

Proposition d'un Projet de Recherche Appliquée : "Développement de méthodes de réhabilitation *in situ* de sols contaminés adaptées au contexte des régions Arctiques et Subarctiques"

Objet : Document de synthèse présentant les grandes lignes du projet de R&D proposé, 27 avril 2021

Problématique

Au Nunavik, chaque bâtiment est muni de son propre réservoir de diesel. Des conditions climatiques extrêmes, un manque de main-d'œuvre qualifiée et une maintenance insuffisante des équipements font en sorte que le potentiel de déversements d'hydrocarbures à proximité et sous les bâtiments est très élevé sur ce territoire majoritairement constitué de pergélisol (cf. figure 1). Les sols contaminés sont habituellement excavés puis transportés à grands frais vers des centres de traitement dans le sud de la province (Taillard et Baïlon-Poujol, 2020). Bien qu'il existe de nombreuses technologies de traitement disponibles dans le sud de la province, le contexte de région froide éloignée rend la majorité de ces technologies difficiles, voire impossibles à implanter et à utiliser (Filler *et al.*, 2006; Poland *et al.*, 2003). Hydro-Québec fait aussi face à une problématique de sols contaminés au diesel sous des réservoirs de stockage de certains villages. **Le Nunavik a donc grandement besoin d'une solution alternative efficace et adaptée à la réalité nordique** (Taillard et Baïlon-Poujol, 2020).

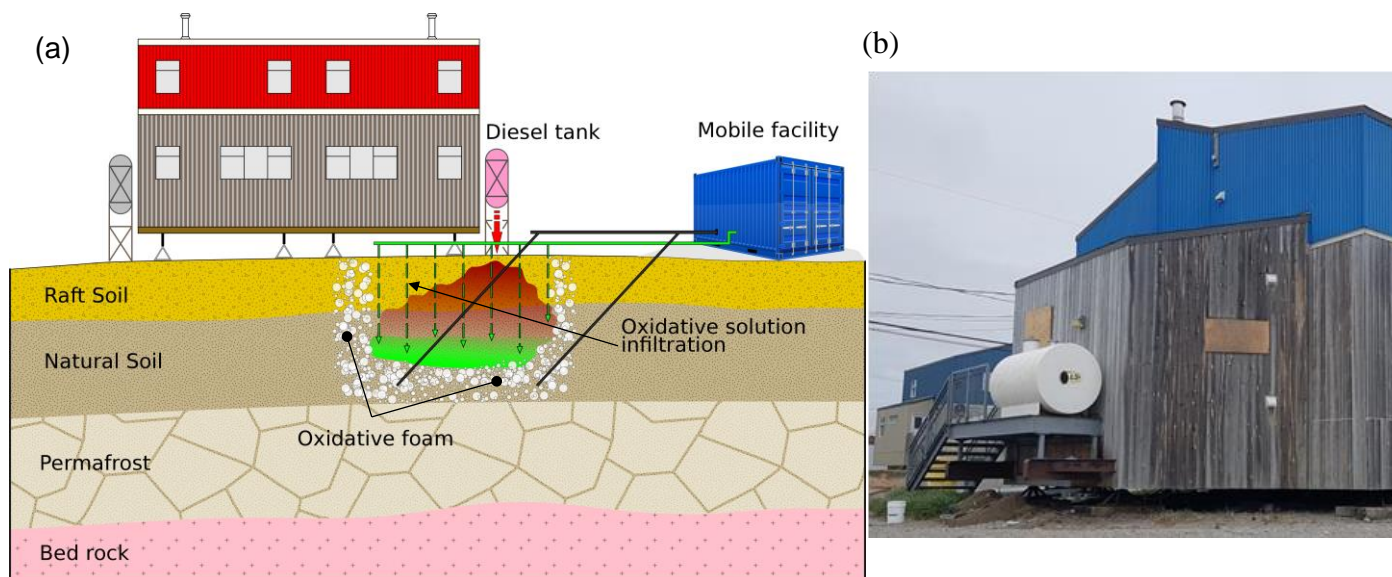


Figure 1: (a) Exemple d'intervention sous un logement , (b) Photo montrant du sol contaminé sous un logement social au Nunavik dans le village nordique de Puvirnituq

Projet proposé

Technologies développées et/ou testées sur le terrain

1. Percolation d'une solution aqueuse oxydante à base de persulfate activé au peroxyde de calcium pour dégrader le diesel *in situ* dans le sol (continuité du projet ARK-KMHB-INRS 2018-2021);
2. Injection d'une mousse oxydante au niveau et en périphérie du panache observé. Le but étant : (1) créer une zone de rétention en profondeur dans le but de favoriser le contact oxydant-contaminant, réduire la consommation en oxydant et réduire la durée du traitement; (2) Réduire considérablement la formation de chemins préférentiels d'écoulement des fluides dans le milieu poreux.

3. Dégradation enzymatique du diesel dans des conditions froides. Validation en laboratoire de l'applicabilité à moyen terme de la technologie;

Nature des travaux sur deux ans

- ✓ Identification, à partir d'échantillons de sols contaminés prélevés localement, de bactéries capables de produire des enzymes en mesure de dégrader le diesel dans des conditions froides;
- ✓ Développement d'une mousse compatible avec l'oxydant : sélection à partir des données disponibles dans la littérature et essais laboratoires sur du sol représentatif;
- ✓ -Essais en laboratoire en utilisant une approche multi-échelle dans un environnement de température contrôlée : tests sur colonne de sable contaminé de 300 mL et dans un bac de sable contaminé de 15 L;
- ✓ -Essais pilote de percolation d'une solution aqueuse oxydante et d'injection de mousse oxydante sur un terrain contaminé situé dans un Village Nordique du Nunavik. Suivi des concentrations en diesel et des températures *in situ*. L'injection se fera à partir de pointes filtrantes en acier inoxydable enfoncées dans le sol. Un réseau de thermistance et de capteurs de pression permettra de faire le suivi des pressions et températures pendant l'injection et sur une période de plusieurs mois suivant l'injection.

Acteurs, Collaborateurs et rôles respectifs

- **ARK¹** : Développement de projet / support logistique et administratif ;
- **OMHK²** : Support logistique / acquisition d'expertise en vue de l'exploitation de la technologie ;
- **SPN³** : Support administratif / financement
- **CRSNG** : financement
- **MELCC** : financement / transfert des connaissances
- **Environnement Canada** : financement / transfert des connaissances
- **MITACS** : financement (bourses postdoctorales).
- **INRS-ETE ; UQAT; York University; Yukon University** : Expertise scientifique et académique
- **TechnoRem Inc.** : Expertise professionnelle / financement / démarches de commercialisation

Retombées locales

1. Transfert d'expertise Nord-Sud permettant la commercialisation à moyen terme d'un outil de traitement efficace développé, suite à l'initiative des communautés, avec les communautés et destinés à être exploités par les communautés (création d'emplois et développement d'expertise dans le Nord, pour le Nord);
2. Amélioration de la qualité de vie et de la santé des membres des communautés en diminuant leur exposition aux produits pétroliers. Amélioration de la qualité de l'environnement en éliminant les résidus de produits pétroliers dans les sols et l'eau;
3. Formation d'une expertise (PHQ) adaptée aux conditions nordiques et aux enjeux associés au développement du Nord.

Références : Filler, D.M., Reynolds, C.M., Snape, I., Daugulis, A.J., Barnes, D.L., Willaims, P.J., 2006. Advances in engineered remediation for use in the arctic and Antarctic. *Polar Record*. 42, pp: 111–120. Poland, J.S., Riddle, M.J., Zeeb, B.A., 2003. Contaminants in the Arctic and the Antarctic: a comparison of sources, impacts, and remediation options. *Polar Record*. Cambridge University Press. 39(4), pp:369-383. Taillard, V., Baïlon Poujol, G., 2020. Traitement de sols contaminés au Nunavik, les défis de la recherche d'une solution adaptée. *Vecteur Environnement*, dec. 2020, pp:34-35.

¹ ARK = Administration Régionale Kativik

² OMHK = Office Municipal d'Habitation Kativik

³ SPN = Société du Plan Nord

Précisions concernant les développements effectués et à venir

Percolation d'une solution aqueuse oxydante à base de persulfate activé au peroxyde de calcium pour dégrader le diesel in situ dans le sol

Ce volet du projet représente la continuité du projet de R&D initié par l'ARK. Le projet a pu être mené grâce, notamment à l'engagement de l'ARK et du KMHB. Grâce à leur soutien, une intervention a pu avoir lieu à l'été 2020 pendant 2 mois dans le village d'Inukjuak.

Travaux effectués à ce jour :

- ✓ Étude du contexte local, des contraintes et des limitations liées aux Villages Nordiques (VN);
- ✓ Identification des personnes auprès de l'ARK, de l'OMHK et des VN concernés;
- ✓ Échantillonnage et caractérisation d'un sol représentatif, essais batch dans des conditions optimales;
- ✓ Essais sur site dans deux colonnes enfouies sur site. Traitement en mode "pores statiques" et en mode "pores dynamiques" avec recirculation de la solution oxydante;

Travaux laboratoire envisagés dans le cadre du projet

- Optimiser la concentration en oxydant dans la SM avant percolation;
- Optimiser l'activation du SPS par le CP (temps d'activation, fréquence d'ajout de CP) avant sa distribution par percolation :
 - Activation dans un réservoir à double paroi réfrigéré à l'eau, récupération des sous-produits d'activation par décantation;
 - Essais en colonne de 300 ml et en bac de 15 L sur du sol représentatif, suivi du pH et des températures en continu;

Travaux de terrain envisagés dans le cadre du projet

Essai pilote sur un site réel présentant une problématique de sol de radier contaminé au diesel :

- Concentration < 20 000 mg/kg;
- Volume de sol testé entre 10 et 20 m³ situé en zone vadose en grande majorité;
- Zone contaminée située autour et sous un bâtiment présentant un débatement hors sol d'environ 3'.

L'ensemble des équipements et produits nécessaires seront envoyés dans un conteneur de 20' servant de base opérationnelle sur site :

- La distribution de la solution oxydante se fera par percolation de surface à partir d'un réservoir de surface réfrigéré;
- La solution subira une étape de décantation en continu avant injection (décanteur lamellaire).
- Les boues seront pompées, stockées et rapatriées avec le conteneur à la fin du projet;

Injection d'une mousse oxydante au niveau et en périphérie de la zone de sol contaminé

Ce volet du projet vient bonifier l'originalité du projet initial et apporte une solution aux problématiques identifiées suite aux essais terrains 2020.

- Nécessité de recirculer la solution oxydante : problématique de logistique sur site. Formation de chemins préférentiels en profondeurs :
 - Injectée à la base et à la périphérie de la zone vadose contaminée, la mousse permettrait de délimiter le volume de sol visé par la percolation de surface. Elle formerait un bassin de rétention pour la solution oxydante menant à une saturation presque complète de la zone visée et à un contact contaminant-oxydant optimal. Le temps de rétention de la solution considérablement allongé associé à la bonne persistance du SPS, permettrait d'améliorer l'efficacité d'enlèvement.

- La mousse oxydante participerait également, dans sa zone d'influence, à la dégradation du contaminant;
- La mousse serait dégradée par la solution oxydante suivant un taux défini, permettant une progression contrôlée de la solution oxydante dans le milieu poreux;
- Élévation de température du sous-sol dû en grande majorité à la température de la solution oxydante injectée :
 - Le contrôle de la température de l'air et de la solution permettrait d'injecter une "mousse froide". De plus, la mousse agirait comme un isolant entre la solution oxydante et le milieu poreux affecté par la contamination limitant ainsi les coûts liés au refroidissement de la solution oxydante avant distribution par percolation;
 - Le taux de dégradation de la mousse serait suffisamment faible pour que le temps de résidence de la solution oxydante dans le bassin de rétention réduise au maximum les gradients de température entre la solution et le milieu poreux.
 - Une fois la mousse formant le bassin de rétention oxydée, la solution serait dispersée dans le milieu à une température adéquate;

Travaux laboratoire envisagés dans le cadre du projet

Les précisions concernant le plan expérimental envisagé sont en cours de définition et comprendrait à ce stade :

- Choix du tensioactif et de sa concentration en phase aqueuse pour créer la mousse adéquate;
- Essai de moussabilité et de stabilité de la mousse en colonne de verre en présence de persulfate (essai de plusieurs formulations);
- Mesure de la tension interfaciale de solutions aqueuses oxydantes contre le diesel;
- Essais de dégradation du diesel par injection de mousse oxydante en colonne de 300 mL et en bac de 15 L de sable contaminé et évaluation de l'effet de température sur l'efficacité de la mousse oxydante;
- Essais de dégradation de diesel par injection de mousse oxydante en bac de 15 L contenant du sable contaminé, en condition non saturée et saturée (formation d'un bassin de rétention) et à température variable.
 - Étude de l'effet de la présence d'une couche de sol gelé à la base;
 - Étude de l'effet d'un volume de solution oxydante sur les pressions d'injection et sur la persistance de la mousse;

Travaux de terrain envisagés dans le cadre du projet

- La mousse sera générée sur place à partir de la solution oxydante;
- L'injection de mousse se fera à partir de pointes filtrantes en acier inoxydable enfoncées dans le sol de radier à l'aide de marteau pneumatique ou d'une pelle mécanique;
- Un réseau de thermistance et de capteurs de pression permettra de faire le suivi des pressions et des températures pendant l'injection et sur une période de plusieurs mois suivant l'injection;

Démarches administratives en cours

Soutien administratif et logistique :

ARK : support, relation de confiance et contacts proactifs, échanges hebdomadaires;

OMHK : support de la direction du service de maintenance des unités d'habitations offrant le même degré de collaboration que dans le cadre du projet de doctorat;

Financement

Le financement initial, permettant d'obtenir l'effet levier du CRSNG via un programme alliance, est en cours de validation. Étant donné les montants importants, pour le moment, la source de financement est étroitement liée au site et à son propriétaire. Les trois options les plus réalistes à ce jour sont :

- La RRSSSN (Régie Régionale de Santé et de Service Sociaux du Nunavik) : discussion initiée, ils sont en attente de scénarios de notre part (coûts, délais et objectifs de traitement). Ils ont répondu très favorablement et les échanges se poursuivent par courriel, (montants substantiels disponibles);
- L'ARK via leur division transport (aéroports du Nunavik) avec un apport de la division environnement. Montant à définir;
- Hydro-Québec : demande d'entretien effectuée, en attente d'un retour. Des échanges et rencontres ont eu lieu en 2019 et 2020 dans le cadre du projet de doctorat. Les contacts ont manifesté leur intérêt d'être tenus informés des suites potentielles. Ces mêmes contacts ont été relancés;

Autorisations environnementales

Le REAFI a été passé en revue.

Les éléments mis en avant dans le paragraphe suivant font suite à des démarches en cours avec le Pôle d'expertise régionale nordique et minier de la Direction régionale de l'analyse et de l'expertise (DRAE) de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord-du-Québec (Daniel Gendron, Daniel.Gendron@environnement.gouv.qc.ca ; Francine Chagnon, Francine.Chagnon@environnement.gouv.qc.ca). Daniel et Francine avaient été rencontrés à Inukjuak durant l'été 2018 et ils ont été tenus au courant de l'évolution du projet de R&D. Les échanges sont stimulés par des interventions régulières de l'ARK (Véronique Gilbert, vgilbert@krg.ca; Ian Lapointe, ilapointe@krg.ca). À ce stade, les limitations suivantes ont été identifiées :

- Intervention sur un site récent : cela concerne le département des rejets accidentels de matière dangereuse (ici du diesel) : la matière dangereuse doit être récupérée dans les meilleurs délais. Le MELCC devra approuver une prolongation du "meilleur délai" pour permettre de passer au travers d'un projet de R&D se déroulant sur une période de 2 ans avec des interventions en 2022 et 2023;
- Dans le cas d'un déversement connu plus ancien et documenté, le département visé est celui de la gestion des sols contaminés. Les délais d'intervention sont moins importants puisque la contamination est présente depuis déjà quelques années. Dans ce contexte les autorisations (certainement juste un certificat de conformité) seraient plus facile à obtenir;
- L'INRS souhaiterait effectuer le projet sur un déversement récent. Cela permettrait de démontrer l'efficacité de la technologie et de confirmer les délais d'intervention nécessaires dans ce contexte particulier;
- L'ARK argumente également auprès du MELCC pour que l'intervention puisse se faire sur un site récent. Plus représentatif de la problématique. De plus, il serait vraiment difficile d'obtenir du financement dans le cas d'un déversement connu. Dans le cas d'un déversement récent, les responsables possèdent les fonds nécessaires pour réhabiliter via leur assurance;

Identification de sites potentiels

Deux sites ont été identifiés pour le moment :

Quaqtaq (site ARK)

- Baie d'Ungava, 400 habitants;
- Déversement d'huile hydraulique dans la zone de l'aéroport;
- 5000<[C₁₀C₅₀]<18 000 ppm, [HAP]<0.1ppm;
- Volume 200 à 400 L, zone affectée = environ 25 m² en surface;
- Présence de lignes électriques enfouies et impossibilité d'excaver. Un volume de sol de surface a toutefois déjà été excavé;

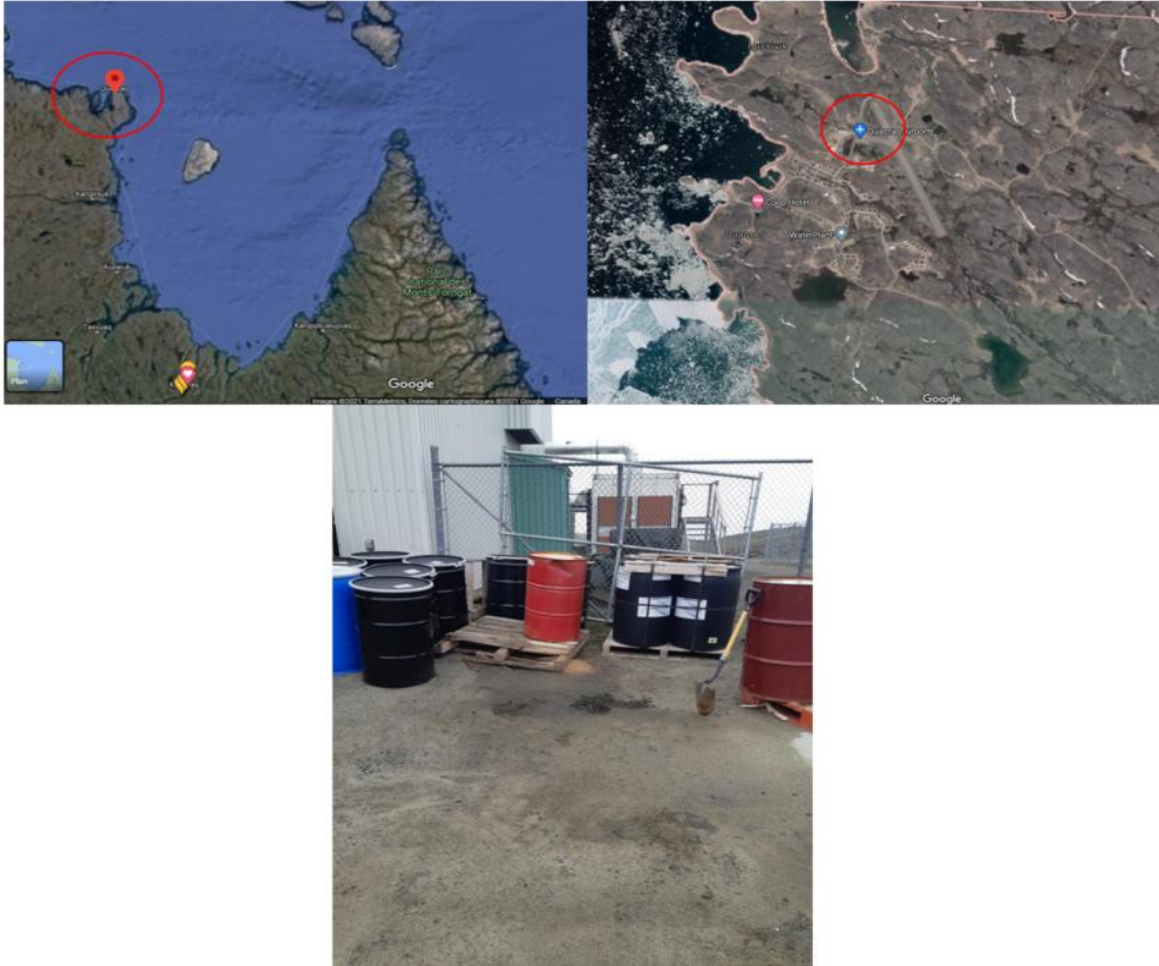


Figure 2 : Quaqtq

Kanqigsualujjuag (Site RRSSSN-CSTU)

- Baie d'Ungava, 900 habitants;
- Déversement de diesel pendant plusieurs mois (années ?) au niveau de la salle mécanique du CSTU (Centre de santé Tulattavik de l'Ungava);
- Pas de données de caractérisation;
- Plan du bâtiment en mains (cf. annexe 1);

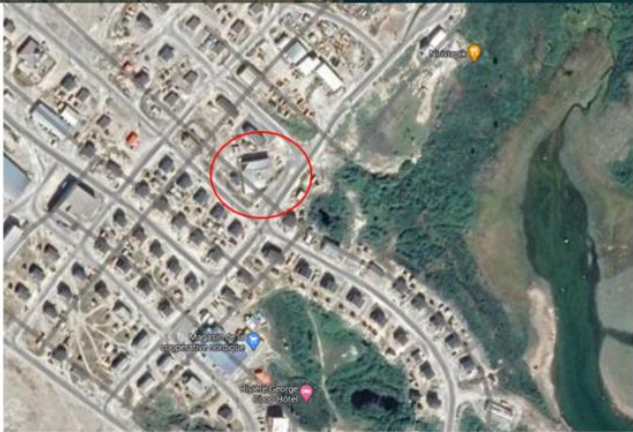
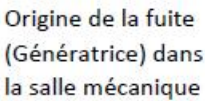


Figure 3 : Kangiqsualujjuaq

Localisation déversement



Aménagement extérieur

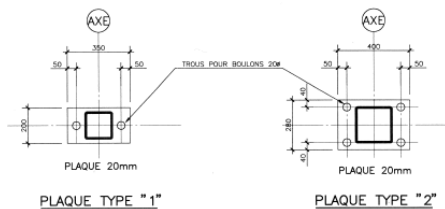
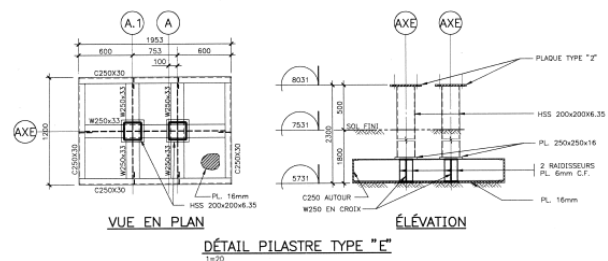
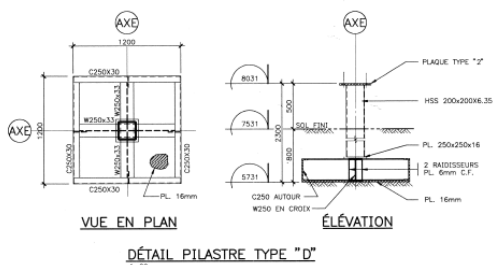
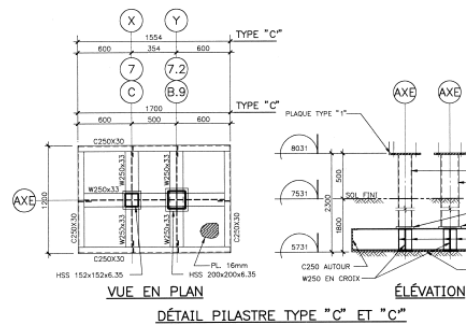
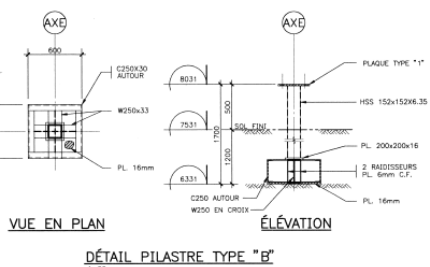
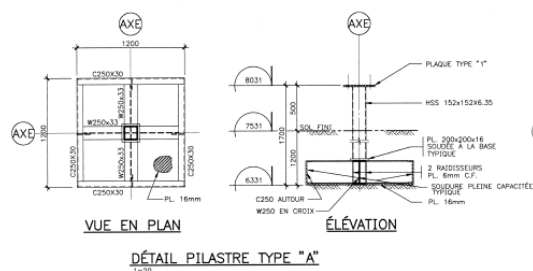




Plan général de fondation



Plan de coupes et détails



NOTE: TOUTES LES ASSEMBLAGES SONT GALVANISÉS.