



# LA PROTECTION DES ARBRES EN VILLE PENDANT LES GRANDS TRAVAUX

Étienne Yusufu Kachaka  
6 avril 2021

Révisé par Alison D Munson, J-C Ruel et Guy Bussières, Université Laval  
Figures par le Service de reprographie de l'Université Laval



UNIVERSITÉ  
LAVAL

Chaire sur  
l'arbre urbain  
et son milieu



# Table des matières

---

<b>INTRODUCTION</b>	3
<b>Partie 1. L'arbre en milieu urbain</b>	4
1.1 L'Arbre	4
1.2 Milieu urbain	5
1.2.1 Interactions entre les racines et les infrastructures urbaines	5
<b>Partie 2. Protection des arbres durant les travaux de construction</b>	6
2.1 Effets de la construction sur les arbres	6
2.1.1 Dommages sur le houppier	6
2.1.2 Dommages sur le tronc et les branches	6
2.1.3 Dommages aux racines	6
2.1.4 Tolérance des arbres aux dommages	7
2.1.5 Choix des arbres à protéger	7
2.2 Méthodes de protection des arbres	8
2.2.1 Planification des travaux	8
2.2.2 Détermination de la zone de protection optimale (ZPO)	8
2.2.3 Détermination de la zone racinaire critique de l'arbre	8
2.2.4 La clôture	9
2.2.5 Protection du tronc et des branches	9
2.2.6 Élagage	10
2.2.7 La coupe des racines	10
2.2.8 Protection des sols et des racines dans les zones de protection des arbres	10
2.2.9 Protection des sols	11
2.2.10 Tranchée et tunnel	12
2.2.11 Changements de niveau du sol	13
2.2.12 Suivi des travaux	14
2.2.13 Protection des arbres selon les différentes phases des projets d'infrastructures	14
<b>CONCLUSION</b>	16
<b>RÉFÉRENCES</b>	17

# INTRODUCTION

---

La présence des arbres dans nos villes nous procure de nombreux avantages. En effet, les arbres urbains permettent, par exemple, d'améliorer la qualité de l'air ou encore de fournir de l'ombre et faire baisser les températures élevées en milieu urbain. D'autre part, ils embellissent le paysage urbain et augmentent l'attractivité des villes. Ils contribuent également à améliorer la qualité de vie des habitants, et ces derniers apprécient de plus en plus leur présence. C'est pour ces raisons, et pour beaucoup d'autres, qu'il est désormais important de mieux les conserver/protéger, et plus particulièrement durant les périodes de construction. En effet,

la réalisation des travaux de construction/réfection (bâtiments, routes, stationnements, etc.) menace la survie des arbres urbains, notamment de ceux situés à proximité des chantiers. Durant ces périodes, il est donc important de prendre les meilleures mesures possibles afin de les protéger. Afin d'assurer une protection efficace des arbres urbains durant les périodes de travaux de construction, il est important d'avoir une compréhension de base des exigences à leur survie, mais surtout de tenir compte de leur présence durant les périodes de travaux d'aménagement urbain. Notre document représente un guide sommaire concernant la protec-

tion des arbres durant les périodes de construction. Il est conçu pour aider les personnes impliquées dans la réalisation des projets d'aménagement urbain (entrepreneur, employé, constructeur, etc.) en leur fournissant des informations utiles au maintien des arbres sains durant les travaux. Nous décrivons les meilleures mesures de protection des arbres identifiées par des spécialistes et praticiens en arboriculture. Bien que les pratiques et les normes présentées ici soient largement acceptées, elles ne garantissent pas la survie de tous les arbres et elles ne remplacent pas les lois et normes locales en matière de protection des arbres.



# Partie 1. L'arbre en milieu urbain

## 1.1 L'Arbre

Protéger les arbres nécessite d'avoir une connaissance minimale de leur fonctionnement. L'arbre possède trois principales parties qui sont le houppier, le tronc et les racines (partie souterraine) (Figure 1). Chacune de ces parties réalise des fonctions nécessaires à sa survie et il est important qu'elles demeurent saines et en bon état. L'arbre est un être vivant et, de ce fait, il réagit aux perturbations de son environnement. Par conséquent, il est nécessaire de réaliser toutes les opérations de construction de manière à n'endommager aucune des parties de l'arbre.

**Le houppier (couronne)** est composé de branches et de rameaux portant le feuillage. La principale fonction des feuilles est de réaliser la photosynthèse, en d'autres termes la production de sucres (matière organique). Les chloroplastes dans les feuilles combinent du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et de l'énergie solaire pour produire des glucides ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) et de l'oxygène ( $\text{O}_2$ ). Par conséquent, endommager directement ou indirectement le feuillage aura des répercussions sur la capacité des arbres à réaliser la photosynthèse.

**Les branches et le tronc** sont composés de tissus ayant des fonctions spécifiques (Figure 1) :

- **L'écorce externe** : tissu dont le rôle est de protéger l'arbre en servant de barrière aux insectes ainsi qu'en lui offrant une certaine résistance aux dommages physiques.
- **Le cambium** : tissu situé en dessous de l'écorce, il est responsable du développement du nouveau xylème et du phloème qui composent le système circulatoire de l'arbre pour l'eau et les éléments nutritifs.

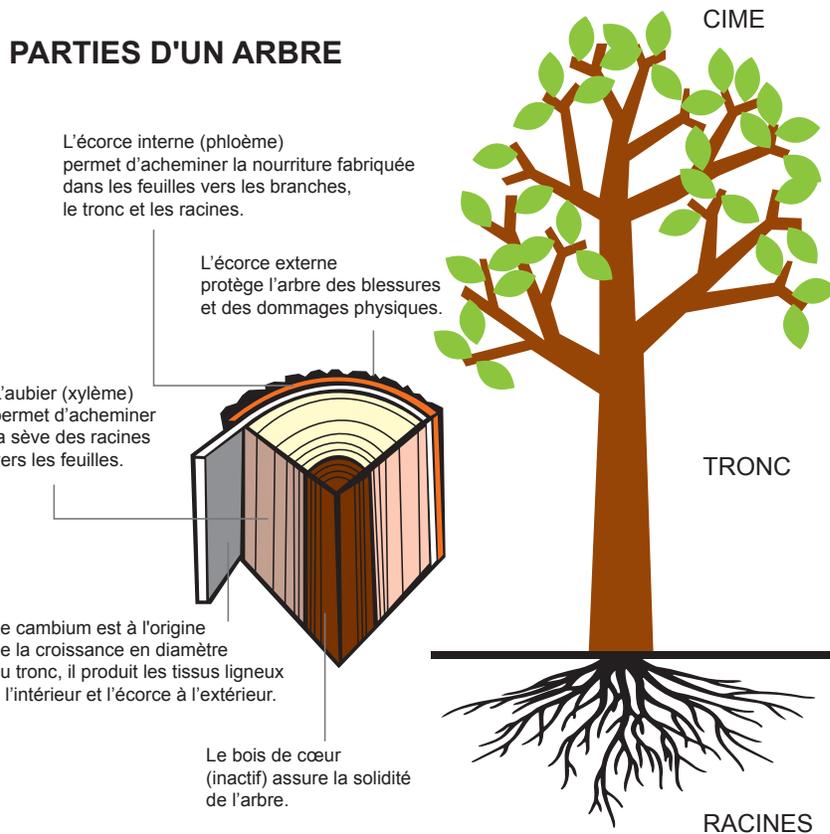


Figure 1. Principales parties de l'arbre

- **L'aubier** : il est responsable du transport de l'eau et des nutriments depuis les racines et il stocke également les sucres.
- **Le bois de cœur (duramen)** : aubier ayant perdu de sa vitalité et qui est transformé en duramen jouant essentiellement un rôle de support.

**Les racines** permettent d'absorber et de stocker l'eau et les nutriments. Elles assurent également un rôle de stabilité et d'ancrage des arbres au sol afin de les maintenir dressés en toute sécurité. L'importance des racines est souvent négligée parce que celles-ci ne sont pas visibles. Pourtant, les dommages causés au système racinaire sont les plus fréquents et ces derniers peuvent causer le dépérissement, voire la mort des arbres.

Certaines croyances ont contribué à la négligence du rôle et de la protection des racines. Par exemple, on a longtemps cru que les racines ne s'étendaient que jusqu'à la ligne de projection du houppier. Nous savons aujourd'hui que les racines peuvent s'étendre à des distances équivalentes à deux ou trois fois la hauteur de l'arbre. La profondeur des racines a également été exagérée, car la plupart d'entre elles se retrouvent dans le premier mètre du sol. Une autre croyance est celle selon laquelle les dommages causés aux racines devraient être immédiatement visibles. Pourtant, les symptômes des dommages peuvent survenir des années plus tard, car les arbres sont capables de stocker suffisamment d'énergie dans leurs branches ainsi que dans leur tronc qu'ils utiliseront après que les racines aient été endommagées.

Le **système racinaire** des arbres comporte trois principales catégories de racines (Figure 2) :

- **Les charpentières** : ce sont des racines latérales servant à l'ancrage, à l'exploration du sol ainsi qu'au stockage et transport de l'eau et des nutriments.
- **Les racines pivotantes** : ce sont les racines profondes ayant pour principales fonctions d'assurer l'ancrage de l'arbre, mais également de puiser en profondeur ainsi que de stocker l'eau et les nutriments du sol.
- **Les racines fines** (ou chevelu racinaire) : ce sont des racines non ligneuses ayant pour principale fonction le prélèvement de l'eau et des nutriments du sol.

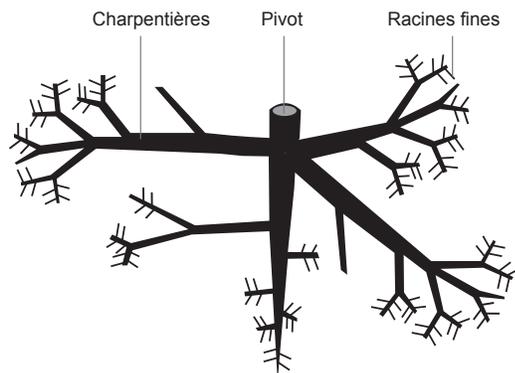


Figure 2. Architecture racinaire

## 1.2 Milieu urbain

### 1.2.1 Interactions entre les racines et les infrastructures urbaines

On reproche souvent aux arbres urbains d'être à l'origine de nombreux dégâts sur les infrastructures. Les arbres et les infrastructures peuvent effectivement entrer en conflit d'usage du volume de sol et ces conflits concernent généralement les canalisations d'égout, les conduites d'eau, les fondations, trottoirs, rues, stationnements, bordures et murs. Les racines des arbres ont une croissance opportuniste et elles sont capables de se développer dans des espaces proches des infrastructures pourvu que ceux-ci leur offrent les conditions d'eau et d'air nécessaires à leur développement, ce qui par la suite cause des dommages aux infrastructures. Dans le cas de certaines routes fissurées, par exemple, l'interface entre le sol compacté et le bitume est souvent riche en oxygène et en eau. Cet espace est donc attractif pour les racines qui y trouvent des conditions favorables, et leur augmentation en diamètre sous la route ou le trottoir entraîne des craquelures.

Le potentiel de conflits entre les arbres et la chaussée (infrastructure) est élevé lorsqu'un ou plusieurs des éléments suivants sont présents : espèces d'arbres matures de grande taille, arbres à croissance rapide, arbres plantés dans des volumes de sol restreints et peu profonds, irrigation insuffisante, fondation peu profonde (moins d'un mètre de profondeur), distance entre l'arbre et l'infrastructure trop faible (moins de 2 à 3 m), présence de sols gonflants, infrastructures vétustes ou arbres âgés de plus de 15 à 20 ans.

Néanmoins, les arbres sont souvent accusés à tort d'avoir causé des dommages, car il peut s'agir d'un problème dans la conception de l'ouvrage ou simplement de sa vétusté. Le défi concernant la cohabitation entre les arbres et les infrastructures implique de rechercher des solutions pouvant aider à réduire la survenue de conflits entre ces deux composantes du milieu urbain. Pour y parvenir, plusieurs efforts doivent également être orientés vers la conception ou le choix des infrastructures afin de réduire les conflits. Par exemple, une fondation plus profonde

(plus d'un mètre) est à l'abri des risques de soulèvement racinaire par rapport une fondation moins profonde. Aussi, des tuyaux de canalisation en PVC sont moins dommageables que des conduites anciennes en terre cuite et en ciment avec de nombreux joints d'étanchéité. De même, l'asphalte souvent plus mince que les dalles de ciment a tendance à avoir plus de dommages par rapport au ciment.

# Partie 2. Protection des arbres durant les travaux de construction

## 2.1 Effets de la construction sur les arbres

Les travaux de construction peuvent endommager toutes les parties de l'arbre, et les dommages sur une partie de l'arbre peuvent affecter l'ensemble de son fonctionnement.

Les dommages de construction englobent toutes les blessures aux racines, au tronc ou aux branches principales, causées par les travaux de construction. Ils incluent le compactage du sol, l'écrasement et la taille des racines, la taille incorrecte des branches, le stockage incorrect des matériaux de construction et le déversement de déchets. Certains de ces dommages peuvent entraîner une défaillance structurale pouvant conduire à la chute des organes morts voire à la chute de l'arbre entier. De plus, les arbres ayant subi des dommages sont plus sensibles aux attaques des insectes et la mort de l'arbre arrive souvent suite à la combinaison d'une défaillance structurale à laquelle s'ajoute une dégradation de la santé de l'arbre.

### 2.1.1 Dommages sur le houppier

Ils peuvent être causés par un mauvais élagage qui laisserait des blessures propices à l'invasion de pathogènes ou encore par des blessures mécaniques. Des dommages sur le houppier entraînent l'élimination des feuilles et donc réduisent la capacité des arbres à réaliser la photosynthèse.

### 2.1.2 Dommages sur le tronc et les branches

Les blessures mécaniques peuvent être causées par des équipements, par exemple ceux utilisés pour le défrichage, le nivellement, la construction, la livraison de matériaux et l'aménagement paysager. Ces dommages peuvent causer des blessures aux branches et au tronc. Lorsque les tissus protecteurs et conducteurs de l'arbre sont endommagés, la capacité de l'arbre à effectuer le transport de l'eau et des nutriments est également affectée. De plus, les blessures attirent les insectes et rendent les arbres plus vulnérables à des invasions de pathogènes.

### 2.1.3 Dommages aux racines

Les dommages aux racines sont les plus fréquents durant les périodes de construction et les causes les plus courantes de ces dommages sont liées à des changements de niveau des sols (abaissement et exhaussement), aux excavations et creusements de tranchées pour les fondations et les passages des services utilitaires (câble, eau, etc.). Les dommages peuvent être mécaniques et entraîner des blessures directes aux racines blessées, les écraser ou encore les déchirer. Les dommages peuvent aussi être liés au compactage des sols, au stockage des matériaux et à l'installation des abris de travail. Lorsque les racines sont endommagées, dépendamment de la gravité des dommages et des racines endommagées, il arrive que la croissance de l'arbre ne soit plus soutenue et que les signes de déclin comment à apparaître.

#### - Excavation

Les racines situées à proximité des creusements de tranchées peuvent être sectionnées ou encore arrachées et ces dommages peuvent avoir des répercussions sur l'arbre entier. De plus, les déchirures des racines peuvent être envahies par des microorganismes pouvant causer le pourrissement des racines.

#### - Compaction du sol

La circulation durant les travaux de construction entraîne la compaction du sol, en particulier à la surface, où se trouvent les principales racines. Le niveau de compaction dépend de la force appliquée au sol, de la fréquence des événements causant la compaction, de la texture du sol et de son degré d'humidité. La compaction du sol entraîne des perturbations de la circulation de l'air et de l'eau dans le sol.

#### - Changements du niveau du sol

Les travaux de construction impliquent souvent l'élévation ou encore l'abaissement du niveau initial du sol. Une trop forte élévation peut entraîner la suffocation des racines, car le sol supplémentaire perturbe la circulation de l'air et de l'eau. L'abaissement du niveau de sol peut provoquer le sectionnement des racines, entraîner le déclin, la perte de stabilité de l'arbre ou sa mort.

#### - Déversements de polluants

Le déversement de produits chimiques comme les solvants de nettoyage, les diluants pour peinture, les huiles ainsi que les carburants est dommageable, en particulier pour le feuillage et les racines (contamination du sol).

## 2.1.4 Tolérance des arbres aux dommages

Les arbres n'ont pas le même niveau de tolérance face aux dommages. Plusieurs facteurs entrent en compte : l'espèce, les classes de maturité, la santé (intégrité structurale) ainsi que les sols. En général, les arbres plus âgés ou en mauvaise condition sont plus sensibles aux dommages liés aux travaux. Inversement, de jeunes arbres vigoureux sont généralement plus tolérants. En outre, certaines espèces semblent être plus tolérantes que d'autres, bien que cette notion de tolérance soit à associer avec d'autres facteurs de l'environnement ou encore de la gestion des arbres. La texture du sol peut également influencer la tolérance des arbres. Par exemple, les sols sableux résistent mieux à la compaction par rapport aux sols argileux. Finalement, la nature des travaux de construction ou encore la localisation des dommages sont des facteurs influençant la tolérance des arbres aux dommages.

## 2.1.5 Choix des arbres à protéger

Choisir les arbres à conserver n'est pas une tâche simple; tous les arbres ne sont pas destinés à être protégés. En règle générale, les arbres doivent être suffisamment sains pour qu'ils soient conservés. Les arbres sains, jeunes ou d'âge moyen et d'espèces résistantes ont la plus grande probabilité de survie à la suite des perturbations liées aux travaux de construction. Plusieurs espèces d'arbres sont considérées plus nobles (valeur patrimoniale ou esthétique) que d'autres et donc mériteraient davantage d'être conservées. Lorsqu'un arbre est à conserver, il est important de tenir compte de son emplacement, sa taille actuelle et future, son espèce, sa vigueur, le coût de sa préservation et le coût de son élimination.

Des arboriculteurs (Fite et Smiley 2019) proposent une fiche d'évaluation des arbres à conserver qui tient compte de plusieurs critères : la vigueur de l'arbre, de qualité du sol et autres (Figure 3). En général, il faudra utiliser une méthode d'évaluation acceptable pour décider des arbres conservés, et ce, en dépit de la subjectivité du processus.

Condition de santé * (1-15)	Dépérissant 1 ..... Vigoureux 15	
Coupe de racines/ Distance du remblai du tronc* (1-15 possible)	<15 cm par 2,5 cm DHP    15-30 cm par 2,5 cm DHP    30-45 cm par 2,5 cm DHP    >45 cm par 2,5 cm DHP	1    5    10    15
Défait structural** (1-15 possible)	Plusieurs    Quelques    Peu    Aucun	1    5    10    15
Tolérance de l'espèce à la construction (1-15 possible)	Faible    Faible/ Modérée    Modérée    Modérée/ Bonne    Bonne	1    3    7    11    15
Âge (relatif à l'espérance de vie de l'espèce) (1-10)	Suranné (> 2/3)    Mature (1/2-3/2)    Jeunes (<1/3)	1    5    15
Localisation des travaux de construction (1-10)	À l'intérieur de 3 x DHP    >2 x la projection du houppier au sol	1 ..... 10
Caractéristiques/ Qualité du sol (1-10)	Mal drainé, faible contenu en matières organiques et/ou humide ou sec, fortement argileux    Bien drainé, contenu élevé en matières organiques, humidité modérée	1 ..... 10
Désirabilité de l'espèce (1-15)	Faible    Élevée	1 ..... 10
<small>Conversion métrique : 2,5 cm = 1 po, 0,3 m = 1 pi *Si la valeur est de moins de 5, l'arbre ne sera en général pas un bon candidat en vue de sa préservation. ** Si la valeur est de moins de 10, il faut être attentif par rapport aux risques relatifs à la préservation. Si la valeur est de moins de 5, l'arbre ne sera en général pas un bon candidat en vue de sa préservation.</small>		Total (100) _____

80 et + Bonne :	Potentiel élevé de longévité sur le site après les travaux de construction.
60-79 Modérée :	Peut nécessiter une gestion et un suivi plus importants, et ce, avant, durant et après les travaux de construction, et peut présenter une plus faible espérance de vie que ceux dans la catégorie « bonne ».
- de 59 Faible :	Arbres qui vont probablement dépérir durant ou après les travaux de construction, indépendamment des mesures de mitigation utilisées.

Figure 3. Fiche d'évaluation des arbres à conserver (Fite et Smiley, 2019)

## 2.2 Méthodes de protection des arbres

### 2.2.1 Planification des travaux

Le but de la protection des arbres est de les mettre à l'abri des dommages tout en leur garantissant un espace vital adéquat. L'implication de l'arboriculteur doit être faite dès la planification, afin d'harmoniser le projet de construction avec celui de la protection. C'est également à ce stade qu'il faut identifier les arbres à conserver et/ou éliminer et préparer un plan de protection contenant les méthodes spécifiques de protection de chaque arbre. Voir l'exemple du Tableau 1.

### 2.2.2 Détermination de la zone de protection optimale (ZPO)

Le système racinaire est à protéger, car celui-ci assure de nombreuses fonctions. Aussi, il est important de garantir aux arbres un sol de qualité et indemne de toute contamination ou compaction.

Durant les travaux de construction, il faut s'assurer de protéger la zone de protection optimale de l'arbre (ZPO). La ZPO est la surface minimale de sol et de racines à protéger (Figure 4). C'est la zone qui doit être isolée des perturbations afin que l'arbre demeure viable. Aucune activité de construction ne devrait avoir lieu à l'intérieur de la ZPO.

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la ZPO :

- La méthode de la projection au sol du houppier pour déterminer la limite de la ZPO. Néanmoins, la détermination de la ZPO par cette méthode a des limites notamment en ce qui concerne les arbres dont le houppier est petit ou encore ceux dont le tronc est incliné.
- La méthode du diamètre du tronc, quant à elle, est basée sur le diamètre mesuré à hauteur de poitrine (DHP, 1,4 m au-dessus du sol). Cette mesure est multipliée par un facteur de 12 à 15 pour déterminer le rayon de la ZPO (BNQ, 2019).

Tableau 1. Exemple d'un plan de protection (Gulick, 2011)

Principales actions à mener pour la protection des arbres (arbre de plus de 12 pouces)

Numéro de l'arbre	Espèces	Diamètre	À protéger ou non ?	Taille des racines	Commentaires
1	<i>Liquidambar styraciflua</i>	18	Oui		Installation d'une clôture
2	<i>Liquidambar styraciflua</i>	18	Oui	Oui	Taillez les racines le long de l'allée. Installation d'une clôture.
3	<i>Prunus serotina</i>	14	Non		À supprimer
4	<i>Juglans regia</i>	14	Oui	Oui	Taillez les racines le long de la limite de la ligne de perturbation (ou supprimer l'arbre)

- Soit :  $DHP \text{ (cm)} \times 12 = \text{Rayon de la zone de protection optimale (cm)}$ .

Pour les arbres âgés ou pour ceux ayant une faible tolérance aux travaux, le rayon de protection doit être bonifié en multipliant le DHP par un facteur de 15 (BNQ, 2019). Dans certains cas, il peut être nécessaire de réduire la superficie de la ZPO sur un ou plusieurs côtés de l'arbre lorsque la construction d'une infrastructure prévue ne peut être implantée en dehors de celle-ci. Dans un pareil cas, l'agrandissement de la ZPO du côté opposé de l'arbre peut être une solution.

### 2.2.3 Détermination de la zone racinaire critique de l'arbre

Lorsque la zone de protection des arbres est empiétée par les activités de construction, il est alors primordial de protéger la zone racinaire critique (ZRC). La ZRC fait référence à la surface racinaire minimale qui est nécessaire au maintien de l'arbre, car endommager ces racines entraînerait une forte probabilité de la chute de l'arbre (Figure 4).

La détermination de la ZRC est subjective et il n'existe pas de définition biologique de cette surface.

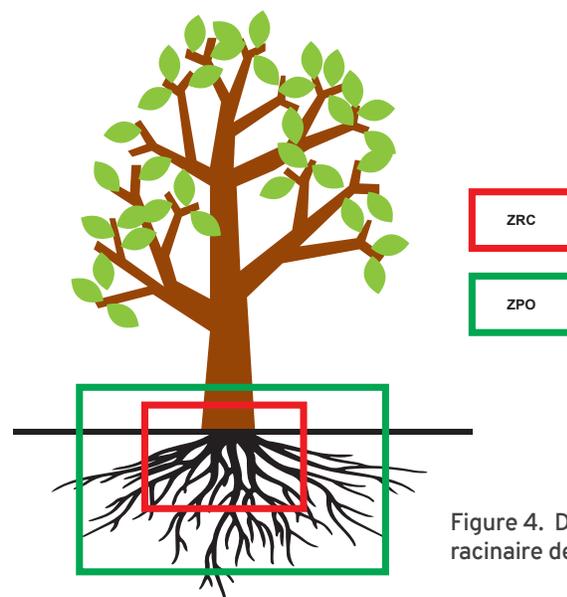


Figure 4. Détermination de la zone racinaire de protection

Par conséquent, ça varie selon le pays, et quelques fois selon la tolérance des arbres. En Australie, le calcul peut être fait de la manière suivante :

Rayon de la ZRC=  $(D \times 50)0,42 \times 0,64$ ; où D = diamètre du tronc mesuré au-dessus du contrefort de la racine. La ZRC pour des arbres dont le diamètre est inférieur à 0,15 m sera de 1,5 mètre (Australian Standard, 2009).

### 2.2.4 La clôture

La mise en place d'une clôture de protection a pour but de s'assurer que les activités de construction aient lieu en dehors de la zone de protection des arbres. Autrement dit, l'objectif est d'empêcher la circulation des machines lourdes, l'entreposage de matériel ou encore des activités pouvant causer des dommages à l'arbre (Figure 5). Les clôtures doivent être mises en place dès le début des travaux de construction et conservées intactes jusqu'à la fin des travaux, au moment de l'inspection finale.

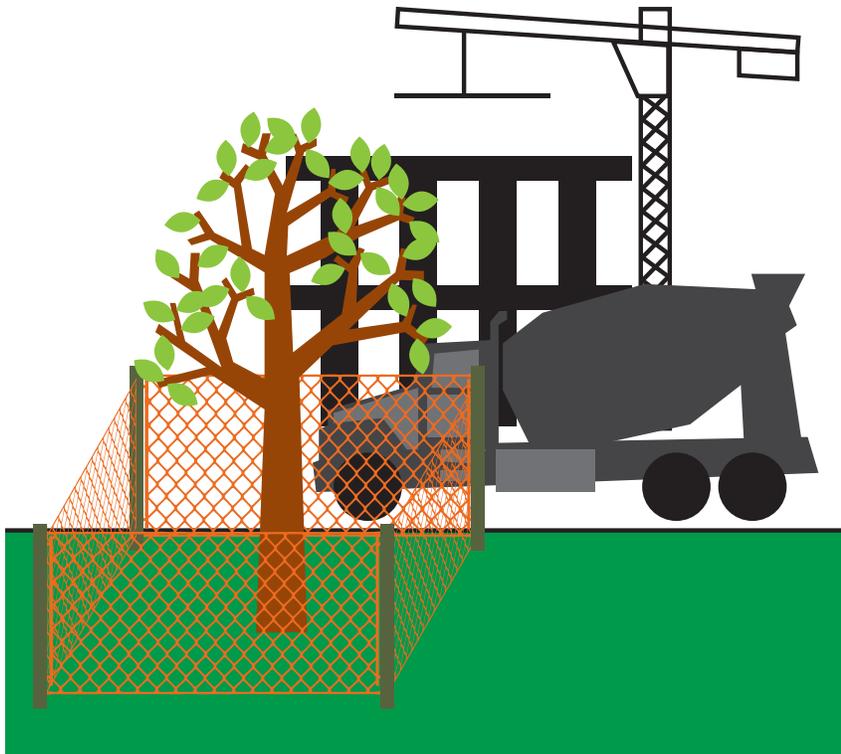


Figure 5. Clôture de protection

Il est recommandé que la clôture ait une hauteur d'environ 1,2 à 1,8 mètre de hauteur et qu'elle soit solidement enfoncée dans le sol (Figure 5). Les clôtures doivent être visibles, mais surtout robustes. L'installation d'une clôture en maille de chaîne, en grillage métallique ou en bois est à privilégier par rapport à une clôture plastique.

### 2.2.5 Protection du tronc et des branches

Le tronc et les branches doivent être protégés lorsque des activités effectuées dans leur proximité pourraient causer des dommages. Le tronc peut être protégé à travers l'installation d'un bouclier pour le protéger des blessures mécaniques. Le bouclier peut être monté à partir des madriers de bois, disposés de préférence sur un coussin (tissus matelassant) et maintenus à l'aide de sangle ou de fils de fer (Figure 6). Les madriers de bois peuvent être installés en biais lorsqu'il s'agit de protéger les troncs et racines contreforts évasés.

Le bouclier doit être installé de manière à permettre des ajustements en fonction de la croissance de l'arbre si celui-ci doit demeurer longtemps.

Pour ce qui est des branches, il est possible de les couvrir par une enveloppe ou alors de les relever à l'aide de madriers ou de cordes (Figure 7). Cette dernière option est une alternative à l'élagage.

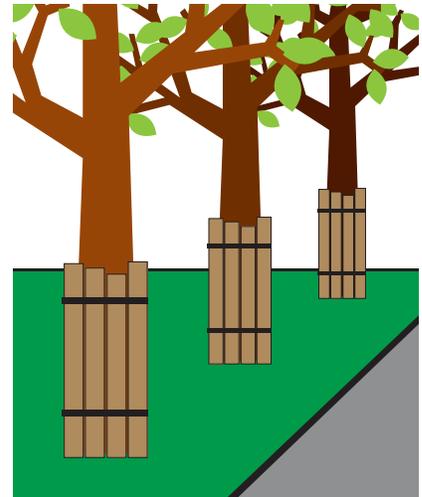


Figure 6. Protection du tronc

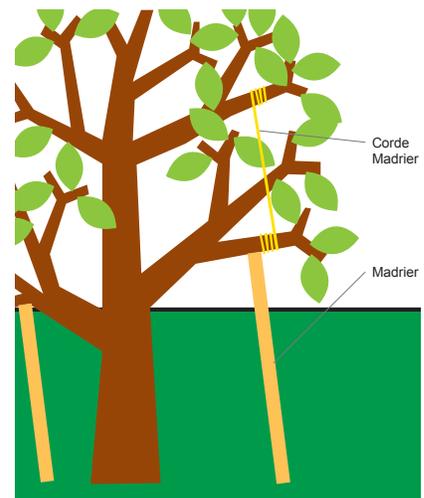


Figure 7. Relèvement des branches comme alternative à l'élagage

## 2.2.6 Élagage

Un élagage peut être fait afin de dégager l'aire de travail, dans le cas où des branches pourraient entrer en conflit avec les activités de construction, notamment le passage de la machinerie ou encore un dégagement des zones d'entreposage. L'élagage peut également être sanitaire : couper des branches mortes, malades ou dépérissantes afin de réduire le risque de bris de branches pouvant menacer la sécurité des ouvriers, des infrastructures ou de la machinerie.

## 2.2.7 La coupe des racines

Les travaux de construction peuvent exiger une coupe des racines plutôt que de les laisser être arrachées ou déchirées à cause des travaux. La coupe des racines doit être franche et une fois la racine taillée.

Une mauvaise coupe des racines, en particulier celles qui servent d'ancrage, peut gravement endommager l'arbre. Une racine déchirée se décomposera avec le temps et finira par compromettre l'intégrité structurale de l'arbre. Il est recommandé de couper les racines de plus de 2,5 cm de diamètre plutôt que de les conserver lorsque celles-ci sont déchirées ou écrasées.



Figure 8. Excavations à l'air

Deux méthodes de coupes des racines peuvent être considérées :

- Excavation du sol par le moyen d'une excavation pneumatique, de l'hydro-excavation ou bien d'outils manuels, suivie d'une taille sélective des racines;
- Coupe faite au travers du sol, le long d'une ligne prédéterminée en surface, à l'aide d'un outil spécialement conçu pour couper les racines.

L'excavation pneumatique ou l'hydro-excavation peuvent être faites à l'aide de tuyaux soufflant de l'air sous pression ou encore de l'eau afin de dégager les racines pour ensuite déterminer les endroits où effectuer les coupes (Figure 8). Les outils d'hydro-excavation à haute pression peuvent tout de même causer des dommages aux racines lorsqu'ils ne sont pas utilisés avec précaution.

Une fois que les racines sont exposées, leur coupe doit être franche de manière à maintenir l'écorce adjacente fermement attachée. La coupe peut être faite à l'aide d'un sécateur, d'une égoïne ou de petites scies à chaîne. Dans le cas des coupes faites au travers du sol, on recourt à des outils spécialement conçus à cet effet, par exemple, le Dosko ou encore le Vermeer Root Pruner. Il est recommandé de couper les racines le plus loin possible du tronc, car la stabilité et la santé des arbres peuvent être compromises lorsque les coupes sont effectuées trop près du tronc. Les coupes faites en dehors de la zone de protection de l'arbre (ZPO) sont rarement dommageables, mais cette tolérance de l'arbre dépend également d'autres facteurs tels que l'espèce d'arbre, son âge, son état de santé, la configuration de ses racines, les caractéristiques du sol, y compris la présence d'obstacles souterrains nuisant au développement des racines. Afin de contourner la pratique des tranchées d'excavation des racines, il est proposé de recourir au forage. Celui-ci permet de creuser des galeries sous les systèmes racinaires afin de faire l'installation de tuyaux et/ou câbles, sans sectionner les racines. Il faudra toutefois installer les machines

à forage à l'extérieur de la projection au sol du houppier de l'arbre. Le forage dirigé ou directionnel ne doit pas être orienté immédiatement sous le tronc de peur d'endommager les racines des arbres.

## 2.2.8 Protection des sols et des racines dans les zones de protection des arbres

Il arrive que certaines activités telles que la circulation des travailleurs, de la machinerie ou autres ne puissent être faites à l'extérieur de la zone de protection de l'arbre (ZPO). Lorsque tel est le cas, il faut instaurer des mesures supplémentaires afin de protéger la zone racinaire critique (ZRC) ainsi que les racines de la ZPO des dommages mécaniques, mais aussi mettre en place des mesures afin de réduire les risques de compaction du sol.

Parmi les mesures à prendre, il y a :

- L'application d'un paillis de copeaux de bois de 15 à 30 cm d'épaisseur comme tapis de protection du sol exposé. Ce paillis est recommandé pour les chantiers de très courte durée (moins d'un mois) (Figure 9).
- L'installation d'un ouvrage permettant la circulation de la machine lourde, par exemple un pont monté au-dessus des racines, en particulier dans le cas où la ZRC doit servir de passage de véhicule ou machinerie (Figure 10).
- La pose de feuilles de contreplaqué en bois d'une épaisseur minimale de 2 cm, de madriers, de billots de bois d'une épaisseur minimale de 10 cm;
- L'application d'une couche de 10 à 15 cm d'épaisseur de pierre concassée (gravier) par-dessus une toile géotextile tissée et non tissée par procédé d'aiguilletage. Le recours à cet ouvrage est indiqué pour les chantiers de moyenne à longue durée (plus d'un mois à une année).

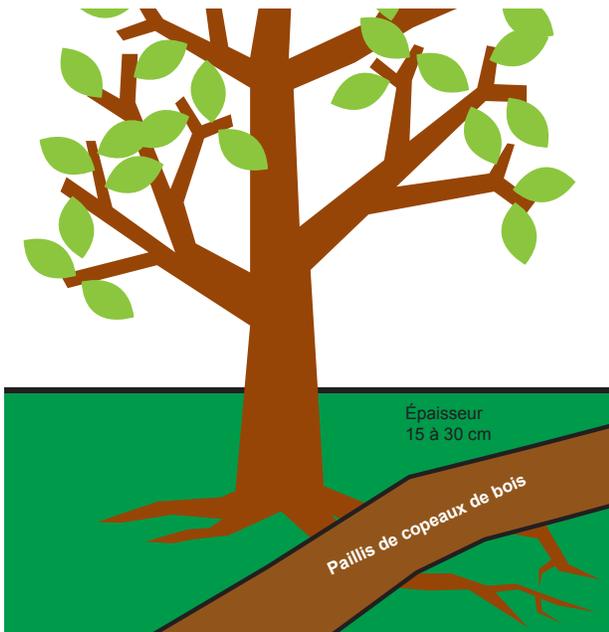


Figure 9. Paillage pour protéger le système racinaire

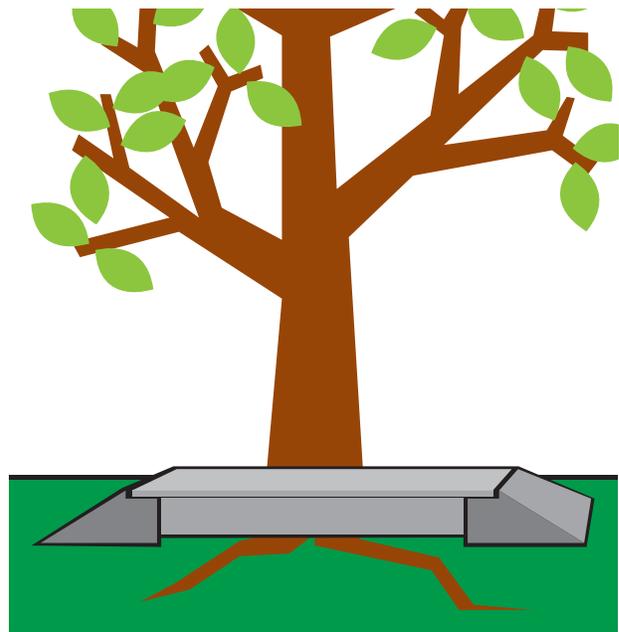


Figure 10. Pont pour protéger le système racinaire

La pierre concassée (gravier), la toile géotextile et l'excédent du paillis de plus de 10 cm d'épaisseur doivent être retirés de la ZPO une fois que les risques de dommages au sol ou aux racines sont passés. Toute opération d'enlèvement de végétation ou épandage de paillis à l'intérieur de la ZPO doit être effectuée manuellement et tous les efforts doivent être déployés afin de protéger le sol.

### 2.2.9 Protection des sols

Les arbres urbains ont besoin d'un sol indemne de polluants et de compaction, afin de ne pas nuire à l'approvisionnement des arbres en air, en eau ainsi qu'en nutriments. Par conséquent, lorsque cela est nécessaire, il est important d'améliorer les conditions de sol dans la zone de protection des arbres (Australian Standard, 2009).

#### - Fertilisation

Lorsque des carences sont détectées après analyses d'échantillons de sol et/ou de feuilles, il peut être nécessaire de formuler des recommandations de fertilisation aux arbres à protéger avant la construction. Afin d'appliquer la fertilisation, on peut perforer le sol autour de l'arbre, dans

sa zone de protection, et appliquer le fertilisant dans les trous. Il est recommandé que les trous aient une profondeur de 10 à 30 cm (10 à 20 cm de préférence) et d'y verser une quantité d'engrais de manière à laisser au moins 5 cm entre le haut de l'engrais et la surface du sol. Il faudra éviter de perforer le sol trop près du tronc (au minimum 1 mètre) afin de ne pas endommager les racines dans la zone racinaire critique (ZRC).

#### - Aération et amendement du sol

L'aération du sol représente un moyen de remédier aux problèmes de compaction et elle a pour but d'améliorer la rétention en eau ainsi que la circulation de l'oxygène du sol. Cette aération du sol peut être faite à partir de forage de trous autour de l'arbre (Figure 11) suivi d'un remplissage de ceux-ci avec de la matière organique ou des matériaux grossiers (vermiculite, sable, rempli de vers de terre). Il est également recommandé d'appliquer des mycorhizes au fond des sols perforés ou de les couvrir par du compost bien décomposé et de la terre végétale riche en matière organique pour stimuler le développement du système racinaire. La perforation de

trous peut être faite à l'aide d'appareils comme le Grow Gun ou encore le Terralift. Cependant, le recours à cette méthode peut provoquer des dommages aux racines des arbres et on lui reproche également l'aspect inesthétique qu'elle provoque lorsqu'elle est appliquée sur le gazon.

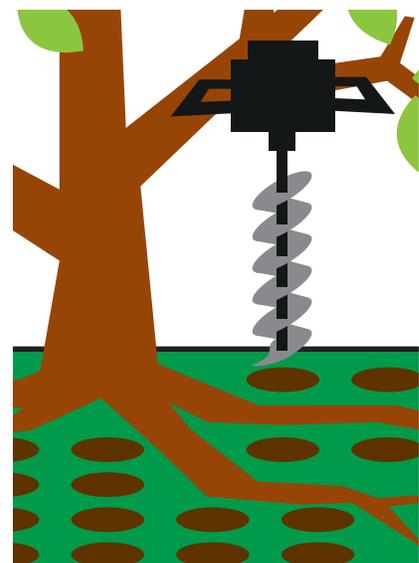


Figure 11. Perforation du sol pour la fertilisation

- **Irrigation**

Les arbres ayant subi des stress, par exemple la coupe des racines, auront besoin d'un arrosage abondant et régulier pour améliorer leur vigueur. L'eau devra irriguer la zone de protection de l'arbre de façon à atteindre les premiers 15 à 45 cm du niveau de sol original. Les besoins en eau varient en fonction des espèces d'arbres. Dans certains cas, ils peuvent se situer entre 2,5 à 5 cm d'eau par mois. L'irrigation peut être faite par des asperseurs, des systèmes goutte-à-goutte (micro-irrigation), des boyaux suintants ou l'injection d'eau dans le sol.

- **Paillis**

L'épandage d'un paillis organique peut aider à maintenir l'humidité du sol, mais aussi à atténuer les écarts de température du sol; éliminer la concurrence par le gazon; favoriser la biodiversité du sol ainsi que prévenir sa compaction. Il est recommandé que ce paillis, dans le cas des copeaux de bois, soit appliqué sur une épaisseur de 5 à 10 cm à l'intérieur de la ZPO. Il est aussi recommandé de procéder au paillis après avoir irrigué, car l'eau d'irrigation provenant de la surface peut mettre du temps à traverser l'épaisseur du paillis (Figure 12).

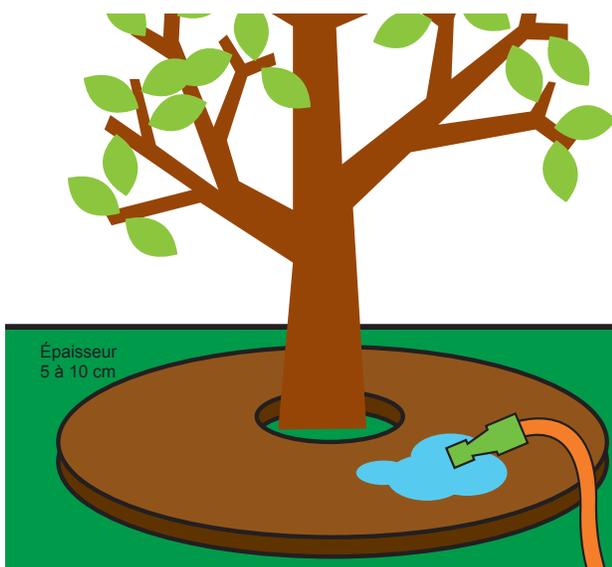


Figure 12. Paillis

**2.2.10 Tranchée et tunnel**

- **Tranchée**

Le creusement de tranchée est une excavation linéaire installée, entre autres, pour permettre le passage de lignes de services publics, fondations, routes, trottoirs et irrigation. Avant de procéder à toute tranchée, il est essentiel de protéger la zone racinaire critique, et ce, en particulier lorsque le creusement est proche du tronc. Il est recommandé que la tranchée soit faite le plus loin possible du tronc, en coupant le moins de racines que possible. L'excavation peut être faite par eau (hydro-excavation) ou par air comprimé (excavation pneumatique) tout en restant prudent concernant la pression de l'air ou de l'eau ainsi que la proximité des racines afin de ne pas les endommager (Figure 13). Ensuite, il faut tailler les racines proprement et remplir les tranchées dès que possible pour éviter une perte excessive d'humidité.

- **Tunnel**

Le tunnel représente aussi un moyen de faire passer des lignes d'utilité sous les racines. Son installation se fait à au moins 0,6 mètre en dessous des racines lorsqu'il se situe dans la zone de protection de l'arbre

afin de protéger les grandes racines structurales se trouvant à cette profondeur du sol (Figure 14). Lorsque les conditions le permettent, il faut considérer la possibilité de placer plusieurs lignes utilitaires dans des tranchées ou tunnels communs, car cela réduit le nombre de tranchées et de coupes de racines.



Figure 13. Excavation à l'air

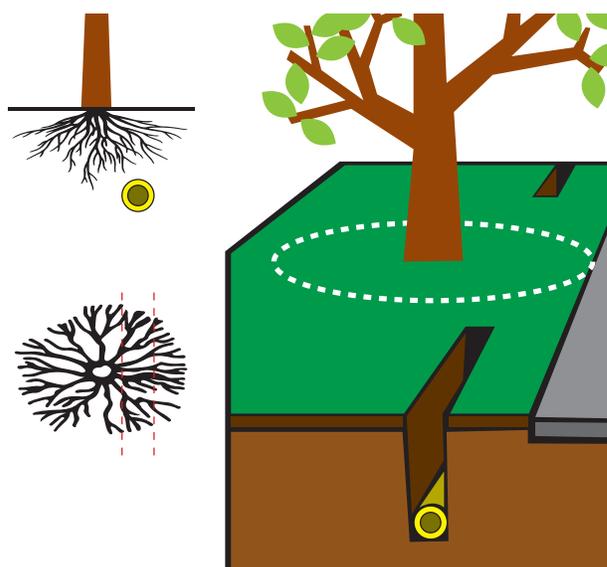


Figure 14. Passage d'un tunnel sous les racines

Le diamètre de l'arbre peut aider à estimer la distance minimale entre celui-ci et le tunnel (Gulick, 2011) (Tableau 2).

**Tableau 2. Distance minimale entre le tunnel et l'arbre en fonction de son diamètre**

Diamètre de l'arbre DHP	Distance minimale entre l'arbre et le tunnel
Moins de 15 cm	Ligne d'égouttement des arbres
15-23 cm	1,5 m
25-36 cm	3 m
38-48 cm	3,7 m
Plus de 48 cm	4,6 m

### 2.2.11 Changements de niveau du sol

Idéalement, tous les changements concernant le niveau de sol (augmentation ou abaissement) doivent se produire en dehors de la zone de protection des arbres. Ces changements peuvent être dévastateurs pour les arbres et entraîner des difficultés à reconstituer un système racinaire, et ce, plusieurs années après avoir subi les dommages liés aux changements de niveau du sol.

#### - Élévation du niveau du sol

La couche de remblai doit être mince et elle est à appliquer le plus loin possible du tronc. Lorsqu'il s'agit d'une élévation inférieure à 200 mm, un matériau comme le sable peut être utilisé, car les remblais à texture grossière permettent une plus grande circulation de l'eau et de l'air dans le sol.

Lorsque le rehaussement est de 200 mm et plus, il faut évaluer les probabilités de survie des arbres à l'issue d'une intervention aussi préjudiciable. Il est recommandé d'implanter un muret de retenue de sol sur la hauteur équivalente de sol rehaussé, en donnant à ce muret un diamètre permettant au tronc de se dévelop-

per normalement durant les années suivantes. La construction de ce muret doit être faite sans fondation ni excavation afin de protéger les racines. De plus, il est possible d'utiliser un léger lit de pose en sable grossier pour établir le niveau de départ du muret ou placer directement sur le sol existant un sol structural qualifié sur l'épaisseur requise pour le rehaussement, en plaçant si nécessaire, un géotextile sur la couche de sol structural dans l'éventualité où une couche supérieure de sol naturel serait installée pour une végétalisation. Pour ce qui est des matériaux à utiliser sous les remblais, l'utilisation d'une couche de géotextile contribue à empêcher à l'eau de percoler jusqu'au niveau naturel du terrain et aux racines. Ceci peut créer une nappe d'eau perchée pouvant inhiber la croissance des racines. Aussi, les géotextiles restreignent la croissance des racines et entravent le mélange des sols ainsi que la migration des macro-organismes du sol d'origine vers la couche de sol remblayé. Les racines doivent être en mesure de croître vers le haut dans la couche de remblai. Par conséquent, il est préférable de placer le sol de remblai en contact direct avec le sol naturel d'origine sans géotextile ni de couche de gravier. Une fois que les travaux de rehaussement sont terminés, il faut s'assurer de la bonne circulation de l'air et de l'eau entre la nouvelle surface de sol et le système racinaire sous-jacent. Pour une élévation du niveau du sol supérieure à 40 cm, on peut recourir à un système d'aération favorisant la circulation de l'oxygène et de l'eau dans le sol. Celui-ci consiste à installer un réseau de tuyaux de drain agricole (15 à 20 cm de diamètre) perforés en PVC. L'installation de ces tuyaux débute près du tronc et s'étend jusqu'à la limite de la projection au sol du houppier de l'arbre. On aménagera ensuite un puits autour du tronc, selon le diamètre de l'arbre, à l'intérieur duquel on posera un lit de pierre entre le niveau initial du sol et le sol de remblai. Il est souhaitable d'installer le puits le plus loin possible du tronc de l'arbre. Aussi, il faut

prévoir un système de drainage afin que l'eau ne s'accumule pas dans le puits et veiller aux taux d'humidité du sol dans le remblai et du sol original. L'efficacité de cette technique est cependant remise en doute par certains spécialistes, car aucune recherche ne permet de la démontrer. En général, les rehaussements de plus de 1,2 m autour des arbres sont à éviter en raison des importants risques qu'ils représentent quant à la survie des arbres.

#### - Abaissement du niveau du sol

Lorsque le niveau est abaissé à l'intérieur de la ZPO, d'importantes racines d'ancrage peuvent être coupées et cela peut entraîner d'importantes blessures, du stress ou de l'instabilité. Lorsque l'abaissement du niveau du sol est inférieur à 200 mm, un abaissement graduel doit être effectué tout en s'assurant de préserver les racines de plus de 50 mm de diamètre. Dans le cas où l'abaissement est supérieur à 200 mm, le sol doit être stabilisé par un muret ou un talus le plus possible de la limite de la ZPO. Les racines qui sont exposées doivent être sectionnées à l'aide d'outils ou d'équipements bien affûtés.

Le mur de soutènement doit être positionné le plus loin possible du tronc (Figure 15).

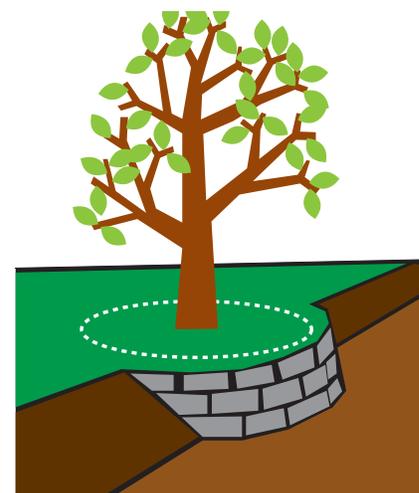


Figure 15. Mur de soutènement

## 2.2.12 Suivi des travaux

La communication entre membres des équipes est également à considérer comme une mesure de protection des arbres et celle-ci doit être présente à toutes les phases du projet. Pour y parvenir, il est important de créer des canaux de communication clairs entre membres des équipes. Durant la phase de construction, l'arboriculteur doit rester en contact avec les autres équipes du chantier et faire des inspections afin de s'assurer du maintien de l'intégrité des mesures de protection mises en place. De plus, une attention particulière doit être portée sur les arbres ayant subi des dommages, le cas échéant. Il faut également surveiller le niveau d'humidité des sols (irrigation du sol), les changements sur les arbres, la présence d'insectes et procéder à des interventions lorsque cela est nécessaire (par exemple, traitement des blessures). La surveillance des arbres devrait s'étendre au-delà de la période de construction et continuer au courant de la phase post-construction qui débute lorsque les travaux sont complètement achevés. C'est à ce moment que les clôtures des ZPO peuvent être retirées. La surveillance après travaux doit continuer et concerner les paramètres cités plus haut (phase de construction). Lorsque des problèmes sont détectés, des mesures doivent être prises. De ce fait, une fertilisation pourrait être effectuée sur la base des analyses du contenu en nutriments des feuilles et/ou du sol. La santé des arbres doit également être évaluée en fonction de la situation initiale afin d'évaluer les changements. Il arrive qu'un plan de gestion des arbres sur le long terme soit recommandé afin d'encourager les propriétaires ou gestionnaires à maintenir un niveau acceptable d'entretien de leurs arbres. Une mauvaise gestion ou alors un entretien déficient peuvent entraîner la perte des arbres, et ce, en dépit des efforts déployés pour les préserver. C'est ainsi qu'il est également important, à toutes les phases du projet, de veiller au respect des ententes contractuelles liées aux travaux de construction, et ceci concerne les responsabilités de chacune des parties.

## 2.2.13 Protection des arbres selon les différentes phases des projets d'infrastructures

Les différentes mesures de protection des arbres peuvent être résumées comme suit :

### Phase de planification

- Consulter l'arboriculteur dès le début de cette phase afin d'intégrer les techniques et moyens visant à la protection des arbres;
- Faire un inventaire préalable des éléments naturels du site (présence de sols rétractables), y compris des arbres;
- Localiser les arbres et faire une évaluation de leur santé, longévité et des bénéfiques pour le site;
- Identifier les arbres selon l'espèce, la taille, les conditions, l'espace occupé et la structure;
- Évaluer les ressources à conserver et leur attribuer une côte selon leur valeur de conservation;
- Évaluer tous les arbres se trouvant sur le site ou au minimum tous les arbres concernés par la zone du projet de construction;
- Identifier tous les arbres situés sur le site et les faire évaluer par l'arboriculteur de façon à décider quel arbre retenir et/ou quel arbre enlever;
- Élaborer un rapport préliminaire de protection à l'issue de l'évaluation préliminaire des arbres. Les arbres sélectionnés pour la rétention doivent être identifiés et marqués sur le document et celui-ci doit également présenter la localisation des zones de protection des arbres ainsi qu'une évaluation des impacts des travaux sur les arbres.

### Phase de conception

- Intégrer les arbres à protéger dans la conception des nouveaux sites et indiquer leur localisation sur les plans;
- Élaborer un rapport / plan de gestion des arbres à conserver sur le site et celui-ci doit inclure une évaluation des impacts sur les arbres et arbustes;
- Le rapport/plan de gestion doit inclure : les arbres à retenir, les zones de protection des arbres, les barrières de protection des arbres, le plan de protection des arbres, le contrôle de l'érosion des sols, le contrôle du compactage du sol, les zones de rassemblement et de stockage, les services publics existants et proposés et les autres activités sur place;
- Mettre en place des mesures de protection des arbres avant tous travaux de nivellement ou de démolition;
- S'assurer que toutes les parties impliquées dans le projet de développement sont informées des plans de conservations des arbres;
- Installer les clôtures de protection des arbres avant l'exécution de toute activité pouvant avoir un impact sur le système racinaire ou au-dessus des parties du sol de l'arbre et les maintenir jusqu'à leur fin;
- Installer des pancartes identifiant les zones de protection optimale des arbres et les placer sur les pourtours des clôtures de manière à ce qu'elles soient visibles;

Lorsque cela est nécessaire, prendre des mesures de protection des troncs, des branches, du sol, mais également des racines dans le cas où des travaux devraient être faits à l'intérieur de la ZPO;

- Faire approuver le plan de protection des arbres avant le début des travaux par tous les intervenants dans le projet;
- Manipuler et stocker tout matériau loin du bord extérieur de la zone de protection des racines;
- Préserver la zone racinaire critique lorsque des empiètements sont prévus à l'intérieur de la zone de protection optimale des arbres.

#### **Phase de réalisation**

- Vérifier que toutes les protections d'arbres sont bien mises en place et faire le suivi de leur maintien durant les travaux de construction;
- Faire le suivi de la santé des arbres et rapporter tout problème pouvant l'entraver.

#### **Phase post-construction**

- Faire une inspection finale au moment de l'achèvement des travaux de réparation et certifier (le cas échéant) que les travaux achevés ont été exécutés conformément aux plans et devis approuvés pour la protection des arbres;
- Évaluer l'état des arbres et leur environnement de croissance et faire des recommandations pour les mesures correctives nécessaires;
- Établir un programme d'entretien impliquant l'arrosage des arbres pour au moins une année après les travaux et au mieux deux ans;
- Prendre soin des arbres blessés;
- Des inspections périodiques (sur deux ans au moins) devront être faites et à l'issue de celles-ci, des interventions pourraient être décidées;
- Envisager des travaux visant à réduire la compaction du sol, mais en veillant à choisir la technique qui aura le moins de répercussions sur le système racinaire des arbres à protéger;
- Transférer la responsabilité de l'entretien et des soins de l'entrepreneur/arboriculteur au propriétaire.

# CONCLUSION

---

Les arbres urbains offrent de nombreux services environnementaux et leur importance n'est plus à démontrer. Cependant, la ville est un milieu en continu développement, et les arbres ne sont pas épargnés par les nombreux projets de développement urbain (construction et/ou réfection). Afin d'assurer la protection des arbres durant ces périodes, il est important de prendre en compte

de leur présence, et ce, dès la phase de planification des travaux, mais aussi tout au long du développement du projet. Il est important de commencer par faire un inventaire des arbres présents afin d'être en mesure de décider quels arbres sont à conserver et/ou enlever. Il faut ensuite harmoniser le plan de protection des arbres avec le plan d'aménagement des infrastructures. Une fois les

mesures de protection des arbres mises en place, il sera important de veiller à leur maintien tout au long du développement du projet. L'efficacité de ce processus dépendra de la communication entre tous les membres des équipes impliqués, et ce durant toutes les phases du projet.



# RÉFÉRENCES

---

- ANSI (2012). Tree, Shrub, and Other Woody Plant Management – Standard Practices (Management of Trees and Shrubs During Site Planning, Site Development, and Construction). ANSI A300 (Part5) - 2012. American National Standards for Tree Care Operations, pp. 10-13.
- Australian Standard (2009). Protection of trees on development sites. AS 4970 – 2009, 32p.
- Bernard, K. E., Dennis, C., & Jacobi, W. R. (2003). Protecting Trees during construction. *Gardening series. Trees & shrubs*; no. 7.420.
- BNQ (2019). Bureau de normalisation du Québec. BNQ 0605-100/2019. Aménagement paysager à l'aide de végétaux, pp. 11-51.
- British Standard (2012). Trees in relation to design, demolition and construction – recommandations. BS 5837:2012. BSI Standards Publication. 50p.
- Coder, K. D. (1998). Tree root growth control series: Tree root and infrastructure damage. University of Georgia. 6p.
- Costello, L. R., & Jones, K. S. (2003). Reducing infrastructure damage by tree roots: a compendium of strategies. Western Chapter of the International Society of Arboriculture (WCISA), 119 p.
- Craul, P. J. (1994). Urban soils, an overview and their future. In *The landscape below ground. Proceedings of an International Workshop on Tree Root Development in Urban Soils*. International Society of Arboriculture, 115-126.
- Day, S. D., Eric Wiseman, P., Dickinson, S. B., & Roger Harris, J. (2010). Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere. *Journal of Arboriculture*, 36(5), 193.
- Drénou, C. (2006). Les racines: face cachée des arbres. Forêt privée française. Institut pour le développement forestier. pp. 290-306.
- Elmendorf, W., Gerhold, H. & Kuhns, L. (2005). A guide to Preserving Trees in Development Projects. Penn State. College of Agricultural Sciences. Agricultural Research and Cooperative Extension. 27p.
- EPA (2011). Evaluation of urban soils : suitability for green infrastructure or urban agriculture. United States Environmental Protection Agency. EPA Publication No. 905R1103, p.2.
- Fite, K. & Smiley, E.T. (2019). Meilleures pratiques de gestion. Gestion des arbres lors de travaux de construction, 2<sup>e</sup> édition. Société internationale d'arboriculture. Québec. 23p.
- Gulick, J. (2011). Understanding & protecting Trees During Municipal Construction Projects. Purdue Road Scholl, March 2011. Davey Resource Group. 31p.
- Jim, C. Y. (1998). Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth. *Urban Ecosystems*, 2(2-3), 171-181.
- Matheny, N. P., & Clark, J. R. (1998). *Trees and development: A technical guide to preservation of trees during land development*. International Society of Arboriculture. 181p.
- Morel, J.C., Schwartz, C., Florentin, L. & de Kimpe, C. (2005). Urban soils. In *Encyclopedia of Soils in the Environment (Vol. 3)*. Hillel, D., & Hatfield, J. L. (Eds.). Amsterdam: Elsevier. Pp. 202-208.
- Pouyat, R.V., Day, S.D., Brown, S., Schwartz, K., Shaw, R.E., Szlavecz, K., Trammell, T.L.E. and Yesilonis, D. (2020). Urban soils. *Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions*, pp 127-144. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-45216-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-45216-2_7)
- Randrup, T. B. (1997). Soil compaction on construction sites. *Journal of Arboriculture*, 23, 208-210.
- Randrup, T. B., McPherson, E. G., & Costello, L. R. (2001). A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs, and roads. *Urban Ecosystems*, 5(3), 209-225.
- Rossignol, J.-P. (2012). Les sols dans les plantations arborées urbaines. L'arbre dans la ville. Académie d'Agriculture de France, 14p.
- Rossignol, J.P. (2006). Concilier racines et sols urbains. In *Les racines: face cachée des arbres. Forêt privée française*. Institut pour le développement forestier. pp. 276-290.
- SOPA (2004). Guidelines for the protection of trees on construction sites. Sydney Olympic Park, 44p.
- Suchocka, M., Jankowski, P., & Błaszczuk, M. (2019). Tree protection on construction sites—knowledge and perception of Polish professionals. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126436.
- Watson, G. W., Hewitt, A. M., Cusic, M., & Lo, M. (2014b). The Management of Tree Growth. *Arboriculture & Urban Forestry*, 40(4).

