



HAL
open science

Les replantations de jardins colonisés par l'armillaire : cas du jardin botanique de Tours

Sara Ghassab Nowrouzi

► **To cite this version:**

Sara Ghassab Nowrouzi. Les replantations de jardins colonisés par l'armillaire : cas du jardin botanique de Tours. Sciences agricoles. 2014. dumas-01081106

HAL Id: dumas-01081106

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01081106>

Submitted on 7 Nov 2014

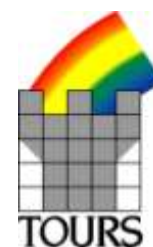
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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) :

IE2V Ingénierie des espaces végétalisés en ville (Foresterie Urbaine)

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 replantations de jardins colonisés par l'armillaire : cas du Jardin Botanique de Tours

Par : Sara GHASSAB NOWROUZI



Soutenu à Paris le 22 septembre 2014

Devant le jury composé de :

Président : Marie-Reine FLEISCH

Maître de stage : Jac BOUTAUD

Enseignant référent : Marie-Reine FLEISCH

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Patrick STELLA, enseignant rapporteur

Jean ROGER-ESTRADE, enseignant candide

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

Photo de première de couverture : Sporophores de l'armillaire couleur de miel (*Armillaria mellea*)

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⁾ :

23 septembre 2014
VIC. Z G- 100
Service des Parcs et Jardins

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 :

2/10/14



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 : 25/09/14

Marie-Reine FLEISCH



AgroParisTech
Site de Nancy
14 rue Girardet - CS 14216
F - 54042 NANCY CEDEX

(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

Engagement de non plagiat

1 Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

2 Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

3 Sanction : En cas de manquement à ces consignes, le département SIAFEE se réserve le droit d'exiger la réécriture du document, dans ce cas la validation de l'Unité d'Enseignement ou du diplôme de fin d'études sera suspendue.

4 Engagement :

Je soussigné (e) Sara GHASSAB NOWROZI
Reconnait avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Paris le 11/09/14
Signature :


GHASSAB

Remerciements

Je tiens à remercier :

Jac BOUTAUD, Christine CHASSEGUET et Sylvie SAULNIER pour m'avoir accompagnée et conseillée tout au long de ce stage ;

Gilbert FLABEAU et Alicia HAUTOBOIS pour m'avoir communiqué une grande quantité d'informations sur le Jardin Botanique ;

Joël CRÈCHE et Philippe HERLIN pour leur savoir et leurs précieux conseils respectivement sur la mycologie et le paysage ;

Martine PHILIPPE pour ses informations sur les nappes phréatiques et la pluviométrie de la ville de Tours ;

Gérard DUMÉ pour son savoir sur la disponibilité de l'eau dans le sol et son rapport aux arbres ;

Bernard JABIOL pour ses informations sur la pédologie ;

Marie-Reine FLEISCH pour son aide et ses conseils précieux pour la rédaction de ce mémoire ;

Maryse FRIOT et Céline BOUSSEREAU de la SHoT (Société d'Horticulture de Touraine) pour leur hospitalité, leur bonne humeur et leur compagnie dans les anciens bureaux du Jardin Botanique.

Un grand merci à toute l'équipe des jardiniers, des animateurs, des décors et des animaliers du Jardin Botanique de Tours pour m'avoir intégrée dans leur équipe, aidée, avoir partagé leur savoir et leur bonne humeur, et qui ont fait de ces six mois de stage une expérience très instructive et agréable.

Merci à mes parents, ma sœur, ma famille et mes amis pour leur soutien moral inconditionnel.

Sommaire

Glossaire	5
Introduction	8
Chapitre I : Le jardin Botanique de Tours, l'histoire d'un jardin au patrimoine arboré riche et sujet à de nombreux changements	9
I- Le Jardin Botanique de Tours : une collection de végétaux unique mais menacée 9	
a) Un jardin implanté sur un ancien marais.....	9
b) Un patrimoine arboré riche et diversifié	9
c) Un jardin sujet à de nombreuses vicissitudes	10
II- Des mortalités qui augmentent et des investigations menant à la mise en cause fréquente de l'armillaire couleur de miel (<i>Armillaria mellea</i>)	11
a) Des mortalités de plus en plus fréquentes et qui ne cessent d'augmenter sur les dernières années	11
b) L'armillaire couleur de miel en cause	11
III- Le rôle de l'armillaire comme pathogène secondaire : facteurs de sensibilité et prévention	12
a) Les sensibilités et les risques	13
b) Les facteurs favorisant l'armillaire	13
- Des arbres peu vigoureux	
- Le bois mort	
c) Les préventions contre les attaques d'armillaire	13
- Une amélioration de la composition du sol	
- Des arbres vigoureux	
- Aucune présence de bois infesté ou mort	
- Le modèle du milieu naturel forestier	
- Le développement des antagonistes	
d) Les préconisations pour la replantation d'un site infesté par l'armillaire	15
- Eviter la création de nouvelles portes d'entrée à l'armillaire	
- Le temps d'attente avant replantation et la distance de plantation	
- Un choix d'essences adaptées	
- L'emploi du gazon déconseillé	

Chapitre II : Une méthode visant à établir les raisons principales de dépérissement ... 16

- I- Les conditions pédologiques : état des lieux des connaissances et investigations supplémentaires 16
 - a) L'historique du sol du Jardin Botanique : mise en place sur l'ancien Ruau Saint-Anne et apport de terre depuis la création du Jardin 16
 - Etude des cartes géologique et topographique pour une compréhension d'ensemble
 - Le sol du Jardin et sa végétation à sa création
 - Les importantes modifications du sol du Jardin et de sa végétation dans les années 1980
 - b) L'étude de la pédologie et les données climatiques du Jardin Botanique : un milieu « naturel » particulier au sein d'une matrice urbaine et façonné par l'homme 19
 - Relevés à la tarière pédologique pour une cartographie du Jardin
 - Analyse en laboratoire et relevés à la mini-pelle pour les données plus précises
 - Le climat au Jardin Botanique

- II- Les besoins autécologiques des essences : confrontation aux observations dans l'arboretum 21
 - a) Les besoins autécologiques des différentes essences à partir de la bibliographie 21
 - b) La confrontation des besoins des arbres avec la réalité sur le terrain, basée sur les facteurs limitants : les arbres non vigoureux sont-ils ceux situés dans un milieu inadapté à leurs besoins autécologiques ? 22

Chapitre III : Les résultats de l'étude et les modalités de replantation pour les nouveaux arbres 24

- I- L'état des lieux pédologique et autécologique du Jardin Botanique 24
 - a) La cartographie du sol du Jardin : un pH basique comme facteur limitant et une certaine homogénéité des facteurs avec quelques zones aux caractéristiques différentes 24
 - b) Une majorité d'arbres pour lesquels le milieu est adapté aux besoins autécologiques 26

- II- Les causes principales de perte de vigueur des arbres 27
 - a) Un facteur important de dépérissement par l'armillaire : la sensibilité de l'essence à l'armillaire 27
 - b) Discussion des résultats : une bibliographie assez incomplète et des facteurs de milieu compensés 32

III- Les modalités de replantation pour les nouveaux arbres au vu des résultats de l'étude	33
a) Un choix d'essences pouvant se développer de façon optimale dans leur milieu : des essences aux besoins autécologiques adaptés au milieu, peu sensibles aux extrêmes climatiques et à l'armillaire	33
b) Des arbres jeunes au développement racinaire encore peu établi	34
c) Des conditions de développement adaptées à l'arbre : les plantes couvre-sol et le BRF	35
Conclusion	36
Références bibliographiques	37
Liste des contacts	40
Table des annexes	42

GLOSSAIRE

Antagoniste : un agent antagoniste est un agent se développant sur les mêmes substrat qu'un agent de référence, en empêchant celui-ci de produire tout ou partie de ses effets habituels.

Argile : c'est une classe granulométrique correspondant aux particules de la terre fine inférieures à 2 microns.

Autécologie : elle concerne l'étude des individus pris séparément dans leurs milieux. Elle s'intéresse aux exigences de l'espèce vis-à-vis des facteurs du milieu, vivant ou non.

Bois de cœur : également appelé « duramen », c'est la partie située au centre du bois si celui-ci est coupé transversalement. Il correspond aux zones d'accroissement les plus anciennement formées et ne comportent plus de cellules vivantes. C'est un bois dur, compact, dense et sec, il est souvent plus sombre que les autres parties du bois. Il est essentiellement composé de cellules mortes, lignifiées et imprégnées de tanin ou de colorants selon les essences.

BRF : le Bois Raméal Fragmenté est le nom donné à un mélange non-composté de résidus de broyage de rameaux de bois, c'est-à-dire du bois dont la présence de lignine est faible. Or l'armillaire, qui se développe grâce à la lignine du bois, ne consomme pas ce matériau. Le BRF favorise la création de l'humus. Il stimule la formation de certains champignons, comme des antagonistes ou des concurrents de l'armillaire.

Cambium : il est constitué d'une fine couche de cellules dites méristématiques situés entre le bois et le liber. Présent dans les tiges et les racines des dicotylédones pluriannuelles et des gymnospermes, c'est un méristème secondaire, c'est-à-dire qu'il assure la croissance en diamètre de ces plantes.

Carbonate : c'est plus précisément le carbonate de calcium (CaCO_3), ou encore calcaire actif. Sa présence est décelée par l'action de l'acide chlorhydrique qui provoque alors une effervescence.

CEC : c'est la Capacité d'Echange Cationique. C'est la quantité totale de cations qu'un échantillon peut retenir sur son complexe adsorbant, à un pH donné.

Chaulage : c'est une technique agricole qui consiste à apporter des amendements calciques ou calco-magnésiens à un sol pour en corriger l'acidité.

Complexe adsorbant : le pouvoir adsorbant est la propriété que possèdent certains constituants du sol de retenir à leur surface des ions provenant de la solution du sol. Le complexe adsorbant est l'ensemble des substances douées de ce pouvoir adsorbant.

Élément grossier : c'est un élément non organique de plus de 2 mm. On distingue dans les éléments grossiers : les graviers (0,2 à 2 cm), les cailloux et pierres (2-20 cm) et les blocs (>20 cm).

Hydromorphie : les traces d'hydromorphie sont les manifestations visuelles et prolongées dans le temps résultant de l'asphyxie plus ou moins prolongée du sol. En général, cela témoigne de la présence d'une nappe souterraine. Si le sol présente des taches d'hydromorphie rouilles ou ocres, la nappe qui est à ce niveau n'est pas présente toute l'année, le fer se réoxyde en été. Si les taches d'hydromorphie sont verdâtres, la nappe est permanente et le fer est réduit. La présence de nappe à un niveau entraîne une asphyxie du sol et donc des racines à ce niveau pour la plupart des essences (Le relevé des paramètres du sol en vue d'une estimation de ses contraintes et de ses aptitudes pour les arbres, de Bernard JABIOL).

Ions échangeables : ce sont les ions adsorbés sur le complexe adsorbant. Ils sont liés par liaison électrostatique et restent donc des ions. C'est le cas des ions phosphore, potassium, magnésium, calcium et sodium. (Les bases de la production végétale – Tome I le sol et son amélioration, de D. SOLTNER, p.87).

Limon : c'est une classe granulométrique correspondant aux particules de la terre fine entre 2 et 5 microns (soit 0,05 mm).

Matière organique : c'est la matière carbonée provenant de la décomposition et du métabolisme d'êtres vivants végétaux, animaux, fongiques et microbiens. Elle constitue l'humus. Elle est composée d'éléments comme le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le soufre, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium ainsi que d'oligoéléments.

Mésophile : caractérise les conditions moyennes dans un gradient sécheresse-humidité.

Parasite primaire : c'est un parasite qui affecte des arbres qui ne sont affaiblis ni par l'âge, ni par un environnement défavorable.

Phytosociologie : c'est la discipline botanique qui étudie les communautés de végétaux spontanées, pour les définir et les classer selon des critères floristiques et statistiques, caractériser leur structure et leur organisation, leur origine, leur genèse, leur déterminisme et leur évolution ainsi que leurs habitats.

Rapport C/N : c'est le rapport de la quantité de carbone organique sur la quantité d'azote. Il permet de suivre la vitesse d'incorporation de la matière organique dans le sol. C'est en quelque sorte le « turn-over » de la matière organique. Pour un C/N inférieur à 15, de l'azote est présent, la vitesse de décomposition est importante. Pour un C/N situé entre 15 et 20, la vitesse de décomposition est moyenne, il y a un faible besoin en azote. Enfin, un rapport C/N supérieur à 20 met en avant un manque d'azote pour permettre la décomposition de la matière organique. La matière organique se décompose trop lentement et l'azote minéral utilisable par

les plantes n'est que lentement fabriqué (Catalogue des stations du Perche et Plateau Calaisien Sarthois, Centre Régional de la Propriété Forestière des Pays de la Loire, 1984) (http://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_C/N).

Rhizomorphe : c'est un organe agrégé linéaire d'un champignon, croissant de façon autonome dans le sol.

Sable : c'est une classe granulométrique correspondant aux particules de la terre fine entre 0,05 et 2 mm.

Sénescence : voir définition Stade de développement.

Stade de développement : correspond à l'apparition d'événements qualitatifs nouveaux marquant la vie d'un arbre. Il est facilement reconnaissable pour les arbres dont l'architecture du houppier change avec l'âge. Cette propriété permet de reconnaître quatre stades de développement. Le premier est l'arbre jeune. Il ne porte que des étages de fines branches qui forment un houppier temporaire dont la forme est conique. L'arbre au stade adulte possède des branches maîtresses permanentes formant un houppier sphérique, régulier et compact. Les branches se séparent en grands axes abondamment ramifiés. Le stade mature est atteint lorsque l'arbre arrive à son volume définitif malgré les branches qui continuent à se développer. Le stade de sénescence se manifeste par un houppier qui se disloque et les branches meurent une par une (Face aux arbres – apprendre à les observer pour mieux les comprendre, Christophe DRENOU).

Texture : c'est une estimation de la composition granulométrique de la terre fine, après avoir éliminé les éléments grossiers. En d'autres termes, elle désigne la part de chaque classe granulométrique (argile, limon, sable) dans les propriétés d'un échantillon de terre. Par exemple, la texture d'un échantillon présentant une part importante des propriétés du limon et une part moins importante des propriétés de l'argile sera définie de limono-argileuse (l'abréviation est LA) (Le relevé des paramètres du sol en vue d'une estimation de ses contraintes et de ses aptitudes pour les arbres, de Bernard JABIOL).

Triangle de Jamagne : ce diagramme triangulaire a été établi par le Service de Cartographie des Sols de l'Aisne. Les trois côtés correspondent respectivement aux pourcentages de sable, de limon et d'argile. Il permet de définir la texture du sol.

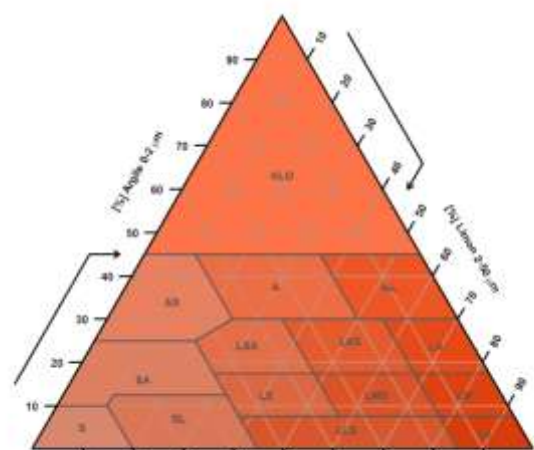


Figure 1 : Triangle de Jamagne (Source : Jules MOEYS)

INTRODUCTION

Le Jardin Botanique de Tours fut créé entre 1831 et 1843 sous l'impulsion du pharmacien J.-A. Margueron. Il souhaitait créer une école de botanique pour les étudiants de l'école de médecine et de pharmacie située en face du Jardin. Depuis 1945, ce Jardin qui couvre actuellement une surface de 5 ha, est géré par le Service des Parcs et Jardins de la ville de Tours qui en assure la direction technique en collaboration avec l'Université de Tours (Laboratoire de Botanique et de Biologie Végétale), chargée de la direction scientifique. De par son histoire, le Jardin Botanique a comme vocation première la conservation et la sauvegarde de plantes rares et protégées en relation avec d'autres jardins botaniques dans le monde. Mais c'est également un parc zoologique, un lieu où les habitants viennent se détendre ou faire du sport et enfin un jardin thérapeutique de par son emplacement en face du CHU Bretonneau. Le Jardin Botanique de Tours doit donc répondre à des exigences particulières en termes de diversité botanique et de qualité paysagère.

Le Jardin a connu de nombreuses vicissitudes : inondations en 1843 et 1856, incendie de l'Orangerie en 1869, bombardements en 1944, tempêtes de 1953, 1987, 1990 et 1999, ainsi que la canicule de 2003. Si des mortalités ont toujours été observées, le phénomène semble s'être accéléré depuis 2010, avec des pertes rapides de végétaux qui paraissent en bonne santé, aussi bien des sujets âgés que des sujets jeunes. Des investigations menées en collaboration avec l'Université de Tours et le bureau d'études ADRET ont permis de mettre en évidence le rôle de l'armillaire couleur de miel (*Armillaria mellea*). L'armillaire semble se comporter comme un pathogène d'équilibre. Nous allons dans un premier temps étudier les conditions pédologiques et climatiques des différents secteurs du Jardin pour tenter de les mettre en relation avec les mortalités observées et pour déterminer les essences adaptées aux conditions locales à partir des données d'autécologie. En nous basant sur la littérature scientifique et sur l'expérience des gestionnaires, nous proposerons une liste de conseils de gestion visant à limiter l'impact du pathogène. Enfin, les modalités de replantation des arbres seront présentées.

CHAPITRE I : LE JARDIN BOTANIQUE DE TOURS, L'HISTOIRE D'UN JARDIN AU PATRIMOINE ARBORE RICHE ET SUJET A DE NOMBREUX CHANGEMENTS

I- Le jardin botanique de Tours : une collection de végétaux unique mais menacée

a) Un jardin implanté sur un ancien marais

D'après la thèse de Françoise CANOT, L'Arboretum du Jardin Botanique de Tours, le Jardin Botanique était une zone humide marécageuse avant le 19^{ème} siècle. En 1806, l'empereur Napoléon est frappé par la présence de cette zone insalubre devant l'Hospice. C'est pourquoi l'État fait don du Ruau Sainte-Anne à condition que la ville de Tours l'assainisse. Ce ruisseau reliait la Loire au Cher et il alimentait les douves du château de Plessis-lès-Tours. L'insalubrité de la zone persistant, des travaux de remblais commencèrent en 1838. En 1842, les travaux s'accéléchèrent avec des remblais de terre sablonneuse de 3 mètres à certains points du canal. Puis 1 mètre supplémentaire fut nécessaire suite à la crue d'avril 1843. De la terre plus riche fut ajoutée par-dessus cette terre sablonneuse pour permettre les plantations.

b) Un patrimoine arboré riche et diversifié

A sa création, le Jardin Botanique avait pour but d'exposer une grande diversité d'essences aux étudiants de l'école de médecine située en face du Jardin. En novembre 1843, débuta la construction de l'Orangerie et des serres de collection au nord du Jardin. En 1845, l'Arboretum possédait déjà plus de 2000 arbres forestiers et d'ornements et 70 mûriers. Cette année-là, des plantes et des graines furent envoyées par le Museum de Paris, les Jardins Botaniques de Dijon, Liège, Orléans, Le Mans, Angers, Brest, Rochefort, des horticulteurs, des pépiniéristes et des jardiniers. A cette époque, les essences plantées étaient essentiellement des espèces forestières locales. A partir de 1851, l'arboretum devenait de plus en plus une promenade ouverte au public qu'un support d'apprentissage pour les étudiants. Des groupements d'arbres furent constitués au sein du Jardin. Aujourd'hui, l'emplacement du groupe d'arbres d'ornement de valeur (*Ginkgo biloba*, *Cryptomeria japonica*, *Sequoiadendron giganteum*) est le même qu'à l'époque, au centre du Jardin. Il n'est cependant pas possible d'affirmer avec certitude que ces arbres soient les arbres d'époque (le *Sequoiadendron giganteum* actuel a malheureusement été abattu en 2011 suite à l'attaque d'armillaire). En 1853, 120 plantes exotiques sont venues enrichir la collection végétale du Jardin grâce à une donation du Jardin Royal Botanique de Kew en Angleterre. En 1861, l'Arboretum possédait 800 sujets et fut complété de 200 sujets quelques mois plus tard. Des graines furent apportées de Chine par de grands voyageurs.

Au cours du 20^{ème} siècle, différentes essences ont été plantées au Jardin Botanique. Parmi celles qui ont disparu aujourd'hui, certaines sont connues grâce à des catalogues dans lesquels les graines récoltées au Jardin et échangées avec d'autres Jardins sont répertoriées.

En 1982, fut créé le Jardin des Simples à l'extrême sud-est du Jardin. Il comporte des plantes phytothérapeutiques et dépend de la Faculté de Pharmacie. Il représente l'élément essentiel de ce qui fut à l'origine de la création du Jardin Botanique.

Le Jardin possède aujourd'hui environ 430 arbres, 170 arbustes et 710 taxons de vivaces.

c) Un jardin sujet à de nombreuses vicissitudes

- Avril 1843 Suite à une crue du ruau Sainte-Anne, le sol du Jardin Botanique est élevé d'un mètre au moyen d'un remblai.
- 5 juin 1856 Une inondation torrentielle ravage le Jardin Botanique et le recouvre de boue. Les systèmes de chauffage des serres sont détruits. Cependant, les arbres et arbustes du Jardin ont survécu. En revanche, la partie Ecole de Botanique doit être entièrement replantée. D'après le rapport du 10 mai 1858 de R. BARNSBY, pharmacien-chef à l'Hospice, le Jardin possédait 7500 plantes avant l'inondation, il en a perdu 4000 pendant l'inondation. Dans son rapport du 4 août 1858 au préfet, il explique que les pertes dues à cet incident ont pu être rapidement réparées grâce à des donateurs et au Museum de Paris.
- 16 juillet 1865 Un orage violent déracine et tord des arbres du Jardin Botanique et nécessite des travaux de redressement et de replantation d'arbres.
- 30 avril 1869 La serre au nord du Jardin est détruite par un incendie. Elle est reconstruite en 1872 et transformée en jardin d'hiver dans lequel se trouve une collection de palmiers, de fougères, etc.
- 1870 et 1871 Les Prussiens envahissent la France et le Jardin Botanique accueille 30 lits pour les blessés qui n'ont plus de place à l'Hospice général. A cette occupation succède une période difficile en terme de finances. Le Jardin est délaissé, aucune subvention n'est attribuée malgré les travaux qui sont à faire.
- 1914-1944 En ce qui concerne la période des deux guerres mondiales, les informations restent peu connues bien que l'on puisse supposer que le Jardin Botanique ait été relégué à l'arrière-plan, les habitants ayant d'autres préoccupations, et l'impact démographique et économique de la guerre étant sévère.
- 7 juin 1944 Le Jardin Botanique est bombardé. La serre ouest est détruite et la serre centrale est très endommagée. Les dégâts sont réparés et les serres améliorées.
- 1953 Une tempête déracine de nombreux arbres dont des cèdres, des tilleuls et des sapins.
- 12 novembre 1985 Un séquoia géant centenaire est abattu, suite à son dépérissement. L'armillaire est supposée en être la cause, mais aucune étude approfondie sur le sujet ne le confirme.

- 8 octobre 1987 Une tempête endommage fortement le *Gingko* remarquable du Jardin. Il a survécu mais a dû être retaillé dans toute son emprise.
- 3 février 1990 Une tempête provoque la casse de nombreuses branches, ce qui a engendré un important travail d'élagage.
- 9 août 1990 Un orage endommage un robinier, un orme et un *Gymnocladus*.
- Décembre 1999 De nombreux peupliers et conifères tombent durant la tempête.

Tout au long de son existence, le Jardin subit toute sorte de méfaits, comme des vols ou des détériorations. Parmi elles, on compte des détériorations d'arbres, d'arbustes, de massifs fleuris, de systèmes d'irrigation et d'alimentation des fontaines et du cours d'eau.

II- Des mortalités qui augmentent et des investigations menant à la mise en cause fréquente de l'armillaire couleur de miel (*Armillaria mellea*)

a) Des mortalités de plus en plus fréquentes et qui ne cessent d'augmenter sur les dernières années

A partir de 1995, les mortalités ont commencé à être plus significatives au Jardin Botanique. Elles se sont encore accélérées en 2010. Les rapports d'expertise du bureau d'étude ADRET montrent que quatorze arbres sont recommandés à l'abattage en 2011 et sept en 2013 contre 2 en moyenne par an avant les années 1980. Début 2012, le séquoia géant du Jardin Botanique de Tours, arbre mature de 35 mètres de haut et de 4 mètres de circonférence, a été abattu. Il était passé d'un état visuellement sain à un dépérissement avancé en une période très courte. Plusieurs questions sont venues à l'esprit. Comment un arbre qui semblait aussi imposant et vigoureux a-t-il pu être attaqué et dépérir aussi rapidement dans un milieu où il avait parfaitement bien poussé jusque là ? Aucune blessure apparente ne semblait avoir été faite. Les pratiques culturales n'avaient pas été modifiées.

b) L'armillaire couleur de miel en cause

Le 12 novembre 1985, un séquoia géant centenaire avait été abattu dans le Jardin Botanique. Dans ces mêmes années, un zelkova dépérissait également. L'armillaire était supposée être la cause de ces dépérissements, mais aucune étude approfondie sur le sujet ne le confirme. Cela reste une supposition. En 2011, dans sa prestation d'expertise pour le diagnostic d'arbres du Jardin Botanique, Laurent HERQUIN du bureau d'études ADRET a noté la présence d'une ou deux espèces d'armillaire comme problème sanitaire majeur rencontré dans le Jardin. Cinq arbres de l'arboretum portaient des traces de colonisation et étaient recommandés à l'abattage. Quatorze arbres présentaient des désordres physiologiques assez marqués qui peuvent être attachés à la présence d'armillaire. Les secteurs touchés en 2011 sont représentés sur la carte ci-contre (en grand format en annexe 1). Ils se situent dans les secteurs A, B, C et I, dans la partie nord et nord-ouest du Jardin.

Carte de localisation confirmée de l'armillaire en 2011



Source : bureau d'étude ADRET, 2011

Figure 2 : Carte de localisation confirmée de l'armillaire en 2011

En mars 2012, Pierre AVERSENQ du bureau d'études Chlorophyl'Assistance et cotraitant du cabinet ADRET sur cette expertise, a mené une étude visant à confirmer l'identité de l'armillaire et à définir l'espèce en cause. Des échantillons d'inoculum ont été prélevés sur trois sujets de l'arboretum dans les secteurs C et I. Les analyses ont permis d'identifier formellement l'armillaire couleur de miel (*Armillaria mellea*) comme agent pathogène. D'après L'armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux de J.-J. Guillaumin (2005), l'armillaire couleur de miel est l'armillaire européenne la plus agressive, elle se comporte le plus souvent comme un parasite primaire (cf. glossaire). De nombreuses observations montrent qu'elle s'attaque plus fréquemment aux Angiospermes, notamment les arbres forestiers feuillus, fruitiers, les plantes ligneuses ornementales et aux résineux de la famille des *Cupressaceae*. Cependant, l'armillaire couleur de miel possède un faible rayon d'action par ses rhizomorphes (cf. glossaire), donc sa dissémination saprophytique est efficace à l'intérieur d'un même substrat ligneux, mais assez limitée d'un substrat à l'autre.

En 2012, le bureau d'études ADRET a réalisé une nouvelle expertise et a repéré trois nouveaux arbres touchés par l'armillaire. Huit autres arbres présentaient des désordres physiologiques qui laissaient supposer le rôle de l'armillaire. En tout, ce sont cinq nouveaux foyers ont été découverts. L'infection était désormais visible sur tous les secteurs de l'arboretum.

En 2013, l'expertise du bureau d'études ADRET révéla un nouvel arbre dans le secteur C dont les symptômes laissaient à supposer une attaque d'armillaire. Douze arbres au sein ou proches des foyers présentaient des signes de dépérissement mais pas de mycélium sur le collet et le tronc. Un groupe de travail « Lutte contre l'armillaire » a été mis en place avec la participation de la Ville de Tours et l'Université de Tours. Des prélèvements ont été analysés et ont montré la présence de l'armillaire couleur de miel un peu partout dans l'arboretum mais aussi la présence de ses antagonistes (cf. glossaire). Il s'agissait notamment de *Tricholoma scalpturatum* à la limite des secteurs C et D et *Tricholoma myomyces* dans le secteur D. En 2013, les symptômes d'attaque ne se cantonnaient plus uniquement aux arbres de l'arboretum, mais aussi au jardin thématique. Quatre sujets étaient touchés par l'armillaire, et deux autres sujets étaient suspectés d'être infectés. Trois des arbres infectés sont proches du secteur I de l'arboretum, secteur touché par l'armillaire. Le groupe de travail a également mis en évidence la présence d'antagonistes dans le jardin thématique : à l'extrême sud, *Hypholoma fasciculare*, *Caprinus lagopus*, *Psathyrella gracilis*, *Galerina marginata*, au centre, *Hypholoma fasciculare* et *Panaeolus sp.*, au nord-ouest, *Stropharia aeruginosa*, au sud-ouest, *Phypholoma fasciculare*, *Psathyrella sp.*.

L'attaque a engendré des dégâts de plus en plus importants entre 2010 et 2013.

III- Rôle de l'armillaire comme pathogène secondaire : facteurs de sensibilité et prévention

Alicia HAUTBOIS, animatrice scientifique du Jardin Botanique de Tours, a consulté des jardins adhérents de l'association Jardins Botaniques de France et des Pays Francophones (JBF) au sujet de l'armillaire. Jac BOUTAUD, gestionnaire du patrimoine arboré de la ville de Tours, a sollicité plusieurs experts arboristes de différents parcs atteints par l'armillaire en

France et a consulté la bibliographie sur le sujet. Il a réalisé une synthèse des informations recueillies. Il a pu mettre en avant et réfuter des pistes sur les raisons du développement de l'armillaire dans un jardin et rassembler toutes les mesures préventives qui avaient été adoptées. Ce travail de synthèse est résumé dans cette partie.

a) Les sensibilités et les risques

Quelques informations ont été réunies quant à la nature de l'armillaire et aux risques que sa présence engendre. C'est un agent **saprophyte**, c'est-à-dire qu'il se développe principalement sur des tissus morts. Mais c'est également un **parasite d'équilibre** : il peut attaquer un végétal affaibli par une blessure, une maladie ou un stress et ce, par deux types d'action. Tout d'abord c'est un parasite cortical, autrement dit, un agent de destruction du cambium (cf. glossaire). C'est également un agent de pourriture du bois de cœur (cf. glossaire). Le risque engendré par la présence d'armillaire sur l'arbre est la mortalité inéluctable de l'arbre atteint. La durée de présence du champignon sur l'arbre avant les premiers signes visuels d'infection, en particulier des carpophores, est inconnue puisque la pourriture se développe d'abord dans les racines et sous l'écorce au niveau du collet. En revanche, dès que l'arbre présente les premiers symptômes aériens de dépérissement, la mortalité survient très rapidement, de l'ordre de quelques mois voire quelques semaines, même chez des sujets de grande taille. Quant à la sécurité du public, l'ancrage de l'arbre au sol peut être fortement diminué, ce qui augmente le risque de chute. De plus, le houppier se dégrade, ce qui peut provoquer des chutes de branches.

b) Les facteurs favorisant l'armillaire

Des arbres peu vigoureux

Comme il a été mentionné précédemment, l'armillaire est un parasite d'équilibre, donc un mauvais état de santé de l'arbre favorise les attaques. Par exemple, un stress hydrique, un sol compact, un pH faible peuvent favoriser l'armillaire sur des essences sensibles à ces facteurs. De même, une carence nutritive, la contamination de l'arbre par un produit chimique polluant, un épisode de gel, une attaque parasitaire ou un manque de lumière affaiblissent l'arbre et donc le fragilisent face à une attaque. La blessure des racines lors de travaux constitue une porte d'entrée de l'armillaire dans l'arbre.

Peu d'éléments ont été recueillis quant à l'âge de l'arbre et les accidents climatiques comme facteurs favorisant l'armillaire.

Le bois mort

L'armillaire étant saprophyte, la présence de bois mort dans le sol favorise son développement, et constitue donc un facteur de virulence. L'abondance de matière organique semble également être un facteur prédisposant.

c) Les préventions contre les attaques d'armillaire

Jusqu'à ce jour, aucune méthode d'éradication de l'armillaire d'un site n'est connue. Dans la bibliographie récente, la lutte chimique est considérée comme inefficace ou non recommandée, d'autant plus que les produits cités ne sont a priori plus autorisés. Des méthodes préventives doivent donc être utilisées. Elles sont présentées dans cette partie.

Une amélioration de la composition du sol

Une augmentation du pH du sol par chaulage (cf. glossaire) peut être préconisée car cela défavoriserait l'armillaire. Il faut cependant que ce soit compatible avec les exigences autécologiques des arbres à protéger.

Des arbres vigoureux

Favoriser la vigueur des arbres est le meilleur moyen d'essayer de garantir leur résistance face à l'armillaire. Il est aussi important d'éviter toute blessure sur les racines et le collet, notamment lors de la tonte du gazon. Des moyens adaptés aux besoins des arbres doivent être employés, comme une fertilisation ou un arrosage des pelouses qui ne se fait pas au détriment des bonnes conditions de milieu des arbres.

Aucune présence de bois infesté ou mort

Nourrir l'armillaire en lui mettant à disposition du bois mort afin de la détourner de son rôle de parasite n'est pas efficace, cela provoque même l'effet inverse. En effet, elle s'installe sur le bois mort puis s'attaque éventuellement au bois vivant. Il faut donc retirer tout le bois mort. C'est pourquoi, lorsqu'un arbre est infesté, celui-ci doit être abattu le plus tôt possible afin de diminuer l'inoculum. La souche devra être arrachée. Il est aussi important de ne pas blesser les racines des arbres présents autour de la souche à retirer afin d'éviter de créer une porte d'entrée pour l'armillaire.

Aucun paillis de broyat de bois de gros diamètre ne doit être utilisé sur la zone infestée car il constitue une source de bois mort utilisable par l'armillaire pour son développement. L'emploi de BRF (cf. glossaire) ou autre paillis non composé de lignine est préférable.

Le modèle du milieu naturel forestier

S'approcher le plus possible d'un milieu naturel forestier serait également une bonne solution, car dans ce milieu, l'armillaire ne s'attaque principalement qu'au bois mort, entraînant sa décomposition naturelle et la régulation de la flore forestière. Elle ne se développe pas souvent au point de s'attaquer aux arbres vivants et sains, car le milieu est propice au développement d'antagonistes (cf. glossaire) ou de concurrents. Cependant, reproduire un milieu naturel forestier est très difficile à mettre en place dans un parc urbain, et d'autant plus complexe dans un arboretum. En effet, le but d'un tel lieu est généralement de présenter la plus grande diversité d'essences issues de milieux et de zones géographiques différentes. Un arboretum est donc éloigné du modèle du milieu naturel, présentant un regroupement d'espèces formant un écosystème régulé, répondant à des besoins écologiques identiques. Il faut donc regrouper les espèces pas uniquement par critères esthétiques ou de nomenclatures, mais aussi en veillant le plus possible à les regrouper par besoins écologiques. D'autres moyens existent pour se rapprocher de ce modèle. Ils vont être traités dans les points suivants.

Le développement des antagonistes

Favoriser le développement des antagonistes de l'armillaire comme *Trichoderma viride* ou *Trichoderma harzianum* présents dans le milieu naturel forestier pourrait limiter son action. Des champignons spécialisés dans la décomposition du bois mort et n'ayant pas d'action

agressive sur les tissus vivants sont des concurrents intéressants pour l'armillaire car ils la privent d'une partie de son substrat nutritif. Selon les résultats, des spécialités commerciales pourraient être proposées dans les années à venir pour les parcs et jardins. Mais pour l'instant, le développement de ces antagonistes et concurrents n'a pas fonctionné sur le terrain. L'incorporation d'engrais verts pourrait être une solution grâce à l'activité biologique qu'elle engendrerait et le développement des antagonistes qu'elle favoriserait.

d) Les préconisations pour la replantation d'un site infesté par l'armillaire

Eviter la création de nouvelles portes d'entrée à l'armillaire

Toute replantation doit se faire en veillant de ne pas blesser les racines et le collet des arbres pour les raisons citées plus haut. L'usage de plants jeunes et donc peu taillés au niveau racinaire est dans ce sens une bonne solution.

Le temps d'attente avant replantation et la distance de plantation

Il est conseillé d'attendre un certain temps avant de replanter à l'emplacement de l'arbre infesté. En effet, l'armillaire reste présente dans le sol pendant plusieurs mois.

Certains experts forestiers préconisent des distances de plantation un peu plus importantes pour éviter les stress liés à la concurrence des arbres entre eux.

Un choix d'essences adaptées

Les nouvelles plantations doivent favoriser des essences réputées peu sensibles à l'armillaire et adaptées aux conditions pédo-climatiques du site. En ce qui concerne la diversification des essences choisies, les éléments sont trop peu nombreux.

L'emploi de gazon déconseillé

L'emploi de gazon est propice au développement de l'armillaire car il ne favorise pas le développement de ses antagonistes ou de ses concurrents. Il s'éloigne du modèle des milieux naturels forestiers, en particulier dans la mesure où il n'y a pas de litière de feuilles et petits rameaux. De plus, il nécessite un arrosage important pour rester bien vert toute l'année, ce qui n'est pas forcément adapté aux besoins des arbres. L'arrosage de surface peut modifier la prospection racinaire et les arbres deviennent alors plus vulnérables. Le gazon nécessite également une tonte régulière par les jardiniers. Cela entraîne parfois des blessures au collet lorsqu'elle est faite jusqu'au pied des arbres, créant alors une porte d'entrée pour le pathogène. Les plantes couvre-sols sont donc préférables. Elles se rapprochent plus du modèle du milieu naturel forestier dans la mesure où une certaine litière se forme. Elles ne nécessitent pas d'irrigation particulière, ni de tonte. Elles dissuadent le public de fouler la terre au pied des arbres et donc de provoquer un compactage du sol.

L'attaque d'armillaire couleur de miel au Jardin Botanique de Tours est une nouvelle vicissitude qui s'ajoute à la longue série dont le Jardin a été victime depuis sa création. Les connaissances sur le rôle et l'action de cet agresseur se complètent au fur et à mesure. Des techniques préventives sont mises en place. Dans le chapitre suivant, nous allons exposer la démarche utilisée pour comprendre si les conditions pédo-climatiques du Jardin Botanique sont une cause de la fragilité des arbres face à l'armillaire.



Figure 3 : Carte du Jardin Botanique de Tours. Source : Ville de Tours

CHAPITRE II : UNE METHODE VISANT A ETABLIR LES RAISONS PRINCIPALES DE DEPERISSEMENT

I- Les conditions pédologiques : état des lieux des connaissances et investigations supplémentaires

Le Jardin Botanique est longé par la rue Saint-François à l'est et le boulevard Tonnellé à l'ouest. Il est actuellement composé de 4 parties (voir figure 3 et grand format en annexe 2) :

- L'arboretum occupe la moitié sud. C'est ici que l'on peut retrouver le jardin des simples, les aires de jeux et l'animalerie.
- Le jardin thématique au nord-ouest. Il est vallonné grâce à des apports de terre qui ont permis de créer des reliefs, et présente des plantes de différents milieux : des plantes d'ombre, des plantes de tourbières et terrains frais, des plantes méditerranéennes, des plantes aquatiques et des plantes des terres acides dites de bruyère.
- Le jardin de l'évolution au nord-est. De son bassin central à sa périphérie, ce jardin présente des plantes selon leur apparition dans l'Histoire et l'évolution de leur génome.
- L'extension tout au nord. Cette partie est séparée des deux précédentes par des serres de collection. Elle a été réalisée en 2009 et présente des végétaux d'Amérique du Nord dans sa partie ouest, et d'Asie dans sa partie est. Au centre sont plantées des plantes à bulbe.

Par la suite l'étude sera concentrée essentiellement sur l'arboretum pour des raisons de temps, mais également parce que l'armillaire se concentre principalement sur cette zone, les dégâts y sont les plus lourds et c'est à cet endroit que les prochaines replantations seront effectuées.

a) L'historique du sol du Jardin Botanique : mise en place sur l'ancien Ruau Saint-Anne et apport de terre depuis la création du Jardin

Etude des cartes géologique et topographique pour une compréhension d'ensemble

Les cartes géologique et topographique peuvent fournir de premières données sur le sol du Jardin Botanique, lesquels peuvent ensuite servir de base pour la suite.

D'après la carte géologique, le Jardin Botanique est situé sur des alluvions du Quaternaire (Holocène) donc récents, il se trouve sur le lit mineur de la Loire, comme indiqué sur la carte ci-contre (d'après les données géologiques en ligne BRGM). Une partie du jardin de l'évolution est constitué de terre rapportée issue de matériaux de déblais de la commune de la Riche, qui est également située sur les alluvions du Quaternaire.

Quant à la topographie, le Jardin Botanique se situe en général à une altitude comprise entre 45,95 mètres et 47 mètres, avec des points plus hauts entre 47 et 50 mètres d'altitude dans le jardin thématique (d'après les travaux du bureau d'études de la ville de Tours).

Le Jardin Botanique est donc situé sur un substrat d'alluvions où de la terre a été rapportée. Sa topographie est constante mis à part au niveau de certains points hauts dans le jardin thématique où les apports de terre ont été faits dans des quantités beaucoup plus importantes. Les apports de terre vont être abordés par la suite.

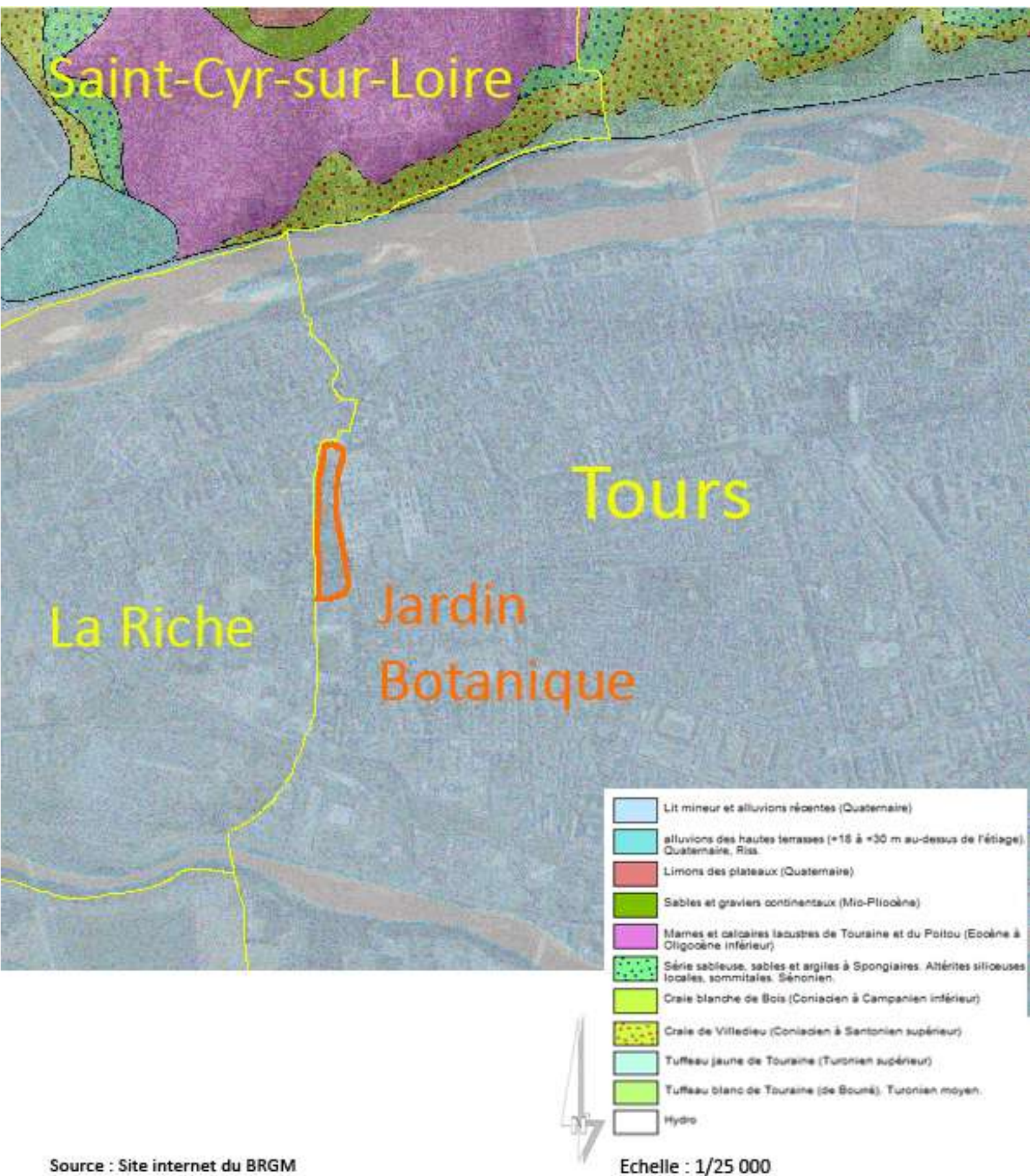


Figure 4 : Carte géologique de la ville de Tours et de ses environs.

Le sol du Jardin et sa végétation à sa création

L'étude sur le Jardin Botanique de Tours de Juliette MEUDEC (2001), diplômée en Histoire de l'Art, nous renseigne sur l'histoire du sol et de la flore du Jardin à partir de sa création. A la création du Jardin Botanique dans les années 1840, de nombreux remblais furent constitués afin d'assécher la zone humide sur laquelle se situait le Jardin. La partie nord de l'actuel arboretum était dédiée à l'Ecole de Botanique. Elle présentait différentes espèces forestières. La partie sud-ouest était consacrée à l'agronomie et la partie sud-est à l'arboriculture. En 1858, les tracés des cheminements étaient déjà quasiment les mêmes que les tracés actuels, comme le montre la carte ci-contre.

En 1856, une inondation mena à une importante perte des collections végétales. Un remblai supplémentaire fut apporté. En 1862, l'arboretum possédait des essences forestières feuillues, aussi bien des arbres que des arbustes, des mûriers, des magnoliacées, des rosiers, mais aussi des conifères comme des cèdres, des sapins et des cryptomères. La partie agronomie comportait des vignes, du maïs, des légumineuses, du blé, du sorgho, des pommes de terre, du seigle et de l'igname. Des arbres fruitiers devaient y être plantés, mais le sol était trop pauvre. Un amendement et un renouvellement du terrain furent alors apportés. En 1864, des arbres fruitiers furent plantés dans la partie arboriculture. Un remblai considérable fut réalisé avec de la terre végétale « provenant de la démolition des remparts ».

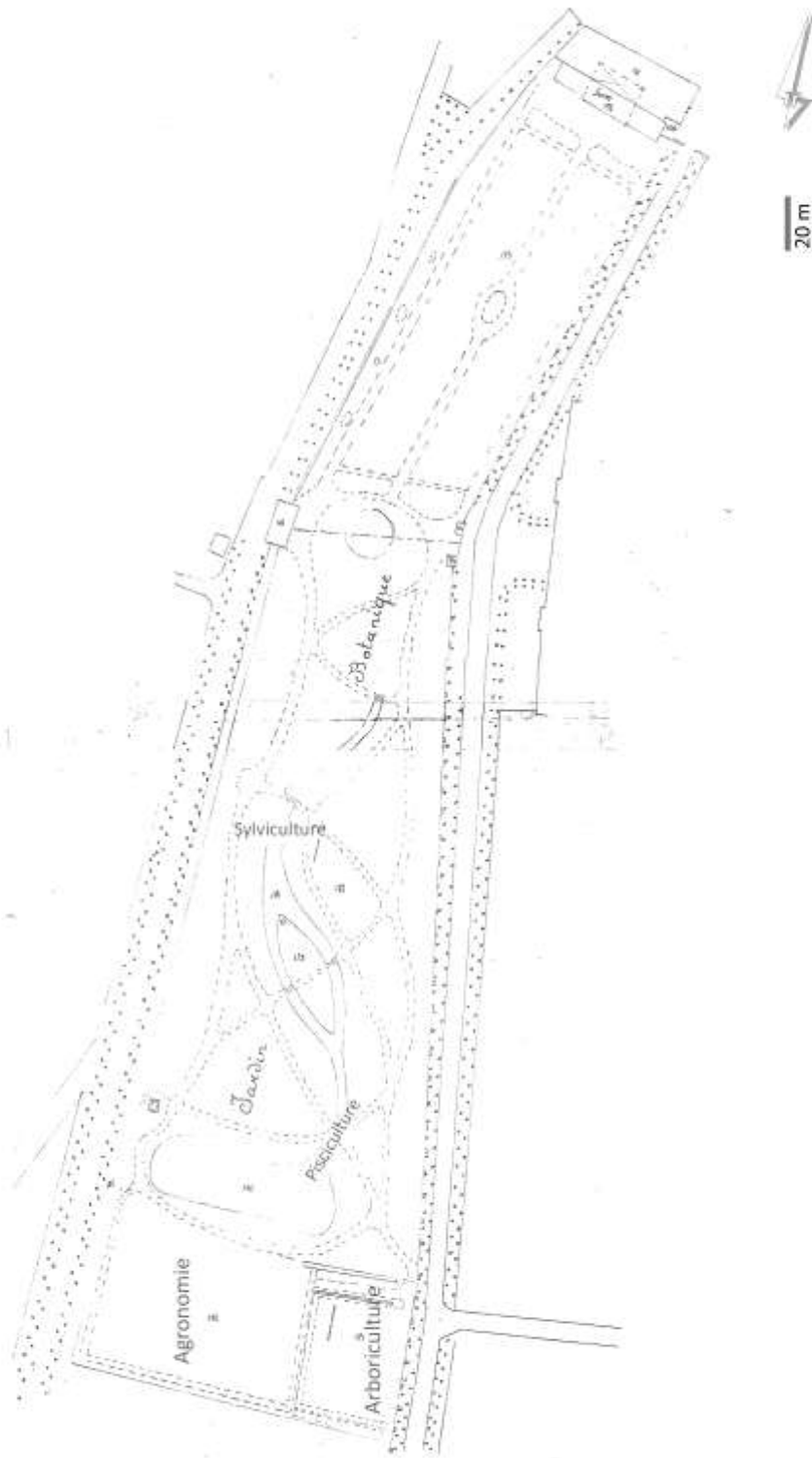
Les importantes modifications du sol du Jardin et de sa végétation dans les années 1980

En 1980, la partie Ecole de Botanique fut complètement détruite et recréée pour présenter une classification végétale plus moderne. Les jardins phytosociologiques à l'ouest et phylogénétique à l'est furent détruits en vue de leur modification. Le couvert arbustif existant fut entièrement retiré et remplacé par de la pelouse, il ne restait plus que de grands arbres. Les plantes indigènes classiques furent remplacées par des plantes indigènes nouvelles ou exotiques. Le Jardin des Simples fut installé au sud-est. En 1986, furent réalisés deux aires de jeux au sud-ouest et au sud-est. Entre 1997 et 2000, les massifs d'arbustes restants furent arrachés des deux côtés de l'arboretum. Des sujets furent plantés le long des clôtures, les allées secondaires longeant les limites du Jardin disparurent et les parties dégagées furent engazonnées. Les arbres nouvellement plantés furent regroupés par famille.

Gilbert FLABEAU a intégré l'équipe du Jardin Botanique en 1973 et a été responsable jusqu'en 2013. Il a su nous renseigner sur les différents apports de terre ayant été réalisés dans le Jardin dans les années 80. Les figures 6 et 7 nous renseignent sur ces apports. Elles figurent en grand format en annexes 3 et 4. Comme nous pouvons le constater sur la carte des apports de terre du Jardin Botanique dans les années 1980, l'arboretum a gardé en grande partie sa terre d'origine. De la terre apportée est retrouvée à certains endroits. Elle est sableuse dans la zone Q, dans l'enclos des Flamands Roses et plutôt argileuse dans la zone P. Quant à la partie thématique, de la terre argileuse a été apportée pour créer les reliefs. La terre d'origine a été préservée par endroit. Dans le jardin de l'évolution, la zone nord est constituée de terre d'origine. Le reste est constitué de terre apportée argileuse ou sableuse. En général, la terre d'origine a été préservée en partie et de la terre sableuse ou argileuse a été apportée par endroit.

L'histoire de l'évolution des sols du Jardin Botanique est donc en partie connue. Le sol du Jardin a subi de nombreux changements depuis sa création. Mais son état actuel et son

Jardin Botanique de Tours : cadastre de 1858



Source : Juliette MEUDEC (2001), *Etude sur le Jardin Botanique de Tours*

Figure 5 : Jardin Botanique de Tours : cadastre de 1858

Carte des apports de terre dans l'arboretum dans les années 1980

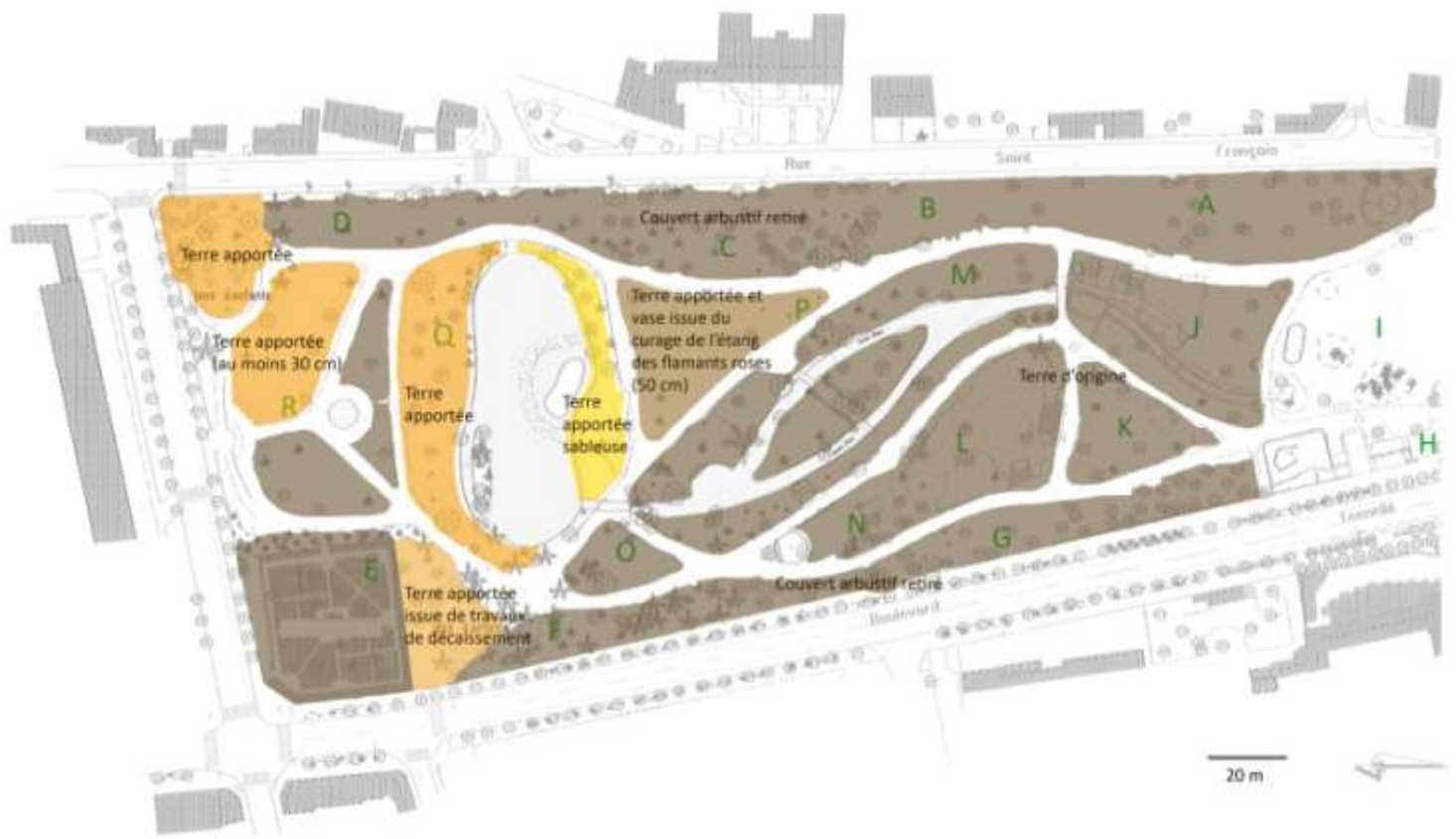


Figure 6 : Carte des apports de terre dans l'arboretum dans les années 1980. Source : Gilbert FLABEAU

Carte des apports de terre dans le nord du Jardin Botanique dans les années 1980

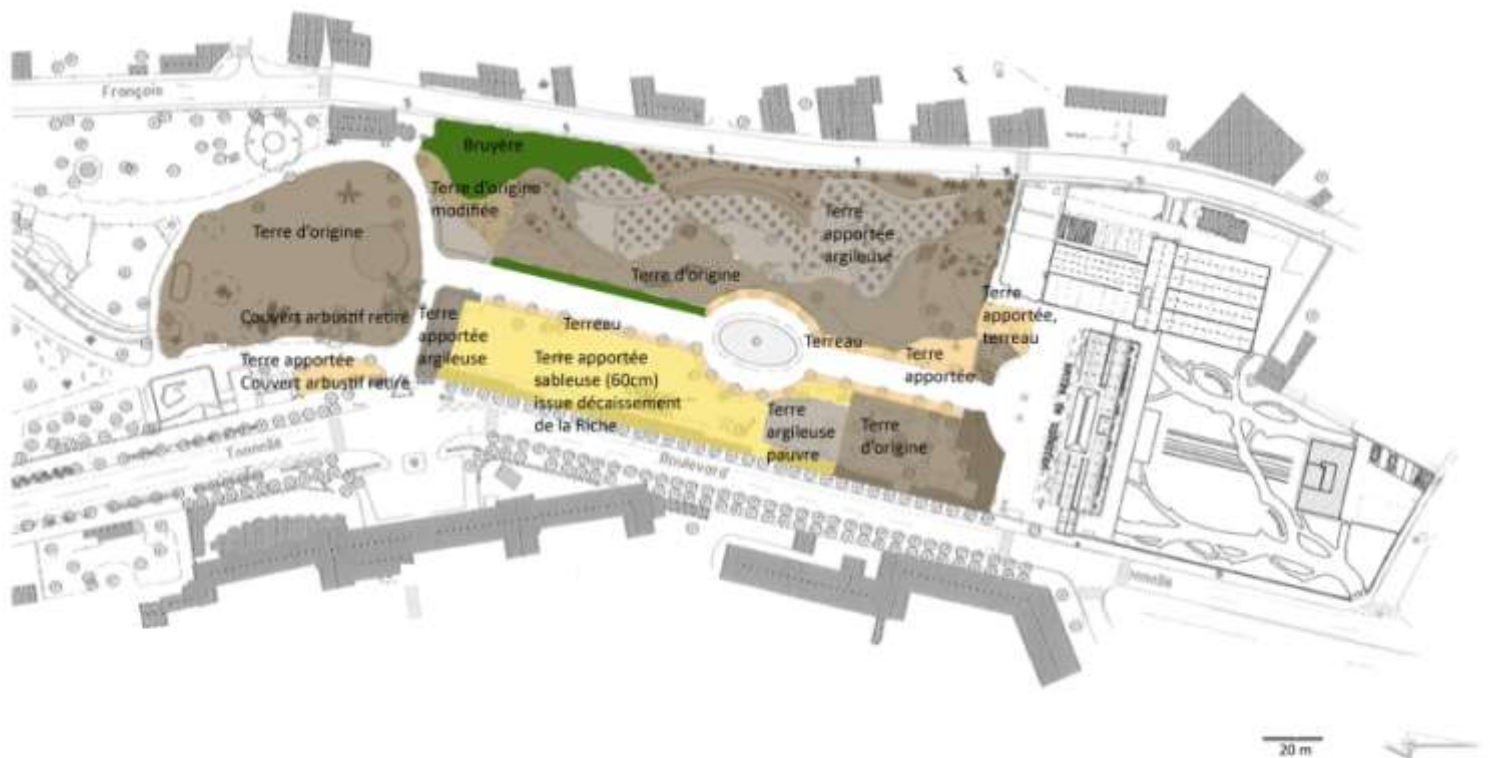


Figure 7 : Carte des apports de terre dans le nord du Jardin Botanique dans les années 1980. Source : Gilbert FLABEAU

influence sur les végétaux restent encore inconnus. Une étude pédologique détaillée du Jardin Botanique est donc nécessaire pour comprendre les relations entre les conditions stationnelles et les dépérissements observés avant d'y replanter de nouveaux arbres.

b) L'étude de la pédologie et les données climatiques du Jardin Botanique : un milieu « naturel » particulier au sein d'une matrice urbaine et façonné par l'homme

Relevés à la tarière pédologique pour une cartographie du Jardin

Pour l'étude des sols du Jardin Botanique, nous avons procédé dans un premier temps à des sondages à la tarière pédologique. Ils ont permis d'établir une cartographie générale du sol. Environ 65 relevés ont été faits. Leurs emplacements figurent en annexes 5 et 6. D'après l'ouvrage Face aux arbres, de Christophe DRENOU (2009), les racines des arbres se trouvent principalement dans les 30 premiers centimètres de profondeur. Ces racines superficielles sont spécialisées dans l'alimentation de l'arbre. Parfois, certaines racines se retrouvent jusqu'à 4 mètres de profondeur, selon les particularités du sol. Par exemple, dans le cas d'un sol trop compact et asphyxiant, les racines restent très superficielles. Les racines de profondeur sont très peu nombreuses et leur rôle est de relayer les racines de surface en cas de sécheresse. Seules les données dans les premiers centimètres de profondeur seront exploitées pour l'étude des besoins des arbres. La tarière pouvant atteindre 1 mètre de profondeur, les caractéristiques du sol ont quand même été notées jusqu'à 1 mètre. En effet, si les racines de profondeur sont plus denses que prévues pour une raison quelconque comme un sol trop sec en surface, il peut être intéressant de connaître les caractéristiques du sol au-delà de 40 centimètres de profondeur.

Une fiche a donc été établie pour chaque relevé à la tarière pédologique. En voici un exemple ci-contre. Plusieurs informations ont été notées sur ces fiches. La partie du Jardin Botanique (Arboretum, Thématique, Evolution, Extension) et le numéro du relevé qui est reporté sur une carte permettent de situer l'emplacement du relevé. La composition de la litière, si elle est présente, est importante car elle influe sur les caractéristiques du sol. Des remarques peuvent être notées si nécessaire. Les différentes caractéristiques du sol sont relevées, comme :

- La présence d'hydromorphie (cf. glossaire) ;
- La présence de carbonates (cf. glossaire) et le pH ;
- La texture du sol, compacité, présence d'éléments grossiers (cf. glossaire). La structure n'est pas relevée car elle ne peut s'apprécier à la tarière.

Ces caractéristiques sont décrites pour chaque horizon relevé sur 1 mètre de profondeur, avec sa profondeur et sa couleur. On passe d'un horizon à un autre lorsqu'un des facteurs ci-dessus et la couleur de la terre changent. C'est pourquoi la couleur de la terre est également notée.

Les informations relevées pour chacun des éléments sont pour :

- Le type d'hydromorphie : taches, concrétions ;
- La couleur de l'hydromorphie : le code correspondant dans la charte des couleurs Munsell ;
- L'abondance des taches d'hydromorphie : très nombreuses, nombreuses, peu nombreuses, absente ;

Relevé pédologique tarière

LOCALISATION

Partie : Arboretum
Secteur : P
Relevé n° : 22

Auteur : Sara
Date : 27_03_2014

Description litière :

Prof. (cm)	Représentation profil	Couleur	Humidité	Texture	Éléments grossiers		Compacité	Effervescence terre fine	Hydromorphie			pH
					Type	Nombre			Type	Couleur	Abondance	
0		10 YR 3/2	frais	SL	0	0	0 peu compact	aucune	0	0	0	7,25
20		10 YR 3/2	frais	SL	2 graviers anguleux	1	1 peu compact	aucune	0	0	0	7,25
40		10 YR 3/2 10 YR 4/4	frais	SL S	0	0	0 peu compact	aucune	0	0	0	7,25
60		10 YR 5/4	frais	S	1 gravier anguleux	1	1 meuble	aucune	0	0	0	7,25
80		10 YR 5/4	frais	S	0	0	0 meuble	aucune	0	0	0	7,25
100												



ASPECT GENERAL jusqu'à 40 cm de profondeur : peu compact, neutre, non hydromorphe, frais, profond, absence carbonate
ASPECT GENERAL entre 40 et 100 cm de profondeur : meuble, neutre, non hydromorphe, frais, absence de carbonate, sableux

OBSERVATIONS gazon abondant

Figure 8 : Exemple de fiche de relevé pédologique à la tarière

- La présence de carbonate : l'intensité de l'effervescence lorsque l'on dépose quelques gouttes de solution d'acide chlorhydrique sur l'échantillon de terre fine, c'est-à-dire très forte, forte, faible, aucune ;
- Le pH : le pH mesuré avec le pHmètre colorimétrique ;
- La texture selon les normes du triangle de Jamagne (cf. glossaire) ;
- La compacité : meuble, peu compacte, compacte ;
- Le type d'éléments grossiers : gravier roulé, gravier anguleux, caillou ;
- Le nombre d'éléments grossiers : nombre d'éléments grossiers comptabilisé à cette profondeur
- La dimension des éléments grossiers : en centimètres.

Analyse en laboratoire et relevés à la mini-pelle pour des données plus précises

L'étude à la tarière nous a permis d'avoir une vue d'ensemble des sols du Jardin permettant une cartographie de celui-ci. Une étude plus poussée a été faite par la suite. Ainsi, 6 échantillons du sol pris à environ 30 cm de profondeur ont été analysés en laboratoire (emplacement des échantillons sur les annexes 5 et 6). Nous avons fait analyser un échantillon de l'extension, un du jardin thématique, un du jardin de l'évolution et trois échantillons de l'arboretum, ce dernier occupant une surface plus importante. Les erreurs d'appréciation personnelle visuelle et au toucher ont ainsi pu être corrigées. Davantage d'éléments du sol ont été étudiés, notamment le pourcentage de carbonates, d'argile, de limon, de sable, le pourcentage d'humidité, le pH, la quantité de phosphore, de potassium, de magnésium, de calcium et de sodium échangeables, la CEC, la quantité de carbone organique, l'azote total, le rapport C/N et le pourcentage de matière organique (cf. glossaire).

Des fosses à la mini-pelle ont été effectuées à 3 emplacements différents du Jardin (annexes 5 et 6). Elles ont permis de voir l'état du sol jusqu'à 3 mètres de profondeur, et de déceler la présence d'une nappe d'eau souterraine.

Le climat au Jardin Botanique

Afin de réunir toutes les conditions autécologiques présentes dans le Jardin, l'étude pédologique doit être complétée par des données sur le climat. Tours se situe dans le département de l'Indre-et-Loire, dans la région Centre. D'après la carte bioclimatique simplifiée de la France, établie par le laboratoire d'écologie de l'Ecole Nationale Supérieure du Paysage de Versailles, Tours se situe dans la zone bioclimatique 4, c'est-à-dire dans la zone de climat semi-océanique. Les hivers y sont très frais et les étés chauds à frais. Cependant, le Jardin Botanique est situé en milieu urbain, ce qui lui permet de bénéficier de l'effet « îlot de chaleur urbain » (restitution de la chaleur par le bâti et les surfaces minéralisées...).

Le service Assainissement de la communauté d'agglomération Tour(s) Plus a réalisé un relevé de la pluviométrie depuis 1999. Par rapport à la moyenne trentennale entre 1971 et 2000 (600-700 mm/an), la moyenne annuelle entre 1999 et 2002 était assez élevée (700-950 mm/an). Puis à partir de 2003 jusqu'à 2011, elle était autour de la moyenne trentennale, sauf en 2005 où elle était tombée à 400 mm. Au cours d'une année, la nappe atteint un niveau haut aux environs du mois de février, puis un niveau bas aux environs du mois de septembre. Cependant, lorsqu'une année est peu pluvieuse, ces niveaux hauts et bas seront plus bas que

lors d'une année très pluvieuse. Pourtant, on ne retrouve pas toujours les mêmes mois les plus pluvieux d'une année sur l'autre.

L'atmosphère est donc en général assez humide et le sol est souvent alimenté en eau. Cependant, certains mois, voire certaines années sont ponctuellement très secs. Malgré le caractère sableux et donc potentiellement séchant du sol du Jardin Botanique, la présence d'une nappe d'eau souterraine et les arrosages fréquents limitent l'impact de la sécheresse sur les végétaux.

Une fois les conditions pédologiques et climatiques du Jardin Botanique présentées, les besoins autécologiques des arbres du Jardin doivent être recherchés afin de les comparer avec les conditions offertes sur le terrain.

II- Les besoins autécologiques des essences : confrontation aux observations dans l'arboretum

a) Les besoins autécologiques des différentes essences à partir de la bibliographie

Les besoins autécologiques et la tolérance à l'armillaire des différentes essences du Jardin Botanique, ainsi que celles susceptibles d'être introduites, ont été recherchés dans une bibliographie scientifique, objective et diversifiée. En effet, différents ouvrages thématiques ont été consultés, certains regroupent les informations par type de milieu et d'autres par famille d'arbres. Parfois, certaines essences sont très rares dans nos régions, c'est pourquoi il est très difficile de trouver des informations à leur sujet. Dans ces cas là, des informations ont été tirées de catalogue de pépinières réputées « sérieuses » sur les essences en vente, comme les pépinières de Lappen et de Bruns, toutes les deux situées en Allemagne. Malgré cela, certaines essences présentent des informations malheureusement incomplètes.

Une fiche sous forme de tableau Excel a été établie pour chaque essence présente dans le Jardin Botanique, aussi bien les végétaux vivants que les végétaux morts. Chaque ligne correspond à un facteur pour chaque critère du sol, du climat et d'autres critères utiles pouvant avoir une influence sur le développement de l'arbre. La figure 9 ci-contre est un exemple de fiche. En se basant sur l'approche de l'Institut du Développement Forestier (IDF), développée pour l'ouvrage Planter aujourd'hui, construire demain : le Préverdissement de Claude GUINAUDEAU (1987), les besoins autécologiques sont définis comme suit :

- La profondeur du sol :
 - o Un sol superficiel est un sol pénétrable par les racines uniquement jusqu'à 40 cm de profondeur
 - o Un sol profond est un sol pénétrable par les racines au-delà de 40 cm de profondeur.
- Le comportement du sol vis-à-vis de l'eau et des racines :
 - o Un sol compact est hermétique au passage de l'eau et des racines
 - o Un sol filtrant laisse circuler l'eau et les racines en offrant une légère résistance

Fiche autécologique de *Fagus sylvatica*

Fiche autécologique <i>Fagus sylvatica</i> (C3, J5, M21)															
	L'arboriculture urbaine	Planter aujourd'hui, bâtir demain	Les plantations d'alignement	Flore forestière française - 1 Plaine et collines	Flore forestière française - 2 Montagnes	Flore forestière française - 3 Région méditerranéenne	Les arbres	Le livres des arbres et arbustes	Guide de dendrologie	Le boisement des terres agricoles	NOMBRE DE 1 POUR CE FACTEUR	NOMBRE DE 2 POUR CE FACTEUR	NOMBRE DE 0 POUR CE FACTEUR	VALEUR FINALE DU FACTEUR	
Bibliographie	IDF, Laurent Mailliet, Corinne Bourgy	IDF, Claude Guinaudeau, 1987	IDF, Corinne Bourgy, Dominique Castaner, 1988	IDF, DERF, ENGREF, JC. Rameau, D. Manson, G. Dumé, 1989	IDF, DERF, ENGREF, JC. Rameau, D. Manson, G. Dumé, 1993	IDF, ENGREF, IFN, JC. Rameau, D. Manson, G. Dumé, C.	Arborescences nationales des Bames, Raymond Durand, 1990	Andreas Bartels, 1997	ENGREF, Marcel Jacamon, 1987	IDF, P. Balleux, P. Van Lerberghe, 2001					
Référence															
Profondeur : sol superficiel	2	1	1	2	2	2	2				0	4	2	1	2
Profondeur : sol profond		2	2	2	2	1					2	3	2	0	2
Humidité : sol sec	0	1	1	2	2	2					0	0	2	2	contradiction
Humidité : sol frais		2	2	2	2	2					2	7	0	0	2
Humidité : sol humide											2	1	0	0	2
Comportement/eau : sol compact	0		0								1	0	1	2	0
Comportement/eau : sol filtrant		2	2	2	2						2	4	0	0	2
Comportement/eau : sol léger et très poreux		2	1	2							0	2	1	1	2
Hydromorphie : sol non hydromorphe		2	2	2	2	2					0	4	0	0	2
Hydromorphie : sol hydromorphe	0		0								4	2	1	1	2
Tolérance carbonatée : non						0					0	0	0	0	0
Tolérance carbonatée : oui	2	2	2	2	2	2					0	9	0	1	2
pH : sol basique	2	1	2	2	2	2					0	8	1	1	2
pH : neutre		2	2	2	2	2					2	7	0	0	2
pH : sol acide	2	1	2	2	2	2					0	5	1	1	2
Autres points à noter pour le sol							sol siliceux ok								
Zone climatique : carte ENSP / IDF	Zones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8	Zones 2, 5, 8	Zones 1, 2, 4, 5, 6, 8	Zones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Zones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Zones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Zones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8		Zones 2, 3, 4, 5, 6, 8	Zones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8					
Zone climatique : carte USDA															
Exposition : soleil													1	0	1 contradiction
Exposition : mi-ombre													1	0	0
Exposition : ombre	1		1			2							2	2	0
Vent : pas de résistance													0	0	0 indisponible
Vent : résistance	2												1	0	0 indisponible
Humidité atmosphérique non nécessaire															0 indisponible
Humidité atmosphérique nécessaire			2	2	2	2							6	0	0 indisponible
Autres points à noter pour le climat	résiste gels		très résistant froid		faible sur sols acides	faible sur sols acides		rustique	résiste froid						
Concurrence / autres essences															
Longévité						150-300 ans	150-300 ans								
Sensibilités particulières au milieu						milieux argileux									
Autres points à noter de façon générale								parfois gels tardifs							
Pathologie															
Sensibilité à l'armillaire													0	0	0 indisponible

jeune

Zone climatique selon la carte bioclimatique simplifiée de la France, de l'IDF
 IDF : Institut pour le Développement Forestier
 ENGREF : Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts
 IFN : Inventaire Forestier National

Figure 9 : Fiche autécologique de *Fagus sylvatica*

- Un sol léger et poreux laisse circuler l'eau et les racines sans résistance.
- La disponibilité en eau du sol. Trois classes ont été retenues :
 - Sols secs
 - Sols frais : les sols mésophiles à frais (cf. glossaire)
 - Sols humides : les sols humides à inondés en permanence.
- L'hydromorphie :
 - Un sol non hydromorphe est un sol dans lequel aucune nappe d'eau n'est présente, à aucun moment de l'année
 - Un sol hydromorphe est un sol dans lequel une nappe d'eau est présente toute ou une partie de l'année
- Le pH du sol. Trois classes de pH existent :
 - pH acide : un $\text{pH} < 6$
 - pH neutre : un pH entre 6 et 7
 - pH basique : un $\text{pH} > 7$

Les autres facteurs pris en compte sont :

- La concurrence par rapport aux autres essences ;
- La longévité naturelle
 - courte : inférieure à 100 ans dans le milieu naturel
 - longue : supérieure à 100 ans dans le milieu naturel.
- Les sensibilités particulières au milieu : un facteur autre que pédologique, climatique ou ceux présentés ci-dessus peut être à l'origine de la perte de vigueur.
- La sensibilité attestée à l'armillaire.

Plusieurs ouvrages, sites internet et catalogues ont été consultés pour chaque essence. En effet, les données se contredisent parfois, il est donc important de diversifier ses sources bibliographiques. Chaque colonne correspond aux données tirées d'une bibliographie. Pour noter une information sur un des facteurs tirés d'une bibliographie dans une case, la case est complétée selon la notation suivante :

0 = espèce intolérante à ce facteur

1 = facteur qui convient à l'espèce, ou neutre vis-à-vis de l'espèce

2 = facteur qui convient tout à fait à l'espèce

Rien = aucune information sur ce facteur.

Puis, pour chaque facteur, le nombre de 0, de 1 et de 2 sont comptabilisés. La note donnée le plus de fois est la note finale attribuée au facteur.

b) La confrontation des besoins des arbres avec la réalité sur le terrain, basée sur les facteurs limitant : les arbres non vigoureux sont-ils ceux situés dans un milieu inadapté à leurs besoins autécologiques ?

Lorsque toutes les fiches par essence sont ainsi renseignées, les valeurs finales de toutes les essences sont réunies dans un seul et même tableau Excel. La figure 10 ci-contre en est un extrait. La synthèse totale se trouve en annexe 7. Tous les facteurs ne sont pas retenus. En effet, les arbres du Jardin, comme la plupart des arbres en général, tolèrent les sols profonds, frais, filtrants, non hydromorphes, les sols au pH neutre et poussent très bien dans des sols sans carbonates. De plus, aucun sol n'est engorgé à l'année au sein du Jardin. C'est

A	B	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Facteurs limitants climat																	
		Sol sec	Sol compact	Sol léger et poreux	Sol hydromorphe	Tolérance carbonates	Sol basique	Sol acide	Zones climatique	Exposition ensoleillée	Exposition mi-ombre	Exposition ombre	Vent : pas résistance	Humidité atm. nécessaire	Sensibilités	Etat du végétal	
1																	
2	Autécologie																
3	Autécologie de l'essence																
4	Facteurs emplacement C41	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	oui	oui	pas acide	1, 2, 3	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	indispo	indispo	grands froids,	Etat du végétal	
5	Besoins arbre C41	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	gelées	bon état (expertise 2011)	
6	Bibliographie				contrad.				1, 2, 3, 4, 5								
7	Facteurs emplacement Q16	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	pas carbonat	pas basique	pas acide	oui	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide	gels	mort de l'armillaire (constatation 2014)	
8	Besoins arbre Q16	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers		
9	Bibliographie								1, 2, 3, 4, 8								
10	Facteurs emplacement D2	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	oui	oui	pas acide	oui	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide	gels	reprise pas établie (expertise 2011)	
11	Besoins arbre D2	adapté	adapté	adapté	adapté	inadapté	inadapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers		
12	Bibliographie				contrad.				1, 2, 3, 4, 5								
13	Facteurs emplacement Q26	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	pas carbonat	pas basique	pas acide	oui	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	indispo	atmosphère humide			
14	Besoins arbre Q26	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
15	Bibliographie							contrad.	1, 2, 3								
16	Facteurs emplacement P6	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	pas carbonat	pas basique	pas acide	oui	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	indispo	atmosphère humide			
17	Besoins arbre P6	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
18	Bibliographie								1, 2, 3, 7								
19	Facteurs emplacement J7	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	pas carbonat	pas basique	pas acide	oui	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide	gels		
20	Besoins arbre J7	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers,		
21	Facteurs emplacement R13	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	oui	oui	pas acide	oui	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide	grands froids	J77 bon état (expertise 2011), P13 bon état (expertise 2011)	
22	Besoins arbres R13	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	hivernaux		
23	Bibliographie								1, 2, 3, 4, 5								
24	Facteurs emplacement B4	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	oui	oui	pas acide	oui	oui	pas à mi-ombre	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide	gels		
25	Besoins arbre B4	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers,		
26	Facteurs emplacement C30	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	oui	oui	pas acide	oui	pas au soleil	oui	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide	grands froids	J77 bon état (expertise 2011), P13 bon état (expertise 2011)	
27	Besoins arbre C30	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	hivernaux		
28	Facteurs emplacement D20	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	oui	oui	pas acide	oui	pas au soleil	oui	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide			
29	Besoins arbre D20	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
30	Facteurs emplacement D33	pas sec	pas compact	pas léger	pas hydromorphe	oui	oui	pas acide	oui	pas au soleil	oui	pas à l'ombre	pas de vent	atmosphère humide			
31	Besoins arbre D33	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
32	Acer	indispo	adapté	adapté	inadapté	contrad.	contrad.	adapté	indispo	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	gels	encore bon en	
33	palmatum	adapté	adapté	adapté	inadapté	contrad.	contrad.	adapté	indispo	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers,	ABBATU (expertise 2011)	

Figure 10 : Extrait de la synthèse de l'autécologie des essences de l'arboretum et confrontation avec les conditions du terrain

pourquoi les facteurs retenus dans la synthèse générale sont les facteurs limitant, c'est-à-dire superficiel, sec, compact, léger et très poreux, hydromorphe, présence de carbonates, basique ou acide. Tous les facteurs de climat ainsi que la sensibilité à l'armillaire sont retenus. Pour chaque essence, il y a :

- une ligne indiquant la tolérance ou l'intolérance de l'essence pour chaque facteur limitant d'après la bibliographie
- une ligne par individu présent dans le Jardin indiquant si chaque facteur du milieu dans lequel se trouve l'arbre est adapté aux besoins autécologiques trouvés dans la bibliographie. Dans ces cases, s'il est écrit :
 - o adapté, cela signifie que l'individu est situé dans un milieu pour lequel le facteur limitant en question ne va pas à l'encontre du bon développement de l'arbre
 - o inadapté, cela signifie que l'individu est situé dans un milieu pour lequel le facteur limitant en question peut être pénalisant pour l'arbre.
 - o s'il n'est rien écrit, cela signifie qu'il est impossible de définir si le facteur limitant va à l'encontre ou pas du bon développement de l'arbre. Cela peut arriver lorsque aucune information sur le facteur limitant n'a été retrouvée dans la bibliographie, ou lorsque plusieurs sources bibliographiques sont contradictoires sur ce facteur, ou encore lorsque l'arbre en question a été abattu et que l'on ne peut pas reconstituer son histoire.

A ces éléments est ajouté l'état de l'arbre, si celui-ci est en bonne santé, a subi une perte de vigueur, un dépérissement ou s'il est mort.

Pour connaître les conditions dans lesquelles l'arbre se développe, on se référera à sa localisation sur la carte de l'arboretum. Elles permettent de situer l'arbre sur la cartographie des sols faite grâce aux relevés à la tarière pédologique et donc de connaître les conditions réelles du sol dans lesquelles il évolue. Elles sont également utilisées pour retrouver l'arbre sur le terrain et définir son ensoleillement, son état, la concurrence à laquelle il est soumis et son stade de développement (cf. glossaire). Ces informations sont réunies dans un tableau. Connaître la concurrence et le stade de développement permettra de savoir si ce ne sont pas ces facteurs qui expliquent l'éventuelle perte de vigueur de l'arbre.

La confrontation des données bibliographiques et des données sur le terrain pour chaque arbre ainsi que l'état de l'arbre va nous permettre de voir si le mauvais état d'un arbre est dû à son inadaptation au milieu dans lequel il se trouve, ou si un autre facteur est en cause.

CHAPITRE III : LES RESULTATS DE L'ETUDE ET LES MODALITES DE REPLANTATION POUR LES NOUVEAUX ARBRES

I- L'état des lieux pédologique et autécologique du Jardin Botanique

a) La cartographie du sol du Jardin : un pH basique comme facteur limitant et une certaine homogénéité des facteurs avec quelques zones aux caractéristiques différentes

Pour la cartographie du sol du Jardin, nous nous intéresserons uniquement aux 40 premiers centimètres de sol, cette profondeur étant celle majoritairement prospectée par les racines des arbres, comme il a été dit précédemment. Dans la majeure partie du Jardin, les caractéristiques du sol sont les suivantes :

- Profondeur du sol : profond
- Disponibilité en eau du sol : frais
- Compacité du sol : filtrant, à l'exception du sol des allées qui est très compact.
- Hydromorphie : non hydromorphe
- pH : basique.

Parmi ces facteurs, un seul est limitant en termes d'autécologie : le pH basique. En effet, la quasi-totalité des arbres se développe bien dans un sol profond, frais, filtrant et non hydromorphe. En revanche, tous les arbres ne tolèrent pas un pH basique. Une hypothèse de lutte contre l'armillaire évoquée dans le chapitre I, partie 3-c) était une augmentation du pH. Cette hypothèse est donc réfutée ici. En effet le pH du Jardin est basique, cela n'empêche pourtant pas le développement de l'armillaire. Cependant, certaines zones ponctuelles diffèrent du reste du Jardin pour une ou plusieurs caractéristiques. Ces zones sont représentées sur les figures 11 et 12 ci-contre. Elles se trouvent également en grand format, en annexes 8 et 9.

En ce qui concerne l'arboretum, le pH est neutre, la présence de carbonates n'a pas été décelée dans les zones indiquées en vert sur la carte ci-contre. Dans le sud du secteur E, au niveau des pins près de l'aire de jeux, la compacité du sol est nulle. Il est léger et poreux et ne retient donc pas l'humidité issue de l'arrosage. Dans le secteur R, l'accès à la pelouse est autorisé, un passage s'est donc formé entre l'aire de jeux et l'allée. Le sol y est compact, tout comme le sol de toutes les allées du Jardin Botanique. Il existe d'autres zones au sol compact dans le Jardin, notamment dans les emplacements très piétinées. Mais ces zones sont très ponctuelles. Dans le nord du secteur Q, tout autour de la mare des flamants roses, le sol est hydromorphe.

Dans le jardin thématique, la portion sud à l'est du cours d'eau ainsi que la portion nord-est sont hydromorphes. La butte argileuse au nord et le secteur sud-est longeant le mur de la rue Saint-François ont un pH neutre, la présence de carbonates n'a pas été décelée.

Cartographie du sol de l'arboretum

Le sol de l'arboretum a pour unique facteur limitant un pH carbonaté. Les autres facteurs sont un sol profond, frais, filtrant et non hydromorphe.
Les zones cartographiées ici ont un de leurs facteurs qui diffère d'un sol carbonaté, profond, frais, filtrant et non hydromorphe.
Seul le sol compact des allées n'a pas été cartographié ici pour ne pas surcharger la carte.

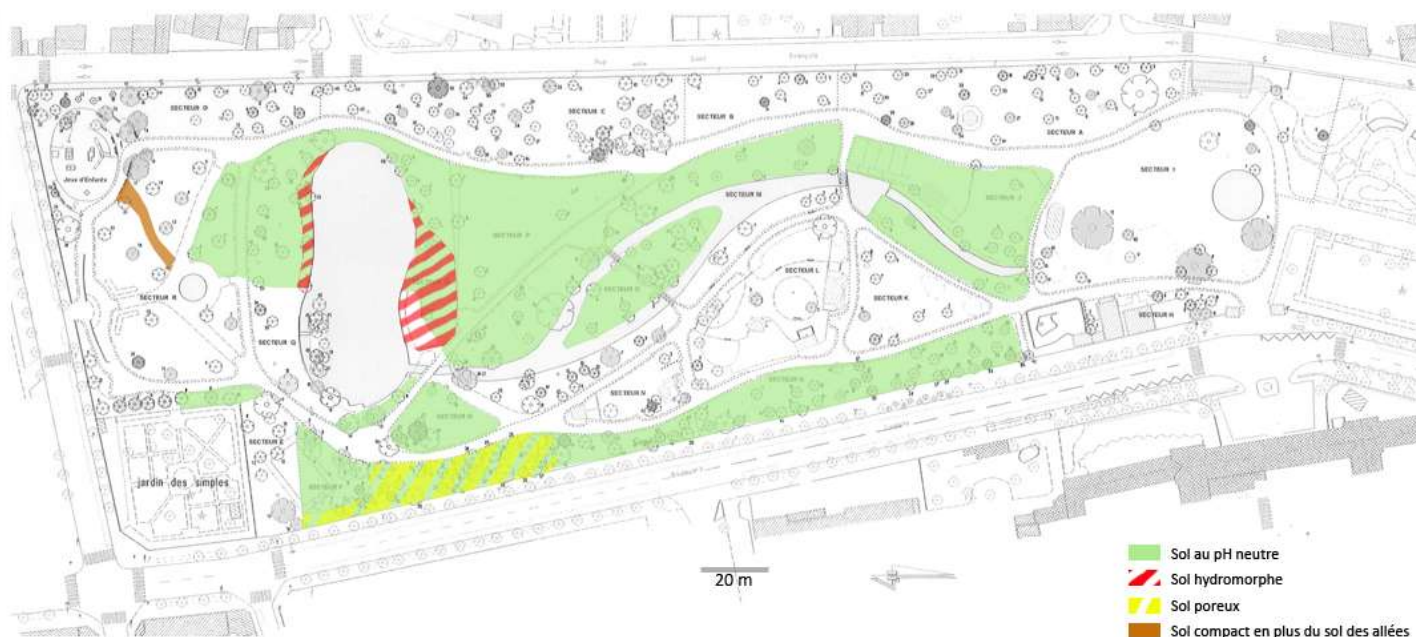


Figure 11 : Cartographie du sol de l'arboretum

Cartographie du sol du nord du Jardin Botanique

Le sol du jardin Botanique a pour unique facteur limitant un pH carbonaté. Les autres facteurs sont un sol profond, frais, filtrant et non hydromorphe.
Les zones cartographiées ici ont un de leurs facteurs qui diffère d'un sol carbonaté, profond, frais, filtrant, non hydromorphe.
Seul le sol compact des allées n'a pas été cartographié ici pour ne pas surcharger la carte.



Figure 12 : Cartographie du sol du nord du Jardin Botanique

La partie sud du jardin de l'évolution est à pH neutre, et le sol de la partie nord est hydromorphe, cela étant sûrement dû au caractère un peu argileux du sol et la présence de nombreux tuyaux d'arrosage dans le sol.

Le sol de l'extension, notamment sa partie centrale au niveau du « Code Barre » est superficiel. Le déroulement des travaux de création de l'extension explique bien cette caractéristique : le sol de base a été extrêmement compacté par les machines et de la terre de plantation a été rajoutée superficiellement sur ce sol de base. Une partie du sol est à pH neutre.

Les fosses à la mini-pelle ont permis d'analyser la nature et la structure du sol au-delà de 1 mètre de profondeur et de confirmer la présence d'une nappe d'eau, comme le montrent les figures 13, 14 et 15 ci-dessous (grand format en annexes 10, 11, 12). Les résultats diffèrent de quelques décimètres de profondeur selon l'emplacement de la fosse, mais en général, le même schéma de structure, de répartition des racines et d'hydromorphie est retrouvé. Sur le premier mètre environ, le sol est sablo-limoneux. Il devient ensuite majoritairement sableux et frais. Entre 1,50 et 2,20 mètres environ, des taches d'hydromorphie apparaissent. Vers 2 mètres, de premières traces d'eau apparaissent et parfois, nous avons pu déceler la présence d'une nappe d'eau. De l'humus en décomposition avancée est retrouvé sous les traces d'hydromorphie. Sous cet humus, le sol est composé de sables grossiers et d'éléments grossiers polis comparables à ceux que l'on retrouve en bord de Loire. Tant que le sol est léger et oxygéné, nous avons retrouvé de petites racinelles assez profondément, parfois jusqu'à 2,30 mètres.

FOSSE 1

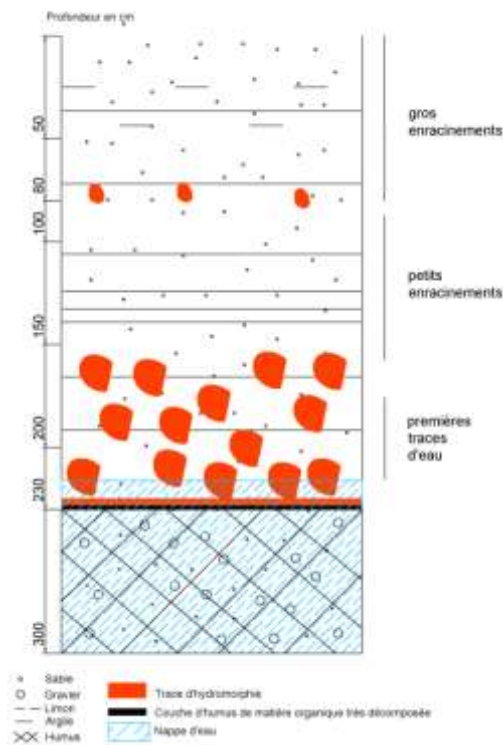


Figure 13 : Coupe schématique de la fosse 1

FOSSE 2

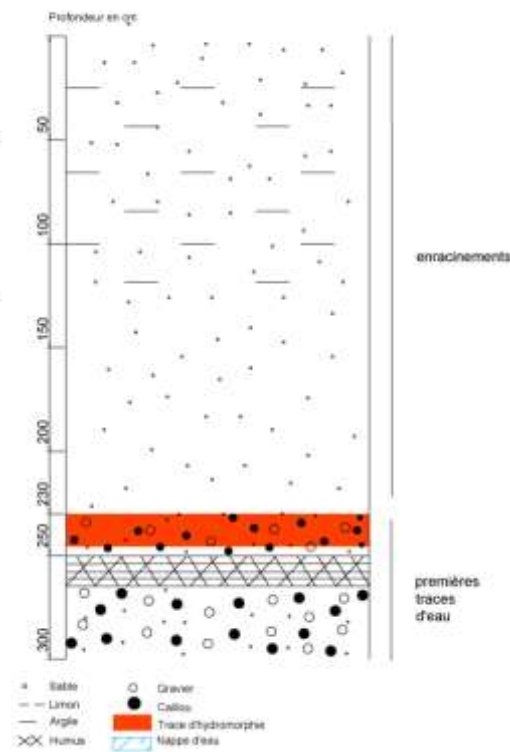


Figure 14 : Coupe schématique de la fosse 2

FOSSE 3

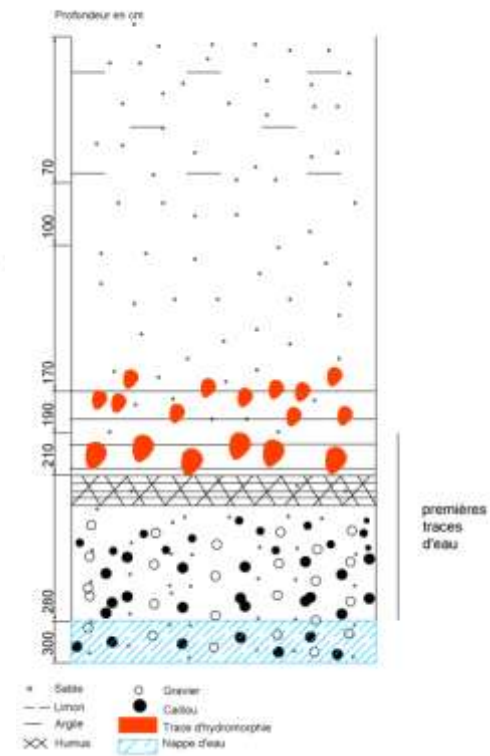


Figure 15 : Coupe schématique de la fosse 3



Figure 17 : Photo de la fosse 1, avec les enracinements au premier plan et la nappe d'eau souterraine visible au fond de la fosse. Source : Sara GHASSAB



Figure 16 : Photo d'un échantillon de sol de la fosse 1 avec une couche d'hydromorphie sur une couche d'humus en décomposition avancée. Source : Sara GHASSAB



Figure 18 : Photo d'un échantillon de sol de la fosse 1, composé de sable grossier et d'éléments grossiers polis, situé au niveau de la nappe d'eau. Source : Jac BOUTAUD

Lors d'un entretien avec Martine PHILIPPE du Service Assainissement de la communauté d'agglomération Tour(s) Plus et grâce à l'étude de la profondeur des nappes en liaison avec la pluviométrie, nous avons pu voir que la profondeur de la nappe d'eau dépend essentiellement de la pluviométrie. Cependant, les différences de profondeur ne dépassent pas le mètre. Suite à une discussion avec Gérard DUME, ancien ingénieur à l'Institut pour le développement forestier et auteur d'ouvrages scientifiques sur les végétaux, nous avons eu davantage d'informations sur la capacité des arbres à exploiter l'humidité du sol. Dans un sol sableux comme celui du Jardin Botanique, la prospection du sol par les racines est facilitée. De plus, l'humidité est mieux répartie en profondeur s'il n'y a pas eu une pluviométrie très faible auparavant.

En résumé, une nappe phréatique est présente à environ 3 mètres de profondeur, et ses variations de niveau sont faibles durant l'année. Les racines des arbres y ont accès. De plus l'arrosage au Jardin Botanique est fréquent. Ces éléments ne nous permettent pas d'affirmer qu'un stress hydrique au niveau du sol ait pu être la cause de l'affaiblissement des arbres. En revanche, le stress hydrique a pu se faire au niveau des feuilles par évapotranspiration.

b) Une majorité d'arbres pour lesquels le milieu est adapté aux besoins autécologiques

La synthèse de l'adaptation du milieu aux besoins autécologiques des arbres de l'arboretum montre que la très grande majorité de ces arbres se développent dans des conditions qui leur conviennent. En effet, seuls 30 arbres sur les 373 arbres vivants ou abattus depuis 2010 ne sont pas dans un milieu adapté à leurs besoins autécologiques. Les facteurs qui leur sont limitant sont en général l'hydromorphie, la présence de carbonates et le climat.

II- Les causes principales de perte de vigueur des arbres

Nous cherchons à connaître les facteurs de dépérissement au Jardin Botanique de Tours, puis les facteurs de dépérissement par l'armillaire. Le dépérissement est une notion complexe, comme l'explique G. LANDMANN (1994). Néanmoins, la définition la plus souvent retenue est celle de MANION (1981). D'après lui, les dépérissements sont causés par des facteurs qui interagissent et se succèdent d'une certaine façon, entraînant une détérioration de l'ensemble de l'arbre, souvent jusqu'à la mort de celui-ci. C'est ce qui est appelé « la spirale de dépérissement ». Ces facteurs sont classés en trois catégories. Les facteurs :

- prédisposants : ils contribuent à l'affaiblissement général de l'arbre et agissent sur le long terme ;
- déclenchants : ils ont une action intense et relativement courte ;
- aggravants : ils accentuent la perturbation.

Un schéma explicatif de ces facteurs figure en annexe 13.

Nous n'avons pas assez d'informations à disposition pour différencier ces facteurs. Nous pouvons seulement déterminer les facteurs importants qui interviennent dans la spirale de dépérissement. Nous pouvons également affirmer que, d'après G. LANDMANN (1994), l'armillaire est généralement un facteur aggravant.

a) Un facteur important de dépérissement par l'armillaire : la sensibilité de l'essence à l'armillaire

Au départ, nous supposons que les facteurs pouvant entraîner l'arbre dans la spirale de dépérissement sont les suivants :

- un milieu inadapté aux besoins autécologiques de l'essence ;
- la réputation comme étant sensible à l'armillaire d'une espèce (sachant que tous les arbres dépérissants ne le sont pas à cause de l'armillaire) ;
- un évènement climatique traumatisant comme un gel tardif (printanier), un gel précoce (automnal), une longue période chaude, un hiver très rude. Les périodes de sécheresse du sol sont exclues car les arbres ne manquent a priori jamais d'eau dans le Jardin ;
- une blessure et/ou l'atteinte d'un agresseur biotique pouvant fragiliser l'arbre, les pathogènes étant souvent détectés à la suite d'une blessure ;
- une concurrence trop forte.

L'âge de l'arbre et son stade de développement (cf. glossaire) ne sont pas pris en compte. L'âge, contrairement au stade de développement, n'est pas un critère fiable pour expliquer le déclin d'un arbre. Le stade de développement d'un arbre peut être la cause de son déclin uniquement lorsque l'arbre a atteint un stade de sénescence (cf. glossaire). Certains arbres atteignent la sénescence au bout de plusieurs centaines d'années, alors que d'autres l'atteignent au bout d'une dizaine d'années. Cela dépend de l'essence et du climat dans lequel le végétal se développe. Or la sénescence est très rarement atteinte dans les milieux anthropisés, on les retrouve uniquement dans les milieux naturels comme nous le confirme Christophe DRENOU (2009). Les données concluant à un milieu inadapté sont donc issues de la bibliographie consultée pour chaque essence croisée avec les données sur le terrain. La sensibilité à l'armillaire ou à un évènement climatique traumatisant pour l'arbre sont tirées de la bibliographie. La présence d'une blessure et/ou de l'atteinte par un agresseur biotique est relevée sur le terrain pour chaque sujet, et complétée à l'aide des rapports d'expertise pour le

diagnostic des arbres du Jardin Botanique des années 2011, 2012, 2013 faits par Laurent HERQUIN, du bureau d'études ADRET. Les agresseurs biotiques autres que l'armillaire sont par exemple ceux à l'origine de caries, de nécroses, l'oïdium, l'*Oxyporus*, le ganoderme, l'*Inonotus*, le *Phellinus*, *Shaeropsis sapinea* dans le cas des pins, le gui... Le ganoderme fragilise l'arbre en diminuant ses propriétés mécaniques. Les arbres subissant une concurrence forte sont déterminés par le rapport d'expertise 2011.

Nous souhaitons d'abord comprendre les facteurs de dépérissement des arbres en mauvais état, c'est-à-dire avec une perte de vigueur avancée, dépérissants ou morts, que l'armillaire soit, ou non, un facteur aggravant de ces dépérissements. Ces arbres sont listés dans une feuille de calcul du logiciel Excel, et les arbres en bon état dans une autre feuille de calcul. Pour chacune des listes, le nombre d'arbres pour lequel le milieu est inadapté, qui sont sensibles à l'armillaire ou à des événements climatiques traumatisants, blessés et/ou atteints par un agresseur biotique, ou subissant une concurrence forte, est comptabilisé. Ces listes figurent en annexe 14. Pour les arbres en mauvais état, l'armillaire est prise en compte dans les agresseurs biotiques. En revanche elle n'est pas prise en compte pour les arbres en bon état, car un arbre ne peut pas être en bon état et être atteint de l'armillaire de façon visible. Un pourcentage de ces arbres sur le nombre d'arbres total est calculé. Les résultats sont les suivants pour les arbres en mauvais état. Sur un total de 109 arbres en mauvais état :

- 14 arbres poussent dans un milieu qui n'est pas adapté, soit 13%
- 32 arbres sont sensibles à l'armillaire, soit 29%
- 62 arbres sont sensibles aux événements climatiques extrêmes, soit 57%
- 62 arbres sont ou ont été blessés et/ou atteints par un agresseur biotique (armillaire ou autre), soit 57%
- 9 arbres subissent une concurrence très forte, soit 8%.

Cependant, certains arbres ont des informations manquantes, comme

- des facteurs sur le milieu dans lequel ils se développent car la bibliographie n'était pas complète
- les blessures et/ou agresseurs biotiques ou la concurrence subie car ils étaient déjà abattus en 2011, lors de la première expertise.

Les calculs sont donc réitérés pour les arbres en mauvais état mais pour lesquels nous possédons toutes les informations. Les résultats sont les suivants. Pour 42 arbres en mauvais état pour lesquels nous possédons toutes les informations :

- 5 arbres sont dans un milieu inadapté, soit 12%
- 15 arbres sont sensibles à l'armillaire, soit 36%
- 22 arbres sont sensibles aux événements climatiques extrêmes, soit 52%
- 17 arbres sont blessés et/ou atteints par un agresseur biotique (armillaire ou autre), soit 40%
- 6 arbres subissent une concurrence très forte, soit 14%.

Le tableau suivant compare les résultats pour les arbres en mauvais état dont nous possédons toutes les informations, et ceux dont nous ne possédons pas toutes les informations :

Tableau 1 : Comparaison des pourcentages de facteurs potentiels de dépérissement pour les arbres en mauvais état avec des informations manquantes et des arbres sans informations manquantes

Facteurs potentiels de dépérissement	Tous les arbres	Arbres sans infos manquantes
% dans un milieu inadapté	13	12
% sensibles à l'armillaire	29	36
% sensibles aux évènements climatiques extrêmes	57	52
% blessés, agresseurs biotiques (armillaire ou autre)	57	40
% avec une concurrence forte	8	14

Les résultats ne sont pas exactement les mêmes pour les arbres dont nous ne possédons pas toutes les informations et ceux pour lesquels nous les possédons toutes. Pour vérifier si la proportion d'arbres en mauvais état ayant subi un facteur potentiel de dépérissement **X** est la même si l'on considère tous les arbres ou si l'on considère uniquement les arbres sans informations manquantes, il existe un test statistique, le test de comparaison de proportions. Il compare deux proportions données. Pour un même facteur potentiel de dépérissement, le test va comparer la proportion de tous les arbres en mauvais état ayant subi **X** et la proportion des arbres en mauvais état sans informations manquantes ayant subi **X**. Si le test est positif, ces proportions sont égales. S'il est négatif, elles ne le sont pas. Si les proportions ne sont pas égales, nous faisons l'hypothèse suivante : le facteur de dépérissement n'a pas le même effet sur tous les arbres que sur les arbres uniquement sans informations manquantes. Dans ce cas nous mènerions en parallèle l'étude sur tous les arbres et l'étude sur les arbres uniquement sans informations manquantes.

Le test est validé à chaque fois et le résultat est le suivant : quelque soit le facteur potentiel de dépérissement, le test est toujours positif. Les calculs du test pour le facteur « blessures, agresseurs biotiques » sont détaillés en annexe 15. Donc chaque facteur potentiel de dépérissement a le même effet sur tous les arbres en mauvais état que sur les arbres en mauvais état sans informations manquantes. Nous choisissons de nous concentrer sur tous les arbres par la suite, afin d'avoir une liste d'arbres la plus exhaustive possible.

Pour les arbres en bon état, les résultats sont les suivants. Sur un total de 268 arbres en bon état :

- 18 arbres sont dans un milieu inadapté, soit 7%
- 43 arbres sont sensibles à l'armillaire, soit 16%
- 141 arbres sont sensibles aux évènements climatiques extrêmes, soit 53%
- 36 arbres sont ou ont été blessés et/ou atteints par un agresseur biotique (autre que l'armillaire), soit 13%
- 28 arbres subissent une concurrence très forte, soit 10%.

Les 7% d'arbres en bon état mais dans un milieu inadapté peut s'expliquer par :

- Une erreur de la bibliographie

- Une compensation faite par d'autres facteurs (présence de carbonate mais sol restant frais toute l'année par exemple)
- Un mauvais état de l'arbre à craindre dans le futur si ce sont de jeunes sujets pas encore trop confrontés aux facteurs qui leur sont limitants.

Dans un second temps, nous comparons les pourcentages obtenus pour les arbres en mauvais état et les pourcentages obtenus pour les arbres en bon état. Voici les résultats comparés dans un tableau :

Tableau 2 : Comparaison des pourcentages de facteurs potentiels de dépérissement entre les arbres en bon état et les arbres en mauvais état

Facteurs potentiels de dépérissement	Arbres en bon état	Arbres en mauvais état
% dans un milieu inadapté	7	10
% sensibles à l'armillaire	16	27
% sensibles aux évènements climatiques traumatisants	53	56
% blessés, agresseurs biotiques	13	57
% avec une concurrence forte	10	9

La proportion d'arbres en bon état victime d'un facteur potentiel de dépérissement est comparée à la proportion d'arbres en mauvais état victime du même facteur potentiel de dépérissement grâce au test de comparaison de proportions. Ce test est réalisé pour chaque facteur potentiel de dépérissement. Si le test est positif, les proportions sont égales. S'il est négatif, la proportion d'arbres en bon état est plus petite que la proportion d'arbres en mauvais état. Nous faisons alors l'hypothèse que ce facteur potentiel de dépérissement occupe un rôle significatif dans la spirale du dépérissement. Le test est validé à chaque fois. Les calculs du test pour le facteur « blessures, agresseurs biotiques » sont détaillés en annexe 15. Ainsi, nous pouvons conclure que les blessures et/ou agresseurs biotiques semblent être un facteur de dépérissement significatif au sein de l'arboretum. En revanche la sensibilité aux évènements climatiques traumatisants est dans une même proportion que ce soit pour les arbres en bon état et les arbres en mauvais état. Ce facteur ne semble donc pas être un facteur potentiel de dépérissement particulier dans l'arboretum, tout comme la concurrence forte subie par un arbre. Il en est de même avec le milieu inadapté. Cela est peut-être dû à une compensation d'un facteur du milieu par un autre qui permet à l'arbre de rester vigoureux. La sensibilité à l'armillaire semble également être un facteur de dépérissement significatif au sein de l'arboretum, mais puisque tous les arbres ne dépérissent pas à cause de l'armillaire, nous n'en tiendrons pas compte dans cette partie des résultats.

Certains facteurs peuvent être des facteurs potentiels de dépérissement s'ils sont combinés à d'autres facteurs. Les différentes combinaisons de facteurs, ainsi que les facteurs non combinés, liés au dépérissement ont été comptabilisées. Le test de comparaison de proportion n'est pas valide ici et les pourcentages pour chaque combinaison sont trop faibles pour en tirer des conclusions.

L'étude a ensuite été menée uniquement pour les arbres atteints d'armillaire. D'après le rapport d'expertise pour le diagnostic d'arbres du Jardin Botanique de Laurent HERQUIN, seuls sept arbres ont été atteints par l'armillaire avec certitude. Douze autres le sont également mais sans certitude. Le pathogène peut avoir infecté le système racinaire d'autres arbres, mais sans être visible au niveau du collet. Ces arbres ne peuvent pas être ajoutés à la liste des arbres atteints de l'armillaire. Or dix-neuf sujets représentent un effectif trop restreint. Nous avons donc rajouté à ces dix-neuf arbres les arbres dépérissants dont le système racinaire était en contact avec :

- une zone où des carpophores d'armillaire avaient été observés sur des souches ou au sol à l'automne 2013
- le système racinaire des arbres infectés par l'armillaire.

La carte de localisation de l'armillaire et de ces arbres est en annexe 16. Nous souhaitons savoir si la différence entre la liste des dix-neuf arbres atteints d'armillaire et celle où nous avons ajouté des arbres est significative. Si cette différence n'est pas significative, nous nous contenterons de la liste des arbres dont on est sûrs qu'ils sont atteints d'armillaire. Le test de comparaison des proportions n'est ici pas valide. Mais nous pouvons constater que les pourcentages sont très proches sauf pour le facteur potentiel de dépérissement « blessure et/ou agresseur biotique ». En effet, le pourcentage des arbres ayant subi ce facteur est beaucoup plus élevé lorsque l'on considère l'étude élargie par rapport à l'étude uniquement centrée sur les arbres atteints d'armillaire d'après le rapport d'expertise. Cela explique peut-être que l'étude élargie inclue des arbres pour lesquels l'armillaire n'a pas été un facteur de dépérissement. Nous nous sommes donc contentés uniquement des arbres atteints par l'armillaire notés dans les rapports d'expertise. La liste de ces arbres figure en annexe 17. Voici les résultats pour les arbres supposés atteints par l'armillaire. Sur un total de 19 arbres touchés par l'armillaire :

- 2 arbres sont dans un milieu inadapté, soit 11%
- 7 arbres sont sensibles à l'armillaire, soit 37%
- 11 arbres sont sensibles aux événements climatiques extrêmes, soit 58%
- 3 arbres sont ou ont été blessés et/ou atteints par un agresseur biotique (autre que l'armillaire), soit 16%
- 0 arbres subissent une concurrence très forte, soit 0%.

Voici les résultats comparés aux arbres en bon état :

Tableau 3 : Comparaison des pourcentages de facteurs potentiels de dépérissement des arbres en bon état et des arbres atteints d'armillaire

Facteurs potentiels de dépérissement	Arbres en bon état	Arbres atteints armillaire
% dans un milieu inadapté	7	11
% sensibles à l'armillaire	16	37
% sensibles aux événements climatiques traumatisants	53	58
% blessés, agresseurs biotiques (autre que l'armillaire)	13	16
% avec une concurrence forte	10	0

Le test de comparaison de proportions n'est pas valide car les effectifs sont trop réduits. Il est donc difficile de tirer des conclusions certaines. Mais nous pouvons constater que les pourcentages d'arbres en bon état et d'arbres atteints d'armillaire sont très proches pour un même facteur potentiel de dépérissement, sauf pour le facteur « sensibilité à l'armillaire ». Si nous faisons l'hypothèse que ces échantillons sont assez représentatifs, l'un des facteurs de dépérissement les plus significatifs d'un arbre par l'armillaire serait sa réputation comme sensible à l'armillaire. Mais un milieu inadapté aux besoins autécologiques de l'arbre, les événements climatiques traumatisants, une concurrence forte, une blessure ou une atteinte par un agresseur biotique autre que l'armillaire ne semblent pas être des facteurs de dépérissement par l'armillaire significatifs.

Nous n'avons pas étudié la combinaison des différentes causes de dépérissement car l'effectif des arbres atteints par l'armillaire est trop faible pour être comparé aux arbres en bon état. Les résultats ne seraient pas révélateurs.

b) Discussion des résultats : une bibliographie assez incomplète et des facteurs de milieu compensés

Lors de l'étude pédologique du Jardin Botanique, les analyses d'échantillons en laboratoire ont permis de vérifier la pertinence des données à la tarière. Lorsque le pH et la texture relevés sur le terrain n'étaient pas en accord avec les résultats des analyses, ils ont été réajustés. Les analyses ont été réalisées après les relevés à la tarière, car nous souhaitions avoir une première idée de la cartographie afin de choisir des échantillons assez différents à faire analyser. Il aurait été plus judicieux de faire une partie de ces échantillons avant l'étude à la tarière, afin de pouvoir se caler sur ces résultats dès le début de l'étude. Les mesures auraient été plus précises par la suite.

Dans la recherche bibliographique sur l'autécologie des essences, nous avons manqué d'informations pour certaines essences. Parfois, une espèce a été considérée comme non sensible à l'armillaire. Mais cela peut également signifier qu'aucune information sur sa sensibilité n'a été trouvée. De plus, le nombre d'ouvrages consultés n'est pas le même pour chaque essence. D'un point de vue statistique, ceci peut fausser les interprétations des résultats, puisque ces derniers sont incomplets. En effet, si nous avons trouvé plus d'informations sur certaines essences, les informations finales sur leur autécologie auraient peut-être été différentes. Nous nous sommes malgré tout efforcés de nous servir du maximum d'ouvrages bibliographiques à notre disposition.

Il faut aussi noter que les besoins autécologiques d'une essence ont été déterminés facteur par facteur. Or, une essence se développe dans un écosystème global où les facteurs se compensent les uns les autres. Par exemple, un *Magnolia grandiflora* se développe mal dans un milieu carbonaté et sec mais si celui-ci est frais, le magnolia peut se développer correctement.

Dans l'interprétation des résultats, les facteurs potentiels de dépérissement ont été considérés indépendamment de l'essence. Mais il n'a pas été pris en compte qu'un facteur de

dépérissement X peut avoir une influence beaucoup plus importante dans la spirale du dépérissement pour une essence que pour une autre essence.

Enfin, l'échantillon des arbres infectés par l'armillaire ayant servi à l'étude est trop restreint. Depuis la détection formelle de l'armillaire dans le Jardin, les mortalités ont augmenté et les fructifications sont fréquemment retrouvées à plusieurs endroits du Jardin. Mais la cause de la mort de certains arbres lors des dernières décennies n'a pas toujours été identifiée. Un suivi plus poussé des dépérissements par l'armillaire doit être mené afin de pouvoir mieux en définir les causes à l'avenir.

III- Les modalités de replantation pour les nouveaux arbres au vu des résultats de l'étude

a) Un choix d'essences pouvant se développer de façon optimale dans leur milieu : des essences aux besoins autécologiques adaptés au milieu, peu sensibles aux extrêmes climatiques et à l'armillaire

Afin d'éviter le dépérissement précoce des prochaines plantations du fait de l'armillaire, les nouveaux arbres ne doivent pas être sensibles à celle-ci. Quant au dépérissement pour des causes autres que l'armillaire, bien que notre étude ait montré que les événements climatiques traumatisants comme les gels, les étés trop chauds et les hivers rudes ne sont pas des facteurs de dépérissement significatifs, nous préconisons ici des essences qui n'y sont pas sensibles. De même, les besoins autécologiques des essences doivent être en adéquation avec le milieu qui devra les accueillir. Ces facteurs n'occupent peut-être pas un rôle important dans la spirale de dépérissement mais ils peuvent constituer des facteurs prédisposants ou déclenchants mineurs. Nous choisissons ici de minimiser les risques autant que possible.

Les prochaines replantations dans le Jardin Botanique sont prévues pour fin 2014. Elles se feront dans l'arboretum, sur tout le côté ouest du Jardin, du côté de la rue Saint-François. Dans cette partie de l'arboretum, le seul facteur limitant pour le développement des arbres est le sol au pH carbonaté. Après une première réunion avec les différents acteurs du Jardin Botanique et le paysagiste de la ville de Tours, les emplacements des plantations ont été déterminés en adéquation avec une bonne qualité paysagère. Le compte-rendu de cette réunion figure en annexe (annexe 18). Lors d'une seconde réunion, des arbres correspondant au profil paysager de chaque emplacement ont été choisis. La concurrence qu'ils peuvent offrir ou à laquelle ils peuvent se confronter à l'avenir a été considérée. Les essences retenues doivent être :

- adaptées au facteur limitant qu'est le pH basique
- insensible à l'armillaire
- insensibles aux événements climatiques traumatisants.

Une liste d'arbres figure en annexe 19. Une recherche supplémentaire doit être réalisée afin de s'assurer que ces essences supportent un pH carbonaté.

Certains des arbres de l'arboretum dans un état critique ou mort sont les seuls représentants de l'espèce dans le Jardin. Pourtant certains d'entre eux peuvent être replantés dans cette partie de l'arboretum. En effet, ces arbres sont ceux :

- Qui ne sont pas réputés sensibles à l'armillaire,
- Pour lesquels il n'y a aucune certitude que leur mauvais état ou leur mort soient dus à l'armillaire,
- Qui sont réputés peu sensibles aux aléas climatiques,
- Qui sont adaptés aux conditions pédologiques et climatiques du lieu de plantation.

Cependant, ils n'ont pas prospéré dans le Jardin parce qu'ils ont été blessés et/ou colonisés par un autre agent que l'armillaire, ou ils ont subi une trop forte concurrence. Leur plantation a peut-être été réalisée dans de mauvaises conditions ou le végétal choisi à la pépinière n'était pas de bonne qualité. La liste des essences est la suivante :

- *Cydonia*
- *Gleditsia triacanthos*
- *Populus nigra*
- *Sophora japonica*
- *Toona sinensis*
- *Ulmus americana*

Buxus balearica pourraient figurer dans la liste mais a été retiré car les buis sont victimes de défoliations par la pyrale (*Cydalima perspectalis*). Limiter sa plantation est donc préférable. *Robinia pseudoacacia* a également été retiré de la liste, car cette essence est très commune à l'échelle de la région, il n'est donc pas primordial de la replanter dans le Jardin. *Acer pseudoplatanus* pourraient également figurer dans la liste mais il en a été retiré car l'essence est déjà très présente dans l'arboretum et les autres sujets sont pour la plupart en bon état.

Les essences qui vont suivre peuvent être rajoutées à la liste. Cependant, nous n'avons pas trouvé d'informations sur le climat qui convient aux trois premières, ni sur la tolérance aux carbonates de la dernière. Ces facteurs sont donc à vérifier.

- *Juniperus drupacea*
- *Malus domestica*
- *Pterocarya stenoptera*
- *Prunus padus*.

b) Des arbres jeunes au développement racinaire encore peu établi

Quelque soit l'essence des nouvelles plantations, il faut assurer la reprise et le bon développement des nouveaux arbres en se basant également sur des critères physiologiques. Ces critères sont les suivants :

- Des sujets vigoureux, en bonne santé et non blessés à la pépinière et à la réception au Jardin Botanique (la qualité du plant doit être vérifiée à la pépinière même) ;
- Des arbres jeunes, à petite circonférence de tronc. Non seulement ces sujets sont moins onéreux, plus faciles à transporter, mais ils s'adaptent plus facilement et plus rapidement à leur milieu de vie définitif ;
- Des plants à racines nues. Ainsi, il n'y a pas de changement de caractéristiques du sol lorsque les racines poussent au-delà de la motte et sont confrontés au sol du milieu

définitif. Il est aussi plus facile de contrôler leur bonne conformation (absence de chignon pouvant s'avérer pénalisant à moyen terme).

c) Des conditions de développement adaptées à l'arbre : les plantes couvre-sol et le BRF

Les plantes couvre-sol sont préconisées, afin d'éviter :

- Le passage du public au pied des arbres qui peut provoquer un compactage du sol
- Des tontes fréquentes aux pieds des arbres qui pourraient provoquer des blessures au collet des arbres ;
- Une consommation d'eau trop importante comme c'est le cas pour le gazon ;
- Un sol trop sec lors des longues sécheresses estivales du fait de l'effet couverture pour certaines essences.

Le BRF (Bois Raméal Fragmenté) est une sorte de paillis mais exclusivement issu du broyage du bois jeune. Ce bois ne possède quasiment pas de lignine, élément dont se nourrit l'armillaire. Les feuilles ne doivent de préférence pas avoir poussé sur ce bois jeune, car celles-ci produisent les éléments nécessaires à sa lignification. Le BRF a ici les mêmes avantages que les couvre-sol mais il ne peut pas empêcher le piétinement des usagers. Néanmoins, il a un effet « coussin » qui limite le compactage et un effet d'activation de la vie du sol qui a tendance à l'aérer. Il peut aussi protéger les plantes couvre-sol des adventices lorsqu'elles sont semées.

Les plantes couvre-sol peuvent empêcher le public de marcher au pied des arbres, à condition que les plantes choisies soient très dissuasives. Dans ce cas, il serait judicieux de prendre des plantes couvre-sol avec un attrait esthétique, qui poussent avec une certaine hauteur et de façon très dense. Leur feuillage doit être présent la plus grande partie de l'année. Les plantes couvre-sol permettraient de ne pas recourir à la tondeuse à gazon au pied des arbres, et de diminuer l'arrosage qui peut éventuellement favoriser le développement de l'armillaire. En effet, il a été observé dans d'autres jardins botaniques des attaques de ce champignon suite à la formation de zones toujours humides au pied des arbres recevant abondamment sur le tronc l'eau d'asperseurs mal réglés. Elles peuvent limiter l'évaporation accentuée de l'humidité du sol lors des longues sécheresses. Elles protègent également le sol lors des hivers rigoureux. C'est aussi une façon de se rapprocher du modèle du sol forestier, milieu dans lequel le développement de l'armillaire reste limité comme nous l'avons vu dans le chapitre I.

Les plantes couvre-sol suivantes pourraient être utilisées :

- Le lamier (*Lamium Sp.*)
- Le lierre (*Hedera helix*) 'Algerian Bellecour' ®
- La pachysandre (*Pachysandra*)
- La pervenche (*Vinca*)
- L'heuchère (*Heuchera*)
- L'épimède (*Epimedium grandiflorum*).

Le lamier et l'épimède ont des feuilles caduques. Ces deux couvre-sols ne sont donc pas les plus adaptés. Le lierre classique (*Hedera helix*) pousse à ras du sol ; par expérience dans le Jardin, il n'empêche pas assez le piétinement par le public. C'est pourquoi l'espèce proposée ici est un lierre à grandes feuilles.

CONCLUSION

La sensibilité connue des essences à l'armillaire semble constituer un facteur aggravant qui fait basculer les arbres dans la spirale de dépérissement. Un milieu inadapté aux besoins autécologiques d'une essence n'est pas un facteur suffisant du dépérissement. Ceci serait peut-être dû à une compensation de facteurs. En effet, de façon générale, il n'y a au Jardin qu'un unique facteur limitant significatif, le pH élevé. Ce facteur serait peut-être compensé par un autre, comme la fraîcheur du sol, d'autant plus que le sol peut rester frais même en période estivale. Ceci est rendu possible grâce aux arrosages fréquents des pelouses au Jardin Botanique et aux racines qui ont la capacité de se développer jusqu'à la nappe d'eau souterraine. Les sensibilités des essences aux événements climatiques traumatisants, la concurrence subie par un arbre ainsi que l'affaiblissement par une blessure ou un autre agresseur biotique ne semblent pas être des facteurs significatifs de dépérissement par l'armillaire. Pour les arbres en mauvais état que ce soit du fait de l'armillaire ou pour une autre raison, le facteur principal de dépérissement s'avère être l'affaiblissement par une blessure et/ou un autre agresseur biotique. Le compactage du sol par les tondeuses à gazon et le public, l'excès d'eau apporté par l'arrosage, la pollution urbaine ainsi que la suppression du couvert arbustif dans les années 1980 dans l'arboretum peuvent être des facteurs prédisposants au dépérissement. Les problèmes liés aux conditions de plantation peuvent également être des facteurs prédisposants au dépérissement pour certains arbres, mais il nous est impossible de le vérifier. Une nouvelle piste de recherche peut être menée en approfondissant les recherches bibliographiques pour connaître les besoins de certaines essences qui n'ont pas été retrouvés. Une recherche des raisons de dépérissement par l'armillaire pourrait être réalisée de nouveau, mais pour chaque essence touchée. En effet, les facteurs menant l'arbre dans une spirale de dépérissement peuvent être différents d'une essence à l'autre.

Pour les futures plantations, il faut donc choisir des essences peu sensibles à l'armillaire et ayant des besoins autécologiques adaptés au milieu de plantation tant que faire se peut. La qualité des sujets doit être vérifiée à la pépinière. Ces derniers doivent être jeunes et à racines nues afin d'assurer une reprise vigoureuse sur leur lieu de plantation définitif. Les plantes couvre-sol éventuellement couplées avec du BRF en remplacement du gazon permettent d'éviter le compactage du sol par les usagers du Jardin, un arrosage trop important favorisant le développement de pourriture et le passage de tondeuses à gazon pouvant blesser les arbres. L'étude qui a été menée a également permis d'établir une cartographie du sol du Jardin Botanique. Le sol prospecté par les racines principales des arbres a pour seul facteur limitant un pH basique. Certains endroits ont un pH neutre, d'autres ont d'autres facteurs limitant comme de l'hydromorphie, un sol très poreux, un sol compact ou un sol superficiel. Mais ces zones sont ponctuelles.

Cette étude a donc permis d'établir des modalités de replantation de nouvelles essences dans le Jardin Botanique de Tours en prenant soin d'éviter le plus possible le dépérissement précoce des nouveaux arbres par l'armillaire. Elle doit être complétée par une étude paysagère du Jardin Botanique afin d'intégrer les nouvelles plantations dans le paysage et les adapter aux besoins du Jardin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OUVRAGES

BÄRTELS (Andreas). 1997 – *Le livre des arbres et arbustes*. - Paris : Eugen Ulmer. – 320 p..

BALLEUX (Pascal) et VAN LERBERGHE (Philippe). 2001 – *Le boisement des terres agricoles*. – Paris : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 127 p..

BOURGERY (Corinne) et CASTANER (Dominique). 1988 – *Les plantations d’alignement, le long des routes, chemins, canaux, allées*. – Paris : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 416 p..

CANOT (Françoise). 1992 – *L’Arboretum du Jardin Botanique de Tours, Histoire et présentation de quelques espèces remarquables*. – Thèse pour l’obtention du diplôme d’état de docteur en pharmacie, 275 p..

Centre Régional de la Propriété Forestière des Pays de la Loire. 1984 – *Catalogue des stations du Perche et plateau Calaisien Sarthois*.

DRENOU (Christophe). 2009 – *Face aux arbres, apprendre à les observer pour les comprendre*. – Paris : Ulmer – 155p..

DUME (Gérard) et MANSION (Dominique) et RAMEAU (Jean-Claude). 1989 – *Flore forestière française – Tome 1 : Plaines et Collines*. – Paris : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 1785 p..

DUME (Gérard) et MANSION (Dominique) et RAMEAU (Jean-Claude). 1993 – *Flore forestière française – Tome 2 : Montagnes*. – Auzeville Tolosane : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 2434 p..

DUME (Gérard) et GAUBERVILLE (Christian) et MANSION (Dominique) et RAMEAU (Jean-Claude). 2008 – *Flore forestière française – Tome 3 : Zones méditerranéennes*. – Auzeville Tolosane : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 2432 p..

DURAND (Raymond). 1990 – *Les arbres* – Paris : France Loisirs. – 382 p.. (Collection Guide Vert)

GUILLAUMIN (Jean-Jacques) et BOTTON (Bernard). 2005 – Place de l’armillaire parmi les agents pourridiés. – Dans : *L’armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux*. Paris : INRA – Institut Nationale de la Recherche Agronomique – p. 23-27.

GUILLAUMIN (Jean-Jacques) et LEGRAND (Philippe). 2005 – Cycle infectieux de l'armillaire – Stratégie biologique des espèces européennes. – Dans : *L'armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux*. – Paris : INRA – Institut Nationale de la Recherche Agronomique – p. 192-197.

GUINAUDEAU (Claude). 1987 – *Planter aujourd'hui, bâtir demain, le préverdissement*. – Paris : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 480 p..

JABIOL (Bernard). 2004 – *Le relevé des paramètres du sol en vue d'une estimation de ses contraintes et de ses aptitudes pour les arbres*. – Nancy : AgroParisTech – 16 p.

JACAMON (Marcel). 1987 – *Guide de dendrologie, arbres, arbustes, arbrisseaux des forêts françaises, Tome I : Conifères*. – Nancy : ENGREF Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. – 88p..

JACAMON (Marcel). 1987 – *Guide de dendrologie, arbres, arbustes, arbrisseaux des forêts françaises, Tome II : Feuillus*. – Nancy : ENGREF Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. – 256 p..

LANDMANN (G.). 1994 – *Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers*. – Nancy : ENGREF Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. – 11 p..

MAILLET (Laurent) et BOURGERY (Corinne). 1993 – *L'arboriculture urbaine*. – Paris : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 139 p.. (Collection Mission du Paysage)

MEUDEC (Juliette). 2001 – *Etude sur le Jardin Botanique de Tours*. – Mémoire de stage de fin d'études, 94 p..

RIOU-NIVERT (Philippe). 1996 – *Les résineux, Tome I : Connaissance et reconnaissance*. – Paris : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 255 p..

RIOU-NIVERT (Philippe). 2005 – *Les résineux, Tome II : Ecologie et pathologie*. – Paris : IDF Institut pour le Développement Forestier. – 447 p..

SOLTNER (Dominique). 2003 – *Les bases de la production végétale – Tome 1 : Le sol et son amélioration*. - Sainte-Gemmes-sur-Loire : Collection Sciences et techniques agricoles. – 471 p..

SOURCES INTERNET

Base de données Hortipedia. Consulté en 2014. <http://fr.hortipedia.com/wiki/Accueil>

BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières. *Visualiseur InfoTerre*. Consulté en 2014.

<http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do;jsessionid=8849B198CF4A136600A590196D7734AD#>

MILCENT (Jean-Pascal). – *Tela Botanica, le réseau de la botanique francophone*. Consulté en 2014. <http://www.tela-botanica.org/site:accueil>

Wikipedia. *Rapport C/N*. Consulté en 2014. http://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_C/N

LISTE DES CONTACTS

Mairie de Tours

1 à 3 rue des Minimés
37926 TOURS CEDEX 9
Téléphone : 02 47 21 60 00
Fax : 02 47 21 69 36
Courriel : webmestre@ville-tours.fr

Jardin Botanique de Tours

35 boulevard Tonnellé
37000 TOURS
Téléphone : 02 47 21 62 67
Fax : 02 47 21 62 90
Courriel : parcs-jardins@ville-tours.fr

Christine CHASSEGUET

Directrice des Parcs et Jardins
1 à 3 rue des Minimés
37926 TOURS CEDEX 9
Téléphone : 02 47 21 62 73
Courriel : c.chasseguet@ville-tours.fr

Sylvie SAULNIER

Responsable du Jardin Botanique
1 à 3 rue des Minimés
37926 TOURS CEDEX 9
Téléphone : 02 47 21 62 83
Courriel : s.saulnier@ville-tours.fr

Jac BOUTAUD

Gestionnaire du patrimoine arboré de la ville de Tours
1 à 3 rue des Minimés
37926 TOURS CEDEX 9
Téléphone : 02 47 21 62 85
Courriel : j.boutaud@ville-tours.fr

Alicia HAUTBOIS

Animatrice-Documentaliste des collections végétales
35 boulevard Tonnellé
37000 TOURS
Téléphone : 02 47 76 40 65
Courriel : a.hautbois@ville-tours.fr

Martine PHILIPPE

Responsable cellule contrôles et SPANC

Communauté d'Agglomération Tour(s)plus – Service Assainissement

60 avenue Marcel Dassault CS 30651

37206 TOURS CEDEX 3

Téléphone : 02 47 75 29 32

Courriel : m.philippe@agglo-tours.fr

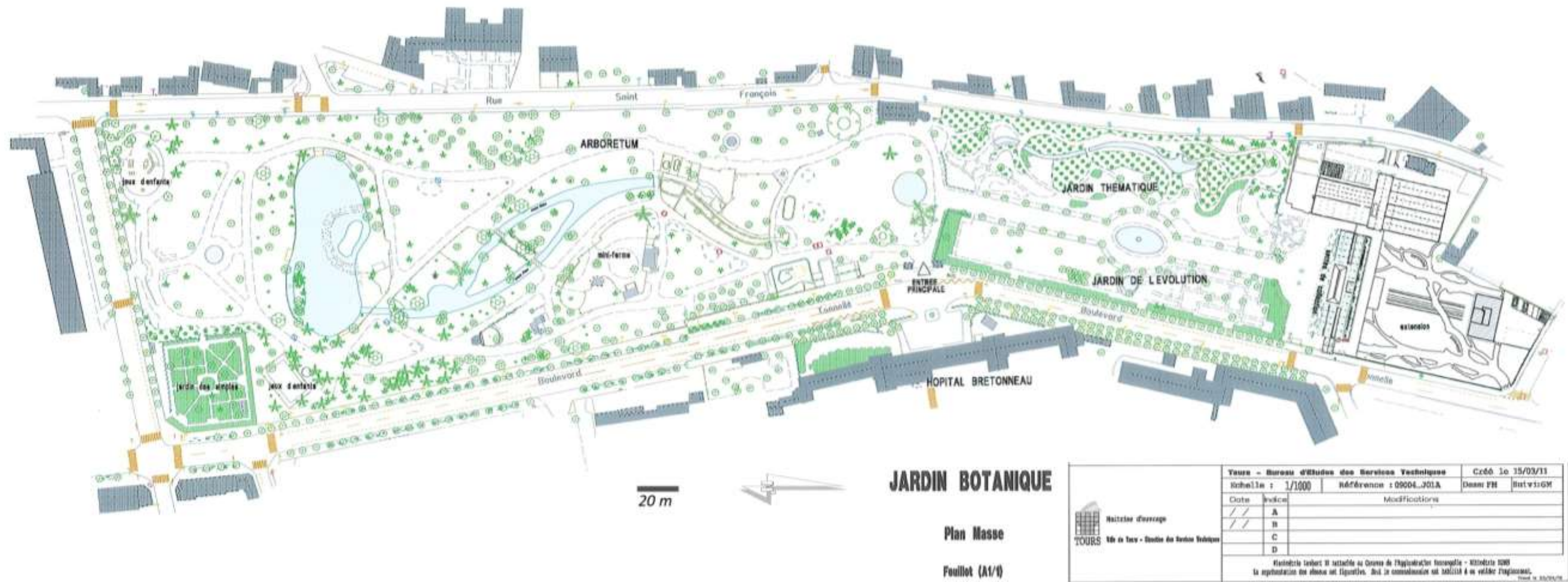
Table des annexes

Annexe 1 : Carte de localisation confirmée de l’armillaire dans le Jardin Botanique en 2011	43
Annexe 2 : Carte du Jardin Botanique de nos jours	44
Annexe 3 : Carte des apports de terre dans l’arboretum dans les années 1980	45
Annexe 4 : Carte des apports de terre dans le nord du Jardin Botanique dans les années 1980	46
Annexe 5 : Carte des emplacements des relevés pédologiques dans l’arboretum	47
Annexe 6 : Carte des emplacements des relevés pédologiques dans le nord du Jardin Botanique.....	48
Annexe 7 : Synthèse des besoins autécologiques des essences du Jardin Botanique et vérification de ces besoins avec le milieu (extrait)	49
Annexe 8 : Cartographie du sol de l’arboretum	50
Annexe 9 : Cartographie du sol du nord du Jardin Botanique	51
Annexe 10 : Schéma de la fosse 1.....	52
Annexe 11 : Schéma de la fosse 2	53
Annexe 12 : Schéma de la fosse 3	54
Annexe 13 : Schéma explicatif de la spirale de dépérissement	55
Annexe 14 : Liste des arbres en mauvais état dans l’arboretum et les facteurs potentiels de dépérissement dont ils pourraient être victimes	56
Annexe 15 : Test de comparaison des proportions	64
Annexe 16 : Carte de localisation confirmée de l’armillaire couleur de miel	67
Annexe 17 : Liste des arbres atteints de l’armillaire dans l’arboretum et les facteurs potentiels de dépérissement par l’armillaire dont ils pourraient être victimes	68
Annexe 18 : Préconisations paysagères pour les nouvelles plantations au Jardin Botanique de Tours	70
Annexe 19 : Idées d’essences pour les replantations 2014 au Jardin Botanique de Tours	73

Carte de localisation confirmée de l'armillaire en 2011



Source : bureau d'étude ADRET, 2011



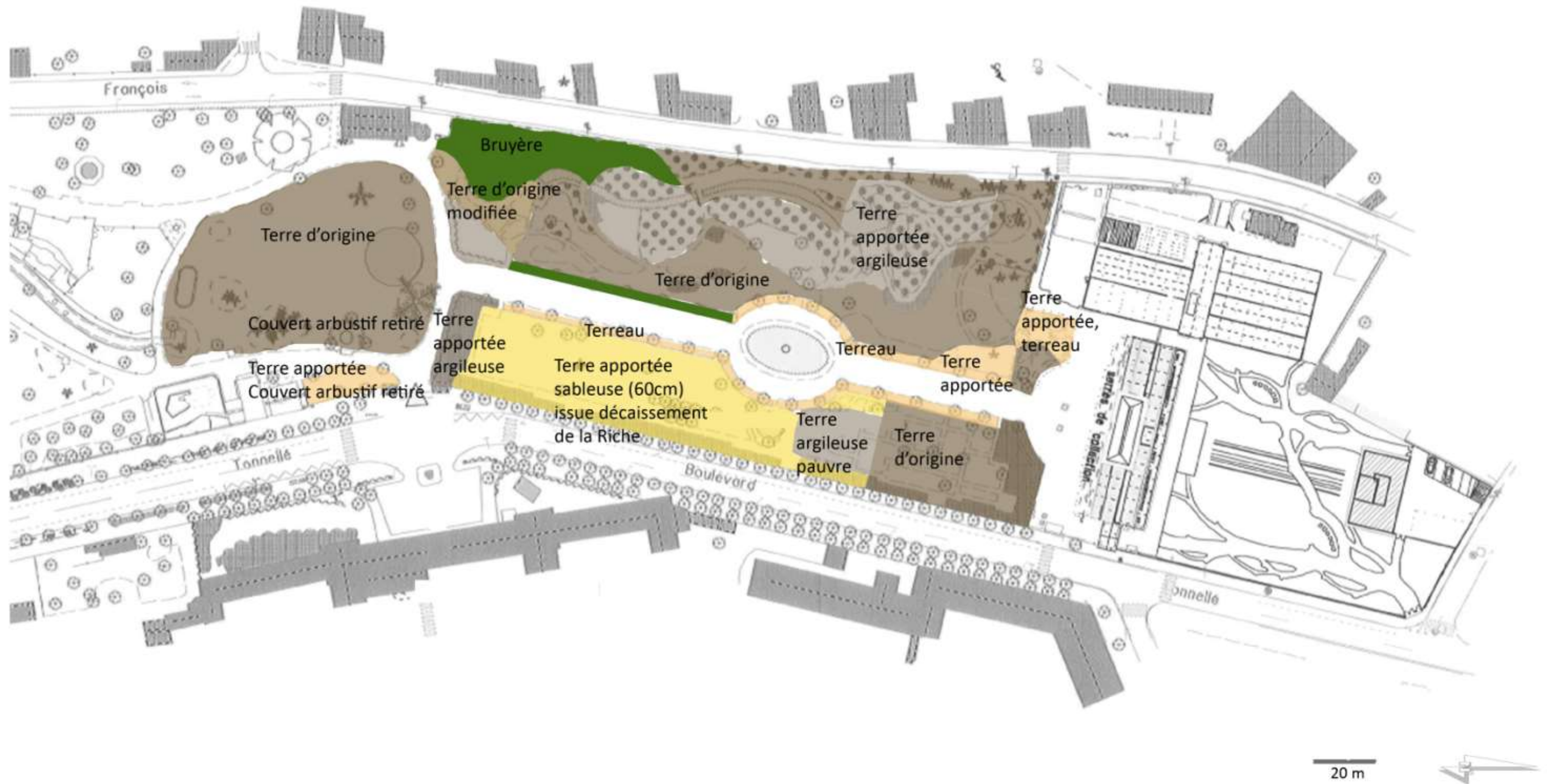
Annexe 3

Carte des apports de terre dans l'arboretum dans les années 1980



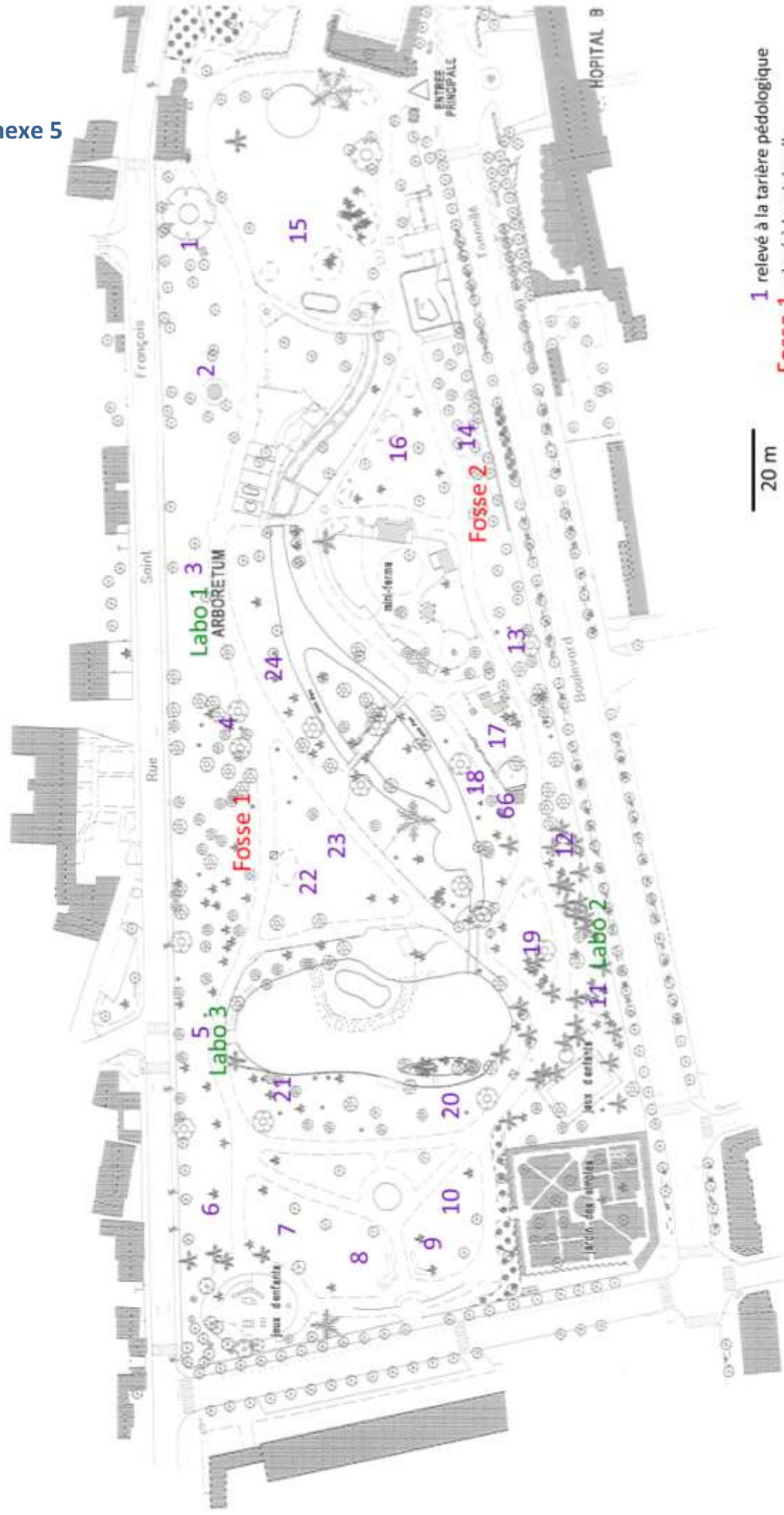
Annexe 4

Carte des apports de terre dans le nord du Jardin Botanique dans les années 1980



Carte des emplacements des relevés pédologiques dans l'arboretum

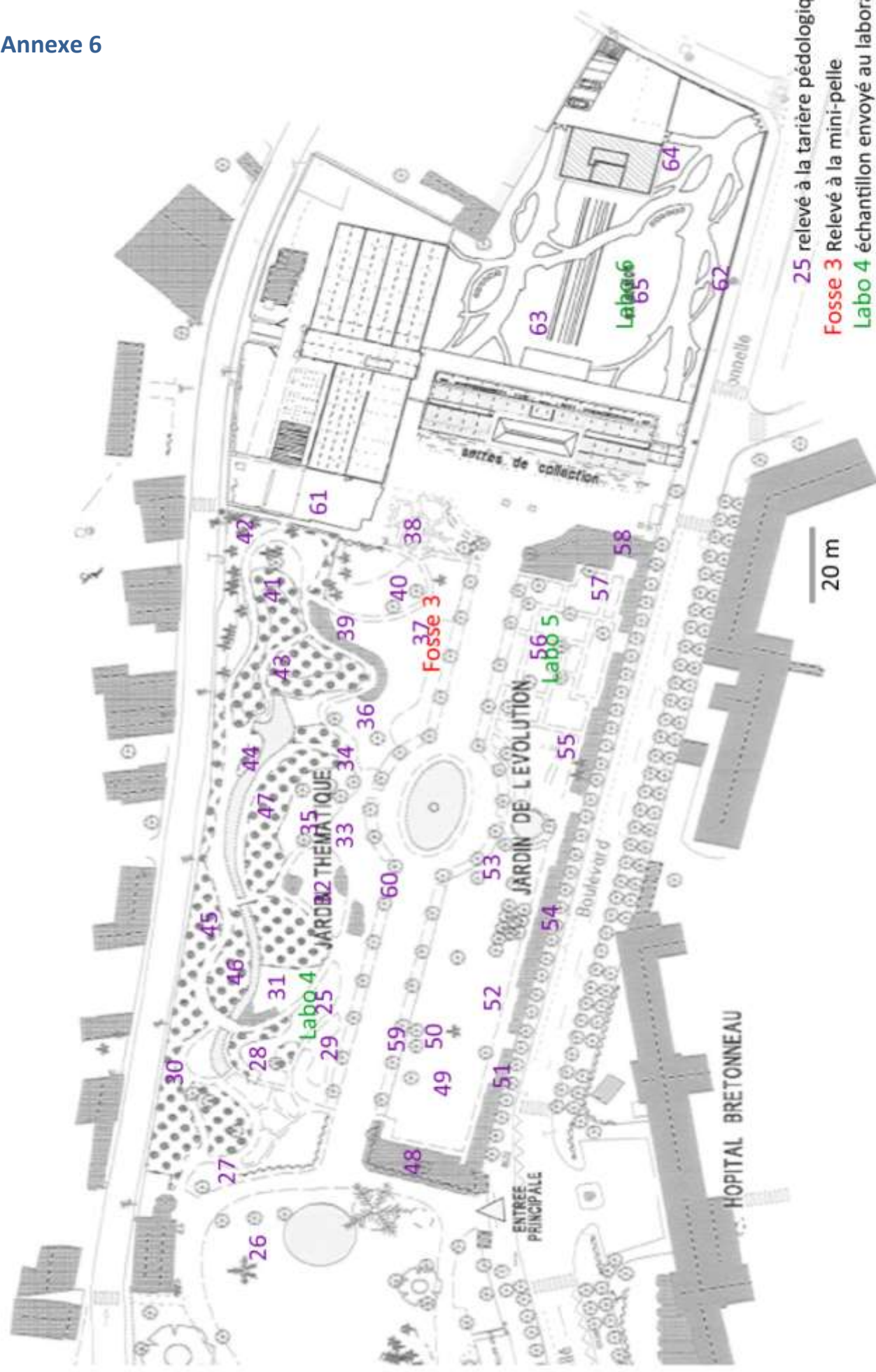
Annexe 5



- 1 relevé à la tarière pédologique
- Fosse 1 relevé à la mini-pelle
- Labo 1 échantillon envoyé au laboratoire

Carte des emplacements des relevés pédologiques au nord du Jardin Botanique

Annexe 6



25 relevé à la tarière pédologique

Fosse 3 Relevé à la mini-pelle

Labo 4 échantillon envoyé au laboratoire

Annexe 7

Synthèse des besoins autécologiques des essences du Jardin Botanique et vérification de l'adaptation de ces besoins avec le milieu

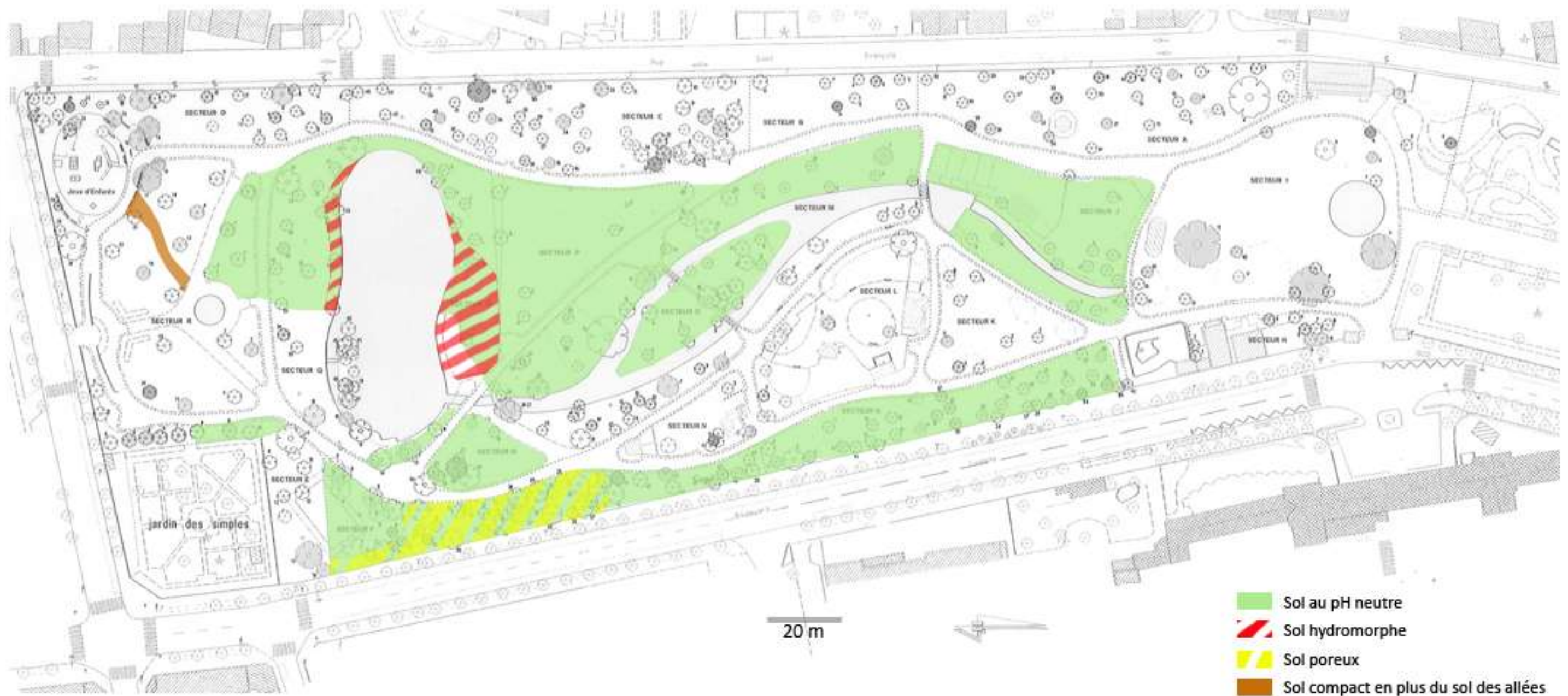
Autécologie	Facteurs limitants sol									Facteurs limitants climat					Sensibilités	Etat du végétal	Armillaire	
	Sol superficiel	Sol sec	Sol compact	Sol léger et poreux	Sol hydrom.	Tolérance carbonates	Sol basique	Sol acide	Zones climatiques	Exposition ensoleillée	Exposition mi-ombre	Exposition ombre	Vent : pas résistance	Humidité atm. nécessaire				
Abies cephalonica	Bibliographie	2	2	0	2	0	2	2	0	1, 2, 3	2	2	1	indispo	indispo	grands froids, gelées	bon état (expertise 2011)	
Abies grandis	Jardin Botanique (C41)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers	mort de l'armillaire (constatation 2014)	inadapté
Abies koreana	Bibliographie	0	0	1	2	contrad.	0	0	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	2	2	2	2	grands froids		
Abies nordmannia	Jardin Botanique (Q16)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers	reprise pas établie (expertise 2011)	
Abies nordmannia	Bibliographie	0	0	2	2	0	0	0	2	1, 2, 3, 4, 8	2	2	2	1	0	grands froids		
Abies nordmannia	Jardin Botanique (D2)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	inadapté	inadapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers		
Abies nordmannia	Bibliographie	2	2	0	2	contrad.	2	2	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	2	0	indispo	2		bon état (expertise 2011)	
Abies nordmannia	Jardin Botanique (Q26)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté		bon état (expertise 2011)	
Abies numidica	Bibliographie	2	2	0	2	0	2	2	0	1, 2, 3	2	indispo	0	indispo	0		bon état (expertise 2011)	
Abies numidica	Jardin Botanique (P6)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté		bon état (expertise 2011)	
Abies pinsapo	Bibliographie	2	2	2	2	0	2	2	0	1, 2, 3, 7	2	indispo	1	0	0	grands froids		
Abies pinsapo	Jardin Botanique (J7)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers, grands froids	J17 bon état (expertise 2011), R13 bon état (expertise 2011)	
Abies pinsapo	Jardin Botanique (R13)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer negundo	Bibliographie	0	1	1	2	1	2	2	1	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	indispo	1	2	2			
Acer negundo	Jardin Botanique (B4)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté		B4 mauvais état (constatation 2014), C30 perte de vigueur (expertise 2011, suspicion infection armillaire), D20 bon état (constatation 2014), D33 ABATTU (constatation 2014, en 2011 blessure + carie)	
Acer negundo	Jardin Botanique (C30)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer negundo	Jardin Botanique (D20)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer negundo	Jardin Botanique (D33)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer palmatum	Bibliographie	indispo	indispo	0	2	0	contrad.	contrad.	2	indispo	2	2	2	2	0	grands froids		
Acer palmatum	Jardin Botanique (I2)	adapté	adapté	adapté	adapté	inadapté			adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	printaniers,	ABBATU (encore bon en 2011)	
Acer platanoides	Bibliographie	contrad.	1	1	2	0	2	2	0	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	2	1	0	2			
Acer platanoides	Jardin Botanique (A15)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté		A15 bon état (expertise 2011), A32 gui (constatation 2014), B2 bon état (expertise 2011), B9 bon état (expertise 2011), C34 beaucoup de gui (constatation 2014), D24 ABBATU (constatation 2014, en 2011 gui et carie sur blessure), D31 bon état (constatation 2014), F44 bon état (expertise 2011), G10 bon état (expertise 2011), G23 ABATTU (constatation 2014, en 2011 dépérissement, en 2012 cause armillaire), O1 perte de vigueur (expertise 2011)	
Acer platanoides	Jardin Botanique (A32)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (B2)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (B9)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (C34)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (D24)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (D31)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (F44)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (G10)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (G23)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer platanoides	Jardin Botanique (O1)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Bibliographie	1	0	1	2	contrad.	2	2	0	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	2	1	0	2			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (A13)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté		A13 bon état (expertise 2011), A16 recherche luminosité, perte de vigueur (expertise 2011)	
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (A16)	adapté	adapté	assez adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (A21)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (A22)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (A26)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (B3)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (D24, 25)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (E3)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (G9)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (M17)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer pseudoplatanus	Jardin Botanique (M18)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			
Acer saccharinum	Bibliographie	0	0	1	1	contrad.	0	0	1	1, 2, 3, 4, 5, 6	2	indispo	0	2	0			
Acer saccharinum	Jardin Botanique (C15)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	inadapté	inadapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté		C15 bon état (expertise 2011), O14 bon état (expertise 2011)	
Acer saccharinum	Jardin Botanique (O14)	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	inadapté	inadapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté	adapté			

Cartographie du sol de l'arboretum

Le sol de l'arboretum a pour unique facteur limitant un pH carbonaté. Les autres facteurs sont un sol profond, frais, filtrant et non hydromorphe.

Les zones cartographiées ici ont un de leurs facteurs qui diffère d'un sol carbonaté, profond, frais, filtrant et non hydromorphe.

Seul le sol compact des allées n'a pas été cartographié ici pour ne pas surcharger la carte.



Cartographie du sol du nord du Jardin Botanique

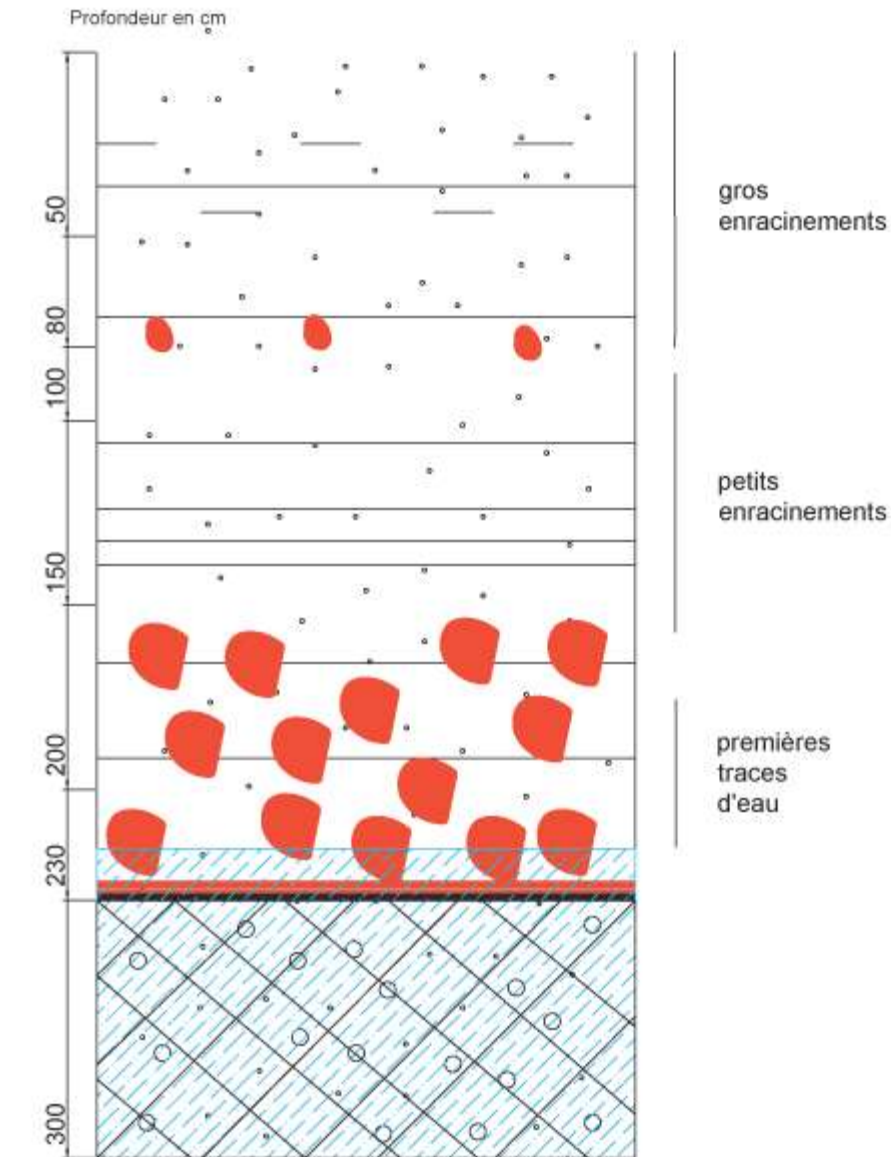
Le sol du Jardin Botanique a pour unique facteur limitant un pH carbonaté. Les autres facteurs sont un sol profond, frais, filtrant et non hydromorphe.

Les zones cartographiées ici ont un de leurs facteurs qui diffère d'un sol carbonaté, profond, frais, filtrant, non hydromorphe.

Seul le sol compact des allées n'a pas été cartographié ici pour ne pas surcharger la carte.



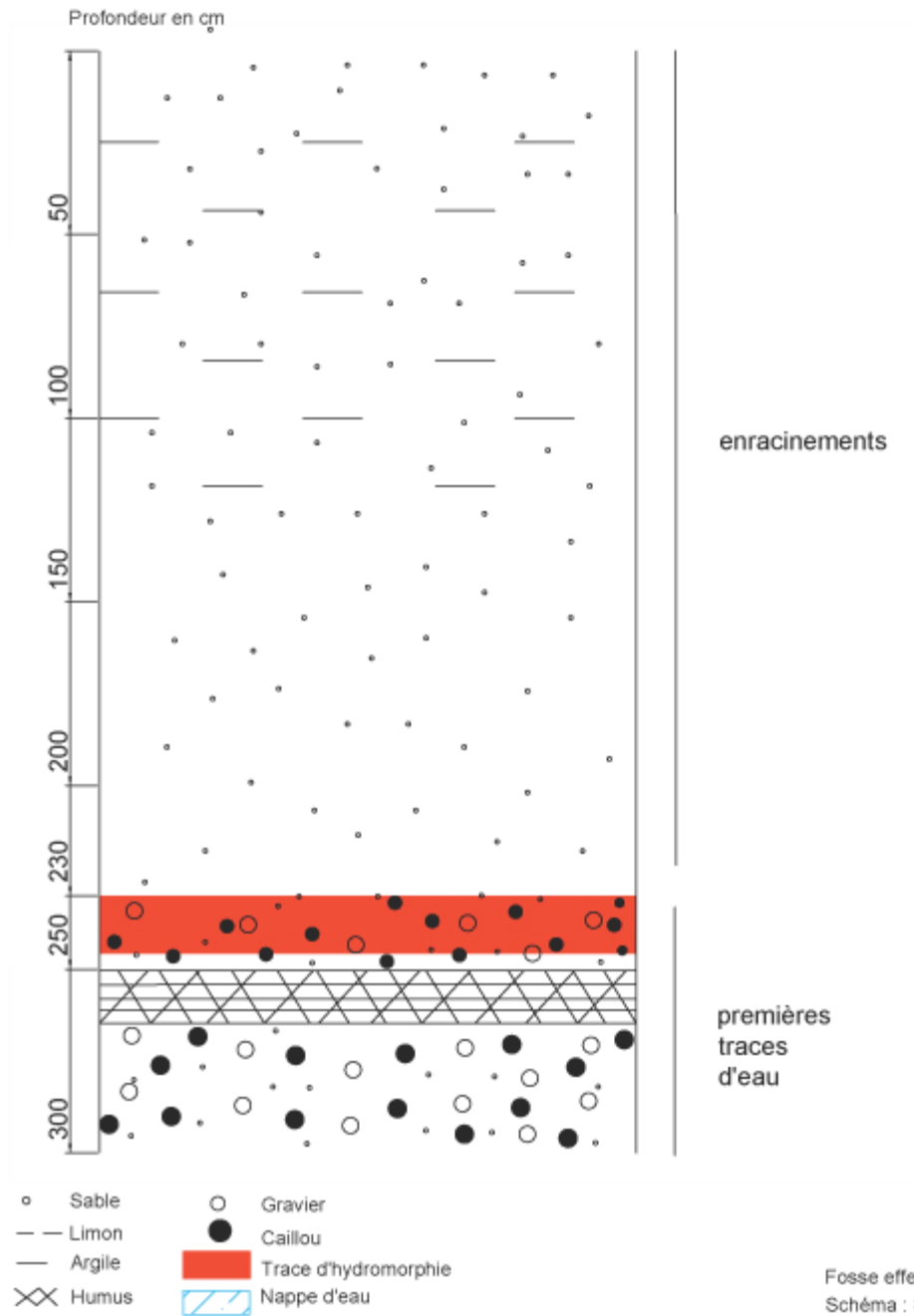
FOSSE 1



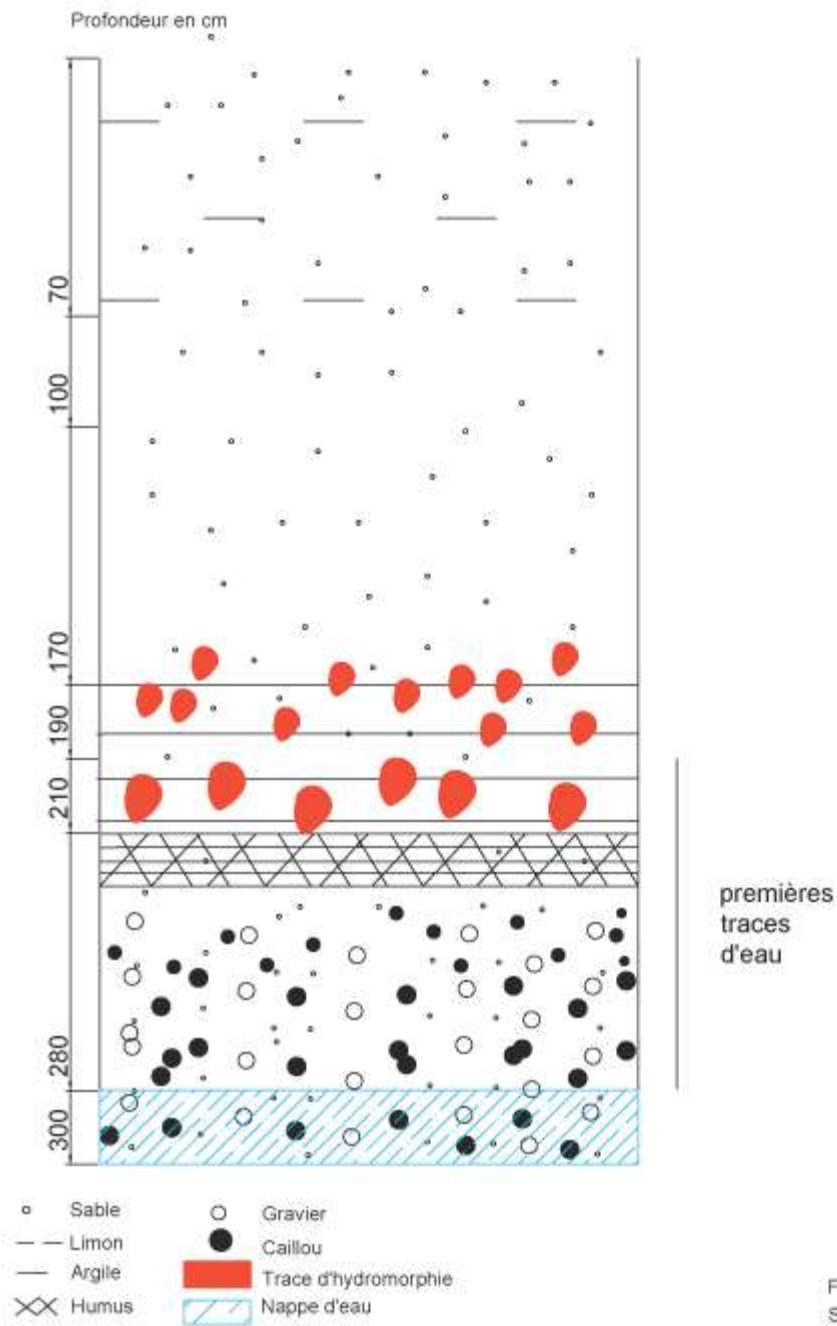
- Sable
- Gravier
- - - Limon
- Argile
- ⊗ Humus
- Trace d'hydromorphie
- ▬ Couche d'humus de matière organique très décomposée
- ▨ Nappe d'eau

Fosse effectuée le 13-05-2014
Schéma : Sara GHASSAB

FOSSE 2



FOSSE 3



Annexe 13

La spirale du dépérissement

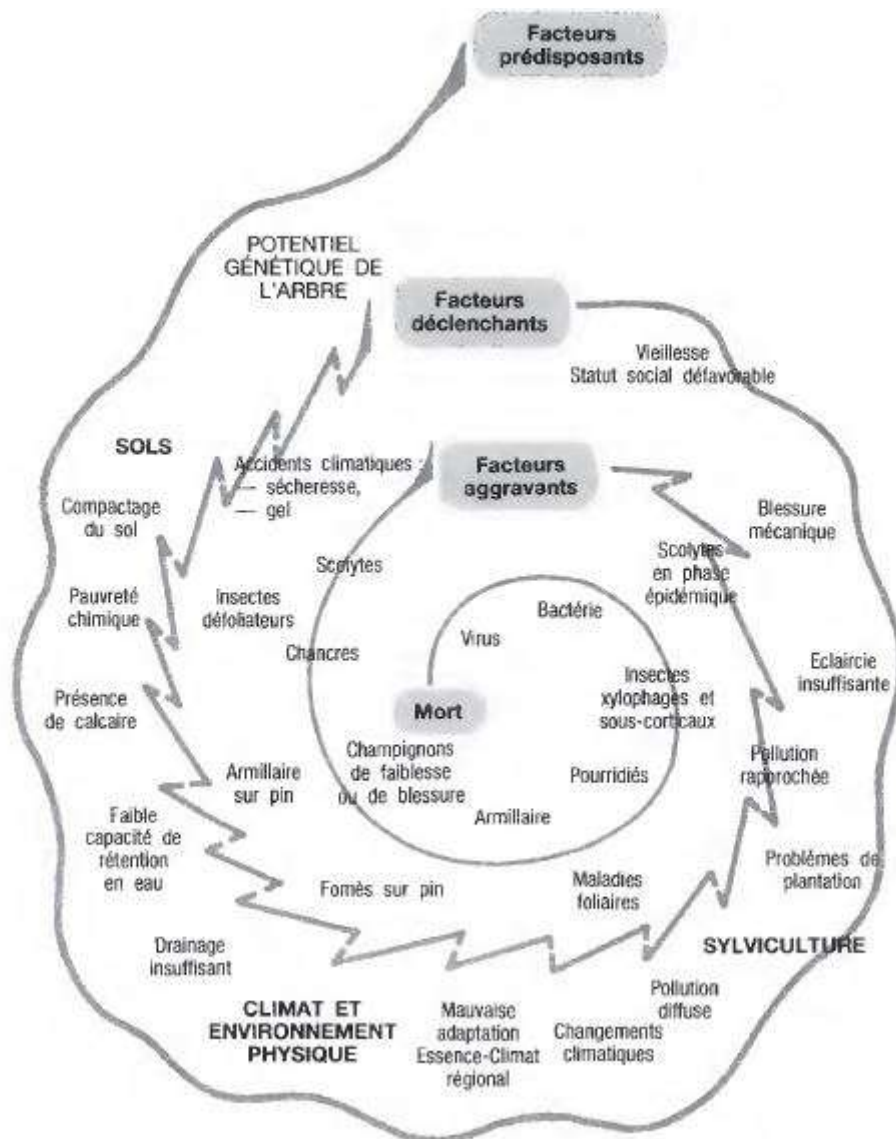


Figure 7 : LA «SPIRALE DU DÉCLIN» DE MANION (1981) ADAPTÉE AUX CONDITIONS FRANÇAISES (DSF Nord-est). Source : http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/26563/RFF_1994_5_NS_405.pdf?sequence=1

Annexe 14

Liste des arbres en mauvais état dans l'arboretum et les facteurs potentiels de dépérissement dont ils pourraient être victimes

Essence	No	Etat	informations indisponibles	informations contradictoires	facteurs inadaptés	facteurs assez adaptés	sensibilité à l'armillaire	sensibilités aux aléas climatiques	blessures et agresseurs biotiques	stade développement	concurrence	FACTEURS POTENTIELS DE DEPERISSEMENT	Remarques	Infos manquantes
Abies grandis	Q16	mort armillaire (constatation 2014)	0	hydromorphie	0	0	oui	gels printaniers	armillaire	adulte jeune	0	sensibilité armillaire, sensibilités, armillaire		oui
Abies koreana	D2	reprise non établie (expertise 2011)	0	0	tolérance carb.	0	0	gels printaniers	0	jeune	0	facteur inadapté, sensibilités		0
Acer negundo	B4	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	0	0	0	0	jeune	0	?		0
Acer negundo	C30	perte de vigueur (expertise 2011, suspicion armillaire)	expo mi-ombre	0	0	0	0	0	armillaire ?	adulte mûr	0	armillaire ?		oui
Acer negundo	D33	abattu (constatation 2014)	expo mi-ombre	0	0	0	0	0	blessure et carie	jeune adulte	0	blessure et maladie		oui
Acer palmatum	I2	abattu (constatation 2014)	climat	tolérance carb.	hydromorphie	0	0	gels printaniers	0	jeune adulte	0	facteur inadapté, sensibilités		oui
Acer platanoides	D24	abattu (constatation 2014)	0	0	0	0	0	0	gui, carie sur blessure	adulte mûr	0	blessure et maladie		0
Acer platanoides	G23	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement, en 2012 cause armillaire)	0	0	0	0	0	0	armillaire	adulte mûr	0	armillaire		0
Acer platanoides	O1	perte vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	0	0	gui	adulte mûr	0	blessure et maladie		0
Acer pseudoplatanus	A16	perte vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	0	0	gui	adulte jeune	oui	blessure et maladie, concurrence		0
Acer pseudoplatanus	A22	perte vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	0	0	gui en 2011	adulte jeune	oui	blessure et maladie, concurrence		0
Acer pseudoplatanus	D24	abattu (constatation 2014)	0	0	0	0	0	0	gui et blessure de taille en 2011	adulte mûr	0	blessure et maladie		0
Acer pseudoplatanus	D25	abattu (constatation 2014)	0	0	0	0	0	0	?	adulte jeune	0	?		oui
Acer x martinii	A17	dépérissement (expertise 2011, peut-être armillaire)	tolérance carb., expositions	0	0	0	0	0	fissure sur tronc	adulte mûr	0	blessure et maladie, armillaire ?		oui

Aesculus hippocastanum	G21	abattu (expertise 2011)	0	0	0	0	0	gels tardifs	?	?	?	sensibilités		oui
Alnus glutinosa	J9	abattu (expertise 2011)	expo mi-ombre	0	0	tolérance carb.	oui	gels tardifs	?	?	?	sensibilité armillaire, sensibilités		oui
Alnus glutinosa	Q5	abattu (expertise 2011)	tolérance carb, expo ombre	0	0	0	oui	gels tardifs	?	?	?	sensibilité armillaire, sensibilités		oui
Alnus glutinosa	Q7	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	tolérance carb.	oui	gels tardifs	0	adulte jeune	oui	sensibilité armillaire, sensibilités, concurrence	peu concurrente	0
Alnus glutinosa	Q8	mort (constatation 2014)	0	0	0	tolérance carb.	oui	gels tardifs	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités	peu concurrente	0
Broussonetia papyrifera	N3	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement)	expo mi-ombre, ombre	0	0	climat	0	gels tardifs		blessure et carie sur charpentièr	adulte mûr	0	sensibilités, blessure et maladie	oui
Broussonetia papyrifera	Q38	dépérissement (expertise 2011)	expo mi-ombre	hydromorphie	0	climat	0	gels tardifs	0	adulte jeune	oui	sensibilités, concurrence		oui
Buxus balearica	B8	abattu (expertise 2011)	expositions	0	0	climat	0	0	?	?	?	?		oui
Calocedrus decurrens	F6	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	0	0	gels tardifs	0	adulte mûr	oui	sensibilités, concurrence		0
Calocedrus decurrens	O33	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	0	0	gels tardifs	0	adulte jeune	0	sensibilités		0
Catalpa bignonioides	G34	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement)	expo mi-ombre	0	0	0	0	hivers rigoureux		blessure et carie	adulte mûr	0	sensibilités, blessure et maladie	oui
Chamaecyparis lawsoniana	K4	armillaire (constatation 2014)	exposition soleil	tolérance carb.	0	0	0	gels	0	adulte mûr	0	armillaire		oui
Chamaecyparis lawsoniana	I9	abattu (constatation 2014)	expositions	tolérance carb.	0	0	0	gels	0	adulte mûr	0	sensibilités		oui
Chamaecyparis lawsoniana	R15	dépérissement (expertise 2011)	expo soleil	tolérance carb.	0	compact	0	gels	0	adulte jeune	0	sensibilités		oui
Corylus colurna	C18	C18 dépérissement, suspicion infection armillaire (expertise 2011)	0	0	0	0	oui	hivers rigoureux	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités, armillaire ?		0
Crataegus azarolus	B5	dépérissement (constatation 2014)	0	0	climat	0	0	gels	0	jeune	0	facteur inadapté, sensibilités		0
Cryptomeria japonica	I5	dépérissement (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur, sûrement armillaire)	expositions	0	0	tolérance carb.	oui	gels, grands froids		nécrose, armillaire ?	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités, blessure et maladie, armillaire ?	oui

Essence	No	Etat	info indisponibles	info contradictoire	facteurs inadaptés	facteurs assez adaptés	sensibilité à l'armillaire	sensibilités aux aléats climatiques	blessures et agresseurs biotiques	stade développement	concurrence	CAUSE POTENTIELLE DU DEPERISSEMENT	Remarques	Infos manquantes		
Cupressus arizonica	I6	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement à cause armillaire)	0	0	0	0	oui	verglas, neiges lourdes	armillaire	?	0	sensibilité armillaire, sensibilités, armillaire		0		
Cupressus arizonica	J1	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	0	oui	verglas, neiges lourdes	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités		0		
Cupressus sempervirens	F17	perte de vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	oui	froid, gels	0	adulte jeune	0	sensibilité armillaire, sensibilités		0		
Cydonia	Q21	abattu (expertise 2011)	hydromorphie, tolérance carb, climat, expositions	0	0	0	0	0	?	?	?	?		oui		
Fraxinus ornus	M1	perte de vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	0	climat, expo mi-ombre	0	adulte jeune	0	sensibilités		0		
Gleditsia triacanthos	F40	abattu (constatation 2014)	expo soleil	0	0	0	0	0	gels printaniers	0	adulte jeune	0	blessure et maladie	oui		
Gleditsia triacanthos	G6	dépérissement (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	expo soleil	0	0	0	0	0	0	carpophore collet	adulte mûr	0	blessure et maladie	oui		
Gleditsia triacanthos	Q10	abattu (expertise 2011)	expositions	0	0	0	0	0	?	?	?	?		oui		
Halesia monticola	H3	abattu (constatation 2014, en 2011 jeune peu poussant)	climat, expositions	0	0	0	0	0	situations extrêmes	0	jeune	0	sensibilités	oui		
Juniperus drupacea	O34	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement)	climat, expositions	0	0	0	0	0	0	0	jeune adulte	0	?	oui		
Koelreuteria paniculata	G22	abattu (expertise 2011)	expo mi-ombre, ombre	0	0	0	0	climat	0	gels tardifs	?	?	?	sensibilités	oui	
Larix decidua	R1	abattu (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	expositions	0	0	0	0	climat	0	oui	gels printaniers, pollution	Ganoderma adspersum(attaque après blessure)	?	0	facteur inadapté, sensibilité armillaire, sensibilités, blessure et maladie	oui
Liriodendron tulipifera	J10	dépérissement (expertise 2011)	0	0	0	0	0	0	0	gels tardifs	0	adulte mûr	0	sensibilités	0	

Liriodendron tulipifera	K6	dépérissement (expertise 2011), peut-être armillaire (expertise 2013)	0	0	0	0	0	gels tardifs	armillaire ?	mature	0	sensibilités, armillaire ?		0
Magnolia x soulangeana	K5	abattu (expertise 2012, armillaire)	0	0	0	0	0	gels	carie sur axe et perte vigueur sur cet axe en 2011, armillaire	adulte mûr	0	facteur inadapté, sensibilités, blessure et maladie, armillaire		oui
Malus domestica	J3	perte de vigueur (constatation 2014)	0	0	0	0	0	0	0	adulte mûr	0	?	manque info	oui
Morus alba	C25	dépérissement peut-être armillaire (expertises 2011 et 2013)	0	0	0	0	0	0	armillaire ?	adulte jeune	0	sensibilité armillaire, armillaire ?		oui
Morus alba	G35	perte de vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	0	0	0	?	0	sensibilité armillaire		oui
Morus alba	G37	dépérissement	0	0	0	0	0	0	0	jeune adulte	0	sensibilité armillaire		oui
Paulownia tomentosa	R18	dépérissement (expertise 2011)	0	0	0	0	0	gels tardifs	compact, tolérance carb.	adulte jeune	0	sensibilités		oui
Paulownia tomentosa	R20	mort (constatation 2014, en 2011 dépérissement)	0	0	0	0	0	gels tardifs	tolérance carb.	carie interne en 2011	adulte mûr	0	sensibilités, blessure et maladie	oui
Pinus nigra ssp. Laricio	F27	perte de vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	0	grands froids		adulte mûr	0	sensibilités		oui
Pinus nigra ssp. Laricio	F28	perte de vigueur (expertise 2011)	0	0	0	0	0	grands froids	<i>Shaeropsis sapinea</i> ?	adulte mûr	0	sensibilités, blessure et maladie		oui
Pinus nigra ssp. Laricio	F31	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	0	0	grands froids		adulte mûr	0	sensibilités		oui
Pinus nigra ssp. Laricio	F33	perte de vigueur (expertise 2013, <i>Shaeropsis sapinea</i> ?)	0	0	0	0	0	grands froids	<i>Shaeropsis sapinea</i> ?	adulte mûr	0	sensibilités, blessure et maladie		oui
Pinus nigra ssp. Laricio	F37	perte de vigueur (expertise 2013, <i>Shaeropsis sapinea</i> ?)	0	0	0	0	0	grands froids	<i>Shaeropsis sapinea</i> ?	adulte mûr	0	sensibilités, blessure et maladie		oui
Pinus nigra ssp. Nigra	F4	perte de vigueur (expertise 2013)	0	0	0	0	0	0	<i>Shaeropsis sapinea</i> ?	adulte mûr	0	blessure et maladie		0
Pinus nigra ssp. Nigra	F5	perte de vigueur (expertise 2013)	0	0	0	0	0	0	<i>Shaeropsis sapinea</i> ?	adulte mûr	0	blessure et maladie		0
Pinus nigra ssp. Nigra	F12	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement)	0	0	0	0	0	0	0	adulte jeune	0	?		0

Essence	No	Etat	info indisponibles	info contradictoire	facteurs inadaptés	facteurs assez adaptés	sensibilité à l'armillaire	sensibilités aux aléats climatiques	blessures et agresseurs biotiques	stade développement	concurrence	CAUSE POTENTIELLE DU DEPERISSEMENT	Remarques	Infos manquantes
Pinus pinea	E13	abattu(constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	expositions	0	0	tolérance carb.	0	froid et neige	0	mature	0	sensibilités		oui
Populus nigra	C39	mort (constatation 2014)	expositions	0	0	0	0	0	gui, carie, pourriture sur collet en 2011	mature	0	blessure et maladie		oui
Populus simonii	O18	abattu (expertise 2011)	expositions	0	0	0	0	gels tardifs	?	?	?	sensibilités		oui
Prunus okame	E4	abattu (constatation 2014)	expo ombre	0	0	0	0	grands froids, grandes chaleurs	0	jeune	0	sensibilités		oui
Prunus padus	E14	abattu (expertise 2011)	expositions	tolérance carb.	0	0	0	0	?	?	?	?		oui
Pseudotsuga menziesii	D18	dépérissement (expertise 2012)	0	0	compact, tolérance carb.	0	oui	gels tardifs, longue chaleur	0	adulte mûr	0	facteurs inadaptés, sensibilités armillaire, sensibilités		0
Pterocarya fraxinifolia	O25	abattu (expertise 2011)	0	0	0	0	0	gels tardifs	?	?	?	sensibilités		oui
Pterocarya stenoptera	M4	perte de vigueur(expertises 2011 et 2013, en 2011 perte de vigueur)	climat	0	0	0	0	0	nécrose, carie, amadouvier	adulte mûr	0	blessure et maladie		oui
Quercus alba	C1	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	tolérance carb., climat	0	situations extrêmes	0	adulte mûr	oui	sensibilités, concurrence		0
Quercus imbricaria	C9	abattu (constatation 2014, en 2011 bon état)	expositions	0	0	tolérance carb.	0	gels tardifs	?	jeune	0	sensibilités		oui
Quercus macrocarpa	R9	dépérissement (constatation 2014)	expo soleil	0	climat	0	0	hivers rigoureux	blessure et carie tronc 2011	adulte mûr	0	facteur inadapté, sensibilités, blessure et maladie	manque info	oui
Quercus robur	C4	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement)	0	0	0	0	oui	0	Ganoderma adspersum (attaque après blessure)	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités, blessure et maladie		0
Quercus robur	C7	dépérissement (expertise 2011)	0	0	0	0	oui	0	Ganoderma adspersum (attaque après blessure)	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités, blessure et maladie		0

Quercus robur	C8	dépérissement (constatation 2014)	0	0	0	0	oui	0	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités	0
Quercus rubra	C13	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement à cause armillaire)	0	0	tolérance carb.	expo mi-ombre	oui	0	armillaire	adulte mûr	0	facteur inadapté, sensibilité armillaire	0
Quercus rubra	O7	perte de vigueur (expertise 2011)	0	0	tolérance carb.	expo mi-ombre	oui	0	0	adulte mûr	0	facteur inadapté, sensibilité armillaire, blessure et maladie	0
Quercus suber	L4	abattu (expertise 2011)	expositions	0	tolérance carb.	climat	oui	grands froids	?	?	?	facteur inadapté, sensibilité armillaire, sensibilités	oui
Robinia pseudoacacia	D22	abattu (constatation 2014)	expo ombre	expo mi-ombre	0	0	0	0	0	adulte jeune	oui	blessure et maladie, concurrence	oui
Salix alba	Q28	abattu (expertise 2011)	expositions	0	0	0	oui	0	?	?	?	sensibilité armillaire	oui
Sequoia sempervirens	D15	dépérissement (expertise 2012, en 2011 perte de vigueur)	expo mi-ombre	0	0	tolérance carb.	oui	grands froids, gels tardifs et précoces	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités	oui
Sequoia sempervirens	Q13	abattu (expertise 2013)	expo mi-ombre	0	0	0	oui	grands froids, gels tardifs et précoces	?	?	0	sensibilité armillaire, sensibilités	oui
Sequoiadendron giganteum	I1	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement à cause armillaire)	0	0	0	tolérance carb.	oui	gels tardifs	armillaire	mature	0	sensibilité armillaire, sensibilités, armillaire	0
Sophora japonica	G1	en déclin (expertise 2011)	0	0	0	climat	0	0	0	mature	0	?	0
Taxus baccata	M14	perte de vigueur (constatation 2014)	0	0	0	0	0	hivers rigoureux	0	adulte jeune	oui	sensibilités, concurrence	0
Taxus baccata	M22	abattu (expertise 2011)	0	0	0	0	0	hivers rigoureux	?	?	?	sensibilités	oui
Taxus baccata	M23	abattu (expertise 2011)	0	0	0	0	0	hivers rigoureux	?	?	?	sensibilités	oui
Taxus baccata	O11	abattu (expertise 2011)	0	0	0	0	0	hivers rigoureux	?	?	?	sensibilités	oui
Taxus baccata	O19	mort (constatation 2014, en 2012 dépérissement, suspicion armillaire)	0	0	0	0	0	hivers rigoureux	armillaire ?	adulte mûr	0	sensibilités, armillaire ?	0

Essence	No	Etat	info indisponibles	info contradictoire	facteurs inadaptés	facteurs assez adaptés	sensibilité à l'armillaire	sensibilités aux aléats climatiques	blessures et agresseurs biotiques	stade développement	concurrence	CAUSE POTENTIELLE DU DEPERISSEMENT	Remarques	Infos manquantes
Thuja orientalis	F10	dépérissement (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	0	0	0	climat	0	0	0	adulte jeune	0	?		0
Thuja orientalis	F11	perte de vigueur (expertise 2011)	0	compact	0	climat	0	0	0	adulte jeune	0	?		oui
Thuja orientalis	F12	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement)	0	0	0	climat	0	0	0	adulte jeune	0	?		0
Thuja orientalis	F13	perte de vigueur (expertise 2011)	0	0	0	climat	0	0	0	adulte jeune	0	?		0
Thuja orientalis	F14	dépérissement (constatation 2014)	0	compact	0	climat	0	0	0	adulte jeune	0	?		oui
Thuja plicata	O34	abattu (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	0	0	0	0	oui	gelées précoces	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités		0
Thuja plicata	R17	dépérissement (expertise 2011)	0	0	0	tolérance carb.	oui	gelées précoces	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités		0
Tilia platyphyllos	A19	galle (constatation 2014)	0	0	0	0	0	gels tardifs	0	adulte mûr	0	sensibilités, blessure et maladie		0
Tilia platyphyllos	A29	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement, peut-être armillaire)	0	0	0	0	0	gels tardifs	pourriture (peut-être armillaire)	adulte mûr	0	sensibilités, armillaire ?		0
Tilia tomentosa	A28	perte de vigueur (expertise 2011, suspicion infection armillaire)	0	0	0	0	0	0	armillaire ?	mature	0	armillaire ?		0
Toona sinensis	F43	abattu (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	expositions	0	0	0	0	0	armillaire ?	adulte mûr	0	armillaire ?		oui
Torreya californica	C28	abattu (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur, peut-être armillaire)	tolérance carb, expositions	0	0	climat	0	gels (jeune sujet)	p-ê armillaire	jeune adulte	0	sensibilités, blessure et maladie, armillaire ?		oui
Tsuga canadensis	O10	dépérissement (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	climat	0	0	expo ombre	oui	0	0	jeune adulte	0	sensibilité armillaire		oui

Ulmus americana	B6	abattu (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur)	expositions	0	0	0	0	0	Oxyporus suite à blessure	mature	0	blessure et maladie	oui
Ulmus x hollandica	C24	perte de vigueur (expertise 2011, armillaire ?)	climat	0	0	0	0	0	armillaire ?	adulte mûr	0	armillaire ?	oui
Ulmus carpinifolia	C36	perte de vigueur (expertise 2011, suspicion armillaire)	climat, expo soleil	0	0	0	0	0	armillaire ?	adulte jeune	0	armillaire ?	oui
Ulmus minor	C37	mort (constatation 2014)	expositions, climat	0	0	0	oui	gels tardifs	0	adulte mûr	oui	sensibilité armillaire, sensibilités, blessure et maladie, concurrence	oui
Wollemia nobilis	P4	abattu (expertise 2011)	expositions	0	climat	0	0	0	?	?	?	facteur inadapté	oui

Le Ganoderme et l'amadouvier diminuent la résistance mécanique du bois, ce qui peut indirectement fragiliser l'arbre face à l'armillaire. Mais ils ne le rendent pas directement sensible à une attaque d'armillaire.

TOTAL	58	13	14	32	32	62	62	9	15	64
-------	----	----	----	----	----	----	----	---	----	----

(sachant qu'il manque parfois des informations pour la sensibilité à l'armillaire, les blessures et les agresseurs biotiques ainsi que la concurrence)

(nombre d'essences sans cause de dépérissement)

Conclusions	
Nb arbres mauvais état	109
% arbres facteurs inadaptés	13
% arbres sensibles armillaire	29
% arbres sensibilités aux aléats climatiques	57
% arbres blessés, agresseurs biotiques	57
% arbres concurrence assez forte	8,3

Annexe 15

Test de comparaison des proportions

Nous voulons voir si la proportion de tous les arbres ayant subi un facteur potentiel de dépérissement X est la même que la proportion des arbres sans informations manquantes ayant subi le facteur potentiel de dépérissement X. Nous allons dans cet exemple comparer les proportions pour le facteur potentiel de dépérissement « blessures, agresseurs biotiques ».

Soit p_1 : la proportion de tous les arbres ayant subi « blessures, agresseurs biotiques ».

Soit p_2 : la proportion des arbres sans informations manquantes ayant subi « blessures, agresseurs biotiques ».

Notre hypothèse à tester : $H_0 : p_1 = p_2$

Si H_0 n'est pas confirmée, $H_1 : p_1 \neq p_2$.

Soit f_1 le pourcentage de tous les arbres ayant subi « blessures, agresseurs biotiques », f_2 le pourcentage des arbres sans informations manquantes ayant subi « blessures, agresseurs biotiques ».

$$f_1 = 57\%$$

$$f_2 = 40\%$$

Soit n_1 le nombre de tous les arbres en mauvais état, n_2 le nombre d'arbres sans informations manquantes en mauvais état.

$$n_1 = 109$$

$$n_2 = 42$$

La variance de la différence est :

$$P = (f_1 \cdot n_1 + f_2 \cdot n_2) / (n_1 + n_2)$$

$$P = (109 \cdot 0.57 + 42 \cdot 0.4) / (109 + 42)$$

$$P = 0.5227152318$$

La variable aléatoire de test est :

$$T = (f_1 - f_2) / \sqrt{p(1-p) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

$$T = (0.57 - 0.4) / \sqrt{0.5227152318 \cdot (1 - 0.5227152318) \cdot \left(\frac{1}{109} + \frac{1}{42} \right)}$$

$$T = 1.87$$

Nous devons comparer la valeur absolue de la variable aléatoire de test T au quantile $q(1 - \alpha/2)$ de la loi normale centrée réduite dont une valeur approchée est 1.96 pour le seuil du test $\alpha = 0.05$.

Ici $|T|=1.87$. Donc $|T|<1.96$. On confirme l'hypothèse H_0 .

Le test est valide si :

$$n_1 * f_1 \geq 5, n_2 * f_2 \geq 5, n_1 * (1-f_1) \geq 5, n_2 * (1-f_2) \geq 5$$

Dans notre cas, nous avons :

$$109 * 0.57 = 62.13$$

$$42 * 0.40 = 16.8$$

$$109 * 0.43 = 46.87$$

$$42 * 0.60 = 25.2$$

Les résultats sont toujours supérieurs à 5, donc le test est valide.

La proportion de tous les arbres ayant subi « blessures, agresseurs biotiques » est la même que la proportion des arbres sans informations manquantes ayant subi ce même facteur. La différence des pourcentages étant la plus élevée pour « blessures, agresseurs biotiques », nous pouvons affirmer que les proportions pour les autres facteurs potentiels de dépérissement sont les mêmes que ce soit pour tous les arbres en mauvais état que pour les arbres sans informations manquantes en mauvais état.

Dans un second temps, nous voulons voir si la proportion d'arbres en bon état victimes d'un facteur potentiel de dépérissement X est la même que la proportion d'arbres en mauvais état victimes du facteur X, ou si elle est plus petite. Si elle est plus petite, nous ferons l'hypothèse suivante : le facteur potentiel de dépérissement X est un facteur de dépérissement significatif au sein de l'arboretum. Nous allons dans cet exemple comparer le facteur « blessures, agresseurs biotiques » pour les arbres en bon état et ceux en mauvais état.

Soit p_1 la proportion d'arbres en bon état victimes de « blessures, agresseurs biotiques ».

Soit p_2 la proportion d'arbres en mauvais état victimes de « blessures, agresseurs biotiques ».

Notre hypothèse à tester est $H_0 : p_1 = p_2$

Sinon $H_1 : p_1 < p_2$

Soit f_1 le pourcentage d'arbres en bon état ayant subi « blessures, agresseurs biotiques », f_2 le pourcentage d'arbres en mauvais état ayant subi « blessures, agresseurs biotiques ».

$$f_1 = 13\%$$

$$f_2 = 57\%$$

Soit n_1 le nombre d'arbres en bon état, n_2 le nombre d'arbres en mauvais état.

$$n_1 = 268$$

$$n_2 = 109$$

La variance de la différence est :

$$P = (f_1 * n_1 + f_2 * n_2) / (n_1 + n_2)$$

$$P = (0.13 \cdot 268 + 0.57 \cdot 109) / (268 + 109)$$

$$P = 0.2572148541$$

La variable aléatoire de test est :

$$T = (f_2 - f_1) / \sqrt{p(1-p) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

$$T = (0.57 - 0.13) / \sqrt{0.2572148541 \cdot (1 - 0.2572148541) \cdot \left(\frac{1}{268} + \frac{1}{109} \right)}$$

$$T = 8.86$$

Nous devons comparer T au quantile q (1-alpha) de la loi normale centrée réduite donc q 0.95 qui vaut environ 1.645. Nous avons bien $T > 1.645$. Donc on rejette l'hypothèse H0.

Le test est valide si :

$$n_1 \cdot f_1 \geq 5, n_2 \cdot f_2 \geq 5, n_1 \cdot (1 - f_1) \geq 5, n_2 \cdot (1 - f_2) \geq 5$$

Dans notre cas, nous avons :

$$268 \cdot 0,13 = 34,84$$

$$109 \cdot 0,57 = 62,13$$

$$268 \cdot 0,87 = 233,16$$

$$109 \cdot 0,43 = 46,87$$

Les résultats sont toujours supérieurs à 5, donc le test est valide.

Donc $p_1 < p_2$, autrement dit la proportion d'arbres en bon état victimes du facteur potentiel de dépérissement « blessures, agresseurs biotiques » est inférieure à la proportion d'arbres en mauvais état victimes de « blessures, agresseurs biotiques ». Nous faisons alors l'hypothèse suivante : « blessures, agresseurs biotiques » est un facteur de dépérissement dans l'arboretum du Jardin Botanique de Tours.

Nous répétons l'hypothèse pour tous les facteurs de dépérissement en comparant la proportion d'arbres en bon état et la proportion d'arbres en mauvais état. Dans le cas des dépérissements en général dans l'arboretum, le facteur de dépérissement « blessures, agresseurs biotiques » est un facteur de dépérissement significatif au sein de l'arboretum. La sensibilité à l'armillaire semble également être un facteur de dépérissement significatif au sein de l'arboretum, mais puisque tous les arbres ne dépérissent pas à cause de l'armillaire, nous n'en tiendrons pas compte dans cette partie des résultats.

Annexe 16

Carte de localisation confirmée de l'armillaire



- Arbres atteints d'*Armillaria mellea* d'après rapport d'expertise 2011
- Arbres probablement atteints d'*Armillaria mellea* d'après rapport d'expertise
- Arbres atteints d'*Armillaria mellea* d'après rapport d'expertise 2012
- Arbres probablement atteints d'*Armillaria mellea* d'après rapport d'expertise 2012
- Arbres atteints d'*Armillaria mellea* d'après rapport d'expertise 2013
- Arbres probablement atteints d'*Armillaria mellea* d'après rapport d'expertise
- Arbres atteints d'armillaire d'après analyse 2014

- Arbres dépérissants ou abattus, dont les racines sont en contact avec *Armillaria mellea*. Ces arbres n'ont aucune sensibilité particulière connue, ne subissent pas de concurrence et se développent dans un milieu adapté
- Arbres dépérissants ou abattus, dont les racines sont en contact avec *Armillaria mellea*. Ces arbres ont des sensibilités à l'armillaire, aux extrêmes climatiques, subissent une concurrence ou se développent dans un milieu non adapté
- A Zones où *Armillaria mellea* retrouvée en automne 2013

Annexe 17

Liste des arbres atteints de l'armillaire dans l'arboretum et les facteurs potentiels de dépérissement par l'armillaire dont ils pourraient être victimes

Essence	No	Etat	informations indisponibles	informations contradictoires	facteurs inadaptés	facteurs assez adaptés	sensibilité à l'armillaire	sensibilités aux aléas climatiques	blessures et agresseurs biotiques autre que armillaire	stade développement	concurrence	FACTEURS POTENTIELS DE DEPERISSEMENT PAR L'ARMILLAIRE	Infos manquantes
Abies grandis	Q16	mort armillaire (constatation 2014)	0	hydromorphie	0	0	oui	gels printaniers	0	adulte jeune	0	sensibilité armillaire, sensibilités	oui
Acer platanoides	G23	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement, en 2012 cause armillaire)	0	0	0	0	0	0	0	adulte mûr	0	?	0
Acer negundo	C30	perte de vigueur (expertise 2011, suspicion armillaire)	expo mi-ombre	0	0	0	0	0	0	adulte mûr	0	?	oui
Acer x martinii	A17	dépérissement (expertise 2011, peut-être armillaire)	tolérance carb., expositions	0	0	0	0	0	fissure sur tronc	adulte mûr	0	blessure et maladie	oui
Chamaecyparis lawsoniana	K4	armillaire (constatation 2014)	exposition soleil	tolérance carb.	0	0	0	gels	0	adulte mûr	0	?	oui
Corylus colurna	C18	C18 dépérissement, suspicion infection armillaire (expertise 2011)	0	0	0	0	oui	hivers rigoureux	0	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités	0
Cryptomeria japonica	I5	dépérissement (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur, sûrement armillaire)	expositions	0	0	tolérance carb.	oui	gels, grands froids	nécrose	adulte mûr	0	sensibilité armillaire, sensibilités, blessure et maladie	oui
Cupressus arizonica	I6	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement à cause armillaire)	0	0	0	0	oui	verglas, neiges lourdes	0	?	0	sensibilité armillaire, sensibilités	0
Liriodendron tulipifera	K6	dépérissement (expertise 2011), peut-être armillaire (expertise 2013)	0	0	0	0	0	gels tardifs	0	mature	0	sensibilités	0
Magnolia x soulangeana	K5	abattu (expertise 2012, armillaire)	expositions	0	tolérance carb.	0	0	gels	carie sur axe et perte vigueur sur cet axe en 2011	adulte mûr	0	facteur inadapté, sensibilités, blessure et maladie	oui
Morus alba	C25	dépérissement peut-être armillaire (expertises 2011 et 2013)	expo mi-ombre	0	0	0	oui	0	0	adulte jeune	0	sensibilité armillaire	oui
Quercus rubra	C13	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement à cause armillaire)	0	0	tolérance carb.	expo mi-ombre	oui	0	0	adulte mûr	0	facteur inadapté, sensibilité armillaire	0

Sequoiadendron giganteum	I1	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement à cause armillaire)				tolérance carb.	oui	gels tardifs	0	mature	0	sensibilité armillaire, sensibilités	0		
Taxus baccata	O19	mort (constatation 2014, en 2012 dépérissement, suspicion armillaire)				0	0	hivers rigoureux	0	adulte mûr	0	sensibilités	0		
Tilia platyphyllos	A29	abattu (constatation 2014, en 2011 dépérissement, peut-être armillaire)				0	0	gels tardifs	0	adulte mûr	0	sensibilités	0		
Tilia tomentosa	A28	perte de vigueur (expertise 2011, suspicion infection armillaire)				0	0	0	0	mature	0	?	0		
Torreya californica	C28	abattu (constatation 2014, en 2011 perte de vigueur, peut-être armillaire)	tolérance carb, expositions			0	0	climat	0	gels (jeune sujet)	0	jeune adulte	0	sensibilités, blessure et maladie	oui
Ulmus carpinifolia	C36	perte de vigueur (expertise 2011, suspicion armillaire)	climat, expo soleil			0	0	0	0	adulte jeune	0	?	0	oui	
Ulmus x hollandica	C24	perte de vigueur (expertise 2011, armillaire ?)	climat			0	0	0	0	adulte mûr	0	?	0	oui	

TOTAL 9 2 2 4 7 11 3 0 6 10
(sachant qu'il manque parfois des informations pour la sensibilité à l'armillaire et les sensibilités aux aléats climatiques) (nombre d'essences sans cause de dépérissement)

11 arbres sont atteints par l'armillaire, alors qu'ils sont dans un milieu adapté à leurs besoins autécologiques et ne sont pas réputés sensibles à l'armillaire.

Préconisations paysagères pour les nouvelles plantations au Jardin Botanique de Tours

Date : jeudi 19 juin à 8h30

Personnes présentes : Jac Boutaud, Christine Chasseguet, Sara Ghassab, Alicia Hautebois, Philippe Herlin, Laurent Martin, Sylvie Saulnier.

Les points traités dans ce document sont positionnés sur une carte à la suite du compte-rendu.

POINT 1 : Planter un nouvel arbre signal de collection au niveau du *Cryptomeria japonica* qui a été coupé permettrait un dialogue entre l'entrée principale du Jardin Botanique et la façade du bâtiment des anciens bureaux. Le bâtiment des anciens bureaux doit être plus entouré de plantes pour être mis en valeur. L'aspect de petit bosquet formant une clairière autour du point d'eau entouré de plantes à l'entrée principale du Jardin Botanique doit être entretenu.

POINT 2 : Le vide à cet emplacement invite les visiteurs du Jardin à s'installer sur la pelouse alors qu'elle est interdite. Pour éviter cela, ce vide doit être comblé.

POINT 3 : Dans l'Arboretum, le regard doit pouvoir aller loin et ne pas être bloqué par un obstacle. Or à cet emplacement, il s'avère impossible de voir l'allée en face. Une remontée des couronnes des arbres peut peut-être y remédier.

Le lien entre le vieux *Pterocarya* et le Frêne à fleurs (qui régresse) doit être repensé.

En face, de l'autre côté de l'allée, à la place de l'ancien Orme d'Amérique, le vide doit être comblé. La repousse de l'Orme est trop proche du mur. Elle devrait être plus proche de l'allée, dans la continuité de l'alignement entre le Tilleul Argenté et le Hêtre Pourpre (boutures Guéméné).

Des feuillus de composition à feuillage léger pourraient être disposés le long du mur (par exemple, *Cladrastris lutea*).

Le Cèdre du Chili (*Austrocedrus chilensis*) devant le bassin des tortues d'eau, à côté de l'Arbre à Caramel (*Cercidiphyllum japonicum*) est un arbre remarquable. Pourtant il ne communique pas du tout avec le *Cercidiphyllum* ce qui le dévalorise. Il faut donc faire cohabiter ces deux arbres, par exemple en remontant la couronne du Cèdre.

POINT 4 : Il faudrait améliorer la transparence des *Crataegus*. Peut-être faut-il travailler les réitérations ? Les arbustes le long du mur de la rue Saint-François ont triste mine. Les plantations à cet emplacement doivent être modifiées.

POINT 5 : Les très nombreux bambous rendent la traversée de l'île hostile. Retirer des arbres et/ou des bambous inciterait plus le visiteur à traverser l'île.

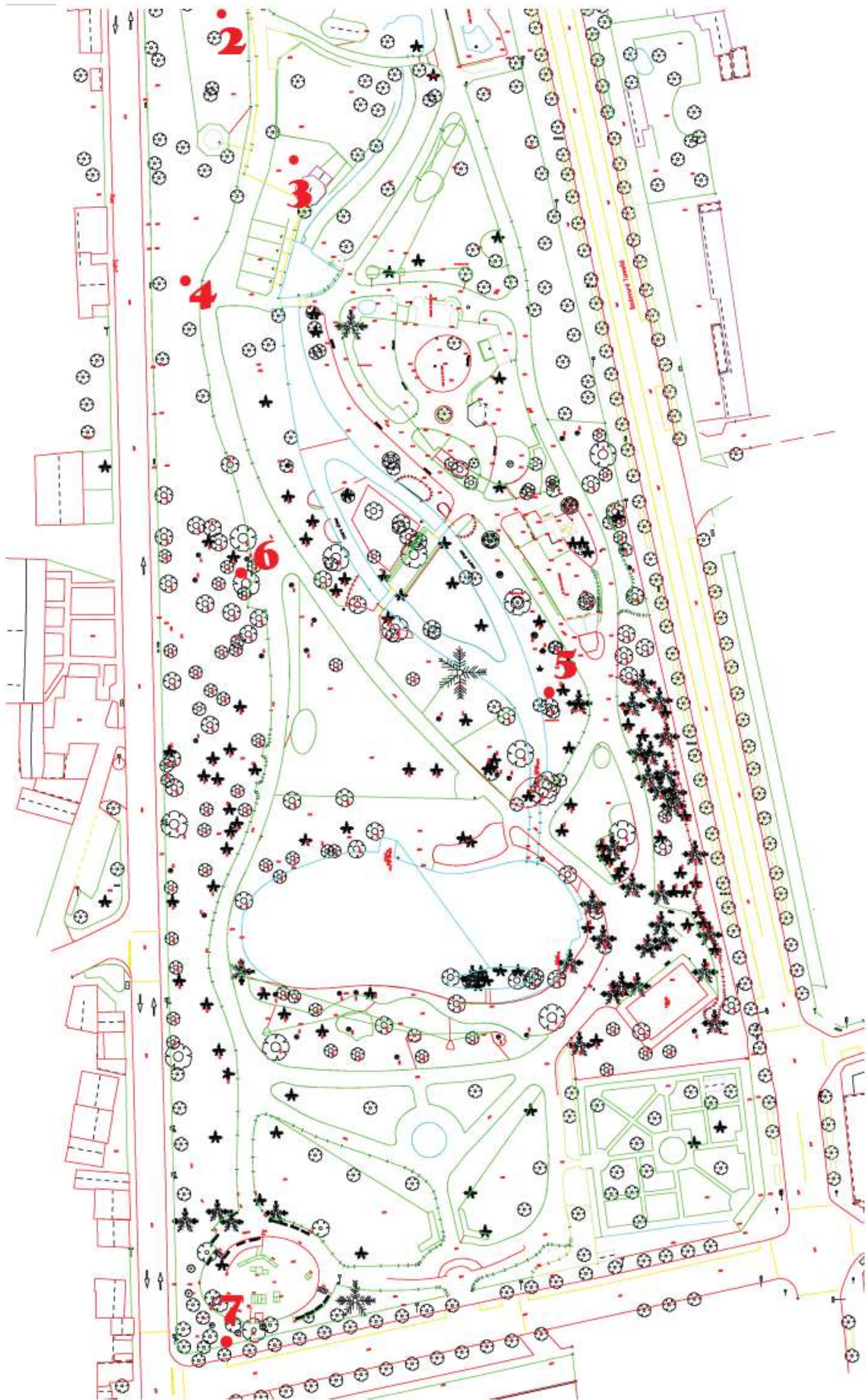
POINT 6 : Le Chêne Pédonculé à cet emplacement va être coupé car il est atteint de l'Armillaire. Le gazon de nos jours est une aberration car ses besoins en arrosage sont énormes. Des couvre-sols correspondraient beaucoup plus au Jardin Botanique. Ils pourraient être disposés en bordure d'allée. Plusieurs couvre-sols sont possibles : Lamier, Lierre, Pachysandra, Pervenche lorsqu'il y a un point d'eau, Heuchère... Le BRF peut être testé. Une idée de répartition des couvre-sols locales serait de les planter là où il y a de l'ombre entre midi et 14h et laisser des surfaces engazonnée aux endroits demeurant en plein soleil.

Pour rester dans les mêmes tons que le Hêtre Pourpre et le Hêtre Tricolore dans cette zone, il faudrait planter un arbre à feuillage sombre, mais pas plus d'un arbre car cela assombrirait trop. Un second Hêtre Pourpre ou autre plante à feuillage pourpre adaptée au milieu pourrait faire l'affaire.

Un grand espace vide se trouve à l'emplacement de la souche du Noisetier de Byzance. Faut-il combler ce vide pour dissuader les gens de s'asseoir et maintenir une homogénéité ou justement rendre cet espace particulier ? Si cette ouverture est préservée, elle pourrait répondre à l'ouverture sur la pelouse en face, de l'autre côté de l'allée.

POINT 7 : Le mur au sud du Jardin près des jeux d'enfants est trop visible et peu esthétique. Il faudrait donc replanter le long de ce mur.

Rétablir les contre-allées offrirait aux visiteurs la possibilité d'explorer davantage de points de vue et d'essences du Jardin Botanique. Cependant, il faut veiller à ne pas les entourer d'arbustes comme auparavant pour éviter de reproduire les anciens problèmes de deal de drogues etc. L'utilisation de terre ou de BRF pour ces contre-allées devrait être testée.



Annexe 19

IDEES D'ESSENCES POUR LES REPLANTATIONS 2014 AU JARDIN BOTANIQUE DE TOURS

La majeure partie des essences suivantes ont été choisies dans les catalogues des pépinières de l'arboretum des Barres et de l'arboretum de la Balaine. Leurs critères de sélection sont :

- leur adéquation à l'ensemble paysager
- leur unicité (ou quasi unicité) au sein du Jardin Botanique
- leur rareté dans nos régions.

Les plantes issues de l'arboretum des Barres sont notées (Bar) et celles issues de l'arboretum de la Balaine sont notées (Bal). Les autres ne sont issus d'aucun des deux catalogues. Il est indispensable de vérifier la résistance de ces essences à l'armillaire et surtout l'adéquation de leurs besoins autécologiques avec le milieu. Ces informations peuvent être demandées aux pépinières. Les sujets doivent également être plantés de telle sorte que la concurrence avec les autres plants est moindre. Ils doivent être sains, jeunes et à racines nues.

POINT 1

Une plante proche du *Cryptomeria japonica* en termes de forme mais différente en termes d'autécologie est préconisée. En effet le *Cryptomeria* était adapté d'un point de vue paysager mais le milieu n'était pas adapté à ses besoins autécologiques. Elle ne doit pas non plus être réputée sensible à l'armillaire. Nous choisirons environ trois plants.

Abies kawakamii (Bar)

Abies recurvata var. *Erneth* (Bar)

Picea asperata var. *Notabilis* (Bar)

Picea brachytilla (Bar)

Picea koraiensis (Bar)

Picea koyamai (Bar)

Picea likiangensis var. *Montigena* (Bar)

Picea polita (Bar)

Picea schrenkiana (Bar)

POINT 2

Un arbre qui comble le vide et qui correspond bien à l'ambiance du lieu devrait être planté. Cela peut être par exemple un feuillu avec une écorce marron clair voire grise. Celui-ci doit atteindre une petite taille à l'âge adulte et accepter un éclairage de mi-ombre. En effet, cet emplacement est situé sous d'autres arbres de grande taille.

Acer macrophyllum (Bar)

Alnus hirsuta var. *Hirsuta* (Bar)

Betula costata (Bar)

Carpinus cordata (Bar)

Kalopanax pictus (Bar)

Phellodendron amurense (Bar)

Quercus cerris

POINT 3

L'idée de rétablir une contre-allée dans la partie ouest de l'arboretum a été évoquée. A cet emplacement, la contre-allée longerait le mur sur lequel des plantes grimpantes pourraient se développer. Les deux jeunes pousses d'orme les plus proches de l'allée principale peuvent donc être préservées. Au bord de l'allée principale peuvent être ajoutées les essences au feuillage léger suivantes :

Cercidiphyllum japonicum (pied femelle en complément du pied mâle déjà présent dans l'arboretum, à vérifier)

Gymnocladus dioicus (pied de sexe opposé au pied de *Gymnocladus* déjà présent dans l'arboretum)

Cladrastis lutea

POINT 4

Il faudrait un grand arbre de la même taille environ que le Hêtre tricolore et le Hêtre pourpre situés à proximité. Son feuillage doit être sombre pour préserver l'ambiance. Lorsque le visiteur se balade sous ces feuillages sombres, il passe ensuite au niveau du point 5 traité par la suite, où le feuillage des arbres est plus clair. Cela forme un contraste de couleurs intéressant.

Fagus sylvatica 'Dawyck Purple' (max.10m donc trop petit) (Bar)

Fagus sylvatica 'Purpurea Pendula' (max. 6m donc trop petit) (Bar)

Fagus sylvatica 'Rohanii' (max 15m donc trop petit) (Bar)

Fagus sylvatica 'Swat Magret' (max. 25m donc parfait) (Bar)

Fagus sylvatica 'Purple Splendeur' (Bal)

Fagus sylvatica 'Red Obelisk' (inconvenient : colonnaire) (Bal)

Fagus sylvatica 'Roseomarginata' (hauteur adaptée) (Bal)

Fagus sylvatica 'Ansoergei' (trop petit) (Bal)

Dans la collection de Crataegus, les quelques sujets encore vigoureux seront préservés, et les autres retirés. Dans une planification future, l'idée d'une collection de Crataegus peut être réalisée à nouveau. Cependant, elle devra prendre place à un autre endroit du Jardin Botanique où le sol, la concurrence et l'attrait paysager sont adaptés aux essences. Dans le futur, la majeure partie des Crataegus et des Chênes à cet emplacement va donc être retirée. Il faudra alors y replanter de nouveaux sujets.

POINT 5

A proximité de ce point, le mur est presque nu et les éléments tels que les fils électriques qui se situent derrière le mur sont assez visibles. Il faut redensifier à cet emplacement mais avec des petits sujets ou un unique sujet comme *Ulmus pumila* 'Sapporo Autumn Gold'.

POINT 6

Le mur derrière les jeux pour enfant n'est pas assez masqué. Il faudrait environ 3 ou 4 arbustes ou plantes grimpantes denses au feuillage sombre à moyen clair, supportant très bien l'ombre.

Osmanthus heterophyllus 'Purpureus' (Bar)

Arbutus unedo 'Quercifolia' (Bar)

Tout autour de l'aire de jeux, il faudrait abattre les résineux dépérissants et replanter au moins 3 grands résineux qui acceptent la concurrence. Il faut veiller à ne pas planter sur des parties du sol compactes. Ou alors, à l'entrée de l'aire de jeux, de part et d'autre du chemin, deux grands feuillus avec des couronnes hautes et des ports larges peuvent être plantés. Cela donnera un effet de « porte d'entrée » de l'aire de jeux, tout en préservant la percée qui éclaire l'aire. Cependant, il faut veiller à ce que les racines n'abîment pas l'aire de jeux, que les branches ne la recouvrent pas trop et ne l'assombrissent. Les arbres ne doivent pas être plantés sous le feuillage de *Quercus macrophylla*, car ce dernier empêcherait la croissance des jeunes plants.

Quercus bicolor (Bal)

Quercus frainetto (Bal)

Quercus shumardii (Bal)

Voici quelques essences peu ou pas existantes dans le Jardin qui peuvent être ajoutées aux précédentes :

Ulmus pumilla 'Sapporo Autumn Gold'

Sciadopitys verticillata

Quercus frainetto

Wollemia nobilis.

Parmi les arbres déjà plantés à l'arboretum, mais dans un état critique ou morts, voici une liste de ceux pouvant être replantés pour l'année 2014 dans la partie ouest de l'arboretum. Ces arbres

- ne sont pas réputés sensibles à l'armillaire,
- il n'y a aucune certitude que leur mauvais état ou leur mort soient dus à l'armillaire dans le Jardin ultérieurement,
- ils sont réputés peu sensibles aux aléas climatiques,
- ils sont adaptés aux conditions pédologiques et climatiques des emplacements.

Ces arbres n'ont pas prospéré dans le Jardin soit parce que leurs besoins autécologiques n'étaient pas adaptés à leur emplacement, ils ont été blessés et/ou malades (d'un autre agent que l'armillaire) ou ils ont subis une trop forte concurrence.

Acer pseudoplatanus

Cydonia

Gleditsia triacanthos

Populus nigra

Sophora japonica

Toona sinensis

Ulmus americana

Buxus balearica pourraient figurer dans la liste mais a été retirée car les buis sont en ce moment victimes de la pyrale, limiter sa plantation est donc préférable.

IDEES D'ESSENCES POUR LES REPLANTATIONS POUR UN PLAN DE GESTION SUR LES 10 ANS A VENIR
AU JARDIN BOTANIQUE DE TOURS

Deux idées thématiques de replantations dans l'arboretum ont été évoquées pour un plan de gestion sur le long terme.

La première est de replanter des essences d'origine asiatique et des essences d'origine nord américaine. La seconde idée est de replanter des essences dioïques. Il faudrait faire en sorte qu'il y ait dans l'arboretum le pied mâle et le pied femelle d'une même essence. Ces pieds doivent être à des distances peu élevées afin de permettre la pollinisation. Les essences proposées sont les suivantes :

Cephalotaxus fortunei (pied femelle)

Broussonetia papyrifera (pied mâle, à vérifier avec celui déjà présent)

Eucommia ulmoides (sexe à déterminer)

Torreya californica (sexe à déterminer)

Maclura pomifera (un pied de chaque sexe en remplacement de ceux présents qui sont en mauvais état)

Nyssa aquatica (sexe à déterminer, dioïque ou polygamo-dioïque)

Araucaria araucana (pied mâle)

Voici également une liste d'arbres monoïques nécessitant un second individu pour une meilleure fructification :

Amelanchier laevis

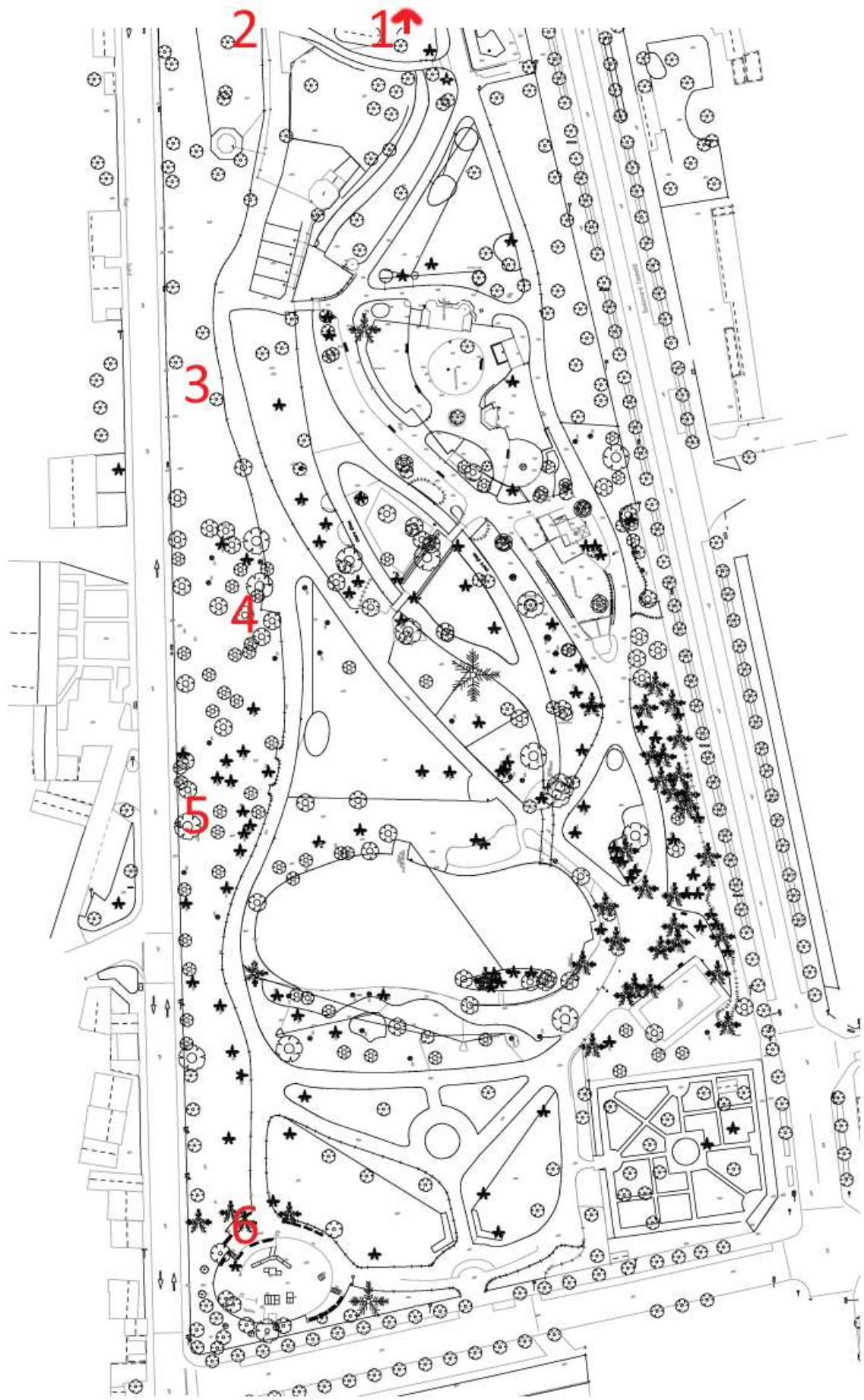
Carya ovata


Celtis australis

Taiwania cryptomerioides

Podocarpus macrophyllus

L'adéquation de ces essences avec des origines correspondant aux thématiques retenues, et surtout leur autécologie et leur résistance à l'armillaire doivent être vérifiées. Elles doivent être intégrées dans le paysage et ne pas subir la concurrence des arbres qui les entourent.



	Diplôme : Ingénieur paysagiste Spécialité : Paysage Spécialisation / option : IE2V / Foresterie Urbaine Enseignant référent : Marie-Reine FLEISCH
Auteur(s) : Sara GHASSAB NOWROUZI Date de naissance* : 16/07/1990	Organisme d'accueil : Ville de Tours Adresse : 1 à 3 rue des Minimes, 37 000 Tours
Nb pages : 42 Annexe(s) : 19	Maître de stage : Jac BOUTAUD
Année de soutenance : 2014	
Titre français : Les replantations de jardins colonisés par l'armillaire : cas du Jardin Botanique de Tours	
Titre anglais : New plantings in gardens colonized with honey fungus : the case of the Botanical Garden of Tours	
Résumé (1600 caractères maximum) : Le Jardin Botanique de Tours souhaite réaliser des replantations en prenant soin d'éviter le dépérissement précoce des nouveaux arbres par l'armillaire couleur de miel. Dans ce mémoire, une étude pédologique a été menée grâce à des sondages à la tarière pédologique, à des analyses d'échantillons de terre en laboratoire et à des fosses creusées à la mini-pelle. Une cartographie du Jardin a ainsi pu être réalisée. Le sol du Jardin est de façon générale assez homogène, avec pour facteur limitant un pH carbonaté. L'autécologie des essences du Jardin a été étudiée et elle est souvent en accord avec le milieu de développement des arbres. Dans un second temps, des facteurs potentiels de dépérissement des arbres ont été listés puis comparés chez les arbres en mauvais état et atteints d'armillaire et les arbres en bon état. Il semblerait que le facteur de dépérissement le plus significatif au Jardin Botanique chez les arbres en général soit les blessures et/ou les agresseurs biotiques. Le facteur principal de dépérissement par l'armillaire d'un arbre serait sa réputation comme sensible à l'armillaire. Les principales recommandations pour les nouvelles plantations est le choix d'essences réputées non sensibles à l'armillaire, des sujets jeunes au développement racinaire encore peu établi, ainsi que l'utilisation de plantes couvre-sol et de BRF au pied des arbres. Cette pratique limite le développement de l'armillaire, supprime les possibilités de blessure de collet par la tondeuse à gazon, l'arrosage trop fréquent et le piétinement du sol par le public.	
Abstract (1600 caractères maximum) : The Botanical Garden of Tours would like to renew its tree collection, while avoiding the decline of the new trees because of the honey fungus. In this report, a pedological study has been done thanks to soundings with a pedological auger, tests in laboratory on soil samples and pits dig with an excavator. Soil cartography has been made. The Garden soil is mostly homogeneous, with only one limiting factor: the alkaline pH. The autoecology of the varieties of the Garden has been studied and the development environment of the trees is generally adapted to their autoecological needs. Secondly, a list of the potential decline factors of trees has been drawn up. These factors have been then compared for trees in bad shape or trees with honey fungus and trees in good shape. The principal decline factor in the Botanical Garden seems to be the wounds and/or the biotic attackers, whereas the principal cause of the decline of a tree because of the honey fungus is its reputation as sensitive to the honey fungus. The main recommendations for the new plantings are the choice of varieties that are known as not sensitive to the honey fungus and young trees with a little constituted root development. The use of ground-cover plants and RCW (Ramial Chipped Wood) is also recommended to limit the honey fungus development, to avoid wounds on the trunk due to the lawn mower, a too frequent watering and stamping by the public.	
Mots-clés : armillaire couleur de miel, pédologie, autécologie, cause de dépérissement, replantation. Key Words: honey fungus, pedology, autoecology, decline cause, new plantings.	

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

Document à déposer sur moodle en format .txt