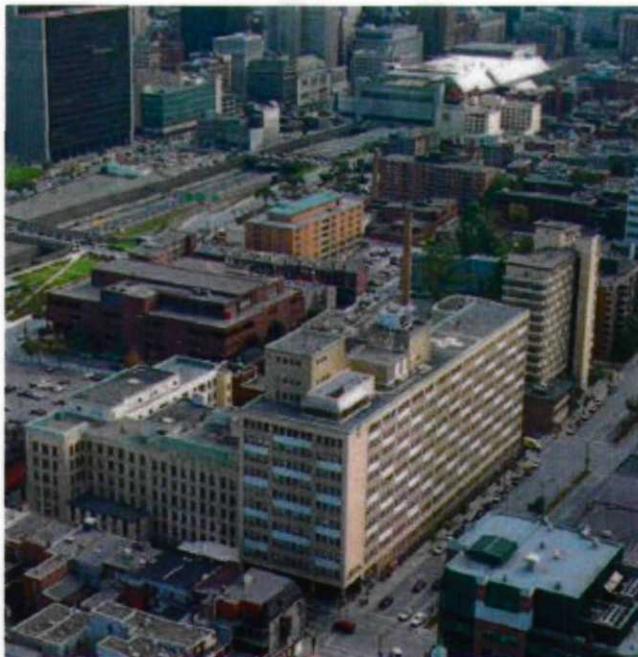


CHUM 1000 Saint-Denis

ÉTUDE DE FAISABILITÉ

CONTRÔLE DES VIBRATIONS ET DU BRUIT DE LA CONSTRUCTION

À PROXIMITÉ DES BÂTIMENTS EXISTANTS



**CHUM 1000 Saint-Denis****ÉTUDE DE FAISABILITÉ****CONTROLE DES VIBRATIONS ET DU BRUIT DE LA CONSTRUCTION
A PROXIMITE DES BATIMENTS EXISTANTS****RAPPORT FINAL**

Préparé par :

Claude Chamberland, ing. Bruit et vibrationDate : 23 DÉCEMBRE 2004

Approuvé par :

Jean-Luc Allard, ing.Date : 23 déc. 2004

Revu par :

Denis Léonard, Directeur de projetDate : 23 déc 2004

AVIS

Ce document fait état de l'opinion professionnelle de SNC-Lavalin inc. («SLI») quant aux sujets qui y sont abordés. Elle a été formulée en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent. Le document doit être interprété dans le contexte du mandat de services professionnels en date de mai 2004 (la «Convention») intervenue entre SLI et CHUM Hôtel-Dieu (le «Client»), ainsi que de la méthodologie, des procédures et des techniques utilisées, des hypothèses de SLI ainsi que des circonstances et des contraintes qui ont prévalu lors de l'exécution de ce mandat. Ce document n'a pour raison d'être que l'objectif défini dans la Convention, et est au seul usage du Client, dont les recours sont limités à ceux prévus dans la Convention. Il doit être lu comme un tout, à savoir qu'une portion ou un extrait isolé ne peut être pris hors contexte.

SLI ayant, pour évaluer les coûts, le cas échéant, suivi une méthode et des procédures et pris les précautions appropriées au degré d'exactitude visé, en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent. Cependant, l'exactitude de ces estimations ne peut être garantie. À moins d'indication contraire expresse, SLI n'a pas contre-vérifié les hypothèses, données et renseignements en provenance d'autres sources (dont le Client, les autres consultants, laboratoires d'essai, fournisseurs d'équipements, etc.) et sur lesquelles est fondée son opinion. SLI n'en assume nullement l'exactitude et décline toute responsabilité à leur égard.

SLI décline en outre toute responsabilité envers le Client et les tiers en ce qui a trait à l'utilisation (publication, renvoi, référence, citation ou diffusion) de tout ou partie du présent document, ainsi que toute décision prise ou action entreprise sur la foi dudit document.



TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION..... 5
1.1 Description du projet et hypothèses de travail 5

2. VIBRATIONS 7
2.1 Critères de vibration 7
2.1.1 Effets sur les structures 7
2.1.2 Effets sur les humains 7
2.1.3 Effets sur les équipements sensibles 8
2.2 Analyse des vibrations de la construction..... 8
2.2.1 Étape 1 8
2.2.2 Étape 2 8
2.2.3 Étape 3 10
2.2.4 Étapes 4 à 8 10
2.3 Recommandations 11

3. BRUIT 13
3.1 Bruit initial 13
3.2 Critères de bruit 13
3.3 Analyse du bruit de la construction..... 14
3.4 RECOMMANDATIONS 16

4. CONCLUSION 18

5. BIBLIOGRAPHIE..... 19

ANNEXES

Annexe « A » Construction du CHUM (1000, rue Saint-Denis) en 8 étapes
Annexe « B » Plan des soutènements temporaires requis (scénario d'implantation au 1000, rue Saint-Denis)
Annexe « C » Critères VC pour équipements sensibles aux vibrations
Annexe « D » Prédiction des vibrations générées par le battage de pieux
Annexe « E » Évaluation du bruit du chantier de construction

**SOMMAIRE**

Dans le cadre de la planification du Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM), SNC-Lavalin Inc. a réalisé une étude de faisabilité des travaux de construction sur les opérations dans les bâtiments existants et projetés. L'étude concerne la vibration et le bruit des travaux qui pourraient nuire aux équipements et aux usagers.

L'étude est basée sur le PRÉ CONCEPT SOMMAIRE du 15 juillet 2004, préparée par l'équipe du CHUM 2010, sur des informations fournies en cours d'étude et sur des études antérieures similaires réalisées pour l'implantation du CHUM au 6000 Saint-Denis. Elle ne comporte pas de relevés sur le site, ni calculs détaillés.

VIBRATION

En l'absence de critères de vibration précis pour les équipements et les opérations du CHUM, ceux-ci ont été établis en référant à des critères comparables couramment utilisés pour les équipements sensibles comme les microscopes électroniques et le laser (0,006 – 0,0125 mm/s rms), les être humains (0,1 - 0,5 mm/s rms) et les bâtiments (20 - 50 mm/s crête).

Les travaux de démolition, d'excavation, de soutènement par battage de pieux ou paroi moulée et de dynamitage sont une source importante de vibration.

Selon la séquence de déroulement des travaux envisagés, les premières excavations (étape 2) atteindront le niveau du roc avec la possibilité d'une petite quantité de roc à dynamiter et nécessiteront l'utilisation d'ouvrages de soutènement temporaires à l'aide de murs berlinois (battage de pieux) le long des rues et de parois moulées à proximité des bâtiments existants. Les travaux d'excavation subséquents (étapes 4 et 6) nécessiteront également des ouvrages de soutènement, à l'exception qu'ils n'atteindront pas le roc, ce qui nécessitera la construction des fondations sur semelles ou sur pieux.

Les sources de vibrations, autres que le battage de pieux et le dynamitage, seront principalement les travaux de démolition (marteaux hydrauliques, etc.), la machinerie lourde et les travaux de transformation à l'intérieur de certains bâtiments. Ces dernières ne devraient pas avoir d'impacts sur les opérations médicales et équipements sensibles, mais nécessiteront l'utilisation d'équipements adaptés aux contraintes de vibration et un suivi des vibrations rigoureux.

Les parois moulées et le battage de pieux, situés à plus de 50 mètres des bâtiments existants, devraient avoir peu ou pas d'impact sur les opérations médicales et les équipements sensibles, mais nécessiteront également un suivi rigoureux des vibrations. Cependant, dans un rayon d'environ 50 mètres des bâtiments, une attention et un suivi particuliers devront être effectués sur l'énergie des travaux de battage de pieux, les déplacements de la machinerie lourde, l'excavation avec marteau hydraulique et les vibrations au sol, à l'intérieur des bâtiments et sur les structures existantes.

S'il s'avère nécessaire d'excaver une certaine quantité de roc par dynamitage, ces travaux pourront être réalisables en fonction de critères spécifiques à respecter tenant compte des distances et des conditions du site. Ils nécessiteront un suivi rigoureux des vibrations et, si nécessaire, la réalisation de certains tirs en dehors des heures ou des périodes d'activités sensibles impliquant possiblement l'interruption des opérations de certains équipements médicaux.



Donc, l'étude des vibrations montre que les impacts, surtout pour les travaux à moins de 50 mètres des bâtiments en opération, pourraient être contrôlés en fonction des critères spécifiques à respecter nécessitant un suivi durant la réalisation des travaux. L'interruption des opérations médicales pourrait être nécessaire pour certains travaux comme le dynamitage, s'il était requis.

BRUIT

Le CHUM 1000 Saint-Denis sera construit dans un milieu fortement urbanisé où le niveau sonore ambiant est généralement dominé par le bruit de la circulation sur le réseau routier. Le bruit a été estimé à partir de mesures effectuées au site du CHUM 6000 Saint-Denis (LAeq: 60 - 70 dB) et le long du boulevard Décarie (58 - 74 dB). Le bruit des chantiers de construction est toléré le jour, mais pas le soir, ni la nuit. Les limites retenues pour l'évaluation sont basées sur la politique de la Ville de Montréal pour le soir (LAeq: 60 dB) et la nuit (LAeq: 50 dB) et sur le niveau de bruit ambiant estimé le jour (LAeq: 70 dB) en supposant que le bruit ambiant actuel est acceptable. Le bruit à l'intérieur des bâtiments existants avec des fenêtres ouvertes peut être plus élevé que les niveaux recommandés de LAeq : 30 à 40 dB dans une chambre d'hôpital.

Les phases initiales de démolition, d'excavation et de battage de pieux sont les plus bruyantes. Les niveaux sonores anticipés aux bâtiments (LAeq: 52 - 103 dB) sont généralement supérieurs aux limites de bruit établies. Pour réduire les nuisances sonores des travaux de construction, il est recommandé de mettre en place les mesures de contrôle du bruit suivantes :

- Les travaux de soir et de nuit devraient être limités à des activités peu bruyantes. Les travaux bruyants de démolition, soutènement et d'excavation devraient être effectués de jour seulement (7h à 17h) ce qui pourra augmenter la durée des travaux.
- Les zones les plus affectées par la démolition seront l'Aile Nord-Ouest et l'Aile Centre, de même que toutes les unités de soins en opération situées à moins de 50 m. Des écrans antibruit et abris mobiles devraient être placés près des sources et du bruit ce qui pourra par contre réduire la cadence des travaux car l'écran doit être déplacé au fur et à mesure que les travaux progressent.
- Le battage de pieux pour le soutènement temporaire par mur berlinois ou pour les fondations est l'activité la plus bruyante et cette technique ne devrait pas être utilisée. À moins de 50 m d'un bâtiment en opération ou d'une résidence, le soutènement devrait se faire par paroi moulée (méthode alternative) avec des équipements munis de dispositifs d'atténuation. À plus de 50 m, le mur berlinois pourrait être utilisé en fonçant les pieux par perçage (méthode alternative) et non par battage. L'utilisation de méthodes alternatives nécessite une plus grande quantité de paroi moulée ce qui pourrait prolonger les travaux et augmenter les coûts.
- Des écrans antibruit devraient être érigés le long des rues Saint-Denis et Sainte-Élizabeth
- Si de l'excavation de roc par dynamitage est requise, la conception des tirs et l'utilisation de détonateur électrique permettra de contrôler le bruit et le souffle d'air. L'utilisation de cordeau détonant pour amorcer les tirs devrait être interdite.
- Malgré l'utilisation d'équipements à bruit réduit et de mesures de contrôle du bruit, des niveaux sonores au-dessus de 70 dB le jour seront fréquents lors de la démolition et de l'excavation. Les fenêtres des bâtiments devraient être fermées pour réduire l'infiltration



du bruit. L'interruption des opérations dans certaines unités pourrait être nécessaire lorsque des équipements bruyants seront utilisés à moins de 50 m, pour éviter que les niveaux sonores à l'intérieur soient inacceptables. Un suivi des niveaux sonores extérieurs et intérieurs devrait être instauré lors des travaux de construction.

- L'isolation acoustique de l'enveloppe des nouveaux bâtiments devra tenir compte du niveau de bruit ambiant du milieu.

Pour valider les critères de vibration et de bruit et évaluer plus spécifiquement les méthodes de contrôle, nous recommandons de compléter la présente étude en réalisant les activités suivantes :

- Effectuer des mesures de vibrations ambiantes avant le début des travaux (sol, fondations, planchers et près des équipements sensibles) et des simulations de vibrations sur le site à l'aide de sources calibrées (avant et pendant les travaux) afin d'évaluer plus précisément les vibrations transmises aux bâtiments par les différentes étapes de construction.
- Réaliser une analyse des risques associés au projet (affaissement de sol, vibrations, nuisances) pour établir une démarche de protection (limites de vibration, suivi des vibrations de la nappe phréatique et des mouvements de terrain, pré-inspection des bâtiments, procédures de contrôle sismique et géologique) qui sera utilisée tout au long du projet pour limiter les poursuites. Intégrer les résultats aux plans et devis.
- Évaluer la possibilité, si nécessaire, de construire une barrière dans le sol entre les travaux et les structures pour atténuer les vibrations, ce qui augmenterait le coût des travaux.
- Le cas échéant évaluer s'il sera nécessaire d'éviter, autant que possible, de réaliser les travaux de battage de pieux durant les périodes de gel (couche rigide) et de dégel (sol saturé), ce qui pourrait augmenter la durée des travaux.
- Mesurer les niveaux sonores ambiants à l'extérieur et à l'intérieur de l'hôpital Saint-Luc et à l'extérieur des résidences sur Saint-Denis et Sainte-Élizabeth, jour et nuit, avant le début des travaux de construction pour valider les critères de bruit et les intégrer aux plans et devis.
- Lorsque les méthodes de construction seront déterminées par l'entrepreneur, il devrait préparer un programme de contrôle du bruit afin de planifier les travaux et les mesures de contrôle du bruit.
- Évaluer les conséquences de l'arrêt des opérations médicales dans les zones perturbées si les vibrations ou le bruit dépasse les limites acceptables.

L'évaluation des vibrations et du bruit de la construction permet d'établir la faisabilité du projet tout en maintenant les opérations dans les bâtiments existants et projetés. Toutefois, des mesures de contrôle des vibrations et du bruit ainsi qu'un suivi rigoureux devront être implantés. Une attention particulière devra être portée aux travaux à moins de 50 m des bâtiments en opération afin de planifier les mesures de contrôle et l'interruption des opérations dans certaines unités du CHUM au besoin.

En conclusion, une stratégie judicieuse devrait être considérée dans la précision future des travaux de réalisation du projet pour limiter les impacts des vibrations et le bruit généré par les travaux envisagés à moins de 50 m des bâtiments en opération démontrés dans cette étude.



Ces impacts pourraient, basé sur le pré-concept actuel et toujours seulement à moins de 50 m des bâtiments existants, affecter les opérations du CHUM ou influencer sur les méthodes de réalisations des travaux des futurs entrepreneurs générant ainsi un risque potentiel d'augmentation des coûts et des délais de réalisation du projet.

Les conclusions et recommandations de cette étude devront également faire l'objet d'une validation quantitative sur le terrain, en fonction des tolérances spécifiques de chaque équipement et de chaque activité médicale ou de recherche, avant la préparation finale des plans et devis et idéalement avant la conception et l'ordonnancement final de réalisation.



1. INTRODUCTION

Dans le cadre de la planification du nouveau Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM), les autorités du CHUM 2010 ont confié à SNC-LAVALIN inc. (SLI) le mandat d'étudier la faisabilité de la construction, du point de vue des vibrations et du bruit, sur les opérations de l'hôpital Saint-Luc et du futur CHUM situé au 1000 Saint-Denis. Plus spécifiquement, l'étude porte sur les aspects suivants :

- Établir les critères de vibration et de bruit pour permettre le maintien des opérations des équipements sensibles et réduire les nuisances aux usagers.
- Évaluer le niveau de vibration et de bruit des activités de construction.
- Formuler des recommandations pour orienter les gestionnaires dans l'élaboration du concept.
- Préciser la nature des études complémentaires, au besoin.

La portée de cette étude est fonction des hypothèses de départ, des études et des données existantes ou comparables disponibles. Conformément au mandat établi, aucune mesure ni calcul détaillé n'ont été réalisés à cette étape. Le présent rapport se veut un complément aux rapports déjà émis par SNC-Lavalin inc.

1.1 Description du projet et hypothèses de travail

Le projet du CHUM au 1000, rue Saint-Denis pourrait s'étendre sur un site compris entre le boul. René-Lévesque, au nord, de la rue Saint-Denis à l'est, de la rue Saint-Antoine au sud, et de la rue Sainte-Élisabeth à l'ouest.

Les données disponibles et les hypothèses considérées dans cette étude sont les suivantes :

- Concept, plans et séquence des travaux, selon les données présentées dans le PRÉ CONCEPT SOMMAIRE, 15 juillet 2004, CHUM 2010, 1000, rue Saint-Denis (annexe « A »).
- Soutènements temporaires selon le dessin 603742 2000 42 DD S01 Rév. 0 de l'Étude de faisabilité - Excavations à proximité des bâtiments existants du nouveau CHUM au 1000 Saint-Denis – Aspects géotechniques et structuraux, juin 2004, rév. 00.
- Construction en 8 étapes sur une période d'environ 6 ans. Le site est divisé en 4 îlots (A, B, C, D) qui sont délimités par les rues périphériques, tel que montré à l'annexe « A ».
- L'excavation du lot D à l'étape 2 se fera jusqu'au roc avec une possibilité d'excaver une certaine quantité de roc par dynamitage.
- L'excavation sur les lots A et B prévue aux étapes 4 et 6 respectivement ne se fera pas jusqu'au roc. Par conséquent, les fondations des nouvelles structures se feront soit sur semelles ou sur pieux.
- Lors des étapes 4 et 6, les locaux en transformation ne devraient pas être occupés lors des travaux d'excavation. Toutefois, on devra tenir compte d'une



occupation advenant le cas où il faudrait maintenir les services dans ces bâtiments.

- L'excavation des lots A, B et D nécessitera deux types d'ouvrages de soutènement temporaire. Le mur berlinois sera utilisé pour les zones moins critiques le long des rues, alors que la paroi moulée sera utilisée pour les zones où le contrôle des tassements doit être optimal le long des structures existantes. L'annexe « B » présente le plan des soutènements temporaires prévus pour l'implantation du CHUM.
- Les murs berlinois représentent la manière la plus usuelle de procéder à des ouvrages de soutènement des terres pour des profondeurs d'excavation supérieures à 5 mètres. Cette technique a l'avantage d'être économique, simple et pratique. Les murs sont constitués de pieux battus et reliés entre eux par des éléments de boisage.
- La paroi moulée a l'avantage d'être beaucoup plus rigide que le mur berlinois et permet un meilleur contrôle des tassements pour les zones critiques. Une paroi moulée est constituée d'un mur de béton coulé construit par tranchée dans le sol avant l'excavation des terres. De la bentonite de densité contrôlée est utilisée pour retenir les parois de la tranchée lors de l'excavation. La boue de bentonite est évacuée de la tranchée au fur et à mesure de la coulée du mur de béton au fond de l'excavation. Par conséquent, la technique de paroi moulée ne nécessite aucun battage de pieux. Les seules sources de vibrations potentielles seraient la machinerie lourde et l'étape pour enlever les morceaux friables, et nettoyer le fond de la tranchée.
- Sous le remblai et les couches de tourbe ou d'argile organique avec coquillages se trouve un dépôt principalement de sable et de silt en proportions variables rencontré jusqu'à quelque 11m à 15m de profondeur sous la surface du terrain. De façon générale, le dépôt renferme aussi des traces de gravier, ainsi que des cailloux et des blocs occasionnels. Un certain contenu en argile a aussi été noté.
- Les unités de soins comportant des équipements sensibles aux vibrations sont¹:
 - Aile Édouard-Asselin et dans le prolongement sud André-Viallet : recherche aux 2^e, 3^e et 4^e étage de l'Aile Édouard-Asselin, ainsi qu'aux 3^e, 4^e, 5^e, 7^e, 9^e et 10^e étage d'André-Viallet.
 - Aile Nord-ouest : blocs opératoires au 7^e étage et résonance magnétique au 2^e étage.
 - Aile Sud : radiologie du 2^e étage.
 - Aile Centre : radiologie au 2^e étage, laboratoire clinique et médecine nucléaire au 3^e étage.

¹ Télécopie de Mario Larivière (CHUM 2010) à Denis Léonard (SLI) du 19 octobre 2004



2. VIBRATIONS

SLI a travaillé en équipe avec la firme Géophysique GPR qui se spécialise dans l'étude de la vibration durant la construction. Les résultats sont présentés ci-après.

2.1 Critères de vibration

En l'absence de critères spécifiques au CHUM, on peut établir des critères de vibrations acceptables pour les structures, les humains et le maintien des opérations en se référant à des critères comparables.

2.1.1 Effets sur les structures

Pour évaluer la possibilité de dommages causés par les vibrations aux structures, on peut se baser sur des critères suivants :

- Standard Suédois SS 460 48 66 (1991), Vibration and shock – Guidance levels for blasting induced vibration in building;
- German Institute for Standardization (Deutsches Institut für Normung) DIN 4150 (1984), Vibration in buildings;
- United States Department of the Interior - Bureau of Mines. Rapport 8507 (1980), Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting;
- Organisation Internationale de Normalisation ISO 4866 (1990), Mechanical vibration and shock - vibration of buildings - guideline for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings;
- Ville de Montréal, Règlement sur les excavations, No. 7018, article 15

Selon ces différents documents et selon les structures à protéger sur le site du CHUM, la limite de vibrations peut varier entre 20 et 50 mm/s (crête), pour des fréquences de 10 à 100 Hz.

Effets sur les En ce qui concerne les zones critiques de travail telles que des salles d'opération d'hôpital, la norme indique un critère de 0,1 mm/s rms à ne pas dépasser pour des vibrations continues ou intermittentes et de fréquences supérieures à 10 Hz. Pour des activités de bureau, le critère à ne pas dépasser serait de l'ordre de 0,5 mm/s rms.

2.1.2 Effets sur les humains

Les êtres humains sont plus sensibles aux vibrations que les structures. La norme ISO 2631-2² traite de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps (1 à 80 Hz). L'annexe « A » de cette norme donne des indications reflétant l'état actuel des connaissances sur les résultats des études concernant les amplitudes de vibrations dans les bâtiments jugées acceptables vis-à-vis de la réponse humaine.

² ISO 2631 Guide for the evaluation of human to whole-body vibration



En ce qui concerne les zones critiques de travail telles que des salles d'opération d'hôpital, la norme ISO 2631-2 indique également un critère de 0,1 mm/s rms à ne pas dépasser pour des vibrations continues ou intermittentes et de fréquences supérieures à 10 Hz. Pour des activités de bureau, le critère à ne pas dépasser serait de l'ordre de 0,5 mm/s rms.

2.1.3 Effets sur les équipements sensibles

La position des équipements sensibles est identifiée dans la description du projet (section 1.1) mais les critères spécifiques pour ces équipements ne sont pas connus. En l'absence de données spécifiques, on peut évoquer des critères généraux disponibles dans la littérature. À titre d'exemple, le critère Vibration Criterion VC-D de 0,006 mm/s (rms) est avancé pour des équipements plus exigeants tels que les microscopes électroniques et les équipements laser lorsqu'ils sont utilisés à leur limite, alors que le critère VC-C de 0,0125 mm/s (rms) est acceptable pour la majeure partie des équipements de gravure et d'inspection pour des détails de 1 micron et plus. Ces critères sont accompagnés d'une plage de fréquences de 8 à 100 Hz.

L'annexe « C » présente un tableau des différents critères dont le VC-C et VC-D.

2.2 Analyse des vibrations de la construction

Dans cette section, nous analyserons les travaux générés lors des différentes étapes de la construction (annexe « A ») susceptibles de générer des vibrations afin d'établir la faisabilité des travaux à proximité des bâtiments existants.

2.2.1 Étape 1

L'étape 1 consiste principalement à la démolition de bâtiments existants. Cependant, deux de ces bâtiments sont situés à proximité (≥ 10 m) des Ailes sud et centre (radiologie, laboratoire clinique et médecine nucléaire).

Ces travaux de démolition ne devraient pas avoir d'influence sur les opérations quotidiennes à l'intérieur de ces bâtiments existants si les méthodes de travail projetées prennent en considération la présence d'équipements sensibles dans les bâtiments adjacents (utilisation de marteaux hydrauliques d'une taille adaptés aux conditions du site, utilisation de mâchoires, sciage du béton, précaution de la machinerie lourde, etc.) et si un suivi rigoureux des vibrations est effectué tout au long des travaux.

2.2.2 Étape 2

Les travaux de l'étape 2, susceptibles de générer des vibrations, sont l'excavation du lot D jusqu'au roc.

Cette excavation nécessitera l'implantation de soutènements temporaires à l'aide de parois moulées pour les zones près des structures existantes (Ailes Sud, Centre et Nord-ouest) et de murs berlinois pour le reste de l'excavation (voir annexe « B »). De plus, il est également possible qu'à la fin de l'excavation, des travaux de dynamitage ou l'utilisation de marteaux hydrauliques soient nécessaires pour niveler le roc au niveau désiré.



Les vibrations au sol et dans le roc seront transmises aux structures adjacentes. Le phénomène d'amplification ou de réduction des vibrations à partir des fondations n'est pas un facteur à négliger et dépendra beaucoup des caractéristiques de l'onde (fréquences, amplitudes, etc.) et du type de structure. Cette évaluation pourra être nécessaire lors d'une étude ultérieure et durant les travaux en fonction des méthodes de travail et des fréquences naturelles des structures. Cependant, selon notre expérience dans ce genre de situation, on peut s'attendre à une atténuation des vibrations dans les bâtiments. De plus, les vibrations devraient être moins élevées aux étages supérieurs par rapport au sous-sol et au rez-de-chaussée.

Paroi moulée

Certaines vibrations pourraient être générées par la machinerie lourde et par l'étape de nettoyage du fond de la tranchée. Cependant, ces niveaux de vibrations, généralement inférieurs, à 5 mm/s à proximité des travaux ne devraient pas perturber les opérations quotidiennes à l'intérieur des bâtiments adjacents. Toutefois, dans un rayon de 25 à 30 mètres, la machinerie lourde ainsi que l'étape de nettoyage du fond de la tranchée devra prendre en considération la présence d'équipements sensibles. Un suivi rigoureux des vibrations devra être effectué lors des travaux.

Murs berlinois

L'installation des murs berlinois nécessitera des travaux de battage de pieux à des distances minimales de l'ordre de 15 mètres des pavillons avec la présence d'équipements sensibles (blocs opératoires, radiologie, résonance magnétique, etc.).

Les équations pour la prédiction de vibrations transitoires (ou intermittentes) générées par le battage de pieux sont plus limitées que les équations développées pour les dynamitages. Les conditions du sol ont une influence dominante sur les vibrations générées par le battage de pieux, comparativement à l'énergie de battage et au type de pieux utilisé. Les fréquences dominantes de ce type de vibrations sont généralement de l'ordre de 10 à 50 Hz.

L'annexe « D » présente les principaux auteurs d'équations de prédiction des vibrations générées par le battage de pieux, ainsi que des courbes typiques d'atténuation. Selon ces équations, notre expérience, et le type de sol au 1000 Saint-Denis, on peut s'attendre à des vibrations au sol de l'ordre de 10 mm/s pour une distance de 10 à 15 mètres. Cependant, à des distances inférieures à 10 mètres, les vibrations peuvent augmenter considérablement. À une distance de 50 mètres, les vibrations sont généralement atténuées par un facteur de plus de 50%.

Le battage de pieux à plus de 50 mètres devrait avoir peu ou pas d'impacts sur les opérations de l'hôpital Saint-Luc. Cependant, les travaux de battage de pieux à l'intérieur d'un rayon d'environ 50 mètres devront prendre en considération les activités et les équipements sensibles à l'intérieur des bâtiments de l'îlot B, situés à proximité des travaux. Les travaux devront porter une attention particulière à l'énergie de battage, aux déplacements de la machinerie lourde, ainsi qu'à un suivi rigoureux des vibrations dans le sol, sur la structure et à l'intérieur des bâtiments.

Dynamitage

Bien que la profondeur prévue des fondations suive le profil du roc, l'excavation de petites quantités de roc pourrait être nécessaire. S'il s'avère que des dynamitages soient



requis, des tirs de dimensions variables sont réalisables selon les caractéristiques du site et selon les activités et équipements sensibles. Les équations pour prédire et suivre les résultats des dynamitages permettent d'établir les paramètres de sautage ainsi que les ajustements nécessaires durant les travaux, et ceci, selon les critères de vibrations à respecter, les distances et le suivi rigoureux des vibrations. En général, ce type de dynamitage est de petite envergure avec des charges par délai assez faibles. Toutefois, certaines conditions ou restrictions particulières du site et des opérations médicales (équipements sensibles adjacents) pourraient nécessiter des tirs en coordination avec l'interruption des opérations médicales.

Marteaux Hydrauliques

L'excavation pourrait nécessiter l'utilisation de marteaux hydrauliques afin de niveler le roc au niveau désiré. Le marteau hydraulique utilisé pour l'excavation de roc est généralement installé sur une pelle hydraulique. Ce type de travaux peut engendrer des vibrations relativement élevées à des distances inférieures à environ 25 mètres qui diminuent progressivement avec la distance. Par conséquent, les travaux d'excavation du roc à l'aide de marteaux hydrauliques montés sur pelles hydrauliques à l'intérieur d'un rayon de 50 mètres devront prendre en considération les activités et les équipements sensibles à l'intérieur des bâtiments. Les travaux devront porter une attention particulière au type de marteaux, au suivi rigoureux des vibrations sur le roc, sur les fondations et à l'intérieur des différents étages.

2.2.3 Étape 3

L'étape 3 consiste principalement à la démolition et la transformation des bâtiments sur l'îlot A (voir annexe « A ») à proximité de l'Aile Édouard-Asselin.

Comme pour l'étape 1, les travaux de démolition ne devraient pas avoir d'influence sur les opérations quotidiennes à l'intérieur de ces bâtiments, si les méthodes de travail projetées prennent en considération la présence d'équipements sensibles dans les bâtiments adjacents et si un suivi rigoureux des vibrations est effectué tout au long des travaux.

D'autre part, les vibrations pourront être générées par les travaux de transformation prévus dans l'Aile Édouard-Asselin et devront prendre en considération de façon spécifique les activités et équipements sensibles (recherche et microbiologie) à l'intérieur de cette aile. En effet, certaines activités de démolition ou de construction peuvent transmettre des vibrations dans la structure et dans les dalles. Ces ondes vibratoires peuvent être complexes et difficile à prédire. Par conséquent, un suivi rigoureux des vibrations pourra être nécessaire selon la nature des travaux par rapport à l'emplacement des activités ou équipements sensibles.

2.2.4 Étapes 4 à 8

Essentiellement, les travaux d'excavation prévus aux étapes 4 et 6 sont similaires à ceux de l'étape 2. Cependant, la profondeur des excavations n'atteindra pas le roc et les fondations des nouvelles structures reposeront sur semelles ou sur pieux.



Certaines activités sensibles pourront être maintenues dans les bâtiments en transformation durant les excavations des îlots A et B lors des étapes 4 et 6. De plus, il y aura des activités dans les portions complétées des îlots A et D.

Par conséquent, l'analyse effectuée à l'étape 2 (section 2.2.2) devra s'appliquer, à l'exception qu'il n'y ait aucun dynamitage prévu et que la construction des fondations nécessitera peut-être l'utilisation de pieux.

2.3 Recommandations

Les sources de vibrations, autres que le battage de pieux et le dynamitage, seront principalement les travaux de démolition (marteaux hydrauliques, etc.), la machinerie lourde et les travaux de transformation à l'intérieur de certains bâtiments. Toutes ces sources ne devraient pas avoir d'impacts sur les activités et équipements sensibles, mais nécessiteront un suivi rigoureux des vibrations. Les travaux pour les parois moulées et le battage de pieux à plus de 50 mètres des bâtiments existants devraient avoir peu ou pas d'impact sur les activités et équipements sensibles et nécessiteront également un suivi rigoureux des vibrations. Toutefois, dans un rayon d'environ 50 mètres, une attention et un suivi particuliers devront être effectués sur l'énergie de battage des pieux, les déplacements de la machinerie lourde, l'excavation avec marteaux hydrauliques et les vibrations au sol, à l'intérieur des bâtiments et sur les structures existantes.

S'il s'avère nécessaire d'excaver une certaine quantité de roc par des travaux de dynamitage, ceux-ci pourront être réalisables selon les critères à respecter, les distances et les conditions du site. Cependant, ils nécessiteront un suivi très rigoureux des vibrations et, si nécessaire (équipement sensible très proche), de réaliser certains tirs lors de l'interruption des opérations.

Pour valider les critères de vibration et évaluer plus spécifiquement les méthodes de contrôle, nous recommandons de compléter la présente étude en réalisant les activités suivantes :

- Effectuer des mesures de vibrations ambiantes avant le début des travaux (sol, fondations, planchers et près des équipements sensibles) et des simulations de vibrations sur le site à l'aide de sources calibrées (avant et pendant les travaux) afin d'évaluer plus précisément les vibrations transmises aux bâtiments par les différentes étapes de construction.
- Réaliser une analyse des risques associés au projet (affaissement de sol, vibrations, nuisances) pour établir une démarche de protection (limites de vibration, suivi des vibrations de la nappe phréatique et des mouvements de terrain, pré-inspection des bâtiments, procédures de contrôle sismique et géologique) qui sera utilisée tout au long du projet pour limiter les poursuites. Intégrer les résultats aux plans et devis.
- Évaluer la possibilité, si nécessaire, de construire une barrière dans le sol entre les travaux et les structures pour atténuer les vibrations, ce qui augmenterait le coût des travaux.



- Le cas échéant évaluer s'il sera nécessaire d'éviter, autant que possible, de réaliser les travaux de battage de pieux durant les périodes de gel (couche rigide) et de dégel (sol saturé), ce qui pourrait augmenter la durée des travaux.
- Évaluer les conséquences de l'arrêt des opérations médicales si les vibrations dépassent les limites acceptables.



3. BRUIT

Pendant la construction du CHUM, des bâtiments devront être démolis, transformés et construits. Les travaux de démolition et d'excavation nécessiteront l'utilisation d'équipements lourds et bruyants qui seront effectués par îlot (A, B, D, E) à travers les étapes de réalisation du projet (annexe « A »). Ces travaux peuvent entraîner des nuisances sonores pour les occupants des bâtiments existants et projetés du CHUM ainsi que pour les résidents des rues Saint-Denis et Sainte-Élizabeth.

3.1 Bruit initial

Le CHUM sera situé dans un milieu fortement urbanisé où le bruit ambiant est généralement dominé par le bruit de la circulation sur le réseau routier et par le bruit de la ventilation des édifices. À défaut de mesures sur le terrain, le bruit ambiant est estimé, en se basant sur des relevés effectués au site du CHUM – 6000, rue Saint-Denis³ et sur des relevés réalisés le long de l'autoroute Décarie (réf. 2). Au 6000, rue Saint-Denis, en bordure de la rue Saint-Denis, le climat sonore ambiant est dominé par le bruit du réseau routier avec des niveaux équivalents de LAeq,1h : 65 – 70 dB le jour et 60 – 65 dB la nuit. En bordure de l'autoroute Décarie, qui est encastrée comme l'autoroute Ville-Marie avec un débit comparable, mais un pourcentage de camions plus élevé, les niveaux de bruit moyens pondérés A varient de 61 – 74 dB le jour et 58 – 71 dB la nuit. Ces relevés peuvent être considérés comme des estimations pour le site CHUM – 1000, rue Saint-Denis.

3.2 Critères de bruit

Selon la politique de la Ville de Montréal⁴, le bruit des chantiers de construction est toléré le jour entre 7 h et 19 h. En dehors de ces heures, les activités de construction bruyantes ne sont pas tolérées et les limites du Règlement B-3 de la Ville de Montréal⁵ sont appliquées. Le bruit du chantier doit être inférieur à LAeq,1h : 60 dB le soir (19 h à 23 h) et 50 dBA la nuit (23 h à 7 h) dans un espace non bâti comme une cour ou un terrain servant à des fins de récréation. Le respect de ces niveaux permet généralement d'assurer un niveau de bruit acceptable à l'intérieur d'un bâtiment lorsque les fenêtres sont ouvertes (ex : LAeq,1h : 38 dB la nuit dans une chambre à coucher).

Le ministère de l'Environnement du Québec a émis des objectifs de niveaux sonores des chantiers de construction soumis à la procédure d'évaluation et d'examen des

³ Groupement SNC-Lavalin et Partenaires, 2002. *Aspects environnementaux relatifs à l'implantation du futur CHUM*. Rapport présenté au Centre hospitalier de l'Université de Montréal

⁴ Conversation du 21 octobre 2004 entre Claude De Launière du service du contrôle du bruit de la ville de Montréal et Claude Chamberland de SNC-LAVALIN

⁵ A l'article 8 du règlement B-3 de la Ville de Montréal, il est indiqué que : « L'émission d'un bruit perturbateur d'un niveau de pression acoustique supérieur au niveau maximal de bruit normalisé fixé par ordonnance à l'égard du lieu habité touché par cette émission est interdite ». L'ordonnance non identifiée à l'article 8 réfère pour le moment à l'ancienne ordonnance No 2 du règlement 4996 utilisé avant la refonte.



impacts sur l'environnement⁶. Le niveau de bruit du chantier ne peut dépasser le niveau de bruit ambiant avec une limite inférieure de LAeq,12h : 55 dBA le jour et LAeq,1h : 45 dBA la nuit.

Le ministère des Transports du Québec spécifie des seuils à respecter pour les travaux de réfection des infrastructures routières. Les seuils sont établis en fonction du bruit ambiant de jour, de soir et de nuit avec une limite inférieure de LA10,30min : 75 dB (approximativement LAeq : 70 dB) le jour.

D'autres organismes comme l'ASHRAE⁷, la SCHL⁸ et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)⁹ recommandent des niveaux de 30 à 40 dB à l'intérieur d'une chambre d'hôpital. Pour atteindre ces niveaux à l'intérieur, l'enveloppe du bâtiments (murs et fenêtres) doit être isolée¹⁰ et les fenêtres doivent être fermées. À l'intérieur des bâtiments existants avec des fenêtres ouvrable dans un milieu urbain, ces niveaux peuvent être plus élevés.

Les limites de bruit du ministère de l'Environnement et du ministère des Transports sont établies en fonction du bruit ambiant initial, sans chantier, en prenant ce niveau comme une valeur acceptable. Cette approche assume qu'un bruit perturbateur égal au bruit existant a un peu d'impact même si les niveaux sonores à l'intérieur sont plus élevés que les niveaux recommandés (Laeq : 30 à 40 dB).

Pour l'évaluation du bruit de la construction sur le site du CHUM – 1000, rue Saint-Denis, les limites de bruit suivantes sont retenues :

- LAeq : 50 dB la nuit, selon la politique de la Ville de Montréal
- LAeq : 60 dB le soir, selon la politique de la Ville de Montréal
- LAeq : 70 dB le jour, égal au bruit ambiant estimé

3.3 Analyse du bruit de la construction

Le niveau sonore des activités de construction est généralement plus élevé lors des activités initiales de démolition, d'excavation et de mise en place des fondations. Les niveaux sonores varient de :

- Démolition LAeq : 80 – 90 dB à 15 m
- Excavation LAeq : 70 – 90 dB à 15 m
- Fonçage de pieux LAeq : 80 – 100 dB à 15 m

⁶ Ministère de l'environnement du Québec, décembre 2000, Objectifs de niveaux sonores des chantiers de construction pour des projets soumis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement

⁷ ASHRAE, *Sound and Vibration Control, Vibration Isolation and Control*, Application Handbook.

⁸ Société canadienne d'Hypothèque et de Logement, *Le bruit du trafic routier et ferroviaire : ses effets sur l'habitation*, SCHL, 1981.

⁹ Brigitta, Berglund, Thomas et Lindvall. *Community Noise*, OMS, 1995.

¹⁰ Groupement SNC-Lavalin et Partenaires, 2002. *Aspects environnementaux relatifs à l'implantation du futur CHUM.*, section 5.4 : Rapport présenté au Centre hospitalier de l'Université de Montréal



Lors de la démolition, les niveaux les plus élevés proviennent de l'utilisation d'équipements hydrauliques ou pneumatiques. Lors de l'excavation de roc, les niveaux les plus élevés proviennent des foreuses ou des marteaux hydrauliques. Les soutènements temporaires requis lors de l'excavation se feront par l'installation de paroi moulée (excavation en tranchée remplie de béton) ou par mur berlinois (fonçage de pieux et mur).

Les niveaux sonores anticipés selon les étapes et les activités de construction ont été évalués en fonction de la distance entre la source perturbatrice et la zone affectée. Les résultats sont présentés à l'annexe « E ».

Les niveaux sonores prévus lors de la démolition et de l'excavation varient de LAeq: 52 à 103 dB. Ils sont généralement supérieurs aux limites de bruit établies. Les travaux de soir et de nuit devraient donc être limités à des activités peu bruyantes excluant la démolition, l'excavation et le soutènement. Toutefois, des travaux d'excavation pourraient être effectués de soir près de la rue Sanguinet en appliquant des mesures de contrôle du bruit (ex : exclure l'utilisation de marteaux hydrauliques et pneumatiques et de foreuses et installer des écrans antibruit).

L'excavation de roc par dynamitage, si requise, peut produire un niveau sonore et un souffle d'air très élevé. La conception des tirs et l'utilisation de détonateur électrique permettent de contrôler le bruit et le souffle d'air, toutefois, l'utilisation de cordeau détonant pour amorcer les tirs devrait être interdite.

Les activités bruyantes qui suivent devraient être limitées à la période de jour seulement.

Lors de la démolition, l'utilisation de marteaux hydrauliques et pneumatiques, de mâchoires hydrauliques et de scies produit des niveaux de bruit élevés. Les zones les plus affectées seront l'unité d'hospitalisation de l'Aile Nord-Ouest et l'unité de soins ambulatoires de l'Aile Centre lors de la démolition de la partie Ouest de l'Aile Centre. De même, la démolition à moins de 50 m d'une zone sensible produit des niveaux de plus de 70 dB. Pour réduire le bruit, la démolition devrait débuter par la partie la plus éloignée des zones sensibles afin de profiter de l'effet d'écran des structures existantes. En plus, des mesures d'atténuation devraient être appliquées ex : marteau hydraulique à bruit réduit (- 5 dB), marteau pneumatique avec silencieux (-5 dB), scie à béton avec lame à bruit réduit (- 3 dB), écran et abri antibruit mobiles (-10 dB).

Le fonçage de pieux pour les murs berlinois est l'activité la plus bruyante. L'utilisation d'un marteau pour battre les pieux génère des niveaux de plus de 70 dB à 100 m (distance entre les rues Saint-Denis et Sanguinet). La technique du battage avec un marteau devrait être remplacée par une technique moins bruyante de perçage (- 5 dB) qui pourrait être utilisé à plus de 50 m des zones sensibles, soit le long des rues Viger et Sanguinet. À moins de 50 m, le soutènement à paroi moulée devrait être utilisé, soit le long des rues Saint-Denis, Sainte-Élizabeth et de La Gauchetière près de Sainte-Élizabeth. L'utilisation d'écrans antibruit en bordure du site sera efficace (- 10 dB typique) pour les zones sensibles près du sol (1er et 2e étage) comme les zones habitées le long des rues Saint-Denis et Sainte-Élizabeth, mais peu efficace pour les zones en hauteur comme les unités d'hospitalisation. Pour réduire le bruit en hauteur, les écrans et abris antibruit doivent être près de la source et mobiles.



La mise en place de paroi moulée se fera à très courte distance des bâtiments (5 m) et produit des niveaux de bruit de plus de 70 dB. Les équipements (grue, pompe, etc.) devraient être éloignés le plus loin possible du bâtiment pour prendre avantage de la réduction du bruit avec la distance. Ils devraient être munis de dispositifs d'atténuation du bruit permanents (silencieux, écran et caisson antibruit) compte tenu qu'ils seront utilisés très près des bâtiments.

3.4 RECOMMANDATIONS

Les contraintes et mesures d'atténuation suivantes devraient être implantées pour réduire les nuisances associées au bruit de la construction.

- Les travaux de construction bruyants, principalement la démolition, l'excavation et le soutènement, devraient être limités à la période du jour (7 h à 19 h).
- La démolition à moins de 50 m des zones sensibles devrait être planifiée pour profiter de l'effet d'écran des bâtiments existant et en utilisant des équipements à bruit réduit ainsi que des mesures d'atténuation comme des écrans et abris antibruit mobiles.
- Le soutènement temporaire à moins de 50 m des zones sensibles devrait se faire avec une paroi moulée. Les équipements utilisés pour mettre en place la paroi moulée, à proximité des bâtiments, devraient être éloignés le plus loin possible des bâtiments et être équipé de dispositifs d'atténuation du bruit permanents. La quantité de paroi moulée serait plus importante que celle indiquée à l'annexe « B ».
- Le mur berlinois devrait être utilisé à plus de 50 m en fonçant les pieux par perçage au lieu du martelage.
- Des écrans antibruit devraient être érigés le long des rues Saint-Denis et Sainte Élisabeth pour réduire les bruits vers les résidences.
- L'utilisation de cordeau détonant pour le dynamitage devrait être interdite et remplacée par l'utilisation de détonateurs électriques.
- Les fenêtres des bâtiments devraient être fermées.
- L'isolation acoustique de l'enveloppe des nouveaux bâtiments (murs et fenêtres) devra tenir compte du niveau de bruit ambiant du milieu .
- Les équipements de construction devraient être équipés de dispositif d'atténuation du bruit (silencieux, capots antibruit, alarmes de recul à ajustement automatique, etc.) et maintenus en bonne condition.
- Des mesures de contrôle du bruit (écran et abri antibruit mobile) devraient être utilisées près des sources pour contrôler le bruit, notamment en hauteur vers les unités d'hospitalisation.
- Un suivi rigoureux des niveaux de bruit pendant la construction devrait être fait.

Malgré l'utilisation d'équipements à bruit réduit et de mesures d'atténuation, des niveaux sonores au-dessus de LAeq : 70 dB le jour seront fréquents lors de la démolition et de l'excavation. L'interruption des opérations dans certaines zones pourrait être nécessaire



lorsque des équipements bruyants sont utilisés à moins de 50 m pour éviter que les niveaux sonores à l'intérieur soient inacceptables. Un suivi des niveaux sonores extérieurs et intérieurs devrait être instauré lors des travaux de construction.

Les contraintes et mesures d'atténuation auront un impact sur l'échéancier et les coûts des travaux de construction et sur l'opération du CHUM. La validation des limites de bruit et la planification des travaux permettront d'en réduire l'impact. Pour compléter l'étude de faisabilité sur le bruit, les études suivantes devraient être effectuées :

- Mesurer les niveaux sonores ambiants à l'intérieur et à l'extérieur de l'Hôpital Saint-Luc et à l'extérieur des résidences sur les rues adjacentes (Saint-Denis et Sainte-Elizabeth), jour et nuit, pour quantifier le climat sonore initial avant les travaux et valider les limites de bruit.
- Exiger que les entrepreneurs préparent et appliquent un programme de contrôle du bruit qui tient compte des techniques de construction et des limites de bruit applicables.
- Évaluer les conséquences de l'arrêt des opérations médicales dans les zones perturbées si le bruit dépasse les limites acceptables.



4. CONCLUSION

L'analyse des vibrations et du bruit de la construction permet d'établir la faisabilité de la construction du projet en maintenant les opérations dans les bâtiments existants et projetés si on contrôle les impacts identifiés dans cette étude. Ces impacts, surtout pour les travaux à moins de 50 mètres des bâtiments en opération, pourraient effectivement être contrôlés en fonction de critères spécifiques à respecter nécessitant un suivi durant la réalisation des travaux. De même, des mesures de contrôle des vibrations et du bruit et un suivi rigoureux devront être implantés avant et pendant l'exécution des travaux comme le dynamitage, s'il était requis. Certains impacts pourraient nécessiter l'interruption des opérations dans certaines unités pour éviter de dépasser les limites acceptables ou lors de certains travaux spécifiques. La prochaine étape devrait être de considérer une stratégie judicieuse dans la précision future des travaux de réalisation du projet pour limiter ces impacts, surtout dans la zone plus critique à moins de 50 m des bâtiments en opération.

L'impact des critères à spécifier et des mesures de contrôles à implanter devraient être évaluées lors de la conception et de la planification finale des étapes de réalisation car elles pourraient affecter les opérations et les méthodes de travail des entrepreneurs, générant ainsi une augmentation des coûts et des délais de réalisation des travaux.

Parallèlement, les niveaux de bruits et de vibrations identifiés dans cette étude devront faire l'objet d'une validation quantitative sur le terrain, en fonction des tolérances spécifiques de chaque équipement et de chaque activité médicale ou de recherche, et ce, au plus tard avant la préparation finale des plans et devis.



5. BIBLIOGRAPHIE

SNC-LAVALIN INC., juin 2004, Étude de faisabilité - Excavations à proximité des bâtiments existants du nouveau CHUM au 1000 Saint-Denis - Aspects géotechniques et structuraux

SNC-LAVALIN INC., novembre 2003, CHUM 1000 Saint-Denis - Étude de faisabilité des bâtiments et des stationnements projetés - Aspects géotechniques et structuraux

CHUM 2010 1000 Saint-Denis, Pré Concept Sommaire, 15 juillet 2004, Séquence illustrée du déroulement des travaux et phasage des travaux sur feuillets 11 X 17 pouces

CHUM, 19 octobre 2004, Localisation des services comportant des équipements sensibles aux vibrations, transmission par télécopieur.

COLIN G. GORDON, S.P.I.E. Proceeding Volume 1619, 1991, Generic Criteria for Vibration Sensitive Equipment

V.S. HOPE and D.M. HILLER, Can. Geotech. J. vl. 37, 2000, The prediction of ground born vibration from percussive piling

Groupement SNC-Lavalin et Partenaires, 2002. *Aspects environnementaux relatifs à l'implantation du futur CHUM*. Rapport présenté au Centre hospitalier de l'Université de Montréal

CHARLES H. DOWDING, 2000, Construction vibrations

ISO 2631 Guide for the evaluation of human to whole-body vibration

SNC-LAVALIN inc., novembre 2003, Étude de faisabilité sur les aspects environnementaux et de vulnérabilité, révision 00, 603507-1000

Ministère de l'environnement du Québec, décembre 2000, Objectifs de niveaux sonores des chantiers de construction pour des projets soumis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement

Télécopie de Mario Larivière (CHUM 2010) à Denis Léonard (SLI) du 19 octobre 2004.



SNC • LAVALIN

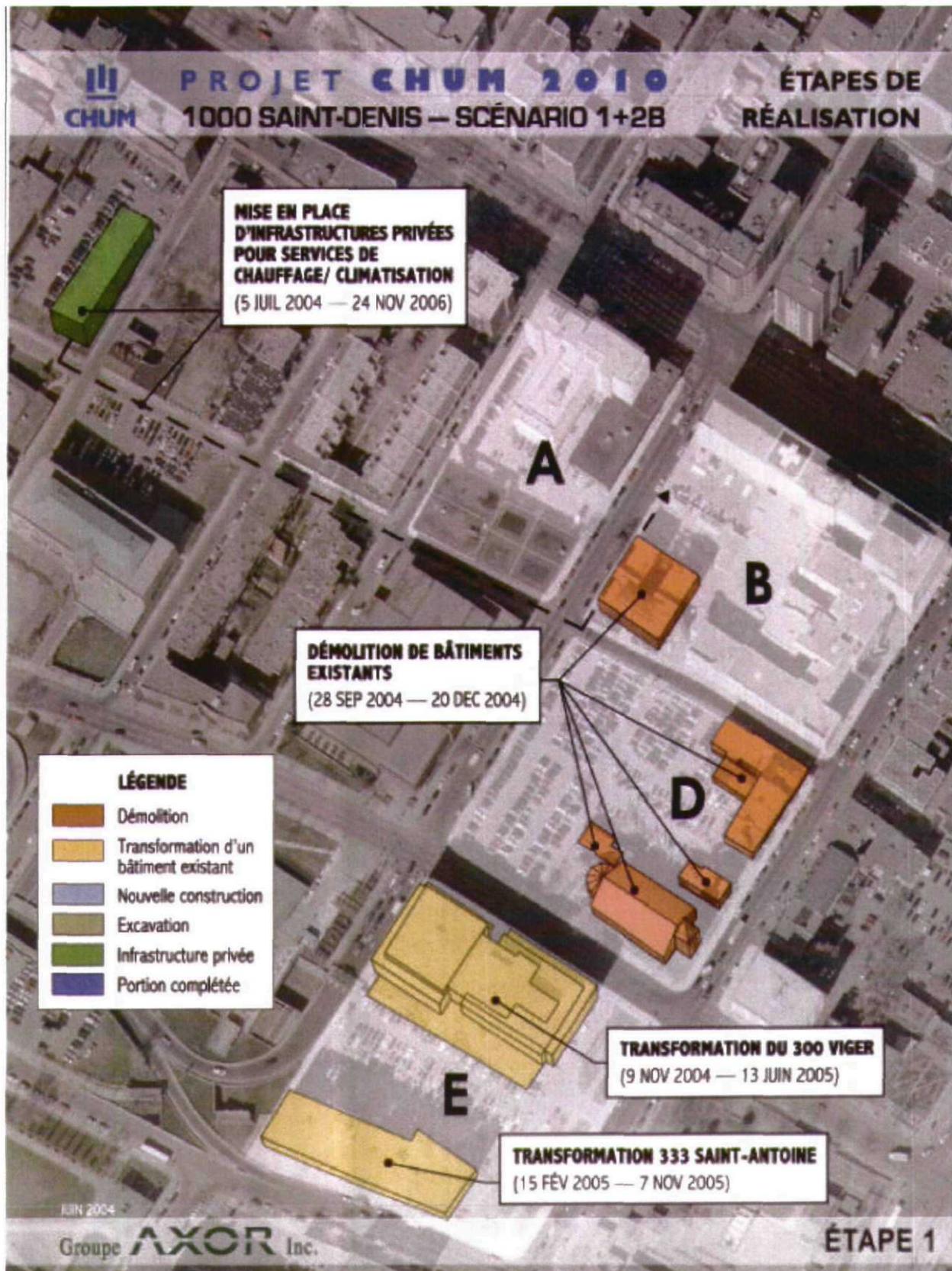
Centre hospitalier de l'Université de Montréal
CHUM 2010

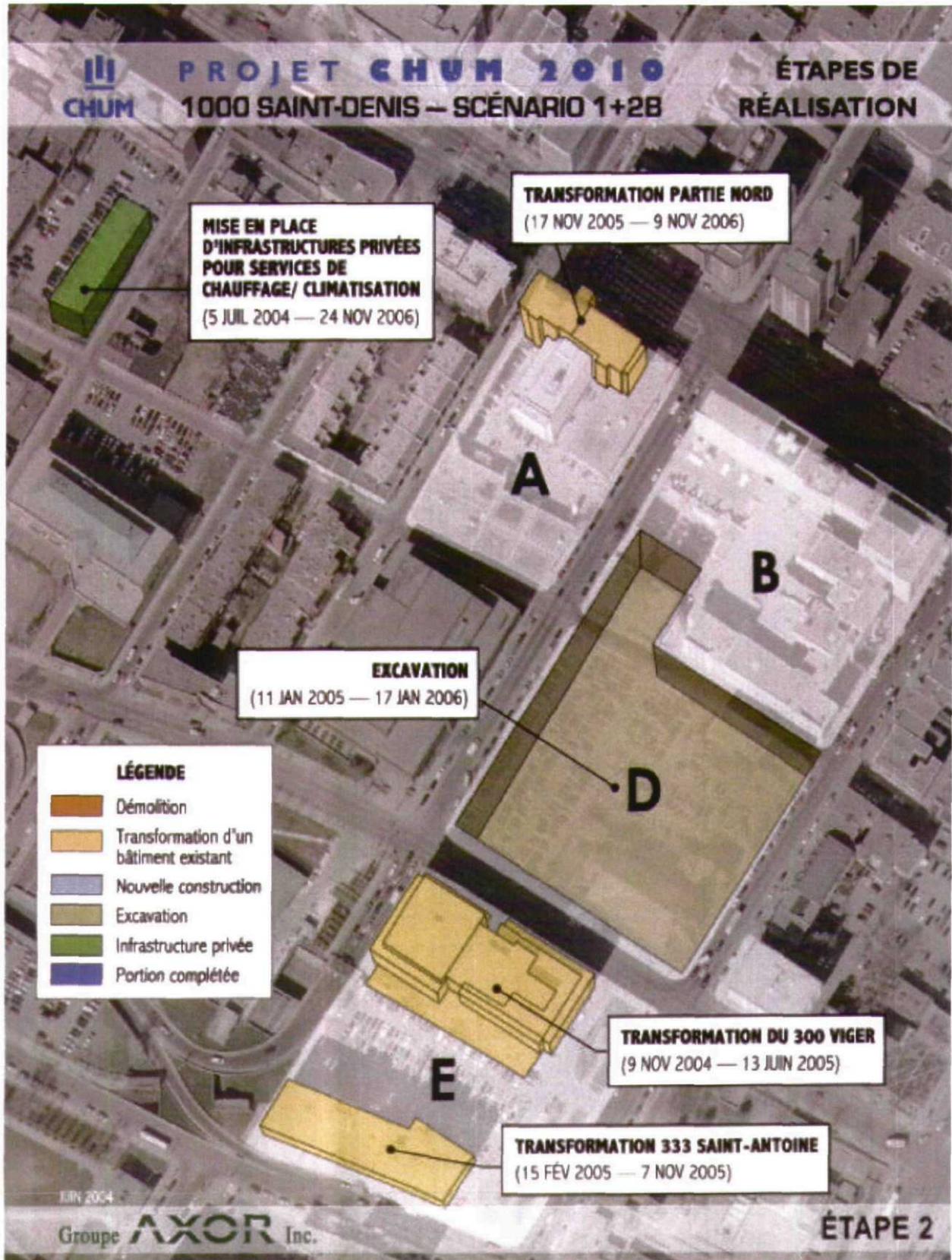
Étude de faisabilité Contrôle des vibrations et
du bruit de la construction à proximité des bâtiments existants

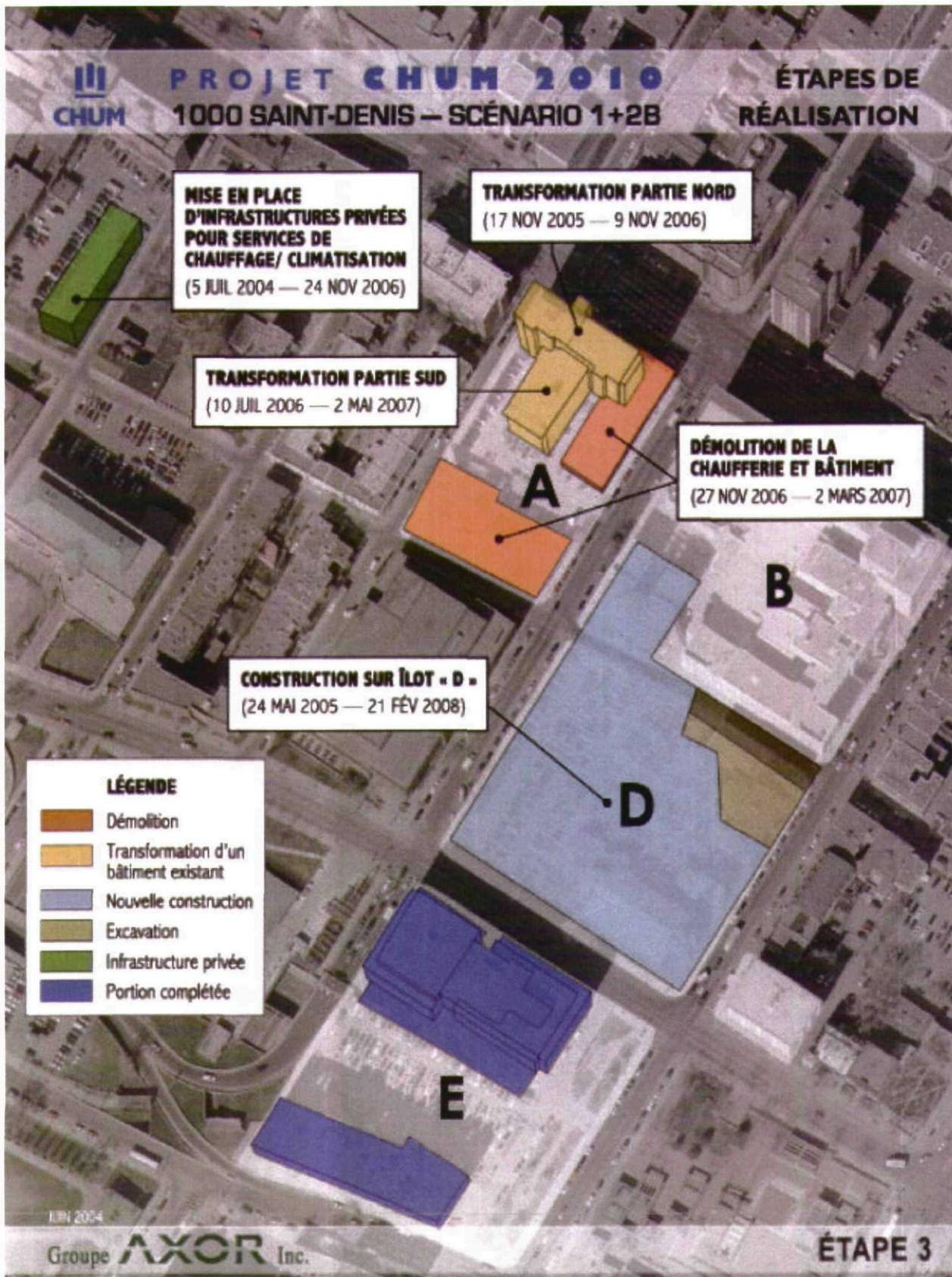
Annexe A

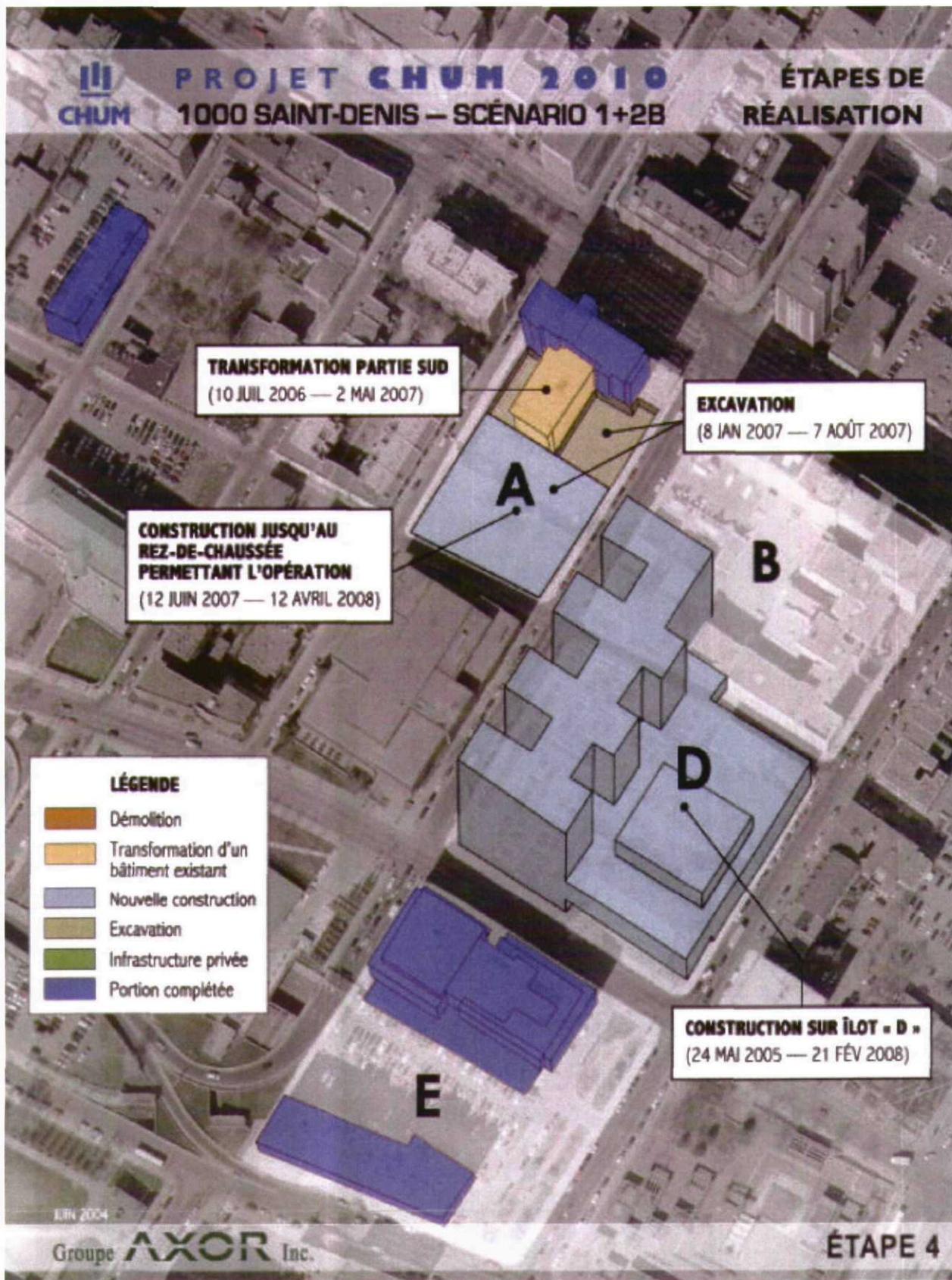
Construction du CHUM (1000, rue Saint-Denis) en 8 étapes

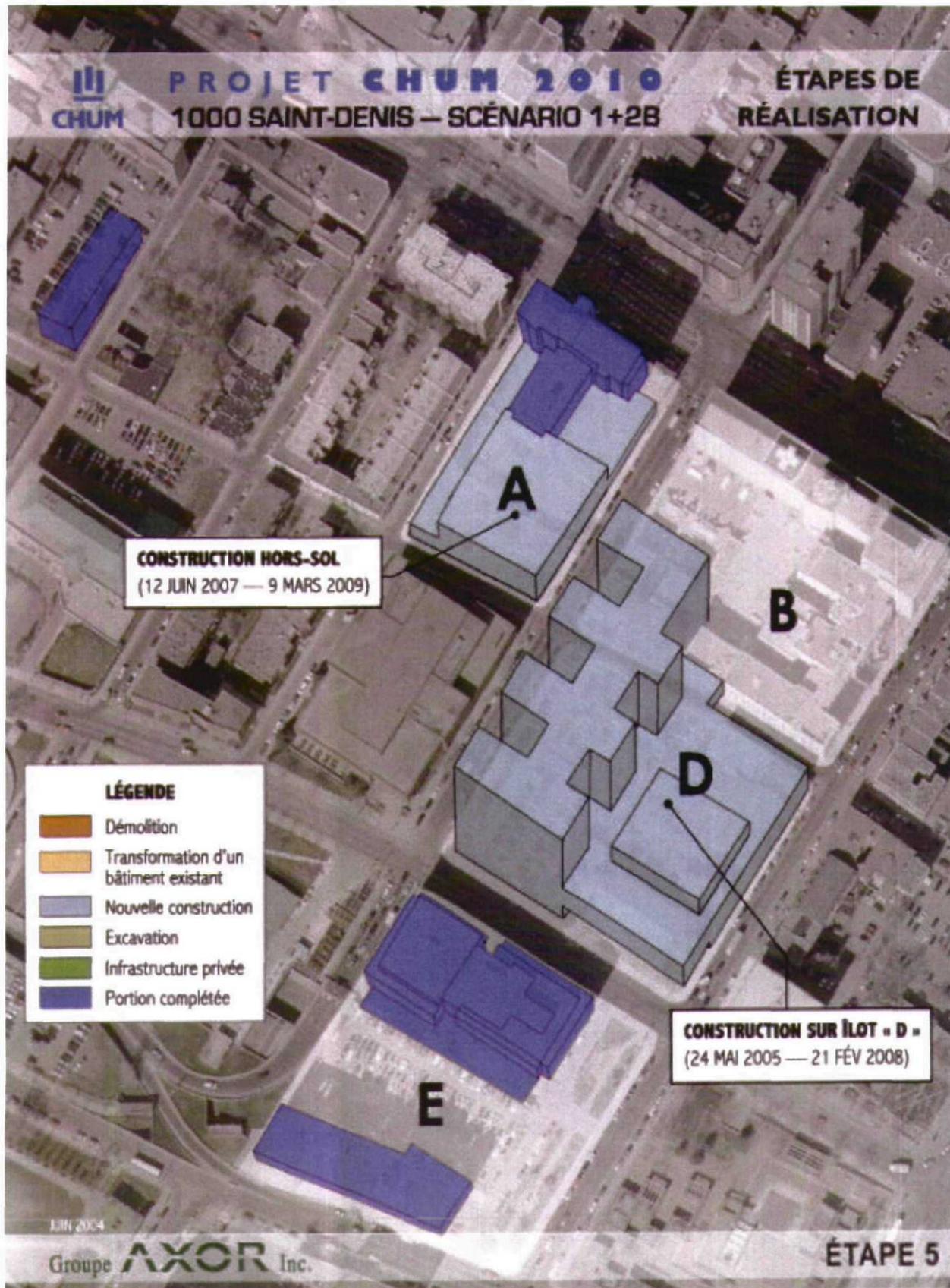
Extrait du PRÉ CONCEPT SOMMAIRE, 15 juillet 2004, CHUM 2010, 1000, rue Saint-Denis

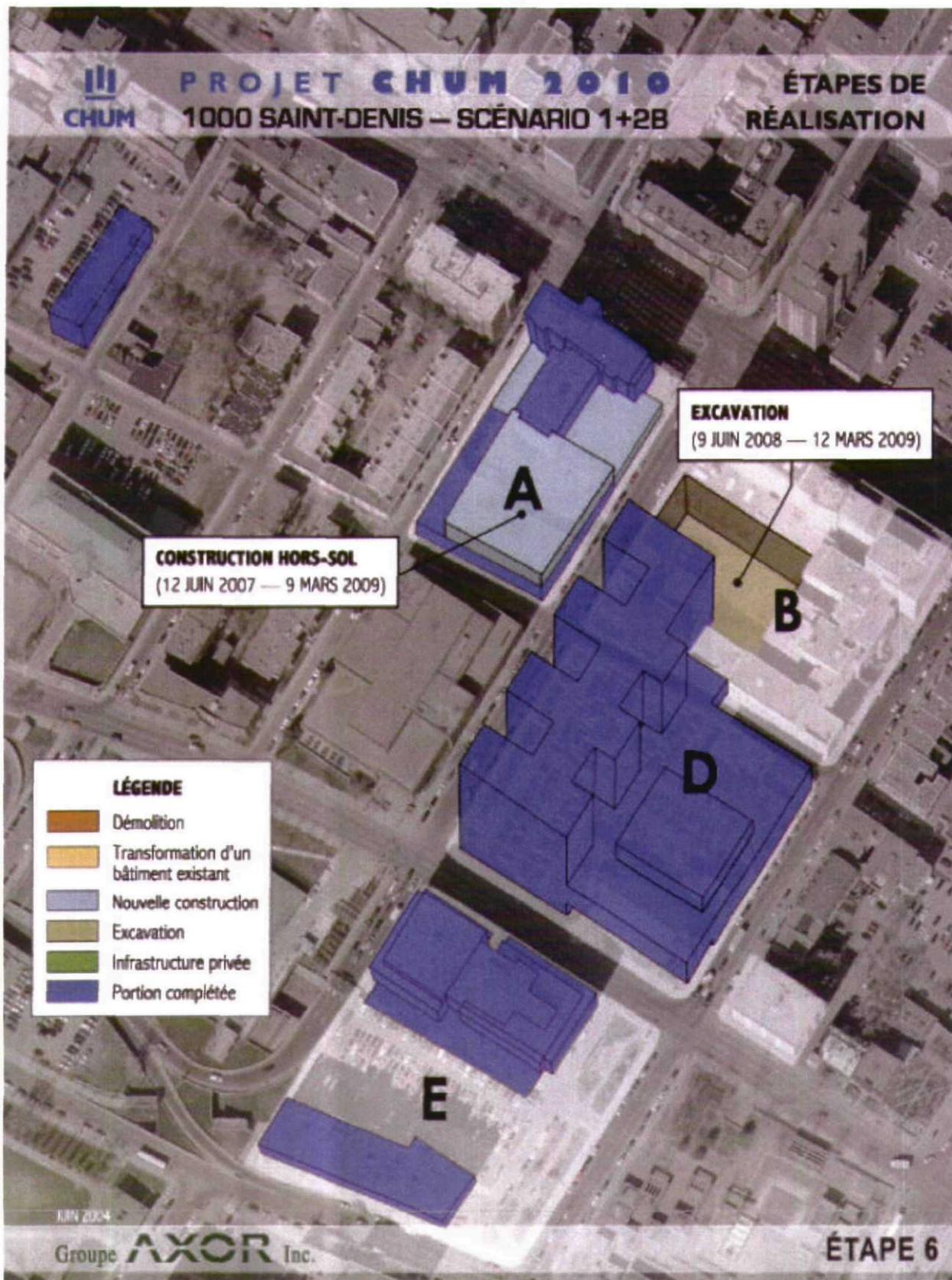


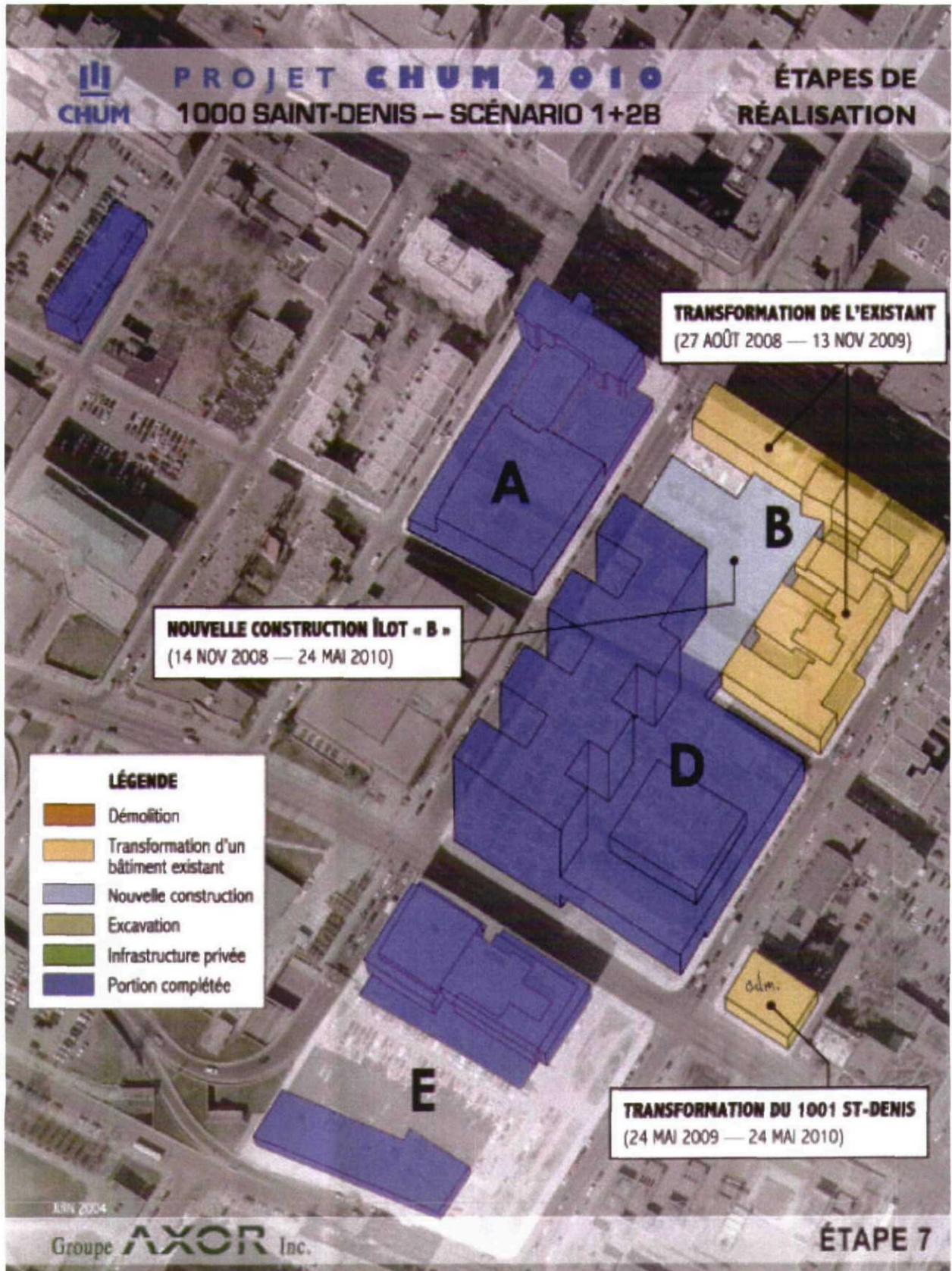


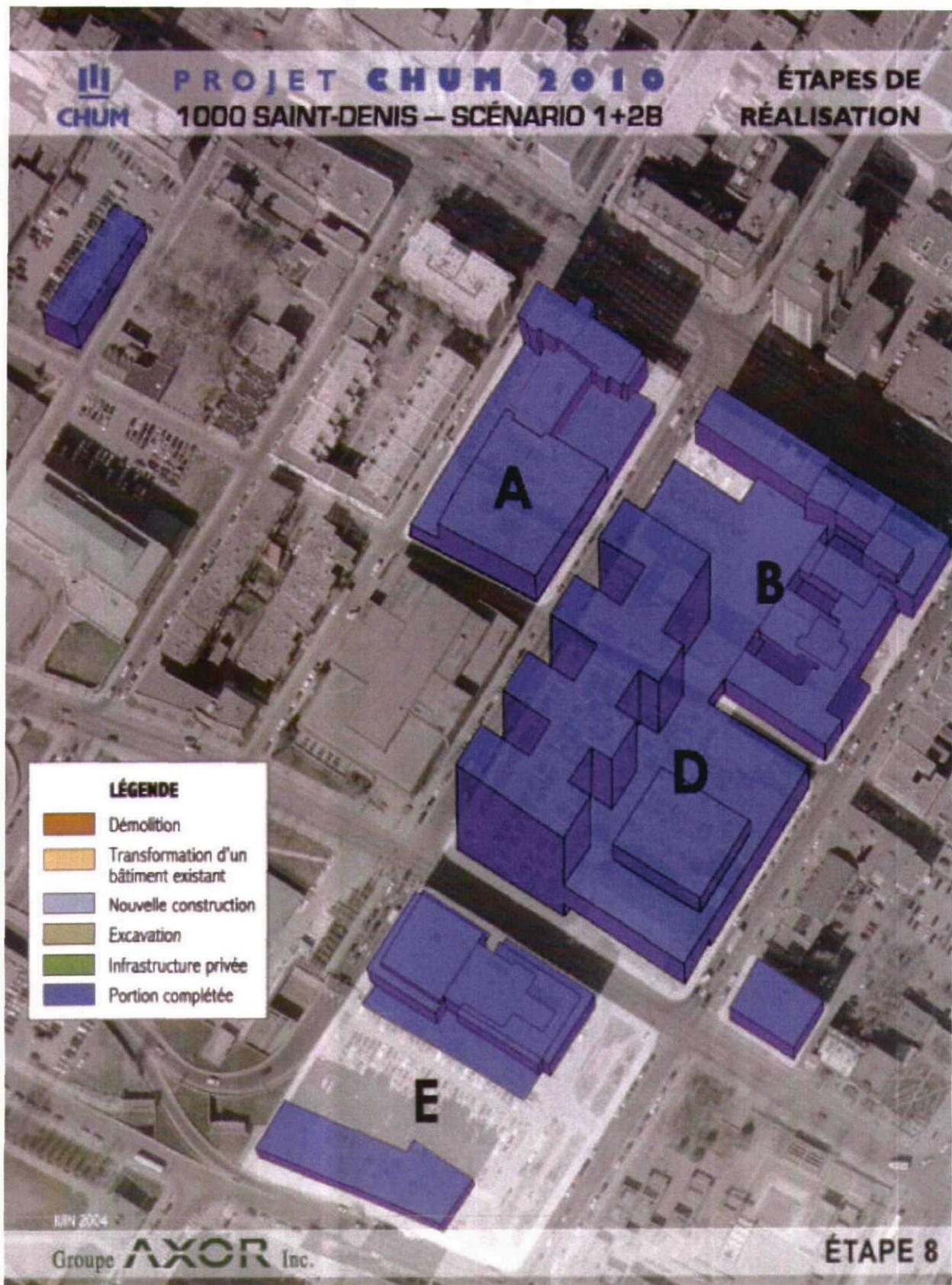








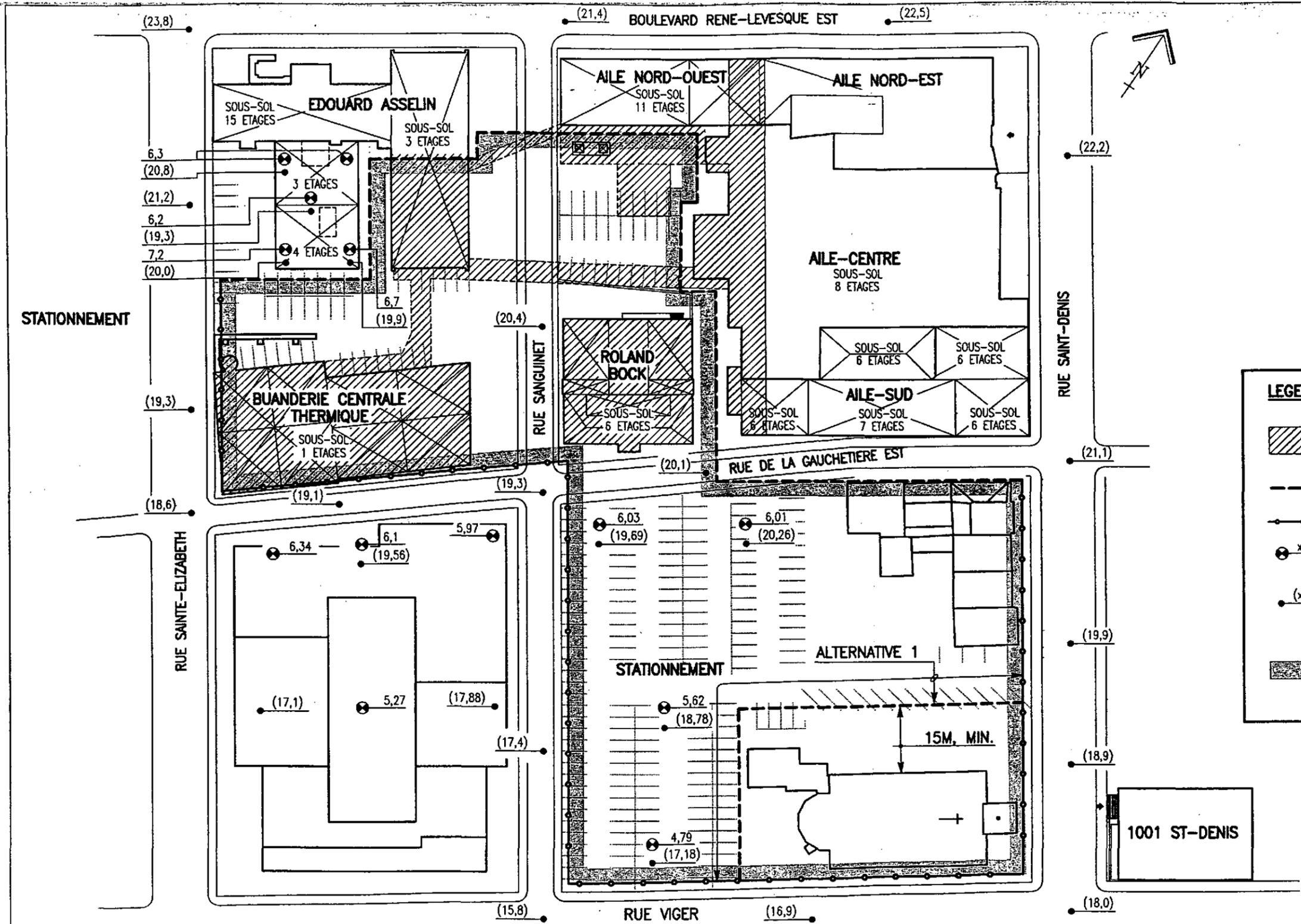






Annexe B

Plan des soutènements temporaires requis (scénario d'implantation au 1000, rue Saint-Denis)



LEGENDE:

- : EXISTANT A DEMOLIR
- : PAROI MOULEE
- : MUR BERLINOIS
- : NIVEAU THEORIQUE DU ROC, EN METRE (REF.:603507-5000-0001)
- : NIVEAU THEORIQUE DE LA SURFACE DU TERRAIN, EN METRE (REF.:603507-5000-0001)
- : LIMITE DU STATIONNEMENT SOUTERRAIN PROJETE

No ÉMIS.	RÉV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No	DESCRIPTION DE LA RÉVISION	DATE (A/M/J)	**
REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN				REGISTRE DES RÉVISIONS - * CONÇU ** APPROUVÉ			

SCEAU PROFESSIONNEL

SNC-LAVALIN
 455, boul. René-Lévesque Ouest
 Montréal (Québec)
 Canada H2Z 1Z3

CLIENT **SNC-LAVALIN** Certifié ISO 9001

Groupe SNC-LAVALIN inc.
 455, boul. René-Lévesque Ouest, Montréal (Québec), Canada H2Z 1Z3
 Téléphone: (514) 393-1000, Télécopieur: (514) 866-0795

CONÇU	F. PICHER	PROJET				
DESSINÉ	J.G.	CHUM				
VERIFIÉ	F. PICHER	TITRE				
APPROUVÉ	R. BLEAU	PLAN DES SOUTÈNEMENTS TEMPORAIRES REQUIS SCENARIO D'IMPLANTATION AU 1000 ST-DENIS				
DATE	JUIN 2004	No PROJET	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	RÉV.
ÉCHELLE	1:1000	603742	2000	42 DD	S01	0



Annexe C

Critères VC (« Vibration Criterion ») pour équipements sensibles aux vibrations

Extrait de:

Colin, G. Gordon, S.P.I.E. Proceeding Volume 1619, 1991, Generic Criteria for Vibration Sensitive Equipment



Table 1: Application and interpretation of the generic vibration criterion (VC) curves (as shown in Figure 1)

Criterion Curve (see Figure 1)	Max Level (1) micrometers/sec,rms	Detail Size (2) microns	Description of Use
Workshop (ISO)	800	N/A	Distinctly feelable vibration. Appropriate to workshops and nonsensitive areas.
Office (ISO)	400	N/A	Feelable vibration. Appropriate to offices and nonsensitive areas.
Residential Day (ISO)	200	75	Barely feelable vibration. Appropriate to sleep areas in most instances. Probably adequate for computer equipment, probe test equipment and low-power (to 20X) microscopes.
Op. Theatre (ISO)	100	25	Vibration not feelable. Suitable for sensitive sleep areas. Suitable in most instances for microscopes to 100X and for other equipment of low sensitivity.
VC-A	50	8	Adequate in most instances for optical microscopes to 400X, microbalances, optical balances, proximity and projection aligners, etc.
VC-B	25	3	An appropriate standard for optical microscopes to 1000X, inspection and lithography equipment (including steppers) to 3 micron line widths.
VC-C	12.5	1	A good standard for most lithography and inspection equipment to 1 micron detail size.
VC-D	6	0.3	Suitable in most instances for the most demanding equipment including electron microscopes (TEMs and SEMs) and E-Beam systems, operating to the limits of their capability.
VC-E	3	0.1	A difficult criterion to achieve in most instances. Assumed to be adequate for the most demanding of sensitive systems including long path, laser-based, small target systems and other systems requiring extraordinary dynamic stability.

Notes:

(1) As measured in one-third octave bands of frequency over the frequency range 8 to 100 Hz.

(2) The detail size refers to the line widths for microelectronics fabrication, the particle (cell) size for medical and pharmaceutical research, etc. The values given take into account the observation that the vibration requirements of many items depend upon the detail size of the process.



Annexe D

Prédiction des vibrations générées par le battage de pieux

Extrait de :

V.S. Hope and D.MÉ Hiller, Can. Geotech. J. vi. 37, 2000, The prediction of ground born vibration from percussive piling

Table 1. Values of parameters used to generate the prediction curves in Fig. 1.

Predictor	Parameters	Data fitting
Attewell and Farmer 1973	$x = 1, k = 1.5$	Upper bound
Whyley and Sarsby 1992	$x = 1, k = 0.25$ for soft loose soil; $k = 0.75$ for stiff or medium dense soil; $k = 1.5$ for stiff or dense soil	Upper bound
Attewell et al. 1992a, 1992b	$k_1 = -0.073, k_2 = 1.38, k_3 = 0.234$	1 SD above mean
Hiller and Crabb 1998	$k = 3$ for stiff or medium dense soil	Upper bound
Lo 1977	$\alpha = 0.013 \text{ m}^{-1}, v_0 = 80 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}, r_0 = 1 \text{ m}$	Deepest penetration
Head and Jardine 1992	$x = 1, k = 1.5$ (for $r > 0.5 \text{ m}$)	Upper bound
BSI 1992a	$x = 1, k = 0.75$	Upper bound
CEN 1998	$x = 1, k = 1.0$ for very stiff cohesive soil; $k = 0.75$ for stiff cohesive soil; $k = 0.5$ for soft cohesive soil	Upper bound

induced vibration is shown to be highly influenced by ground conditions, and it is recommended that predictions of groundborne vibration from percussive piling should take account of both the soil type and the driver energy.

Published prediction methods

Strategies for predicting vibration magnitudes for piling have taken two forms: (i) empirical predictions, developed using field data from many sites; and (ii) pilot-scale trials at the site of interest (for example, Grose 1986). One of the earliest empirical predictors was developed by Attewell and Farmer (1973), who analysed piling vibration data from several sites and suggested that

$$[1] \quad v_v = k \left[\frac{\sqrt{W}}{r} \right]^x$$

where v_v is the peak vertical particle velocity (in mm/s);

W is the input energy (in J), assumed to be the hammer impact energy;

r is the radial distance between the pile and the monitoring point (m);

x is an empirically determined index; and

k is an empirically determined (dimensional) constant of proportionality.

Predictors having the general form of eq. [1] have been widely adopted (for example, in BSI 1992a; Head and Jardine 1992; Hiller and Crabb 1998), although both BSI (1992a) and Head and Jardine (1992) recommended that close to a pile the slope distance from the pile toe, s , is used rather than the radial distance r . Whyley and Sarsby (1992) and Hiller and Crabb (1998) reported, as Wiss (1967) had also shown, that k varies with geology. Whyley and Sarsby assigned values to k ranging from 0.25 to 1.5, depending on soil type. A similar approach has been adopted in the European code (CEN 1998).

Using field data presented by Uromeihy (1990), Attewell et al. (1991) observed that maxima occurred in vibration – radial distance data plots at about $r = 10 \text{ m}$. Figure 1a shows this effect, which has been attributed to superposition of body and surface waves emanating from the pile toe and the shaft, respectively (Jongmans 1996). To reduce overconservatism of predictions at close range, Attewell et al. (1992a, 1992b) recommended that a quadratic relationship be used, specifically

$$[2] \quad \log v_{\text{res}} = k_1 + k_2 \log \left[\frac{\sqrt{W}}{r} \right] + k_3 \log^2 \left[\frac{\sqrt{W}}{r} \right]$$

where v_{res} is the peak resultant particle velocity; and values for the constants of proportionality k_1 , k_2 , and k_3 for percussive piling were determined empirically.

Van Staalduinen and Waarts (1992) developed a predictor using the attenuation formulation proposed by Mintrop (cited by Bornitz 1931) for Rayleigh surface waves:

$$[3] \quad v_r = v_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} e^{-\alpha(r-r_0)}$$

where v_r is the peak vibration at distance r ;

v_0 is the peak vibration at distance r_0 ;

r is the radial distance between the pile and the monitoring point;

r_0 is the radial distance from the pile to a point of known vibration magnitude; and

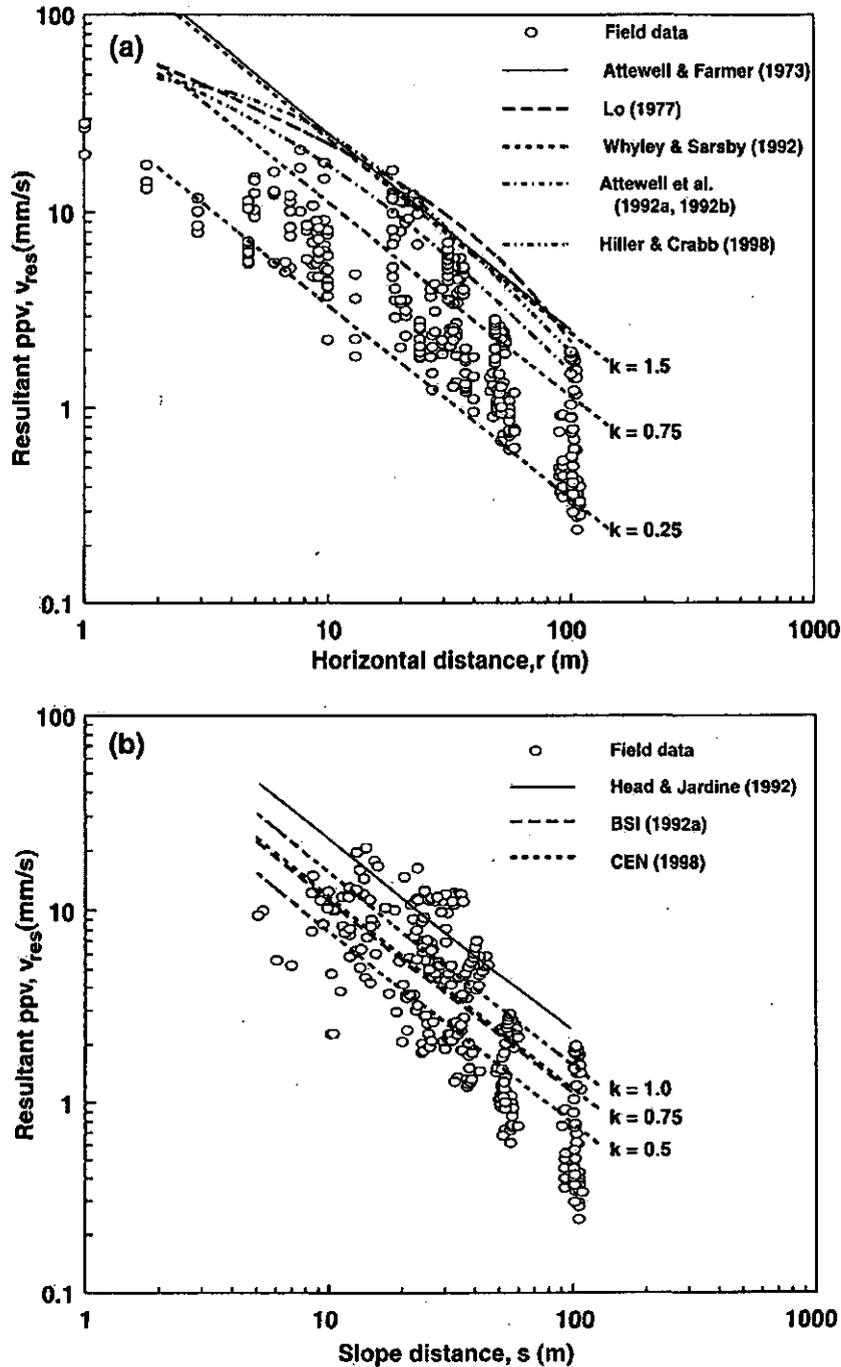
α is a material damping coefficient (of dimension length^{-1}).

Van Staalduinen and Waarts found that v_0 correlated with cone penetration (CPT) resistance and used CPT data to provide a degree of site specificity to the prediction at less cost than a full piling trial. Their method was applied at one site only so its general validity was not tested. Lo (1977) based a vibration prediction method on eq. [3] in which values of v_0 and α were obtained from piling trials.

Equations [1] and [3] differ fundamentally in their treatment of attenuation. The attenuation model in eq. [1] describes, for x of unity (Attewell and Farmer 1973), geometric spreading of body waves. In contrast, eq. [3] models material damping and the geometric spreading of surface waves.

Figure 1 compares several of the published vibration predictors with ground vibration data from percussive piling operations at a site monitored in the present study. Table 1 summarises the parameters used in each predictor (eq. [3] was implemented in the manner suggested by Lo 1977, and α was determined from a subset of the field data). The predictors presented in Fig. 1 use differing models and parameters. To establish effective prediction strategies, it is necessary to clarify which processes are in operation and which parameters are important. The following sections present an examination of the physical basis of possible parameterizations of the piling vibration problem and the results of analyses of ground vibration data from percussive

Fig. 1. *A posteriori* predictions, obtained using published predictors, of the groundborne vibration from percussive piling compared with field data from site A plotted against (a) horizontal radial distance, and (b) slope distance.





Annexe E

Évaluation du bruit du chantier de construction

ÉTAPE	ZONE DE PERTURBATION	ZONE AFFECTÉE	ACTIVITÉ	DISTANC E (m)	LAeq (dB)	Critère jour (dB)	Dépassemen t		
							> 10 + 20		
1	D - Bâtiments existants au sud de La Gauchetière	B - Aile sud existante (soins ambulatoires)	Démolition	10 100	83 - 93 64 - 74	70	13 - 23 0 - 4		
		Résidences du côté est de Saint-Denis	Démolition	20 70	77 - 87 67 - 77	70	7 - 17 0 - 7		
2	D - Sud de La Gauchetière	B - Aile sud existante (soins ambulatoires)	Paroi moulée	10	96	70	0		
			Mur berline	10 100	83 - 103 64 - 84	70			
			Excavation no	10 100	73 - 93 54 - 74	70	3 - 23 0 - 4		
		Résidences du côté est de Saint-Denis	Mur berline	20 90	77 - 87 64 - 84	70			
			Excavation no	20 120	67 - 87 62 - 72	70	0 - 10 0 - 2		
Excavation	D - Nord de La Gauchetière	B - Aile centre et aile sud existantes (soins ambulatoires)	Paroi moulée	5	90	70	20		
			Mur berline	40	71 - 91	70	1 - 21		
			Excavation no	5 40	73 - 93 61 - 81	70	3 - 23 0 - 11		
3	A - Est de Edouard Asselin	B - Aile nord-ouest existante (hospitalisation)	Démolition	20 40	77 - 87 71 - 81	70	7 - 17 1 - 11		
			Résidences du côté ouest de Sainte-Elzabe	Démolition	20 60	77 - 87 65 - 75	70	7 - 17 0 - 5	
4	Excavation	A - Est de Edouard Asselin	A - Recherche nord complétée	Paroi moulée	5	90	70	20	
				Mur berline	5 25	83 - 103 76 - 96	70		
		A - Ouest de Edouard Asselin	A - Recherche nord complétée	Paroi moulée	5	90	70	20	
				Mur berline	15 50	80 - 100 70 - 90	70		
		A - Sud de Edouard Asselin	A - Recherche sud complétée	Excavation no	5 50	73 - 93 60 - 80	70	3 - 23 0 - 10	
				Paroi moulée	20 60	82 75	70	12 5	
		Résidences du côté ouest de Sainte-Elzabe		Mur berline	20 100	77 - 87 64 - 84	70		
				Excavation no	20 100	67 - 87 64 - 74	70	0 - 17 0 - 4	
Démolition	B - Aile centre partie ouest	B - Aile centre existante (soins ambulatoires)	Démolition	5 20	90 - 100 77 - 87	70			
		B - Aile nord-ouest existante (hospitalisation)	Démolition	5 50	80 - 100 70 - 80	70			
6	Excavation	B - Aile centre existante (soins ambulatoires)	Paroi moulée	5	90	70	20		
			Excavation no	5 50	73 - 93 60 - 80	70	3 - 23 0 - 10		
		B - Aile nord-ouest existante (hospitalisation)	Paroi moulée	5	90	70	20		
			Excavation no	5 50	73 - 93 60 - 80	70	3 - 23 0 - 10		
		B - Entie Sanguinet et aile centre	B - Unité d'hospitalisation complétée au nord de La Gauchetière	Paroi moulée	5 50	90 75	70	20 5	
				Excavation no	5 50	73 - 93 60 - 80	70	3 - 23 0 - 10	
		A - Recherche complétée		Paroi moulée	5 40	90 76	70	20 5	
				Excavation no	5 40	73 - 93 61 - 81	70	3 - 23 0 - 11	

2010-01-08 09:00:00

