



HAL
open science

Les sols urbains, des milieux contraignants pour le développement de l'arbre dans la ville

Quentin Gouedard

► **To cite this version:**

Quentin Gouedard. Les sols urbains, des milieux contraignants pour le développement de l'arbre dans la ville. Sciences agricoles. 2014. dumas-01071315

HAL Id: dumas-01071315

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01071315>

Submitted on 3 Oct 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**AGROCAMPUS
OUEST**

CFR Angers

CFR Rennes



Année universitaire : 2013-2014

Spécialité :

Paysage

Spécialisation (et option éventuelle) :

Maîtrise d'Œuvre et Ingénierie

Mémoire de Fin d'Études

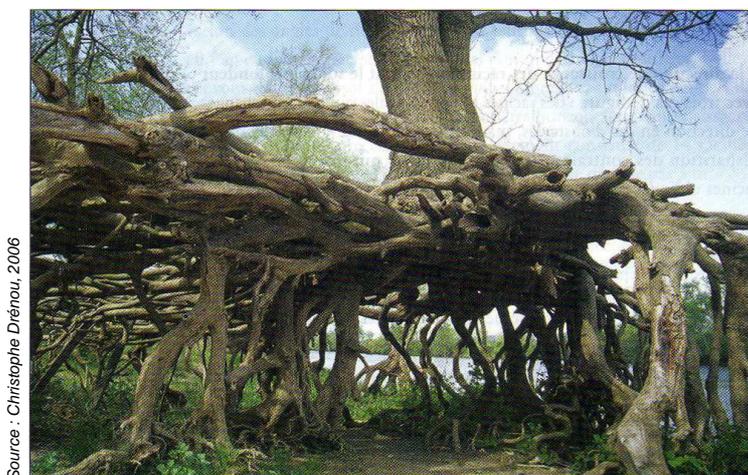
d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Les sols urbains, des milieux contraignants pour le développement de l'arbre dans la ville

Par : Quentin GOUEDARD



Source : Christophe Drenou, 2006

Soutenu à Angers le 18 Septembre 2014

Devant le jury composé de :

Président : Joséphine AUDEBERT

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Maître de stage : Aurélien ADAM

Enseignant référent : Christophe MIGEON

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité :

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible⁽¹⁾.

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant).

Date et signature du maître de stage⁽²⁾ : 30/09/14

VU D'ICI
2, Rue Amédéo Avogadro - 49070 BEAUCOUZE
Tél. 02 41 72 17 30
Capital 7622 € - RCS Angers 414 334 615

Droits d'auteur :

L'auteur⁽³⁾ autorise la diffusion de son travail

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

Date et signature de l'auteur :

Le 29 septembre 2014



Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant :

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

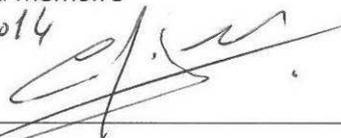
Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant : 29/09/2014



(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Merci à Mickael Ripoché, Directeur et à toute l'équipe de l'agence Vu D'Ici, de m'avoir accueilli lors de ce stage de fin d'études. Merci en particulier à Aurélien Adam, qui m'a suivi, guidé et conseillé tout au long de ce stage et de la rédaction de ce mémoire. Merci à Isabelle Leroux, pour avoir partagé son bureau et pour m'avoir accompagné sur différents projets de l'agence.

Merci aux enseignants et à l'ensemble du personnel d'AgroCampus-Ouest pour m'avoir apporté de nombreuses bases de connaissances et de réflexions au sujet de l'horticulture et du paysage. Merci aussi aux camarades de l'école pour avoir partagé bons moments, travail, joie et connaissance.

Merci en particulier à M. Christophe MIGEON pour m'avoir suivi et conseillé lors de la rédaction de document, marquant la fin de ma formation.

Un immense merci à Denis BARBE, modeste maraîcher biologique, fervent défenseur de l'écologie rurale et du patrimoine naturel, qui m'a sensibilisé dès mon plus jeune âge à la Nature, l'Eau, la Vie. Avec qui j'ai partagé certains de mes meilleurs souvenirs de randonnées, moments de prise de recul privilégiés, d'observation, qui m'a fait découvrir d'autres facettes de la perception de la vie sur Terre et du monde naturel. C'est probablement lui qui, grâce à son enseignement si riche, et à la fois si simple, son désir de partage, d'échange, m'a donné envie d'intégrer la filière du Paysage et de m'y investir fermement, et que je parviens aujourd'hui à la rédaction de ce mémoire.

Enfin et surtout, un très grand merci à ceux qui m'ont soutenu dans cette épreuve et qui m'ont permis d'atteindre cette étape finale de mon projet de formation en horticulture et en paysage.

Table des matières

Remerciements

Glossaire

Liste des abréviations

Liste des annexes

Liste des illustrations

Avant-propos

Introduction 1

1 L'arbre entre besoin vital de Nature et forte pression anthropique* 2

1.1 L'arbre en tant qu'entité.....2

1.1.1 Définition 2

1.1.2 Biologie générale de l'arbre..... 2

1.2 Les perceptions de l'arbre en ville.....3

1.2.1 L'origine de l'arbre dans la civilisation 3

1.2.2 La représentation de l'arbre dans la société actuelle 4

1.3 Le rôle de l'arbre dans la ville.....5

1.3.1 Améliore le bien être des usagers 5

1.3.2 Fonction sociale 6

1.3.3 L'arbre comme clé de lecture fondamentale de l'espace 6

1.3.4 Fonction écologique 6

1.3.5 Fonction économique..... 7

1.3.6 Un outil efficace pour l'éducation et la sensibilisation des populations..... 7

1.4 Un être vivant fragile dans des conditions de sol difficiles.....7

1.4.1 Une mortalité importante des arbres en ville 7

1.4.2 Un environnement urbain peu propice au développement de l'arbre 8

1.5 Synthèse et problématique.....9

2 Un équilibre nécessaire du sol à l'arbre 10

2.1 Le développement du système racinaire en milieu naturel 10

2.1.1 Une morphologie racinaire aux caractéristiques spécifiques 10

2.1.2 De nombreuses différences architecturales entre les espèces 10

2.1.3 Une architecture racinaire évolutive peu adaptée au contexte de la ville 12

2.1.4 Zoom sur la biologie racinaire 14

2.1.5 La prise en compte du système racinaire dans la représentation des arbres..... 14

2.2	Les conséquences du milieu contraint sur les racines.....	17
2.2.1	Les anthroposols*urbains.....	17
2.2.2	La fertilité des sols urbains	19
2.2.3	Des plantations d’hier à celles d’aujourd’hui	20
2.2.4	Un manque de recul sur la technique du mélange terre-pierre*(MTP).....	22
2.3	Des techniques culturelles inappropriées.....	25
2.3.1	Des méthodes de production défavorables à long terme.....	25
2.3.2	Sortir les plantations de l’assistanat.....	27
2.4	Moyens de protection de l’arbre dans le temps	28
2.4.1	La réglementation comme outil de pérennisation des arbres	28
2.4.2	La sensibilisation comme moyen préventif de protection des arbres en ville.....	30
2.5	Synthèse	30
3	Des tendances rassurantes qui mettent en exergue des lacunes et incertitudes	31
3.1	Les racines, une partie de la dendrologie qui reste mal connue	31
3.1.1	Une description morphologique par espèce pour les projets de demain.....	31
3.1.2	Une évolution de la palette végétale par la génétique	31
3.1.3	Une biologie complexe dont il reste beaucoup à découvrir.....	32
3.1.4	L’arbre et la phytosociologie	32
3.2	De nombreuses lacunes dans la connaissance des sols urbains.....	33
3.2.1	Des milieux historiquement peu intéressants pour le pédologue	33
3.2.2	Le sol socle support à la croisée de multiples acteurs décisionnels.....	34
3.2.3	Vers une protection des sols	35
3.3	Quel végétal pour le paysage urbain de demain ?	35
3.3.1	Une politique de court terme en défaveur de la santé des arbres	35
3.3.2	L’arbre dans les formes urbaines de demain ?.....	35
3.3.3	Des mœurs et une culture en constante évolution.....	36
3.3.4	L’évolution du climat dans le choix des plantations.....	37
3.4	Synthèse	37
	Conclusion générale.....	38
	Bibliographie	39
	Sitographie.....	39
	Annexes	I

Glossaire

Chacun des termes définis dans ce glossaire sera identifié par un astérisque (*) dans ce rapport.

Anastomose : Connexion physique entre deux structures, organes ou espaces. Il s'agit ici de la communication physique et chimique entre les racines de deux arbres, semblable à une soudure ou un greffe.

Angiosperme : Végétal dont les organes reproducteurs sont condensés en une fleur et dont les graines fécondées sont enfermées dans un fruit. (futura-science.fr)

Anthropique : Se dit d'un paysage, d'un sol, d'un relief dont la formation résulte essentiellement de l'intervention de l'Homme.

Anthroposols : Les anthroposols sont des sols fortement modifiés ou fabriqués par l'Homme, caractéristiques en milieu urbain mais aussi, en milieu rural.

Appareil caulinaire : du Grec *caulos* : la tige, l'appareil caulinaire comprend l'ensemble des tiges d'une plante et des organes qu'elles portent (dont le feuillage, les fleurs) ; tout ce qui a trait à la tige est qualifié de caulinaire.

Calibre 60/90 : Se dit d'un matériau en vrac, d'un granulat (exemple : sable, gravier, cailloux) pour désigner la taille en millimètres des plus petits et des plus grands éléments qui le composent.

Cernage : Le cernage consiste à creuser une tranchée autour des racines d'un arbre afin de préparer son arrachage ou pour l'arbre fruitier, le pousser à fructifier. En pépinière, cela consiste à passer une lame autour du système racinaire pour le forcer à se ramifier.

Charpentière : Pour une le système racinaire, il s'agit de racines structurantes dirigées à l'horizontal dans le sol, à l'origine de l'architecture générale de l'organe souterrain de l'arbre. Pour la partie aérienne, il s'agit des branches principales.

Chevelu racinaire : constitue l'ensemble des racines les plus fines de la plante, de diamètre compris entre 100 microns et 1 millimètre. Elles servent à explorer finement le sol et prélever les éléments nutritifs du sol, ainsi que l'eau.

Chicot : en arboriculture, le chicot représente un morceau de tige (ou de racine) restant après la taille de l'organe, totalement dépourvu de ramification, qui a tendance se dévitaliser et provoquer l'apparition de champignons lignivores ou d'insectes xylophages.

Collet : partie de la plante située au niveau du sol, à la limite entre la partie souterraine et la partie aérienne d'une plante.

Couche arable : couche superficielle du sol riche en humus, qui généralement est régulièrement retournée par la charrue lors du labour.

Couronne : partie aérienne de l'arbre composée des branches, rameaux et feuilles ne comprenant pas le tronc dans sa partie dégarnie. Synonyme de houppier*.

Débourrement : processus biologique consistant au redémarrage de la végétation par une poussée de sève au début du printemps, ayant pour conséquence l'éclosion des premières feuilles ou fleurs. Il marque la fin de la période de dormance hivernale.

Dendrologie : du grec *dendron* qui signifie l'arbre, et *logos* le discours, la science. C'est une partie de la botanique qui a pour objet l'étude des arbres.

Densité apparente : Elle correspond à la masse volumique d'un matériau brut (de la terre), comportant des vides et des pleins (la porosité). Elle est donc inférieure à la densité réelle du matériau qui ne tient compte que des pleins.

Développement durable : Introduit officiellement lors du Sommet de Rio de 1992, « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. » (Rapport Brundland, 1987)

Distal : se dit de la partie d'un organe (ou d'un membre) qui est la plus éloignée d'un organe de référence (comme le tronc), en l'occurrence ici, le bout de la racine.

Edaphique : qui est relatif aux relations entre le sol et les êtres vivants du sol.

Extrants : Produits ou matériaux devant être évacués du site à aménager du fait de leurs propriétés physiques ou chimiques inadaptées ou d'un taux de pollution non admissible, par exemple.

Fasciculé : désigne une organisation des éléments (ici les racines) en touffe, en réseau, nombreux, d'égale grandeur et peu ramifiées.

Force 25/30 : désigne la classe d'arbres dont la circonférence du tronc à 1m du sol est comprise entre 25 et 30cm.

Éléments nutritifs du sol : trop souvent simplement désigné par le triplet N, P, K (azote, phosphore et potassium), ils constituent l'ensemble des éléments minéraux du sol assimilables par les plantes pour leur développement.

Gymnosperme : Plante dont l'ovule est à nu et porté par des pièces florales fertiles, par opposition aux angiospermes. (futura-science.fr)

Horizon : en pédologie, il définit une couche de matériaux du sol de nature homogène.

Houppier : en arboriculture il désigne l'ensemble des branches, des rameaux, des feuilles et des fleurs, supportés par le tronc.

Intrants : produits et amendements exogènes et de nature diverse, apportés par l'agriculteur dans les champs, nécessaires au développement des cultures.

Kaolin : argile blanche, friable et réfractaire (qui résiste bien à la chaleur), riche en silice et en aluminium servant de matière première pour la fabrication de la porcelaine. On l'utilise aussi dans la fabrication du papier, en médecine, en peinture et en cosmétique.*

Litière organique : Elle désigne généralement l'ensemble des feuilles mortes, des débris d'origine végétale et animale déposés à la surface du sol et constitue la couche de matière organique non décomposée du sol.

Mâchefer : résidus solides de la combustion du charbon ou du coke, restant au fond du four après incinération, majoritairement composés de matériaux incombustibles.

Macrofaune : désigne l'ensemble des animaux visibles à l'œil nu.

Macronutriments : désigne les éléments minéraux du sol se retrouvant dans des concentrations supérieures ou égales à 1% dans les organismes vivants. Il s'agit de l'azote, du potassium, du calcium, du magnésium, du phosphore et du soufre.

Mélange terre-pierre : Substrat développé conjointement par l'INRA d'Angers et les Ponts et Chaussées des Ponts-de-Cé en 1986, spécifiquement conçu pour satisfaire des besoins de portance aux abords de la voirie tout en permettant le développement racinaire des arbres. Il est généralement constitué de 2/3 à ¾ de pierres et ¼ à 1/3 de terre végétale.

Microfaune : désigne l'ensemble des animaux invisibles à l'œil nu

Motte grillagée : mode de conditionnement des arbres caractérisé par la conservation d'une motte de terre au niveau des racines de l'arbre au moment de l'arrachage, dont le diamètre doit être au moins égal à trois fois la circonférence du tronc à 1m du sol.

Oligoéléments : ou micronutriments, ils désignent les éléments minéraux du sol se retrouvant dans des concentrations inférieures à 1% dans les organismes vivants. Il s'agit notamment du chlore, du fer, du bore, du manganèse, du zinc, du cuivre, du nickel et du molybdène.

Ontogénique : relatif au développement progressif d'un organisme depuis sa conception jusqu'à sa forme mûre.

Phanérogame : plantes à graines ayant des organes reproducteurs apparents, regroupant les angiospermes et les gymnospermes. (Larousse en ligne, 2014)

Phloème : tissu conducteur de la sève élaborée situé en périphérie du tronc et des branches des végétaux vasculaires (dont les ligneux).

Pivot : racine structurante dont la direction fait un angle inférieur à 45° avec la verticale. (Lucot et Bruckert, 1992)

Réitération : répétition du modèle de développement d'un organe (ici branche ou racine) dont les caractères sont identiques à l'élément architectural type de l'espèce en présence. Elle peut être partielle ou totale.

Rhizosphère : désigne la région du sol directement formée et influencée par les racines et les microorganismes du sol associés.

Sève brute : fluide nutritif simple constitué d'eau et d'éléments minéraux prélevés dans le sol et véhiculé par les vaisseaux conducteurs du xylème.

Sève élaborée : fluide nutritif retravaillé composée d'eau, de sucres, de lipides et protides, véhiculé par les vaisseaux conducteurs du phloème.

Traçant : se dit d'une racine qui s'étend horizontalement dans le terre.

Trame Verte et Bleue* (TVB) : mesure phare du Grenelle Environnement qui porte l'ambition d'enrayer le déclin de la biodiversité au travers de la préservation et de la restauration des continuités écologiques (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie).

Xylème : tissu conducteur de la sève brute constitué de cellules mortes, situé dans le tronc et les branches des végétaux vasculaires tels que les arbres et arbustes.

Liste des abréviations

ABF : Architecte des Bâtiments de France

AMVAP : Aire de Mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine

BRF : Bois Raméal Fragmenté

CEC : Capacité d'Echange de Cations

DT : Déclaration de Travaux

EBC : Espaces Boisés Classés

MG : Motte Grillagée

MH : Monuments Historique

MPa : Méga Pascal

MTP : Mélange Terre-Pierre

pH : Potentiel Hydroxyde

PLU : Plan Local d'Urbanisme

RN : Racines Nues

VOC : Volatile Organic Compound (Composés organiques volatiles)

ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

ZPPAUP : Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager

Liste des annexes

Annexe I : Présentation de l'architecture adulte du système racinaire de 9 espèces d'arbres (4 résineux et 5 feuillus). Drénou, 2006	2
Annexe II : Evolution de l'architecture du système racinaire des arbres. (Raimbault, 2003)...	6
Annexe III : Schématisation des 10 stades de développement de l'arbre (Raimbault, 1993) .	7
Annexe IV : Evolution du volume de l'appareil aérien au cours des différents stades de développement (Raimbault, 1993).....	7
Annexe V : Représentation schématique de l'évolution racinaire de 8 espèces d'arbre, selon Raimbault (2003).....	8
Annexe VI : Conséquences d'un obstacle sur le développement racinaire selon Drénou (2006).....	9
Annexe VII : Evolution de la croissance de quelques espèces plantées en alignement dans les rues d'Angers dans un substrat de Mélange terre-pierre (MTP).....	11
Annexe VIII : Autrefois, on pratiquait une plantation naturelle (Propos de Daniel SOUPE, pépiniériste de gros sujets).....	20

Liste des illustrations

Figure 1 : Schéma de principe du cycle de fonctionnement biologique de l'arbre. (Gillig, 2008).....	2
Figure 2 : Peinture de la Promenade du Boulevard Saint-Antoine au 17 ^e siècle (Pascalis, 2005).....	3
Figure 3 : Représentations stéréotypées de l'arbre, sans son système racinaire, d'après Drénou 2006. (Gouédard, 2014).....	4
Figure 4 : Photographie d'une racine charpentière* de cerisier soulevant le revêtement bitumineux du trottoir Rue Jacques Bordier - Angers (49). (Gouédard, 2014).....	5
Figure 5 : Photographie d'un parc urbain où les activités de détente autour de l'arbre peuvent être multiples, ici au Pays-Bas (2012) [X]. (Source : urba-actu.blogspot.fr)	5
Figure 6 : Photographie du Tribunal de la Cour d'Appel d'Angers (49), habillé par un alignement de <i>Magnolias grandiflora</i> (Gouédard, 2014).	6
Figure 7 : Photographie des écoliers de la Ville de Haumont (59), lors de journées de sensibilisation autour de l'arbre. (Mairie de Haumont, 2013)	7
Figure 8 : Photographie d'un arbre présentant des signes de dépérissement prématurés (descente de cime, dessèchement de charpentières) liés à un problème de sol, Boulevard Albert Camus - Angers. (Gouédard, 2014)	8
Figure 9 : Photographie de l'excavation d'une tranchée technique pour l'entretien d'un réseau au pied des arbres, Promenade de la Baumette - Angers (49). (Gouédard, 2014)	9
Figure 10 : Organisation élémentaire de l'enracinement de l'arbre (Atger 1992 <i>in</i> Plante & Cité 2014).....	10
Figure 11 : Représentation schématique d'un hêtre adulte (<i>Fagus sylvatica</i> L.) avec son système racinaire. (Drénou, 2006).....	11
Figure 12 : Représentation schématique de l'Epicéa commun (<i>Picea abies</i> L.) avec son système racinaire. (Drénou, 2006).....	11
Figure 13 : Comparaison d'un système racinaire de Pin sylvestre (à gauche) et d'un Frêne commun (à droite), d'après Raimbault 2003.	12
Figure 14 : Schématisation générale du développement racinaire de l'arbre en milieu non contraint, d'après Raimbault, 2003 et Drénou, 2006. (Gouédard, 2014)	13
Figure 15 : Schématisation simplifiée du développement racinaire de l'arbre en milieu non contraint, d'après Drénou, 2006. (Gouédard, 2014).....	13
Figure 16 : Schéma de l'évolution de la zone de nutrition racinaire au cours du développement de l'arbre, d'après Drénou 2006. (Gouédard, 2014).....	13
Figure 17 : Schémas des 4 grandeurs d'arbres couramment utilisées pour classer les arbres, avec leur emprise du système, absente des catalogues de pépinière. (Gouédard, 2014)....	15
Figure 18 : Mise en évidence d'une incompatibilité entre le site et l'espèce plantée. Exemple du Boulevard du Roi René- Angers (49). Gouédard, 2014	16
Figure 19 : Photographies de la Rue Rabelais - Angers (49) d'un alignement de Poiriers d'ornement. (ALM, années 2000 ; Gouédard, 2014)	16

Figure 20 : Photographie d'un double alignement de Magnolia fraseri 'Galaxy' Boulevard Détriché à Angers (49). (Gouédard, 2014).....	17
Figure 21 : Coupe longitudinale de sol du Boulevard Copernic à Angers le long d'un alignement de Copalmes d'Amérique (Liquidambar styraciflua L.) représentant les différentes couches de sol anthropiques. (INRA, 1996)	18
Figure 22 : Artificialisation des villes de Bordeaux et Montpellier en 1990 et 2000 du centre vers les périphéries. (Corine Land Cover in Cheverry&Gascuel, 2009)	19
Figure 23 : Pression exercée par différents déplacements sur le sol. Urban, 2008 in Paillat, 2013.....	20
Figure 24 : Schéma des techniques de plantation courantes au vue du contexte urbain. (Gouédard, 2014)	21
Figure 25 : Mise en évidence du volume critique généralement mis à disposition des arbres en ville. (Gouédard, 2014)	21
Figure 26 : Photographie d'une racine de Platane soulevant le revêtement de voirie (Place de la Dauversière à Angers), faute de disposer d'un volume de terre suffisant pour se développer. (Gouédard, 2014).....	22
Figure 27 : Photographie d'un tas de MTP avant sa mise en œuvre. La pierre est dominante dans le mélange (Rossignol in Plante et Cité 2008).	22
Figure 28 : A gauche, photographie d'une plantation réalisée avec fosse en tranchée continue à Angers, rue de la Meignanne (ALM, 2001). A droite, photographie de l'alignement actuel (Gouédard, 2014).....	23
Figure 29 : Représentation schématique de la concurrence nutritionnelle des arbres plantés en tranchée continue. (Gouédard, 2014)	24
Figure 30 : Photographie et détail technique des modules Silva Cell développés par DeepRoot. (Source : GreenMax.fr 2014)	24
Figure 31: Photographie de la mise en œuvre de modules béton 'Deuxième sol naturel' développés par la pépinière Van Den Berk (Source : vdberk.fr 2014).....	24
Figure 32 : Réactions à taille des racines selon leur diamètre. (Raimbault, 2003) [5]	25
Figure 33 : Schéma de l'architecture du système racinaire d'un arbre planté en gros sujet, plusieurs années après sa plantation. (Raimbault, 2003)	26
Figure 34 : Représentation schématique du développement des arbres selon deux contextes extrêmes du sous-sol (Gouédard 2014).	33
Figure 35 : Photographie d'une structure porteuse à Béhuard (49) permettant à une plante grimpante (Chèvrefeuille) de remplacer l'arbre tout en conservant l'image qu'il confère. (Gouédard, 2014)	36

Avant-propos

Ce mémoire s'avère être le bilan de mon parcours au sein de la grande thématique du Paysage. Il représente l'aboutissement d'un travail de formation complexe, riche, encore inachevé. Il vient clore l'introduction de mon histoire dans la grande filière de l'horticulture et du paysage et me permettra par la suite de commencer à écrire mon premier chapitre en tant que professionnel.

Étudiant ? Professionnel ? Ces deux notions ne sont pas opposées : ne sont-elles pas liées au contraire ? Notre discipline composée d'une multitude d'autres disciplines est constamment en évolution. Ne sommes-nous donc pas, nous autres pratiquants du Paysage dans l'obligation de poursuivre notre apprentissage à chaque instant, toute notre vie, cultivant notre curiosité et cherchant à comprendre la subtile articulation entre les éléments du paysage pour en faire émerger un idéal ?

Je reste désormais persuadé que ma mission d'être humain réside dans l'observation, le travail, la recherche et l'application de solutions dans le domaine du « Paysage » aux facettes si complexes.

Enfant, j'ai eu le privilège d'être confronté aux étonnants mystères du jardin et de participer à diverses activités liées aux espaces extérieurs. J'ai pu aborder la notion de vie végétale à travers le jardin potager, la culture de quelques arbustes et arbres fruitiers.

Ma curiosité n'a cessé de grandir face à cet être vivant, l'arbre, si complexe, mystérieux parfois imprévisible mais toujours fascinant, attirant et si précieux.

Les prémices de ce fort attachement à l'arbre remontent à mes toutes premières plantations d'arbres et ont vraisemblablement pour origine les réactions vives de personnes sensibles à la nature qui m'entouraient enfant, réactions suscitées face aux conséquences d'un remembrement et de destructions de haies bocagères.

L'étonnante richesse du vivant, l'apprentissage du nom commun des espèces, l'expérience du semis, de la plantation, de la transplantation, de la découverte d'espèces encore inconnues pour moi, m'ont progressivement fait prendre conscience des mécanismes complexes de la Nature.

J'ai alors voulu cultiver mes premiers arbres fruitiers et pour cela je devais réaliser mes premières greffes. Initié tant bien que mal à la technique de la greffe lors d'un essai sur un pommier franc, j'ai tenté ensuite mes propres expériences, bien infructueuses au début, jusqu'au jour où, miraculeusement, j'ai dû rassembler suffisamment de conditions nécessaires pour que ma première greffe à l'anglaise de cerisier, apposée sur une jeune pousse de merisier sauvage, accepte la vie que je tentais de lui apporter.

Ayant alors compris les principes de fonctionnement de base de la vie du végétal, j'ai souhaité intégrer une formation orientée dans le domaine de l'horticulture et du paysage, en vue de parvenir un jour, à faire de ce que j'aime, mon métier.

L'arbre, au sens « entité végétale respectable », est depuis toujours resté mon fer de lance, que je compte bien aiguiser un peu plus chaque année, au cours de ma vie professionnelle et personnelle future.

Introduction

Au sein des villes l'arbre est omniprésent, quelle que soit la forme urbaine, de manière variable selon la période de notre histoire. Il fait partie intégrante des démarches environnementales entreprises ces dernières décennies dans le souci d'aménagement durable. Symbolique forte, il devient un élément majeur de l'image écologique de la ville, notamment au travers des Trames Vertes et Bleues*. Afin de s'affranchir des dérives politiques liées au concept de « développement durable * », nous ferons plutôt référence au terme de « développement viable » ou « soutenable » dans le cadre de ce mémoire.

Contrairement aux infrastructures urbaines et au bâti composés de pierre, de métal, de verre et de béton, l'arbre est un être vivant, caractéristique qui ne semble pas toujours prise en considération dans les décisions d'aménagement des villes. En effet, chaque année des centaines, voire des milliers d'arbres sont plantés dans les villes, mais presque autant sont supprimés, soit pour des raisons sanitaires, de sécurité ou tout simplement parce qu'ils ne sont pas à la « bonne place ». Au-delà de la valeur esthétique, lorsque nous plantons un arbre dans la ville, nous apportons la vie, mais celui-ci fait parfois l'objet de travaux d'entretien (coûteux) qui l'affaiblissent considérablement. Selon de bonnes pratiques, il serait possible (à priori) d'améliorer la santé de certains d'entre eux à moindre coût, qui actuellement font l'objet d'actions radicales d'abattage.

Aujourd'hui, l'espérance de vie moyenne de l'arbre dans la ville serait de l'ordre de 30 à 50 ans selon les études menées au sein du Grand Lyon [1]. Or, il apparaît que la durée de vie d'un arbre peut atteindre 800 ans pour le Chêne pédonculé en milieu naturel, 500 ans pour le Platane, par exemple. Dans la pratique, la vie d'un arbre d'avenue dépasse rarement 70 ans (Salette 2014) [2]. Il apparaît donc dans nos villes que, malgré une amélioration récente de leur durée de vie, une part non négligeable d'entre eux est abattue alors qu'ils n'ont pas même le temps d'atteindre leur âge adulte.

La place de l'arbre en ville reste cependant un élément indispensable pour le quotidien de tout à chacun, de même que pour l'équilibre des villes. Aujourd'hui « concepteurs et praticiens s'accordent à affirmer que 80% des problèmes rencontrés par l'arbre en ville trouvent leur causes dans les sols » (Gillig, 2008). Le dépérissement d'un arbre est généralement constaté à partir de symptômes aériens, mais il s'avère que les relations entre la partie aérienne et souterraine sont très complexes et que le collet*, limite entre la partie aérienne et souterraine, est l'interface d'échanges privilégiés entre ces deux entités, dont la santé est essentielle pour la pérennité de l'arbre.

Au sein de ce mémoire, nous orienterons notre réflexion autour du système racinaire des arbres et des sols en milieu urbain, afin de comprendre leur développement, leur capacité d'adaptation, identifier quelles sont les véritables causes responsables de leur disparition et nous tenterons d'y apporter des solutions, afin d'améliorer le devenir des arbres dans le cadre de projets d'aménagement en ville.

Nous ne traiterons pas ici des situations de parcs ou de jardins qui sont des milieux à caractère souvent plus naturel, moins sollicités par l'Homme, susceptibles de conférer à l'arbre un développement plus proche des conditions de croissance en milieu rural.

Nous définirons donc dans la première partie le contexte de l'arbre en milieu urbain permettant d'établir la problématique. La seconde partie traitera des caractéristiques intrinsèques à l'arbre en relation avec la complexité du sol urbain et des solutions possibles pour pérenniser l'arbre dans la ville. La dernière partie consistera en une analyse critique de la démarche et l'identification des lacunes qu'il conviendrait d'étudier pour poursuivre notre investigation.

1 L'arbre entre besoin vital de Nature et forte pression anthropique*.

1.1 L'arbre en tant qu'entité

1.1.1 Définition

La définition de l'arbre trouve des origines très diverses selon les points de vue et les cultures. L'arbre serait un végétal ligneux, pouvant atteindre un âge considérable et une hauteur d'au moins 7m dans son plein développement, comportant des branches durables avec l'âge, à une certaine distance au dessus du sol (Robert 2009). La limite entre l'arbre et l'arbuste est floue car certains estiment qu'un arbre est un végétal ligneux de plus de 4 ou 5m, en affirmant parallèlement que des arbustes peuvent atteindre 6m. Le port d'ensemble permet de trancher (Burnie 2005). Pour les scientifiques, l'arbre est une plante ligneuse appartenant au groupe des phanérogames* comprenant notamment les gymnospermes* (résineux) et les angiospermes* (feuillus) (Gillig 2008), des plantes à fleurs ligneuses dont les organes reproducteurs sont apparents.

Nous retiendrons que les principaux critères qui permettraient de définir cet être vivant de manière commune seraient la hauteur au dessus du sol, l'existence d'un tronc, l'existence de branches, ainsi que la longévité. Evalué par rapport aux caractéristiques humaines, « un arbre est une plante à longue durée de vie (50 ans minimum), possédant un tronc de grande hauteur, autoportant, vertical et de gros diamètre, auquel sa structure et son anatomie confère une rigidité suffisante pour élever le feuillage au-dessus des plantes concurrentes pour la lumière ; fréquemment mais pas toujours, le tronc de l'arbre est porteur de branches » (Hallé 2005).

1.1.2 Biologie générale de l'arbre

L'arbre, comme la plupart des autres plantes, est caractérisé par un processus complexe d'échanges avec son environnement direct. Son développement est dépendant de nombreux facteurs extérieurs, de la même manière qu'il influe sur le développement de nombreuses espèces animales et végétales présentes dans son aire de développement.

Selon Gillig (2008) les racines absorbent l'eau et les éléments nutritifs* du sol (1) (cf. Figure 1). L'eau et les nutriments (sève brute*) montent dans la partie aérienne de l'arbre via la couche interne de bois du tronc et des branches (xylème*) (2). La sève brute est aspirée par les feuilles grâce au mécanisme de transpiration de celles-ci (3). Les feuilles captent de l'énergie lumineuse et du gaz carbonique (4) pour fabriquer des sucres et de l'oxygène (5). Les sucres (sève élaborée*) sont transportés via la couche superficielle du tronc et des branches (phloème*) vers les autres organes de l'arbre(6). Les racines utilisent les sucres pour capter l'oxygène de l'air contenu dans le sol et rejettent du gaz carbonique (7).

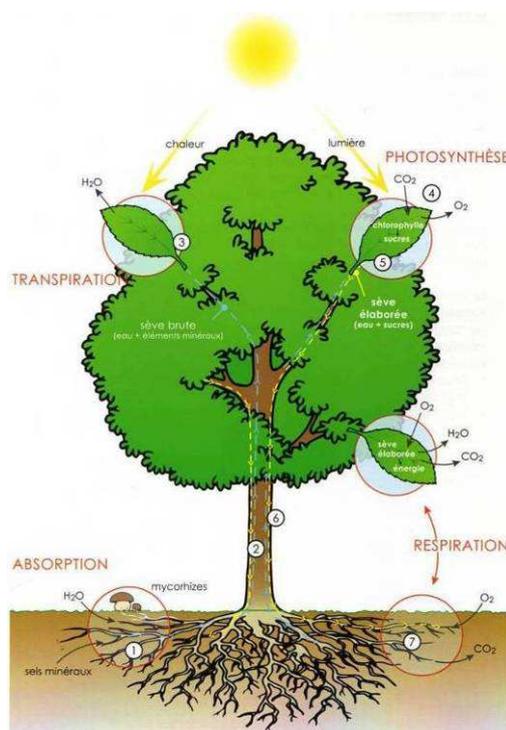


Figure 1 : Schéma de principe du cycle de fonctionnement biologique de l'arbre. (Gillig, 2008)

L'eau est un élément primordial dans le fonctionnement du cycle biologique de l'arbre. Le prélèvement de nutriments, les rayons lumineux, les champignons ainsi que les autres êtres vivants du sol sont tout aussi importants dans l'équilibre de ce cycle. Les nutriments sont chaque année renouvelés par la chute des feuilles et le dépôt d'autres éléments organiques morts d'origine végétale ou animale. Les organismes vivants décomposent ces matières, libérant ainsi les minéraux et les oligoéléments*, à la base de la nutrition végétale.

Remarquons qu'en l'absence d'un système racinaire sain, le cycle est rompu et l'arbre ne peut pas se développer. En ville, l'imperméabilisation des surfaces a des conséquences considérables sur la disponibilité en eau et le renouvellement de la matière organique.

1.2 Les perceptions de l'arbre en ville

1.2.1 L'origine de l'arbre dans la civilisation

Apparus sur Terre depuis 350 millions d'années les premiers arbres se sont divisés en plusieurs branches dont nous connaissons aujourd'hui, celle des Gymnospermes et celles des Angiospermes datant respectivement de 180 et 140 millions d'années (Hallé, 2005). Ils étaient les ancêtres des arbres contemporains de notre ère, dont l'évolution des espèces est à l'origine.

A l'époque de la préhistoire, l'arbre est un lieu de refuge, pour se prémunir des prédateurs et des intempéries. Il constitue une source de nourriture grâce aux fruits et à la matière végétale qu'il produit tout au long de sa vie. Apprivoisé, l'arbre devient rapidement un matériau de construction pour confectionner des abris, fabriquer des outils, des armes pour se défendre. Il sert aussi de combustible pour la cuisson des aliments.

L'arbre est aussi un élément de repère dans l'espace, permettant à l'Homme de définir son territoire. A la naissance de l'agriculture (vers 8 000 ans avant J.C.) l'Homme utilise l'arbre pour délimiter son terrain, créant des clôtures ce qui facilitait la domestication du bétail. Il invente aussi le jardin et la notion de propriété. Très rapidement après, plutôt que d'aller courir les forêts, nos ancêtres ont eu l'idée de cultiver les arbres fruitiers autour de leur lieu d'habitation ou dans les prairies, qui deviennent alors des vergers.

Au Moyen Age, l'arbre est encore peu présent dans les cœurs de villes. Retranchées dans des espaces clos et fortifiés, les villes consacraient peu d'espace aux plantations d'arbres. Seuls quelques-uns pouvaient y être plantés dans les petits jardins potagers, ou encore dans les lieux sacrés, les lieux de justice ou les places de marché.



Figure 2 : Peinture de la Promenade du Boulevard Saint-Antoine² au 17^e siècle (Pascalis, 2005).

C'est plus récemment au 17^e siècle à l'époque de J.B de la Quintinie, que l'on a commencé à maîtriser les arbres, avec les formes fruitières palissées et les grandes pratiques de tailles que nous exploitons encore aujourd'hui.

Apparaît dans un même temps la notion de promenades arborées (cf. Figure 2) avec des mails plantés et des boulevards aménagés, préfigurant alors le développement de villes modernes.

Il faut attendre la fin du 18^e siècle pour l'on puisse observer une présence significative de l'arbre en milieu urbanisé, alors reconnu comme un enjeu essentiel du paysage, notamment à Lyon. A cette époque la plantation d'arbres était récompensée pour quiconque souhaitait en planter. On pouvait même y faire figurer son nom en guise de reconnaissance (Gillig 2008).

Au 19^e siècle, les réglementations forestières s'appliquent aux villes en vue de maîtriser la suppression d'arbres et d'éviter les coupes anarchiques. L'âge d'or des plantations urbaines est annoncé par l'essor des villes européennes. Les urbanistes et préfets (Hausmann, par exemple) préconisent la plantation d'arbres sur de multiples voies de communications, structurant fortement les villes telles que Paris.

Au 20^e siècle, les guerres accompagnées des fortes mutations technologiques et industrielles bouleversent profondément la place de l'arbre dans la ville. Le développement de l'automobile porte de lourdes responsabilités dans la disparition des arbres du fait de l'élargissement des voiries. L'explosion démographique couplée au phénomène d'exode rural nécessite la construction de nouveaux quartiers. Notre rapport à la nature sauvage et domestiquée est alors sensiblement modifié. L'arbre devient gênant, peu compatible avec les nouveaux schémas d'aménagement.

Il faut attendre les années 1970 pour que le manque de végétal se fasse sentir par les populations urbaines. Émergeant avec la prise de conscience que l'action de l'Homme déséquilibre profondément le fonctionnement biologique global de la Terre, nous avons commencé à replanter de nombreux espaces urbains, autant pour satisfaire l'éthique que l'esthétisme et le besoin de Nature. En ville, l'arbre reste avant tout un objet à caractère esthétique pour la majorité des usagers, mais n'est pas vraiment considéré comme un être vivant à part entière.

1.2.2 La représentation de l'arbre dans la société actuelle

On entendra ici par « espace urbain » ou « milieu urbain », les espaces bâtis caractérisés par une densité importante de constructions et faisant l'objet d'un nombre élevé de fonctions.

Dans les représentations du citoyen, l'arbre fait l'objet de nombreux stéréotypes. L'image de l'arbre est une forme verte, simple, portée par un tronc droit et vertical (cf. Figure 3). Nous distinguons éventuellement la forme générale du houppier*, sphérique pour les feuillus, conique pour les conifères. Les plus perfectionnistes d'entre nous iraient jusqu'à dessiner les branches, puis les ramifications, jusqu'aux brindilles qui portent à leur extrémité, les feuilles (Drénou 2009).

En revanche, rares sont ceux qui, naturellement, représenteront le système racinaire, puisqu'il n'est pas visible. Nous dessinons en réalité l'arbre parfait, exempt de défaut, de tronc tordu, de crevasse, de blessure ou de branche morte, tel que nous avons pu le voir dans nos livres de biologie. Ces représentations comportent en réalité de graves erreurs au niveau du système racinaire et nous verrons par la suite en quels points cette représentation diffère de la réalité.

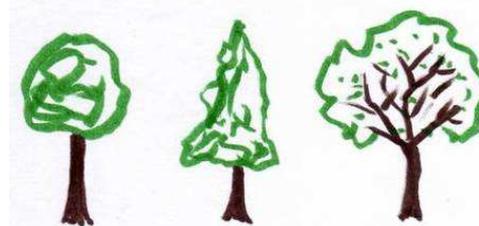


Figure 3 : Représentations stéréotypées de l'arbre, sans son système racinaire, d'après Drénou 2006. (Gouédard, 2014)

Dans de nombreuses civilisations, l'Homme confère à l'arbre une valeur patrimoniale importante, en particulier pour les plus vieux, riches d'une histoire souvent très secrète. L'arbre joue un rôle de mémoire en conservant de nombreuses traces de son passé, inscrite dans son bois, sur son écorce et son architecture. Il est de ce fait symbole de la longévité et de la sagesse. Il est depuis la nuit des temps à l'origine de nombreux contes, de légendes qui perpétuent sa valeur et enrichissent l'imaginaire collectif de l'Homme. L'arbre, élément de culture commun à la majorité des sociétés d'Hommes, fait aujourd'hui partie des symboles essentiels de la culture urbaine. L'Homme lui confère très souvent une valeur commémorative, signe de respect comme l'arbre de la liberté érigé après la révolution de 1789, représenté sur nos pièces de monnaies. Il est de ce fait lieu de ralliement, d'abri, d'échanges et de rencontres.

Avant l'invention du GPS ou même de cartes versions papiers, les arbres étaient autrefois reconnus comme d'importants points de repères dans l'espace, pour estimer les distances, indiquer les directions.

La composition de l'espace s'appuie essentiellement sur deux types d'éléments, l'inerte (les architectures, les infrastructures, les espaces minéraux) et le vivant (animal et surtout végétal), dont l'arbre. Avec l'émergence des jardins, des parcs et plus récemment, de la notion de « paysage », l'arbre a pris une importance considérable dans l'esthétique des espaces, en particulier en ville. Il n'existe pas un lieu public ouvert où l'on ne puisse apercevoir d'arbres. Il fait partie intégrante de la ville et du quotidien des urbains. Le concepteur, l'entrepreneur, le gestionnaire ou le pépiniériste ont tous une vision propre de l'arbre, qui peut parfois diverger, mais chaque fois l'arbre est au cœur d'un ensemble écosystémique complexe qu'il convient de considérer par sa dynamique vivante et de valoriser dans la composition de l'espace urbain.

Pour le gestionnaire des espaces publics ouverts, l'arbre est un élément dominant du patrimoine végétal, dont il doit prendre un soin particulier. En effet, étant donnés les enjeux, la pression politique est forte. L'arbre est un élément précieux, valorisant pour les villes, à forte connotation patrimoniale, mais qui reste contraignant dans certaines situations et coûteux en entretien. Bien que tout le monde s'accorde à dire que l'arbre est indissociable de la vie humaine, les cas où il fait l'objet de conflits ne sont pas rares. En effet, il est à l'origine de multiples gênes, notamment dans les milieux urbanisés. Il génère des nuisances



Figure 4 : Photographie d'une racine charpentière* de cerisier soulevant le revêtement bitumineux du trottoir Rue Jacques Bordier - Angers (49). (Gouédard, 2014)

esthétiques (feuilles mortes, mousse, ombre indésirable, petites bêtes, ...), mais aussi techniques comme le soulèvement de revêtements, fissures d'ouvrages, obstruction de réseaux (cf. Figure 4).

Mais l'arbre est parfois aussi vecteur de peur de la part des usagers, qui craignent les chutes de branches, ou les déracinements d'arbres aux abords de leur habitat. Nous abattons probablement beaucoup d'arbres sans réel risque pour la population, mais la seule solution permettant de se prémunir du risque d'accident est malheureusement l'abattage.

Le caractère allergène de certaines espèces est aussi devenu préoccupant ces dernières années, faisant l'objet de préconisations particulières.

1.3 Le rôle de l'arbre dans la ville

1.3.1 Améliore le bien être des usagers

Lors d'épisodes de forte chaleur, l'arbre contribue à abaisser le niveau de température grâce à son évapotranspiration en augmentant localement l'hygrométrie de l'air [3]. Les microclimats et l'ombre qu'il crée limitent donc les insulations. Il participe à la purification de l'atmosphère grâce au processus de photosynthèse, en captant le dioxyde de carbone et rejetant du dioxygène. Ses feuilles fixent les particules fines de l'air poussières,



Figure 5 : Photographie d'un parc urbain où les activités de détente autour de l'arbre peuvent être multiples, ici au Pays-Bas (2012) [4].

pollens, ozone, dioxyde de soufre) qui sont ensuite déposés au sol lors d'épisodes pluvieux. Au sein des espaces ouverts, l'arbre permet de freiner les vents violents qui peuvent être amplifiés par l'alignement et la hauteur des bâtiments. Il offre ainsi un meilleur confort aux usagers. Par la densité de son feuillage et des ses branches, il limite les nuisances sonores (du moins dans le ressenti) et l'éblouissement par rapport aux façades de teinte claire. Facteur d'harmonie et d'équilibre, la médecine démontre qu'il améliore le psychisme et la santé physique des usagers en diminuant le stress lié à la vie trépidante de nos villes (cf. Figure 5).

1.3.2 Fonction sociale

L'arbre est souvent un repère, lieu de rencontre et de regroupement des usagers, de jeunes ou de moins jeunes. Il confère un sentiment de sécurité, d'intimité, de réconfort, favorable à la promenade. Il facilite les relations humaines des usagers fréquentant des lieux arborés en commun [1]. Le sujet de l'arbre est par ailleurs un élément du paysage qui fait réagir, rassemblant spontanément les usagers qui veulent défendre la conservation d'un arbre ou d'un groupe d'arbres dans leur quartier, susceptibles de faire l'objet d'une suppression.

1.3.3 L'arbre comme clé de lecture fondamentale de l'espace

L'arbre possède une fonction esthétique importante en ville car la diversité de ses formes, de ses textures, de ses couleurs de feuillage ou de floraison crée une valeur ajoutée à la ville qui est irremplaçable. Sa particularité est liée à la saisonnalité, plus marquée pour les feuillus, dont l'Homme a besoin pour vivre et se repérer dans le temps.



Figure 6 : Photographie du Tribunal de la Cour d'Appel d'Angers (49), habillé par un alignement de *Magnolias grandiflora* (Gouédard, 2014).

Il structure par ailleurs fortement les espaces ouverts du fait de sa verticalité et de son volume, selon les espèces, comme dans les avenues ou aux abords d'une place pour en marquer l'entrée. Il constitue un élément de référence dans la composition du paysage urbain qui permet d'articuler les espaces entre eux. En valorisant ou en occultant certains éléments, il contribue à la mise en scène paysagère des cités (cf. Figure 6).

L'arbre, de par sa nature, fait évoluer ces paysages constamment. Les jeux de lumière qui s'y réalisent, les mouvements liés au vent, le bruissement des feuilles, les odeurs dégagées par ce végétal, participent à la création d'ambiances particulières qui mettent en éveil tous nos sens et nous permettent d'apprécier la valeur des lieux dans lesquels nous nous trouvons.

Suite à la prise de conscience de l'importance des réseaux écologiques à l'échelle du territoire à la fin du 20^e siècle, l'émergence des Trames Vertes et Bleues* (TVB) dont l'objectif phare est la préservation de la biodiversité ont fortement contribué à la conservation des arbres ruraux, aujourd'hui insérés au cœur de la ville. Ces trames arborées deviennent des axes verts majeurs qui structurent aujourd'hui fortement l'espace urbain, comme nous pouvons le constater le long des rivières de l'Erdre, du Cens ou de la Chézine à Nantes, par exemple.

1.3.4 Fonction écologique

Quand il s'agit de définir la qualité environnementale d'un lieu, l'arbre est souvent le premier paramètre que l'on étudie dans un quartier ou une ville. Il participe grandement à la régulation du cycle de l'eau en filtrant les eaux de surface. Il limite l'impact des pluies par son feuillage, homogénéise l'hygrométrie de l'air et améliore la rétention de l'eau du sol au

niveau de ses racines. Il facilite ainsi la gestion des eaux de ruissellement par les services techniques.

Les racines de l'arbre améliorent les conditions physiques et chimiques du sol grâce aux multiples échanges qu'elles entretiennent avec leur environnement. Le système racinaire large et profond limite l'érosion et offre un certain équilibre biologique au sol, car il permet à toute une batterie de microfaune*, de microflore* et de macrofaune* de se développer et de contribuer à la diversité biologique de l'espace urbain. L'arbre est un élément fondamental de l'écologie urbaine car il permet des interconnexions entre les divers composants des TVB et ainsi, facilite l'installation d'oiseaux, de petits mammifères, d'insectes et autres animaux qui constituent un précieux écosystème en ville. L'arbre régule aussi certaines formes de pollutions du sol en fixant les particules toxiques (produits chimiques, métaux lourds) et en permettant aux microorganismes du sol de les neutraliser, voire de les détruire. En masse, les arbres créent un îlot de fraîcheur qui contribue au maintien d'un environnement viable en ville.

1.3.5 Fonction économique

En limitant l'impact des vents froids l'arbre diminue le coût de chauffage des habitations [3]. Le feuillage qu'il produit en été permet de limiter l'excès de chaleur créé par les rayons solaires, et donc les besoins en climatisation. Il crée de la matière première carbonée qui peut servir de combustible sous forme de plaquettes de bois destinées au chauffage de bâtiments collectifs, ou encore de paillage pour les plantations ou être compostées.

Les arbres en ville occasionnent cependant un coût d'entretien important, en particulier ceux situés aux abords de la voirie qui nécessitent généralement une taille régulière mais leur présence contribue fortement à la valorisation de l'immobilier par ailleurs. Elle valorise d'une manière générale le patrimoine de la ville, ce qui génère une dynamisation locale du commerce par le tourisme. La fonction nourricière de l'arbre est encore peu développée en dehors des jardins partagés, mais pourrait évoluer dans les années à venir.

1.3.6 Un outil efficace pour l'éducation et la sensibilisation des populations

Associées à l'idée de loisir, les activités pédagogiques autour de l'arbre sont très efficaces pour transmettre des valeurs, notamment en termes d'écologie. L'attractivité de l'arbre, par ses jeux d'ombre, de lumière, facilite l'implication des enfants dans le jeu de cache-cache, d'escalade, la construction d'abris.

La curiosité des enfants (cf. Figure 7) est d'autant plus grande que l'arbre a la capacité d'attirer les oiseaux, les insectes et autres petits animaux qui deviennent des outils essentiels pour sensibiliser les populations à la découverte de la nature, au respect du monde vivant et de l'environnement.



Figure 7 : Photographie des écoliers de la Ville de Hautmont (59), lors de journées de sensibilisation autour de l'arbre. [5]

1.4 Un être vivant fragile dans des conditions de sol difficiles

1.4.1 Une mortalité importante des arbres en ville

« Les vieux arbres sont des arbres durables, mais les arbres qui ont le potentiel de devenir durables, ne vieillissent pas toujours... » [6]



Figure 8 : Photographie d'un arbre présentant des signes de dépérissement prématurés liés à un problème de sol, Boulevard Albert Camus - Angers. (Gouédard, 2014)

Symbole de longévité, l'arbre centenaire est cependant rare en ville. Il agrémente les rues, les places et boulevards historiques, mais il est la plupart du temps implanté dans un milieu qui n'est pas adapté à son développement. (Nous ne faisons pas ici allusion aux arbres de parcs et jardins, dont les conditions de développement sont souvent bien meilleures). Lorsque nous observons des signes de faiblesse sur un arbre (cf. Figure 8), il est probablement déjà trop tard pour intervenir et les dégâts sont généralement irréversibles. Les gestionnaires tentent bien des actions pour les maintenir, mais les agressions qu'ils subissent à ce titre sont presque toujours à l'origine d'attaques d'agents pathogènes qui accélèrent le processus de dépérissement et conduisent à leur mort.

L'espérance de vie de l'arbre en milieu urbain est aujourd'hui de l'ordre de 40 à 60 ans selon les agglomérations, alors que certains arbres en milieux naturels sont capables de vivre plus de 1000 ans. Bien entendu, toutes les espèces arborées n'ont pas la même durée de vie, mais 50 années représentent le temps à peine nécessaire pour qu'un chêne, un hêtre ou un platane acquière ses premiers caractères adultes [7]. En réalité, l'arbre devrait vivre en moyenne deux à trois fois plus longtemps en ville (Gillig 2008). La mort d'un arbre existant ou l'échec d'une plantation, en plus d'avoir un impact économique, a des retombées politiques importantes de par les enjeux qu'il confère. En effet, l'arbre véhicule une image forte comme il a été évoqué plus haut, qui génère de vives émotions lorsqu'il s'agit de le faire disparaître. Il est donc important de comprendre les raisons de ces dépérissements prématurés et d'établir des solutions viables pérennisant la plantation des arbres en milieu urbain.

1.4.2 Un environnement urbain peu propice au développement de l'arbre

Les activités humaines en ville sont de toute nature et les arbres en subissent de nombreuses conséquences. Les agressions peuvent être à l'origine de l'usager (gravure, cassure, impact de pare-choc) principalement liée à des défauts de comportement humain face au végétal, ou bien d'origine technique (chantier) et plus rarement écologiques (attaque de pathogène, sécheresse excessive, tempêtes).

Les fonctions des sols en ville sont variées mais elles sont avant tout d'ordre technique. En effet, ils doivent supporter les constructions et infrastructures de la ville (réseaux et voirie) en étant stables dans le temps. La plupart du temps, ces milieux sont composés d'un mélange de terre, de sable, de gravier, de cailloux ou gravats. La compaction de ces sols est forte, sous trottoir elle atteint couramment la valeur de 4Mpa (Méga pascal) (Cheverry et Gascuel 2010), or la croissance racinaire est fortement ralentie à partir de 2Mpa. La circulation de l'air et de l'eau y est extrêmement limitée et asphyxie la racine, l'arbre trouve donc difficilement les conditions minimales dont il a besoin pour se développer en ville.

La part de sols « naturels » est bien maigre devant l'importance des espaces artificialisés. Les zones dites « d'espaces verts », de jardins et potagers privés, présentant parfois encore des



Figure 9 : Photographie de l'excavation d'une tranchée technique au pied des arbres, Promenade de la Baumette - Angers (49). (Gouédard, 2014)

horizons* de terre arable* originels, plus ou moins riches en humus. Les espaces susceptibles d'accueillir les arbres en ville s'amenuisent donc fortement avec l'urbanisation croissante de la population ce qui rend la plantation d'arbres de plus en plus complexe. Si nous souhaitons conserver des espaces « naturels » en ville, l'une des solutions est de densifier l'habitat en développant des constructions collectives verticales, là où le pavillon reste dominant. En ville, les sols sont fortement marqués par l'évolution des formes diverses de l'urbanisation et conservent bien souvent des traces de cette histoire, se déclinant souvent en couches successives de matériaux divers, caractéristiques des activités anthropiques propres à chaque période. Les activités d'extraction, les industries ou l'habitat ont laissé des couches de matériaux spécifiques au cours des générations et l'arbre se trouve confronté à des milieux parfois très hétérogènes. Les sols sont d'autant plus bouleversés aujourd'hui que l'Homme a exploité les milieux souterrains pour la construction d'infrastructures et le passage de réseaux multiples (cf. Figure 9).

L'augmentation croissante de population dans les villes ainsi que l'imperméabilisation des surfaces ont profondément modifié le contexte de développement des arbres et participent souvent au dépérissement d'une partie d'entre eux en ville. Nous devons réapprendre à considérer les sols urbains comme des milieux vivants indispensables au développement de l'arbre dans la ville.

1.5 Synthèse et problématique

La nécessité de conserver des arbres en ville se révèle donc (quasiment) indiscutable, étant donné le rôle qu'ils confèrent en termes de patrimoine, de culture, d'écologie, d'économie et de ressenti par les usagers. Il convient de les maintenir et de faire évoluer ce patrimoine arboré en intégrant les indicateurs de développement futur des villes. Certains arbres sont l'objet de multiples traumatismes qui mettent en péril leur santé, voire la sécurité des citoyens. Bon nombre de ces traumatismes sont liés aux conditions du sol. Notre rôle en tant que paysagistes est de contribuer à la fois au bien-être du végétal et à celui des usagers dans une optique de viabilité d'aménagement. Il est essentiel dans la démarche de projet de préciser l'importance de l'arbre et la fonction de l'arbre à court, moyen et long terme dès la conception pour faire vivre le projet. Les arbres que nous plantons aujourd'hui doivent constituer le patrimoine arboré urbain de demain, que nous laisserons en héritage à nos enfants. Une grande majorité des experts s'accorde à affirmer que dans la plupart des cas, l'échec d'une plantation d'arbres immédiat ou ultérieur est lié à un problème de sol. La complexité du contexte de l'arbre dans la ville nous conduit donc à définir la problématique suivante :

« Dans quelle mesure le paysagiste peut-il agir sur les sols urbains et le système racinaire de l'arbre pour améliorer la pérennité des plantations arborées en ville, dans le cadre du projet d'aménagement ? »

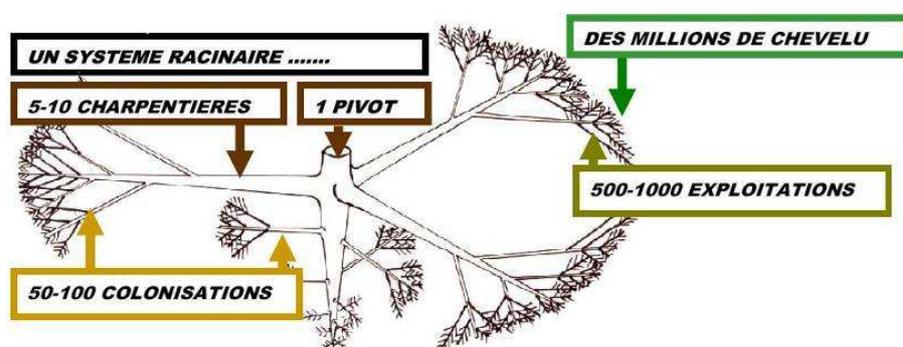
2 Un équilibre nécessaire du sol à l'arbre

2.1 Le développement du système racinaire en milieu naturel

2.1.1 Une morphologie racinaire aux caractéristiques spécifiques

Les charpentières* constituent les racines latérales de diamètre important dont la fonction est d'apporter à l'arbre la meilleure stabilité possible (cf. Figure 10). Elles ont pour rôle de stocker des réserves permettant à l'arbre de survivre lorsque les conditions extérieures ne permettent plus un prélèvement suffisant d'eau et d'éléments organiques. Elles assurent donc le métabolisme de base de la plante. Ces réserves sont aussi utiles pour lutter contre les agressions extérieures physiques ou pathogènes, car elles fournissent l'énergie nécessaire à la fabrication de barrières protectrices et de tissus cicatriciels. Chaque année à la sortie de l'hiver, elles fournissent l'énergie nécessaire au débourrement*.

Les pivots*, racines profondes, ont pour rôle principal d'ancrer l'arbre dans le sol afin qu'il résiste au vent. Elles permettent aussi d'aller puiser en profondeur l'eau indispensable à la survie de l'arbre en cas de sécheresse.



Les racines fines (ou chevelu racinaire*) ont pour mission essentielle de prélever dans le milieu l'ensemble des éléments nutritifs nécessaires à la croissance de l'arbre, l'eau, les éléments organiques et minéraux du sol. [8]

Figure 10 : Organisation élémentaire de l'enracinement de l'arbre. [9]

Remarquons que plus le diamètre du segment diminue, plus il se trouve en quantité importante dans le milieu.

2.1.2 De nombreuses différences architecturales entre les espèces

Afin de bien cerner les problématiques relatives à l'implantation d'arbre en milieu urbain, il convient de comprendre l'architecture de l'arbre dans sa globalité, y compris celle des racines. Prenons deux exemples de représentation schématique, celui d'un feuillu (le Hêtre, *Fagus sylvatica* L.) et d'un conifère (l'Épicéa commun, *Picea abies* L.), élaborés par Christophe Drénou (2006). Les systèmes aériens et souterrains sont en réalité sensiblement différents, contrairement aux représentations courantes que nous connaissons, comme il a été énoncé en première partie. Nous focaliserons notre réflexion sur le système racinaire d'arbres adultes. L'organisation du système racinaire est en aucun cas une symétrie, même partielle, de celle de la partie aérienne de l'arbre (voir dessin ci-après). Le génome de l'espèce définit l'essentiel de la forme du système racinaire et les relations qu'il exerce avec le houppier. Une espèce d'arbre possédant un port colonnaire ne sera pas caractérisé par un système racinaire plongeant.

Système racinaire d'un feuillu : cas du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.)

Le Hêtre est caractérisé par deux types de racines structurantes principales (cf. Figure 11), les pivots verticaux, qui se ramifient fortement et permettent à l'arbre de s'ancrer profondément dans le sol, et les racines charpentières horizontales, formant une puissante plateforme en surface. Les charpentières de cette espèce se ramifient fortement en se

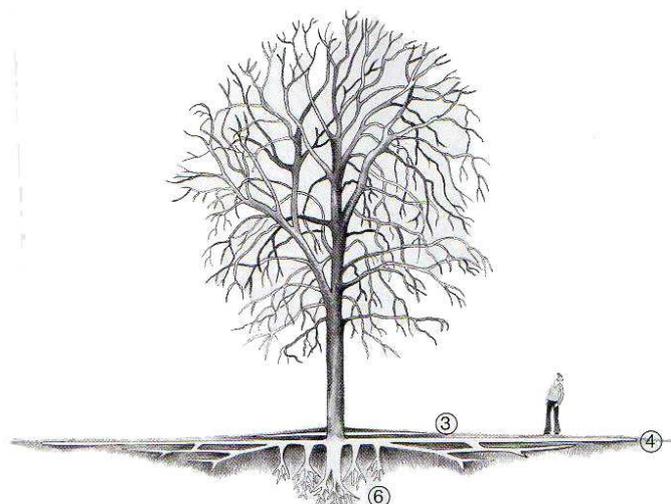


Figure 11 : Représentation schématique d'un hêtre adulte (*Fagus sylvatica* L.) avec son système racinaire. (Drénou, 2006)

développant et ont la capacité de fabriquer beaucoup d'anastomoses*. Le fait de se souder entre elles confère à l'arbre une stabilité d'autant plus forte.

Ici, une seconde série de charpentières se développe en surface lorsque l'arbre atteint un âge mature, ce qui lui permet d'explorer la couche du sol enrichie par la litière organique* accumulée durant de longues décennies. Cette stratégie lui permet de compléter son alimentation alors que son volume foliaire a atteint le maximum de ses capacités.

Systèmes racinaire d'un conifère : cas de l'Epicéa commun (*Picea abies* L.)

Les résineux en milieux urbains sont plus rares, mais il convient malgré tout d'évoquer la morphologie de leurs racines afin d'avoir une vision globale de l'architecture complète des arbres.

L'Epicéa (cf. Figure 12) possède un système racinaire plus simplifié que celui du Hêtre (ce qui n'est pas une généralité), composé de pivots verticaux ramifiés et de longues charpentières linéaires, peu ramifiées et horizontales permettant d'explorer l'horizon de surface* sur de vastes étendues. On remarque là aussi que la forme du houppier est en aucun cas représentative de celle du système racinaire.

Ces deux espèces présentées sont bien loin de représenter l'ensemble de l'architecture globale des arbres disponibles dans les catalogues de pépinières, mais elles montrent cependant deux choses relativement généralisables :

- La prospection racinaire par les racines charpentières se fait principalement sur les premiers centimètres du sol (ceux généralement occupés par la structure de voirie en ville) et par les racines pivotantes à l'aplomb du houppier sur 1,20 à 2m de profondeur ;
- L'emprise racinaire de part et d'autre du tronc est au moins égale à la hauteur de l'arbre.

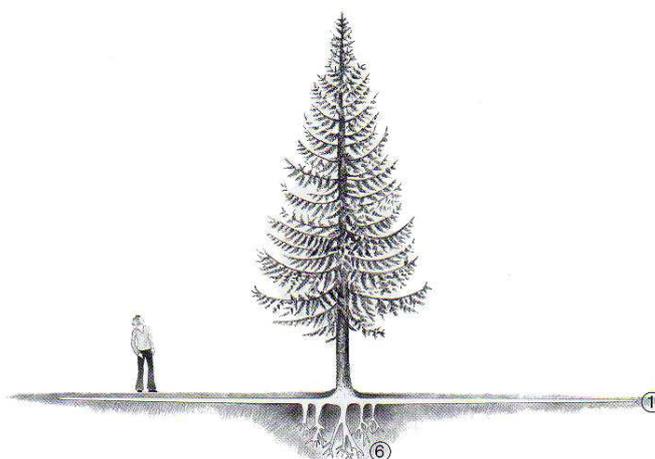


Figure 12 : Représentation schématique de l'Epicéa commun (*Picea abies* L.) avec son système racinaire. (Drénou, 2006)

D'autres espèces ont été décrites par le même auteur, dont l'architecture racinaire varie selon l'espèce (Voir : [Annexes](#)

[Annexe 1](#) : Présentation de l'architecture adulte du système racinaire de 9 espèces d'arbres (4 résineux et 5 feuillus). Drénou, 2006). Ces quelques descriptions sont loin d'être exhaustives face à la diversité spécifique des arbres. Chaque espèce possède des caractéristiques distinctives qui définissent sa manière de prospecter le sol.

2.1.3 Une architecture racinaire évolutive peu adaptée au contexte de la ville

Afin de comprendre les enjeux relatifs au développement racinaire des arbres en ville, il convient de rappeler qu'en milieu non contraint, les racines se développent de façon différenciée selon l'âge de l'arbre. La graine émet un pivot profond qui est à l'origine de charpentières horizontales puissantes et qui se ramifie progressivement tout au long de sa phase juvénile. A l'approche de l'âge adulte de nouvelles racines verticales et obliques prospectent plus largement le sol prenant naissance à divers points de l'architecture en place et les charpentières se ramifient aussi pour optimiser la nutrition de l'arbre qui est à son apogée. Le déclin progressif se fait sentir lorsque le pivot central disparaît (du moins physiologiquement) et que l'arbre se débarrasse des racines les plus éloignées du collet pour ne prospecter qu'à proximité du tronc. La sénescence est avérée lorsque l'arbre ne comporte plus que quelques charpentières de courte longueur en surface.

Une description plus détaillée de cette évolution en 9 stades est présentée en [Annexe II](#) : Evolution de l'architecture du système racinaire des arbres. (Raimbault, 2003). En ville, un certain nombre d'arbres n'ont pas le temps d'atteindre le stade adulte, voire adolescent, car surdimensionnés ou volontairement choisis pour en établir des formes particulières, ils peuvent être drastiquement taillés par l'Homme lors de l'entretien au niveau des branches et lors d'interventions techniques en milieu souterrain au niveau des racines. Des parasites profitent alors des blessures occasionnées et accélèrent la dégénérescence anticipée de ces arbres.

L'architecture de la partie aérienne suit un schéma de développement relativement similaire à celui-ci, présenté en [Annexe III](#) : Schématisation des 10 stades de développement de l'arbre (Raimbault, 1993) et [Annexe IV](#) : Evolution du volume de l'appareil aérien au cours des différents stades de développement (Raimbault, 1993). Il se compose de la même manière en trois phases principales de développement, la phase juvénile, la phase maturité et celle de sénescence, décrites en 10 stades. Nous n'étudierons pas ce sujet dans le cadre de ce mémoire, mais il est nécessaire de comprendre que les parties aériennes et souterraines de l'arbre sont intimement liées dans leur fonctionnement et leur évolution.

Selon les espèces, l'expression de ce système racinaire peut être très variable (voir schémas ci-dessous). Le pivot peut être largement dominant tout au long de la vie de l'arbre comme pour le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) ou n'être présent qu'au tout début du développement de l'arbre comme le Févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) dont le système racinaire est traçant*. Certaines possèdent des racines variées (charpentières diverses, pivots verticaux, pivots obliques, ramifications multiples) comme le Tilleul à petites feuilles (*Tilia cordata* Mill.) alors que d'autres ne posséderont qu'un ou deux types de racines comme l'Épicéa (*Picea abies* L.) caractérisé par des pivots verticaux seulement, émergeant des charpentières primaires. Un descriptif plus approfondi détaille 8 des ces espèces d'après en [Annexe V](#) : Représentation schématique de l'évolution racinaire de 8 espèces d'arbre, selon Raimbault (2003).. Seules quelques espèces ont été décrites pour l'heure, car les techniques d'analyse nécessitent la destruction des arbres. Elles restent donc rares et très spécialisées. Mais il semble essentiel de connaître la morphologie de l'arbre, non pas seulement de la partie aérienne, mais de l'arbre dans son intégralité pour chacune des espèces que l'on plante et au cours du temps afin d'envisager un projet de plantation viable.

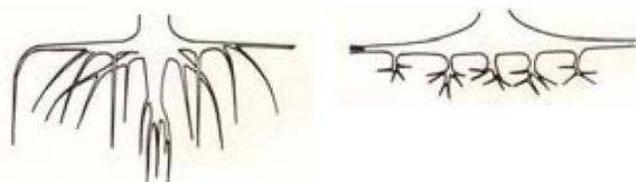


Figure 13 : Comparaison d'un système racinaire de Pin sylvestre (à gauche) et d'un Frêne commun (à droite), d'après Raimbault 2003.

Un gros travail de collecte de données et de synthèse reste à faire à ce sujet, de manière à ce que le paysagiste puisse avoir une idée exhaustive de la morphologie racinaire des espèces ornementales les plus courantes et faire des choix les plus judicieux possibles.

Notons par ailleurs que les conditions

édaphiques* jouent un rôle important dans la variabilité de ces morphologies, notamment en milieu urbanisé. En sol argileux, un Epicéa développera un système racinaire de surface alors qu'en sol sableux, il développera de multiples pivots verticaux qui se ramifieront en profondeur pour prélever les nutriments des horizons inférieurs, par exemple (cf. Figure 13).

Ces diverses constatations nous mènent donc à synthétiser la morphologie du système racinaire de l'arbre de la manière suivante (cf. Figure 14).

L'axe central et les charpentières primaires initient une prospection racinaire tridimensionnelle (en marron). De nouveaux pivots verticaux prennent naissance sous les charpentières, de manière centrifuge et les charpentières primaires poursuivent leur prospection racinaire (en vert). Pour certaines espèces des pivots obliques se forment à l'aisselle du pivot central, à la place ou en même temps que des pivots secondaires (en bleu). Au stade mature, un second étage de charpentières peut apparaître en dessous du premier, ou au dessus (en orange).

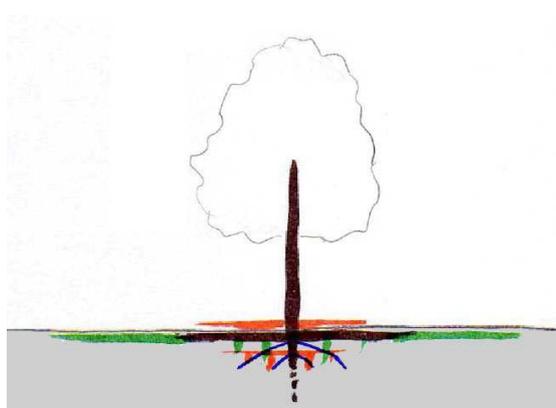


Figure 14 : Schématisation générale du développement racinaire de l'arbre en milieu non contraint, d'après Raimbault, 2003 et Drénou, 2006. (Gouédard, 2014)

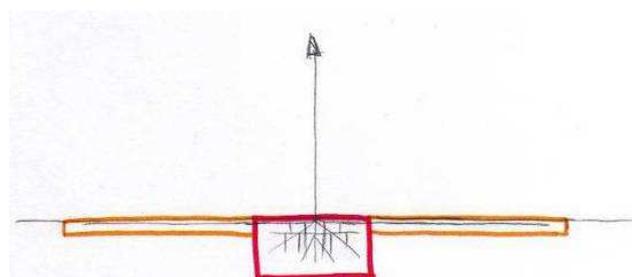


Figure 15 : Schématisation simplifiée du développement racinaire de l'arbre en milieu non contraint, d'après Drénou, 2006. (Gouédard, 2014)

(en orange) constitue l'interface nutritive essentielle entre le sol et la plante. Très riche en radicelles, il concerne les 20 à 60 premiers centimètres du sol et peut s'étendre au-delà du tronc jusqu'à deux à trois fois la hauteur de l'arbre. Nous retiendrons que les racines se développent généralement dans un rayon égal à la hauteur de l'arbre.

Des études ont établi que 90% du linéaire racinaire serait contenu dans le compartiment périphérique, contre seulement 10% dans le compartiment central (Drénou, 2006). L'essentiel du chevelu racinaire se situe dans la partie distale* des racines horizontales, ce qui justifie ces chiffres et implique que 80% des échanges nutritifs sont réalisés dans le compartiment périphérique. La zone d'absorption racinaire évolue avec la croissance de l'arbre et rentre en contact avec différents milieux (cf. Figure 16). Pour certaines espèces, de nouvelles racines absorbantes apparaissent au niveau du collet avec l'âge, permettant à l'arbre de compléter sa nutrition en explorant le sol à proximité du tronc.

Deux comportements racinaires principaux se distinguent alors, dont l'un central, est condensé et profond, l'autre périphérique, est vaste et superficiel (cf. Figure 15). Le compartiment central (en rouge) concentre les racines structurantes dont le rôle principal est de stabiliser l'arbre et assurer la survie de la plante en cas de sécheresse. Sa largeur varie généralement de 2 à 6m et sa hauteur de 0,9 à 2m. Le compartiment périphérique

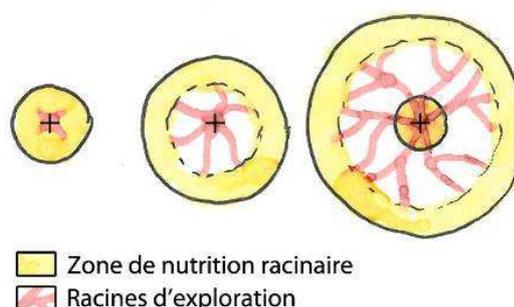


Figure 16 : Schéma de l'évolution de la zone de nutrition racinaire au cours du développement de l'arbre, d'après Drénou 2006. (Gouédard, 2014)

2.1.4 Zoom sur la biologie racinaire

Nous omettons souvent que le système racinaire des arbres possède des propriétés caduques, de la même manière que le système aérien. En effet, il serait même question de véritables feuilles souterraines que l'arbre développe et perd chaque année (Hallé 2011). Cela participe au renouvellement de la matière organique favorable au développement de la vie du sol. Il s'agirait de racines fines caractérisées par de nombreux poils absorbants, dont la durée de vie est courte, de quelques jours à quelques mois. Ces radicelles se renouvellent en permanence, de manière plus ou moins intensive selon la saison (Drénou 2006). En vieillissant le système racinaire se débarrasse aussi d'une partie de sa ramure structurante, comme le système caulinaire*, contribuant à l'enrichissement du sol. La genèse proprement dite du système racinaire n'est pas à l'origine des radicelles de nutrition et d'absorption car elles ne sont pas en mesure de se transformer en racines structurantes. Ce sont des racines spécifiques, plus robustes, qui se développent en longueur ayant un plus gros diamètre (de l'ordre de 1 à 2mm, contre 10µm à 1mm pour les radicelles d'absorption) dont le rôle est de perforer des couches dures de terre pour chercher de nouvelles sources de nourriture. Elles sont essentielles dans la construction de l'architecture racinaire de l'arbre.

Les mycorhizes ont un rôle essentiel dans la nutrition des racines car elles multiplieraient par 100 leur capacité d'absorption. Les plantes excrètent des sucres issus de la photosynthèse par leurs racines, que les microorganismes utilisent pour transformer la matière organique du sol insoluble en éléments assimilables par les plantes. L'arbre est donc en réalité une entité vivante, composée d'une plante et d'une communauté de champignons. Les champignons ont la capacité de protéger l'arbre contre les substances toxiques, les polluants, et les agents pathogènes des racines en les séquestrant ou en les détruisant. Les mycorhizes sont extrêmement efficaces pour résister à la sécheresse estivale car certains mycéliums sont capables de prélever l'eau dans les interstices les plus fins (jusqu'à 10 microns) lorsque le potentiel hydrique est très bas. Le champignon produit par ailleurs des hormones de croissance imitatrices de l'auxine qui favorisent le développement racinaire, notamment en cas de stress hydrique. Un arbre dépourvu de mycorhize serait donc extrêmement vulnérable aux agressions extérieures et aux variations environnementales.

Encore très largement méconnues, les bactéries du sol présentent de grands potentiels en matière de développement du végétal. Leur adaptabilité est immense et certaines sont capables de neutraliser de multiples substances toxiques comme les métaux lourds ou les pesticides rémanents. Elles sont avec les champignons, les principales espèces en mesure de rendre disponibles aux végétaux les nutriments. Leur présence dans le cycle de la vie du sol est indispensable. [2]

2.1.5 La prise en compte du système racinaire dans la représentation des arbres

Dans la pratique, les espèces d'arbres sont classées par hauteur décroissante, selon les 4 tranches suivantes : 20m et plus ; de 15 à 20m ; de 10 à 15m ; de 7 à 10m (Règles professionnelles du Paysage 2012). Peu d'informations viennent malheureusement compléter ces données au niveau racinaire, nous proposons donc les modèles suivants, qui en tiennent davantage compte (cf. Figure 17, le personnage donne l'échelle). Malgré ce classement, de graves erreurs sont encore régulièrement commises dans les projets de plantation. Il cache des variantes importantes qui en sont probablement l'origine. La largeur du houppier est généralement prise en compte dans le choix des volumes aériens (Guinaudeau 2010), mais l'emprise du système racinaire associée à l'espèce est parfois omise, ce qui peut engendrer un manque important de volume de sol pour les racines. Le simple choix d'une espèce colonnaire pour répondre d'un besoin de nature en lieu étroit n'est pas viable, car l'emprise de leur système racinaire est relativement similaire à celle des espèces au port étalé, ce qui n'est pas précisé dans les catalogues de pépiniéristes. Il en va de même lorsque nous réalisons une tranchée à proximité du tronc d'un arbre adulte, nous

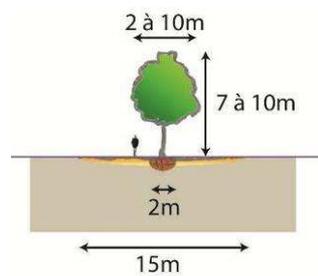
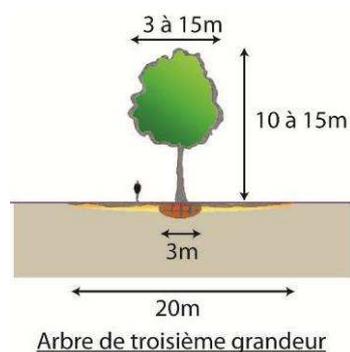
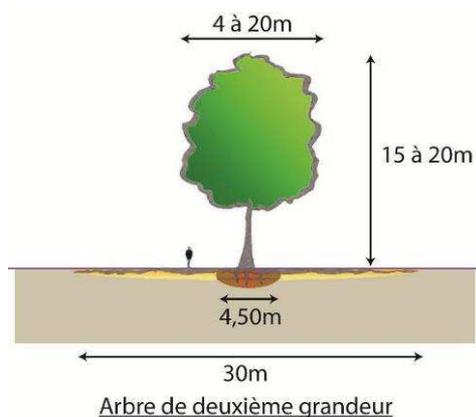
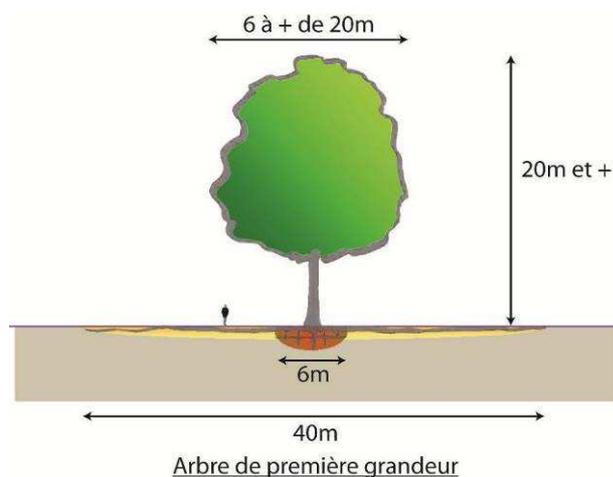


Figure 17 : Schémas des 4 grandeurs d'arbres couramment utilisées pour les classer, avec l'emprise de leur système racinaire. (Gouédard, 2014)

l'amputons du tiers, voire de la moitié de son organe de nutrition. Dans ce cas les caractéristiques vitales intrinsèques à l'arbre ne sont pas respectées, donc la mortalité des sujets est inévitable à court ou moyen terme. Les périmètres de protection des arbres mis en place sur les chantiers présentent encore trop souvent les mêmes incohérences. Les racines ne se limitent pas à l'emprise du houppier et celles qui sont les plus importantes pour la survie de l'arbre se trouvent en leur extrémité. Ceci explique pourquoi en ville, beaucoup d'arbres montrent des signes de dépérissement graves.

Les principaux enjeux qui émergent de l'arbre en ville résident dans les proportions qu'ils prennent en atteignant leur âge adulte. Dans un projet de plantation, nous devrions avant tout considérer que même pour un arbre de 4^{ème} grandeur, l'emprise nécessaire aux racines pour un développement équilibré représente un diamètre de 10 à 15m autour du tronc. Une rue à double sens avec 2 bandes de stationnement latéral ne mesure que 13m de large environ, espace juste suffisant pour satisfaire un développement optimal en milieu non contraint. Donc vouloir planter des arbres de 3^{ème} voire 2^{ème} grandeur dans ce type de conditions devient absurde, s'il est question de mettre en place un arbre en port libre.

Pour de grandes avenues telles que le Boulevard du Roi René (Angers-49), les 2 fois 2 voies avec stationnements en épi, pistes cyclables et trottoirs confortables, l'emprise de voirie est de 38m environ (cf. Figure 18). Actuellement, 2 alignements doublés de 2 contre-alignements de Tilleuls (Arbres de 2^{ème} grandeur) bordent la voie. Dans ce contexte, en comparant le boulevard avec un développement optimal de l'arbre, un seul alignement de chaque côté aurait probablement déjà été surdimensionné. En effet, ces jeunes arbres en pleine croissance font déjà l'objet de tailles d'élagage le long des façades alors que leur taille de formation arrive tout juste à sa fin. Le volume de sol disponible pour l'arbre en ville est nettement inférieur à celui naturellement exploité par les racines dans un milieu sans contrainte (Lucot, 1992 in Gillig, 2008). Il y a donc une incompatibilité profonde entre les exigences de l'arbre implanté et celles des milieux urbanisés, qui mérite d'être étudiée en détail pour satisfaire le besoin d'arbres en ville.

La rigueur du contexte urbain nous amène à penser en revanche que les arbres perdent en réalité au moins une classe de grandeur en ville, parfois 2, du fait de la pression anthropique. Cependant, les espèces utilisées en ville ne devraient pas appartenir aux classes de grandeur 1 et 2, car surdimensionnées, ce qui est encore le cas dans certains aménagements. Ici, il aurait été peut-être plus judicieux de planter une espèce de 3^e grandeur à port

ovoïde, tel que l'Erable de Montpellier, l'Aliser torminal ou encore l'Arbre aux mouchoirs, dont la hauteur adulte en ville serait de l'ordre de 10 à 12 m.

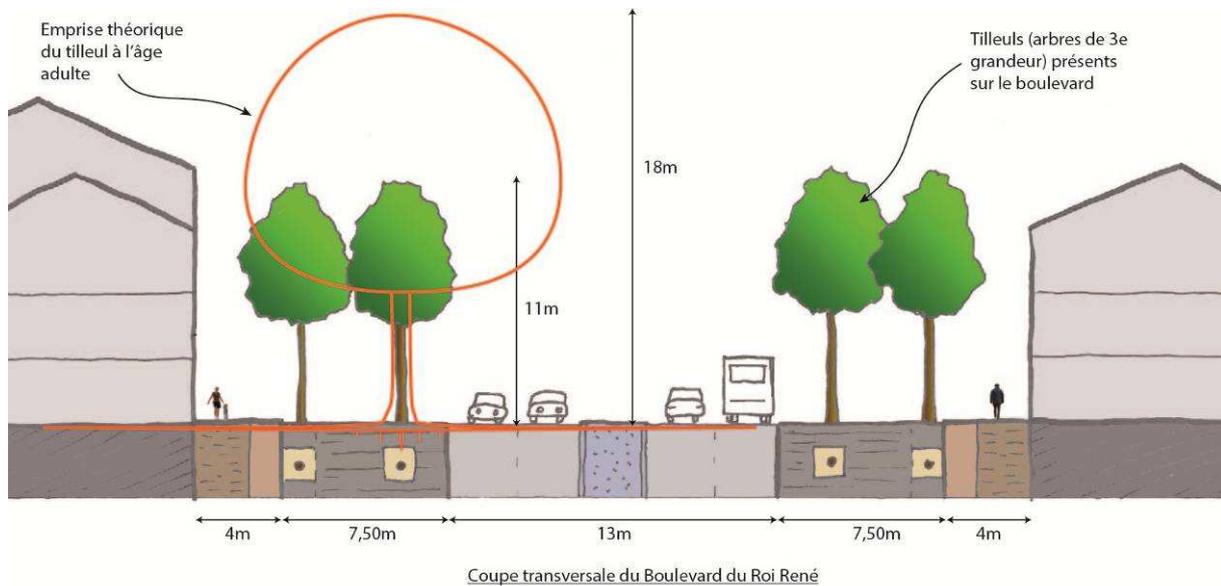


Figure 18 : Mise en évidence d'une incompatibilité entre le site et l'espèce plantée. Exemple du Boulevard du Roi René- Angers (49). Gouédard, 2014

Il semblerait que les objectifs inhérents aux plantations aient fondamentalement changés ces dernières décennies. Auparavant nous plantions en vue de maîtriser complètement la plante en la taillant fortement et régulièrement, mais il s'avère aujourd'hui que ces pratiques ne sont plus viables. Nous procédons de plus en plus à un ajustement des espèces en fonction des volumes aériens et souterrains disponibles, ce qui est de plus en plus complexe étant donné la multiplicité des réseaux enterrés.

Les photographies suivantes (cf. Figure 19) mettent en évidence une plantation de poiriers datant de 1996, de dimensions confortables à l'échelle de la rue (14m d'emprise environ) au début des années 2000, mais qui aujourd'hui présente une incompatibilité de l'espèce avec la volumétrie intrinsèque à la rue, l'arbre cherchant à esquiver les façades pour trouver davantage de lumière. Le phénomène se fait aussi sentir en souterrain par la fissuration des trottoirs en de nombreux endroits.

Le projet envisagé à cet endroit est l'arrachage sans replantation dans les 5 années à venir, celle-ci n'étant finalement pas appropriée. Seule la végétation émanant des propriétés privées bordant la rue sera



valorisée et mettra en scène le végétal au sein de cette rue.

Figure 19 : Photographies de la Rue Rabelais - Angers (49) d'un alignement de Poiriers d'ornement. (ALM, années 2000 ; Gouédard, 2014)

Dans les rues classiques de desserte en centre-ville, nous ne devrions pas planter d'arbre, mais privilégier la plantation d'arbrisseaux, d'arbustes, de grimpantes ou simplement, des vivaces ou graminées. Il est parfois plus judicieux de ne rien planter du tout.

Lorsque le maintien d'un arbre nécessite des interventions répétées et très coûteuses, il faut savoir prendre la décision de l'abattre, même si des réactions vives peuvent y être opposées. Les tailles drastiques réalisées à la suite de mauvaises plantations sont à l'origine de la spirale infernale de la dégénérescence accélérée, jusqu'à l'abattage sécuritaire signant le retour au point de départ. Si l'arbre est bien choisi et planté au bon endroit dans des conditions soutenables, l'entretien y est faible, les dégâts sur réseaux réduits et les abattages moindres, donc les coûts sensiblement diminués. Les objectifs initiaux doivent être clairs et nous guider dans le choix des espèces. La reconnaissance et la connaissance du végétal dans son intégralité deviennent donc une condition majeure de la composition d'un espace paysager bien construit à court, moyen et long terme.

Le choix d'adapter le site d'implantation au végétal souhaité reste toujours possible, mais il doit être motivé et concerner des cas bien particuliers. Il faut alors prendre toutes les mesures nécessaires pour offrir à l'arbre des conditions de développement pérennes.



Figure 20 : Photographie d'un double alignement de *Magnolia fraseri* 'Galaxy' Boulevard Détriché à Angers (49). (Gouédard, 2014)

Des aménagements récents montrent que la plantation d'arbres en cohérence avec le milieu est tout à fait possible, en utilisant notamment des essences dont la hauteur et la largeur à l'âge adulte sont homogènes à la volumétrie du lieu (cf. Figure 20). Ici, la hauteur adulte de l'arbre est sensée atteindre 12m (arbre de 3^{ème} grandeur) pour une largeur de 8m dans un milieu non contraint. Planté en mélange terre-pierre*, cette espèce atteindra probablement 7 à 8m de hauteur, ce qui est du même ordre de grandeur que la hauteur du bâti alentour. Compte tenu de l'emprise de la voirie (environ

15m) et du recul des façades, le volume de sol disponible devrait être suffisant pour permettre un développement régulier et pérenne de ces arbres. La croissance sera relativement lente en comparaison d'un arbre type de 1^{ère} grandeur, mais les interventions de taille seront certainement exceptionnelles et limitées. L'imperméabilisation des surfaces y est cependant très forte, ce qui peut limiter encore le développement de l'arbre.

2.2 Les conséquences du milieu contraint sur les racines

2.2.1 *Les anthroposols*urbains*

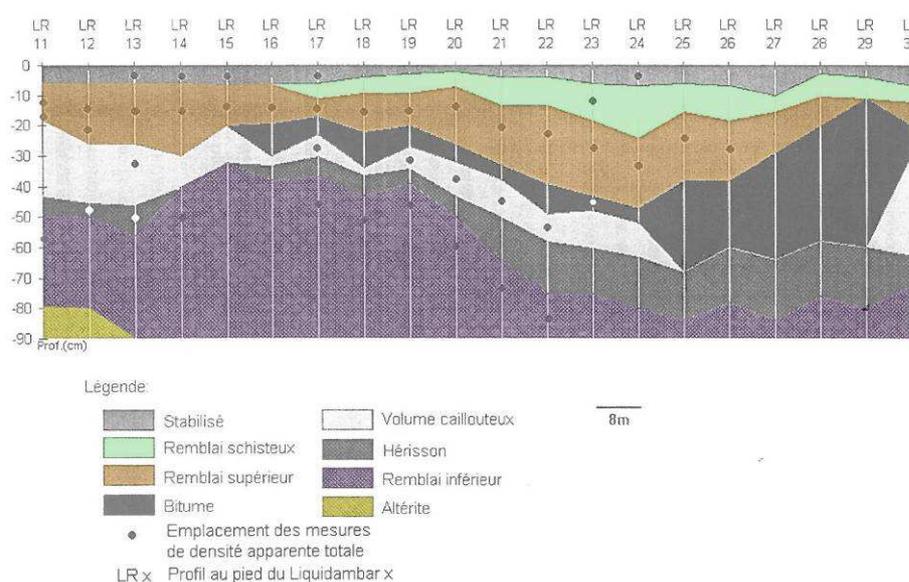
Les anthroposols* sont des sols qui ont subi une modification partielle ou profonde de leurs propriétés physiques, chimiques ou biologiques du fait de l'action de l'Homme. Les champs sont des anthroposols car régulièrement labourés, mais ceux qui nous intéressent ici sont les sols urbains, parfois totalement différents du sol support sur lequel la ville s'est bâtie.

Les sols urbains ont longtemps été ignorés par les pédologues du fait qu'ils ne répondent pas aux critères de pédogenèse de milieux naturels ou des anthroposols cultivés (Chevry & Gascuel 2009). Leur origine est soit totalement anthropiques (cas de matériaux rapportés), soit partiellement lorsque les matériaux du sol originel sont mélangés à d'autres matériaux artificiels, tels des débris de constructions ou des déchets organiques urbains. Le sol intrinsèque est bien souvent enfoui et a perdu une grande partie de ses qualités agronomiques. Une approche historique du lieu est nécessaire pour comprendre la composition des différentes couches de matériaux qui constituent ce sol. De ce fait, il est particulièrement difficile de caractériser un sol urbain par ses propriétés physiques, chimiques ou biologiques. Les processus de fabrication de ces sols sont multiples : troncature de la partie supérieure du sol, compactage par le trafic ou par les engins de

construction, fermeture progressive de la surface via l'imperméabilisation. Les matériaux couramment rencontrés dans les sols urbains sont des matériaux de construction comme de la craie, de l'argile de brique, des briques cuites entières ou brisées, du sable, des limons, du gravier, des pierres, des blocs rocheux, de l'ardoise, du béton, des schistes, des gravats ou même du bois. Nous y trouvons aussi des matériaux d'origine industrielle dans certaines régions, comme du kaolin*, du fer, de l'étain, de l'acier, du charbon, des déchets chimiques, de déchets de carrière ou de four, ou de la pierre à chaux.

Les pollutions qui peuvent résider dans le contexte d'anciennes industries (métaux lourds ou produits chimiques) ou les sels de déneigement peuvent limiter l'implantation d'arbres dans le cas où leur concentration est importante, mais la plupart de ces sols présente une fertilité biologique suffisante pour envisager une plantation. Des expérimentations montrent par ailleurs que la dépollution des sols, par les plantes notamment, est possible. Bactéries et champignons ont aussi un pouvoir important de séquestration et de destruction des molécules polluantes du sol via la production d'enzymes capables de décomposer ces polluants en minéraux inertes ou grâce à leurs métabolites internes (Drénou 2003). L'étude de ces processus progresse fortement et devrait nous aider à améliorer la qualité des sols en ville.

Certains sols sont de véritables millefeuilles, comme dans le cas de cette étude réalisée à Angers (cf. Figure 21). On constate que la variabilité des matériaux est importante et de nature parfois très défavorable à l'implantation d'une végétation arborée (bitume, cailloux, hérisson*). Les couches de sols ont été mises en place au fur-et-à-mesure de l'évolution de la ville, comme une sédimentation dont on pourrait retrouver les dates de formation.



Nous trouvons aussi dans les sols urbains beaucoup de déchets déposés par l'Homme, comme des déchets ménagers, de déchets de voiture, des boues d'épuration, de la cendre ou du mâchefer*, entassés faute de savoir les gérer. [10]

Figure 21 : Coupe longitudinale de sol du Boulevard Copernic à Angers le long d'un alignement de Copalmes d'Amérique (*Liquidambar styraciflua* L.) représentant les différentes couches de sol anthropiques. (INRA, 1996)

Plus l'histoire d'une ville est riche et ancienne, plus les couches successives de matériaux anthropiques sont nombreuses, donc plus l'horizon de surface intrinsèque est enfoui sous les restes de la civilisation. En effet, autrefois il était très difficile d'évacuer les déchets, ces derniers étaient donc simplement étalés à la surface du sol urbain. C'est pour cela que nous constatons couramment dans les grandes villes des couches de matériaux d'origine humaine pouvant atteindre 6 à 7m de hauteur (Cheverry & Gascuel 2009), voire plus de 10m dans certains quartiers de Paris, notamment sur l'île de la Cité. Cela explique qu'il faille souvent descendre pour rentrer dans les églises.

Aujourd'hui, 80% de la population française vit dans les milieux urbanisés et la part de surfaces artificialisées est de plus en plus importante à mesure que l'on s'enfonce dans les centres-villes, jusqu'à atteindre 100% de la surface (cf. Figure 22).

L'imperméabilisation engendre une asphyxie racinaire par hypoxie, qui est à l'origine de graves dépérissements pour certains

sujets. Plus le site de plantation se trouve au cœur de l'agglomération, moins le sol est propice à la plantation arborée. L'évolution mise en exergue ici montre que l'artificialisation des sols est d'autant plus rapide que le lieu est proche du centre-ville. Or, le volume de sol exploitable par l'arbre est conditionné par la surface de sol naturel disponible comme nous l'avons vu plus haut. La présence de multiples réseaux, dont les exigences techniques sont nombreuses (distances entre réseaux, profondeur d'enfouissement), monopolisent aussi un volume considérable de sol en ville. Nous devons impérativement apporter des solutions pour alléger les sols urbains, qui sont littéralement minés de réseaux souterrains. Aujourd'hui, l'emprise minimale nécessaire à l'implantation des réseaux souterrains serait de l'ordre de 4,5 à 5m, parfaitement exempt de racines, ce qui limite fortement la disponibilité en terre dans les petites dessertes de quartiers.

L'implantation d'arbres dans la ville s'avère de plus en plus complexe au vue des résultats et nous devons, malgré cela, trouver des solutions qui permettent une plantation viable d'arbres dans la ville pour satisfaire une forte demande de nature.

2.2.2 La fertilité des sols urbains

Le sol, mince pellicule de matière meuble se trouvant à la surface de la Terre, demande quelques centaines, parfois quelques milliers d'années pour se constituer. Il se compose principalement de fragments de roche, de matière organique, d'eau et d'air. Au service de l'humanité et de toute la vie sur Terre, il est à l'origine du cycle de nutrition et de production primaire de la matière organique vivante. Symbole de la fécondité, il représente le terroir, la terre de nos ancêtres, la vie humble et cachée. [2] Nous semblons oublier massivement que le sol est le régulateur principal des cycles de la vie terrestre, qu'il est la source de toute production et qu'il conserve le patrimoine génétique de la vie sur Terre. D'un point de vue intrinsèque, un sol n'est pas de bonne ou mauvaise qualité, il est simplement plus ou moins adapté à un usage donné. Cependant, l'échec de plantation dans les sols urbains est principalement lié aux conditions physiques, chimiques et biologiques de ces sols qui ne sont pas propices à l'implantation de certaines espèces d'arbre. Aujourd'hui nous extrayons souvent les sols en place devenus stériles (une opération très coûteuse), pour les remplacer par de la terre franche et espérer voir grandir des arbres convenablement. Mais cette pratique n'est pas viable et nous devons revoir nos pratiques afin de préserver la fertilité des sols urbains et pouvoir les exploiter, les cultiver.

Les propriétés agro-pédologiques d'un sol se déclinent en trois types de fertilités intimement liées qui sont la fertilité physique, chimique et biologique. La première a pour rôle de permettre au végétal de boire et respirer en mettant à disposition une quantité d'eau et d'air suffisante. La granulométrie et la compacité définissent la porosité qui doit être de l'ordre de 45% (Gillig 2008). Pour ce faire, le taux d'argile doit être inférieur à 30%, la somme des

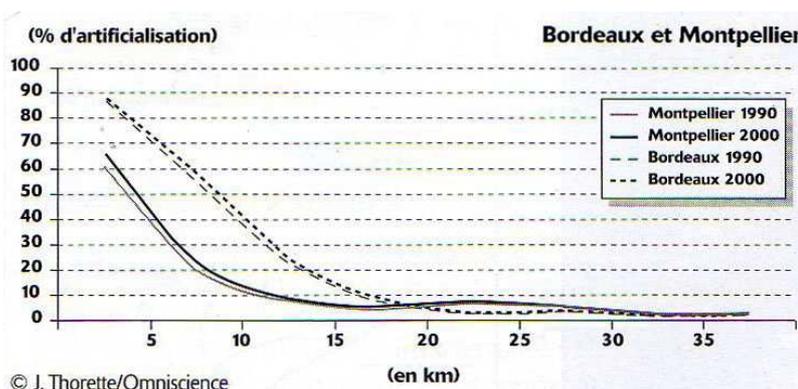


Figure 22 : Artificialisation des villes de Bordeaux et Montpellier en 1990 et 2000 du centre vers les périphéries. (Corine Land Cover in Chevery&Gascuel 2009)

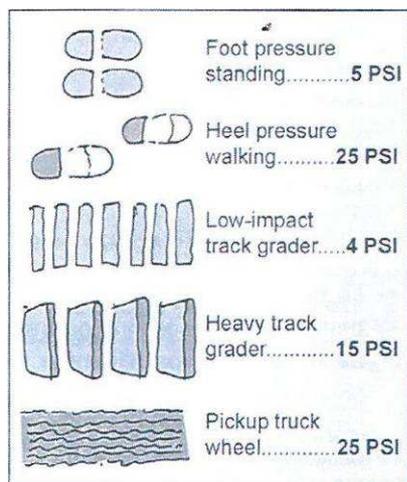


Figure 23 : Pression exercée par différents déplacements sur le sol.
Urban, 2008 in Paillat, 2013

argiles et limons inférieure à 70% pour que le milieu soit suffisamment perméable et par opposition, le taux de sable inférieur à 30% pour qu'il retienne suffisamment l'eau et les nutriments. La pierrosité quant-à elle, devrait être inférieure à 5%, mais cette valeur reste discutable (exemple du mélange terre-pierre). Les activités anthropiques impliquent une forte compaction des sols en surface, soit pour des raisons technique (la construction d'une voirie nécessite souvent une compaction de 50MPa) ou par le biais du piétinement et du roulement (cf. Figure 23). La racine ne se développe quasiment plus au-delà d'une compaction de 2MPa. La densité apparente du sol doit être de l'ordre de 1,2 à 1,4 pour un bon développement racinaire, or sous trottoir elle dépasse souvent la valeur de 1,6. [10]

Nous devons donc protéger les sols destinés aux racinaires des conséquences des activités anthropiques, pour prévenir une asphyxie racinaire progressive, notamment dans les lieux les plus fréquentés par les piétons. L'intervention d'engins lourds sur les sites de plantations ou la manipulation des terres doit se faire lorsque leur teneur en eau est inférieure à la limite de plasticité du matériau, de façon à conserver sa structure et maintenir une porosité correcte.

La fertilité chimique est définie par le pH du sol et la disponibilité en macronutriments* et oligoéléments*. Le pH du milieu doit être autant que possible entre 6 à 7,5. Au dessous de 4,5 et au dessus de 8,5, la plantation devient presque impossible.

« Il y a un dialogue constant entre la plante et le sol, à condition que celui-ci soit vivant. » [11]. La fertilité biologique a pour rôle de fournir aux être vivants du sol la nourriture nécessaire à leur développement, permettant d'approvisionner les racines en nutriments. Concentrée dans les 30 premiers centimètres, elle ne peut être maintenue que par la présence importante de la macrofaune et de la microfaune, elles-mêmes tributaires de la litière et du taux de matière organique du milieu, qui doit être au minimum de 2 à 5% pour garantir une activité organique viable. En ville, il apparaît indispensable de retrouver un couvert végétal au pied des arbres pour maintenir cette fertilité biologique, parfois très peu présente.

L'eau, matrice d'échange privilégiée, est indispensable au bon fonctionnement du cycle de la vie édaphique, mais elle ne doit pas se trouver en excès. Il est important par ailleurs de veiller à ce qu'elle ne soit pas en manque après la plantation car suite à l'arrachage, les capacités d'absorption de l'arbre sont souvent divisées par 2 ou 3. Cependant, un stress hydrique (modéré) est indispensable au bon développement de l'arbre, car il stimule le développement du système racinaire à la recherche de zones plus riches en eau, notamment grâce aux mycorhizes et habitue l'arbre à faire face à des variations environnementales plus ou moins fortes.

2.2.3 Des plantations d'hier à celles d'aujourd'hui

Suite aux destructions massives de la seconde Guerre Mondiale, nous avons replanté en quantité importante dans les axes structurants des villes, mais plus de la moitié des plantations réalisées entre 1950 et 1980 ont périclité aujourd'hui, d'après Frédéric SEGUR du Service Arbre et Paysage du Grand Lyon. Or, un arbre devrait y vivre au moins 100 ans. Autrefois nous plantions dans les sols naturels en ameublissant la terre sur un volume d'1/2 m³ et les racines trouvaient leur chemin. Mais les sols urbains ont profondément évolué ces 40 dernières années et la plante ne peut plus retrouver son architecture racinaire naturelle, d'après Daniel SOUPE pépiniériste de gros sujets. Nous avons donc souhaité modifier nos

techniques de plantation pour améliorer leur durabilité. Des normes ont été introduites dans les processus d'aménagement, ce qui nous a conduits aux techniques de plantation actuelles, mais l'évolution assez imprévisible des formes urbaines tient rarement compte des plantations en phase de devenir adultes. Certaines voient leur environnement changer brutalement, ce qui est parfois à l'origine d'un dépérissement prématuré de la plantation. Les milieux urbains de plus en plus contraints nous compliquent la tâche de répondre à un besoin grandissant de nature dans des volumes de sols toujours plus réduits. Les fosses de plantations sont généralement de 4 à 9m³ dans les terres de qualité correcte, parfois 12 ou 24m³ du fait de la qualité médiocre des sols urbains, lorsque beaucoup de moyens financiers le permettent. Il arrive encore trop souvent malheureusement, que la plante soit surdimensionnée, par rapport aux contraintes du site (cf. Figure 24). En effet, la prolifération de réseaux et des infrastructures établis en souterrain est très préoccupante.

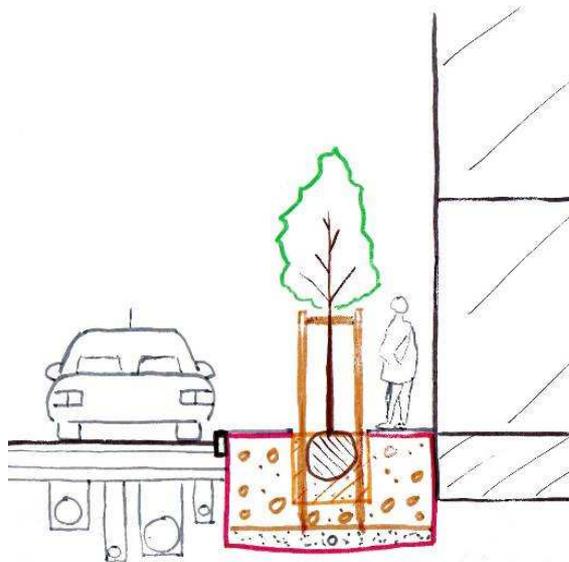


Figure 24 : Schéma des techniques de plantation courantes au vue du contexte urbain. (Gouédard, 2014)

Aujourd'hui, l'apport de terre végétale plus ou moins enrichie en humus, ou de mélange de terre végétale et de sol en place, ou encore d'un mélange de terre enrichie et de matériaux minéraux comme le Mélange Terre-Pierre* (MTP) est quasiment systématique au cœur des villes. L'origine de ces terres rapportées est essentiellement conditionnée par l'offre (terre arable récupérée sur les opérations d'aménagement en périphérie des agglomérations), dont les propriétés physico-chimiques peuvent être radicalement différentes de celles du sol en place. Ce substrat en sensé jouer un rôle de transition entre la motte* de l'arbre et le sol en place, or il génère une hétérogénéité forte du sol (physique et chimique) à l'origine de perturbations profondes de la biologie de l'arbre. Le trou de plantation fortement enrichi en matière organique favorise la reprise racinaire mais le développement futur est complètement bouleversé.

Les plantations mènent parfois à des incohérences fondamentales entre la biologie de l'arbre et la technique mise en œuvre (cf. Figure 25). En effet, pour un chêne de 145 ans planté en milieu naturel, le volume moyen d'exploration du compartiment central du système racinaire est de l'ordre de 17m³, celui du compartiment périphérique, de 800m³ (Drénou 2006). Il en est certainement de même pour un Platane, un Tilleul ou un Frêne. Sur ce schéma, la fosse de plantation correspond au rectangle jaune. Cela reflète donc une incohérence flagrante que nous devons considérer au moment de la conception. Nous devons ajuster nos méthodes de plantation en vue de les pérenniser.

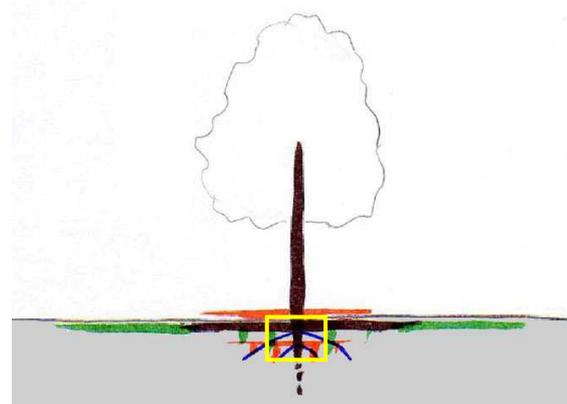


Figure 25 : Mise en évidence du volume critique généralement mis à disposition des arbres en ville. (Gouédard, 2014)

Lorsque les fosses sont insuffisantes pour satisfaire les besoins de la plante, les arbres tentent d'explorer les sols alentour, ce qui se traduit par de nombreux dégâts sur les infrastructures routières (cf. Figure 26) et les réseaux. Pour pérenniser les plantations de même que les infrastructures, nous devons offrir à la racine le volume de sol dont elle à



Figure 26 : Photographie d'une racine de Platane soulevant le revêtement de voirie (Place de la Dauversière à Angers), faute de disposer d'un volume de terre suffisant pour se développer. (Gouédard, 2014)

besoin. Dans le contexte actuel de la ville, cela se traduit souvent par le choix d'espèces végétales moins grandes.

Nous pouvons noter par ailleurs qu'en cas de mouvement de terrain important, la racine charpentière se développe en suivant le relief, à une profondeur relativement constante de l'ordre de 30 cm, car elle est en réalité très sensible aux conditions extérieures. Il est donc impensable de planter les arbres plus profondément en espérant faire passer les racines sous la structure de la voirie. La complexité de l'arbre dans la ville nous oblige quasiment aujourd'hui à réaliser des plantations hors-sol et le moindre stress infligé à la plante met en péril sa pérennité.

La qualité du sol initial joue un rôle essentiel dans l'espérance de vie de l'arbre, mais celle du végétal et sa nature aussi. En effet, les racines de l'arbre sont sensées explorer le milieu souterrain bien au-delà du volume de la fosse. Le sol intrinsèque conditionne donc de manière prépondérante le

choix de l'espèce végétale qui doit être installée. Il doit cependant faire l'objet d'une amélioration structurale importante pour que les racines parviennent à le pénétrer, plutôt que dégrader les revêtements de surface.

2.2.4 Un manque de recul sur la technique du mélange terre-pierre*(MTP)

Des avantages, mais aussi des limites

La technique émane du constat d'un conflit entre le besoin de maintenir un support stable sous la voirie et la nécessité pour l'arbre, de maintenir une compaction de sol supportable. Le procédé a été mis au point en 1986 grâce à la coopération de l'INRA d'Angers (49) avec le Laboratoire des Ponts et Chaussées des Ponts-de-Cé (49), qui consiste à créer une structure à base de pierre satisfaisant des exigences techniques de voirie, accompagnée d'un substrat de fertilité convenable pour le développement de la plante (cf. Figure 27). On utilise des pierres dures pour assurer la résistance et si possible anguleuses pour optimiser le volume de vide interstitiel, et de calibre de l'ordre de 60/90* ou 50/100 pour permettre aux racines de croître convenablement entre les pierres et au terrassier de régler correctement la couche de fondation de la voirie. Une fois compactées et stabilisées les pierres doivent encaisser les pressions exercées par le trafic routier sans que la compaction de la



Figure 27 : Photographie d'un tas de MTP avant sa mise en œuvre. La pierre est dominante dans le mélange (Rossignol in Plante et Cité 2008).

terre n'engendre une densité apparente du substrat supérieure à 1,4. Selon les caractéristiques de la pierre, le volume de terre contenu dans le MTP (équivalent au volume de vide entre les pierres) est compris entre 30 et 45% du volume total.

La technique pose cependant question quant-au comportement de la racine face à la structure de pierre. La racine se comporte différemment selon la nature de cet obstacle (Voir [Annexe VI](#) : Conséquences d'un obstacle sur le développement racinaire selon Drénou (2006)). La croissance racinaire ralentit fortement, voire s'arrête au contact d'un obstacle, engendrant une ramification en amont. Lorsque la racine parvient à contourner l'obstacle,

elle retrouve sa direction initiale dans le cas où celui-ci est de petites dimensions. Sinon, elle prend la direction définie par la face de l'obstacle que la racine à suivi. Les structures de pierre incluant des granulats de taille supérieure à 100mm modifieraient profondément l'architecture naturelle du système racinaire. Par ailleurs, une racine horizontale se retrouvant coincée dans un angle obtus poursuit sa croissance en profondeur plutôt que de changer de direction. Le MTP a donc nécessairement un impact considérable sur l'expression du système racinaire, qui peut se traduire par un chignonage au sein de la fosse, du fait d'une ramification infinie des racines. Nous devrions impérativement arrêter de réaliser des fosses de plantation carrées qui amplifient ce phénomène, selon Daniel SOUPE des pépinières SOUPE).

Nous avons étudié le comportement de quelques espèces plantées en MTP à Angers (49) depuis 1984 (voir [Annexe VII](#) : Evolution de la croissance de quelques espèces plantées en alignement dans les rue d'Angers dans un substrat de Mélange terre-pierre (MTP)). Les résultats mettent en évidence que lorsque le végétal est adapté à la volumétrie souterraine du site, les courbes de croissance sont très régulières et homogènes, alors que dans les autres cas, les courbes de croissance sont quelques fois chaotiques, voire présentent une baisse significative de leur intensité ces dernières années.

Nous avons trop peu de recul (30 ans seulement) sur cette technique pour pouvoir émettre de réelles conclusions, mais pour le moment les arbres au stade juvénile ou adolescent implantés en fosse terre-pierre se développent relativement bien, selon Philippe Blanco du Service technique des Parcs et Jardins de la Ville d'Angers.

Les Tilleuls de la rue de la Meignanne à Angers (*cf.* Figure 28) présentent un volume global de fosse relativement faible par unité (8m³ environ), mais la croissance est moyenne et surtout assez régulière, d'après les données.



Figure 28 : A gauche, photographie d'une plantation réalisée avec fosse en tranchée continue à Angers, rue de la Meignanne (ALM, 2001). A droite, photographie de l'alignement actuel (Gouédard, 2014).

La fosse en tranchée continue offre aux racines un développement presque totalement libre dans deux directions (*cf.* Figure 29). Comme présenté plus haut, les racines absorbantes se situent principalement en partie distale des racines charpentières, engendrant une concurrence avec l'arbre voisin au cours de la croissance racinaire. Mais cette concurrence est temporaire au début. Il arrive nécessairement un moment où la concurrence devient importante dans le cas où une nouvelle série de racines fines se développe à partir du collet. La fosse en tranchée continue offre malgré tout un volume efficace de sol plus grand pour chaque arbre que la fosse individuelle, mais il permet simplement de faire reculer le moment où ce volume est saturé en racines. Cette technique de plantation est donc plus respectueuse de la plante, mais les volumes de sol restent très limitants à terme, à moins que ce volume à disposition de la racine soit réellement proportionnel à l'espèce implantée. Dans ce cas la plantation a de meilleures chances d'être pérenne.

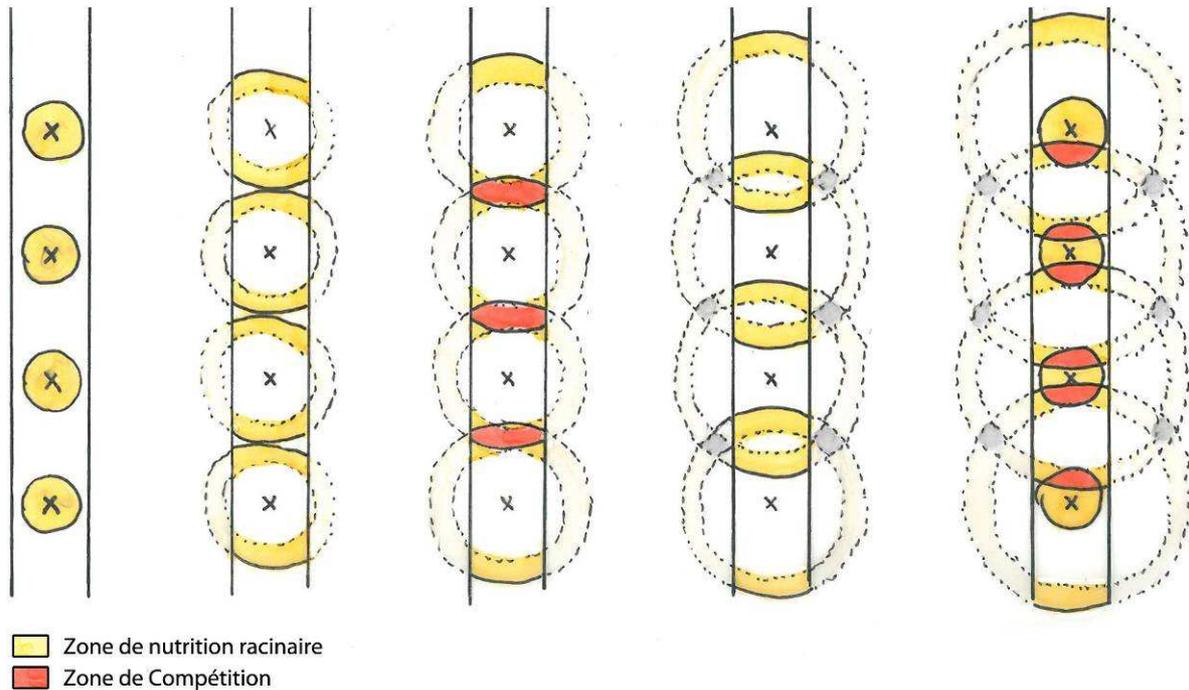


Figure 29 : Représentation schématique de la concurrence nutritionnelle des arbres plantés en tranchée continue. (Gouédard, 2014)

Des alternatives au MPT ?

Les modules de structure de voiries plantées Silva Cell® (cf. Figure 30), développés par DeepRoot offrirait de bons résultats. Emboîtables, ils sont faciles à mettre en œuvre et garantissent une faible densité apparente du substrat en limitant le compactage dû au trafic.



Figure 30 : Photographie et détail technique des modules Silva Cell développés par DeepRoot. (Source : GreenMax.fr 2014)

Ils permettent de mettre en place une épaisseur variable de substrat selon les besoins, tout en passant les réseaux au travers de la structure ainsi formée. L'inconvénient de ce système est l'entretien des réseaux. Nous sommes obligés de détruire les modules et leur remplacement peut être fastidieux. Avec le MTP, l'excavation est simple de même que le remplacement. Il faut en revanche veiller à une bonne compaction en couches.



Figure 31: Photographie de la mise en œuvre de modules béton 'Deuxième sol naturel' développés par la pépinière Van Den Berk (Source : vdberk.fr 2014)

Une version béton des modules de structure du sol est développée par la pépinière Van Den Berk (cf. Figure 31), permettant d'obtenir une bonne portance tout en offrant aux racines un substrat meuble. L'inconvénient de cette technique est que la racine aura tendance à zigzaguer et le système racinaire ne pourra pas retrouver une architecture naturelle.

2.3 Des techniques culturales inappropriées

2.3.1 Des méthodes de production défavorables à long terme

Les conséquences de la taille au niveau des racines

La plantation de gros sujet a émergé avec le besoin de résultat immédiat dans les aménagements, exprimé par la société. Il s'avère que la capacité de reprise des gros sujets est difficile, car ils ont du mal à reconstituer un système racinaire viable. Nous savons mal si la génération de nouvelles racines a lieu près du collet, à l'extrémité des racines coupées lors de l'arrachage, ou quelque part ailleurs sur la ramification racinaire. [2] Les tendances actuelles favorisent les conditionnements en motte grillagée* (MG), notamment à partir de la force 18/20*. [12] Les arbres en racines nues (RN) sont plus jeunes, donc moins demandés en ville. Dans le cadre d'un projet de plantation pérenne, la plantation de gros sujets n'est pas très judicieuse car les techniques de production raccourciraient leur espérance de vie. Un arbre tige de force 25/30 subit au moins 3 à 4 (voire 6) transplantations espacées de 3 à 5 ans, il a donc plus de 20 ans au moment de sa plantation définitive. [13] La transplantation implique des opérations de taille du système racinaire qui sont à l'origine de conséquences importantes pour la plante.

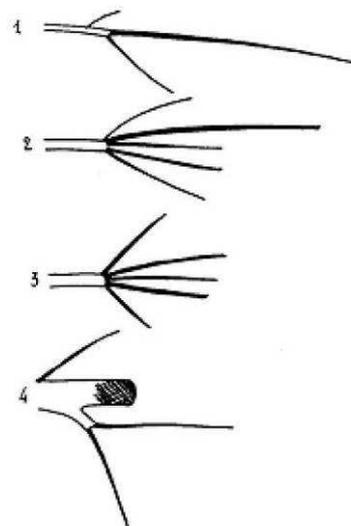


Figure 32 : Réactions à la taille des racines selon leur diamètre. (Raimbault, 2003) [7]

Ce schéma (Figure 32) montre les réactions naturelles de la racine suite à sa taille, en fonction de son diamètre. Pour une racine de fine (diamètre inférieur à 1cm), une ramification s'opère directement avant la coupe et restitue l'axe principal qui lui a été ôté (1). Pour une racine de petit diamètre (entre 1 et 2cm) la coupe engendre de multiples réitérations* suite au traumatisme. L'une de ces réitérations peut dominer et prendre le relais de l'axe principal perdu (2). Pour un diamètre de quelques centimètres, aucune des réitérations n'est capable de prendre le relais de l'axe principal et leur développement est de faible vigueur (3). Si la section de la racine est de gros diamètre, les réactions sont inexistantes et l'arbre est amputé durablement d'une partie de son système racinaire. C'est en général une racine plus petite, en amont de la coupe qui peut développer une ramification compensatoire (4). Donc plus la racine taillée est de gros diamètre, plus la reprise du développement est difficile et impacte profondément l'architecture naturelle de la plante. Les interventions de taille sur des racines âgées (tranchées pour réseaux) ont inévitablement un impact très important sur l'arbre, pouvant conduire à un dessèchement de la ramure quelques années après, l'attaque de parasites et parfois à sa mort. La constitution de la motte grillagée implique nécessairement la taille de racines sur des diamètres supérieurs à 2cm, impliquant une suppression de 1/3 à 2/3 du système racinaire initial. [2] La taille sur de gros diamètres engendre des chicots* qui constituent des plaies ouvertes idéales pour le développement de champignons pathogènes.

Si le semis initial et les deux premières transplantations ont été réalisés dans de bonnes conditions, l'arbre peut encore retrouver une architecture racinaire typique de l'espèce [7], qui sera quand même un peu plus ramifiée (ce qui est l'objectif du cernage* ou de la transplantation pour le pépiniériste). Par conséquent, au-delà de 6 à 8 années de culture (ce qui correspond à un arbre de force de 16/18), il ne serait plus possible pour l'arbre de retrouver ses caractères morphologiques racinaires originaux. Comme pour la partie aérienne, les conséquences d'une taille sur des diamètres de racine importants se traduiraient par une sénescence accélérée et irréversible de l'architecture de l'arbre. Pour

faciliter la cicatrisation et assurer la pérennité de l'arbre il est essentiel de tailler sur de petits diamètres de racines, donc de planter des arbres jeunes.

Il a été démontré que le bois racinaire contient plus de tissu de réserves que le tronc ou les branches (Drénou 2006). Il contient en effet une majeure partie des réserves nutritives, sous forme d'amidon. La taille racinaire doit donc se faire avec parcimonie, de façon à conserver un maximum de réserves utilisables pour la reprise végétative.

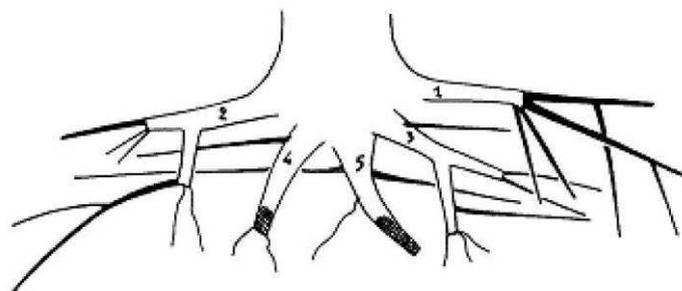


Figure 33 : Schéma de l'architecture du système racinaire d'un arbre planté en gros sujet, plusieurs années après sa plantation. (Raimbault, 2003)

Le schéma (Figure 33) montre que pour de gros sujets la reprise racinaire se fait essentiellement à partir des racines latérales (les charpentières) et que les racines profondes (pivots) réagissent peu, voire pas du tout, même après plusieurs années de plantation.

Ce phénomène met en évidence un problème potentiel de stabilité car seules les charpentières développent progressivement des pivots secondaires et permettent plus ou moins un ancrage de l'arbre dans le sol. Le conditionnement en motte permet difficilement de vérifier la qualité du système racinaire car la motte peut cacher un défaut sanitaire ou un sérieux problème de structure du socle racinaire. La durée des garanties de reprise pour les gros sujets sont trop courtes par rapport à la capacité de l'arbre à retrouver un cycle de développement normal. Les conifères en particulier, ne sont pas en mesure de montrer une reprise significative de leur croissance avant trois années de reprise. Il arrive fréquemment que le traumatisme de la transplantation se fasse sentir très longtemps après, jusqu'à 20 ans parfois [2]. Dans le cadre d'un projet de plantation pérenne, il est donc préférable de planter des jeunes sujets.

Retrouver un végétal rustique et adaptatif

Pour que la reprise du végétal soit optimale il faut que celui-ci soit en mesure de répondre à toutes les contraintes du site dans lequel il sera implanté. Il doit être jeune, de caractères morphologiques et biologiques adaptés et être parfaitement acclimaté [2]. Les méthodes actuelles de culture consistent à décupler la croissance de la plante pour raccourcir les cycles de culture et être plus compétitif, mais ces pratiques rendent la plante beaucoup plus fragile et vulnérable par la suite. Le végétal dont nous avons besoin pour les plantations pérennes doit être cultivé dans des conditions de croissance et de développement naturelles, sans engrais chimique ni pesticide ou perfusion via une irrigation constante. Des conditions plus rustiques obligent la plante à développer une batterie de défenses naturelles que l'arbre réactivera tout au long de sa vie future pour lutter contre les aléas et agressions caractéristiques de son lieu d'implantation final. Les caractéristiques du sol d'élevage de la plante sont donc essentielles pour maintenir cette adaptabilité de la plante. La texture, la structure ainsi que la teneur de matière organique ne doivent pas être nécessairement optimales. Nous devons cultiver et préformer ces arbres en pleine terre, laissant à l'arbre un maximum d'autonomie dans son développement, pour qu'il soit résistant et fiable. Certes, il poussera lentement, mais sera en mesure d'être à la hauteur de nos attentes en matière de patrimoine arboré pour les villes de demain, selon Daniel SOUPE.

Pour préparer le végétal au sol qui l'accueillera, une nouvelle technique émerge depuis quelques années, celle de l'inoculation de bactéries. L'inoculation de mycorhize est plus largement connue et s'avère efficace dans certains cas, mais peu probante dans d'autres. Le principe développé par le Laboratoire Agro-nutrition® permet, à partir d'un échantillon de sol, de recueillir et sélectionner les bactéries compatibles avec l'arbre et favorables au

développement racinaire, ce qui est déjà pratiqué en agriculture pour les céréales. Les bactéries sélectionnées sont mises en culture et ensuite conditionnées en solutions aqueuses, pour être appliquées sur les racines de l'arbre une semaine avant sa plantation et inoculées dans le sol récepteur le jour de la plantation. Nous reformons ainsi un complexe vivant bactérie- plante viable, qui est capable de s'installer et de résister aux bactéries concurrentes du milieu final. 2,5L de solution bactérienne permettraient d'optimiser le développement d'une centaine d'arbres. Il faut simplement s'assurer que le support de plantation contienne suffisamment d'éléments carbonés (Compost, terreau, etc.) pour permettre le développement de ces microorganismes. Déjà largement répandu dans le domaine de l'agriculture, le processus serait viable économiquement s'il venait à se généraliser.

Ce qui nous avantage au vu de notre problème urbain est que les microbes sont partout. En effet, les bactéries se développent à la moindre opportunité, il en est de même pour les champignons. Donc quelque soit le type de sol en place, il contient inéluctablement un certain nombre de microorganismes, certes en petite quantité, mais qui sont pour une part nos alliés quant à la reconstitution d'un sol urbain.

2.3.2 Sortir les plantations de l'assistanat

Dans un objectif de plantation viable en ville, nous devons redonner à l'arbre une capacité à se développer de façon autonome. « L'avenir d'un arbre passe avant tout par la capacité de son système racinaire à se développer. Sa longévité dépend de son aptitude à produire et renouveler ses racines. » (Drénou 2006).

Pour envisager une plantation pérenne, il convient de réaliser une analyse détaillée du site support du projet, d'en définir les enjeux et de justifier l'implantation de l'arbre sur ce site. Dans un souci de viabilité, il paraît judicieux de limiter au maximum les intrants* et extrants*, donc une étude plus approfondie du sol et des contraintes techniques et environnementales comparées aux objectifs du projet permet de déterminer le choix des espèces à planter. En cas de sol peu fertile, le choix d'un arbre jeune au fort pouvoir adaptatif, cultivé dans des conditions rustiques est indispensable.

Aujourd'hui, les terres végétales utilisées dans le cadre d'aménagement sont presque exclusivement d'origine agricole, d'après Philippe BLANCO (du Service Technique des Parcs et Jardins de la ville d'Angers), prélevées sur les sites de nouvelles implantations industrielles ou dans les zones d'expansion urbaine (Rossignol *in* Cheverry et Gascuel, 2009). L'un des 6 principales orientations de la Loi Grenelle 2 de 2010 est de préserver la biodiversité et en particulier de réduire la consommation d'espaces agricoles ou naturels par l'expansion urbaine [14]. Nous devons trouver des solutions pour restaurer et recycler les sols à disposition. Utiliser le sol intrinsèque au site permet d'exclure un choc édaphique au cours de la croissance future du végétal. Selon sa nature, il est envisageable d'extraire les éléments grossiers (ré-exploitable en fondation de voirie) et d'y rapporter quand même, un peu de matière organique. Le plus important est de conférer au sol de plantation une transition la plus régulière possible entre les racines de l'arbre et le sol brut. Des amendements mineurs pourront être réalisés dans le cas de sols trop filtrants ou imperméables pour obtenir une fertilité convenable, mais l'ameublissement des sols compactés sur l'emprise totale du développement adulte de l'arbre est préférable pour assurer sa pérennité.

Nous devons redonner vie aux milieux édaphiques devenus quasiment stériles par l'action de l'Homme. Le travail consiste à retrouver un niveau de fertilité physique et chimique convenable, comme il a été décrit plus haut, mais surtout biologique. La fertilité physique reste cependant l'élément essentiel du processus de revitalisation des sols car il conditionne majoritairement les autres types de fertilité. Dans le cas de sols compactés la porosité doit être retrouvée, pour permettre des échanges verticaux et horizontaux au sein de

l'écosystème (gaz et eau). Un sous-solage de fond (1,20m minimum) doit être réalisé pour fragmenter les horizons inférieurs du sol et permettre une prospection racinaire en profondeur. Nous devons autant que possible, dans l'aire de développement des racines, « dés-artificialiser » les sols, les rendre perméables à l'eau en limitant les enrobés à granulométrie fermée, les dalles bétons, et si possible, tout autre matériau susceptible d'entraver fortement la pénétration de l'eau dans le sol comme le pavage ou le stabilisé. L'eau est à la base de la vie, le sol doit donc impérativement en contenir une certaine proportion. La bonne santé d'un sol se mesurerait par la quantité de biomasse qu'il contient d'une part, et par la diversité biologique du sol ainsi qu'à la nature des interrelations qui s'y exercent, d'autre part. La diversité des espèces en qualité et quantité est capitale, car lorsqu'une espèce dominante voit sa population décroître suite à une perturbation quelconque, les espèces minoritaires comblent la niche écologique laissée vacante et assurent ainsi le rôle des microbes du sol.

Pour se développer, les racines de l'arbre ont besoin de nutriments. Mais pour que le sol soit en mesure de fournir des nutriments et que ceux-ci soient assimilables par la plante, l'arbre a besoin des microorganismes. Ces derniers ne peuvent se développer qu'en présence d'humus, bouillon de culture indispensable à l'équilibre d'un sol (Bourgignon 2009). Ce dernier provient de la matière organique fraîche (débris végétaux et animaux) décomposée par la macrofaune du sol. En ville, ces derniers quasiment absents donc le cycle de la nutrition est rompu. Il est essentiel pour relancer la biologie du sol, de réintroduire en surface et dans les premiers centimètres du sol, des végétaux et animaux produisant cette matière organique. L'apport d'un compost mélangé à la terre en surface facilitera cette revitalisation en améliorant les conditions de développement des plantes et animaux de surface. Il ne faut pas amender le sol sur toute la profondeur d'exploitation des racines, car cela aurait pour conséquence d'abaisser fortement le taux d'oxygène du fait de l'activité microbienne qui n'est sensé avoir lieu que sur les premiers centimètres du sol. Un amendement sur l'ensemble de la surface destinée à l'arbre dans le projet n'est pas indispensable non plus (à moins que la surface soit fermée), la nature s'en chargera d'elle-même à mesure que la végétation se développera. En revanche, le sol doit être vivant sur l'ensemble de cette surface. Un paillage organique supplémentaire améliorera nettement la fertilité biologique de cet écosystème, en diffusant progressivement de la matière organique et en optimisant la disponibilité en eau. La technique du BRF (Bois Raméal Fragmenté) a largement fait ses preuves à ce propos [2]. Les écorces, feuilles, pailles et plaquettes de bois sont aussi très efficaces.

L'irrigation fait encore souvent défaut dans le suivi de plantations, car oubliée ou excessive. Suite à la plantation la mise en place de tensiomètres les 3 ou 4 premières années est coûteuse et chronophage mais elle s'avère très efficace pour gérer l'arrosage. L'idéal est l'installation de trois tensiomètres, disposés de manière centrifuge autour de l'arbre (un arbre sur cinq dans le cas d'un alignement). Un premier placé à 25 cm du tronc, à une profondeur de 30cm permet de connaître la teneur en eau au niveau de racines à la plantation, un second placé à 70cm du tronc et à une profondeur de 30cm permet de constater la reprise du développement racinaire et le dernier placé à 1m du tronc et à une profondeur de 80cm permet de confirmer la progression du système racinaire dans le sol (Gillig 2008).

2.4 Moyens de protection de l'arbre dans le temps

2.4.1 La réglementation comme outil de pérennisation des arbres

Le PLU est un outil de gestion de l'espace urbain à l'échelle de la Commune qui a pour objectif d'articuler les espaces entre eux et permet, notamment au travers de la Loi Paysage du Code de l'Urbanisme de 1993, de classer certains espaces boisés, alignements d'arbres ou arbres isolés et de reconnaître leur intérêt patrimonial. Ce classement caractérisé par des prescriptions particulières, les prémunit des travaux dommageables pouvant être réalisés

dans l'aire de développement de l'arbre. La révision régulière des PLU permet en revanche de modifier la fonctionnalité de certains espaces pour adapter la réglementation à l'évolution des besoins et des formes urbaines. Donc dans l'absolu, il n'est pas exclu que suite à une révision des arbres auparavant classés ne le soient plus et risquent d'être supprimés. C'est donc avant tout la volonté politique qui définit si un arbre doit être pérennisé ou non.

Le classement d'un site en EBC (Espace Boisé Classé) interdirait les changements d'affectations ou modes d'occupation des sols. En cas de nécessité de travaux, ils font l'objet d'une déclaration avant toute intervention auprès de l'ABF (Architecte des Bâtiments de France) pour validation. Ce classement serait donc un bon outil pour préserver une implantation d'arbres en ville, en revanche il devient très contraignant lorsqu'il s'agit d'intervenir sur l'arbre, ne serait-ce que pour l'entretenir (d'après Paillat 2013).

Ex-ZPPAUP (Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbanistique et Paysager), les AMVAP (Aire de Mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine) créées à l'initiative des Communes ou Communautés de Communes permettent de protéger indirectement les arbres au travers de prescriptions élaborées au titre de l'intérêt urbain ou paysager que peut avoir un territoire. Ces prescriptions sont applicables de manière similaire au PLU.

L'arbre, faisant partie intégrante du paysage dans le cadre d'un édifice classé aux Monuments Historiques, peut acquérir une protection spécifique si celui-ci apporte à l'édifice considéré un caractère particulier. Il s'agit le plus souvent d'arbres déjà bien installés ayant un impact visuel fort sur le site protégé. Cette mesure de protection joue donc un rôle important dans le cas de vieux arbres, mais dans le cadre de plantations jeunes, la protection reste faible. Nous devons donc prendre grand soin de ces plantations potentielles jusqu'à ce qu'elles atteignent une certaine maturité, moment à partir duquel leur impact visuel sur le monument prendrait de l'importance. L'intervention dans l'aire de protection nécessite une demande préalable à l'ABF, ce qui protège indirectement les arbres comportant un enjeu avec l'édifice protégé.

Dans le cadre de ZAC (Zone d'Aménagement Concerté) ou de la création de nouveaux lotissements, rien ne permet de sécuriser l'arbre de façon certaine si des prescriptions n'ont pas été émises auparavant. C'est à l'initiative du Maître d'œuvre que des prescriptions peuvent être rédigées lors de la phase de diagnostic de l'étude préalable à l'aménagement. Certains arbres peuvent être supprimés d'autres déplacés, d'autres encore conservés. Dans ce dernier cas, un cahier des charges peut réglementer les interventions possibles ou non sur et à proximité directe de l'arbre, en vue d'assurer sa longévité sous forme de règles et de servitudes. Ces outils juridiques en faveur de la protection de l'arbre garantissent aussi la pérennité de l'aménagement, en cohérence avec le projet initial. Des amendes forfaitaires peuvent accompagner ces prescriptions, obligeant le citoyen à respecter les mesures de conservations prises à l'échelle de la communauté.

Pour s'assurer que les différents corps de métiers intervenant en souterrain ne réalisent pas de travaux sans précaution, au péril des arbres, il est aujourd'hui possible de déclarer un alignement d'arbres au même titre qu'un réseau (Eau, gaz, électricité). Cela se pratique peu encore (Angers et Strasbourg), mais cette technique semble très efficace selon Philippe BLANCO. Cela oblige les concessionnaires à faire une déclaration préalable aux travaux (DT) qui informe les différents concessionnaires du lieu d'intervention concernés et de la teneur des travaux prévus, dont la commune dans notre cas. Cette dernière doit fournir une attestation au déclarant pour accepter ou réfuter le projet selon les exigences relatives au réseau, ici les arbres. La déclaration d'arbres en réseau s'avère être un outil intéressant à développer pour pérenniser les plantations. En revanche, il ne concerne pas les arbres isolés ou plantés aléatoirement. Dans le cadre d'une politique de protection de l'arbre, nous pourrions vraisemblablement généraliser ce type de déclaration à l'ensemble des arbres d'avenir d'une ville pour rendre officielle tout type d'intervention sur le sol et ainsi s'assurer de la pérennité des plantations.

2.4.2 La sensibilisation comme moyen préventif de protection des arbres en ville

La symbolique que portent les arbres ne semble pas suffisante pour que le citoyen respecte ce végétal d'un air si fort, mais en réalité si fragile. Le dépérissement des arbres en ville est souvent imputé à la présence de parasites ou autres maladies, mais ces dernières s'installent généralement lorsque les conditions de développement de l'arbre ne sont pas satisfaisantes (blessures, stress important). Le gestionnaire se voit contraint de mettre en place des arbres de grosse taille pour lutter contre les dégradations régulièrement constatées sur de jeunes sujets et d'installer toutes sortes de protection physiques pour tenter de les préserver. Le stationnement anarchique tout comme le piétinement sont un réel problème pour l'arbre, car ils diminuent la porosité du sol par tassement ce qui limite les échanges gazeux entre la racine et l'atmosphère et peut asphyxier l'arbre. La protection des surfaces non minéralisées et la sensibilisation de la population aux enjeux du sol sont des pistes d'amélioration de la vie des arbres à étudier.

Notre travail de paysagiste ne réside donc plus simplement dans la conception, la qualité esthétique ou écologique du projet, mais il concerne aussi des questions de sociologie. Il nous faut intégrer les conséquences des dérives sociétales à risque dans la conception des espaces publics et innover dans les techniques de protection de ces arbres, parallèlement à un problème de sensibilisation de fond qui devient dominant dans certains quartiers de la ville. La plantation de gros sujets serait encore la meilleure solution à envisager pour garantir une certaine cohérence dans l'aménagement de ces espaces publics. L'image de l'arbre s'avère être un puissant moteur de sensibilisation et de respect de la nature par ailleurs, donc notre mission est de mettre en œuvre le moyen d'équilibrer ces deux tendances, afin de satisfaire la majorité des usagers.

Les arbres mitoyens ou proches de la limite de propriété sont particulièrement sujets à conflit en France. La récurrence des plaintes conduisent souvent à un abattage de principe, devenant absurde. Dans certains pays, la végétation peut être une propriété collective comme dans la communauté du quartier de Vauban à Freiburg en Allemagne (d'Erm 2009). La responsabilisation du citoyen face à l'arbre est un volet à développer pour redonner une nouvelle dynamique à la pérennité des arbres en ville. Les préconisations paysagères incluant l'arbre dans la propriété devraient inclure une réglementation à respecter et des engagements spécifiques à faire adopter par l'habitant. Un caractère de reconnaissance des bons citoyens par un système de récompenses pourrait par exemple voir le jour et donner l'exemple d'un meilleur respect de l'arbre par l'Homme.

2.5 Synthèse

Il est important que les Maîtres d'œuvre, gestionnaires, équipes de terrain et autres corps de métier interfèrent dans l'aménagement des espaces et travaillent ensemble sur l'élaboration d'un projet de plantation et de gestion d'arbres. L'argument de sécurité conduit trop souvent à un abattage systématique, alors que bon nombre de petites opérations préalables permettraient d'éviter de telles décisions. Le choix d'un végétal se fait encore souvent prioritairement selon des critères esthétiques, des critères de résistances biologiques, puis des questions de volumes pour satisfaire le concept du projet. Il est indéniable que les volumes disponibles en souterrain et en aérien, tendent à décroître fortement en ville ces dernières années. Il apparaît donc indispensable de mieux considérer la volumétrie du support disponible pour envisager des plantations viables. Les arbres de grandeurs 3 et 4 sont à privilégier, et les arbrisseaux et arbustes peuvent apporter de bon compromis dans les milieux les plus restreints. L'architecture du système racinaire des arbres et les caractéristiques des sols urbains restent cependant encore mal connus pour apporter des réponses fiables en termes d'aménagement.

3 Des tendances rassurantes qui mettent en exergue des lacunes et incertitudes

3.1 Les racines, une partie de la dendrologie qui reste mal connue

3.1.1 Une description morphologique par espèce pour les projets de demain

Dans les catalogues de pépiniéristes nous trouvons diverses informations sur les caractéristiques de l'arbre (couleur de feuillage, floraison, port général, dimensions), mais rares sont les informations qui concernent le système racinaire. Elles font surtout état de risques d'ordre technique. Nous avons vu précédemment que la morphologie racinaire des arbres est spécifique à l'espèce d'une part, aux conditions édaphiques d'autre part. Les descriptions recensées concernent quelques espèces forestières exécutées de manière isolée, mais très peu de données concernent les espèces ornementales. Les méthodes d'analyse du système racinaire non destructives ne sont pas probantes pour le moment, ce qui explique que nous ayons si peu d'informations sur le sujet. Nous devrions mettre en place des modules de recherche et généraliser ces études à l'ensemble des espèces ornementales couramment utilisées afin de mieux comprendre le fonctionnement et l'évolution de l'arbre dans sa globalité. Nous devons surtout prendre conscience de la forme et de la volumétrie de sol nécessaire à l'arbre pour se développer convenablement et durablement. Nous devons par ailleurs affiner ces recherches pour comprendre quelles peuvent être les conséquences des caractéristiques spécifiques aux sols urbains sur l'expression et la plasticité du système racinaire de ces différentes espèces.

Lorsque nous aurons recueilli suffisamment de données sur les racines des arbres et les milieux urbains, la modélisation numérique de l'évolution du système racinaire des arbres sera alors possible en tenant compte des multiples contraintes de ces espaces. Des modélisations ont été expérimentées dans le cadre d'arboriculture fruitière, mais elles restent peu fréquentes [15]. En ville, cette modélisation pourrait être un précieux outil d'aide à la décision quant au choix des espèces selon les contraintes et les objectifs de pérennité visés lors de plantation d'arbres.

3.1.2 Une évolution de la palette végétale par la génétique

De nombreuses expérimentations ont vu le jour pour répondre à des contraintes de sol dans le cas de cultures arboricoles fruitières. La nature et la vigueur du porte-greffe d'un poirier par exemple, a toute son importance sur l'expression de l'appareil aérien [16]. Certains d'entre eux sont capables de développer une architecture racinaire très restreinte tout en conservant un houppier normal. En ville, les volumes de sols sont rares et les espaces aériens le deviennent de plus en plus. Nous pourrions utiliser davantage des porte-greffes nanifiants tout en conservant les caractères esthétiques recherchés.

De nouvelles variétés arrivent sur le marché chaque année pour agrémenter la palette végétale disponible, mais ces variétés sont essentiellement recherchées pour des valeurs esthétiques. Une sélection variétale selon des critères de résistance à la sécheresse, à la pauvreté nutritive ou aux pollutions des sols pourrait aussi avoir un intérêt dans l'amélioration des modes de plantation et de gestion des arbres en ville. Il s'agit là d'approfondir nos connaissances sur la nature des phénomènes du vivant qui s'exerce sur le génome de la plante et sur son expression face à diverses conditions du milieu [2]. La sélection de variétés selon une morphologie racinaire profonde et étroite pourrait de la même manière résoudre de nombreux conflits d'ordre technique.

3.1.3 Une biologie complexe dont il reste beaucoup à découvrir

Les recherches sur le végétal sont innombrables, mais ce dernier attire toujours autant la curiosité des chercheurs. En effet, chaque fois qu'une découverte explique un phénomène, une nouvelle question se pose pour en comprendre un autre encore. A propos des plantes vasculaires (dont les arbres) beaucoup de questions restent en suspens concernant notamment les relations physiologiques qui s'exercent entre le houppier et le système racinaire, ou entre divers organes du houppier, ou ceux des racines. Le jeu des hormones est à l'origine de nombreuses suppositions, mais beaucoup d'entre elles restent à prouver. Cette dimension de la biologie végétale est extrêmement importante pour comprendre les réactions que la taille du système aérien peut avoir sur le développement racinaire et réciproquement, ou l'impact que la pauvreté d'un élément nutritif du sol peut avoir sur l'absorption d'un autre ou sur la croissance. Les pratiques culturales restent majoritairement régies par l'expérience et l'observation. Les plantes que nous manipulons depuis tant d'années ont en fait encore beaucoup de secrets à nous dévoiler pour nous permettre de progresser dans la gestion du végétal.

L'observation des plantes et de leur sol ont permis de découvrir beaucoup de phénomènes induits par des relations entre le sol et la plante, comme la symbiose du champignon avec la racine ou celle de la bactérie, mais de nombreuses constatations restent inexplicables. Nous ne connaissons pas le rôle d'une majorité de microorganismes du sol dans la pédogenèse et dans l'assimilation des nutriments par la plante. Il paraît que 95% des espèces vivantes du sol restent encore à identifier et à décrire [2], ce qui montre toute la complexité des relations sol-arbre. La compréhension de certains métabolismes nous permettrait d'améliorer la résistance des plantes aux pollutions, au sel de déneigement ou aux aléas climatiques. Nous ne savons pas si l'adaptabilité de la plante au milieu est plutôt d'origine génétique, biologique, ou écologique.

3.1.4 L'arbre et la phytosociologie

Que ce soit au beau milieu de la campagne ou au cœur de la ville, l'arbre se développe rarement seul dans son milieu. Les plantes spontanées l'accompagnent rapidement si tel est le cas. Le jardinier peut implanter des espèces arbustives, grimpantes, vivaces ou annuelles à son pied s'il ne souhaite pas voir les « mauvaises herbes » envahir l'espace public. Les espèces qui accompagnent l'arbre sont donc de tout genre et de toute nature. Il a été démontré dans les potagers, que la proximité de deux espèces est parfois négative pour la croissance de ces deux végétaux (Wagner, 2001). Mais qu'en est-il des arbres et des autres espèces ? Le Noyer est connu pour émettre de composés organiques volatiles (COV) toxiques qui inhibent la croissance de certains genres de végétaux sous son houppier. Or, il devient nécessaire de planter les pieds d'arbre de vivaces ou d'arbustes, ou du moins de les pailler pour pérenniser la biologie du sol. Mais quelles peuvent être les relations qu'entretiennent ces plantes via les échanges gazeux aériens ? Quels impacts la compétition racinaire peut-elle avoir sur la croissance de l'un ou l'autre de ces végétaux ? L'association de végétaux aux plantations d'arbres pourrait potentiellement s'avérer bénéfique (ou néfaste) pour leur développement et leur pérennité. Nous devrions élaborer un programme de recherche qui mette en lumière les associations favorables ou défavorables pour ainsi améliorer la nutrition des plantations arborées dans les milieux urbains pauvres via l'implantation de vivaces ou d'arbustes facilitant la nutrition, par exemple, ou la résistance aux agressions diverses.

3.2 De nombreuses lacunes dans la connaissance des sols urbains

3.2.1 Des milieux historiquement peu intéressants pour le pédologue

Les cartes pédologiques étaient jusque là principalement décrites dans le cadre de cultures forestières ou agricoles, mais les villes ne présentant pas d'intérêt d'un point de vue agronomique, quasiment aucune information sur la valeur agronomique de sols urbains n'était jusqu'alors disponible. Un programme de recensement et de cartographie des sols (y compris des agglomérations) au niveau européen est en cours, élaboré à partir des données recueillies dans la base de données Corine Land Cover (CLC). Actuellement, la résolution de cartographie est de 16km² et les objectifs du programme européen est d'abaisser cette résolution à 25 ha, ce qui reste très peu précis pour évaluer les enjeux dans le contexte de la ville (Cheverry et Gascuel 2009). La cartographie des sols urbains apparaît donc comme un enjeu important dans l'implantation et la gestion des espaces végétalisés.

Les sols urbains sont très hétérogènes d'un endroit à un autre de l'espace urbain, mais aussi en profondeur. Actuellement en France l'occupation actuelle des sols est principalement définie dans les PLU, dont l'historique est très succinct. Ils ne donnent pas (ou très peu) d'information sur l'histoire des sols. Un deuxième couche d'informations devrait être intégrée dans les documents d'urbanisme afin de connaître le passé des sols et d'envisager un aménagement en fonction, surtout dans le cas d'anciens sites industriels susceptibles de cacher encore d'importantes source de polluants (Cheverry & Gascuel 2009). A l'échelle du territoire, l'approche par couche d'informations facilite la gestion de l'espace. Aux Pays-Bas, trois couches d'informations sont intégrées pour comprendre les enjeux de l'espace, la carte des milieux (l'eau, le sol et la vie qui s'y développe), les réseaux (toutes les infrastructures visibles et invisibles), et les modes d'occupation des sols. Les interactions entre ces trois couches d'informations sont multiples et révèlent des éléments cruciaux pour établir un programme d'aménagement viable.

Aujourd'hui, deux cas de figure opposés apparaissent quant-aux conditions de développement des arbres dans les villes (cf. Figure 34).

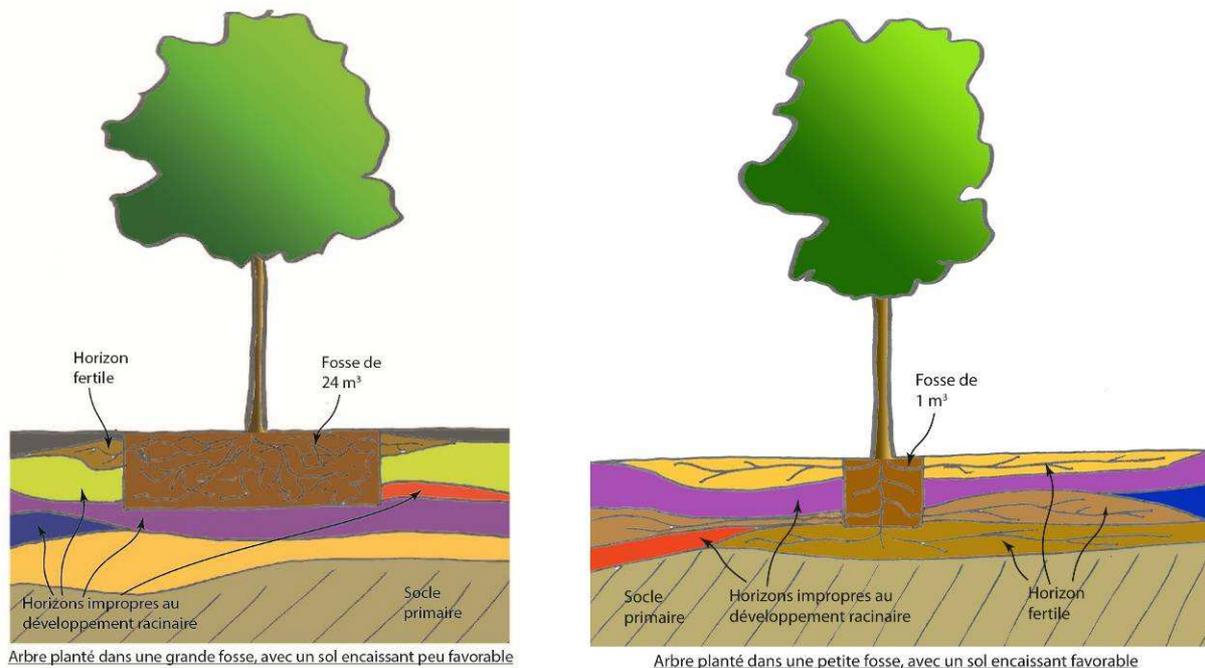


Figure 34 : Représentation schématique du développement des arbres selon deux contextes extrêmes du sous-sol (Gouédard 2014).

La situation de gauche met en évidence le comportement des racines de l'arbre planté dans une grande fosse de plantation (24m³), mais dont le sol encaissant, phyto-toxique pour l'espèce, est défavorable au développement racinaire. Le système racinaire est cantonné au volume artificiel de bonne terre et ne parvient pas (ou très peu) à prospecter les milieux alentours. Les racines ont tendance à chignonner et l'arbre à végéter une fois le compartiment de la fosse entièrement exploré par les racines. La situation de droite montre une plantation simple dans une fosse de plantation de petite taille (1m³), mais située dans un sol encaissant favorable à la prospection racinaire par la présence d'horizons de sol fertiles. Les racines peuvent alors prospecter largement les milieux alentours et l'arbre se développe progressivement en fonction de la nourriture qu'il rencontre. Il arrive couramment que des plantations au départ négligées se développent finalement très bien aujourd'hui et à contrario, que des plantations aient fait l'objet de précautions particulières mais périclitent aujourd'hui du fait d'une incompatibilité de sol.

La connaissance des caractéristiques de sol préalable au projet s'avère être dans certains cas un élément clé de la réussite de la plantation. Les études de sols sont rarement réalisées de manière rigoureuse aujourd'hui, faute de temps et de moyens financiers, mais il arrive bien des cas où cet investissement serait très « rentable » du fait que les choix faits de manière judicieuse, le suivi et l'entretien futur seraient nettement moins coûteux par la suite.

3.2.2 Le sol socle support à la croisée de multiples acteurs décisionnels

Les acteurs du sol en ville sont multiples. Le sol est la base fondamentale de tout aménagement du territoire. Qu'il s'agisse de l'urbaniste, de l'architecte, du concessionnaire ou du paysagiste, l'élément commun du territoire à tous ces acteurs est le sol. Les réseaux enterrés sont de plus en plus fréquents, impliquant une accessibilité minimum pour la maintenance et l'évolution de ces réseaux. Chacun des propriétaires possède une perception propre et des exigences techniques toutes aussi spécifiques du milieu. Nous parvenons relativement bien à travailler de manière pluridisciplinaire sur les projets d'aménagement, mais chacun des corps de métiers reste retranché dans ses compétences n'intègre pas suffisamment les enjeux des autres professionnels. Pour progresser vers des aménagements viables, nous devons tendre vers une démarche interdisciplinaire des différents acteurs du sol et ainsi, envisager de préserver et d'améliorer la qualité des sols en ville. La paysagiste étant encore trop souvent le dernier à intervenir sur les projets, il est aussi celui qui a le plus d'intérêt quant-à la santé du sol, il devrait donc se positionner en tant que coordinateur des projets et intégrer les intérêts de chacun des acteurs dans l'organisation et la gestion global des projets.

Les causes des effets recensés sur les sols sont parfois difficiles à cerner. En effet, la distinction entre les facteurs anthropiques et édaphiques est d'autant plus complexe qu'il y a d'acteurs intervenant potentiellement sur les sols. La communication entre les différents acteurs du sol est difficile, mais lorsque les échanges entre professions existent, ils s'avèrent féconds [2].

Les usagers, habitant ou travaillant au sein des lieux, impactent fortement les sols par leur passage et leur comportement. Le végétal commence à être reconnu comme un être vivant fragile par les populations, mais la santé des sols reste largement inconsidérée par ces usagers. Nous commençons à bien rendre compte de l'importance des services rendus par l'arbre en milieu urbain, mais nous avons encore trop peu conscience des services rendus par le sol, d'une manière générale. Nous devons retrouver le lien à la terre que nous avons massivement perdu, en l'espace de seulement une ou deux générations. Le paysagiste, conservateur de connaissances intrinsèques, devrait donc porter des programmes de sensibilisation sur l'importance que nos actions sur le sol peuvent avoir sur les écosystèmes urbains.

3.2.3 Vers une protection des sols

Contrairement à l'air et l'eau, le sol n'est pas une ressource naturelle protégée à l'heure actuelle. Il est pourtant à l'origine de toute la vie sur Terre et les spécialistes reconnaissent une dégradation accrue des sols en France (Bourgignon 2009). Une proposition de Directive a cependant été proposée le 22 septembre 2006 visant à reconnaître la multiplicité des fonctions du sol ainsi que son caractère renouvelable. Elle obligerait l'Etat à analyser et évaluer l'impact de ses pratiques politiques ayant des effets directs ou indirects sur la dégradation des sols. Un recensement systématique des sols à risques doit être réalisé dans un même temps. Malgré cela, les principaux Pays membres de l'Union Européenne ont refusé l'adoption de cette Directive. Faute de législation, les sols ne sont partiellement protégés que par l'intermédiaire de textes relatifs à d'autres éléments de l'écosystème tels que l'eau, la biodiversité, les espaces naturels, la gestion des déchets. [2]

3.3 Quel végétal pour le paysage urbain de demain ?

3.3.1 Une politique de court terme en défaveur de la santé des arbres

Nous sommes une génération où la culture est fortement influencée par la mondialisation des échanges, basée sur une production industrielle et de consommation de masse des biens. Tout est disponible à n'importe quel moment et n'importe où (ou presque). Les métiers du paysage se retrouvent eux aussi victimes de cette tendance car le citoyen exige des résultats immédiats dans son cadre de vie, faisant l'impasse sur les notions fondamentales du vivant. Les mandats politiques de 5 ans seulement ne permettent pas de mettre en place des démarches d'aménagement de qualité et de suivi sur du long terme. Les Maîtres d'ouvrage sont donc tentés de vouloir satisfaire leurs élus dans l'immédiat et amenés à planter des espèces poussant vite (donc souvent surdimensionnées), en gros sujet, dont la reprise est difficile et la pérennité remise en cause. Dans cet élan, le concepteur se voit bien souvent obligé de s'adapter au phénomène pour survivre, en proposant des aménagements sur 10 ou 20 ans, même s'il connaît les conséquences de ces pratiques. La qualité finale du projet est avant tout d'ordre esthétique et ne respecte pas suffisamment le végétal. Esthétiquement et financièrement, les conséquences ultérieures peuvent être considérables et être à l'origine de nombreux conflits dans les villes.

La prise de conscience est en marche, mais nous avons, en tant que paysagistes, un énorme travail de communication à poursuivre pour réintroduire dans les sociétés la sensibilité au vivant.

3.3.2 L'arbre dans les formes urbaines de demain ?

Aujourd'hui, avec un taux de croissance de l'ordre de 0%, les décisions politiques sont de plus en plus difficiles à prendre. Malgré cela nous observons dans la plupart des grandes villes une expansion de l'urbanisation sans précédent. En 50 ans, les surfaces artificialisées ont été multipliées par près de 4, alors que la population a été multipliée par 1,6 (Chevry & Gascuel 2009). Cette disproportion s'expliquerait notamment par le développement important des infrastructures (routes, autoroutes, aéroports), mais aussi par un besoin de propriété couplé au besoin de nature (lotissements) très consommateur d'espace. La prise de conscience que la moitié des meilleures terres agricoles a déjà été détruite par la progression des fronts urbains nous oblige à revoir nos programmes de composition urbaine. Il est donc essentiel aujourd'hui de concentrer l'impact des activités humaines à l'origine de l'artificialisation des sols sur les espaces déjà fortement anthropisés. Les espaces urbains devront donc faire l'objet de densification horizontale et d'un développement vertical si nous voulons pouvoir gérer durablement les ressources liées à la terre. La densification verticale permettrait par ailleurs de limiter l'emprise du bâti au sol et de redonner à la ville des espaces à végétaliser pour le bien-être de la communauté.

Les Schémas Directeurs, outils de planification du territoire, doivent évoluer dans ce sens pour définir à l'échelle de la région des orientations urbanistiques viables, selon les atouts et contraintes intrinsèques. Ces documents permettraient de définir quels sont les espaces urbains susceptibles d'évoluer fortement et ceux plutôt stables, au sein desquels nous devrions envisager respectivement, un aménagement à court terme et à moyen voire long terme, en intégrant des plantations arborées adaptées. Les centres anciens, historiques ont un caractère généralement plus stable qui peut convenir pour des plantations pérennes (minimum un siècle). Les axes principaux des grandes villes sont aussi des éléments structurants de l'espace urbains qui possèdent une inertie forte, donc une stabilité à moyen voir long terme. En revanche, les espaces nouvellement urbanisés (lotissements) ou en cours de reconversion (grands ensembles) sont susceptibles d'évoluer fortement dans les décennies à venir, ils devraient donc faire l'objet de plantations à court ou moyen terme.

3.3.3 *Des mœurs et une culture en constante évolution*

L'arbre, symbole fort d'aujourd'hui, sera-t-il encore le nerf de la guerre quant-à la défense de la nature dans les villes de demain ? Les arbres demandent beaucoup de place alors que nous en manquons de plus en plus dans les villes pour développer la nature urbaine. Il n'est pas simple de savoir si l'arbre en milieu urbain aura encore réellement un sens dans les décennies à venir. Nous pouvons adapter l'image de l'arbre à une autre forme de végétation, moins contraignante et beaucoup plus malléable (cf. Figure 35).



Figure 35 : Photographie d'une structure porteuse à Béhuard (49) permettant à une plante grimpante (Chèvrefeuille) de remplacer l'arbre tout en conservant l'image qu'il confère. (Gouédard, 2014)

Si le ressenti est similaire, que la réponse à la demande de nature en ville est satisfaisante pour l'utilisateur, il y a bien des cas en ville où le concept serait plus adapté que l'arbre. La plasticité des formes est infinie et le choix des essences très important. Les plantes artificielles se développent aussi dans certains cas, ce qui a l'avantage incontestable d'être peu demandeur en entretien, mais l'effet escompté reste sensiblement moins apprécié d'une manière générale. Il semblerait que l'essentiel réside dans la saisonnalité du végétal pour rythmer le quotidien des usagers. La recherche de solutions viables pour la plantation arborée en ville doit de toute manière se concentrer sur l'utilisation d'un végétal réel, vivant et aux caractères naturels indéniables.

La mode de l'écologie, du « Développement Durable » semble bien souvent abuser de l'image du végétal pour justifier d'un développement économique en matière de décisions politiques. Dans les faits les actions ne sont pas toujours de nature à être viables. Nous développons une idéologie de projets respectueux de l'environnement, nous prétendons produire de l'écologie, chacun à notre mesure, mais nous produisons dans certains cas du « paysage jetable » [10]. L'arbre devient l'argument du projet, même si sa place n'est pas réellement justifiée. Il ne s'agit pas d'une généralité, heureusement. Ce qui est rassurant pour l'heure, est que l'arbre est un élément inéluctable de la composition de l'espace urbain, du fait du besoin exprimé par les usagers. Aujourd'hui, on ne peut dissocier la présence de l'arbre en ville de la politique d'urbanisme dans la dynamique de projet [1]. La symbolique et la culture autour de ce végétal sont profondément ancrées dans nos mœurs, donc au vu des formes de société actuelles, l'arbre a encore de belles années à vivre dans nos cités.

3.3.4 L'évolution du climat dans le choix des plantations

La hausse et les écarts importants de la température ont un impact négatif croissant sur la pérennité et la reprise des arbres en ville qui nous obligent à ajuster la palette végétale en utilisant des espèces plus polyvalentes et résistantes. L'origine géographique et génétique du végétal devient un élément clé dans le choix des végétaux car elle définit sa capacité à s'adapter au milieu de plantation final. Au sein d'une même région, le comportement végétal peut être différent, malgré un climat apparemment homogène, selon Philippe BLANCO. Faute de recul sur la question, il est essentiel de varier les genres et les espèces à planter en ville, de manière à acquérir une expérience à long terme qui facilite le choix des espèces en fonction des observations de terrain. La diversité spécifique améliore la résistance aux parasites et l'équilibre physico-chimique des sols. Les plantes issues de semis sont a priori plus résistantes et plus adaptables que celles issues de multiplication végétative.

Une érosion plus forte des sols est à craindre du fait de l'intensification ponctuelle des pluies que le réchauffement climatique peut engendrer. Nous devrions donc anticiper et réduire la part de surfaces imperméabilisées pour favoriser les infiltrations et planter davantage de végétaux de nature variée et ainsi, réguler le processus attendu [2].

3.4 Synthèse

De nombreuses investigations en cours et passées permettent d'établir un bilan relativement précis des lacunes que nous avons en matière de connaissance et de gestion des sols, mais les moyens financiers ne sont pas suffisants pour mettre à niveau ces données manquantes dans un délai satisfaisant. Les préoccupations écologiques et économiques croissantes devraient impulser de nouvelles recherches qui devraient porter leurs fruits dans les années et décennies à venir. La nécessité de densifier l'espace urbain tout en lui conférant un cadre de vie agréable et riche de « nature » accentue le défi de pouvoir planter et pérenniser des plantations arborées en ville, mais l'innovation et la recherche sur le végétal n'a jamais été aussi forte, donc nous devrions continuer à pouvoir profiter de nos cités dans des conditions favorables à la vie en société en continuant à y planter judicieusement le végétal.

Conclusion générale

Trois facteurs principaux interviennent dans la réussite à long terme d'une plantation d'arbres en milieu urbain, le sol, le végétal et la politique d'aménagement.

Contrairement aux pratiques actuelles, le sol ne doit en aucun cas être trop fertile et trop bien irrigué. Le végétal doit être en mesure de répondre aux variations extérieures dès lors qu'il sera livré à lui-même. Ainsi, un sol viable doit être un sol de densité apparente moyenne (1,4), présenter une petite réserve de matière organique et une capacité de rétention en eau moyenne, ce qui met l'arbre rapidement en situation de croissance lente, mais régulière.

Pour qu'un arbre planté en ville ait une chance d'acquiescer un âge « naturellement » adulte il faut que la plantation définitive se fasse lorsque l'arbre est encore à un stade très jeune de son développement, qu'il s'agisse du système aérien ou de l'appareil racinaire. Plus les organes de l'arbre sont jeunes, meilleure est sa capacité à s'adapter dans son nouveau milieu, notamment le sol. L'arbre ainsi élevé conserve des mécanismes de défense naturelle performants. Sa robustesse acquise lui permettra de résister à des conditions inhabituelles de stress de toute nature.

Le décisionnaire, à l'aide du concepteur, a toutes les clés en main pour définir clairement le devenir d'un espace à court, moyen, voire à long terme. Il doit donc, en chaque lieu de projet, exprimer des objectifs fermes et bien construits qui conduisent à s'engager sur un résultat final. La constitution d'une équipe interdisciplinaire prenant en compte l'intégralité des enjeux intrinsèques au site et à la genèse du projet est essentielle à sa réussite. La plantation d'un arbre est un acte de haute responsabilité. Elle structure l'espace dans lequel cet arbre est implanté pour une durée variable de quelques décennies à plusieurs générations humaines. Le projet de plantation arborée en ville est donc, au même titre que la construction d'un immeuble, un élément fondamental de la composition de l'espace urbain, qui mérite d'être mesuré et murement réfléchi à l'échelle globale de la ville. Afin d'être efficace et fonctionnel, le projet doit être porté non seulement par l'équipe politique en place et la Maîtrise d'œuvre, mais aussi et surtout, par les usagers actuels et futurs de l'espace nouvellement aménagé. Le décisionnaire doit donc se préoccuper dès l'origine du projet, de l'implication des usagers dans la construction et l'utilisation de l'espace ainsi créé. La communication et la sensibilisation sont des outils fondamentaux à la réussite d'un projet de plantation, sans quoi l'usager ne comprend pas les enjeux qui s'y dégagent et le manifeste par la dégradation du projet. Eduquer les gens au concept proposé, leur apporter des connaissances sur les éléments de composition du projet devient inéluctable pour le faire évoluer et atteindre l'objectif initial. Le projet doit être partagé et apprécié par la majorité pour être réellement abouti.

L'arbre de demain, c'est l'image d'un savoir faire développé par le paysagiste d'aujourd'hui que nous devons défendre et affirmer comme patrimoine naturel des paysages urbains de demain.

Bibliographie

- ROBERT, P. (2009) Le nouveau petit robert de la langue française. Robert, Paris. p. 130
- BURNIE, G. (2005) Botanica : Encyclopédie de botanique et d'horticulture. Place de Victoires, Paris. p. 948
- BOURGUIGNON, C. & L. (2009). Le sol la terre et les champs : pour retrouver une agriculture saine. Sang de la Terre, Paris. 224 p.
- CHEVERRY, C, GASCUEL, C. (2009). Sous les pavés la terre. Ecrin, Omniscience, Montreuil. 208 p.
- D'Erm, P. (2009) Vivre ensemble autrement : écovillages, habitat groupé, écoquartiers. Ulmer, Paris. 144 p.
- DRENOU, C. (2006). Les racines, face cachée des arbres. Institut pour le Développement Forestier, Paris. 335 p.
- DRENOU, C. (2009). Face aux arbres : apprendre à les observer pour les comprendre. ULMER, Paris. 156 p.
- GILLIG, C.M. (2008). L'arbre en milieu urbain : conception et réalisation de plantations. Infolio, Gollion (Suisse). 216 p.
- GUINAUDEAU, C. (2010). L'arbre en milieu urbain : choix, plantation et entretien. CSTB, Guide pratique, Marne-la-Vallée. 144 p.
- HALLE, F. (2005). Plaidoyer pour l'arbre. Actes Sud, Arles. pp. 17-24. 213 p.
- PAILLAT, V. (2013). Mesures de conservation de l'arbre existant dans les aménagements urbains. Mémoire, Horticulture et Paysage, ACO, Angers, 40 p.
- RAIMBAULT, P. (2000). Colonisation des sols urbains par les racines. *PHM revue horticole*, n° 414. pp. 45-49.
- WAGNER, H. (2001) Les poireaux préfèrent les fraises : les meilleurs associations de plantes. Terre vivante, Mens 112 p.

Sitographie

- [1] - Communauté Urbaine du Grand Lyon. La charte de l'arbre. [PDF]. Lyon : Communauté Urbaine du Grand Lyon, 2011. [référence du 7 mai 2014]. Disponible sur le www : http://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/Pdf/activites/environnement/20111214_gl_chartearbre.pdf
- [2] - Collectif. Dossier : Le sol est vivant, un habitat à protéger. [PDF]. Espaces naturels, avril 2012, n° 38, p 20-33. [référence du 21 juillet 2014]. Disponible sur le www : <http://www.espaces-naturels.info/sites/default/files/revue-38.pdf>
- [3] - Conseil de l'Industrie Forestière du Québec. Les rôles de l'arbre en ville. [PDF]. Canada, 2007. [référence du 5 mai 2014]. Disponible sur le www : <http://www.crecn.qc.ca/commission/pdf/cifq-arbreenville.pdf>
- [4] – Urba Actu. Le banc d'arbre, une unité mobile de repos par Rogier Martens. [en ligne]. 31 janvier 2012. [référence du 6 septembre 2014]. Disponible sur le www : <http://urba-actu.blogspot.fr/2012/01/le-banc-darbre-une-unite-mobile-de.html>

- [5] - Mairie de Hautmont. Les enfants, le meilleurs porte-parole des arbres. [en ligne]. 2013. [référence du 6 septembre 2014]. Disponible sur le www : <http://www.mairie-hautmont.fr/Cadre-de-vie/Arboretum-urbain/Les-enfants-les-meilleurs-porte-parole-des-arbres>
- [6] - Pépinière Van Den Berk. L'âme de l'arbre se cache dans le sol. Sint-Oedenrode, Pays-Bas, 2012 [PDF]. [référence du 26 août 2014]. Disponible sur le www : <http://www.vdberk.fr/public/site/downloads//l-ame-de-l-arbre.pdf>
- [7] - RAIMBAULT, P. La physiologie et l'architecture des racines. [PDF]. Igualada (Espagne) : 9^e congrès de l'APEVC, 2003. 8 p. [référence du 5 Juin 2014]. Disponible sur le www : http://www.apevc.org/index.php?searchword=raimbault&ordering=&searchphrase=all&Itemid=61&option=com_search&lang=ca
- [8] - CANNAVO, P. GALOPIN, G. (2013). La structure du système racinaire de l'arbre. Paris : JAT Au pays des racines. [PDF]. [référence du 28 Juillet 2014]. Disponible sur le www : <http://je jardine.org/images/stories/Actes%20JAT%20au%20Pays%20des%20Racines%2024-25-26.pdf>
- [9] - Atger 1992 *in* Plante & Cité. (2014) Critères et méthodologie d'évaluation de la qualité de l'enracinement pour le choix des arbres en pépinière. [PDF]. Angers. [référence du 5 septembre 2014]. Disponible sur le www : http://www.plante-et-cite.fr/criteres-et-methodologie-d-evaluation-de-la-qualite-de-l-enracinement-pour-le-choix-des-arbres-en-pepiniere-1651.html?&PARAM655=TypeBaseSelect_SYN
- [10] - ROSSIGNOL, J.P. Le sol, composante importante pour l'arbre d'alignement. [PDF]. Jardins de France, 2013. N° 626. p. 17-20. [référence du 28 Juillet 2014]. Disponible sur le www : <http://www.jardinsdefrance.org/media/files/Article%206.pdf>
- [11] – Bourguignon, C&L. (2012) La terre vue du sol. [PDF]. M le Magazine du Monde, janvier 2012. [référence du 24 juillet 2014]. Disponible sur le www : <http://www.lams-21.com/images/uploaded/Bourguignons-M-PDF%20Mellot.pdf>
- [12] - Pépinières Chauviré. Production de pleine terre, 2012. [en ligne]. Le Fief-Sauvin. [référence du 14 août 2014]. Disponible sur le www : <http://www.chauvire.fr/societe/notre-production/production-de-pleine-terre/>
- [13] - Les Pépinières Daniel Soupe. Nos domaines d'expertise, 2011. [en ligne]. Les Lazares [référence du 17 mai 2014]. Disponible sur le www : <http://pepinieres-soupe.com/Nos%20domaines%20d%20expertises-page-Expertises.html>
- [14] - Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Le Grenelle de l'environnement : Loi Grenelle 2. [PDF]. 23 novembre 2010 [référence du 9 Septembre 2014]. Disponible sur le www : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Grenelle_Loi-2.pdf
- [15] - Agropolis International. Architecture, transfert et disponibilité en eau dans la plante. [en ligne]. 30 mai 2010 [référence du 29 juillet 2014]. Disponible sur le www : <http://www.agropolis.fr/agronomie/exemple-architecture-transfert-et-disponibilite-en-eau-dans-la-plante.html>
- [16] - Agroscope. Publikationssuche (poirier+porte+greffe). [en ligne]. [référence du 8 Août 2014]. Disponible sur le www : http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/suche/index.html?sb_pubsearch=1&pubkeywords=poirier+porte+greffe&pubautor=&pubjahrvon=&pubjahrbis=&pubtyp=&pubsprache=&lang=de&pubsuche=Suchen

**AGROCAMPUS
OUEST**

- CFR Angers
 CFR Rennes



Année universitaire : 2013-2014

Spécialité :

Paysage

Spécialisation (et option éventuelle) :

Maîtrise d'Œuvre et Ingénierie

Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
 de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
 d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

ANNEXES

Par : Quentin GOUEDARD



Source : Christophe Drénou, 2006

Soutenu à Angers le 18 septembre 2014

Devant le jury composé de :

Président : Joséphine AUDEBERT

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Maître de stage : Aurélien ADAM

Enseignant référent : Christophe MIGEON

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Annexe I : Présentation de l'architecture adulte du système racinaire de 9 espèces d'arbres (4 résineux et 5 feuillus). Drénou, 2006

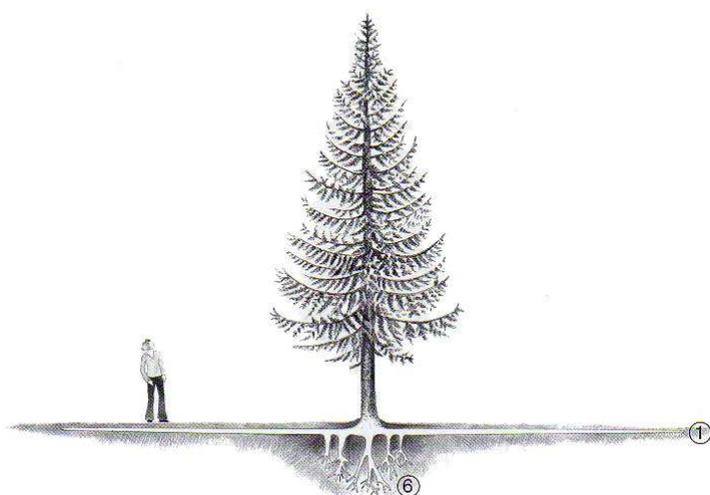
Légende des différents types de racinaire :

Réseau de racines traçantes :

- (1) Racines superficielles, horizontales et linéaires (souvent plus longues que l'arbre n'est haut).
- (2) Deuxième couronne* de racines horizontales à extension limitée.
- (3) Production tardive de racines à la base du tronc.
- (4) Racines superficielles, horizontales, abondamment fourchues et aux nombreuses soudures.
- (5) Racines superficielles, horizontales et fourchues près du tronc.

Réseau de racines pivotantes :

- (6) Ensemble de pivots verticaux.
- (7) Ensemble de pivots verticaux et obliques.
- (8) Ensemble de pivots obliques.



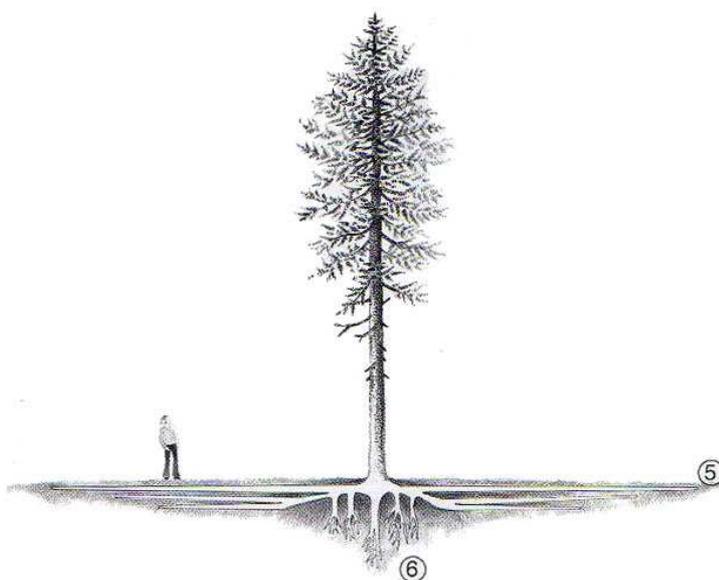
Epicéa commun (*Picea abies* L.)

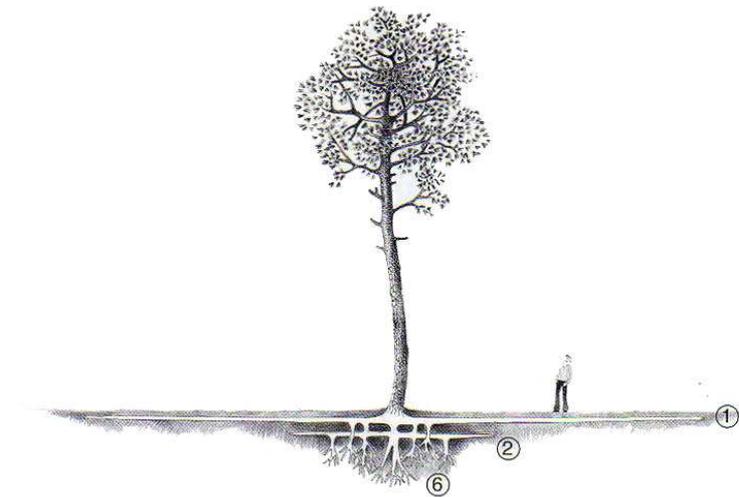
3 à 5 charpentières linéaires et superficielles se développent à la base du pivot central. De nombreuses répétitions sont caractérisées par le développement de pivots secondaires verticaux sous les charpentières, qui se prolongent par d'autres pivots, atteignant des profondeurs de 0,35 à 1,30m selon les sols.

Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.)

Un puissant pivot central donne naissance à 4 ou 5 contreforts (puissantes charpentières) caractérisés par une première division à environ 1m du tronc et une seconde à 2m développant ainsi de multiples charpentières linéaires rayonnant autour du collet.

Dans ce cercle de 2m naissent des pivots secondaires verticaux sous les charpentières, qui se subdivisent à 0,8m de profondeur et peuvent descendre jusqu'à 2,5m.



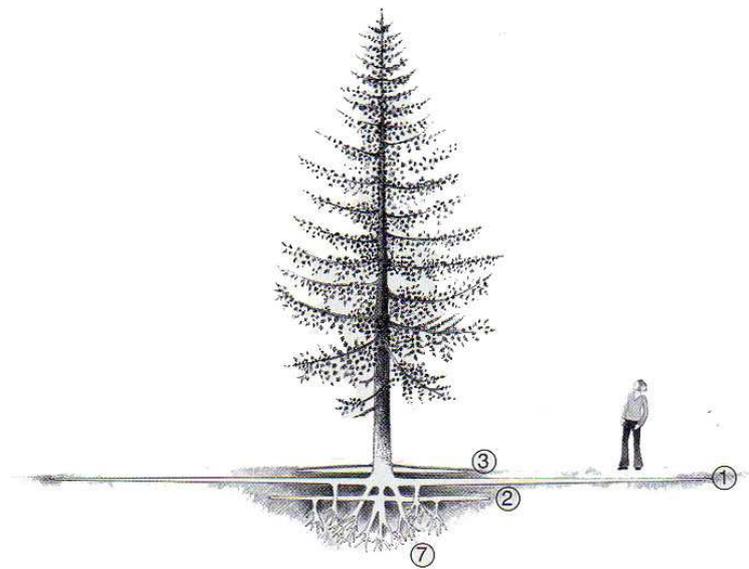


Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.)

Un jeune pivot central vigoureux émet 5 à 12 charpentières horizontales et linéaires. Plus tard un second étage de charpentières aussi linéaires peut naître sur le pivot central. Des pivots secondaires verticaux apparaissent progressivement et de façon centrifuge sur les différentes charpentières, pouvant descendre jusqu'à 3m de profondeur.

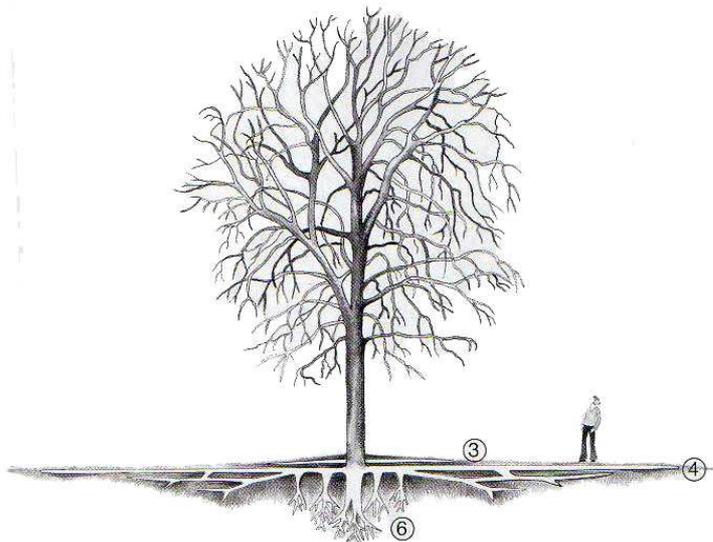
Douglas vert (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.)

Le jeune pivot vertical se subdivise rapidement tout en donnant naissance à 5 charpentières horizontales et généralement linéaires. 2 à 3 pivots obliques prennent aussi naissance près du collet. Une seconde vague de charpentières horizontales apparaît plus bas sur le pivot principal, dont l'ampleur est limitée. Des nombreux pivots secondaires verticaux naissent sur les charpentières et se subdivisent à leur tour. Avec l'âge, de nouvelles charpentières prennent naissance au collet pour s'intercaler entre les anciennes.



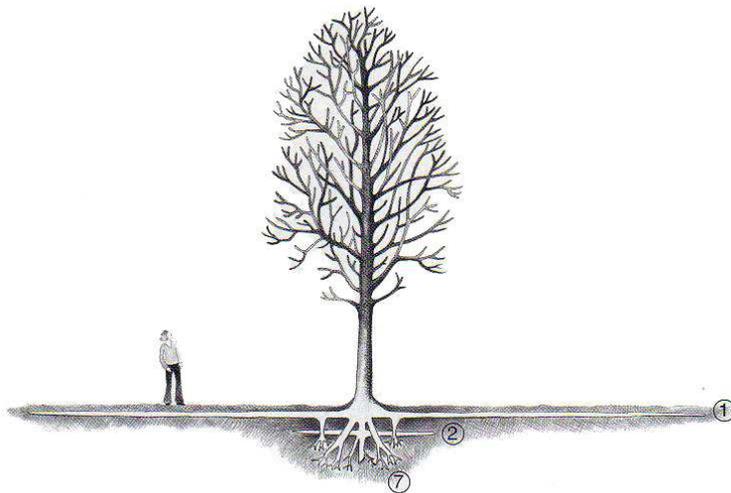
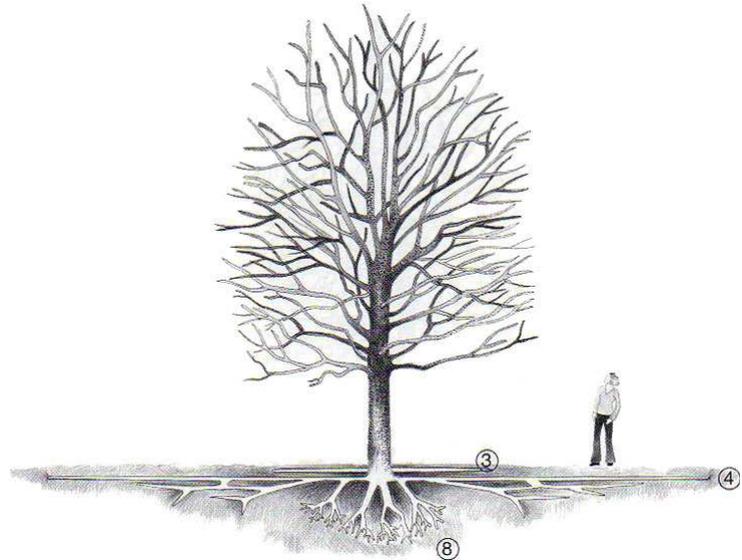
Platane hybride (*Platanus x hybrida* Brot.)

Le puissant pivot central atteignant couramment 1,5m, laisse apparaître des charpentières horizontales qui se divisent à plusieurs reprises et émettent à leur tour des pivots verticaux. De nouvelles charpentières apparaissent régulièrement à partir du collet, formant ainsi un véritable socle racinaire.



Hêtre (*Fagus sylvatica* L.)

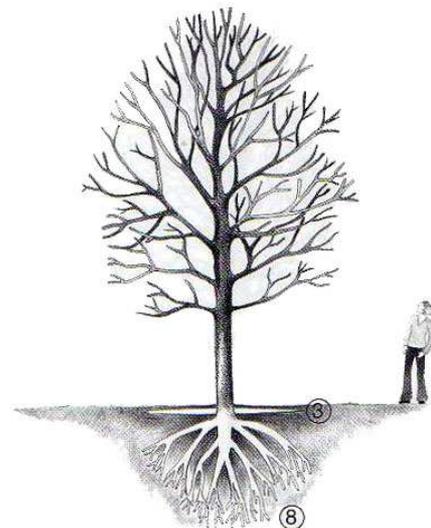
Le jeune pivot central est rapidement supplanté par de multiples pivots obliques et charpentières horizontales très ramifiés. Le système racinaire fasciculé ne cesse de se ramifier et d'émettre de nouvelles racines partant du collet, caractérisant un enchevêtrement puissant de racines, aussi bien en surface qu'en profondeur. Il n'y a pas de pivots verticaux.

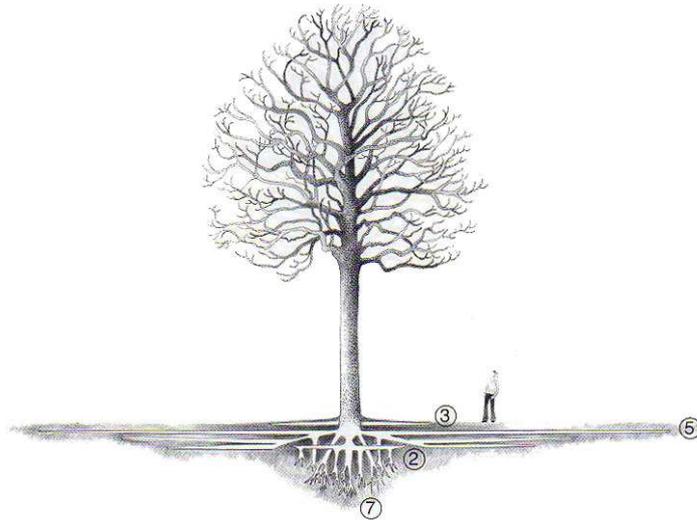
**Peuplier américain Raspalje (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides* cv. 'Raspalje')**

A partir du plançon enfoncé sur 1m, de nombreuses racines fines se développent horizontalement sur 0,60m de profondeur. Des racines obliques naissent ensuite du plançon, de même que des pivots verticaux à partir des racines horizontales. En murissant, l'arbre présente 1 ou 2 étages de charpentières horizontales et linéaires, des pivots verticaux et de puissants pivots obliques.

Aulne blanc (*Alnus incana* Moench.)

Le pivot primaire vertical se ramifie en de nombreux pivots obliques de même force qui se ramifient et enveloppent progressivement les racines centrales. De nouvelles racines naissent régulièrement du collet et plongent dans le sol. L'arbre présente ainsi très peu de racines horizontales.





Chêne pédonculé (*Quercus robur* L.)

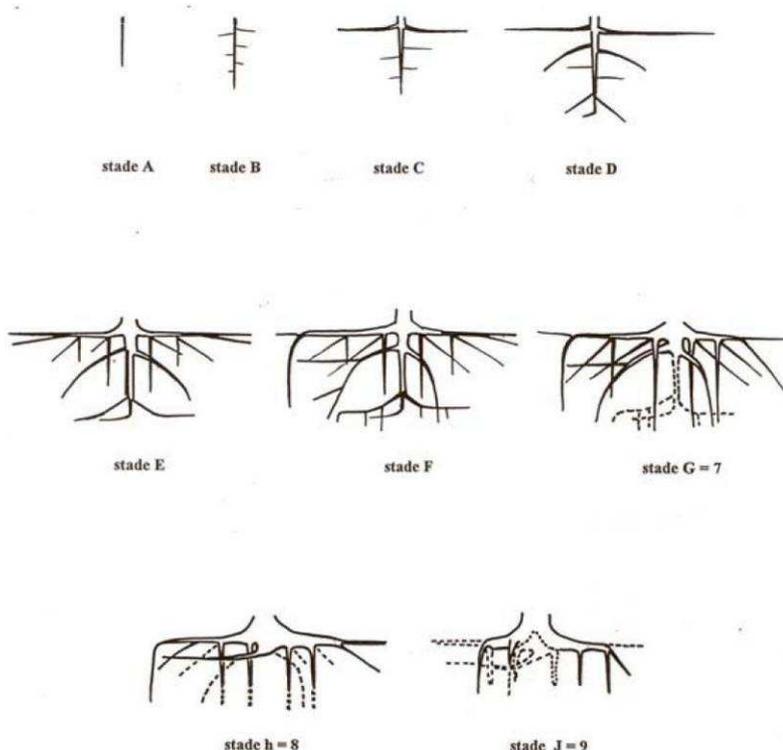
A partir de la base du pivot primaire, 7 contreforts horizontaux constituent une première ossature de surface. Chacun d'eux se subdivise à 0,5m du tronc pour étendre une quinzaine de charpentières pouvant coloniser le sol à plus de 20m. Un second étage d'une quinzaine de charpentières prend naissance au-dessous du premier, mais ne s'étend pas au-delà de 3m du tronc. Le pivot primaire donne alors naissance

à des pivots obliques, tandis que les diverses charpentières laissent apparaître des pivots verticaux qui se ramifient autour de 0,9 à 1,50m de profondeur. Avec l'âge, l'arbre peut produire de nouvelles charpentières depuis le collet.

Annexe II : Evolution de l'architecture du système racinaire des arbres. (Raimbault, 2003)

L'expression naturelle détaillée des racines établies dans un sol non contraint (sol profond, normalement pourvu en eau et éléments nutritifs, de propriétés physico-chimiques non limitantes et exempt de nappe phréatique affleurante) est présentée ci-contre.

Selon le type d'espèce, le système racinaire se développe de manière variable, mais nous pouvons représenter son évolution architecturale par le modèle général suivant.



Stade A.- La croissance du pivot se poursuit pendant quelques semaines.

Stade B.- Des racines secondaires se développent sur le pivot qui reste fortement dominant.

Stade C.- Quelques racines de la base du pivot, souvent aussi des racines adventives à la base du tronc, se développent rapidement à l'horizontale.

Stade D.- Pour différentes raisons, le pivot perd sa dominance et se ramifie. Les racines horizontales et de nouvelles racines obliques accélèrent leur croissance et forment ensemble le système fasciculé.

Stade E.- Les racines fasciculées émettent des racines verticales.

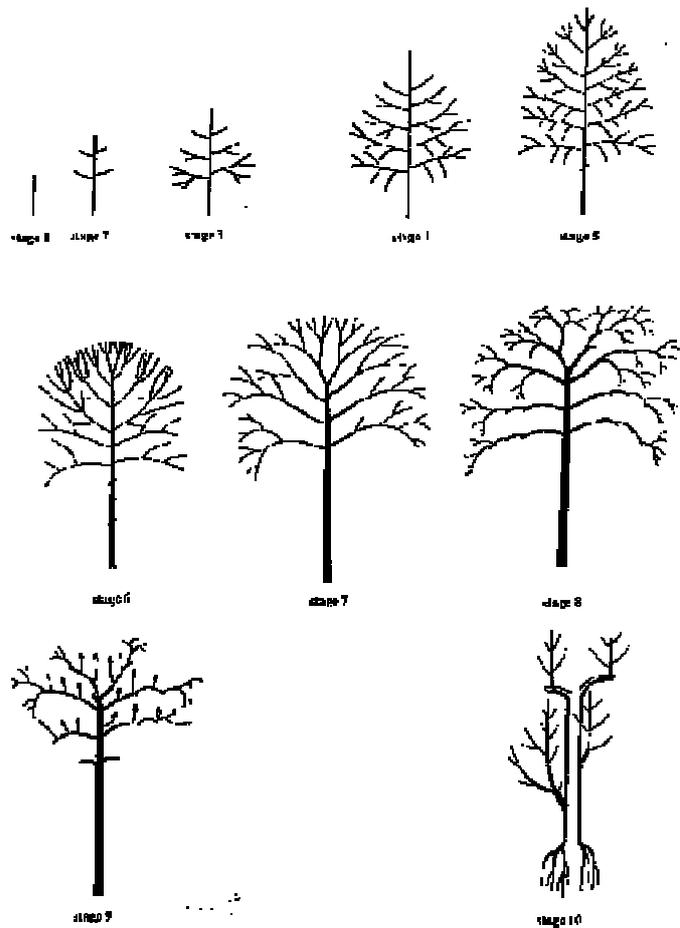
Stade F.- Les ramifications du pivot atteignent leur profondeur maximum. Elles sont rejointes par les ramifications verticales du système fasciculé.

Stade G.- Le pivot disparaît physiologiquement, il peut même disparaître physiquement. Il est remplacé par les nombreuses racines pivotantes du système fasciculé. Le système racinaire est à son apogée, la partie aérienne atteint son maximum d'extension et de densité (stade aérien 7).

Stade H.- Les racines obliques, les extrémités profondes des racines pivotantes meurent progressivement. Le chevelu ne se renouvelle plus aussi intensément. Le système racinaire est redevenu superficiel, sensible aux moindres variations de l'environnement, il est trop faible pour entretenir la masse de la partie aérienne dont la croissance stagne puis régresse (stade aérien 8, début stade 9).

Stade J.- Chez certains vieux individus, le développement de nouvelles branches très vigoureuses à proximité du tronc (réitérations totales) (fin stade 9 et stade 10) réactive certains secteurs du cambium qui induisent à leur tour le développement de nouvelles racines à la base des charpentières racinaires, et même à la base du tronc. Parallèlement à la réorganisation de la partie racinaire, l'arbre refait totalement ou partiellement un nouveau système racinaire en équilibre avec la partie aérienne. Le plus souvent, l'arbre est composé de plusieurs ensembles tige-racine physiologiquement indépendants.

Annexe III : Schématisation des 10 stades de développement de l'arbre (Raimbault, 1993)



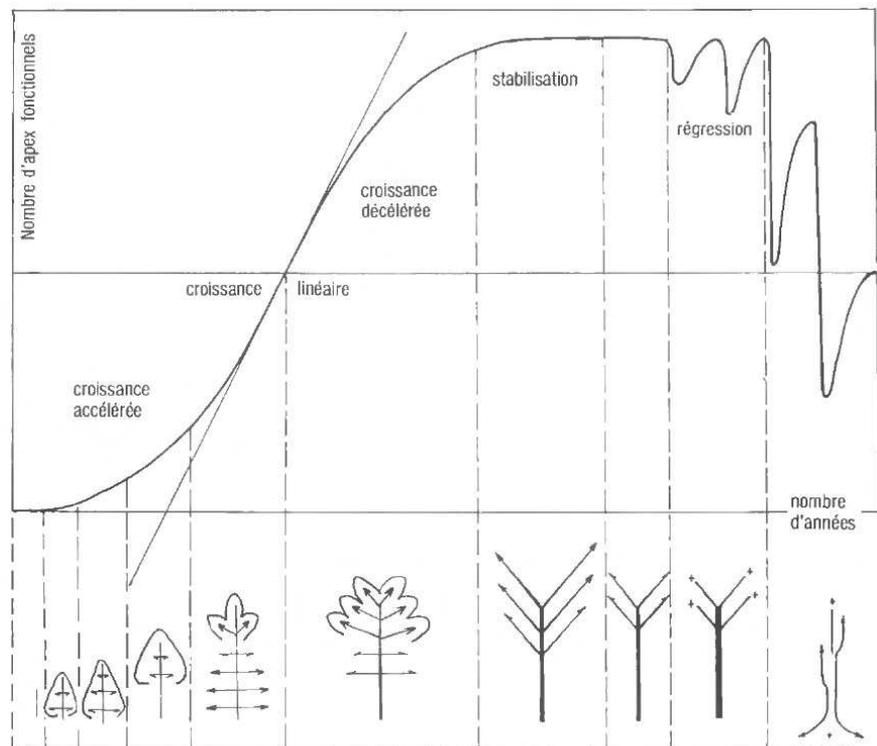
Annexe IV : Evolution du volume de l'appareil aérien au cours des différents stades de développement (Raimbault, 1993)

Figure 13
ÉVOLUTION DE L'ARBRE DE LA GERMINATION À LA MORT SCHEMATISEE ET DECOMPOSEE EN 10 STADES.

Partie supérieure : évolution théorique du nombre d'apex en croissance.

Partie inférieure : évolution schématique de la partie aérienne.

- | axe d'ordre 1 (tronc)
- axe d'ordre 2 (branche)
- branche dominée sous régime hypotone
- ↘ branche indépendante (réitération sylleptique ou réitération proleptique totale aux stades 9 et 10)
- branche indépendante sous régime épitone (réitérations proleptiques)
- + mortalité
- ⊕ unité architecturale



Annexe V : Représentation schématique de l'évolution racinaire de 8 espèces d'arbre, selon Rimbault (2003).

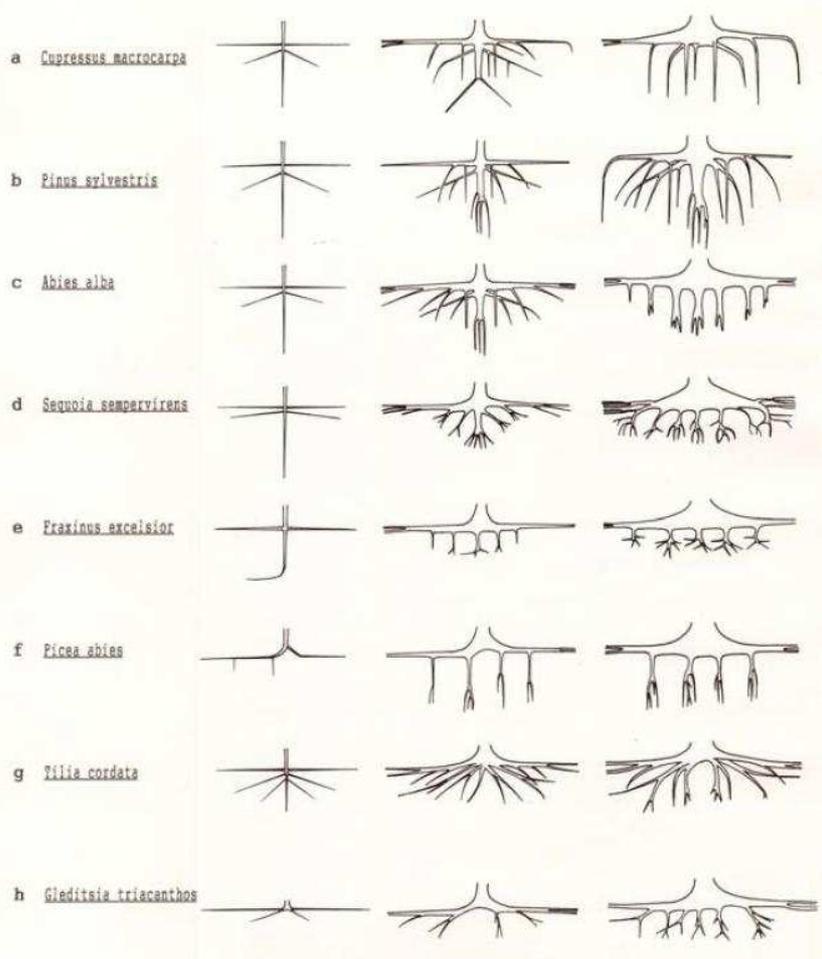
Les techniques d'analyse du système souterrain de l'arbre impliquent le plus souvent sa destruction, puisqu'elles sont basées sur de l'observation directe, donc les exemples précis de description racinaire sont rares. Quelques-uns permettent cependant d'avoir une idée globale de la morphologie racinaire de l'arbre. Ces descriptions montrent de fortes différences dans l'expression des réseaux racinaires traçants et pivotants, selon les espèces et leur bagage génétique.

Au stade juvénile, toutes ces espèces ont un caractère fortement pivotant hormis l'Epicéa (f) et le Fêvier d'Amérique (h) dont le pivot s'efface très rapidement après la germination. Le Tilleul à petites feuilles (g) a la particularité de développer un enracinement très fasciculé dès son plus jeune âge.

Au stade adulte, certaines espèces conservent un pivot central puissant (cas du Cyprès de Lambert (a), du Pin sylvestre (b), du Sapin commun (c) ou du séquoia sempervirent (d)), alors que d'autres présentent une dominance partagée entre de multiples pivots secondaires (cas du Frêne commun (e), de l'Epicéa (f) et du tilleul à petites feuilles (g)).

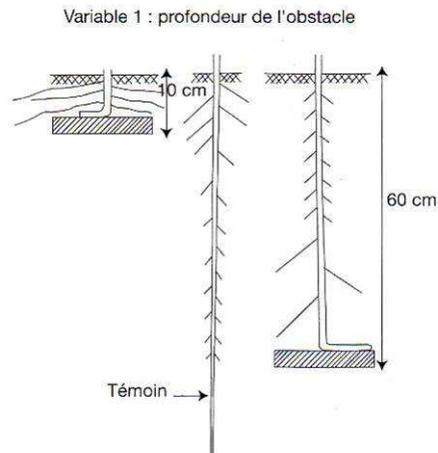
Au stade mûre, l'expression architecturale du système racinaire est très variable. Des espèces renforcent encore la dominance de leur pivot central (cas du Pin sylvestre (b)) alors que d'autres l'estompent (cas du Cyprès de Lambert (a) et du Séquoia sempervirent (d)). D'autres encore multiplient leurs puissants pivots (cas du Sapin commun (c) et de l'Epicéa (f)) alors que certaines espèces développent un système racinaire complémentaire (cas du Tilleul à petites feuilles (g)).

Ces quelques exemples montrent une variabilité très forte de l'expression du système racinaire par les arbres, selon les espèces et leur stade ontogénique*.



Annexe VI : Conséquences d'un obstacle sur de développement racinaire selon Drénou (2006).

Le contact de la racine avec un obstacle dur au cours de son développement provoque une bifurcation, ralentit fortement sa croissance et provoque une ramification racinaire en amont (Raimbault, 2003).



Expériences sur l'impact d'un obstacle sur la croissance des pivots. (Drénou, 2006)

Dans les fosses de plantation en « mélange terre-pierre » (MTP) les cailloux servant de structure porteuse sont de calibre variable, allant de 20 à 170mm. Couramment nous utilisons un matériau anguleux de calibre 40/90, 60/90 ou 60/120.

Les travaux de Lucot (1992 *in* Drénou, 2006) montrent que ces éléments grossiers peuvent impacter considérablement le développement racinaire de l'arbre dans son processus de prospection du sol.

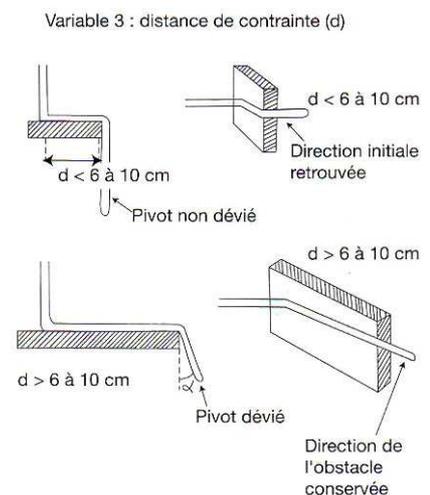
Dans le cas d'une racine pivotante, le schéma ci-contre montre qu'au contact de l'obstacle la racine ralentit, voire stoppe sa croissance au profit de ramifications prenant naissance juste au-dessus de la zone de contact. Donc le dans contexte du MTP, les racines structurantes sont perturbées sans cesse et doivent se ramifier en produisant des racines plus fines et plus nombreuses pour compenser le manque de développement des racines principales. Les expériences ont montré que plus

l'inclinaison de l'obstacle est proche de la verticale, plus le phénomène observé est important (Voir 4^e schéma ci-après). La plante cherche à tout prix à conserver un pivot viable lors de son développement.

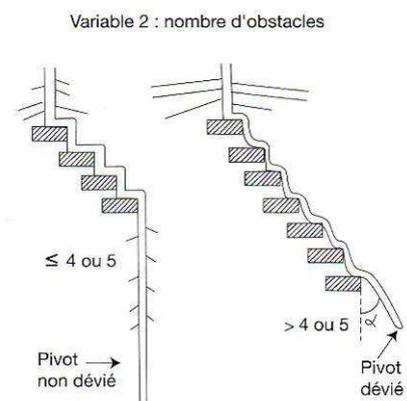
On constate sur le schéma ci-contre que la longueur de l'obstacle influence le comportement racinaire. En effet, si la racine pivotante parcourt une distance horizontale inférieure à 6 cm elle retrouve spontanément sa verticalité une fois l'obstacle franchi. En revanche, si cette distance est supérieure à 10cm elle garde en mémoire ce trajet et poursuit sa croissance selon une oblique en perdant son rôle originel de pivot.

Il en est de même pour le cas des racines horizontales face à des obstacles verticaux.

Les MTP composés de granulats de taille supérieure à 100mm affecteraient donc fortement l'expression naturelle du système racinaire dans sa prospection du sol.



Impact de la taille de l'obstacle sur le développement racinaire. (Drénou, 2006)



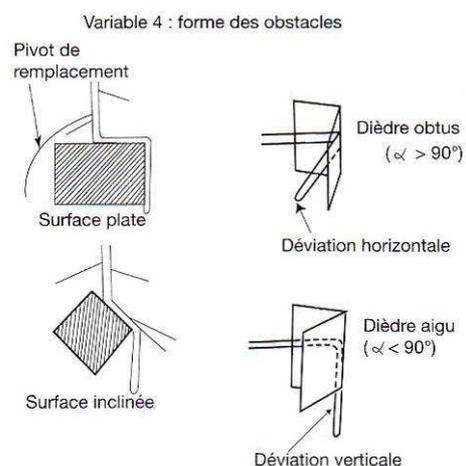
Impact du nombre d'obstacles rencontrés par la racine sur son développement. (Drénou, 2006)

Toujours concernant la racine pivotante, lorsque celle-ci rencontre une succession d'obstacles elle retrouve sa verticalité si le nombre d'obstacles rencontrés est faible, mais elle modifie sa trajectoire si ce nombre est supérieur à 5. Ceci met donc clairement en évidence une capacité de mémoire de la racine liée aux conditions du sol, qui semble importante à considérer dans le cas du MTP.

En effet, dans ce contexte la racine ne cesse de rencontrer des obstacles et doit malgré tout, se développer pour satisfaire la demande en eau et en nutriments de la plante. Cette situation très contraignante pour l'arbre l'aide probablement à acquérir de facultés adaptatives fortes qu'il n'acquerrait pas dans le cas d'un sol meuble et homogène. Le MTP est donc certainement un facteur de robustesse pour l'arbre, dont il a fort besoin pour se développer sur le long terme.

A l'échelle de la fosse de plantation, dont le volume oscille généralement entre 4 et 12m³, les racines sont très souvent sensées se cantonner à l'espace qui leur est dédiée puisque les abords de la fosse sont matérialisés par les fondations d'une construction ou d'une voirie. Cependant, dans bon nombre de cas elles tentent de dépasser ces limites pour prospecter de plus amples volumes.

La nature des bords de la fosse impacte aussi considérablement la croissance racinaire. Si les bords sont plats, la racine horizontale a tendance à suivre la paroi toujours à l'horizontal. On observe alors un phénomène de chignonage*. Si au contraire les parois sont anguleuses, les racines horizontales pourront soit pénétrer le matériau limitrophe s'il n'est pas trop compacté, soit à terme dévier leur trajectoire vers le bas et prospecter le milieu en profondeur sous forme de pivots.

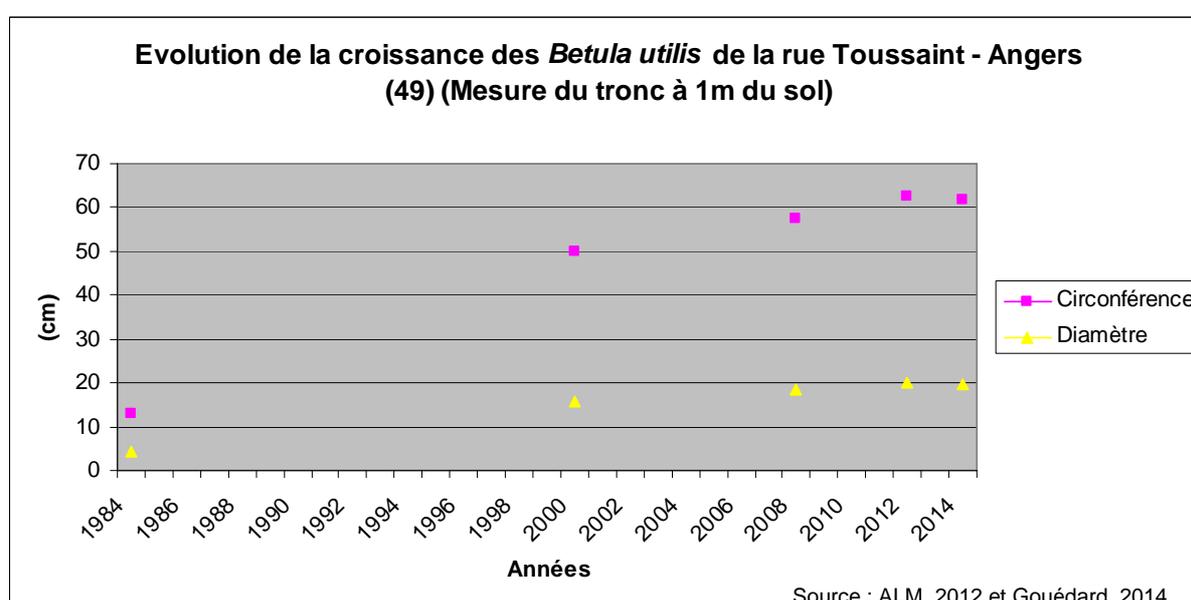


Impact de l'angle entre la racine et l'obstacle sur son développement. (Drénou, 2006)

Annexe VII : Evolution de la croissance de quelques espèces plantées en alignement dans les rue d'Angers dans un substrat de Mélange terre-pierre (MTP)

Les différents graphiques suivants ont été réalisés à partir des données recueillies par Angers-Loire-Métropole depuis la création du MTP, que nous avons complétées par de nouveaux relevés. Les données concernent l'évolution moyenne de la croissance en épaisseur du tronc des arbres, définie par leur circonférence mesurée à 1m au dessus du sol. Ces graphes sont classés par ordre de date de plantation des arbres.

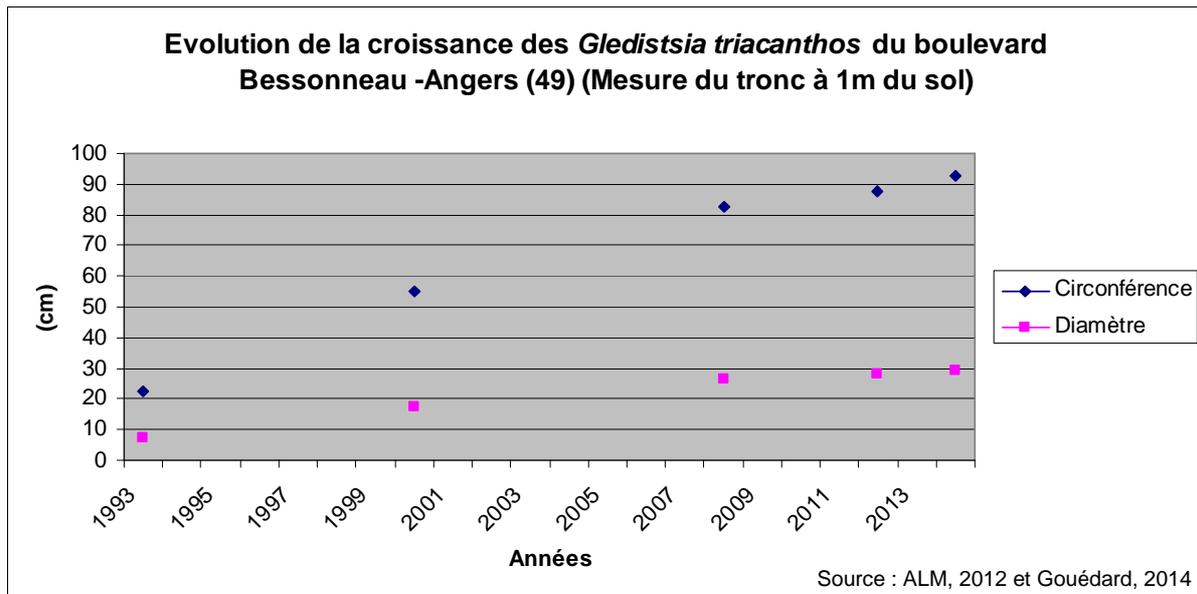
La fiabilité des données est parfois discutable, car certaines des valeurs présentées ici (celles inférieures à 2012) reflètent la médiane de la tranche dans laquelle les arbres ont été classés, ce qui peut induire des biais importants. (Une moyenne classée dans la tranche 20/25 sera traduite par une valeur de 22,5cm dans le cadre de cette étude.)



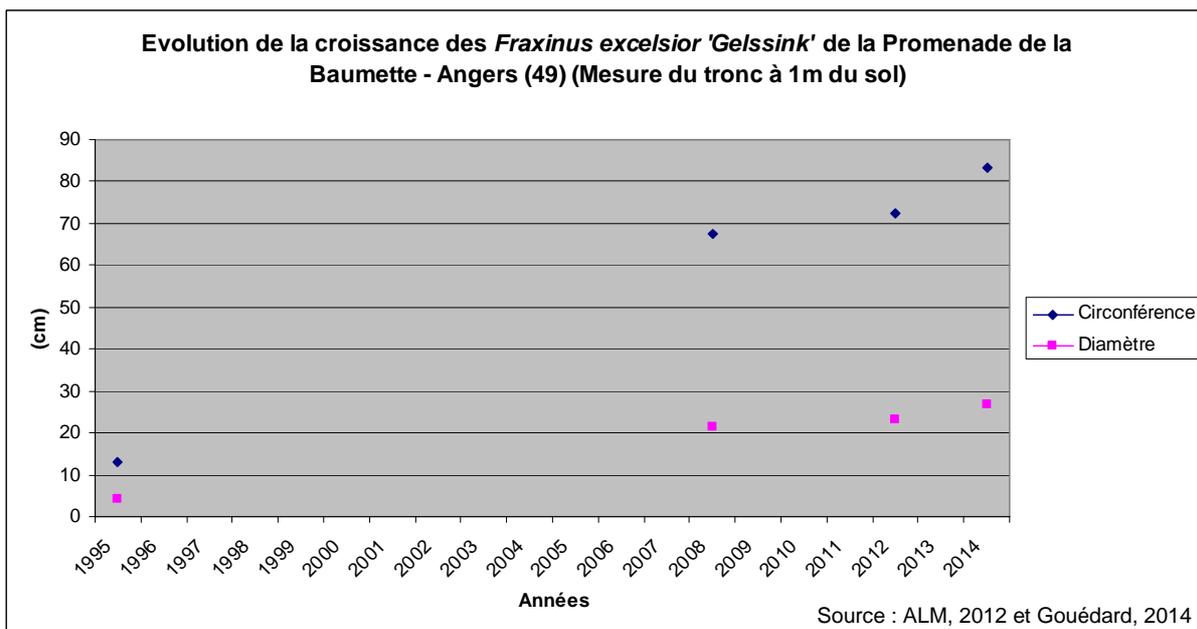
Cet alignement est l'un des premiers à avoir été expérimenté en MTP.

Le graphique montre une croissance « normale » de l'arbre au stade juvénile. La durée de vie d'un Bouleau est de l'ordre de 80 à 100 ans. Il acquiert ses caractères adultes au terme de 35 ans environ dans un contexte optimal. Or ici, nous constatons un ralentissement de la croissance au bout d'une quinzaine d'années, (soit à l'âge de 20-25 ans, en comptant les années d'élevage en pépinière). Dans le cadre d'un contexte urbain, et au vu des données disponibles le comportement de ces arbres semble normal.

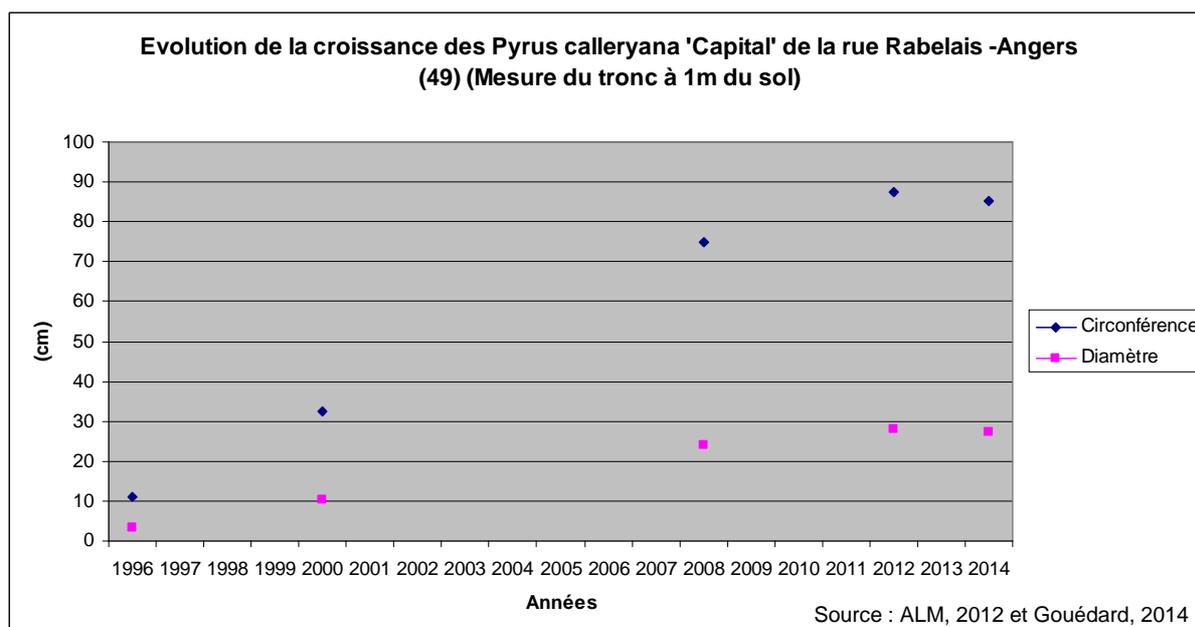
Ces dernières années, il semblerait cependant que la croissance s'affaiblisse particulièrement, ce qui pourrait être dû à un manque de volume de sol prospectable par les racines ou une asphyxie racinaire liée au compactage généré par le stationnement, mais nous ne pouvons établir de conclusion trop hâtive pour le moment.



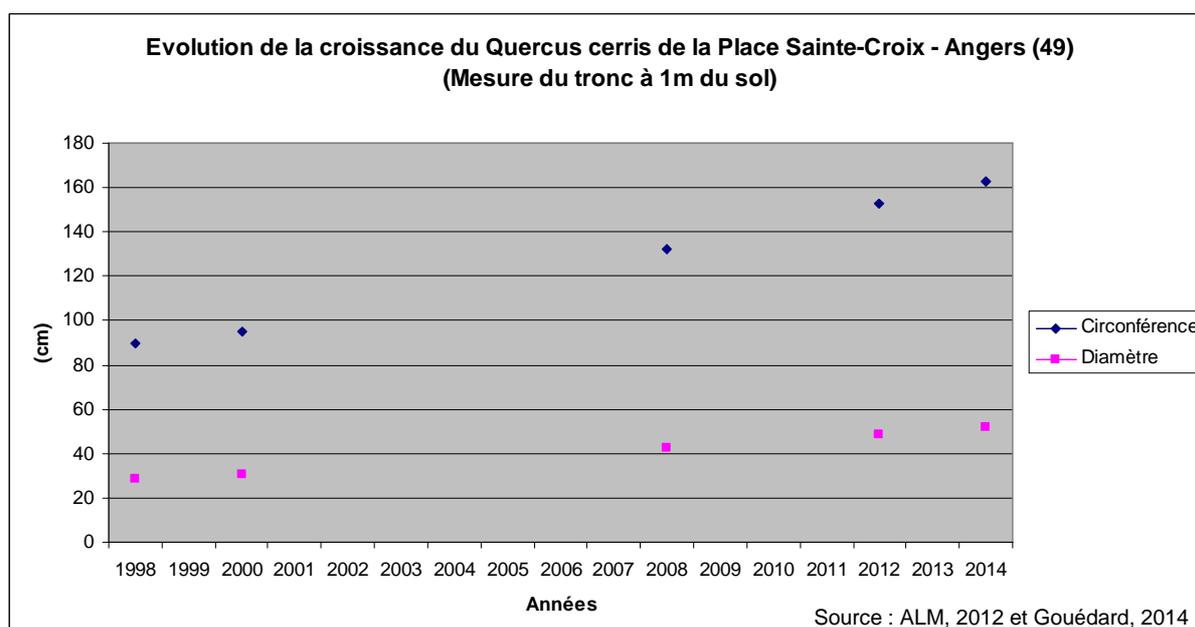
Ces Féliers d'Amérique plantés en motte semblent avoir une croissance tout à fait normale d'après ce graphique. Leur espérance de vie est de l'ordre de 100 à 120 ans et leur croissance apparait homogène jusqu'à l'âge de 30 ans, baissant légèrement ces dernières années.



L'espérance de vie du Frêne peut varier de 100 à 1000 ans selon le mode de culture. Il est donc difficile d'évaluer le comportement normal d'un sujet. Ici, le graphe montre une croissance assez chaotique des arbres depuis leur plantation en racines nues (RN), peut-être due à un changement brusque du climat, mais la croissance semble forte cependant, 20 ans après.

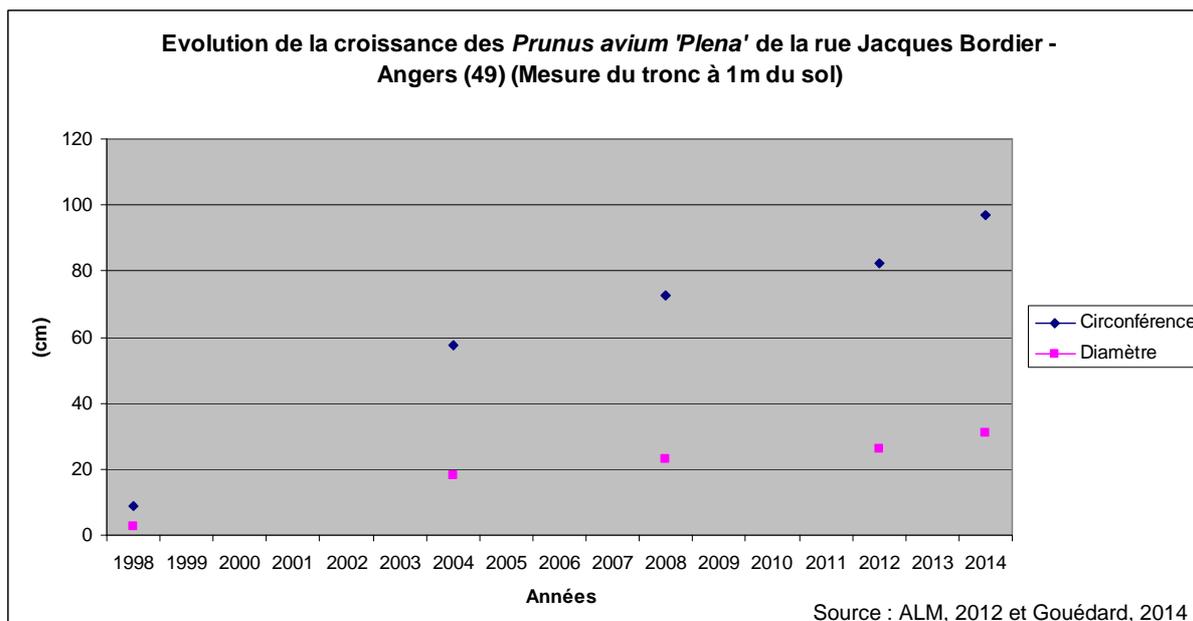


Plantés en RN, ces Poiriers dont l'espérance de vie est de l'ordre de 80 ans semblent peiner à ce développer 20 ans après. Les données sont peut-être erronées pour l'année 2012 ou 2014, mais la croissance semble diminuer fortement. Les observations de terrain (fracture du revêtement, drageons) montrent que le système racinaire manque d'espace, ce qui expliquerait ce constat.

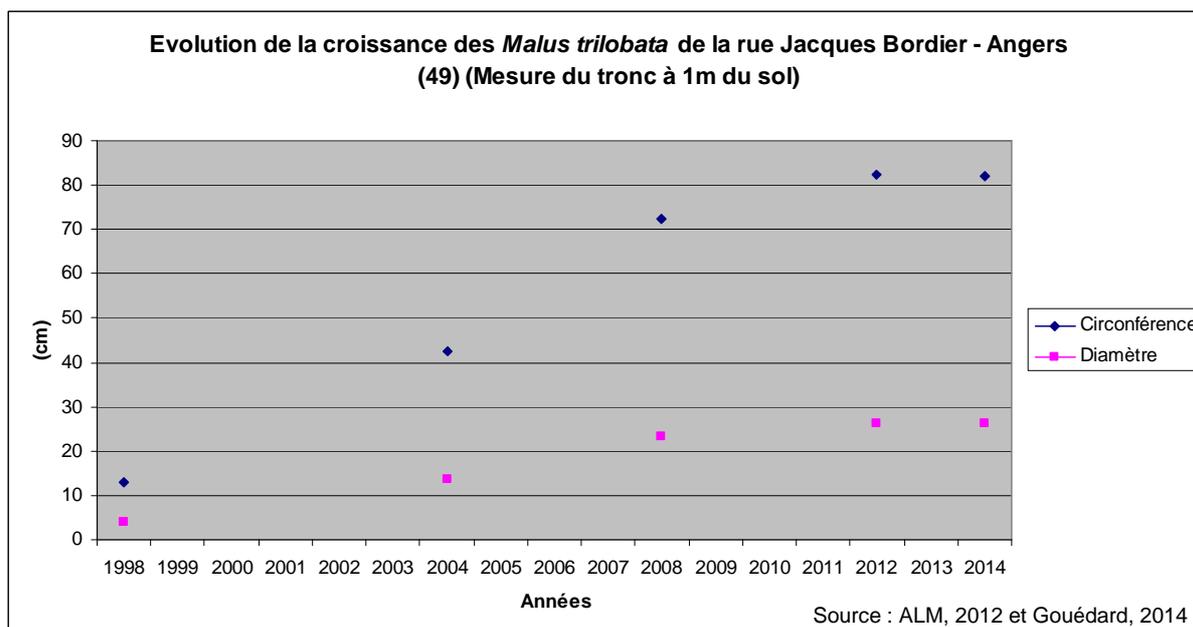


Gros sujet, planté en motte dans une fosse de plantation de 100 m³, il semble avoir un développement « de croisière » tout à fait satisfaisant après une reprise en douceur. Nous avons là l'exemple d'un sujet qui a été planté pour durer, ce qui semble bien parti pour le moment. Nous devrions appuyer ce type de démarche dans les villes pour renforcer le patrimoine arboré que nous léguerons à nos enfants et petits enfants.

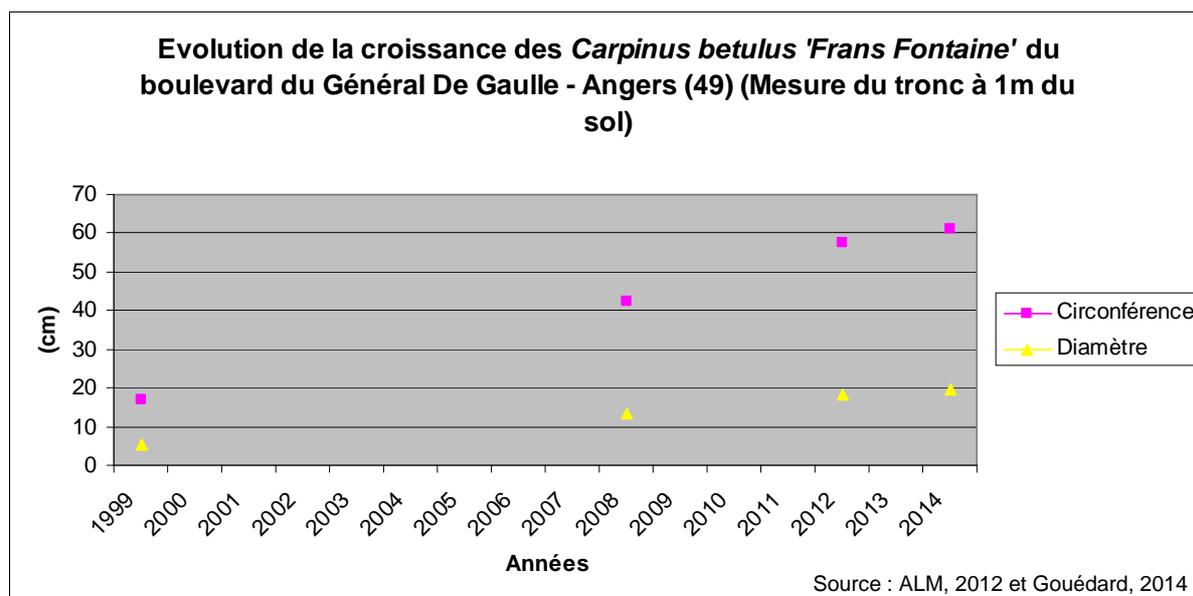
L'espérance de vie de cette espèce serait seulement de 200 ans. Nous devrions procéder à ce genre de pratiques pour des nombreuses autres espèces, dont l'espérance de vie peut être nettement plus élevée encore.



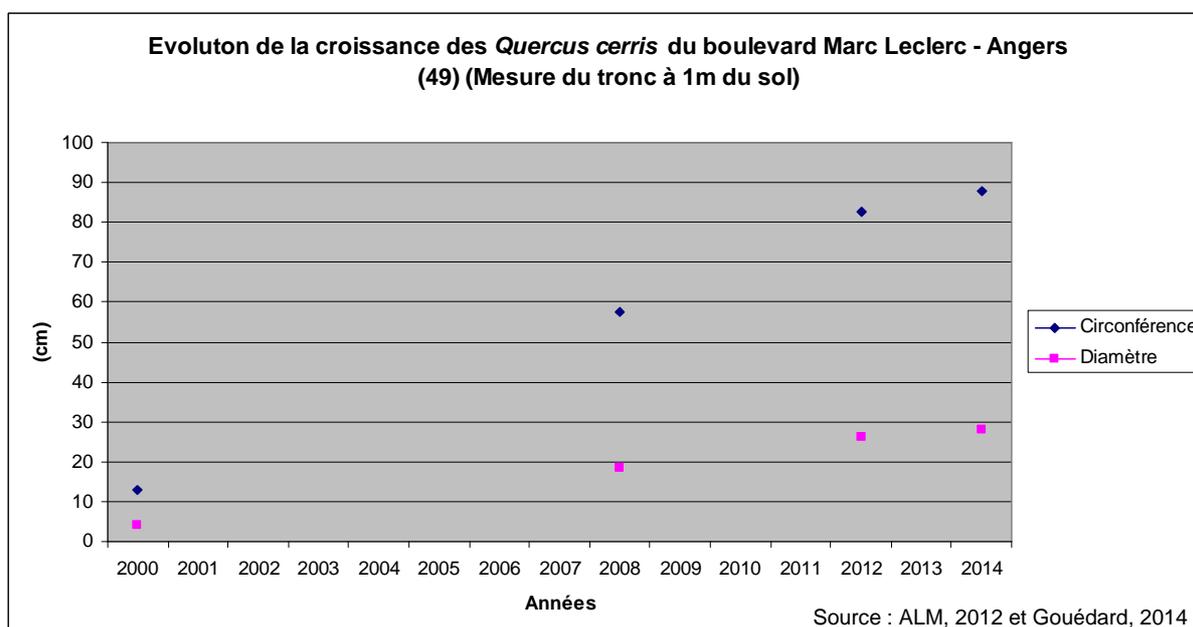
Plantés en RN, ces arbres semblent avoir une croissance un peu chaotique. Les observations de terrain montre que le système racinaire ne se suffit plus du substrat qui lui a été alloué car il soulève à de multiple reprise le revêtement des trottoirs. Les Prunus ont cependant la particularité d'avoir un système racinaire de surface, qui pourrait expliquer ce phénomène. Leur espérance de vie ne dépasserait pas 100 ans.



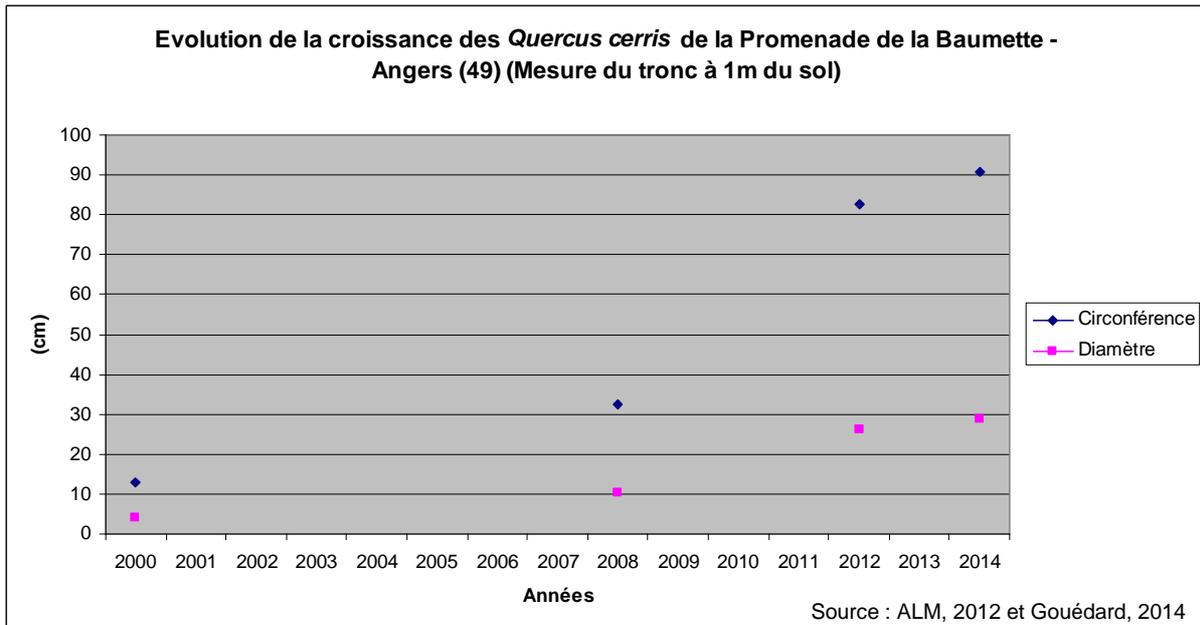
La courbe que présente ce graphique montre une reprise en douceur de ces Pommiers d'ornement, qui a été suivi d'une forte croissance les années suivantes. Leur espérance de vie serait d'un siècle, mais les dernières données semblent traduire un problème de croissance important qui pourrait être lié à une asphyxie de l'arbre du fait d'un volume de sol trop faible ou d'une compaction forte du sol. Certains des sujets plantés initialement ont été arrachés et remplacés à plusieurs reprises, probablement lié à une forte pression anthropique (stationnement anarchique) et à un problème de sol ce qui justifierait l'allure de la courbe présentée.



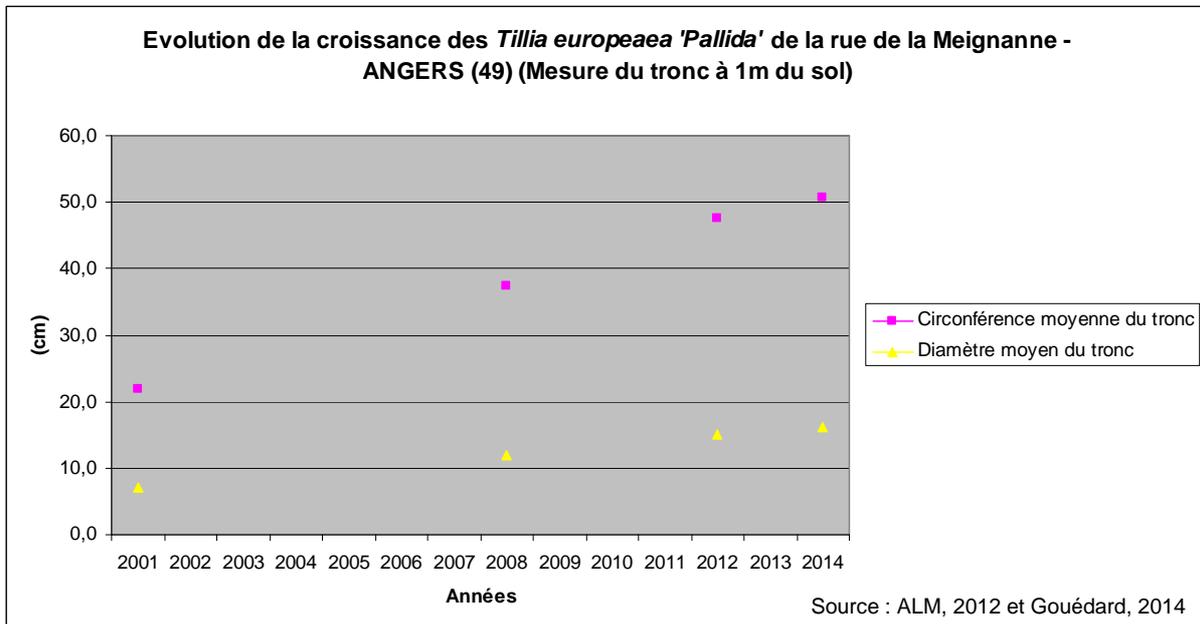
Plantés en motte, ces Charmes dont l'espérance de vie peut varier de 100 à 250 ans montrent une belle croissance globale. Nous ne pouvons émettre d'hypothèses quant à leur avenir, car ils se développent dans un volume aérien et souterrain qui semble adapté pour le moment. Ils ont cependant dû faire l'objet de taille de maintien par rapport aux façades, alors que leur formation n'est qu'à peine terminée. Des racines charpentières fissurant le revêtement du stationnement laissent penser que le volume de sol ne sera pas suffisant pour satisfaire les besoins de la plante à court terme.



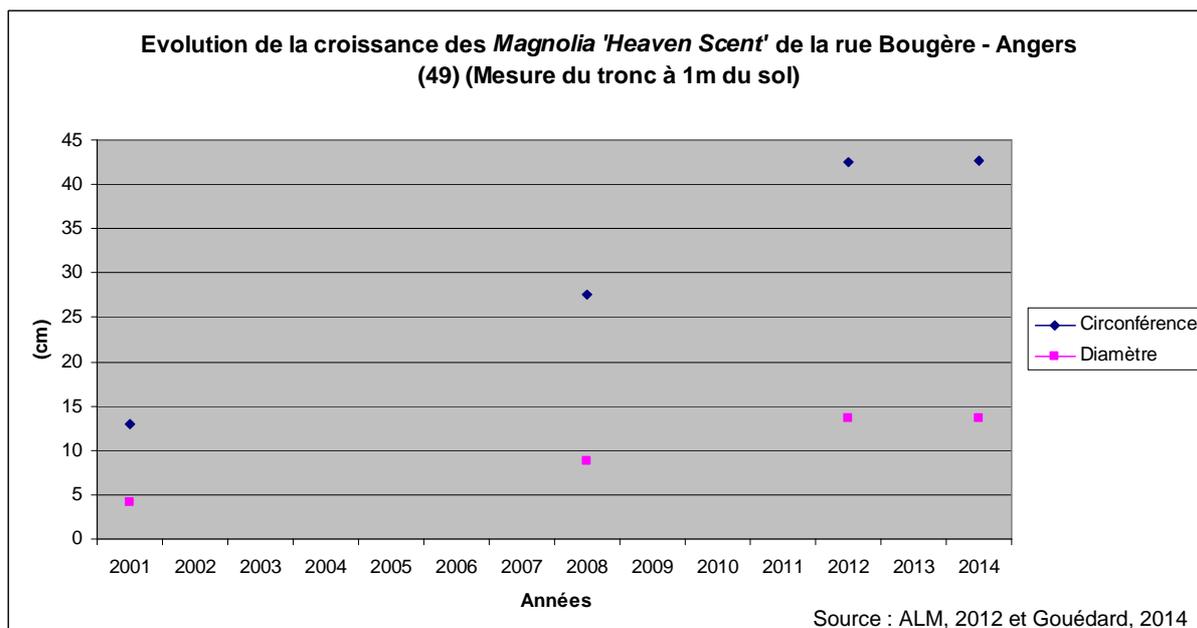
Cet alignement de Chênes présente une croissance globalement bonne, avec cependant une légère baisse ces dernières années, alors que l'espérance de vie de cette espèce serait de 2 siècles. Les observations de terrains montrent un problème de sol qui peut être amplifié par une forte pression anthropique car un certain nombre de sujets sont morts et ont été remplacés, dont certains sont à nouveau morts. Situés en zone d'inondation à risque moyen à fort, ils sont peut-être victimes d'une nappe phréatique affleurant en période hivernale, qui expliquerait cette mortalité excessive. Les autres sujets se portent bien par ailleurs.



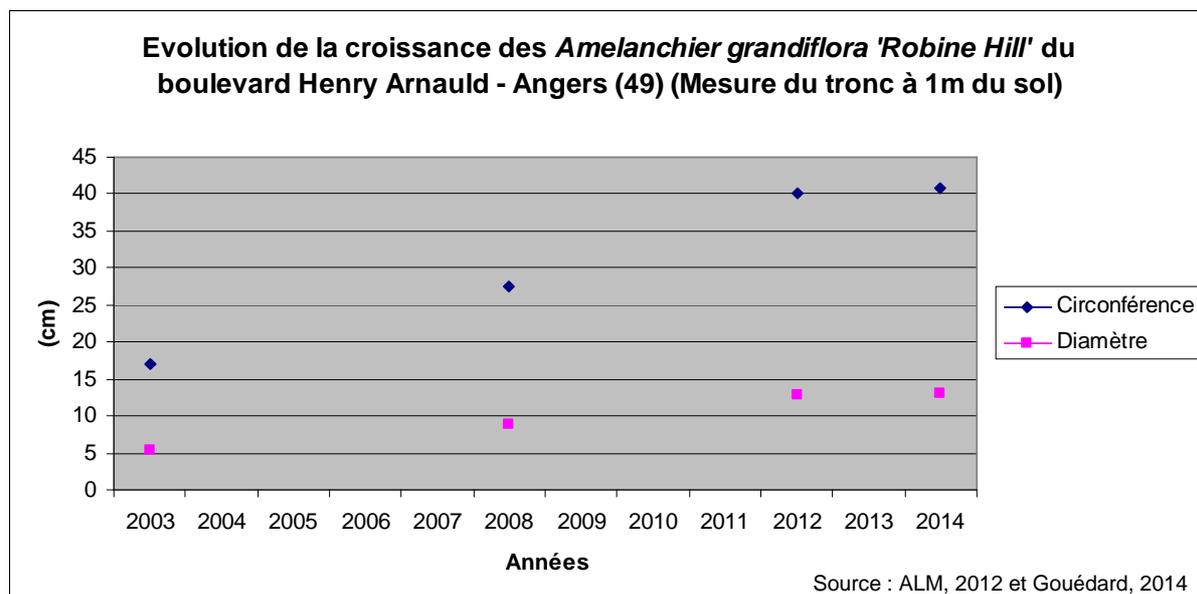
Contrairement aux Chênes du boulevard Marc Leclerc, la croissance des ceux-ci est très hétérogène. Leur reprise semble avoir été beaucoup plus difficile au départ, mais ils ont rapidement rattrapé leurs congénères ces dernières années. Les deux alignements sont pourtant situés à quelques mètres l'un de l'autre. Leur croissance semble de qualité désormais.



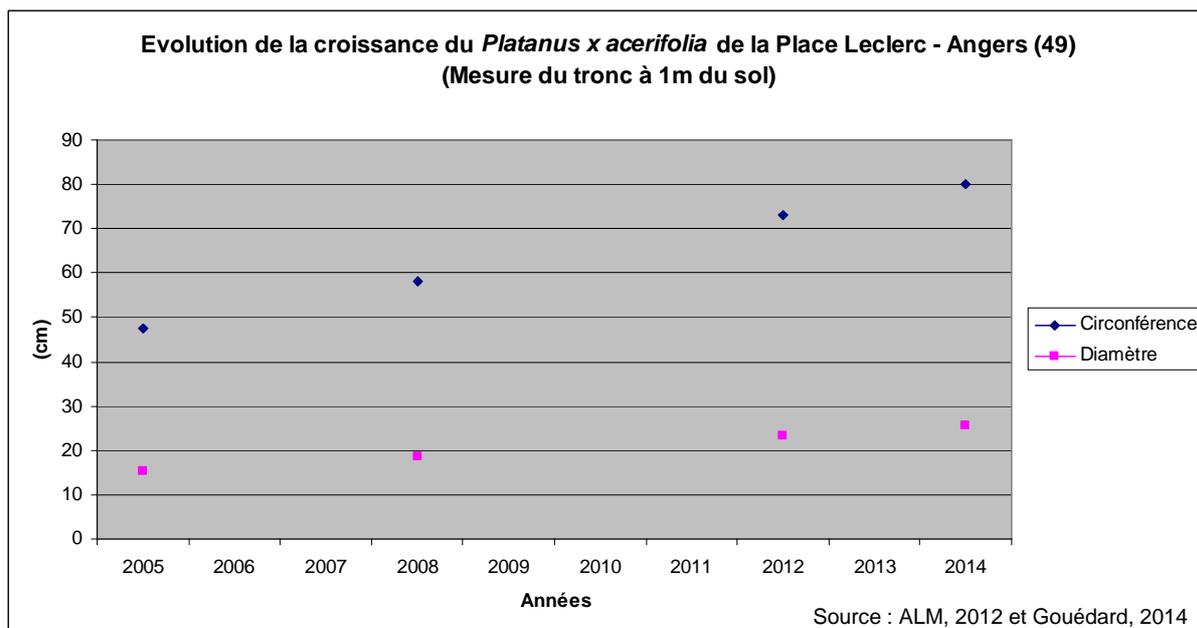
Plantés en tranchée continue sur un terre-plein central, ces Tilleuls dont l'espérance de vie peut aller jusqu'à 500 ans selon le mode d'entretien, montrent une croissance régulière. Plantés en RN, les conditions édaphiques semblent être bonnes dans ce contexte.



Ces petits arbres plantés en motte peuvent atteindre 100 ans, mais semblent avoir une croissance ralentie ces dernières années. Plantés sur trottoir, ils ont peu d'espace mais ne semblent pas en nécessiter davantage. La pression anthropique y est relativement faible. Ils sont peut-être rentrés dans leur phase adulte où la croissance est plus lente, mais certaine. Etant plantés récemment, les erreurs de mesure peuvent en revanche cacher une croissance régulière.

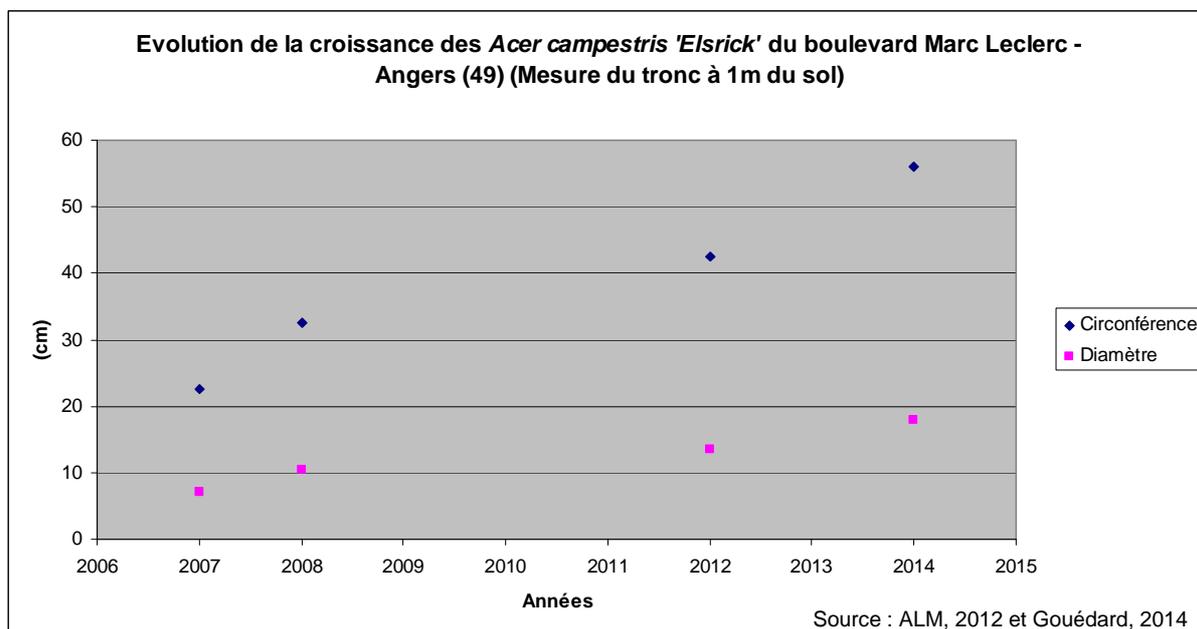


Plantés en milieu très anthropisé, ces Amélanchiers dont l'espérance de vie peut atteindre 60 ans, semblent avoir une croissance régulière jusqu'en 2012. Depuis ils pourraient montrer des signes de ralentissement de croissance. Les observations de terrain révèlent qu'ils pourraient souffrir d'un problème de sol, trop compacté ou de volume trop faible. La pousse y est assez faible et de nombreux drageons sont apparents au niveau des trous de plantation.



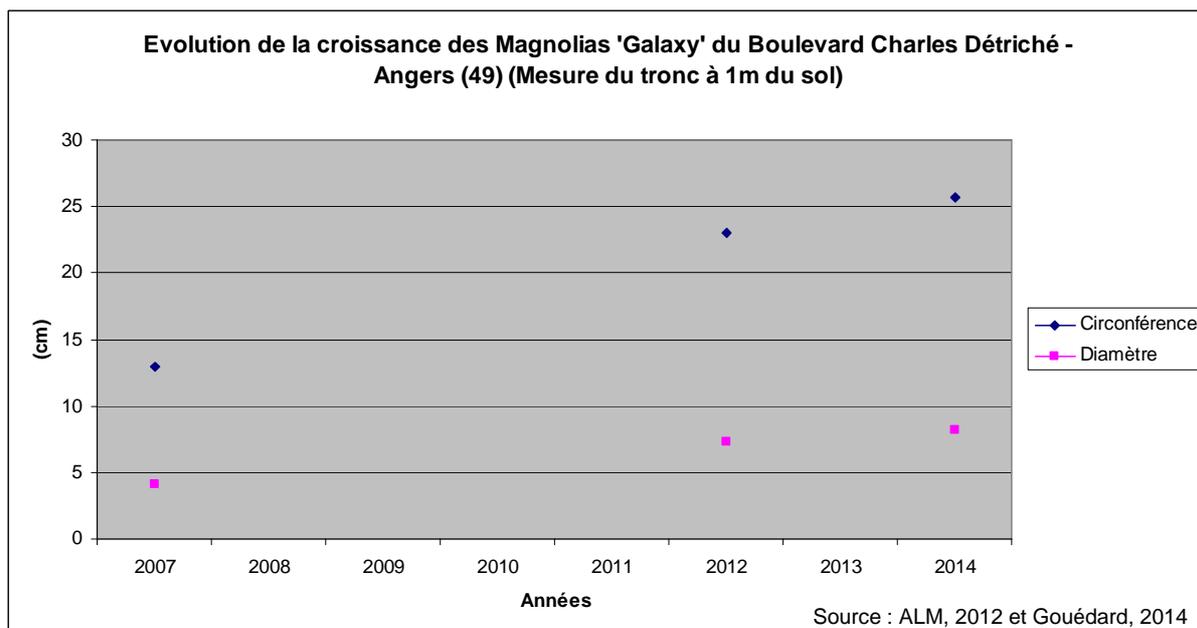
De la même manière que pour le Chêne de la Place Sainte-Croix, ce Platane semble avoir une croissance très régulière et assurée. Planté dans une grande fosse de plantation (probablement 40 à 60 m³) il semble disposer de tout ce dont un arbre à besoin pour se développer. Planté en motte, son espérance de vie peut varier de 500 à 1000 ans selon le contexte de plantation.

Il s'agit là encore d'un arbre planté en vue d'améliorer le patrimoine arboré de la ville d'Angers de demain.



La variabilité de croissance présentée par ce graphique laisse penser que les données de 2007 et 2008 présentent un biais important ou sont erronées, car au moment de la reprise, l'arbre devrait avoir une croissance ralentie, donc un tel écart est peu probable. Autrement la croissance de ces Erables semble être de plus en plus belle. Les années à venir nous confirmerons sans doute cette hypothèse.

L'espérance de vie des cette espèce est de 120 à 150 ans.



La jeunesse de la plantation de ces Magnolias rend l'interprétation peu fiable, mais il semblerait que la reprise soit de bonne qualité. Ils ont la particularité d'avoir été installés dans une rue large, offrant de grands espaces aériens et probablement des fosses de plantations plus respectueuses des besoins de l'arbre qu'en général. Nous avons là aussi un exemple de plantation comportant un potentiel sur du long terme, avec un végétal adapté aux contraintes de son environnement.

Annexe VIII : Autrefois, on pratiquait une plantation naturelle (Propos de Daniel SOUPE, pépiniériste de gros sujets)

En période d'après guerre, l'objectif de plantations arborées était de reconstruire rapidement un pays partiellement détruit, le gestionnaire des « espaces verts » avait pour mission d'effacer les traces du passé en replantant de grandes quantités d'arbres et ainsi, retrouver un lieu paisible, agréable. Il ne se souciait pas beaucoup du devenir du système racinaire, mais les sols urbains de l'époque étaient nettement moins artificialisés qu'aujourd'hui. Les arbres étaient plantés dans des trous réalisés au moment de la plantation, directement sur le support de sol en place, sans apport de terre végétale. Aucun ameublissement des terres alentours susceptibles d'être prospectées plus tard par l'arbre n'était réalisé. « On faisait des trous d'un mètre cube, parfois moins. On plantait petit, en racines nues (10/12, 12/14, 14/16) tout au plus » (D. SOUPE, 2014). On apportait un peu de fertilisant organique lors de la plantation s'il y en avait de disponible (fumier, compost, terreau forestier). On ramenait ensuite de la terre fine auprès de racines, puis on tassait au pied. (Il s'avère que les plantations d'avant-guerre étaient plus fiables que celle d'après-guerre, car la moitié des arbres plantés dans la période des 30 glorieuses à disparu aujourd'hui.)

Une taille très forte des parties aérienne avait pour conséquences une bonne reprise de la végétation (réaction violente suite au traumatisme). En effet, les arbres en racines nues ont la particularité d'avoir des racines plus larges qu'en motte où le volume est restreint. Pour un 10/12 on avait un système racinaire de 60 à 80 cm de large (alors qu'une motte de 14/16 fait environ 45 cm de diamètre aujourd'hui). Le volume de sol directement à portée des racines était donc plus important. La pousse était lente, du fait du faible nombre de racines fines, mais elle était sûre ! L'arbre se rééquilibre progressivement, et naturellement, dès que l'arbre retrouve une croissance racinaire satisfaisante, il sortait de son trou de plantation pour aller prospecter l'espace disponible. Cette prospection (non facilitée) oblige la racine à se renforcer pour percer la terre ferme, ce qui est à l'origine de racines puissantes, indispensables à la stabilisation de la plante dans le temps. Cela lui permet par ailleurs de découvrir de nouvelles ressources en eau et en nutriments. L'arbre reforme progressivement son chevelu racinaire pour équilibrer son architecture globale, ce qui, du fait de sa jeunesse et de sa vigueur, favorise une prospection forte et viable du milieu.

Avec le mode des plantations en motte, le système racinaire est devenu « trop » bon pour une plantation pérenne. Les pratiques culturelles de transplantation et de cernage des racines engendrent la fabrication d'un puissant chevelu racinaire très favorable à la reprise du végétal, seulement ce dernier se retrouve quasiment dépourvu de racines charpentières, qui sont essentielles à la stabilité de l'arbre par la suite. Le système racinaire ne présentant pas de racine structurante forte, nous devons le tuteurer solidement pour espérer une reprise, alors que pour un jeune arbre le tuteurage n'est pas nécessaire.

Nous dérivons donc vers une tendance d'assistanat prolongée des arbres suite à leur plantation. L'arrosage intégré est l'une des pires pratiques utilisées par le gestionnaire, car il apporte à la surface de la terre une quantité régulière (voire constante) d'eau, ce qui limite l'expansion racinaire et ne permet pas à l'arbre d'être autonome. Le moindre stress hydrique (défaut du système d'arrosage) peu lui être fatal. Le développement puissant du chevelu racinaire de surface ainsi généré déséquilibre profondément son architecture générale, se traduisant par un déficit en racines de structures.

Les pratiques culturelles d'autrefois ne tenaient pas compte des pesticides que l'on utilise encore beaucoup dans les pépinières de production et d'élevage. Elles s'apparentaient beaucoup au « bio » que nous voyons émerger aujourd'hui. Les terres naturelles étaient donc caractérisées par une forte fertilité physique et chimique, mais surtout biologique ! Les macro- et microorganismes du sol étaient abondants et l'adaptation des jeunes arbres sur leur site d'implantation se faisait très bien car les racines de l'arbre emportaient avec elles

une fraction de sol riche en mycorhizes et en bactéries fondamentales à son développement. Cette faune et cette flore du sol que l'arbre emporte avec lui se développent petit à petit, au même rythme que celui des racines, ce qui se traduit par une forte vitalité et une très bonne reprise générale de l'arbre après sa plantation ainsi qu'une très bonne adaptabilité au milieu.

Aujourd'hui il n'y a plus d'harmonie entre la plante et le sol, et au sein du sol lui-même. Les terres sont importées, inéluctablement différentes du socle intrinsèque.

L'arbre actuel est mis dans une situation idéale, dans un trou de plantation rempli de bonne terre végétale amendée, fertilisée, avec de bonnes caractéristiques physiques et chimiques. Il se développe donc très bien durant les premières années de sa plantation. Ceci engendre un puissant développement des racines en particulier du chevelu racinaire, qui n'a en revanche pas les capacités de prospecter des milieux denses, compactés, et l'arbre se retrouve ainsi soudainement étouffé dans sa « boîte de terre » au moment où l'ensemble du sol mis à disposition est exploité. Les racines structurantes étant absentes, il ne parvient pas à explorer de nouveaux espaces.

Commence alors la spirale infernale de la dégénérescence. Le système racinaire tourne autour de la fosse de plantation (phénomène de chignonage). Les racines dégènèrent les unes après les autres, entraînant l'apparition de pathogènes à l'origine de la mort lente, mais quasiment certaine de l'arbre.

Contrairement aux idées reçues, les sols d'autrefois (il y a un siècle seulement) n'étaient pas toujours de bonne qualité. Les anthroposols existent depuis la création des villes, constitués de pierres, de glaise, de fragments de roche, de déchets organiques et inorganiques divers. Certains sols étaient même extrêmement pollués suite à l'industrialisation de masse, les usines d'armement, la pétrochimie, les mines d'extraction. Pourtant l'arbre y poussait quand même.

« Le mieux est l'ennemi du bien » (D. SOUPE), l'arbre, dans ces conditions actuelles d'assistantat prolongé, se développe très bien malgré des sols artificialisés, mais il se développe trop bien, justement. Dès qu'il se retrouve dans des conditions autonomes, voué à lui-même il dépéri. Selon l'âge de la plante, la taille de la motte on peut quasiment prédire le moment d'apparition d'un dépérissement. Les conditions actuelles de plantation aboutissent à une mort programmée presque certaine des plantations arborées. Alors que génétiquement, l'arbre ne possède pas de programme de sénescence, contrairement à l'Homme ! (Hallé, 2011)

Les solutions : Arrêter l'assistantat extrême, aveuglant pour le développement des arbres ; supprimer les fosses de forme cubiques pour les remplacer par des formes évasées ; offrir plus de volume disponible à la prospection racinaire naturelle, intuitive de l'arbre ; brasser et amender la terre en place, réintroduire une quantité importante de vie microbienne intrinsèque au lieu afin de mettre en condition la plante dès son plus jeune âge. Ceci lui permettra d'acquérir une meilleure résistance aux agressions environnementales et une meilleure adaptabilité aux contraintes qu'il rencontrera au cours de son développement. L'arbre jeune à la capacité de mettre en place une batterie de parades naturelles contre les agents pathogènes du sol et de l'air, de même que de développer des processus physiologiques puissants pour lutter contre la sécheresse, le déficit temporaire en nutriments, les conditions changeantes de son environnement d'une manière générale.

En plantant de gros sujet, on importe un végétal habitué à des conditions idéales de croissance et adapté à un contexte donnée, qui n'a plus (ou presque) les moyens de développer de nouveaux systèmes de défense naturelle, ce qui se traduit tôt ou tard par un échec.

Le réel problème de l'Homme, est qu'il veut tout bien tout beau tout propre tout de suite. Il devient donc impératif de s'armer de patience, d'échanger, d'informer et de sensibiliser les acteurs et spectateurs de la plantation d'arbres en milieu urbain.

Il semblerait que le meilleur moyen des les y conduire est de les inciter à participer, à pratiquer des plantations afin de leur conférer une propre expérience à l'origine d'une perception plus juste de ce qu'est une plante, ce qu'est un arbre et ce qui doit être pris en considération lorsque l'on prend la décision de planter un arbre et que de ce fait, on s'engage, on se responsabilise pour les générations de demain et d'après-demain.

Induire un maintien, une amélioration voire une reconstitution du sol

Selon Daniel SOUPE, responsable des Pépinières SOUPE dans l'Ain (01), la reconstitution d'un sol passe avant tout par la réintroduction des microorganismes du sol, en particulier les bactéries, les bonnes bactéries, celles utiles au développement racinaire de la plante, l'aidant dans son processus de prélèvement des nutriments, des oligoéléments et de l'eau dans le sol. Quasiment n'importe quel type de sol est susceptible d'accueillir une végétation, ne serait-ce que de nature herbacée dans un premier temps. La végétation ligneuse s'installe ensuite progressivement, à mesure que le site et la vie qu'i s'y installe le permet.

	Diplôme : Ingénieur en Paysage Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Maîtrise d'Œuvre et Ingénierie Enseignant référent : Christophe MIGEON
Auteur(s) : Quentin GOUEDARD Date de naissance* : 08/02/1987	Organisme d'accueil : Vu d'Ici (Paysage et Urbanisme) 2, rue Amédéo Avogadro
Nb pages : 84 Annexe(s) : 8	BEAUCOUZE (49070)
Année de soutenance : 2014	Maître de stage : Aurélien ADAM
Titre français : Les sols urbains, des milieux contraignants pour le développement de l'arbre en ville.	
Titre anglais : Urban soils, harsh environments for the tree development in city	
Résumé (1600 caractères maximum) :	
<p>Le besoin de nature en ville n'est plus à démontrer, il est indispensable au bien-être des habitants et à l'équilibre écologique des villes. Pourtant, le phénomène d'artificialisation des villes ne cesse de croître jusqu'à atteindre 100% au cœur de villes importantes. Cette nature est actuellement essentiellement représentée par l'arbre, élément symbolique fort, compagnon de toute civilisation. Or, malgré les efforts réalisés pour réintroduire la nature dans la ville ces dernières décennies, l'espérance de vie d'un arbre un milieu urbanisé dépasse rarement 50 ans. En milieu naturel, certains arbres vivent plus de mille ans. Nous tentons donc dans le cadre de ce mémoire, de comprendre le fonctionnement de l'arbre et en particulier, au niveau de son système racinaire. Nous confrontons alors les exigences biologiques de l'arbre aux contraintes du milieu urbain pour établir un compromis viable entre le vivant et l'inerte, en vue de pérenniser la présence de l'arbre en ville. Ce travail est réalisé en gardant à l'esprit que les arbres que nous plantons aujourd'hui seront le patrimoine végétal de demain, que nos enfants pourront apprécier et faire évoluer. Les pistes de solutions se concentrent donc tout d'abord sur la qualité et la quantité de sol disponible pour le végétal en ville. Il s'avère en réalité que les connaissances que nous avons sur les sols urbains sont faibles. Le choix des espèces est inéluctablement un facteur essentiel de la réussite d'une plantation, de même que les opérations culturales effectuées en pépinières, qui conditionnent fortement le devenir de l'arbre suite à sa plantation.</p>	
Abstract (1600 caractères maximum) :	
<p>It is no more useful to prove that nature is a crucial need for cities given that is essential for human well-being and the local ecology in cities. However, the phenomenon of artificialization is increasing up to 100% in the towncenters of the major ones. This nature is mainly represented by trees, strong symbolic element, companion of all civilizations. However, in spite of the efforts to insert nature into the city in the last past decades, the life expectancy of a tree in urbanized area rarely exceeds 50 years. In natural environments, some trees can live more than a thousand years. We are trying within this study, to understand the functioning of the tree and more particularly, its root system. We expose the biological requirements of the tree to the constraints of the urban environment to establish a viable compromise between the alive and the inert. The aim is to sustain the presence of trees in town. This is done keeping in mind that the trees we plant today will be natural heritage of tomorrow, which our children will be able to enjoy. The possible solutions firstly focus on the quality and quantity of available soil to the plant in cities. In reality the knowledge we have on urban soils are poor. The choice of species as well as cultural operations in nurseries is inescapably a key factor in the success of a plantation, due to the heavy influence on the future of the post-planting tree.</p>	
Mots-clés : Arbre, ville, anthroposols, système racinaire, volumétrie, vie du sol	
Key Words: Tree, city, anthropic soils, root system, volumetry, soil life	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires