Cornéenne	
Shale		Sable	
Pelite		Intrusif	
Sous-sol 13,35%	Garage 40,47%	Sous-sol 86,65%	Garage 59,53%
Calibre du remblai			
Étalée		Nette	
Criblure		5-20	
		Sable	
Sous-sol 22,79%	Garage 70,33%	Sous-sol 77,21%	Garage 29,67%
IPPG			
> 10		< 10	
Sous-sol 20,72%	Garage 53,36%	Sous-sol 79,28%	Garage 46,64%
Moyenne			
18,95%	54,72%	81,05%	45,28%

De façon générale, la pierre utilisée au garage est de piètre qualité comparée à celle utilisée au sous-sol. En effet, comme le démontre le [tableau 5.1](#) les garages sont composés en moyenne de 55% de pierre ayant des caractéristiques défavorables comparativement à 19% pour les sous-sols. Ce qui nous donne des proportions d'endommagement de 6,6% au sous-sol, comparativement à 16,4% pour le garage ([tableau 4.5 et 4.6](#)).

5.1.1 Épaisseur de remblai

En théorie l'épaisseur de remblai est une caractéristique importante dans l'évaluation des dommages affectant les résidences. La proportion de cas endommagés devrait augmenter avec celle-ci. Cependant, cette étude n'a pas permis de corroborer cette hypothèse. Il est possible que les dommages provoqués par la sulfatation, non corrélée avec l'épaisseur de remblai, aient affecté la relation entre la probabilité d'avoir des dommages et l'épaisseur de celui-ci.

La figure 5.2 montre une absence de lien net entre dommages et épaisseur de remblai.

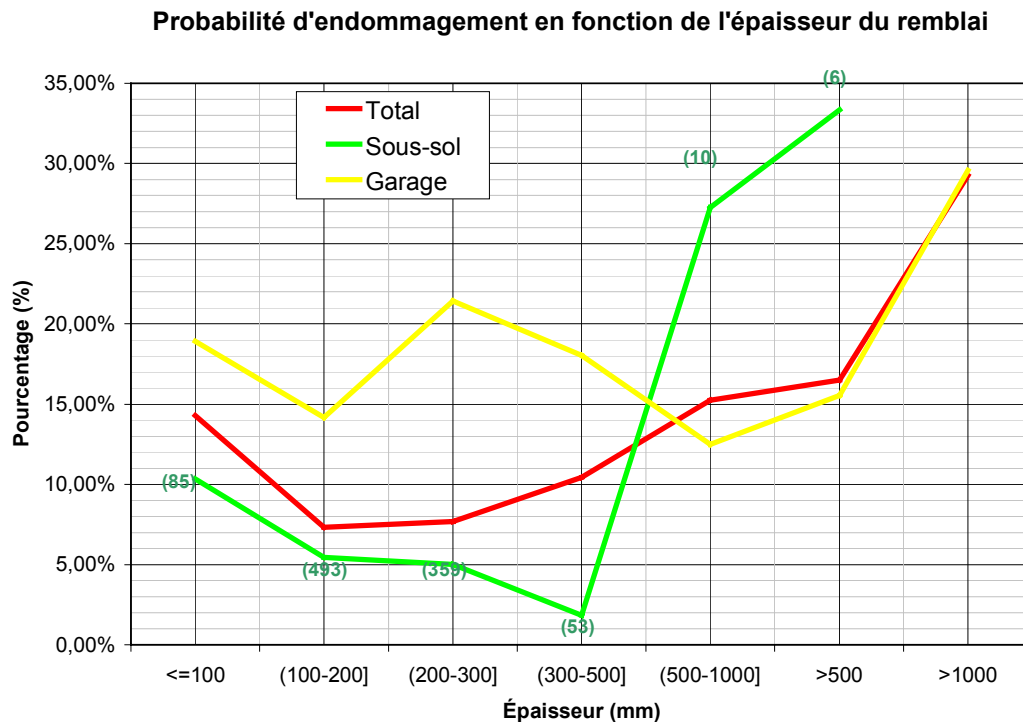


Figure 5.2 : Graphique sur les probabilités d'endommagement en fonction de l'épaisseur de remblai.

5.1.2 IPPG et calibre du remblai

La valeur d'IPPG fixée à 10 pour déterminer les cas qui peuvent être considérés problématiques semble être un excellent seuil. Selon le graphique suivant, la probabilité d'endommagement pour les valeurs d'IPPG comprises entre 0 et 10 est de 3,0%. Pour les IPPG compris entre 10 et 20 cette valeur augmente à 15,0% et pour les valeurs excédents 20 la probabilité d'endommagement moyenne est de 30,0%. L'utilisation de trois catégories d'IPPG semble un bon indicateur pour prédire les cas pouvant présenter des dommages.

Catégorie 1 : 0-10 → probabilités faibles (3,0%)

Catégorie 2 : 10-20 → probabilités moyennes (15,0%)

Catégorie 3 : 20-100 → probabilités élevées (30,0%)

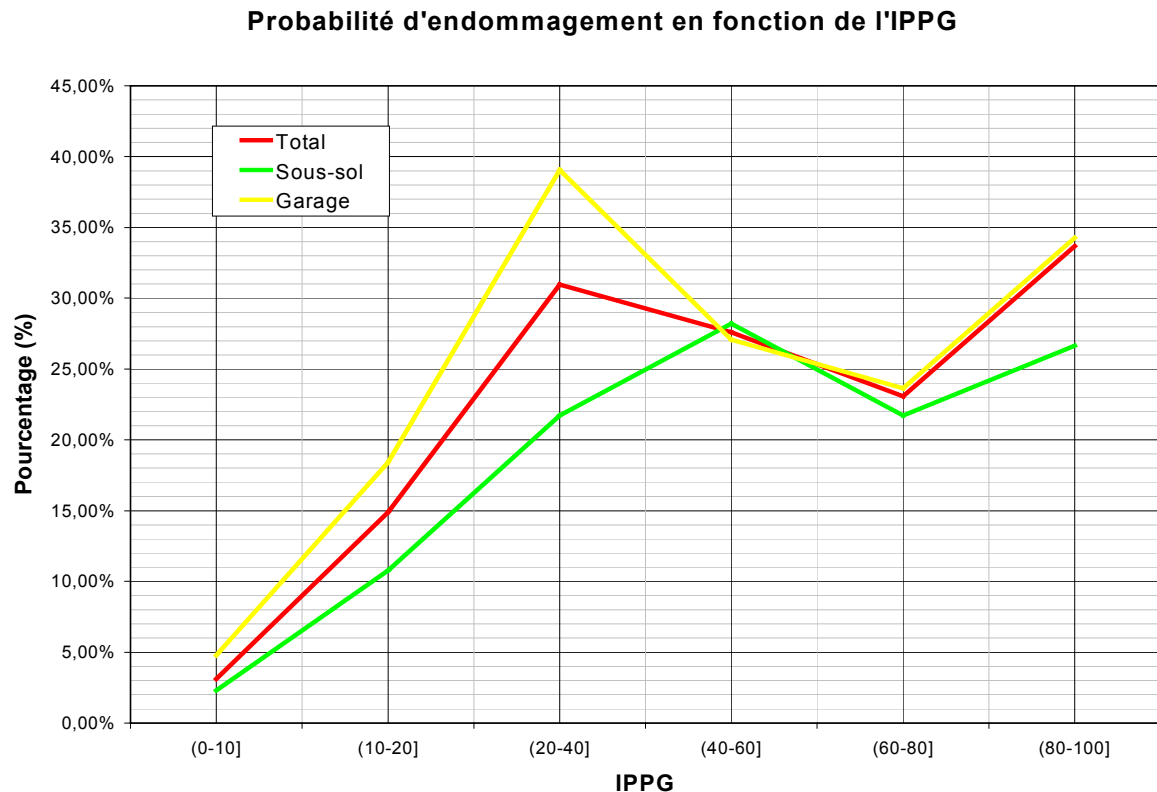


Figure 5.3 : Graphique sur les probabilités d'endommagement en fonction de l'IPPG.

Cependant, les cas possédant des IPPG faibles sont à 75% constitués de pierre nette et 5-20. Des organigrammes ont été préparés afin de présenter les proportions de cas endommagés et sulfatés selon le calibre des remblais et les catégories d'IPPG. Dans chacune des cases identifiant le calibre du remblai et les valeurs d'IPPG nous retrouvons deux nombres. Le premier indique le nombre total de cas où nous avons pu calculer un indice de dommage et le second correspond au nombre total de dalles de béton. Les pourcentages sont calculés sur le premier chiffre pour l'endommagement et sur le second pour la sulfatation. Ainsi, parmi les 1679 dalles de béton où l'IPPG était dans l'intervalle 0-10, 655 correspondaient à un remblai de pierre nette et 22 de ces 655 (3,4%) présentaient de la sulfatation. Parmi ces 1679 cas, seuls 1219 ont permis le calcul de l'indice de dommages dont 476 pour des pierre nettes; dont 5 cas avec dommages moyens ou élevés, soit 1,1%.

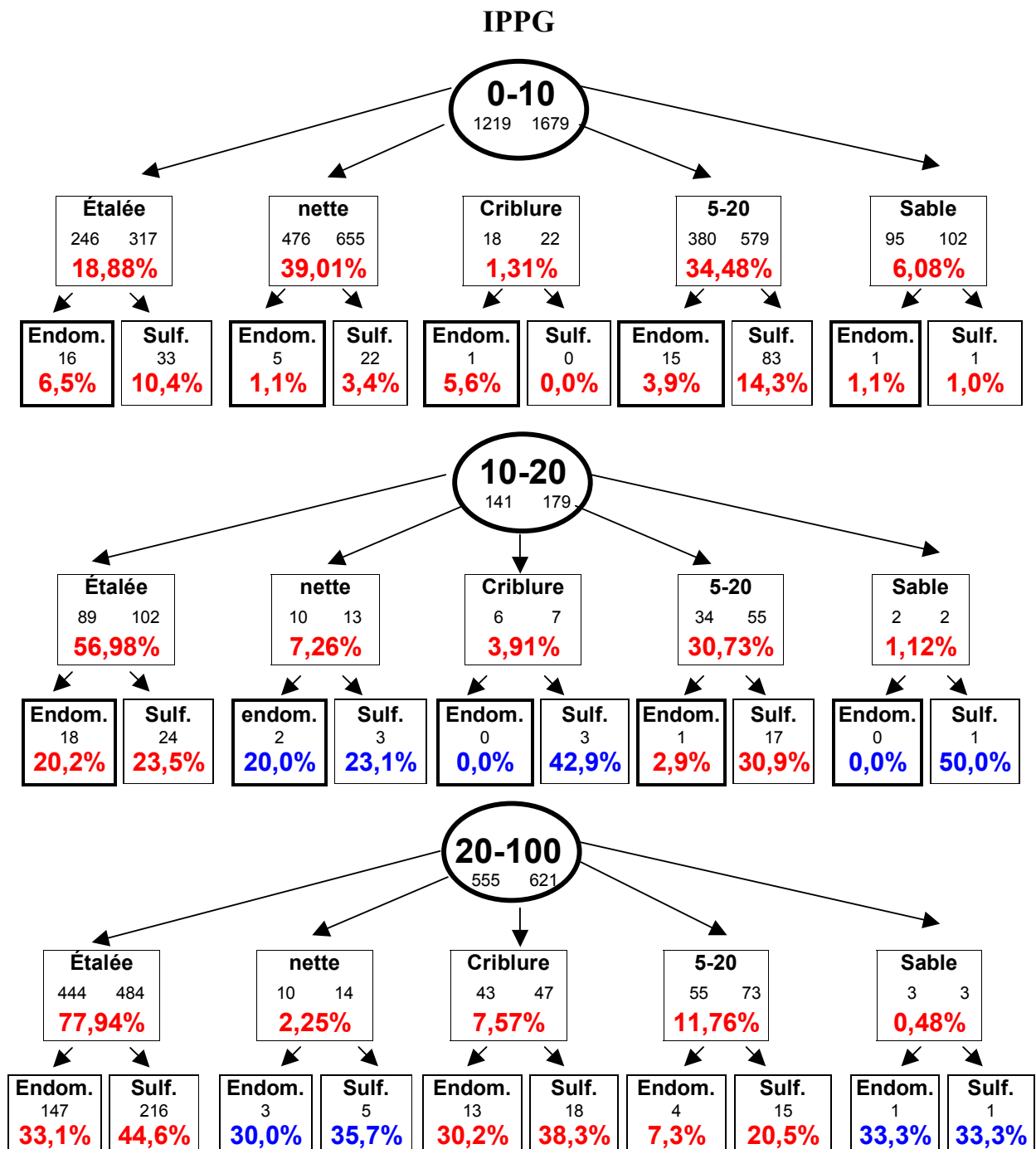


Figure 5.4 : Organigrammes (endomycetoz en fonction de l'IPPG et du calibre du remblai)

Note : les valeurs en bleu sont non significatives en raison du faible nombre de cas.

En conclusion, avec un IPPG élevé tous les types de pierre sont propices à provoquer l'apparition de dommages à l'exception des remblais constitués de pierre 5-20 qui possède une probabilité d'endommagement inférieure. Il est possible de penser que l'espacement entre les grains et la faible capillarité soient à l'origine des faibles proportions d'endommagement pour ce calibre de pierre. Pour ce qui est des pierres nettes, la majorité des cas se retrouvent dans la catégorie d'IPPG faible il est donc difficile de conclure à ce sujet.

5.1.3 Nature du remblai

Les remblais ont été classés dans les catégories selon la portion majoritaire des constituants. Par exemple, un échantillon composé de 40% de calcaire, 35% de shale, 20% de dolomie et 5% de pelite sera classé dans la catégorie calcaire. Il est donc difficile de voir l'effet exact des différents faciès pétrographiques. Pareillement, les remblais de sable sont classés dans cette catégorie quand plus de 50% de leur composition est du sable. C'est pour cette raison que nous retrouvons des cas présentant des dommages avec IPPG élevé dans cette catégorie. Néanmoins, les résultats obtenus reflètent globalement la perception des professionnels du domaine de la pyrite ; le shale, les pelites et ce que nous avons appelé mélange (mélange de cornéenne, pelite et de shale) sont les faciès présentant les plus hautes probabilités d'endommagement. Une exception possible est la dolomie qui montre ; 30,0% de probabilité d'endommagement (ce fort pourcentage n'est toutefois basé que sur 20 cas). Il est possible que cette forte proportion soit due à la composition minéralogique de la dolomie. Celle-ci, possédant des sulfates à l'état naturel, pourrait favoriser le processus de sulfatation. Par conséquent, le gonflement par sulfatation de la dalle serait la cause de ce résultat. De plus, le graphique *sulfatation vs nature du remblai* présenté à la [section 4.3.2.2](#) démontre qu'effectivement les proportions de sulfatation sont plus élevées pour ce faciès.

5.1.4 Âge de la maison

L'âge de la maison devrait être un paramètre important dans l'évaluation des probabilités d'endommagement. En effet, plus une maison est vieille plus elle a de chances de présenter des dommages car il s'agit d'un phénomène dynamique. Nous devrions nous attendre à un taux d'endommagement progressant avec l'âge, du moins jusqu'à un certain palier en supposant les caractéristiques de construction stables. Nous avons vu à la [section 4.5.1](#) que certaines caractéristiques de construction ont évolué à travers le temps et que certaines d'entre elles sont facilement associées à la courbe des dommages.

Les graphiques présentés à la section 4.5.1 ont permis de faire ressortir les points suivant :

- Au sous-sol la corrélation dans le temps est très forte entre l'IPPG et la probabilité de dommages.
- Le calibre du remblai indique une utilisation plus poussée de pierres nettes au cours des dernières années.
- Nous notons une tendance vers l'utilisation de remblais de plus grande épaisseur au sous-sol et au garage.

Malgré ces facteurs liés au temps, l'analyse discriminante a permis d'identifier une contribution significative de l'âge des résidences aux dommages. Nous voyons au moins deux explications possibles à cette influence de l'âge des maisons :

- En présence de paramètres de construction défavorables, il faut tout de même un certain temps avant que les dommages n'apparaissent.
- En présence de paramètres de construction favorables, certains dommages peuvent finir par s'installer dus à des problèmes de sulfatation ou à d'autres causes non-identifiées. La sulfatation étant liée à l'accessibilité du béton par l'acide sulfurique, pour certains domiciles, la réaction pourrait ne se produire qu'à l'occasion de niveaux particulièrement élevés de la nappe phréatique. Pour d'autre domiciles, l'eau pourrait être disponible beaucoup plus fréquemment (lien aussi avec le calibre du remblai et la capillarité).

Au garage, la relation avec l'IPPG est légèrement moins forte, mais encore une fois, il s'agit de la variable la plus explicative. Pour le garage, les résultats de l'analyse discriminante indiquent un certain rôle pour la variable « épaisseur de remblai ». Durant la période (1975-1990) où l'IPPG connaît une augmentation fulgurante, l'épaisseur de remblai suit la tendance et se voit pratiquement doublée comparativement aux années précédentes. ([voir section 4.5.1.2](#))

En ce qui concerne le calibre du remblai du garage, aucune amélioration n'est notée. Il se maintient entre le calibre net et le calibre étalé.

5.1.5 Épaisseur de béton

Une corrélation négative très faible est obtenue entre la grandeur des dommages observés et l'épaisseur de la dalle de béton. Globalement les dalles plus épaisses présentent moins de dommages importants. Cette variable est retenue par l'AD ([section 4.4.1.2 garage](#))

Un béton de plus faible épaisseur offre moins de résistance aux poussés du gypse. Il est donc normal de trouver cette relation. Cependant, plusieurs cas possédant une dalle de faible épaisseur ne présentent pas de dommages sérieux.

5.1.6 Les laboratoires

Il a été démontré que les laboratoires introduisait une différence significative pour l'IPPG. Ceci indique un certain manque d'uniformité dans la détermination des IPPG qu'il serait préférable de corriger. Ces différences sont probablement dues au fait que l'analyse pétrographique est une méthode semi-quantitative, comprenant inévitablement une part de subjectivité. Durant la quête de données j'ai pu remarquer que certains types de roche possédaient des appellations différentes selon les laboratoires mais recevaient les mêmes valeurs d'IPPG.

5.1.7 Les villes

Les [tableaux 4.5 et 4.6](#) ont montré une fréquence d'endommagement variable selon les villes. La provenance du remblai et l'environnement géologique pourraient expliquer cet effet. Une autre cause pourrait être le moment où les principales phase de construction des villes ont eu lieu et les pratiques de construction alors en vigueur. L'effet « laboratoire » pourrait également jouer un rôle. Afin de contrôler ces facteurs le mieux possible, une régression linéaire a été réalisée où nous expliquons les dommages par l'IPPG, l'âge, le calibre du remblai et les laboratoires. À ce modèle, nous tentons ensuite d'ajouter chaque ville à tour de rôle. Ce test a permis d'identifier un effet significatif pour 2 villes.

La [figure 5.5](#) présente la dispersion spatiale des probabilités de dommages rencontrées par groupe de ville.

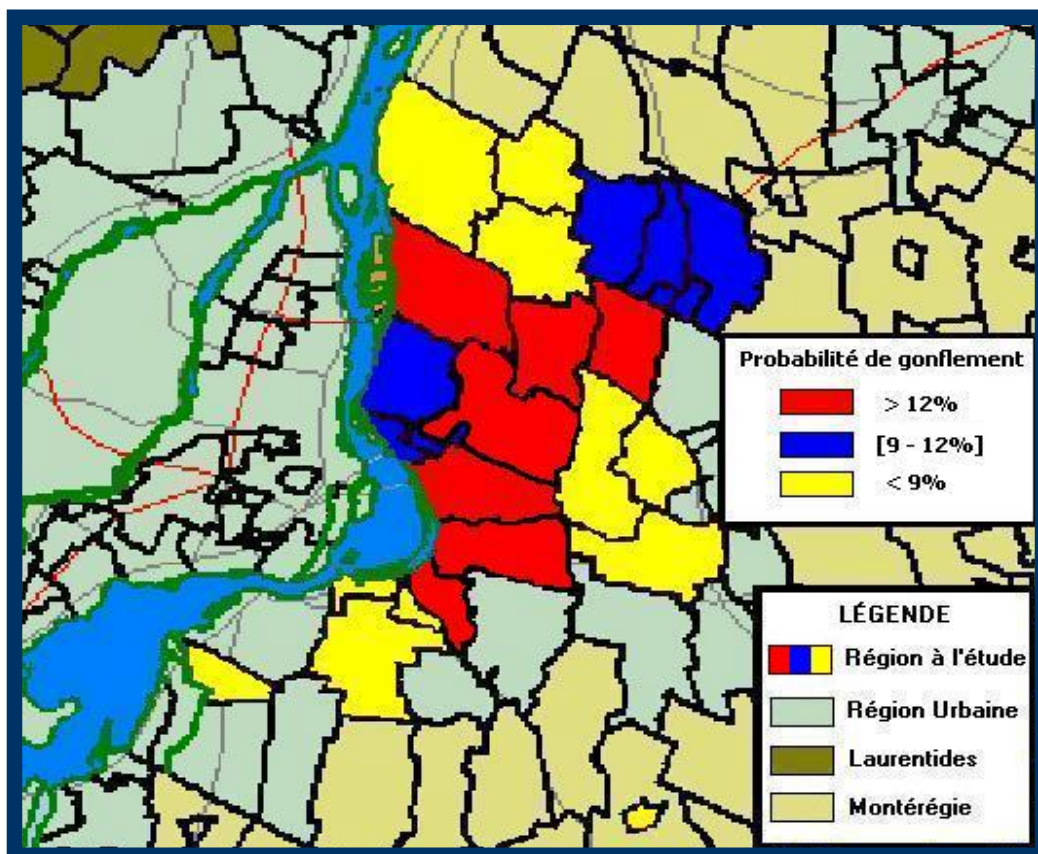


Figure 5.5: Distribution des probabilités de gonflement pour l'ensemble des cas.

5.1.8 Résultats de l'analyse discriminante

Les modèles mathématiques obtenus par l'analyse discriminante nous ont permis de classer les observations en deux groupes (le groupe endommagé et le groupe non-endommagé). De plus, ils nous ont permis d'établir des prévisions à moyen terme sur l'augmentation du nombre de maison atteinte par des problèmes liés à la présence de shale pyriteux.

Pour le sous-sol, nous avons obtenu un pourcentage de biens classés de 84,4%. Cependant, la majorité des observations mal classées sont dites endommagées par l'AD alors que peu de dommages sont en réalité observés. En ce qui concerne les observations dites non-endommagées, elles sont bien classées par l'AD dans 99,3% des cas. Le modèle permet donc d'identifier sans problème les sous-sols qui ne seront pas touchés par l'apparition de dommages. Pour les sous-sols classés dans la catégorie endommagé ceux-ci possèdent seulement 18% de chance de présenter réellement des dommages. L'AD fournit donc un classement très conservateur.

L'équation de classification permet également de valider une combinaison IPPG – calibre donnée. Un IPPG élevé associé à un calibre étalé sont des facteurs propices à l'apparition de dommages. De plus, les risques de dommages augmentent avec l'âge de la résidence.

Pour le garage, le pourcentage de bien classé est inférieur à celui trouvé au sous-sol, 71,6%. Les observations classées dans le groupe « non-endommagé » présentent dans 94,5% des cas aucun dommage, tandis que les observations classées dans le groupe endommagé possèdent seulement 31% de chance de présenter réellement des dommages.

Les prévisions à moyen terme sur l'augmentation du nombre de maison présentant des dommages sont de 1.23% pour le sous-sol et de 3.86% pour le garage. Ces prédictions sont échelonnées sur une période de 10 ans et nous donnent les nombres suivants de cas atteints en l'an 2010 :

Tableau 5.2 : Augmentation du nombre de cas endommagé

	Sous-sol	Garage
Nombre de cas présentement touché	10 303	11 843
Taux d'augmentation	1,23%	3,86%
Nombre de nouveaux cas (jusqu'en 2010)	1 908	2 780
Nombre de cas total	12 211	14 623

5.2 Sulfatation

La sulfatation est un phénomène facile à observer mais difficile à prévoir. Nous en retrouvons dans tous les faciès, pour toutes les épaisseurs de remblai et pour tous les calibres de remblai, sans tendance particulière (voir [section 4.3.2](#)). Nous notons cependant une corrélation positive avec l'IPPG comme le démontre [l'histogramme 4.3.2.1](#).

Le phénomène de sulfatation est également lié aux aspects hydrologiques du milieu (ex : remontée capillaire). Certes la présence de pyrite est favorable à la sulfatation en raison du lien avec l'IPPG, mais elle est loin d'expliquer à elle seule les probabilités de sulfatation. Il est reconnu que le type de béton, sa porosité et sa résistance sont également des caractéristiques importantes dans le processus de sulfatation.

Parmi les cas possédant un polyéthylène (213 cas), aucune sulfatation n'a été observée. L'utilisation d'un pare vapeur constitue donc une excellente méthode pour éviter les problèmes de sulfatation de dalle de béton.

L'âge de la maison est également un facteur influent dans le processus de sulfatation. Selon la [figure 5.6](#) nous remarquons une croissance continue de la probabilité de sulfatation pour le sous-sol jusqu'à un plateau de 24%, atteint après 30 ans. Pour le garage le plateau est d'environ 35% et est atteint après 10 ans. Le graphique montre le lien étroit dans le temps entre l'IPPG et la probabilité de sulfatation.

Le modèle de prédiction de l'AD nous confirme que l'IPPG et l'âge de la résidence sont des paramètres importants lors de la prédiction de la sulfatation de la dalle de béton. Cependant, au garage, où les épaisseurs de remblai sont plus importantes en général (voir [tableau 4.4](#)), le calibre du remblai inclus dans le modèle invoque un lien possible entre la capillarité du milieu et la présence de sulfatation.

Note : une dalle est dite sulfatée peu importe l'épaisseur de sulfatation présente

Relation entre l'IPPG moyen et les probabilités de sulfatation

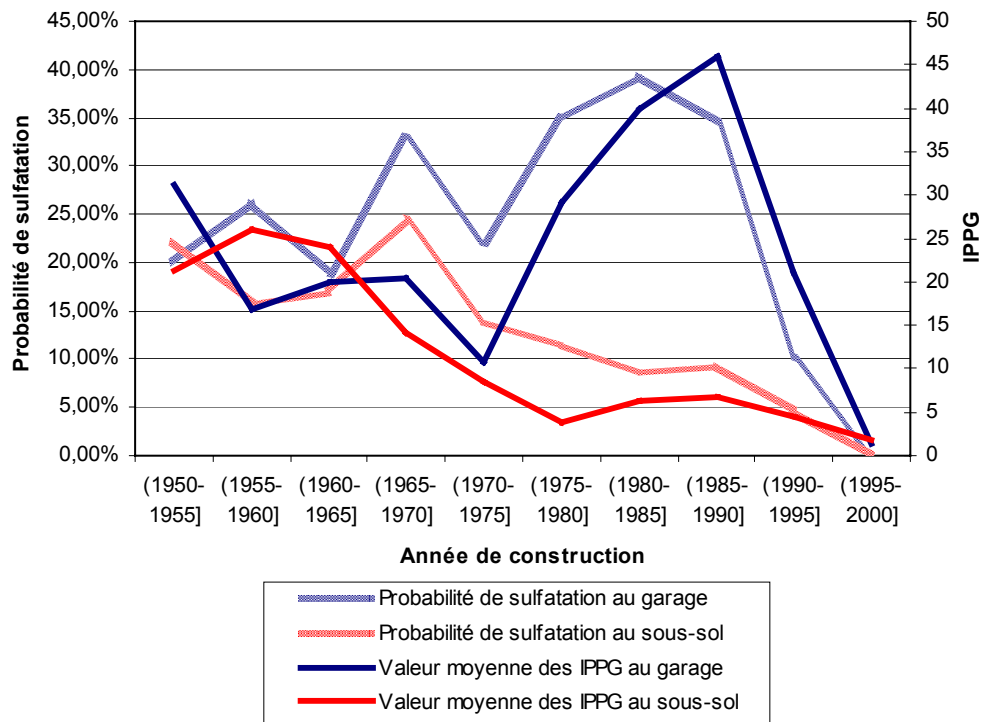


Figure 5.6 : Relation entre la présence de sulfatation et l'IPPG moyen par groupe d'âge.

5.3 Expertises répertoriées

En général la banque de données peut-être considérée fiable et représentative mais nous pensons que des cas d'endommagement majeurs ne sont pas répertoriés car parfois des réparations sont immédiatement entreprises sans avoir recours à une expertise de pyrite. Les probabilités de gonflement au garage devraient être légèrement plus élevées que celles obtenues pour cette étude. Celles au sous-sol peuvent être considérées plus justes car les dommages à cet endroit sont surtout de faible amplitude et n'empêchent généralement pas l'utilisation normale de ce lieu. Souvent le plancher est recouvert d'un faux plancher, de tuiles ou d'un tapis cachant ainsi la présence de fissures et de certains impacts liés au soulèvement.

6 - CONCLUSION

De façon générale, ce rapport expose les faits décrits par l'accumulation de données provenant de cinq laboratoires différents. Au total, les données de 1700 maisons (2486 forages) ont été recueillies sur une période de 2 mois.

Selon notre indice de dommage, les maisons ont été classées dans diverses catégories (dommages faibles ou nuls, dommages moyens et dommages élevés). Avec ce classement nous avons obtenu des probabilités d'endommagement associées aux paramètres de construction répertoriés. Nous avons identifié, l'IPPG comme étant un bon indicateur de la présence de dommages. Un IPPG compris entre 0 et 10 procure une probabilité d'endommagement de 3%, tandis qu'un IPPG supérieur à 20 confère à la résidence en question une chance sur trois de présenter des dommages. Un lien similaire a pu être établi pour le calibre du remblai, des proportions d'endommagement de 3% et de 23% ont été obtenues pour les remblais de pierres nettes et de pierres étalées. Cependant, il faut rappeler que les pierres nettes présentent des IPPG généralement plus bas.

L'étude temporelle des paramètres de construction nous a permis de constater l'étroite relation entre la variabilité de l'IPPG et la présence de dommages. Les maisons plus récentes possèdent des IPPG plus faibles et par conséquent des probabilités d'endommagement plus faibles tandis que les maisons plus âgées possèdent des IPPG et des probabilités d'endommagement plus forts.

Dans la plupart des cas ce sont les garages qui présentent des dommages considérables. Le garage servant surtout de lieu de rangement, cela affecte peu le mode de vie des occupants de la résidence. Les probabilités d'endommagement obtenues pour le garage et le sous-sol, pour la région étudiée, sont respectivement de 16,40% et de 6,64%. Cependant nous pensons que les probabilités réelles au garage sont légèrement plus

élevées que celles trouvées dans cette étude. En effet, les propriétaires vont souvent entreprendre des réparations sans avoir recours à une expertise de pyrite.

Les probabilités d'endommagement sont appelées à augmenter de 1,23% pour le sous-sol et de 3,86% pour le garage sur une période de 10 ans. Ce qui constitue une augmentation relative de 18,5% pour le sous-sol et 23,5% pour le garage par rapport aux cas actuels.

L'analyse discriminante a identifié les variables importantes pour l'apparition de dommages au sous-sol et au garage. Les modèles mathématiques obtenus nous ont donné des pourcentages de bien classés respectifs de 84,4% et 71,6% pour le sous-sol et le garage. Dans les deux cas, l'IPPG constitue la variable la plus explicative de la présence de dommages aux dalles des résidences.

Pour ce qui est de la réaction de sulfatation, deux relations nettes ont été établies :

- l'utilisation d'un pare vapeur de polyéthylène empêche toute sulfatation
- la sulfatation est corrélée positivement à l'IPPG

Ces deux paramètres sont facilement contrôlables. Le processus de sulfatation peut donc être aisément supprimé.

Trois laboratoires ont démontré des écarts significatifs dans les moyennes d'IPPG. Ces différences indiquent un manque d'uniformité dans la détermination des IPPG.

Les mécanismes de réaction engendrant le gonflement du remblai et la sulfatation de la dalle étant bien connus, il nous est désormais possible, avec cette étude, de prédire dans 99,3% des cas l'absence de dommages au sous-sol et dans 94,5% des cas l'absence de dommages au garage. Par contre, la présence de dommages ne peut être prédite aussi bien car seuls les paramètres de construction sont utilisés dans le modèle de prédiction alors que le milieu dans lequel se trouve le remblai est aussi un facteur important. Ce milieu consiste en un système ouvert où les conditions initiales sont inconnues et où la présence d'humidité et d'oxygène évoluent dans le temps.

7 - RECOMMANDATION

7.1 Les expertises

7.1.1 Le relevé visuel

Le guide fourni par le Comité technique québécois est imprécis quant à la nature des dommages observés sur la dalle de béton. En effet, de savoir qu'un sous-sol comporte *plus de 2 fissures en étoiles* n'indique pas la grandeur réelle des dommages. Il peut y avoir 3 ou 25 fissures, la marge peut-être grande. Plusieurs laboratoires ont déjà modifié le formulaire afin qu'il corresponde à leurs besoins. Voici donc les modifications que je propose au rapport type du Comité technique québécois :

La section *Nombre de fissures dans la dalle* devrait contenir le nombre de fissures comme suit ;

Nombre de fissures dans la dalle	
	Fissures en étoile
	Fissures rectiligne
	Autres :
☐	aucune fissure

La section *ouverture des fissures* devrait également procurer un espace pour noter le nombre de fissures se retrouvant dans chaque catégorie ainsi que l'ouverture présente si celle-ci dépasse 2 mm

Ouverture des fissures	
	fine : moins de 1 mm
	moyenne : entre 1 et 2 mm
	importante : plus de 2 mm mm

Le commentaire est identique pour les sections *Amplitudes des soulèvements* et *Murs de fondations*.

Amplitude des soulèvements perceptibles (gonflement)	
moins de 10 mm	mm
10 mm à 20 mm	mm
20 mm et plus	mm
☐ aucun soulèvement perceptible	

Murs de fondation (section sous-sol)	
Fissures aux coins :	mm
Fissures entre les coins :	mm
☐ déplacement du mur vers l'extérieur :	mm
☐ aucun déplacement perceptible	
☐ aucune fissure	

En plus de ces correctifs apportés aux grilles d'évaluation des dommages, le croquis inclu dans le formulaire devrait montrer en détail toutes les fissures et soulèvement perceptibles avec leurs valeurs associées. Il devrait contenir les pièces observées au sous-sol et au garage avec les types de recouvrements (s'il y a lieu). Ce graphique constitue un élément important lors du verdict pris par le laboratoire concernant la présence d'un gonflement pyritique. Il se doit d'être le plus exact et le plus complet possible.

Il faut s'assurer que les techniciens qui effectuent le relevé visuel soit qualifiés et compétents. La prise d'information est une étape cruciale car la personne en charge des rapports d'expertise n'est normalement jamais la même que celle qui effectue le relevé visuel. Il est nécessaire que le rédacteur des rapports ait toutes les informations importantes et pertinentes sur les dommages affectant les éléments structuraux de la résidence afin de pouvoir faire une synthèse sur la situation présente. Certaines questions importantes dans le formulaire sont parfois omises par le technicien

7.1.2 Les analyses au laboratoire

La première des choses est de vérifier que l'échantillon recueilli est conforme à la procédure CTQ-M200. La masse de l'échantillon recueilli ainsi que la profondeur d'échantillonnage doivent être conformes à la procédure. J'ai pu remarquer, lors de l'accumulation de cas que ces critères sont très peu souvent respectés.

Les analyses pétrographiques sont à l'origine de plusieurs conflits dans le domaine de la pyrite. En effet, l'évaluation est qualitative et les géologues ont tous eu des formations différentes et forcément ont leurs propres convictions quant à la nature des roches étudiées. Une formation d'ordre générale ou accréditation devrait être donnée selon une base régulière afin de mettre à niveau tous les laboratoires et leurs employés. De cette façon les appellations utilisées pour décrire les faciès seraient identiques et cela empêcherait la confusion du public, qui déjà, est très hésitant avec la terminologie employée.

Une attention particulière devrait être portée à la dolomie qui a été présentée comme pouvant provoquer de nombreux cas de gonflement

7.2 Construction de nouvelle maison

Avec les informations obtenues au cours de cette étude, nous pouvons émettre quelques recommandations concernant la construction de nouvelles maisons. Celle-ci devrait être munie d'un pare vapeur de polyéthylène comme le stipule le Code canadien de construction d'habitations. Par contre, le code devrait obliger l'utilisation d'un polyéthylène au garage également pour prévenir les risques de sulfatation qui sont plus élevés à cet endroit. Cette étude a démontré que l'utilisation d'un pare vapeur élimine à 100% les probabilités de sulfatation du béton.

De plus, le remblai utilisé doit avoir subi un examen pétrographique selon la procédure CTQ-M100 et posséder un IPPG inférieur à 10. Un calibre net (15-20, 20, 20-56...) procurerait une probabilité d'endommagement de 1,1%. Tandis que l'utilisation d'un remblai constitué de pierre 5-20 procurait une probabilité d'endommagement de 3,9%. Toujours pour des IPPG inférieurs à 10, mais cette fois-ci constitué de pierre étalée (0-20, 0-56...) donnerait des proportions d'endommagement de 6,5%. Il s'agit donc de choisir le calibre du remblai selon les risques que nous considérons acceptables.

7.3 Banque de données

Bien que la banque de données ait été construite lors de cette étude, cela n'empêche pas quelques commentaires. Certaines variables auraient dû être répertoriées de façon plus précise. Les cas de gonflement se distinguent entre autre par la présence de soulèvement sur les dalles de béton. Cette variable aurait dû être observée plus précisément soit en produisant un plus grand nombre de groupe ou en conservant la valeur même des soulèvements observés.

BIBLIOGRAPHIE

- Bérubé, M.A. (1997), La situation actuelle au Québec, Comptes-rendus du Colloque AEG ; Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement, 30 p.
- Côté, F. (1997), Mécanismes de gonflement de remblais granulaires et simulation en laboratoire, *Comptes-rendus du Colloque AEG ; Les shales pyriteux et les problèmes de gonflement*, 18 p.
- Côté, F. (1990), Expansion de shale pyriteux, *Mémoire de maîtrise*, École Polytechnique de Montréal, 177p.
- Comité associé au Code national du bâtiment (1990), Code canadien de construction d'habitations 1990, *Conseil national de recherches Canada*.
- Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies (1998), Code national de construction de maisons et Guide illustré-Canada, 1998, *Conseil national de recherches Canada*.
- Hosmer, D. & Lemeshow, S. (1989), Applied Logistic Regression, *A Wiley-Interscience publication*, Canada, 307 p.
- LaSalle, P. (1981), Géologie des dépôts meubles de la région de Saint-Jean-Lachine, *Ministère de l'énergie et des ressources*, 13 p.
- Marcotte, D. (1999), Notes de cours – Traitement statistique de données géologiques, version 2.4, École Polytechnique de Montréal.

Pasquier, P. (2000), Analyse discriminante des causes du gonflement de remblai sous dalles, *Projet de fin d'étude*, École Polytechnique de Montréal, 49 p.

Perrier, Y. & Tanguay, C. (1999), La pyrite et votre maison : mieux comprendre le phénomène du gonflement des remblais sous dalle, *Association des consommateurs pour la qualité dans la construction*, 50 p.

ANNEXE A

CLÉ DU CODAGE DES VARIABLES

Identification						
Dossier / Labo	Ville	Année	date du relevé	adresse	Type	Cause
				Confidentiel		V = vente P = problèmes ou réparation I = Information personnelle

Désordres					
Fissures					Portion Visible
régulières	en étoile	ouverture	soulèvement	Poudre	
Nombre	Nombre	0 = aucun 1 = faible (< 2 mm) 2 = fort (2 à 10 mm) 3 = extrême (>10mm)	0 = aucun 1 = faible (< 10mm) 2 = fort (10 à 50mm) 3 = extrême (> 50mm)	0 = Absence 1 = Présence	Pourcentage

Désordres (suite)				
Plancher	Murs de fondation	déplacement du mur	dommage macro	gonflement macro
0 = plat 1 = peu déformé 2 = beaucoup déformé	0 = aucun 1 = fissures (0 à 4mm) 2 = fissures (> 4mm) 3 = extrêmes (plusieurs dommages)	0 = non 1 = oui		0 = aucun 1 = oui 2 = possible

Forage			
Béton			coupe vapeur
Qualité	Épaisseur	Sulfatation	
0 = bonne 1 = décoloration 2 = délamination	Valeur	épaisseur (mm)	0 = aucun 1 = polyéthylène 2 = treillis ou armature 3 = styromousse

Forage (suite)				
Remblai			Terrain naturel	eau
Calibre	Épaisseur	Compactage		
0 = étalée (0-20, 0-56...) 1 = nette (20, 20-56...) 2 = Criblure (0-5 et 0-10) 3 = (5-20, 5-56...) 4 = sable	Valeur	0 = Fortement 1 = Faiblement	0 = argile 1 = sable 2 = roc 3 = till 4 = silt	0 = sec 1 = humide 2 = mouillé

Mesure en Laboratoire						
IPPG	nature du remblai¹	Analyse chimique	Absorption	Sulfate sur remblais	Oxydation sur remblais	Note
	0 = Calcaire 1 = Dolomie 2 = Cornéenne 3 = Mélange 4 = Sable 5 = Shale 6 = Intrusif 7 = Autre	Pyrite Équivalente Sulfate Soluble		0 = aucun 1 = en trace 2 = moyen 3 = beaucoup	0 = aucun 1 = en trace 2 = moyen 3 = beaucoup	

¹ Selon la portion majoritaire du remblai

ANNEXE B

RAPPORT TYPE DU COMITÉ TECHNIQUE QUÉBÉCOIS

PROTOCOLE D'EXPERTISE
SUR BÂTIMENTS
RÉSIDENTIELS EXISTANTS

RAPPORT TYPE

BÂTIMENT RÉSIDENTIEL

PROTOCOLE CTQ-M200

Version 1.1

***PROTOCOLE D'EXPERTISE SUR
BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS EXISTANTS***

1.0 IDENTIFICATION DE LA PROPRIÉTÉ

- Adresse civique	:	_____
- Type de bâtiment	:	_____
- Présence d'un garage	:	_____
- Année de construction	:	_____
- Année d'acquisition	:	_____
- Propriétaire actuel	:	_____
- Évaluation municipale		
terrain	:	_____
bâtiments	:	_____
(année de l'évaluation)	:	_____
- Agent et/ou courtier	:	_____
- Autres informations	:	_____

2.0 RELEVÉ VISUEL DES DÉSORDRES

- Notes :*
- Le relevé des désordres indique uniquement les défauts relevés sur les éléments visuellement observables pouvant être affectés par un gonflement associé à la présence de pyrite dans le remblai.
 - Le relevé peut avoir une portée limitée si plusieurs de ces éléments ne peuvent être observés à cause de la présence d'obstacles visuels, comme des faux planchers ou des tapis, par exemple.

2.1 Identification de la firme

Firme ayant réalisé le relevé _____	Date _____
Par _____	Qualification _____

2.2 Relevé des désordres au sous-sol

Dimensions nominales :	
% de surfaces visibles de béton :	Revêtement :
<u>Nombre de fissures dans la dalle du sous-sol</u> ☐ plusieurs fissures plutôt rectilignes ☐ une ou deux fissures plutôt rectilignes ☐ plusieurs fissures en étoile ☐ une ou deux fissures en étoile ☐ aucune fissure <u>Ouverture des fissures</u> ☐ fine : moins de 1 mm ☐ moyenne : entre 1 et 2 mm ☐ importante : plus de 2 mm <u>Présence de poudre blanchâtre dans les fissures</u> ☐ abondante ☐ rare ☐ ailleurs que dans les fissures ☐ non observée <u>Amplitude des soulèvements perceptibles (gonflement)</u> ☐ moins de 10 mm _____ ☐ 10 mm et plus _____ ☐ aucun soulèvement perceptible <u>Évidence d'humidité excessive (intérieur/extérieur)</u> ☐ observée _____ ☐ non observée	<u>Murs de fondation (section sous-sol)</u> ☐ présence de fissures aux coins: ☐ présence de fissures entre les coins: ☐ déplacement du mur vers l'extérieur: _____ mm ☐ aucun déplacement perceptible ☐ aucune fissure <u>Cloisons du sous-sol</u> ☐ fissurées _____ ☐ flambage _____ ☐ aucun dommage ☐ pas de cloison <u>Portes au sous-sol</u> ☐ ferment mal ☐ aucun dommage ☐ pas de porte <u>Dommages à l'étage</u> ☐ soulèvement du plancher à l'étage: _____ ☐ cloisons avec dommages: _____ ☐ autre dommage: _____ ☐ aucun dommage à l'étage
Remarques :	

2.3 Relevé des désordres au garage

Dimensions nominales (dalle) :		Élévation de la dalle : ☐ rue ☐ sous-sol	
% de surfaces observables :		Revêtement :	
<u>Nombre de fissures dans la dalle du garage</u> ☐ plusieurs fissures plutôt rectilignes ☐ une ou deux fissures plutôt rectilignes ☐ plusieurs fissures en étoile ☐ une ou deux fissures en étoile ☐ aucune fissure <u>Ouverture des fissures</u> ☐ fine : moins de 1 mm ☐ moyenne : entre 1 et 2 mm ☐ importante : plus de 2 mm <u>Présence de poudre blanchâtre dans les fissures</u> ☐ abondante ☐ rare ☐ ailleurs que dans les fissures ☐ non observée <u>Amplitude des soulèvements perceptibles</u> ☐ moins de 10 mm _____ ☐ 10 mm et plus _____ ☐ aucun soulèvement perceptible <u>Évidence d'humidité excessive (extérieur/intérieur)</u> ☐ observée _____ ☐ non observée		<u>Murs de fondation (section garage)</u> ☐ présence de fissures aux coins: _____ ☐ présence de fissures entre les coins: _____ ☐ déplacement du mur vers l'extérieur: _____ mm ☐ aucun déplacement perceptible ☐ aucune fissure <u>Pièces attenantes au garage</u> ☐ oui : _____ ☐ dommages : _____ ☐ aucun dommage ☐ pas de pièce attenante <u>Lavage de voitures dans le garage</u> ☐ fréquent ☐ rare ☐ jamais <u>Température moyenne en hiver à l'intérieur du garage</u> ☐ > 10°C ☐ 0 – 10°C ☐ garage non chauffé <u>Puisard</u> ☐ apparaît étanche ☐ n'apparaît pas étanche <u>Porte de garage</u> ☐ dalle soulevée près de la porte ☐ aucun soulèvement perceptible	
Remarques :			

2.4 Relevé extérieur

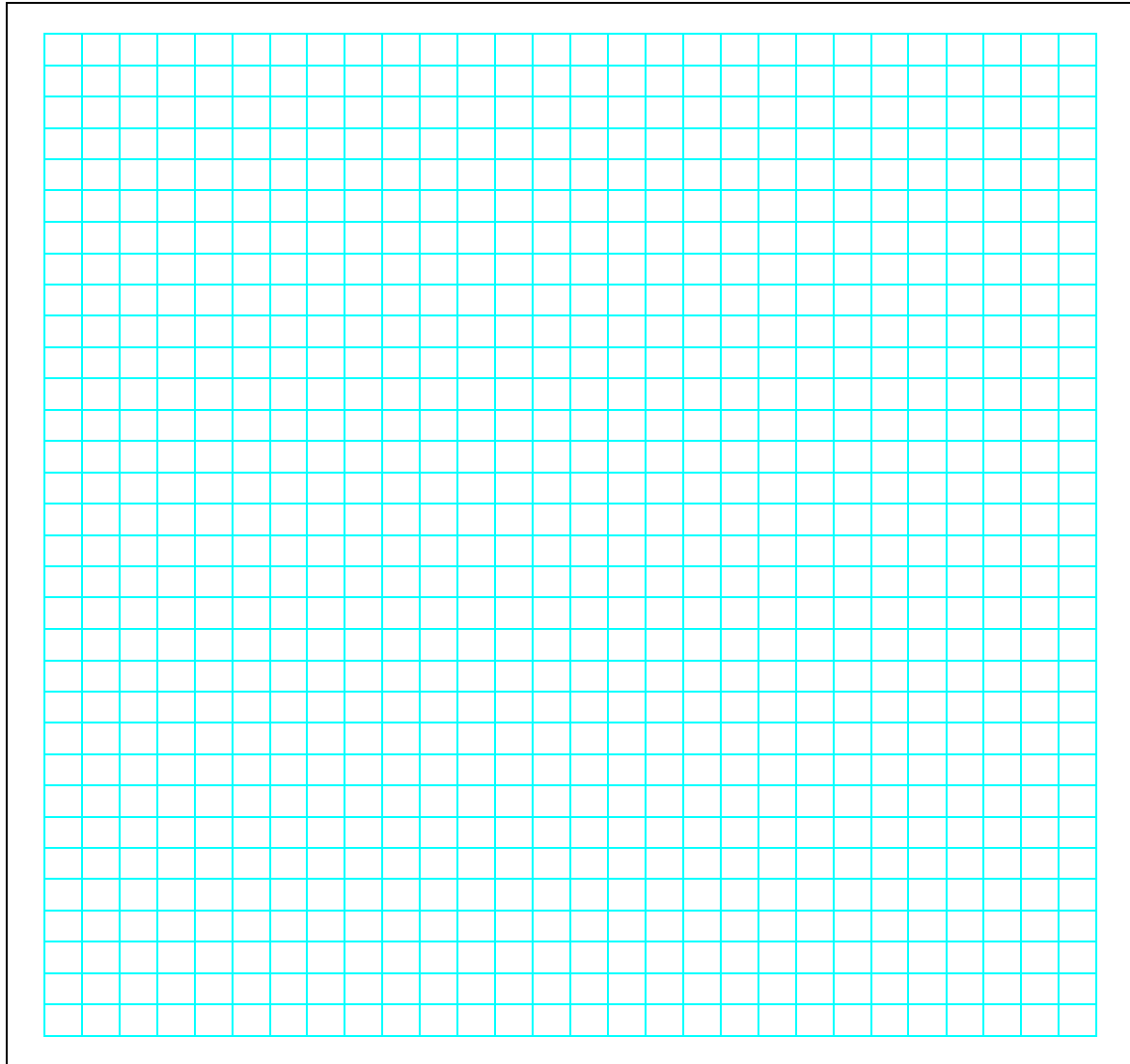
<u>Présence d'arbres matures</u> ☐ oui ☐ non	<u>Pentes du terrain et écoulement de l'eau</u> ☐ pentes éloignent l'eau du bâtiment ☐ pentes vers le bâtiment ☐ présence d'eau stagnante ☐ pentes négligeables
<u>Gouttières</u> ☐ éloignent l'eau du bâtiment ☐ dirigent l'eau vers le bâtiment ☐ pas de gouttières	<u>Autres éléments extérieurs</u>

2.5 Remarques générales sur relevé visuel et autres informations

[illegible]

2.6 Croquis (sous-sol, garage et extérieur)

- Vue en plan



LÉGENDE

	mur de fondation		sondage		gouttière problématique
	cloison		mouvement latéral probable perceptible		arbre mature
	cloison portante (si connue)		mouvement vertical probable perceptible		eau stagnante
	fissure				
	secteur non visible (tapis, faux plancher, etc.)				

3.0 RÉALISATION DES SONDAGES

3.1 Identification du laboratoire

Laboratoire ACLE ayant réalisé les sondages: _____	Date: _____
Par _____	Qualification _____

3.2 Sondages

3.2.1 Localisation des sondages*:

Nombre de sondages	: ☐ 1 ☐ 2
Sondage n° 1	: _____ (voir croquis)
Sondage n° 2	: _____ (voir croquis)
* Le sondage n° 1 est toujours celui réalisé au sous-sol.	

3.2.2 Détails techniques:

Équipement utilisé	: _____
Diamètre des sondages	: _____
Remarques	: _____

3.2.3 Stratigraphie des sondages:

Type de matériau	N° 1 (sous-sol)	Remarques	N° 2 (garage)	Remarques
Béton de ciment - épaisseur	0 à _____ mm		0 à _____ mm	
Présence d'un revêtement	Oui ☐ Non ☐		Oui ☐ Non ☐	
Présence d'un polyéthylène	Oui ☐ Non ☐		Oui ☐ Non ☐	
Remblai granulaire n° 1 épaisseur calibre	____ mm à ____ mm _____ mm		____ mm à ____ mm _____ mm	
Remblai granulaire n° 2 épaisseur calibre	____ mm à ____ mm _____ mm		____ mm à ____ mm _____ mm	
Terrain naturel ou emprunt granulaire type	____ mm à ____ mm _____		____ mm à ____ mm _____	
- Niveau d'eau recoupé à	_____ mm		_____ mm	
- Eau dans puisard	Oui ☐ Non ☐		Oui ☐ Non ☐	

4.0 ESSAIS EN LABORATOIRE

4.1 Identification du laboratoire

Laboratoire ACLE ayant réalisé les essais: _____	Date: _____
Réalisé par _____	Qualification _____

4.2 Examen visuel du béton de ciment

	Sondage n°	
	1 (sous-sol)	2 (garage)
Épaisseur	mm	mm
Revêtement en surface	Non ☐ Oui ☐ _____	Non ☐ Oui ☐ _____
Qualité générale		
Sulfatation du béton	Non ☐ Oui ☐	Non ☐ Oui ☐
- épaisseur de sulfatation avec délamination	mm	mm
- épaisseur de décoloration	mm	mm
Remarques :		

4.3 Examen pétrographique des remblais granulaires

4.3.1 Sondage n° 1 – sous sol:

- Calibre des matériaux : ☐ pierre nette ☐ pierre 0-20 mm ☐ autre : _____		
<u>Techniques utilisées</u>		
Étape 1	Oui	Non
- Examen au stéréomicroscope	☐	☐
- Détermination de l'IPPG	☐	☐
Étape 2		
- Étude de lames minces polies	☐	☐
- Analyses chimiques		
- Stotal	☐	☐
- Sulfaté	☐	☐
<u>Techniques facultatives</u>		
- Coloration	☐	☐
- Attaque à l'acide	☐	☐
- Autre _____	☐	
- Autre _____	☐	

4.3.2 Détermination de l'IPPG – Sondage n° 1 (sous-sol):

Faciès pétrographique	IPPG	fraction granulométrique							
		mm		mm		mm		mm	
		%	IPPG	%	IPPG	%	IPPG	%	IPPG
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
IPPG cumulatifs par fraction									
IPPG cumulatif global pondéré									

4.3.3 Observations – Sondage n° 1 (sous-sol)

-	% de faciès potentiellement réactifs (IPPG > 0)	:	_____	%
-	Évidence d'oxydation des sulfures	:	_____	
-	Présence de cristaux de sulfates secondaires	:	_____	
-	Étude des sulfures en microscopie optique (lames minces polies)	:	_____	
-	Analyses chimiques	:	_____	
-	Remarques :		_____	

4.3.4 Sondage n° 2 – garage:

-	Calibre des matériaux	:	☐ pierre nette	☐ pierre 0-20 mm	☐ autre : _____
<u>Techniques utilisées</u>					
Étape 1			Oui		Non
-	Examen au stéréomicroscope		☐		☐
-	Détermination de l'IPPG		☐		☐
Étape 2					
-	Étude de lames minces polies		☐		☐
-	Analyses chimiques				
-	Stotal		☐		☐
-	Ssulfaté		☐		☐
<u>Techniques facultatives</u>					
-	Coloration		☐		☐
-	Attaque à l'acide		☐		☐
-	Autre _____		☐		☐
-	Autre _____		☐		☐

4.3.5 Détermination de l'IPPG – Sondage n° 2 (garage):

Faciès pétrographique	IPPG	fraction granulométrique							
		mm		mm		mm		mm	
		%	IPPG	%	IPPG	%	IPPG	%	IPPG
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
IPPG cumulatifs par fraction									
IPPG cumulatif global pondéré									

4.3.6 Observations – Sondage n° 2 (garage)

-	% de faciès potentiellement réactifs (IPPG > 0)	:		%
-	Évidence d'oxydation des sulfures	:		
-	Présence de cristaux de sulfates secondaires	:		
-	Étude des sulfures en microscopie optique (lames minces polies)	:		
-	Analyses chimiques	:		
-	Autres résultats et remarques :			

5.0 SYNTHÈSE

5.1 Section sous-sol

5.2 Section garage

6.0 APPROCHES DE SOLUTIONS

6.1 Section sous-sol

6.2 Section garage

Approuvé par : _____

Qualification : _____

Firme : _____

ANNEXE C

PROBABILITÉ DE GONFLEMENT ET DE SULFATATION PAR VILLE

Tableau 1 : Probabilité de gonflement et de sulfatation au SOUS-SOL par ville.

Nombre de logements privés occupés possédés (1996)		Nombre de maison inclus dans l'analyse	SOUS-SOL									
			Nombre de sous-sol	Nombre de cas valide	Gonflement						Sulfatation	
					probable		possible		total		Nombre	%
Beloeil	5 120	36	35	28	5	17,9%	2	7,1%	7	25,0%	4	11,4%
Boucherville	10 045	186	183	116	6	5,2%	2	1,7%	8	6,9%	7	3,8%
Brossard	16 485	343	309	187	6	3,2%	4	2,1%	10	5,3%	47	15,2%
Candiac	3 380	50	47	30	0	0,0%	1	3,3%	1	3,3%	5	10,6%
Carignan	1 750	8	8	4	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	25,0%
Chambly	4 860	59	59	43	4	9,3%	1	2,3%	5	11,6%	9	15,3%
Châteauguay	11 110	3	3	3	1	33,3%	0	0,0%	1	33,3%	0	0,0%
Delson	1 730	7	7	6	1	16,7%	0	0,0%	1	16,7%	1	14,3%
Greenfield Park	3 985	14	11	7	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
La Prairie	4 090	63	59	37	1	2,7%	0	0,0%	1	2,7%	13	22,0%
Le Moyne	570	2	2	2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	50,0%
Longueuil	21 695	157	151	95	4	4,2%	4	4,2%	8	8,4%	25	16,6%
McMasterville	1 045	3	3	3	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	33,3%
Mont Saint-Hilaire	3 655	21	21	14	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	4,8%
Napierville	715	1	1	1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Oterburn Park	2 165	18	18	16	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Saint-Amable	1 875	7	7	5	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	14,3%
Saint-Basile-le-Grand	3 390	42	40	30	1	3,3%	0	0,0%	1	3,3%	4	10,0%
Saint-Bruno	6 735	173	157	122	4	3,3%	4	3,3%	8	6,6%	25	15,9%
Saint-Constant	5 830	51	48	30	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	4,2%
Sainte-Catherine	3 645	24	24	14	1	7,1%	0	0,0%	1	7,1%	4	16,7%
Sainte-Julie	6 440	118	112	71	0	0,0%	1	1,4%	1	1,4%	3	2,7%
Saint-Hubert	19 350	196	189	109	4	3,7%	1	0,9%	5	4,6%	22	11,6%
Saint-Lambert	5 385	29	25	19	0	0,0%	2	10,5%	2	10,5%	2	8,0%
Saint-Luc	4 955	5	5	4	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Varenes	5 145	84	84	60	2	3,3%	4	6,7%	6	10,0%	5	6,0%
Moyenne						4,4%		1,7%		6,0%		12,0%
TOTAL	155 150	1 700	1608	1 056	40	3,8%	26	2,5%	66	6,3%	184	17,4%

Tableau 2 : Probabilité de gonflement et de sulfatation au GARAGE par ville.

Nombre de logements privés occupés possédés (1996)		Nombre de maison inclus dans l'analyse	GARAGE									
			Nombre de Garage	Nombre de cas valide	Gonflement						Sulfatation	
					probable		possible		total		Nombre	%
Beloeil	5 120	36	8	8	0	0,0%	1	12,5%	1	12,5%	0	0,0%
Boucherville	10 045	186	107	106	15	14,2%	5	4,7%	20	18,9%	32	29,9%
Brossard	16 485	343	241	238	36	15,1%	20	8,4%	56	23,5%	90	37,3%
Candiac	3 380	50	38	37	4	10,8%	4	10,8%	8	21,6%	11	28,9%
Carignan	1 750	8	3	3	0	0,0%	1	33,3%	1	33,3%	0	0,0%
Chambly	4 860	59	10	10	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Châteauguay	11 110	3	1	1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Delson	1 730	7	2	2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Greenfield Park	3 985	14	6	6	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
La Prairie	4 090	63	49	49	6	12,2%	3	6,1%	9	18,4%	18	36,7%
Le Moyne	570	2	1	1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Longueuil	21 695	157	78	74	8	10,8%	2	2,7%	10	13,5%	19	24,4%
McMasterville	1 045	3	1	1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Mont Saint-Hilaire	3 655	21	12	9	1	11,1%	0	0,0%	1	11,1%	2	16,7%
Napierville	715	1	1	1	1	100,0%	0	0,0%	1	100,0%	0	0,0%
Oterburn Park	2 165	18	7	7	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	14,3%
Saint-Amable	1 875	7	1	1	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Saint-Basile-le-Grand	3 390	42	13	13	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	15,4%
Saint-Bruno	6 735	173	108	105	21	20,0%	7	6,7%	28	26,7%	39	36,1%
Saint-Constant	5 830	51	19	19	1	5,3%	1	5,3%	2	10,5%	6	31,6%
Sainte-Catherine	3 645	24	11	11	0	0,0%	1	9,1%	1	9,1%	3	27,3%
Sainte-Julie	6 440	118	53	50	1	2,0%	0	0,0%	1	2,0%	2	3,8%
Saint-Hubert	19 350	196	51	50	11	22,0%	4	8,0%	15	30,0%	23	45,1%
Saint-Lambert	5 385	29	19	19	2	10,5%	1	5,3%	3	15,8%	6	31,6%
Saint-Luc	4 955	5	3	3	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Varenes	5 145	84	37	37	3	8,1%	1	2,7%	4	10,8%	6	16,2%
Moyenne						9,3%		4,4%		13,8%		15,2%
TOTAL	155 150	1 700	880	861	110	12,5%	51	5,8%	161	18,7%	260	29,5%

Tableau 3 : Probabilité de gonflement et de sulfatation au SOUS-SOL par groupe de ville.

Nombre de logements privés occupés possédés (1996)		Nombre de maison inclus dans l'analyse	SOUS-SOL									
			Nombre de sous-sol	Nombre de cas valide	Gonflement						Sulfatation	
					probable		possible		total		Nombre	%
Bross	16485	343	309	187	6	3,2%	4	2,1%	10	5,3%	47	15,2%
Bchvl	10045	186	183	116	6	5,2%	2	1,7%	8	6,9%	7	3,8%
StHub	19350	196	189	109	4	3,7%	1	0,9%	5	4,6%	22	11,6%
Long	21695	157	151	95	4	4,2%	4	4,2%	8	8,4%	25	16,6%
StBno, StBasLG	10125	215	197	152	5	3,3%	4	2,6%	9	5,9%	29	14,7%
LaPr, Cand	7470	113	106	67	1	1,5%	1	1,5%	2	3,0%	18	17,0%
Cham, Carignan, StLuc	11565	72	72	51	4	7,8%	1	2,0%	5	9,8%	11	15,3%
VLeM, StLam, Gpk	9940	45	38	28	0	0,0%	2	7,1%	2	7,1%	3	7,9%
SteJulie, VrnS, StAmable	13460	209	203	136	2	1,5%	5	3,7%	7	5,1%	9	4,4%
Belo, MtStHilr, OtrbrnPk, McMstrvl	11985	78	77	61	5	8,2%	2	3,3%	7	11,5%	6	7,8%
StC, VSteCath, DlSn, Chtg, Naprvl.	23030	86	83	54	3	5,6%	0	0,0%	3	5,6%	7	8,4%
Moyenne				1056		4,0%		2,7%		6,7%		11,2%
TOTAL	155 150	1 700	1608	1 056	40	3,8%	26	2,5%	66	6,3%	184	17,4%

Tableau 4 : Probabilité de gonflement et de sulfatation au GARAGE par groupe de ville.

Nombre de logements privés occupés possédés (1996)		Nombre de maison inclus dans l'analyse	GARAGE									
			Nombre de Garage	Nombre de cas valide	Gonflement						Sulfatation	
					probable		possible		total		Nombre	%
Bross	16 485	343	241	238	36	15,1%	20	8,4%	56	23,5%	90	37,3%
Bchvl	10 045	186	107	106	15	14,2%	5	4,7%	20	18,9%	32	29,9%
StHub	19 350	196	51	50	11	22,0%	4	8,0%	15	30,0%	23	45,1%
Long	21 695	157	78	74	8	10,8%	2	2,7%	10	13,5%	19	24,4%
StBno, StBasLG	10 125	215	121	118	21	17,8%	7	5,9%	28	23,7%	41	33,9%
LaPr, Cand	7 470	113	87	86	10	11,6%	7	8,1%	17	19,8%	29	33,3%
Cham, Carignan, StLuc	11 565	72	16	16	0	0,0%	1	6,3%	1	6,3%	0	0,0%
VLeM, StLam, Gpk	9 940	45	26	26	2	7,7%	1	3,8%	3	11,5%	6	23,1%
SteJulie, Vrms, StAmable	13 460	209	91	88	4	4,5%	1	1,1%	5	5,7%	8	8,8%
Belo, MtStHilr, OtrbrnPk, McMstrvl	11 985	78	28	25	1	4,0%	1	4,0%	2	8,0%	3	10,7%
StC, VSteCath, Dlsn, Chtg, Naprvl.	23 030	86	34	34	2	5,9%	2	5,9%	4	11,8%	9	26,5%
Moyenne			880	861		10,3%		5,4%		15,7%		24,8%
TOTAL	155 150	1 700	880	861	110	12,5%	51	5,8%	161	18,7%	260	29,5%

Annexe D

(Note: Cette description de l'annexe D a été ajoutée par la SHQ en mai 2001 au document original de l'auteur).

- Extraits du Code national du bâtiment du Canada 1990, y compris les errata et modifications publiés. **(Note 1)**

- p. 215
- p. 257
- p. 258
- p. 259
- p. 405
- p. 406
- p. 407
- p. 408

- Extraits du Code canadien de construction d'habitations 1990 , **(Note 1)**

- page titre (recto et verso)
- p. 69

- Extrait du "Règlement sur l'application d'un code du bâtiment"

Note 1: - Ces extraits sont reproduits avec l'autorisation de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada. (Permission obtenue le 10 mai 2001 par la SHQ)

Partie 9

Maisons et petits bâtiments

Section 9.1. Généralités

9.1.1. Objet

9.1.1.1. L'objet de la présente partie est décrit à la section 2.1.

Section 9.2. Définitions

9.2.1. Généralités

9.2.1.1. La signification des termes définis, en italique, est donnée à la partie 1.

Section 9.3. Matériaux, installations et équipements

9.3.1. Béton

9.3.1.1. **Béton.** La composition, le malaxage, la mise en place, le traitement de cure et les essais du béton doivent être conformes aux exigences de la norme CAN3-A438-M, « Travaux de béton pour maisons et petits bâtiments ».

9.3.1.2. **Ciment.** Le ciment doit répondre aux exigences de la norme CAN/CSA-A5-M, « Ciment Portland ».

9.3.1.3. Béton en contact avec des sulfates

1) Le béton en contact avec un *sol* chargé en sulfates agressifs pour le ciment normal doit répondre aux exigences de l'alinéa 15.5 de la norme

CAN/CSA-A23.1-M, « Béton – Constituants et exécution des travaux ».

2) Le béton mentionné au paragraphe 1) doit être fabriqué avec du ciment résistant aux sulfates.

9.3.1.4. **Granulats.** Il faut utiliser comme granulats du sable, du gravier, de la pierre concassée, du laitier de haut-fourneau refroidi à l'air, du schiste expansé ou de l'argile expansée conformes à la norme CAN/CSA-A23.1-M, « Béton – Constituants et exécution des travaux »; ces granulats doivent être propres et de bonne granulométrie, et ne doivent pas contenir une proportion préjudiciable de matières organiques et d'autres matières nuisibles.

9.3.1.5. **Eau.** L'eau doit être propre et ne doit pas contenir une proportion préjudiciable d'huile, de matières organiques, de sédiments et d'autres matières nuisibles.

9.3.1.6. **Résistance à la compression.** Sauf indication contraire de la présente partie, la résistance à la compression du béton non armé doit être d'au moins 15 MPa à 28 jours (voir aussi les articles 9.3.1.7, 9.12.4.1, 9.15.4.1 et 9.18.6.1).

9.3.1.7. **Perrons et planchers de garages et d'abris d'automobiles.** Le béton des perrons et des planchers de garages et d'abris d'automobiles doit avoir une résistance minimale à la compression de 20 MPa à 28 jours et contenir de 5 à 8 % d'air occlus.

9.3.1.8. Dosages

1) Les dosages indiqués au tableau 9.3.1.A sont acceptables si l'affaissement mesuré suivant les méthodes d'essai d'affaissement dans la norme

3) Un perron de 1 ou 2 contremarches est permis de reposer sur le sol.

4) Il est permis de diminuer les profondeurs de fondations exigées au paragraphe 1) si des expériences antérieures sur le terrain démontrent que des profondeurs moindres donnent des résultats satisfaisants ou lorsque les fondations sont conçues pour des profondeurs moindres.

5) Les exigences du paragraphe 1) relatives à la profondeur des fondations s'appliquent aux bâtiments en maçonnerie ou avec revêtement de maçonnerie

- a) dont la superstructure ne risque pas d'être endommagée par des tassements différentiels du sol dus à l'effet du gel, ou
- b) qui sont des dépendances d'au plus 1 étage de hauteur de bâtiment et d'au plus 50 m² d'aire de bâtiment.

9.12.3. Remblais

9.12.3.1. **Emplacement.** Les remblais doivent être mis en place de manière à ne pas endommager le mur de fondation, les drains, l'isolant extérieur ni le revêtement hydrofuge des murs.

9.12.3.2. **Nivellement.** Les remblais doivent être nivelés de manière à empêcher l'eau de s'écouler vers les fondations.

9.12.3.3. **Matières nuisibles.** Les remblais ne doivent pas contenir de nodules rocheux de diamètre supérieur à 250 mm ou de matières nuisibles à moins de 600 mm des fondations.

9.12.4. Tranchée sous la semelle

9.12.4.1. Le sol des tranchées pratiquées sous les semelles de fondation pour y faire passer la conduite d'eau principale et les égouts doit être damé jusqu'au niveau des semelles, ou les tranchées doivent être remplies de béton d'une résistance de 10 MPa au moins lui permettant de supporter les semelles.

Section 9.13. Protection contre l'eau et l'humidité

(Voir l'annexe A.)

9.13.1. Généralités

9.13.1.1. Imperméabilité à l'eau exigée

1) Les planchers sur le sol et la face extérieure des murs situés au-dessous du niveau du sol qui sont soumis à une pression hydrostatique, doivent être imperméables à l'eau.

2) Les toits de constructions enterrées doivent être imperméabilisés pour empêcher l'infiltration de l'eau dans ces constructions.

9.13.1.2. Protection contre l'humidité

1) S'il n'existe pas de pression hydrostatique et que le niveau du sol fini à l'intérieur des murs de fondation est en contrebas du niveau du sol fini à l'extérieur, la face extérieure des murs de fondation se trouvant au-dessous du niveau du sol doit être protégée contre l'humidité.

2) À l'exception des garages et des parties non fermées des bâtiments, les dalles sur le sol en béton doivent être protégées contre l'humidité (voir la remarque A-9.13).

9.13.1.3. Mode d'application

1) Le mode d'application de tout produit bitumineux de protection contre l'eau et l'humidité doit être conforme à l'une des normes suivantes :

- a) CAN/CGSB-37.3-M, « Application d'émulsions de bitume pour l'imperméabilisation à l'humidité ou à l'eau », r e
- b) ONGC-37-GP-12Ma, « Application du bitume fluxé, non fillerisé, pour l'imperméabilisation à l'humidité », r
- c) CAN/CGSB-37.22-M, « Application d'un revêtement de goudron fluxé, non fillerisé, sur les fondations pour l'imperméabilisation à l'humidité ».

9.13.2. Matériaux

9.13.2.1. Matériaux de protection

1) Les matériaux de protection contre l'eau ou l'humidité doivent être conformes à l'une des normes suivantes :

9.13.2.1

- a) CAN/CGSB-37.2-M, « Émulsion bitumineuse non fillerisée, à colloïde minéral, pour l'imperméabilisation à l'humidité et à l'eau et pour le revêtement de toitures »,
- b) ONGC-F37-GP-6Ma, « Bitume fluxé, non fillerisé, pour l'imperméabilisation à l'humidité »,
- c) CAN/CGSB-37.16-M, « Bitume fluxé, fillerisé, pour l'imperméabilisation à l'humidité et à l'eau »,
- d) ONGC-37-GP-18Ma, « Goudron fluxé, non fillerisé, pour l'hydrofugation »,
- e) CSA-A123.4-M, « Bitumen for Use in Construction of Built-up Roof Coverings and Dampproofing and Waterproofing Systems »,
- f) CAN/CGSB-51.34-M, « Pare-vapeur en feuille de polyéthylène pour bâtiments ».

9.13.3. Imperméabilisation à l'eau des murs

9.13.3.1. Préparation de la surface

1) Lorsqu'un mur formé d'éléments de maçonnerie doit être étanche à l'eau, la partie de sa face extérieure située au-dessous du niveau du sol doit être enduite d'une couche de mortier d'une épaisseur d'au moins 6 mm conforme aux exigences de la section 9.20.

2) Dans un mur de béton qui doit être étanche à l'eau, les trous ou les renforcements dus à l'enlèvement des attaches de coffrage doivent être obturés avec du mortier ou tout autre matériau hydrofuge.

9.13.3.2. Membrane imperméable à l'eau. Un mur en béton ou en éléments de maçonnerie qui doit être étanche à l'eau doit être recouvert d'une couche formée d'au moins 2 feuilles imprégnées de bitume, chacune étant mise en place avec du bitume et le tout étant enduit d'une épaisse couche de bitume.

9.13.4. Imperméabilisation à l'eau des planchers

9.13.4.1. Le plancher d'un *sous-sol* qui doit être étanche à l'eau doit comporter une membrane imperméable à l'eau comprise entre 2 couches de béton d'une épaisseur d'au moins 75 mm chacune; la membrane du plancher doit être raccordée à celle du mur de manière à former un cuvelage parfaitement étanche.

9.13.5. Protection des murs contre l'humidité

9.13.5.1. Préparation de la surface

1) Lorsqu'un mur formé d'éléments de maçonnerie doit être protégé contre l'humidité, la partie de sa face extérieure située au-dessous du niveau du sol doit être recouverte d'un enduit de mortier d'une épaisseur d'au moins 6 mm conforme aux exigences de la section 9.20, et cet enduit doit se raccorder à la semelle par un congé effectué au moment de la pose de la première assise d'éléments de maçonnerie.

2) Dans un mur de béton qui doit être protégé contre l'humidité, les trous ou les renforcements dus à l'enlèvement des attaches de coffrage doivent être obturés avec du mortier de ciment ou un autre matériau de protection contre l'humidité.

9.13.5.2. Application d'un matériau de protection. Un matériau bitumineux ou un autre matériau de protection contre l'humidité doit être appliqué sur toute surface en béton ou crépie qui se trouve au-dessous du niveau du sol.

9.13.5.3. Face intérieure du mur

1) Si un mur en béton ou en éléments de maçonnerie en contact avec le *sol* comporte un revêtement intérieur ou des éléments en bois servant de support à l'isolation ou au revêtement, la face intérieure de la partie du mur de *fondation* située au-dessous du niveau du sol doit être protégée contre l'humidité.

2) La protection contre l'humidité exigée au paragraphe 1) doit partir du plancher du *sous-sol* pour se terminer au niveau du sol; elle ne doit jamais être appliquée entre l'isolation et la partie du mur de *fondation* qui se trouve au-dessus du niveau du sol.

9.13.5.4. Mur de maçonnerie. Les murs de maçonnerie qui doivent être protégés contre l'humidité mais qui ne sont pas protégés sur leur face intérieure comme l'exige le paragraphe 9.13.5.3. 1) doivent comporter, au niveau de la dalle de fondation ou au-dessous, ou en l'absence de dalle, au niveau du revêtement de sol exigé à l'article 9.18.6.1, une rangée d'éléments de maçonnerie pleins ou un solin de même largeur que le mur (voir la remarque A-9.13).

9.13.6. Protection des dalles contre l'humidité

9.13.6.1. Emplacement. Si une dalle doit être protégée contre l'humidité, le revêtement d'étanchéité doit être posé sous la dalle, sauf qu'il peut être posé sur la dalle lorsque celle-ci est recouverte par un plancher séparé.

9.13.6.2. Revêtement sous la dalle

1) Le matériau de protection contre l'humidité posé sous la dalle doit être du polyéthylène d'au moins 0,15 mm.

2) Les joints du matériau de protection décrit au paragraphe 1) doivent se chevaucher sur au moins 300 mm.

9.13.6.3. Revêtement sur la dalle. Le revêtement de protection contre l'humidité appliqué à la vadrouille sur la dalle doit être formé d'au moins 2 couches de bitume, d'une feuille de polyéthylène d'au moins 0,05 mm ou de tout autre matériau procurant un rendement équivalent.

9.13.6.4. Joint entre la dalle et les murs

1) Le joint entre la dalle et les faces intérieures des murs adjacents doit être étanché au moyen de mastic souple (voir la remarque A-9.13).

9.13.6.5. Ouverture. Les ouvertures pratiquées dans une dalle pour laisser passer des tuyaux ou d'autres objets doivent être rendues étanches à la vapeur d'eau et aux gaz qui se dégagent du sol (voir la remarque A-9.13).

9.13.6.6. Orifice d'évacuation d'eau. Les orifices d'évacuation d'eau d'une dalle doivent être conçus de façon à empêcher les remontées de vapeur d'eau et de gaz qui se dégagent du sol tout en

permettant l'écoulement de l'eau (voir la remarque A-9.13).

Section 9.14. Drainage

9.14.1. Objet

9.14.1.1. Domaine d'application. La présente section s'applique au drainage souterrain et à l'écoulement des eaux de surface.

9.14.1.2. Vides sanitaires. Le drainage des vides sanitaires doit être effectué conformément aux exigences de la section 9.18.

9.14.1.3. Dalles de plancher. Le drainage sous les dalles de plancher doit être effectué conformément aux exigences de la section 9.16.

9.14.2. Généralités

9.14.2.1. Mur de fondation

1) Sauf s'il peut être démontré que cela n'est pas nécessaire, le bas des murs de *fondation* extérieurs doit être drainé au moyen de tuyaux ou de drains posés à l'extérieur des *fondations* conformément à la sous-section 9.14.3 ou d'une couche de gravier ou de pierre concassée conformément à la sous-section 9.14.4.

2) L'isolant de fibre minérale ou le remblai de pierres concassées devant servir de coupure capillaire contre la surface extérieure d'un mur de *fondation* doit se prolonger jusqu'au niveau de la semelle afin de faciliter l'écoulement des eaux souterraines jusqu'au système de drainage de la *fondation* (voir l'annexe A).

9.14.3. Tuyau et drain

9.14.3.1. Matériaux

1) Les tuyaux et drains utilisés pour le drainage des *fondations* doivent être conformes à l'une des normes suivantes :

- a) ASTM-C4, « Clay Drain Tile »,
- b) ASTM-C412-M, « Concrete Drain Tile »,
- c) ASTM-C444-M, « Perforated Concrete-Pipe »,
- d) ASTM-C700, « Vitrified Clay Pipe, Extra Strength, Standard Strength and Perforated »,

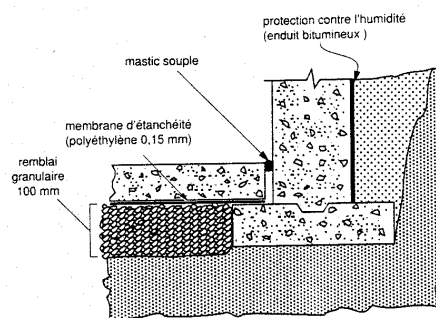
Les méthodes de mesure des bruits d'impact les plus fréquemment utilisées sont la norme E492 de l'ASTM, « Method of Laboratory Measurement of Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies Using the Tapping Machine » ou la norme E1007 de l'ASTM, « Test Method for Field Measurement of Tapping Machine Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies and Associated Support Structures ».

Bruits mécaniques. Les ascenseurs, les vide-ordures, les tuyauteries, les ventilateurs et les pompes à chaleur sont des sources de bruit courantes dans les bâtiments. Pour réduire la gêne qu'ils causent, ils devraient être placés loin des zones sensibles. Les pièces qui vibrent devraient être isolées de la structure du bâtiment en utilisant des matériaux souples comme le néoprène ou le caoutchouc.

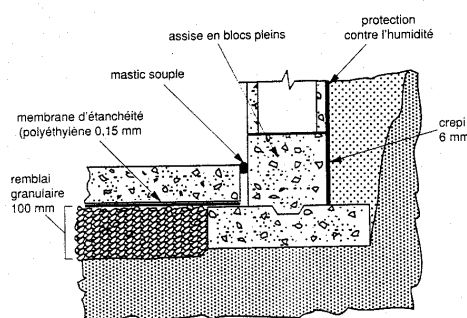
A-9.12.2.A. Profondeurs minimales des fondations. Les exigences relatives aux argiles et aux sols qui ne sont pas clairement définis s'appliquent aux sols susceptibles de changer de volume si leur teneur en eau varie.

A-9.13. Réduction des infiltrations de gaz provenant du sol. (Voir aussi A-9.16.2.1.) Normalement, l'air extérieur qui pénètre dans un logement par les fuites de l'enveloppe du bâtiment qui se trouvent au-dessus du niveau du sol améliore la qualité de l'air dans le logement en réduisant la concentration de polluants et la teneur en vapeur d'eau. Les infiltrations d'air ne sont indésirables que parce qu'elles ne sont pas contrôlées. Par contre, l'air qui s'infiltré par les fuites de l'enveloppe situées sous le niveau du sol peuvent faire augmenter la teneur en vapeur d'eau de l'air intérieur et introduire des polluants provenant du sol. Un des polluants qui est souvent contenu dans le sol est le radon.

Le radon est un gaz radioactif incolore et inodore qui est produit par la décomposition naturelle du radium. Il est l'un des constituants, à différents degrés, des gaz contenus dans le sol dans toutes les régions du Canada et il s'infiltré dans les sous-sols et les vides sanitaires des maisons. La présence de produits de décomposition du radon en quantités suffisantes peut faire augmenter les risques de cancer du poumon.



Étanchéité de la dalle (murs pleins)



Étanchéité de la dalle (murs creux)

A-9.13.

Les risques d'infiltration de fortes concentrations de radon sont très difficiles à évaluer avant la construction et alors, souvent ce n'est que lorsqu'un bâtiment est construit et occupé que le radon est décelé. C'est pour cette raison que diverses sections de la partie 9 exigent la mise en oeuvre de certaines mesures pour réduire les infiltrations de radon dans les logements.

Ces mesures sont :

- 1) peu coûteuses,
- 2) difficiles à mettre en oeuvre après la construction,
- 3) recommandées à cause des autres avantages qu'elles procurent.

A-9.13.

Il existe deux méthodes principales :

- 1) Rendre l'interface entre le sol et l'espace occupé aussi étanche que possible. Les sections 9.13 et 9.18 contiennent des exigences d'étanchéité pour les dalles de sous-sol et pour le sol des vides sanitaires qui contribuent à isoler du sol l'espace occupé. Il faut prévoir des joints de dilatation pour réduire la fissuration des murs de fondation et des couvercles étanches à l'air pour les puisards ainsi que d'autres mesures qui peuvent contribuer à atteindre cet objectif.
- 2) S'assurer que la différence de pression à l'interface sol – sous-sol est positive (vers l'extérieur) de façon à éviter les infiltrations de gaz (par les interstices difficiles à colmater).

La section 9.16 contient des exigences relatives à cet objectif.

Les mesures indiquées à la section 9.13 sont illustrées aux figures précédentes. La section 9.18 traite de mesures similaires et celles de la section 9.16 sont examinées dans une remarque en annexe distincte.

L'article 9.13.6.5, qui porte sur l'étanchéité de tous les points de pénétration de la dalle, s'applique aussi aux poteaux métalliques creux et aux poteaux de maçonnerie. Ces poteaux doivent être étanches sur leur périmètre et leur partie centrale doit être fermée et étanchée.

L'exigence de l'article 9.13.6.6 relative aux orifices d'évacuation d'eau des dalles peut être satisfaite par l'utilisation d'appareils brevetés qui sont commercialisés et qui permettent d'empêcher les infiltrations de gaz par les avaloirs de sol. Certains modèles comportent un siphon alimenté par un robinet qui se trouve à proximité. Chaque fois qu'on ouvre le robinet le siphon se remplit. Cela empêche les gaz d'égout de remonter et également l'infiltration des gaz en provenance du sol.

A-9.14.2.1. 2) Isolant posé sur l'extérieur des murs de fondation. À la fois pour empêcher les pertes de chaleur et limiter l'humidité, on pose certains types d'isolant de fibres minérales tels que les panneaux de fibres de verre sur la face extérieure des murs de sous-sol. On les utilise parfois au lieu de la pierre concassée comme coupure capillaire entre le mur de sous-sol et le sol environnant, afin de faciliter le drainage. L'eau ainsi

évacuée doit être éloignée de la fondation par les drains de semelle ou par la couche de drainage granulaire afin d'éviter que le mur se sature et se comporte comme un réservoir d'eau. Il faut prévoir le drainage de cette eau en prolongeant l'isolant ou la pierre concassée jusqu'à proximité du drain ou en reliant les deux par du remblai granulaire. Ces coupures capillaires n'éliminent pas la nécessité d'une protection normale des murs contre l'eau et l'humidité telle que décrite à la section 9.13.

A-9.15.1.1. 1) Installation des maisons mobiles.

La CSA a préparé la norme CAN3-Z240.10.1, « Pratique recommandée pour l'aménagement du terrain, la construction des fondations et l'ancrage des maisons mobiles ». Ce document est destiné à fournir des renseignements aux inspecteurs, aux installateurs et aux propriétaires de maisons mobiles sur l'aménagement du terrain, les fondations, l'ancrage et la jupe.

A-9.15.1.3. 4) Fondations en bois traité – hypothèses de calcul.

Les données des tableaux et les chiffres de la norme CAN3-S406, « Construction des fondations en bois traité », sont basés sur les principes généraux énoncés dans la norme CAN3-O86, « Règles de calcul des charpentes en bois », d'après les hypothèses de calcul suivantes :

- 1) capacité portante du sol : 75 kPa ou plus,
- 2) portées des planchers : 5 000 mm ou moins,
- 3) charges sur les planchers : 1,9 kPa pour le plancher du premier étage et pour un plancher suspendu, et 1,4 kPa pour le plancher du deuxième étage,
- 4) hauteur des murs de fondation : 2 400 mm pour une fondation avec plancher sur dalle, 3 000 mm pour une fondation de plancher suspendu en bois,
- 5) distance entre le dessus de la couche de granulats et le dessus du plancher de bois suspendu : 600 mm,
- 6) poussée latérale due à la pression du sol : équivalent à une pression de fluide de 4,7 kPa par mètre de profondeur,
- 7) charge de neige au sol : 3 kPa,
- 8) coefficient de base des surcharges dues à la neige : 0,6,
- 9) les surcharges de toit sont transmises aux murs extérieurs,

10) charges permanentes :

toit	0,50 kPa
plancher	0,47 kPa
mur (avec bardage)	0,32 kPa
mur (avec placage de maçonnerie)	1,94 kPa
mur de fondation	0,27 kPa
cloisons	0,20 kPa.

A-9.16.2.1. Réduction des infiltrations du gaz provenant du sol. (Voir aussi A-9.13.)

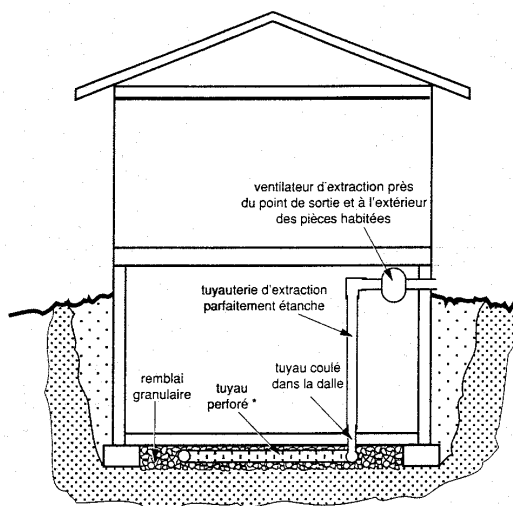
Comme cela a déjà été mentionné dans la remarque A-9.13, une façon d'empêcher que les gaz qui se dégagent du sol n'atteignent les pièces du sous-sol consiste à produire à l'interface sol-bâtiment une surpression du côté intérieur pour empêcher les infiltrations de gaz par les interstices. Cela exige de tenir compte de la pression du côté intérieur de l'enveloppe et de la pression dans le sol qui sont chacune influencées par des facteurs très différents.

Pour les maisons, il y a une plage des pressions intérieures admissibles. La limite supérieure est imposée essentiellement par la nécessité de réduire au minimum les fuites d'air intérieur humide et chaud par l'enveloppe. La limite inférieure dépend du type de chauffage à combustion et de la pression à l'intérieur du sol pour éviter que le gaz s'infilte, comme les remarques A-9.13 et A-9.33 le mentionnent.

La pressurisation de la maison ou du sous-sol pour empêcher les infiltrations de gaz pourrait créer des problèmes de condensation à cause des fuites d'air par l'enveloppe du bâtiment. La réduction de la pression à l'extérieur de l'enveloppe est donc la méthode la plus pratique d'atteindre la différence de pression désirée. Le reste de cette remarque explique comment cela peut être réalisé.

On recommande d'utiliser la technique suivante, au moins dans les régions où les dégagements de radon sont supérieurs à la normale ou lorsque d'autres gaz polluants se dégagent du sol.

- 1) Une dalle sur le sol devrait toujours reposer sur une couche de matériau granulaire d'au moins 100 mm (comme l'exige l'article 9.16.2.1) s'il n'y a pas de drains. S'il y a des drains, l'épaisseur de la couche doit être d'au moins 50 mm et



Exemple de ventilation sous la dalle

*recommandé pour les régions où le radon est présent

A-9.16.2.1

aucun point ne doit être à plus de 3 m d'un drain. Les drains ne devraient pas être reliés à un tuyau d'évacuation.

- 2) Au moment de couler la dalle, il faut placer verticalement une courte section de tuyau d'au moins 100 mm de diamètre. S'il n'y a pas de drains, ce tuyau doit être près du centre de la dalle et sur un rayon de 300 mm autour du tuyau, le remblai sous la dalle doit avoir au moins 150 mm d'épaisseur. S'il y a des drains, le bas du tuyau doit être raccordé au point le plus bas des drains. Le haut du tuyau doit avoir un couvercle amovible.
- 3) Lorsque la construction de la maison est terminée, il faut analyser la concentration de radon. Les autorités sanitaires locales peuvent indiquer si des mesures correctives s'imposent en fonction des résultats de l'analyse.
- 4) Si la concentration de radon dépasse les niveaux recommandés, il faut ventiler le dessous de la dalle. Pour cela, il faut enlever le couvercle du tuyau et raccorder celui-ci à une ventilation d'extraction. Les tuyaux d'extraction qui traversent des espaces non chauffés

A-9.16.2.1.

doivent être isolés. Le ventilateur doit être placé à un endroit où le bruit ne gênera pas. De plus, il est préférable que le ventilateur se trouve aussi près que possible de la sortie de ventilation, pour que la partie en aval du ventilateur ne traverse pas des pièces qui, en cas de fuite, pourraient être contaminées par de fortes concentrations de radon, aggravant ainsi un problème qui devait être corrigé par le système. Le ventilateur doit être approprié à l'application et capable de fonctionner en permanence. Ce système de ventilation du sol sous la dalle est illustré par la figure précédente.

- 5) Lorsque le système de ventilation est en place, il faut refaire une analyse de la concentration de radon.

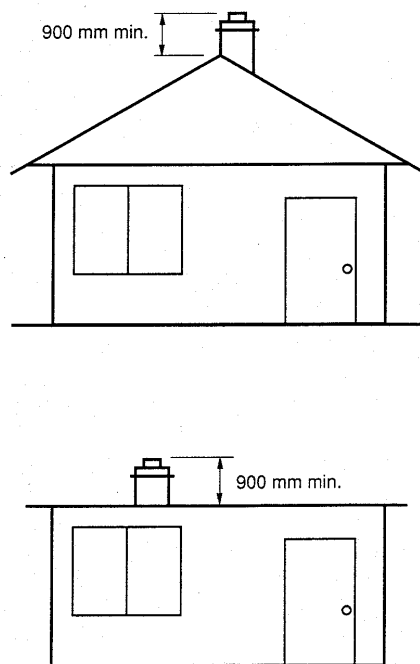
A-9.20.1.2. Zones sismiques. Le chapitre 1 du Supplément du CNB 1990 contient des renseignements sur les zones sismiques de diverses localités.

A-9.20.13.10. 3) Protection des murs de maçonnerie contre l'humidité. La fonction du papier de revêtement sur la face intérieure des murs de maçonnerie est d'éviter que l'eau de pluie atteigne le revêtement intérieur de finition si elle parvenait à traverser la maçonnerie. Le papier de revêtement intercepte l'eau de pluie et la fait couler jusqu'au bas du mur où le solin l'évacue à l'extérieur par les chantepleures. Lorsque l'isolant est d'un type empêchant l'infiltration d'eau et qu'il est installé de façon que l'eau ne puisse s'accumuler derrière lui, le papier de revêtement n'est pas nécessaire. Si l'eau qui coule entre la maçonnerie et l'isolant peut fuir par les joints de l'isolant, un papier de revêtement est indispensable. Si l'eau ne peut fuir par les joints de l'isolant mais s'accumule dans l'espace situé entre la maçonnerie et l'isolant, elle peut endommager le mur si elle gèle. Par conséquent, lorsqu'on n'utilise pas de papier de revêtement, l'adhésif ou le mortier doit être appliqué en couche continue entre la maçonnerie et l'isolant. Lorsque c'est impossible parce que la surface de la maçonnerie est irrégulière, le papier de revêtement est obligatoire. (Voir l'article 9.25.5.2 concernant les pare-vapeur utilisés avec de l'isolant de mousse plastique.)

A-9.21.1.2. Cheminées préfabriquées. Selon les dispositions de la section 2.5, certains appareils à combustibles solides peuvent être raccordés à une cheminée préfabriquée autre que celle spécifiée à l'article 9.21.1.2 s'il est démontré par des essais que cette cheminée offre le même degré de sécurité.

A-9.21.3.6. Chemisages de cheminée métalliques. La section 2.5 autorise que des cheminées de maçonnerie avec chemisage métallique desservent des appareils à combustibles solides si des essais démontrent que ces chemisages offrent un degré équivalent de sécurité.

A-9.21.4.4. Emplacement et hauteur hors-toit de la cheminée





Consell national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

Comité associé
du Code national du bâtiment

Code canadien de construction d'habitations 1990



Canada

06 SEP. 1991

Code canadien de construction d'habitations 1990

publié par le

Comité associé du Code national du bâtiment

Conseil national de recherches Canada

Première édition 1990

ISSN 1180-3770

©Conseil national de recherches du Canada 1990

Ottawa

Droits réservés pour tous pays

CNRC n° 30624

Imprimé au Canada

9.15.5.3. Pilastres

1) Il faut prévoir un pilastre sous toute poutre encastrée dans un mur de *fondation* en éléments de maçonnerie de 140 mm.

2) Le pilastre exigé au paragraphe 1) doit être d'au moins 90 × 290 mm et doit être liaisonné au mur.

3) L'extrémité supérieure du pilastre exigé au paragraphe 1) doit être pleine sur 200 mm.

9.15.6. Crépissage et finition

9.15.6.1. Mur de fondation au-dessous du niveau du sol. Dans un mur de *fondation* en blocs de béton, la face extérieure située au-dessous du niveau du sol doit être crépie comme prévu à la section 9.13.

9.15.6.2. Mur de fondation au-dessus du niveau du sol. Dans un mur de *fondation* en blocs de béton, les faces extérieures situées au-dessus du niveau du sol doivent avoir des joints tirés ou doivent être recouvertes d'un enduit, d'un crépi ou d'une autre couche de finition appropriée.

9.15.6.3. Attaches de coffrage. Les attaches de coffrage doivent être coupées au nu du mur de béton.

Section 9.16. Dalles sur le sol**9.16.1. Objet**

9.16.1.1. Domaine d'application. La présente section s'applique aux dalles de béton supportées sur le sol ou sur des remblais de granulats et ne servant pas de support structural à la superstructure.

9.16.1.2. Conception des dalles. Les dalles de plancher supportant des charges de la superstructure doivent être conçues conformément à la partie 4.

9.16.1.3. Protection contre l'eau et l'humidité. La protection contre l'eau et l'humidité doit être conforme à la section 9.13.

9.16.2. Supports de dalles

9.16.2.1. À l'exception des dalles des garages, il faut prévoir pour les dalles des *logements* une assise d'au moins 100 mm d'épaisseur en granulats grossiers propres ne contenant pas plus de 10 % de matériau traversant un tamis de 4 mm (voir l'annexe A).

9.16.3. Drainage

9.16.3.1. Accumulation d'eau. Sous réserve de l'article 9.16.3.2, il faut éviter l'accumulation d'eau sous une dalle sur le sol en aménageant le terrain en pente ou par un système de drainage, à moins qu'il puisse être démontré que ces mesures ne sont pas nécessaires.

9.16.3.2. Pression hydrostatique. Si le *niveau de la nappe souterraine* est susceptible de créer une pression hydrostatique sous une dalle, celle-ci doit être conçue pour résister à ces pressions.

9.16.3.3. Avaloirs de sol. S'il y a un avaloir de sol (voir la section 9.31), la surface du plancher doit être en pente pour éviter que les eaux s'accumulent.

9.16.4. Béton**9.16.4.1. Surface**

1) La surface supérieure d'une dalle de plancher en béton doit être égalisée et lissée à la truelle.

2) Il ne faut pas saupoudrer la surface supérieure du plancher de ciment sec en vue d'absorber un surplus d'eau.

9.16.4.2. Chape d'usure

1) Une chape d'usure recouvrant une dalle sur le sol en béton doit être composée de 1 volume de ciment pour 2,5 volumes de sable propre et d'une bonne granulométrie, le rapport eau/ciment devant être sensiblement égal à celui de la dalle elle-même.

2) Une chape d'usure doit avoir au moins 20 mm d'épaisseur.

9.16.4.3. Épaisseur. Les dalles de béton doivent avoir une épaisseur d'au moins 75 mm; chape d'usure non comprise.

c. [S-3, r.0.3]

**Règlement sur l'application d'un
Code du bâtiment — 1990**Loi sur la sécurité dans les édifices publics
(L.R.Q., c. S-3, a. 39)**SECTION I
INTERPRÉTATION**

1. Dans le présent règlement, à moins que le contexte n'indique un sens différent, on entend par:

«**bâtiment**»: toute construction utilisée ou destinée à être utilisée pour abriter ou recevoir des personnes, des animaux ou des choses et qui constitue un édifice public au sens de la Loi sur la sécurité dans les édifices publics (L.R.Q., c. S-3) ou, dans la mesure où la sécurité du public doit être assurée, un établissement au sens de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1);

«**code**»: le Code national du bâtiment du Canada 1990, édition française, CNRC n° 30620 publié par le Conseil national de recherches du Canada, y compris les modifications de janvier et de juillet 1991 ainsi que celles de janvier et de septembre 1992.

**SECTION II
APPLICATION**

2. Un bâtiment dont la construction a commencé après le 11 novembre 1993 doit être conforme au code tel que modifié par le présent règlement.

Il en est de même de toute transformation au sens du code ou addition faite après le 11 novembre 1993 à un bâtiment construit avant cette date.

Cependant, le Règlement sur l'application d'un Code du bâtiment -1985 adopté par le décret 2448-85 du 27 novembre 1985, modifié par les règlements adoptés par les décrets 1008-88 du 22 juin 1988, 1471-89 du 6 septembre 1989 et 122-92 du 29 janvier 1992 peut s'appliquer à un bâtiment, à sa transformation ou addition, lorsque les plans et devis sont soumis conformément à la Loi sur la sécurité dans les édifices

publics avant le 11 mai 1994 et que les travaux débutent dans les 12 mois de la signification de l'acceptation de ces plans et devis.

Le présent règlement ne s'applique pas à un édifice à caractère familial tel que défini à l'article 1 du Règlement sur la sécurité dans les édifices publics (R.R.Q., 1981, c. S-3, r. 4).

D. 1440-93, a. 2; D. 467-95, a. 1.

3. Dans le cas de transformation au sens du code ou addition à un bâtiment déjà construit, le propriétaire peut si certaines dispositions du code ne peuvent raisonnablement être appliquées compte tenu de leur impact, proposer à une personne désignée par le ministre, des mesures compensatoires qui pourront être acceptées par celle-ci, pour assurer la sécurité dans son bâtiment.

4. Dans le cas de transformation au sens du code ou addition, les dispositions du code qui exigent une construction incombustible ne s'appliquent pas aux composants combustibles existants du bâtiment ou de la partie de bâtiment, pour lequel une construction incombustible est exigée, lorsque ce bâtiment ou cette partie de bâtiment est pourvu d'un réseau détecteur et avertisseur d'incendie conforme aux dispositions de la sous-section 3.2.4 du code et d'un réseau d'extincteurs automatiques à eau conforme aux dispositions des articles 3.2.5.13 à 3.2.5.15 de ce code.

Le présent article ne s'applique pas à la transformation ou addition faites à un bâtiment de plus de 4 étages en hauteur de bâtiment ou dont l'aire de bâtiment au sens du code, excède 1000 m² si les dispositions du code exigent à la fois une construction incombustible et un réseau d'extincteurs automatiques à eau.

5. Le propriétaire d'un bâtiment doit aviser par écrit un inspecteur chargé de l'application de la Loi sur la sécurité dans les édifices publics:

1° de la date du début et de la fin des travaux de construction, de démolition partielle, de modification ou de relocalisation du bâtiment;

2° des dates d'occupation partielle du bâtiment lorsque cette occupation se fait par étape avant que tous les travaux de construction ne soient terminés;

3° du changement d'usage du bâtiment;

Annexe E

(Note: Cette description de l'annexe E a été ajoutée par la SHQ en mai 2001 au document original de l'auteur).

- Extraits du Code national de construction de maisons et Guide illustré - Canada 1998. (**Note 1**)

-page titre (recto et verso)

-p. 1

-p. 51

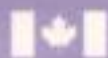
-p. 52

-p. 53

-p. 54

-p. 56

Note 1: - Ces extraits sont reproduits avec l'autorisation de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches du Canada. (Permission obtenue le 10 mai 2001 par la SHQ)



Conseil national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

CMRC-NRC

Code national de construction de maisons et Guide illustré— Canada 1998

Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies



onstruction

Institut de
recherche
en construction

IF

BIBLIOTHEQUE

- 5 AOÛT 1999

**ÉCOLE POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

**Code national de construction
de maisons et Guide illustré -
Canada 1998**

L16463

Publié par la

**Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des
incendies**

Conseil national de recherches du Canada

Première édition 1998

ISBN 0-660-96067-2

NR36-4/1998F

© Conseil national de recherches du Canada 1998
Ottawa

Droits réservés pour tous pays

CNRC 42803F

Imprimé au Canada

Première impression

Available also in English:

National Housing Code of Canada and Illustrated Guide 1998

Partie 1

Renseignements généraux

Section 1.1. Objet et définitions

1.1.1. Administration

1.1.1.1. Conformité aux Exigences administratives [1.1.1.1.]

1) Le CNCM doit être administré conformément aux règlements provinciaux, territoriaux ou municipaux pertinents ou, en leur absence, aux Exigences administratives relatives à l'application du Code national du bâtiment — Canada 1995.

1.1.2. Objet

1.1.2.1. Domaine d'application

1) Le CNCM vise la conception, la construction et l'usage des *bâtiments* neufs ainsi que la *transformation*, la reconstruction, la démolition, l'enlèvement, le déplacement et l'usage des *bâtiments* existants.

2) Le CNCM s'applique à la construction des maisons individuelles, maisons jumelées et maisons en rangée, ainsi qu'aux *garages de stationnement* privés qui les desservent, à condition que ces maisons

- a) n'aient pas de sortie commune,
- b) n'aient pas de *logement* au-dessus ou au-dessous,
- c) n'aient pas de *vides techniques* communs comme les combles, les vides sanitaires, les gaines techniques ou les *locaux techniques*,
- d) comportent des installations de chauffage et de ventilation autonomes,
- e) aient une *aire de bâtiment* d'au plus 600 m², et
- f) aient une *hauteur de bâtiment* d'au plus 3 étages.

3) Le CNCM vise les *bâtiments* construits sur place et les *bâtiments* préfabriqués en usine.

1.1.3. Définitions

1.1.3.1. Termes non définis [1.1.3.1.]

1) Les termes qui ne sont pas définis dans la présente partie ont la signification qui leur est communément assignée par les divers métiers et professions compte tenu du contexte.

1.1.3.2. Termes définis [1.1.3.2.]

1) Les termes définis, en italique dans le CNCM, ont la signification suivante :

Accès à l'issue (access to exit) : partie d'un *moyen d'évacuation* située dans une *aire de plancher* et permettant d'accéder à une *issue* desservant cette *aire de plancher*.

Aire de bâtiment (building area) : la plus grande surface horizontale du *bâtiment* au-dessus du *niveau moyen du sol*, calculée entre les faces externes des murs extérieurs ou à partir de la face externe des murs extérieurs jusqu'à l'axe des *murs coupe-feu*.

Aire de plancher (floor area) : sur tout *étage* d'un *bâtiment*, espace délimité par les murs extérieurs et les *murs coupe-feu* exigés et comprenant l'espace occupé par les murs intérieurs et les *cloisons*, mais non celui des *issues* et des *vides techniques verticaux* ni des constructions qui les encloisonnent.

Appareil (appliance) : équipement qui transforme un combustible en énergie et qui comprend la totalité des composants, commandes, câblages et tuyauteries exigés comme partie intégrante de l'équipement par la norme applicable à laquelle renvoie le CNCM.

Autorité compétente (authority having jurisdiction) : organisme gouvernemental responsable de l'application du CNCM ou de toute partie du CNCM, ou mandataire ou agence désigné par cet organisme pour exercer cette fonction.

Avertisseur de fumée (smoke alarm) : détecteur de *fumée* avec sonnerie incorporée, conçu pour donner l'alarme dès la détection de *fumée* dans la pièce ou la *suite* dans laquelle il est installé.

Baie non protégée (unprotected opening) (d'une *façade de rayonnement*) : porte, fenêtre ou autre

2.5.6.2. Revêtement du sol dans les vides sanitaires chauffés [9.18.6.2.]

1) Le sol des vides sanitaires chauffés doit être recouvert d'une feuille de polyéthylène d'au moins 0,15 mm d'épaisseur conforme à la norme CAN/CGSB-51.34-M, « Pare-vapeur en feuille de polyéthylène pour bâtiments ».

2) La feuille de polyéthylène exigée au paragraphe 1) doit :

- a) avoir des joints se chevauchant sur au moins 300 mm, scellés et lestés, ou
- b) être recouverte d'une couche de béton d'au moins 50 mm d'épaisseur.

3) Les joints entre le revêtement du sol exigé au paragraphe 1) et la face intérieure des murs de *fondation* doivent être étanchéisés.

Section 2.6. Planchers sur sol

2.6.1. Objet

2.6.1.1. Domaine d'application [9.16.1.1.]

1) La présente section s'applique aux planchers supportés sur sol ou sur une couche de *remblai* granulaire et ne servant pas d'appui à la superstructure.

2.6.1.2. Conception des planchers [9.16.1.2.]

1) Les planchers sur sol supportant des charges de la superstructure doivent être conçus conformément à la partie 4 du Code national du bâtiment – Canada 1995.

2.6.1.3. Planchers sur sol exigés [9.16.1.3.]

1) Tout espace situé à l'intérieur d'un *logement* doit être pourvu d'un plancher sur sol, à l'exception d'un vide sanitaire :

- a) auquel on peut accéder; et
- b) qui est dépourvu d'un plancher supporté par l'ossature.

2.6.1.4. Protection contre l'eau et l'humidité [9.16.1.4.]

1) La protection contre l'eau et l'humidité doit être conforme à la section 2.8.

2.6.2. Assises

2.6.2.1. Mise en oeuvre exigée [9.16.2.1.]

1) Sous réserve du paragraphe 2), il faut prévoir, pour les planchers sur sol, une assise d'au moins 100 mm d'épaisseur en granulats grossiers

propres ne contenant pas plus de 10 % de matériaux traversant un tamis de 4 mm. (Voir l'alinéa 2.10.1.1. 2)c) et l'article 2.10.3.2.)

2) Une assise en granulats n'est pas nécessaire sous :

- a) une dalle de garage, un abri d'automobile ou un *bâtiment* secondaire; ou
- b) un *bâtiment* érigé à un endroit où il peut être démontré que les émanations de gaz du *sol* ne constituent pas un danger.

2.6.2.2. Assise des planchers [9.16.2.2.]

1) Sous réserve du paragraphe 2), les matériaux d'assise des planchers sur sol doivent être compactés.

2) Les matériaux d'assise des planchers sur sol ne doivent pas être compactés lorsqu'ils sont constitués de granulats grossiers propres ne contenant pas plus de 10 % de matériaux traversant un tamis de 4 mm.

2.6.3. Drainage

2.6.3.1. Infiltration d'eau [9.16.3.1.]

1) Sous réserve de l'article 2.6.3.2., il faut empêcher l'infiltration d'eau sous un plancher sur sol en aménageant le terrain en pente ou par un système de drainage, à moins qu'il puisse être démontré que ces mesures ne sont pas nécessaires.

2.6.3.2. Pression hydrostatique [9.16.3.2.]

1) Si le *niveau de la nappe souterraine* est susceptible de créer une pression hydrostatique sous un plancher sur sol, celui-ci doit être :

- a) formé d'une dalle de béton coulé; et
- b) conçu pour résister à ces pressions.

2.6.3.3. Avaloirs de sol [9.16.3.3.]

1) Si un avaloir de sol est exigé (voir la section 13.1.), la surface du plancher doit être en pente pour éviter que les eaux ne s'y accumulent.

2.6.4. Béton

2.6.4.1. Surface [9.16.4.1.]

- 1) La surface d'une dalle de béton sur sol doit être égalisée et lissée à la truelle.
- 2) Il est interdit de saupoudrer du ciment sec sur une dalle en vue d'absorber un surplus d'eau.

2.6.4.2. Épaisseur [9.16.4.3.]

1) Les dalles de béton doivent avoir une épaisseur d'au moins 75 mm, chape d'usure non comprise.

2.6.4.3.

2.6.4.3. Matériau intermédiaire [9.16.4.4.]

1) Pour désolidariser une dalle d'une semelle ou de la *roche*, il faut intercaler un matériau intermédiaire.

2.6.5. Bois

2.6.5.1. Planchers à ossature de bois [9.16.5.1.]

1) Les planchers en bois sur sol doivent être conformes à la norme CAN/CSA-S406, « Construction des fondations en bois traité ».

Section 2.7. Autres types de fondations

2.7.1. Fondations à ossature de bois

2.7.1.1. Fondations à ossature de bois [9.15.1.3.]

1) Les *fondations* constituées d'une ossature de bois sont autorisées, mais elles doivent être conformes au paragraphe 2) ou 3).

2) Sous réserve du paragraphe 3), les *fondations* à ossature de bois doivent être calculées conformément à la partie 4 du Code national du bâtiment – Canada 1995.

3) Il n'est pas obligatoire que les *fondations* à ossature de bois conformes à la norme CAN/CSA-S406, « Construction des fondations en bois traité », soient conformes au paragraphe 2) :

- a) si elles reposent sur un *sol* dont la pression admissible est d'au moins 75 kPa; et
- b) si leur configuration est conforme aux hypothèses de calcul stipulées dans la norme.

2.7.2. Fondations du type à piliers

2.7.2.1. Fondations du type à piliers [9.15.2.4.]

1) Dans le cas des *fondations* du type à piliers, les piliers doivent être conçus pour supporter les charges de la superstructure.

2) Si un *bâtiment* d'une hauteur de *bâtiment* de 1 étage repose sur des piliers, ces derniers doivent être disposés de manière à supporter les principaux éléments d'ossature sans que l'espacement entre deux piliers soit supérieur à 3,5 m, sauf si ces piliers et leurs semelles ont été prévus pour être plus espacés.

3) La hauteur des piliers décrits au paragraphe 2) ne doit pas dépasser le triple de leur plus petite dimension à la base.

4) Si les piliers décrits au paragraphe 2) sont formés de blocs de béton, ceux-ci doivent être superposés de manière que leurs alvéoles soient perpendiculaires au plan de pose et, si le *bâtiment* a une largeur de 4,3 m ou moins, que leur côté ayant la plus grande dimension fasse un angle droit avec le côté du *bâtiment* ayant la plus grande dimension.

2.7.2.2. Ancrage [9.20.11.6.]

1) Si des boulons d'ancrage sont placés en partie supérieure d'un pilier de maçonnerie, ce dernier doit être conforme au paragraphe 2.7.2.1. 4) et doit être couronné de béton ou de maçonnerie armée d'une épaisseur d'au moins 200 mm.

2.7.3. Fondations pour les bâtiments résistant aux déformations

2.7.3.1. Fondations pour les bâtiments résistant aux déformations [9.15.1.4.]

1) Si la structure d'un *bâtiment* individuel répond aux critères d'essai de résistance à la déformation de la norme CAN/CSA-Z240.2.1, « Caractéristiques de construction des maisons mobiles », les *fondations* peuvent être construites selon la norme CSA-Z240.10.1 « Aménagement du terrain, construction des fondations et ancrage des maisons mobiles ».

Section 2.8. Protection contre l'humidité et l'eau

2.8.1. Généralités

2.8.1.1. Protection exigée contre l'humidité [9.13.1.1.]

1) Sous réserve de l'article 2.8.1.2., si le niveau du sol fini du côté intérieur des murs de *fondation* est en contrebas du niveau du sol fini du côté extérieur, la face extérieure des murs de *fondation* se trouvant au-dessous du niveau du sol doit être protégée contre l'humidité.

2) Sous réserve du paragraphe 3) et de l'article 2.8.1.2., les planchers sur sol doivent être protégés contre l'humidité.

3) Il n'est pas obligatoire de protéger contre l'humidité les planchers des garages et des parties non fermées des *bâtiments*, et les planchers posés sur un *remblai* granulaire, conformément à l'article 2.6.2.1.

2.8.1.2. Imperméabilisation [9.13.1.2.]

1) Les dalles sur sol et la face extérieure des murs situés au-dessous du niveau du sol qui sont

2.8.3.3.

soumis à une pression hydrostatique doivent être imperméabilisés.

2) Les toits des constructions enterrées doivent être imperméabilisés pour empêcher l'infiltration de l'eau dans ces constructions.

2.8.1.3. Mode d'application [9.13.1.4.]

1) Le mode d'application de tout produit bitumineux de protection contre l'eau ou l'humidité doit être conforme à l'une des normes suivantes :

- a) CAN/CGSB-37.3-M, « Application d'émulsions de bitume pour l'imperméabilisation à l'humidité ou à l'eau »;
- b) ONGC-37-GP-12Ma, « Application du bitume fluxé, non fillerisé, pour l'imperméabilisation à l'humidité »; ou
- c) CAN/CGSB-37.22-M, « Application d'un revêtement de goudron fluxé, non fillerisé, sur les fondations pour l'imperméabilisation à l'humidité ».

2.8.1.4. Normes [9.13.2.1.]

1) Sauf indication contraire dans la présente section, les matériaux de protection extérieure contre l'eau ou l'humidité doivent être conformes à l'une des normes suivantes :

- a) CAN/CGSB-37.1-M, « Émulsion de bitume à émulsif chimique, pour l'imperméabilisation à l'humidité »;
- b) CAN/CGSB-37.2-M, « Émulsion bitumineuse non fillerisée, à colloïde minéral, pour l'imperméabilisation à l'humidité et à l'eau, et pour le revêtement de toitures »;
- c) ONGC-37-GP-6Ma, « Bitume fluxé, non fillerisé, pour l'imperméabilisation à l'humidité »;
- d) CAN/CGSB-37.16-M, « Bitume fluidifié, fillerisé, pour l'imperméabilisation à l'humidité et à l'eau »;
- e) ONGC-37-GP-18Ma, « Goudron fluxé, non fillerisé, pour l'hydrofugation »;
- f) CAN/CGSB-51.34-M, « Pare-vapeur en feuille de polyéthylène pour bâtiments »; ou
- g) CSA-A123.4-M, « Bitumen for Use in Construction of Built-Up Roof Coverings and Dampproofing and Waterproofing Systems ».

2.8.2. Crépissage et finition des murs de fondation en maçonnerie

2.8.2.1. Mur de fondation au-dessous du niveau du sol [9.15.6.1.]

1) Dans un mur de *fondation* en blocs de béton, la face extérieure située au-dessous du niveau du sol doit être crépie comme prévu à l'article 2.8.3.1.

2.8.2.2. Mur de fondation au-dessus du niveau du sol [9.15.6.3.]

1) Dans un mur de *fondation* en blocs de béton, les faces extérieures situées au-dessus du niveau du sol doivent comporter des joints tirés et être recouvertes d'un enduit, d'un crépi ou d'une autre couche de finition appropriée.

2.8.2.3. Attaches de coffrage [9.15.6.3.]

1) Les attaches de coffrage doivent être coupées de manière à ne pas dépasser de la surface du mur.

2.8.3. Protection des murs contre l'humidité

2.8.3.1. Préparation de la surface [9.13.3.1.]

1) Si un mur formé d'éléments de maçonnerie doit être protégé contre l'humidité :

- a) la partie de sa face extérieure située au-dessous du niveau du sol doit être recouverte d'un enduit de mortier d'une épaisseur d'au moins 6 mm conforme aux sous-sections 7.2.5. et 7.2.6.; et
- b) cet enduit doit recouvrir le congé de mortier effectué au moment de la pose de la première assise d'éléments de maçonnerie.

2) Dans un mur de béton qui doit être protégé contre l'humidité, les trous ou les renforcements dus à l'enlèvement des attaches de coffrage doivent être obturés avec du mortier de ciment ou un autre matériau de protection contre l'humidité.

2.8.3.2. Application d'un matériau de protection [9.13.3.2.]

1) Un matériau de protection contre l'humidité doit être appliqué sur toute surface en béton ou tout crépi qui se trouve au-dessous du niveau du sol.

2.8.3.3. Face intérieure des murs [9.13.3.3.]

1) Si un mur en béton ou en éléments de maçonnerie en contact avec le *sol* comporte un

2.8.4.1.

revêtement intérieur ou si ce mur est en contact avec des éléments en bois servant de support à l'isolation ou au revêtement, la face intérieure de la partie du mur de *fondation* située au-dessous du niveau du sol doit être protégée contre l'humidité.

2) La protection contre l'humidité exigée au paragraphe 1) doit partir du plancher du *sous-sol* pour se terminer au niveau du sol.

3) Aucune membrane ni aucun revêtement ayant une perméance de moins de $170 \text{ ng}/(\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ne doivent être posés sur la face intérieure du mur de *fondation* entre l'isolant et la partie du mur de *fondation* qui se trouve au-dessus du niveau du sol.

2.8.4. Protection des planchers sur sol contre l'humidité

2.8.4.1. Emplacement [9.13.4.1.]

1) Si un plancher doit être protégé contre l'humidité, le revêtement d'étanchéité doit être posé sous le plancher; dans le cas d'une dalle recouverte d'un plancher, le revêtement peut être appliqué sur la dalle.

2.8.4.2. Protection sous le plancher [9.13.4.2.]

1) La membrane de protection contre l'humidité posée sous le plancher doit être du polyéthylène d'au moins 0,15 mm d'épaisseur ou du matériau à couverture en rouleau de type S.

2) La membrane d'étanchéité décrite au paragraphe 1) doit être posée avec un recouvrement d'au moins 100 mm aux joints.

2.8.4.3. Protection sur la dalle [9.13.4.3.]

1) Le matériau de protection contre l'humidité posé sur la dalle doit consister en au moins :

- a) 2 couches de bitume appliquées à la vadrouille;
- b) une feuille de polyéthylène d'au moins 0,05 mm; ou
- c) tout autre matériau équivalent.

2.8.4.4. Chape d'usure [9.16.4.2.]

1) Une chape d'usure recouvrant une dalle de béton doit être composée de 1 volume de ciment pour 2,5 volumes de sable propre et d'une bonne granulométrie, le rapport eau-ciment devant être sensiblement égal à celui de la dalle elle-même.

2) Une chape d'usure doit avoir au moins 20 mm d'épaisseur.

2.8.5. Imperméabilisation des murs

2.8.5.1. Préparation de la surface [9.13.5.1.]

1) Si un mur formé d'éléments de maçonnerie doit être étanchéisé, la partie de sa face extérieure située au-dessous du niveau du sol doit être enduite d'une couche de mortier d'une épaisseur d'au moins 6 mm, conformément aux sous-sections 7.2.5. et 7.2.6.

2) Dans un mur de béton qui doit être protégé contre l'humidité, les trous ou les renforcements dus à l'enlèvement des attaches de coffrage doivent être obturés avec du mortier de ciment ou un autre matériau de protection contre l'humidité.

2.8.5.2. Membrane imperméable [9.13.5.2.]

1) Un mur en béton ou en éléments de maçonnerie qui doit être étanchéisé doit être recouvert d'une couche formée d'au moins 2 feuilles imprégnées de bitume, chacune étant mise en place avec du bitume et le tout étant enduit d'une épaisse couche de bitume.

2.8.6. Imperméabilisation des planchers sur sol

2.8.6.1. Système d'imperméabilisation [9.13.6.1.]

1) Le plancher sur sol d'un *sous-sol* qui doit être étanchéisé doit comporter une membrane imperméable comprise entre 2 couches de béton d'une épaisseur d'au moins 75 mm chacune; la membrane du plancher doit être raccordée à celle du mur de manière à former un cuvelage parfaitement étanche.

Section 2.9. Drainage des fondations et écoulement des eaux de surface

2.9.1. Objet

2.9.1.1. Domaine d'application [9.14.1.1.]

1) La présente section s'applique au drainage souterrain et à l'écoulement des eaux de surface.

2.9.1.2. Vides sanitaires [9.14.1.2.]

1) Le drainage des vides sanitaires doit être conforme à la section 2.5.

2.9.5.3.

- a) avoir une profondeur d'au moins 750 mm;
 - b) avoir une surface d'au moins 0,25 m²; et
 - c) être couverts.
- 2) Les couvercles de puisards doivent être conçus pour ne pas pouvoir être enlevés par des enfants.
- 3) Si les conditions ne sont pas favorables au drainage par gravité, il faut prévoir une pompe automatique pour évacuer l'eau du puisard mentionné au paragraphe 1) vers un égout, un fossé ou un puits perdu.

2.9.5.3. Puits perdus [9.14.5.3.]

- 1) Il est permis d'utiliser un puits perdu seulement si le *niveau de la nappe souterraine* est en contrebas du fond du puits.
- 2) Un puits perdu doit être à au moins 5 m des *fondations d'un bâtiment* et doit être situé de façon que l'écoulement soit dirigé à l'opposé du *bâtiment*.

2.9.6. Écoulement des eaux de surface

2.9.6.1. Eaux de surface [9.14.6.1.]

- 1) Si, en raison de l'emplacement d'un *bâtiment*, les eaux de surface peuvent s'accumuler à proximité, il faut aménager le terrain en pente pour éviter cette accumulation.

2.9.6.2. Puits de lumière [9.14.6.3.]

- 1) Le drainage de tout puits de lumière de fenêtre doit s'effectuer vers les semelles ou vers tout autre endroit approprié.

2.9.6.3. Puits d'eau potable et lit d'épandage d'une fosse septique [9.14.6.2.]

- 1) L'écoulement des eaux de surface doit être dirigé à l'opposé d'un puits d'eau potable ou du lit d'épandage d'une fosse septique.

2.9.6.4. Bassin collecteur [9.14.6.4.]

- 1) Si les eaux de ruissellement risquent de s'accumuler sur une voie d'accès pour automobiles ou de pénétrer à l'intérieur d'un garage, il faut installer un bassin collecteur pour permettre une évacuation adéquate.

2.9.6.5. Descentes pluviales [9.14.6.5.]

- 1) Les descentes pluviales doivent être conformes à l'article 8.5.17.2.

Section 2.10. Protection exigée contre les gaz souterrains

2.10.1. Généralités

2.10.1.1. Protection exigée contre les gaz souterrains [9.13.1.3.]

- 1) Sous réserve du paragraphe 2), tous les murs, toits et planchers en contact avec le sol doivent être conçus de façon à empêcher l'infiltration de gaz souterrains dans le *bâtiment*.
- 2) Une construction conçue pour empêcher l'infiltration de gaz souterrains dans le *bâtiment* n'est pas exigée dans les cas suivants :
- a) les garages et les parties non fermées des *bâtiments*;
 - b) les *bâtiments* érigés à des endroits où il peut être démontré que les émanations de gaz souterrains ne constituent pas un danger; ou
 - c) les *bâtiments* qui contiennent un seul *logement* et qui sont munis d'un système de dépressurisation sous le plancher, conformément à l'article 2.10.3.2.

2.10.1.2. Normes [9.13.2.1.]

- 1) Les matériaux de protection contre l'infiltration des gaz souterrains dans les planchers sur sol doivent être conformes à la norme CAN/CGSB-51.34-M, « Pare-vapeur en feuille de polyéthylène pour bâtiments ».

2.10.2. Protection des murs contre l'infiltration de gaz souterrains

2.10.2.1. Murs de maçonnerie [9.13.7.1.]

- 1) Les murs de maçonnerie qui doivent être protégés contre l'infiltration de gaz souterrains, mais qui ne sont pas protégés contre l'humidité sur leur face intérieure comme l'exige le paragraphe 2.8.3.3. 1) doivent comporter :
- a) une rangée d'éléments de maçonnerie pleins; ou
 - b) un solin traversant toute l'épaisseur du mur :
 - i) au niveau de la dalle ou au-dessous; ou
 - ii) en l'absence de dalle, au niveau du revêtement du sol exigé à l'article 2.5.6.1.

ANNEXE F

TABLEAUX RÉSUMANT LES PROBABILITÉS DE GONFLEMENT ET DE SULFATATION SELON LES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES

Caractéristiques de construction - GONFLEMENT

IPPG

IPPG	SOUS-SOL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
(0-10)	821	77,82%	6	0,73%	13	1,58%	19	2,31%
(10-20)	65	6,16%	6	9,23%	1	1,54%	7	10,77%
(20-40)	92	8,72%	15	16,30%	5	5,43%	20	21,74%
(40-60)	39	3,70%	7	17,95%	4	10,26%	11	28,21%
(60-80)	23	2,18%	4	17,39%	1	4,35%	5	21,74%
(80-100)	15	1,42%	2	13,33%	2	13,33%	4	26,67%
	1055		40		26		66	
IPPG	GARAGE							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
(0-10)	398	46,28%	13	3,27%	6	1,51%	19	4,77%
(10-20)	76	8,84%	9	11,84%	5	6,58%	14	18,42%
(20-40)	105	12,21%	31	29,52%	10	9,52%	41	39,05%
(40-60)	48	5,58%	9	18,75%	4	8,33%	13	27,08%
(60-80)	55	6,40%	8	14,55%	5	9,09%	13	23,64%
(80-100)	178	20,70%	40	22,47%	21	11,80%	61	34,27%
	860		110		51		161	
IPPG	TOTAL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
(0-10)	1219	63,66%	19	1,56%	19	1,56%	38	3,12%
(10-20)	141	7,36%	15	10,64%	6	4,26%	21	14,89%
(20-40)	197	10,29%	46	23,35%	15	7,61%	61	30,96%
(40-60)	87	4,54%	16	18,39%	8	9,20%	24	27,59%
(60-80)	78	4,07%	12	15,38%	6	7,69%	18	23,08%
(80-100)	193	10,08%	42	21,76%	23	11,92%	65	33,68%
	1915		150		77		227	

ÉPAISSEUR DE REMBLAI

Épaisseur de Remblai	SOUS-SOL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
<=100	87	8,25%	4	4,60%	5	5,75%	9	10,34%
(100-200)	494	46,82%	19	3,85%	8	1,62%	27	5,47%
(200-300)	359	34,03%	9	2,51%	9	2,51%	18	5,01%
(300-500)	54	5,12%	1	1,85%	0	0,00%	1	1,85%
(500-1000)	11	1,04%	2	18,18%	1	9,09%	3	27,27%
>500	6	0,57%	1	16,67%	1	16,67%	2	33,33%
>1000	2	0,19%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
N/D	42	3,98%	4	9,52%	2	4,76%	6	14,29%
	1055		40		26		66	
Épaisseur de Remblai	GARAGE							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
<=100	74	8,60%	8	10,81%	6	8,11%	14	18,92%
(100-200)	134	15,58%	11	8,21%	8	5,97%	19	14,18%
(200-300)	70	8,14%	11	15,71%	4	5,71%	15	21,43%
(300-500)	61	7,09%	10	16,39%	1	1,64%	11	18,03%
(500-1000)	48	5,58%	4	8,33%	2	4,17%	6	12,50%
>500	103	11,98%	14	13,59%	2	1,94%	16	15,53%
>1000	186	21,63%	36	19,35%	19	10,22%	55	29,57%
N/D	184	21,40%	16	8,70%	9	4,89%	25	13,59%
	860		110		51		161	
Épaisseur de Remblai	TOTAL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
<=100	161	8,41%	12	7,45%	11	6,83%	23	14,29%
(100-200)	628	32,79%	30	4,78%	16	2,55%	46	7,32%
(200-300)	429	22,40%	20	4,66%	13	3,03%	33	7,69%
(300-500)	115	6,01%	11	9,57%	1	0,87%	12	10,43%
(500-1000)	59	3,08%	6	10,17%	3	5,08%	9	15,25%
>500	109	5,69%	15	13,76%	3	2,75%	18	16,51%
>1000	188	9,82%	36	19,15%	19	10,11%	55	29,26%
N/D	226	11,80%	20	8,85%	11	4,87%	31	13,72%
	1915		150		77		227	

CALIBRE DU REMBLAI

Calibre du Remblai	SOUS-SOL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
Étalée	229	21,71%	30	13,10%	12	5,24%	42	18,34%
Nette	438	41,52%	3	0,68%	3	0,68%	6	1,37%
Criblure	13	1,23%	3	23,08%	2	15,38%	5	38,46%
5-20	368	34,88%	3	0,82%	9	2,45%	12	3,26%
Sable	7	0,66%	1	14,29%	0	0,00%	1	14,29%
	1055		40		26		66	
Calibre du Remblai	GARAGE							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
Étalée	550	63,95%	94	17,09%	45	8,18%	139	25,27%
Nette	58	6,74%	2	3,45%	2	3,45%	4	6,90%
Criblure	54	6,28%	6	11,11%	3	5,56%	9	16,67%
5-20	101	11,74%	7	6,93%	1	0,99%	8	7,92%
Sable	93	10,81%	1	1,08%	0	0,00%	1	1,08%
Aucun	4	0,47%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	860		110		51		161	
Calibre du Remblai	TOTAL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
Étalée	779	40,68%	124	15,92%	57	7,32%	181	23,23%
Nette	496	25,90%	5	1,01%	5	1,01%	10	2,02%
Criblure	67	3,50%	9	13,43%	5	7,46%	14	20,90%
5-20	469	24,49%	10	2,13%	10	2,13%	20	4,26%
Sable	100	5,22%	2	2,00%	0	0,00%	2	2,00%
Aucun	4	0,21%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	1915		150		77		227	

NATURE DU REMBLAI

Nature du Remblai	SOUS-SOL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
Calcaire	354	33,55%	6	1,69%	4	1,13%	10	2,82%
Dolomie	10	0,95%	1	10,00%	0	0,00%	1	10,00%
Cornéenne	413	39,15%	8	1,94%	8	1,94%	16	3,87%
Mélange	102	9,67%	13	12,75%	5	4,90%	18	17,65%
Sable	8	0,76%	1	12,50%	0	0,00%	1	12,50%
Shale	29	2,75%	6	20,69%	3	10,34%	9	31,03%
Intrusif	130	12,32%	4	3,08%	4	3,08%	8	6,15%
Pelite	5	0,47%	1	20,00%	0	0,00%	1	20,00%
Autres	4	0,38%	0	0,00%	1	25,00%	1	25,00%
	1055		40		25		65	
Nature du Remblai	GARAGE							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
Calcaire	158	18,37%	8	5,06%	4	2,53%	12	7,59%
Dolomie	10	1,16%	3	30,00%	2	20,00%	5	50,00%
Cornéenne	191	22,21%	24	12,57%	7	3,66%	31	16,23%
Mélange	105	12,21%	23	21,90%	9	8,57%	32	30,48%
Sable	89	10,35%	1	1,12%	0	0,00%	1	1,12%
Shale	214	24,88%	44	20,56%	23	10,75%	67	31,31%
Intrusif	70	8,14%	5	7,14%	2	2,86%	7	10,00%
Pelite	13	1,51%	2	15,38%	4	30,77%	6	46,15%
Autres	10	1,16%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	860		110		51		161	
Nature du Remblai	TOTAL							
	nombre de cas valide	%	endom. moyen	%	endom. élevé	%	endom. total	probabilité d'endom.
Calcaire	512	26,74%	14	2,73%	8	1,56%	22	4,30%
Dolomie	20	1,04%	4	20,00%	2	10,00%	6	30,00%
Cornéenne	604	31,54%	32	5,30%	15	2,48%	47	7,78%
Mélange	207	10,81%	36	17,39%	14	6,76%	50	24,15%
Sable	97	5,07%	2	2,06%	0	0,00%	2	2,06%
Shale	243	12,69%	50	20,58%	26	10,70%	76	31,28%
Intrusif	200	10,44%	9	4,50%	6	3,00%	15	7,50%
Pelite	18	0,94%	3	16,67%	4	22,22%	7	38,89%
Autres	14	0,73%	0	0,00%	1	7,14%	1	7,14%
	1915		150		76		226	

Caractéristiques de construction - SULFATATION

NATURE DU REMBLAI

Nature du Remblai	SOUS-SOL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
Calcaire	563	35,06%	65	11,55%
Dolomie	19	1,18%	7	36,84%
Cornéenne	629	39,17%	52	8,27%
Mélange	152	9,46%	40	26,32%
Sable	9	0,56%	1	11,11%
Shale	32	1,99%	11	34,38%
Intrusif	188	11,71%	7	3,72%
Pelite	9	0,56%	1	11,11%
Autres	5	0,31%	0	0,00%

1606

184

Nature du Remblai	GARAGE			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
Calcaire	158	17,95%	39	24,68%
Dolomie	10	1,14%	5	50,00%
Cornéenne	199	22,61%	51	25,63%
Mélange	106	12,05%	39	36,79%
Sable	95	10,80%	2	2,11%
Shale	218	24,77%	99	45,41%
Intrusif	71	8,07%	15	21,13%
Pelite	13	1,48%	8	61,54%
Autres	10	1,14%	2	20,00%

880

260

Nature du Remblai	TOTAL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
Calcaire	721	29,00%	104	14,42%
Dolomie	29	1,17%	12	41,38%
Cornéenne	828	33,31%	103	12,44%
Mélange	258	10,38%	79	30,62%
Sable	104	4,18%	3	2,88%
Shale	250	10,06%	110	44,00%
Intrusif	259	10,42%	22	8,49%
Pelite	22	0,88%	9	40,91%
Autres	15	0,60%	2	13,33%

2486

444

ÉPAISSEUR DE REMBLAI

Épaisseur de Remblai	SOUS-SOL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
<=100	132	8,22%	14	10,61%
(100-200]	743	46,26%	87	11,71%
(200-300]	543	33,81%	52	9,58%
(300-500]	95	5,92%	14	14,74%
(500-1000]	13	0,81%	5	38,46%
>500	6	0,37%	1	16,67%
>1000	4	0,25%	1	25,00%
N/D	70	4,36%	10	14,29%

1606

184

Épaisseur de Remblai	GARAGE			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
<=100	75	8,52%	9	12,00%
(100-200]	136	15,45%	35	25,74%
(200-300]	72	8,18%	27	37,50%
(300-500]	65	7,39%	20	30,77%
(500-1000]	49	5,57%	9	18,37%
>500	104	11,82%	31	29,81%
>1000	193	21,93%	78	40,41%
N/D	186	21,14%	51	27,42%

880

260

Épaisseur de Remblai	TOTAL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
<=100	207	8,33%	23	11,11%
(100-200]	879	35,36%	122	13,88%
(200-300]	615	24,74%	79	12,85%
(300-500]	160	6,44%	34	21,25%
(500-1000]	62	2,49%	14	22,58%
>500	110	4,42%	32	29,09%
>1000	197	7,92%	79	40,10%
N/D	256	10,30%	61	23,83%

2486

444

IPPG

Calibre du Remblai	SOUS-SOL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
Étalée	348	21,67%	68	19,54%
Nette	621	38,67%	23	3,70%
Criblure	21	1,31%	5	23,81%
5-20	608	37,86%	87	14,31%
Sable	8	0,50%	1	12,50%

1606

184

Calibre du Remblai	GARAGE			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
Étalée	559	63,52%	206	36,85%
Nette	61	6,93%	7	11,48%
Criblure	56	6,36%	16	28,57%
5-20	101	11,48%	28	27,72%
Sable	99	11,25%	2	2,02%
Aucun	4	0,45%	1	25,00%

880

260

Calibre du Remblai	TOTAL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
Étalée	907	36,48%	274	30,21%
Nette	682	27,43%	30	4,40%
Criblure	77	3,10%	21	27,27%
5-20	709	28,52%	115	16,22%
Sable	107	4,30%	3	2,80%
Aucun	4	0,16%	1	25,00%

2486

444

IPPG	SOUS-SOL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
(0-10]	1271	79,14%	86	6,77%
(10-20]	103	6,41%	22	21,36%
(20-40]	126	7,85%	27	21,43%
(40-60]	54	3,36%	23	42,59%
(60-80]	35	2,18%	17	48,57%
(80-100]	17	1,06%	9	52,94%

1606

184

IPPG	GARAGE			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
(0-10]	411	46,70%	54	13,14%
(10-20]	76	8,64%	26	34,21%
(20-40]	109	12,39%	49	44,95%
(40-60]	48	5,45%	18	37,50%
(60-80]	56	6,36%	28	50,00%
(80-100]	180	20,45%	85	47,22%

880

260

IPPG	TOTAL			
	nombre de cas	%	Nombre de dalle sulfatée	%
(0-10]	1682	67,66%	140	8,32%
(10-20]	179	7,20%	48	26,82%
(20-40]	235	9,45%	76	32,34%
(40-60]	102	4,10%	41	40,20%
(60-80]	91	3,66%	45	49,45%
(80-100]	197	7,92%	94	47,72%

2486

444

LABORATOIRES (Relevé visuel)

Laboratoire 5

VILLE	nombre de logements privés occupés possédés	nombre de maison	SOUS-SOL								GARAGE				Labo 5
			%	nombre de cas valides	%	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de ss endommagés	nombre de cas valides	%	% de maison avec garage	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de garage endommagés	
Bross	16485	103	35,03%	47	27,33%	4	8,51%	1403	71	31,23%	70,26%	19	26,76%	11583	probabilités observées Sous-sol Garage 9,30% 23,30%
Bchvl	10045	13	4,42%	10	5,81%	1	10,00%	1005	7	4,05%	57,53%	2	28,57%	5779	
SHub	19350	24	8,16%	15	8,72%	1	6,67%	1290	5	11,70%	26,02%	2	40,00%	5035	
Long	21695	16	5,44%	11	6,40%	3	27,27%	5917	7	9,62%	49,68%	1	14,29%	10778	probabilités pondérées Sous-sol Garage 11,37% 19,18%
StBno, StBas.G	10125	29	9,86%	20	11,63%	3	15,00%	1519	18	8,16%	56,28%	4	22,22%	5698	
Lapr, Cand	7470	38	13,27%	22	12,79%	0	0,00%	0	37	6,62%	76,99%	9	24,32%	5751	
Cham, Carignan, StLuc	11565	8	2,72%	6	3,49%	1	16,67%	1928	1	2,80%	22,22%	0	0,00%	2570	probabilités anticipées Sous-sol Garage 4,20% 17,29%
VieM, StLam, Gpk	9940	10	3,74%	5	2,91%	0	0,00%	0	10	2,00%	57,78%	1	10,00%	5743	
SteJulie, Vrms, StAmable	13460	23	7,82%	18	10,47%	1	5,56%	748	9	9,77%	43,54%	1	11,11%	5861	
Belo, MStShir, OtrbmPk, McMstrvl	11985	6	2,04%	6	3,49%	0	0,00%	0	0	2,99%	35,90%	0	0,00%	4302	
StC, VSteCath, Deln, Chgt, Naprvl	23030	22	7,48%	12	6,98%	2	16,67%	3838	11	11,14%	39,53%	2	18,18%	9105	
TOTAL	155150	294		172		16		17647	176			41		72205	

Laboratoire 4

VILLE	nombre de logements privés occupés possédés	nombre de maison	%	SOUS-SOL					GARAGE					Labo 4	
				nombre de cas valide	%	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de ss endommagés	nombre de cas valide	%	% de maison avec garage	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.		nombre de garage endommagés
Bross	16485	131	21.58%	68	17.62%	3	4.41%	727	96	20.09%	70.26%	13	13.54%	11583	probabilités observées Sous-sol Garage 4,40% 14,61%
Bchvl	10045	38	6.26%	28	7.25%	1	3.57%	359	21	5.04%	57.53%	2	9.52%	5779	
SHub	19350	73	12.03%	44	11.40%	2	4.55%	880	21	15.26%	26.02%	8	38.10%	5035	
Long	21695	73	12.03%	44	11.40%	1	2.27%	493	34	17.11%	49.68%	5	14.71%	10778	probabilités pondérées Sous-sol Garage 4,21% 11,46%
StBno, StBasLG	10125	90	14.83%	63	16.32%	2	3.17%	321	53	11.43%	56.28%	13	24.53%	5698	
Lapr, Cand	7470	35	5.77%	22	5.70%	1	4.55%	340	21	2.95%	76.99%	1	4.76%	5751	
Cham, Carignan, StLuc	11565	35	5.77%	27	6.99%	2	7.41%	857	7	5.60%	22.22%	1	14.29%	2570	probabilités anticipées Sous-sol Garage 4,73% 16,84%
VieM, StLam, Gpk	9940	13	2.14%	10	2.59%	1	10.00%	994	5	1.78%	57.78%	0	0.00%	5743	
SteJulie, Vrms, StAmable	13460	63	10.38%	37	9.59%	1	2.70%	364	29	8.93%	43.54%	0	0.00%	5861	
Belo, MStShir, OtrbmPk, McMstrvl	11985	38	6.26%	30	7.77%	3	10.00%	1199	14	6.44%	35.90%	2	14.29%	4302	
StC, VSteCath, Deln, Chgt, Naprvl	23030	18	2.97%	13	3.37%	0	0.00%	0	7	5.37%	39.53%	0	0.00%	9105	
TOTAL	155150	607		386		17		6533	308			45		72205	

Laboratoire 3

VILLE	nombre de logements privés occupés possédés	nombre de maison	%	SOUS-SOL				GARAGE					Labo 3		
				nombre de cas valides	%	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de ss endommagés	nombre de cas valides	%	% de maison avec garage	Nombre d'endom.		probabilité d'endom.	nombre de garage endommagés
Bross	16485	37	23.87%	30	24.19%	1	3.33%	550	29	28.83%	70.26%	13	44.83%	11583	probabilités observées Sous-sol Garage 8.87% 29.59%
Bchvl	10045	27	17.42%	21	16.94%	2	9.52%	957	17	12.30%	57.53%	6	35.29%	5779	
SHub	19350	8	5.16%	6	4.84%	0	0.00%	0	4	6.77%	26.02%	0	0.00%	5035	
Long	21695	8	5.16%	7	5.65%	0	0.00%	0	5	8.85%	49.68%	1	20.00%	10778	probabilités pondérées Sous-sol Garage 6.13% 22.82%
StBno, StBas.G	10125	25	16.13%	21	16.94%	3	14.29%	1446	14	12.40%	56.28%	3	21.43%	5698	
Lapr, Cand	7470	7	4.52%	5	4.03%	0	0.00%	0	6	2.18%	76.99%	3	50.00%	5751	
Cham, Carignan, StLuc	11565	5	3.23%	5	4.03%	1	20.00%	2313	3	3.37%	22.22%	0	0.00%	2570	probabilités anticipées Sous-sol Garage 4.64% 16.73%
VieM, StLam, Gpk	9940	4	2.58%	1	0.81%	0	0.00%	0	1	0.58%	57.78%	0	0.00%	5743	
SteJulie, Vrms, StAmable	13460	18	11.61%	15	12.10%	2	13.33%	1795	10	11.77%	43.54%	2	20.00%	5861	
Belo, MtStShir, OtrbmPk, McMstrvl	11985	8	5.16%	7	5.65%	1	14.29%	1712	4	4.89%	35.90%	0	0.00%	4302	Sous-sol Garage 4.64% 16.73%
StC, VSteCath, Deln, Chgt, Naprvl	23030	8	5.16%	6	4.84%	1	16.67%	3838	5	8.08%	39.53%	1	20.00%	9105	
TOTAL	155150	155		124		11		12611	98			29		72205	

Laboratoire 2

VILLE	nombre de logements privés occupés possédés	nombre de maison	%	SOUS-SOL				GARAGE				Labo 2			
				nombre de cas valides	%	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de ss endommagés	nombre de cas valides	%	% de maison avec garage		Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de garage endommagés
Bross	16485	58	14.46%	36	14.29%	2	5.56%	916	36	16.14%	70.26%	10	27.78%	11583	probabilités observées Sous-sol Garage 6,35% 22,02%
Bchvl	10045	54	13.47%	32	12.70%	1	3.13%	314	25	8.74%	57.53%	8	32.00%	5779	
SHub	19350	60	14.96%	29	11.51%	1	3.45%	667	15	15.26%	26.02%	5	33.33%	5035	
Long	21695	34	8.48%	20	7.94%	2	10.00%	2170	20	11.80%	49.68%	2	10.00%	10778	probabilités pondérées Sous-sol Garage 6,97% 19,63%
StBno, StBasLG	10125	39	9.73%	27	10.71%	1	3.70%	375	16	7.43%	56.28%	4	25.00%	5698	
Lapr, Cand	7470	16	3.89%	10	3.97%	1	10.00%	747	12	2.03%	76.99%	3	25.00%	5751	
Cham, Carignan, StLuc	11565	11	2.74%	7	2.78%	1	14.29%	1652	1	2.20%	22.22%	0	0.00%	2570	probabilités anticipées Sous-sol Garage 4,77% 15,82%
VieM, StLam, Gpk	9940	13	3.24%	9	3.57%	1	11.11%	1104	8	2.43%	57.78%	2	25.00%	5743	
SteJulie, Vrms, StAmable	13460	65	16.21%	46	18.25%	3	6.52%	878	22	16.83%	43.54%	2	9.09%	5861	
Belo, MStShir, OtrbmPk, McMstrvl	11985	23	5.74%	18	7.14%	3	16.67%	1998	7	5.87%	35.90%	0	0.00%	4302	
StC, VSteCath, Deln, Chgt, Naprvl	23030	28	6.98%	18	7.14%	0	0.00%	0	6	11.27%	39.53%	1	16.67%	9105	
TOTAL	155150	401		252		16		10820	168			37		72205	

Laboratoire 1

VILLE	nombre de logements privés occupés possédés	nombre de maison	%	SOUS-SOL				GARAGE					Labo 1		
				nombre de cas valides	%	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de ss endommagés	nombre de cas valides	%	% de maison avec garage	Nombre d'endom.		probabilité d'endom.	nombre de garage endommagés
Bross	6 16485	14	5.76%	5	4.13%	0	0.00%	0	6	4.96%	70.26%	1	16.67%	11583	probabilités observées Sous-sol Garage 4,96% 8,11%
Bchvl	10045	54	22.22%	25	20.69%	3	12.00%	1205	36	15.11%	57.53%	2	5.56%	5779	
SHub	19350	31	12.76%	15	12.40%	1	6.67%	1290	5	17.47%	26.02%	0	0.00%	5035	
Long	21695	26	10.70%	13	10.74%	2	15.38%	3338	8	16.97%	49.68%	1	12.50%	10778	probabilités pondérées Sous-sol Garage 3,76% 7,64%
StBno, StBasLG	10125	32	13.17%	21	17.36%	0	0.00%	0	17	12.80%	56.28%	4	23.53%	5698	
Lapr, Cand	7470	16	6.58%	8	6.61%	0	0.00%	0	10	3.60%	76.99%	1	10.00%	5751	
Cham, Carignan, StLuc	11565	13	5.35%	6	4.96%	0	0.00%	0	4	4.18%	22.22%	0	0.00%	2570	probabilités anticipées Sous-sol Garage 4,81% 16,03%
VieM, StLam, Gpk	9940	4	1.65%	3	2.48%	0	0.00%	0	2	1.79%	57.78%	0	0.00%	5743	
SteJulie, Vrms, StAmable	13460	40	16.46%	20	15.53%	0	0.00%	0	18	16.20%	43.54%	0	0.00%	5861	
Belo, MtStShir, OtrbmPk, McMstrvl	11985	3	1.23%	0	0.00%	0	0.00%	0	0	0.00%	35.90%	0	0.00%	4302	
StC, VSteCath, Deln, Chgt, Naprvl	23030	10	4.12%	5	4.13%	0	0.00%	0	5	6.93%	39.53%	0	0.00%	9105	
TOTAL	155150	243		121		6		5833	111			8		72205	

Total des données

VILLE	nombre de logements privés occupés possédés	nombre de maison	%	SOUS-SOL				GARAGE				Total des cas			
				nombre de cas valides	%	Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de ss endommagés	nombre de cas valides	%	% de maison avec garage		Nombre d'endom.	probabilité d'endom.	nombre de garage endommagés
Bross	16485	343	20.18%	186	17.63%	10	5.36%	886	238	20.29%	70.26%	56	23.53%	11583	probabilités observées Sous-sol Garage 6,26% 18,70%
Bchvl	10045	168	10.94%	116	11.00%	8	6.90%	693	106	7.71%	57.53%	20	18.87%	5779	
SHub	19350	196	11.53%	109	10.33%	5	4.59%	888	50	13.95%	26.02%	15	30.00%	5035	
Long	21695	157	9.24%	95	9.00%	8	8.42%	1827	74	13.64%	49.68%	10	13.51%	10778	probabilités pondérées Sous-sol Garage 6,64% 16,40%
StBno, StBas.G	10125	215	12.65%	152	14.41%	9	5.92%	600	118	10.18%	56.28%	28	23.73%	5698	
Lapr, Cand	7470	113	6.65%	67	6.35%	2	2.99%	86	3.31%	76.99%	17	19.77%	5751		
Cham, Carignan, StLuc	11565	72	4.24%	51	4.83%	5	9.80%	1234	16	3.90%	22.22%	1	6.25%	2570	probabilités anticipées Sous-sol Garage 4,65% 16,56%
VieM, StLam, Gpk	9940	45	2.65%	28	2.89%	2	7.94%	89	1.94%	31.78%	3	10.00%	1005		
StJulie, Vms, StAmable	13460	209	12.29%	136	12.89%	7	5.15%	693	88	12.11%	43.54%	5	5.68%	5861	
Belo, MStHr, OrtmP, McMatrsl	11985	78	4.59%	61	5.78%	7	11.48%	1375	25	4.84%	35.90%	2	8.00%	4302	Sous-sol Garage 4,65% 16,56%
StC, VStCath, Den, Chap, Ngrvl	23030	86	5.06%	54	5.12%	3	5.56%	1279	34	8.23%	39.53%	4	11.76%	9105	
TOTAL	155150	1700		1055		66		10307	861			161		72205	

Année de construction

Gonflement

1		Sous-sol							Garage							Total						
		nombre de cas valide	Endommagement						nombre de cas valide	Endommagement						nombre de cas valide	Endommagement					
			moyen (1)	%	élevé (2)	%	Total	%		moyen (1)	%	élevé (2)	%	Total	%		moyen (1)	%	élevé (2)	%	Total	%
<1945	2	2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0		0		0		2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
1945-1950]	3	4	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	6	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
1950-1955]	4	15	1	6,7%	1	6,7%	2	13,3%	5	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	20	1	5,0%	1	5,0%	2	10,0%
1955-1960]	5	43	7	16,3%	3	7,0%	10	23,3%	18	3	16,7%	2	11,1%	5	27,8%	61	10	16,4%	5	8,2%	15	24,6%
1960-1965]	6	62	7	11,3%	5	8,1%	12	19,4%	48	3	6,3%	0	0,0%	3	6,3%	110	10	9,1%	5	4,5%	15	13,6%
1965-1970]	7	93	9	9,7%	2	2,2%	11	11,8%	81	17	21,0%	10	12,3%	27	33,3%	174	26	14,9%	12	6,9%	38	21,8%
1970-1975]	8	113	5	4,4%	3	2,7%	8	7,1%	78	8	10,3%	4	5,1%	12	15,4%	191	13	6,8%	7	3,7%	20	10,5%
1975-1980]	9	141	2	1,4%	5	3,5%	7	5,0%	103	17	16,5%	4	3,9%	21	20,4%	244	19	7,8%	9	3,7%	28	11,5%
1980-1985]	10	133	4	3,0%	1	0,8%	5	3,8%	112	23	20,5%	10	8,9%	33	29,5%	245	27	11,0%	11	4,5%	38	15,5%
1985-1990]	11	302	4	1,3%	4	1,3%	8	2,6%	299	36	12,0%	20	6,7%	56	18,7%	601	40	6,7%	24	4,0%	64	10,6%
1990-1995]	12	136	1	0,7%	2	1,5%	3	2,2%	107	3	2,8%	1	0,9%	4	3,7%	243	4	1,6%	3	1,2%	7	2,9%
1995-2000]	13	10	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	7	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	17	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
TOTAL		1054	40		26		66		860	110		51		161		1914	150		77		227	

Sulfatation

		Sous-sol			Garage			Total		
		nombre de cas valide	Nombre de dalle sulfatée	%	nombre de cas valide	Nombre de dalle sulfatée	%	nombre de cas valide	Nombre de dalle sulfatée	%
<1945	2	3	1	33,3%	0	0		3	1	33,3%
1945-1950]	3	8	2	25,0%	2	1	50,0%	10	3	30,0%
1950-1955]	4	18	4	22,2%	5	1	20,0%	23	5	21,7%
1955-1960]	5	57	9	15,8%	19	5	26,3%	76	14	18,4%
1960-1965]	6	89	15	16,9%	48	9	18,8%	137	24	17,5%
1965-1970]	7	130	31	23,8%	82	27	32,9%	212	58	27,4%
1970-1975]	8	180	25	13,9%	82	18	22,0%	262	43	16,4%
1975-1980]	9	226	26	11,5%	103	36	35,0%	329	62	18,8%
1980-1985]	10	218	19	8,7%	117	46	39,3%	335	65	19,4%
1985-1990]	11	465	43	9,2%	305	105	34,4%	770	148	19,2%
1990-1995]	12	196	9	4,6%	109	11	10,1%	305	20	6,6%
1995-2000]	13	15	0	0,0%	7	0	0,0%	22	0	0,0%
TOTAL		1605	184		879	259		2484	443	