



**ÉVALUATION DE LA STABILITÉ D'UN PLATANE ET
DES MESURES DE GESTION ADAPTÉES
JARDIN FRANÇOIS SICARD**

RAPPORT DE SYNTHÈSE

INTRODUCTION

Le présent dossier fait état des constats et analyses des mesures et investigations qui ont été effectuées depuis plusieurs années sur le platane n°16612 implanté dans un court alignement monumental sur la marge sud du Jardin François Sicard. Notre démarche s'inscrit à la suite de mesures défavorables mises en évidence sur ce sujet dans le cadre d'un test de traction (ou d'ancrage) en avril 2022. Une campagne de sondages à l'aide d'un resistographe PD400 a été réalisée par nos soins en complément des données précédentes en février 2023. Notre approche vise à prendre en considération l'ensemble des données recueillies sur cet arbre jusqu'à présent et de tenter d'en faire une synthèse afin de définir des modalités de gestion les mieux adaptées à ce contexte urbain relevant d'un niveau de sécurisation très important.

CPDG CONSULT SRL (Paul Gourgue) a réalisé l'ensemble des tests de traction sur le platane et ses voisins. ADRET ENVIRONNEMENT a effectué de son côté les sondages au résistographe et le suivi général de l'arbre, y compris les analyses mycologiques via le laboratoire spécialisé MYCEA . Il est l'auteur du présent dossier en s'appuyant sur les données établies et transmises par CPDG CONSULT SRL qui en assume le recueil et la responsabilité.

II - L'EXPERTISE DES ARBRES

2-1 Le relevé individuel des arbres

Chacun des arbres est décrit sur les plans de la botanique, du stade ontogénique de développement, des principaux défauts constatés sur les plans sanitaires et mécaniques, des interventions de sécurité et de gestion à mettre en oeuvre à court terme. L'état sanitaire et mécanique est appréhendé pour chacun des arbres recensés. Nous avons distingué ces deux aspects compte tenu des enjeux de gestion différents et de l'absence fréquente d'interactions entre ces deux dimensions de la biologie des arbres (un sujet apparemment «sain» peut être fortement fragilisé par un organisme lignivore, et inversement un arbre dépérissant ou affaibli peut présenter des pertes mécaniques limitées).

L'état sanitaire est évalué sur la base des caractéristiques suivantes :

- constat de dépérissements ou d'affaiblissements sur couronnes
- présences de ravageurs affectant directement la physiologie des arbres (champignons et insectes)
- mise en évidence de facteurs abiotiques affectant la physiologie des arbres (produits toxiques, facteurs hydriques, pédologiques et environnementaux)

L'état mécanique est évalué sur la base des caractéristiques suivantes :

- constat de caries ou de lésions susceptibles d'affecter la tenue générale de l'arbre. La profondeur des caries est évaluée à la canne pédologique lorsqu'elles sont accessibles depuis le pied de l'arbre.
- présence d'organismes lignivores (champignons ou insectes) susceptibles d'entraîner des pertes mécaniques sensibles.
- mise en évidence de défauts structurels sur les charpentes pouvant induire des fragilisations mécaniques (écorces incluses, déséquilibres des couronnes, fissures...).

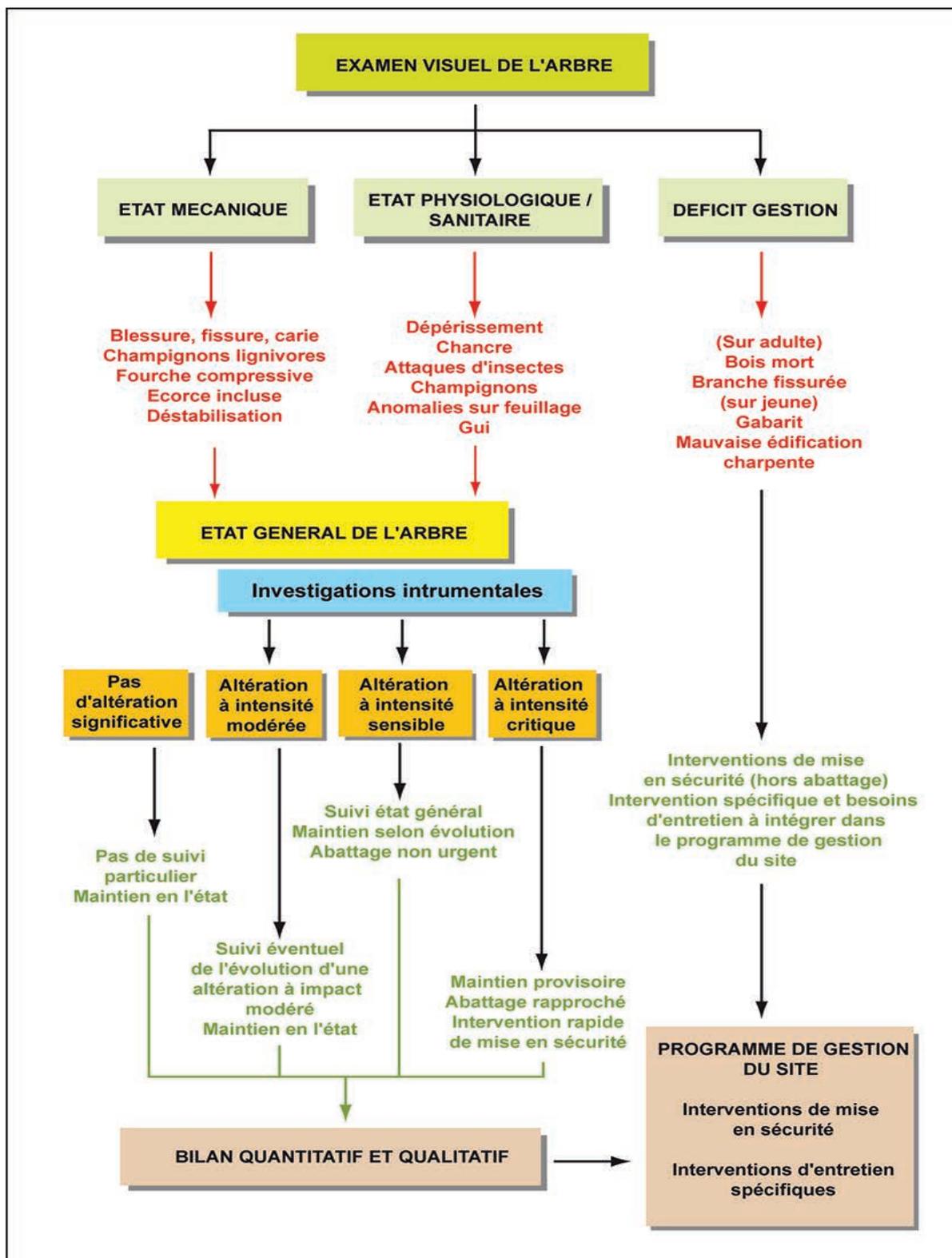
Chacune de ses approches est appréciée en fonction des constats effectués et le cas échéant à l'aide des instruments d'évaluation appropriés (résistographe, marteau à impulsions). On peut ainsi qualifier les différents défauts relevés :

- *absence d'altération ou défaut d'intensité très modérée qui ne remet pas en cause le maintien du sujet ou qui appelle à des interventions ou mesures spécifiques.*
- *altération d'intensité sensible qui peut induire éventuellement une intervention spécifique (hors abattage) de mise en sécurité et dans la plupart des cas un suivi de son évolution.*
- *altération d'intensité forte qui remet en cause le maintien de l'arbre. Ce constat s'accompagne toujours d'au moins une intervention de mise en sécurité rapide voire d'une prescription d'abattage à plus ou moins brève échéance selon la nature des altérations constatées.*

L'expertise réalisée vise à identifier les sujets représentant un risque vis à vis de la sécurité ou des désordres sanitaires sensibles. De manière générale, l'objectif est de détecter et d'évaluer des défauts (physiologiques et/ou mécaniques) sur les arbres et d'en apprécier les conséquences sur le plan de la sécurité publique et de leur maintien à court et moyen termes. Cette approche s'appuie sur la mise en oeuvre de deux types d'investigation sur chacun des arbres inventoriés.

2-2 L'examen visuel

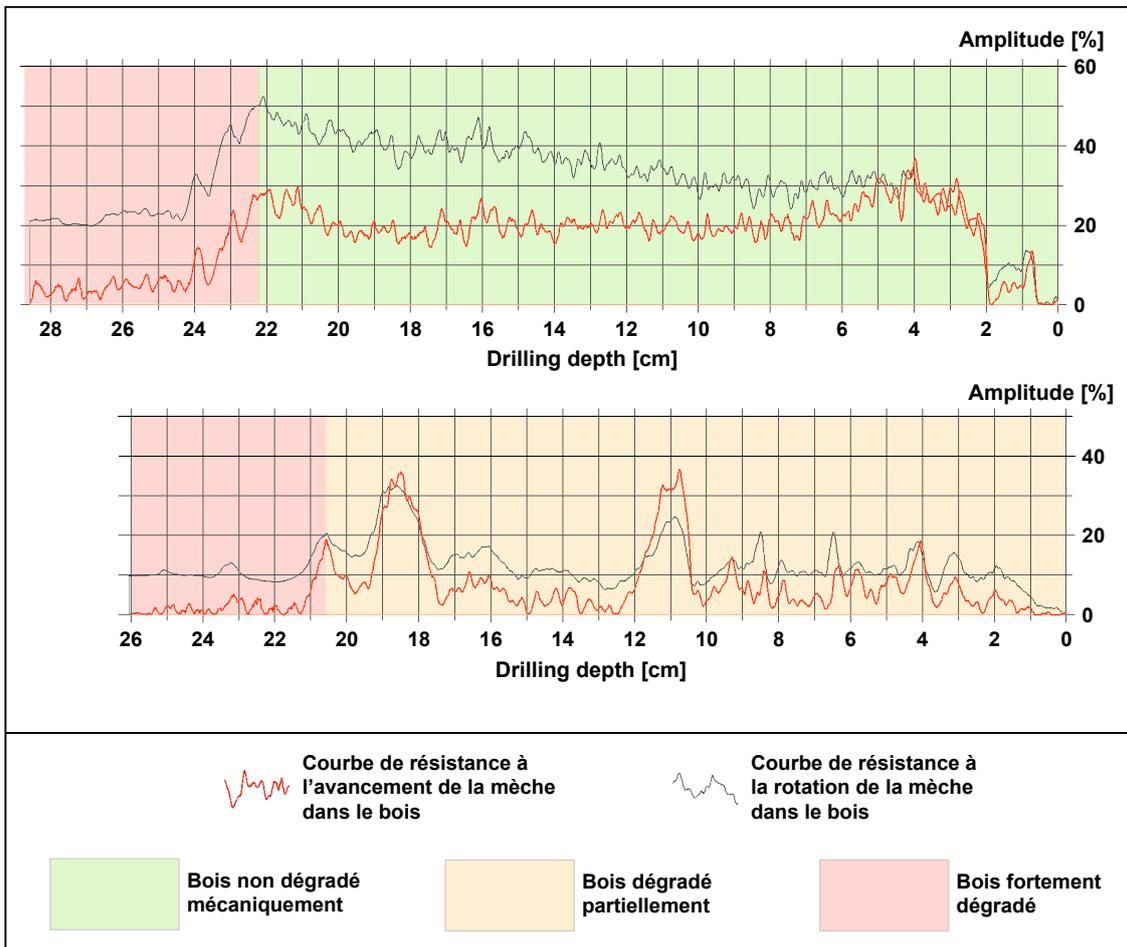
La méthode d'investigation mise en oeuvre consiste à examiner individuellement chacun des arbres. Selon les principes biomécaniques développés par C. Mattheck(*) dans sa méthode VTA (Visual Tree Assessment), l'arbre en présence de défauts perturbant la répartition des contraintes au sein de sa charpente va développer en compensation des quantités de bois plus importantes aux endroits subissant les surcharges. Il s'ensuit la production de déformations spécifiques dont le repérage et l'analyse induisent la mise en évidence de désordres sous-jacents. Une typologie de ces réactions affectant la tenue mécanique a été établie par Mattheck sous forme de renflements, goulots, dépressions et nervures pouvant apparaître sur les différentes parties de la charpente. C'est cette identification qui est la base de l'examen visuel. Parallèlement, la présence de blessures, de branches mortes ou dépérissantes, d'anomalies structurales, de stress, d'attaques de champignons ou d'insectes sont également des indicateurs très importants qu'il convient d'apprécier. La détection de ces défauts entraîne dans un second temps, un examen instrumentalisé plus approfondi destiné à en évaluer les étendues et la gravité. Cette méthode fondamentale dans l'élaboration du diagnostic nécessite cependant de prendre en considération l'état général de l'arbre. Certains sujets très affaiblis peuvent ne pas développer ces réactions dans la mesure où leurs réserves énergétiques sont par trop appauvries.



2-3 L'investigation instrumentalisée

L'appréciation des défauts constatés ou supposés par l'examen visuel nécessite une évaluation de la qualité des tissus internes de l'arbre à l'aide d'instruments appropriés (à impulsions ou à percements). Ils permettent de tester et d'apprécier la qualité des zones internes des branches et des troncs et de mettre en évidence de manière objective des cavités, des poches ou des colonnes de pourriture, mais aussi des fissures ou des éclatements internes. La possibilité de mesurer ou d'évaluer les dimensions et l'étendue de ces désordres nous permet d'établir un diagnostic de tenue mécanique selon les principes exposés ci-après. En ce qui concerne la présente expertise, nous avons employé un Résistographe PD400 IML pour mettre en oeuvre ces investigations.

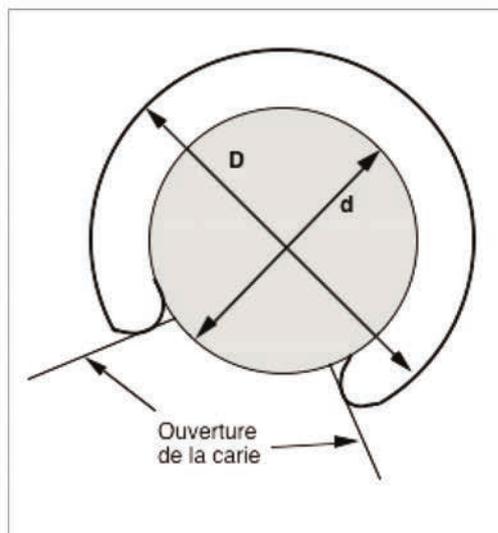
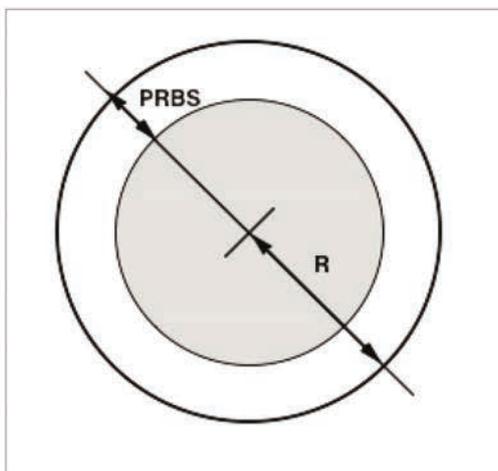
Le résistographe (ou pénétromètre) permet d'apprécier les tissus dégradés par une pourriture ou par une carie interne. La courbe du percement s'accompagne d'une chute sensible tout en indiquant parallèlement l'étendue de cette altération à l'intérieur du tronc ou de la branche inspectés. Les modèles électroniques produisent deux courbes : l'une pour la résistance à l'avancée de la mèche dans le bois, l'autre pour la résistance à la rotation de la mèche dans le bois. C'est la première qui est exploitée pour apprécier l'état du bois et ses dégradations éventuelles.



Le principe du résistographe repose sur la mesure de la résistance au perçage d'une mèche fine (\varnothing 3mm) à travers le bois. Le percement s'accompagne d'un enregistrement sur papier ou numérique (gradué en cm) de la courbe de la résistance du bois au fur et à mesure de l'avancée de la mèche. La rencontre de tissus dégradés par une pourriture ou une carie internes s'accompagne d'une chute sensible sur la courbe tout en indiquant parallèlement l'étendue de cette altération à l'intérieur du tronc ou de la branche. Au delà de la simple mise en évidence de caries ou de pourritures internes, l'interprétation des mesures instrumentalisées des tissus internes repose sur les travaux de A. Shigo et de son modèle CODIT du processus de compartimentation. Selon cette théorie, l'arbre est capable de modifier et d'isoler certains de ses tissus ligneux en présence d'agressions afin de s'en protéger. La compartimentation met en jeu des barrières de défense, isolant les tissus sains des tissus altérés ou agressés. La détermination de ces différentes zones est primordiale pour apprécier l'étendue d'une altération et l'évolution mécanique et physiologique probables de l'arbre à court et moyen terme.

2-4 L'évaluation du risque

Cette évaluation repose d'une part sur l'appréciation de la perte mécanique de la partie de la charpente dégradée et de l'autre par la cible potentielle d'une rupture. Plusieurs auteurs ont proposé des critères indicatifs de l'évaluation de la perte mécanique sur un arbre (Wagener, Smiley, Mattheck...). Ils reposent principalement sur l'établissement d'un rapport entre zones internes lésées et non lésées (rapport t/R). La mesure précise de la partie résiduelle de bois sain (PRBS) est essentielle dans cette démarche. Elle correspond à la production de bois périphérique après isolement par les barrières CODIT des zones lésées ou infectées. Cette première approche peut être complétée et approfondie par d'autres méthodes. La méthode SIA (L. Wessoly) permet d'appréhender la statique de l'arbre sous les contraintes venteuses potentielles à travers les paramètres dendrologiques de la charpente, sa géométrie et les spécificités mécaniques du bois de l'espèce concernée. Des coefficients de sécurité peuvent alors être établis en compléments des données issues de l'approche VTA précédente et fournir des critères d'évaluation supplémentaires concernant le comportement des charpentes sous le vent et les risques de rupture associés.



Après examen de très nombreux cas de casse sur arbres (toutes essences confondues), Mattheck a pu fixer une valeur critique du rapport PRBS/R (R =Rayon du tronc ou de la branche sous écorce).

Celle-ci s'établit de 30% à 32% environ. Sous cette valeur, un risque significatif de casse par flexion est fortement probable.

De manière générale les caries fermées sont considérées comme moins dangereuses que les caries ouvertes.

Pour ces dernières, Mattheck considère le seuil de risque à 33% d'ouverture par rapport à la circonférence de l'organe lésé.

Pour des ouvertures plus réduites, Smiley propose une approche indicative basé sur le principe suivant :

$$\text{Risque} = \frac{d^3 + R(D^3 - d^3)}{D^3}$$

d = diamètre de la carie ou de la colonne de pourriture, D = diamètre de l'arbre, R = ouverture de la carie/circonférence de l'arbre.

La valeur critique a été évaluée à 33%. Les valeurs supérieures sont considérées comme associées à un fort risque de rupture.

Toutes ces approche sont indicatives et il est indispensable de prendre en considération d'autres éléments pour affiner la prise de décision finale. En particulier, parmi les plus importants :

- l'essence et la nature de bois associée,
- la nature de la dégradation (carie, pourriture plus ou moins avancée),
- l'origine et les conditions de l'altération,
- le type et l'écologie des agents responsables de la pourriture.
- la vitalité de l'arbre ,
- le volume de la couronne,
- l'inclinaison de l'organe
- le type de bois concerné par la lésion

Nous évaluons habituellement ces paramètres sur la statique des arbres soumis aux variations de charges induites par les vents sur le site spécialisé Treecalc qui restitue les calculs des seuils de sécurité à partir de la saisie des paramètres relevés sur le terrain. Par ailleurs, des tests de traction (méthode ARBO-DYN) peuvent également être recommandés au gestionnaire lorsqu'une incertitude sensible apparaît sur l'intégrité racinaire des arbres examinés et qu'aucune autre investigation à notre disposition n'est susceptible de l'éclairer. Enfin, des analyses auprès de laboratoires spécialisés sont également mises en oeuvre pour préciser la nature et les facteurs à l'origine de pourritures ou de désordres physiologiques rencontrés.

2-5 La Mise en Oeuvre

Tous les arbres sont examinés individuellement depuis leur pied et toutes les parties visibles sont inspectées visuellement. Les principaux défauts constatés sont répertoriés et lorsqu'ils sont accessibles, évalués par la frappe au maillet ou sondés. La description des altérations s'associe (pour leur localisation) le plus souvent à la hiérarchie des ramifications telle qu'elle est figurée de manière conventionnelle dans la littérature botanique spécialisée. On parle ainsi (hors analyse architecturale proprement dite) d'axes d'ordre 2, 3, 4, etc... selon le positionnement de la branche concernée dans la hiérarchie de la charpente. Cet ordre est structuré et numéroté de la manière suivante : tronc = axe d'ordre 1, branche ramifiée directement sur le tronc = axe d'ordre 2, branche ramifiée sur un axe d'ordre 2 = axe d'ordre 3, etc...). La nacelle mise à notre disposition a été employée pour inspecter et investiguer les parties supérieures des charpentes en fonction des accessibilités et des constats effectués depuis les parties plus basses.

Le résistographe est mis en oeuvre en cas de suspicion de dégradation interne et/ou d'évaluation des parois résiduelles de bois sain à la périphérie des caries ou des poches de pourritures. Concernant la présente expertise, nous avons employé le modèle IML PD400 et l'avons utilisé de manière systématique sur le collet des 2 arbres.

Des difficultés d'accessibilité (physique ou visuelle) à l'examen de certaines parties de la charpente (lierre, implantation contrainte, densité de la végétation environnante, ...) peuvent pondérer nos analyses et diagnostics en limitant les points de vue et d'accès et les observations. Nos réserves concernent également les éventuelles altérations ou désordres non décelables ou manifestés lors de notre passage sur le site et susceptibles d'apparaître après celui-ci (des fructifications de champignons ou des anomalies foliaires ou physiologiques tout particulièrement). Les arbres sont des êtres vivants dont les dynamiques biologiques et mécaniques sont appréhendées à un moment donné de leurs évolutions et qui se poursuivent nécessairement au delà de ces instants d'observation et d'investigation.

2-6 Validité et délais des interventions recommandées

Toutes les interventions de mise en sécurité, d'entretien et de suivi que nous recommandons sont proposées avec un délai d'exécution systématiquement précisé qui prend effet à partir de la réception de nos documents. En cas de constat d'extrême urgence, un signalement oral et écrit peut être transmis au gestionnaire à la suite immédiate de nos examens.

L'examen d'un arbre dans le but d'en établir l'état général et les fragilités mécaniques potentielles constitue un exercice délicat et nécessairement partiel, faute de pouvoir accéder directement à l'intégralité de leurs structures. Leurs grandes dimensions et leurs développements en partie souterrains, s'associe le plus souvent à des contraintes d'implantation et d'accès qui limitent nos investigations et nous privent dans de nombreuses situations d'observations et d'informations pertinentes. Quelque soit l'attention apportée, celles-ci ne peuvent en aucun cas prétendre à une exhaustivité de relevé de défaut ou d'altérations.

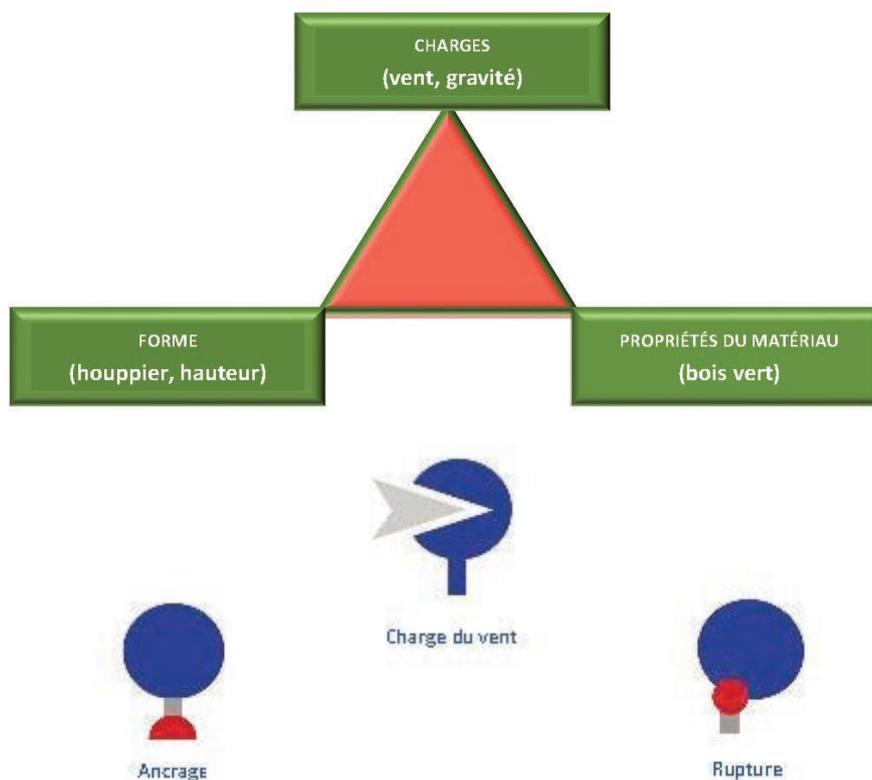
Par ailleurs, comme tout être vivant, les arbres peuvent subir des atteintes sanitaires ou mécanique à tout moment qui peuvent affecter leur état de manière significative à court terme. Nos constats sont donc nécessairement tributaire d'un instant et d'une situation donnée dont la pertinence peut être remise en cause quelques temps après nos passages. La présence d'un arbre de grandes dimensions au sein d'un environnement anthropisé induit inévitablement un risque d'impact non nul, même s'il est en parfait état. Ce risque potentiel est irréductible aux événements météorologiques violents qu'il est susceptible de subir et aux limites de nos détections et appréhensions des désordres et altérations dont il peut être le porteur. Il est dès lors inhérent à leur présence et doit être accepté en tant que tel par les gestionnaires des espaces publics.

La validité de nos analyses et recommandations sur un arbre donné sont contingentes des moyens d'investigations mis en oeuvre et de nos évaluations de la dynamique dans laquelle il s'intègre. Nous précisons pour chacun d'eux, et dans la mesure du possible la nature de la surveillance et les intervalles éventuels de mise en oeuvre qu'il faut lui appliquer. Pour certains d'entre eux, des retours d'expertises de 2 à 4 ans sont recommandés. Nous considérons pour ces derniers qu'il n'est pas raisonnable de considérer nos diagnostics comme pertinents au delà de ces délais indiqués. Pour les sujets relevant d'un simple suivi d'évolution, nous considérons qu'ils relèvent de la gestion normale des plantations par la collectivité et que la prise en compte des désordres susceptibles d'apparaître après nos examens sur leurs structures est de sa responsabilité.

III - LE TEST DE TRACTION ET DE RUPTURE (source : CPDG CONSULT SRL)

3-1 La statique de l'arbre (TreeQinetic® – Arbostat®)

Pour l'arbre, comme pour toute structure soumise à des charges, cet équilibre dépend de trois facteurs qui s'inscrivent dans le triangle de la statique :



3-2 Les charges

Deux types de charges sont à prendre en compte, celles qui sont dues à la gravité (le « poids propre » de l'arbre) et celles qui sont dues au vent. La masse d'un arbre peut atteindre plusieurs dizaines de tonnes mais les charges dues à son poids propre (ou « poids mort ») interviennent de façon peu significative.

La résistance en pression du bois (de l'ordre de 2 kN/cm²) est en effet très largement supérieure à la pression exercée par le poids propre. Les charges supplémentaires dues à la neige ou à la glace, qui ne sont pas négligeables dans nos régions, peuvent causer des dégâts importants.

Les charges les plus significatives pour les arbres sont celles dues aux vents, dont la poussée est à l'origine de contraintes qui peuvent dépasser le seuil de résistance du bois ou provoquer le déchaussement complet du socle racinaire. Du point de vue mécanique, le vent peut être assimilé à une masse en mouvement (masse volumique de l'air = 1,2 kg/m³) dont la puissance d'impact variera en fonction de la vitesse au carré ($E = 1/2mv^2$). Chaque site possède ses régimes de vents propres en fonction de sa situation géographique, sa situation topographique ou sa localisation en milieu protégé (ville, boisement) ou exposé (rase campagne).

3-3 Le matériau bois

Les propriétés mécaniques du bois sont principalement assurées par des cellules allongées dans l'axe longitudinal (fibres pour les feuillus, trachéides pour les conifères) dont les parois épaisses renferment cellulose et lignines, principaux constituants des tissus ligneux.

Lorsqu'un tronc fléchit sous la poussée du vent, les fibres s'allongent du côté du vent sous l'effet d'une traction et se rétrécissent à l'opposé sous l'effet d'une compression. Ce sont les fibres situées sous l'écorce à la périphérie du tronc qui sont le plus sollicitées, les contraintes diminuant vers l'intérieur du tronc jusqu'à s'annuler au niveau du centre (fibre neutre). Les contraintes dues au vent s'exercent principalement au niveau du bois vivant. Le matériau considéré est le bois « vert » dont les propriétés diffèrent de celle du bois « sec », en raison de sa forte humidité.

Le bois est un matériau plus résistant en traction qu'en compression. Son seuil de résistance varie pour les bois verts de 1,4 kN/cm² (marronnier) à 2,8 kN/cm² (chêne). Les propriétés des bois verts des essences les plus communes sont répertoriées dans la table de résistance des bois verts de Stuttgart.

3-4 La forme de l'arbre

La forme de l'arbre conditionne largement la poussée du vent à l'image de la voile d'un bateau. Les paramètres les plus importants sont :

La surface du houppier : *Plus cette surface est importante, plus elle offre d'appui au vent et plus la charge reçue par l'arbre est importante.*

La hauteur : *La vitesse du vent augmente avec l'altitude selon un coefficient α variable. La hauteur détermine également l'importance du moment (bras de levier) appliqué à l'arbre (M moment = F force du vent \times h hauteur). Un calcul intégrant ces deux paramètres montre qu'à surfaces de houppier égales un arbre plus haut de 30% peut subir une poussée de vent deux fois plus forte.*

L'aérodynamisme propre de l'arbre : *Les arbres tendent à se replier sous l'effet du vent, ce qui diminue la surface de la « voile ». Cette capacité est exprimée par le coefficient de traînée C_x . En plus de la forme générale de l'arbre, la dimension et la morphologie du tronc et des axes porteurs (charpentières, racines de support) sont d'une grande importance pour la résistance mécanique. Dans le cas du cylindre (auquel le tronc est assimilé), le moment de résistance aux contraintes de flexion W varie en résistance des matériaux avec le diamètre de la section élevé à la puissance trois ($W = \pi/32 \times d^3$). Du fait que les contraintes de flexion dues au vent s'exercent principalement vers l'extérieur du tronc, le rôle des parties intérieures est peu significatif, ce qui conduit à relativiser l'importance des cavités internes. La résistance en flexion d'un tube diminue par exemple de 25% seulement lorsque celui-ci est creux avec un rapport épaisseur de paroi/rayon de 1/3. Les structures techniquement optimisées pour des économies de matière sont d'ailleurs des structures creuses, que ce soit celles que l'on observe dans les constructions (tubes, poutres métalliques...) ou dans la nature, bambous, os, plumes etc.*

Ouvrage naturel, l'arbre est une structure complexe en évolution constante, qui se construit avec un matériau hétérogène susceptible de se dégrader, le bois. Les notions de résistance des matériaux évoquées très succinctement ici sont donc à appliquer avec prudence mais paraissent néanmoins d'une grande importance pour le diagnostic de solidité de l'arbre.

3-5 Le test

Le test est basé sur l'évaluation des charges que peut subir un arbre et l'analyse de l'impact de ces charges sur sa structure. Cette méthode permet d'évaluer la résistance en flexion du tronc et la capacité d'ancrage dans le sol du socle racinaire. Elle donne en outre la possibilité de détecter des défauts internes non décelés visuellement.



Le test de traction procède en deux étapes, une première étape de mesures sur l'arbre et une seconde étape de calculs consistant à évaluer les charges que produirait un vent violent (force 12 sur l'échelle Beaufort, 120 km/h). Ce calcul intègre de nombreux paramètres dont la vitesse du vent, des données géométriques (hauteur précise mesurée avec un dendromètre, surface du houppier, diamètre du tronc), la limite de résistance du bois et son module de Young, la topographie du site, le coefficient de traînée. Il aboutit au **coefficient de sécurité globale** de l'arbre.

Une traction est exercée à l'aide d'un treuil, un dynamomètre contrôlant en permanence les charges appliquées. Pour étudier la résistance du tronc, **quatre élastomètres**, instruments de haute précision également appelés « jauges de déformation » sont fixés dans le bois. L'élastomètre mesure en microns (millièmes de mm) la déformation des fibres sous cette charge. Ces valeurs permettent ensuite de calculer par extrapolation quelle serait la réaction de l'arbre si la charge d'un ouragan lui était appliquée.

Limite élastique et élasticité : Selon la loi de Hooke, la contrainte (σ) créée dans un matériau élastique est proportionnelle à la déformation (ϵ) à l'intérieur de la limite élastique. Chaque matériau, y compris le bois, a une limite élastique individuelle, qui est définie comme la résistance à la compression divisée par le module d'élasticité ou $\epsilon = \sigma_{max}/E$. Lorsque la limite élastique est dépassée, une déformation irréversible se produit. Lors des essais en laboratoire, les échantillons de bois verts sont préparés à une taille définie (2 x 2 x 6 cm) et soumis à une contrainte de compression jusqu'à rupture des fibres. Une force mesurée est exercée par grâce à une cellule de charge reliée à une traverse (INSTRON INC.), le raccourcissement des fibres est enregistré à une vitesse de 10 à 50 valeurs par seconde, fournissant des données denses et fiables. Dans la première étape d'un tel essai de compression, les fibres restent élastiques et retournent à leur position initiale lorsque la force induite est limitée (figure 6). Cette situation est comparable aux arbres oscillant dans les rafales de tempête modérée où les fibres sont sollicitées seulement dans leurs limites élastiques.

Lorsque la force sur l'échantillon de bois est accentuée, les fibres commencent à se rompre (rupture primaire : la courbe contrainte/déformation s'atténue) et finalement s'effondrer (rupture secondaire). Cette situation peut se produire lors de forts «coups de vents» ou de tornades sur des arbres sains. Lors de ces conditions météorologiques extrêmes, les fibres d'un arbre peuvent être surchargées et courbées pendant une courte période de temps suivie d'un flambage des fibres sur le côté compressif du tronc provoquant finalement la rupture complète.

C'est pourquoi les experts en sécurité des arbres mesurent les altérations de la longueur des fibres au cours d'un essai de traction. Ces altérations sont directement liées à la limite élastique et la connaissance de ces valeurs permet d'évaluer la sécurité de rupture. Les altérations des fibres marginales sont mesurées avec un élastomètre (extensomètre) à une résolution de 1 / 1000mm.

Des troncs sains peuvent être rapidement distingués de ceux qui présentent des parois résiduelles fragilisées en obtenant des meilleurs résultats au niveau des fibres marginales. Les dommages lors des essais de traction sont évités quand les limites élastiques indiquées dans le Catalogue de résistance de Stuttgart sont respectées.

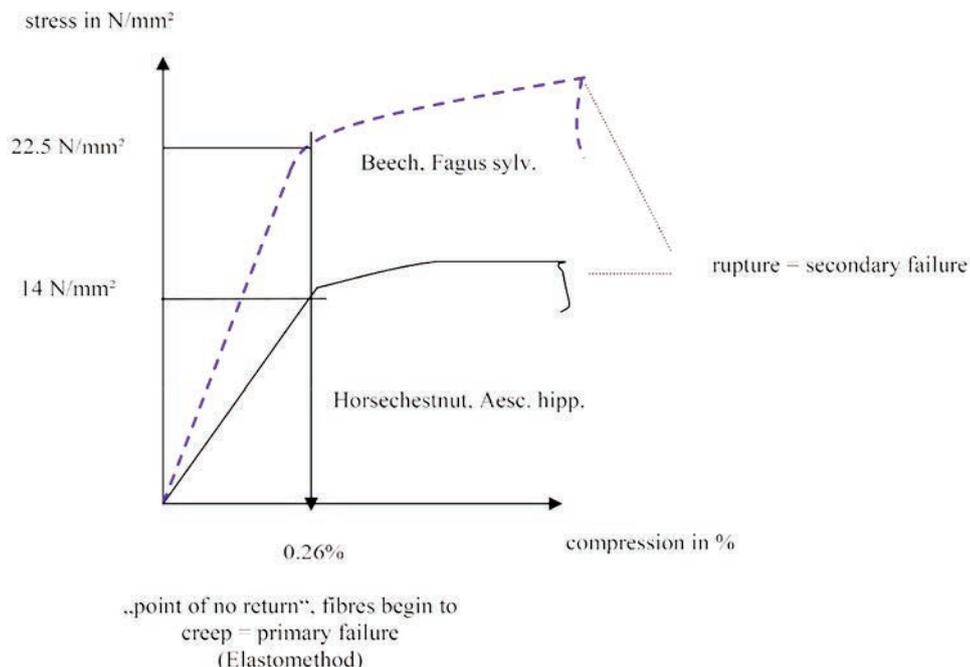


Figure 6. The green wood of European Beech (*Fagus sylvatica*) is significantly stiffer ($E_{mod} = 8000 \text{ N/mm}^2$) and stronger (22 N/mm^2) than that of Horsechestnut (*Aesculus hippocastanum*) ($E_{mod} = 5250 \text{ N/mm}^2$; 14 N/mm^2). Obviously *Aesculus hipp.* compensates its low compressive strength with high elasticity. Nevertheless, the value for the elastic limit for both species is the same (0.26%). The variation of material properties between tree species of Central Europe is rather small.

Pour étudier l'ancrage de l'arbre, **quatre inclinomètres, fixés au niveau du collet** mesurent en millièmes de degrés l'inclinaison que prend le socle racinaire sous la traction. Ces valeurs sont portées sur la courbe générale de basculement, courbe de référence établie par déracinement de plusieurs centaines d'arbres. La courbe générale de basculement donne la charge limite de basculement à partir d'angles d'inclinaison très faibles.

L'évaluation de la sécurité de basculement (limite de basculement) des arbres est impossible en utilisant uniquement des méthodes d'évaluation visuelle.

Les fouilles radiculaires fournissent également des informations insuffisantes et causent des perturbations importantes à la rhizosphère (région du sol directement formée et influencée par les racines et les micro-organismes associés qui font partie du microbiote des végétaux).

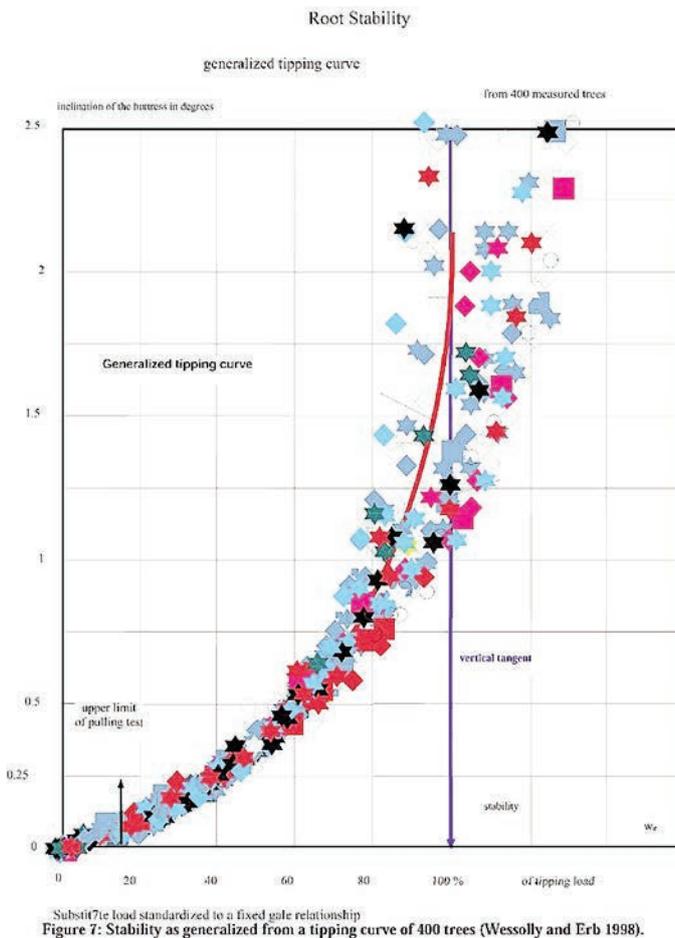


Figure 7: Stability as generalized from a tipping curve of 400 trees (Wessolly and Erb 1998).

la stabilité de l'arbre peut être déterminée en utilisant la fonction mathématique de cette courbe (figure 7) dans les calculs. Les valeurs recueillies et les calculs donnent pour chaque arbre un coefficient de rupture du tronc et un coefficient de sécurité d'ancrage du système racinaire. Ces coefficients sont donnés pour un vent de force 12.

Lorsque le coefficient est supérieur à 1,5 l'arbre est considéré comme très fiable, les valeurs entre 1,5 et 1 engageront le gestionnaire à analyser précisément l'ensemble des éléments constituant le risque afin de déterminer la possibilité de réduire celui-ci.

Les calculs sont tout d'abord effectués en considérant les conditions environnementales les plus défavorables pour l'arbre ; si les résultats obtenus sont défavorables, des modifications de données concernant les propriétés pourront être envisagées et justifiées.

3-6 Les limites de la méthode

La méthode prend en compte les aspects physiques de la sécurité d'un arbre face à une charge de vent donnée. Elle permet d'évaluer la sécurité de rupture du tronc (emplacement des sondes) et la sécurité de l'ancrage dans le sol d'un arbre. Elle ne permet pas d'évaluer la résistance des parties supérieures du tronc, des fourches, des branches charpentières et du houppier en général.

Les résultats obtenus permettent la recommandation de travaux de mise en sécurité le cas échéant, ils ne peuvent cependant suffire à une gestion à long terme du patrimoine arboré, celle-ci étant soumise à l'état physiologique, mécanique et environnemental de l'arbre étudié.

La méthode évalue la probabilité d'un risque de rupture ou de basculement sous une force de vent de force 12 (échelle de Beaufort) mais ne peut donner précisément les conditions climatiques dans lesquelles la rupture se produirait.

Une détermination fiable de la sécurité de basculement des arbres ne peut être obtenue qu'en soumettant un arbre à des conditions similaires à celles créées par les rafales de vent (Inclino Method, SINN, 1983). La recherche scientifique (BADER 2000, WESSOLLY 1998, SINN, 1985b, SINN 1985c) a montré que seules les racines situées à proximité du tronc étaient fortement sollicitées lorsque l'arbre était soumis à des forces de traction.

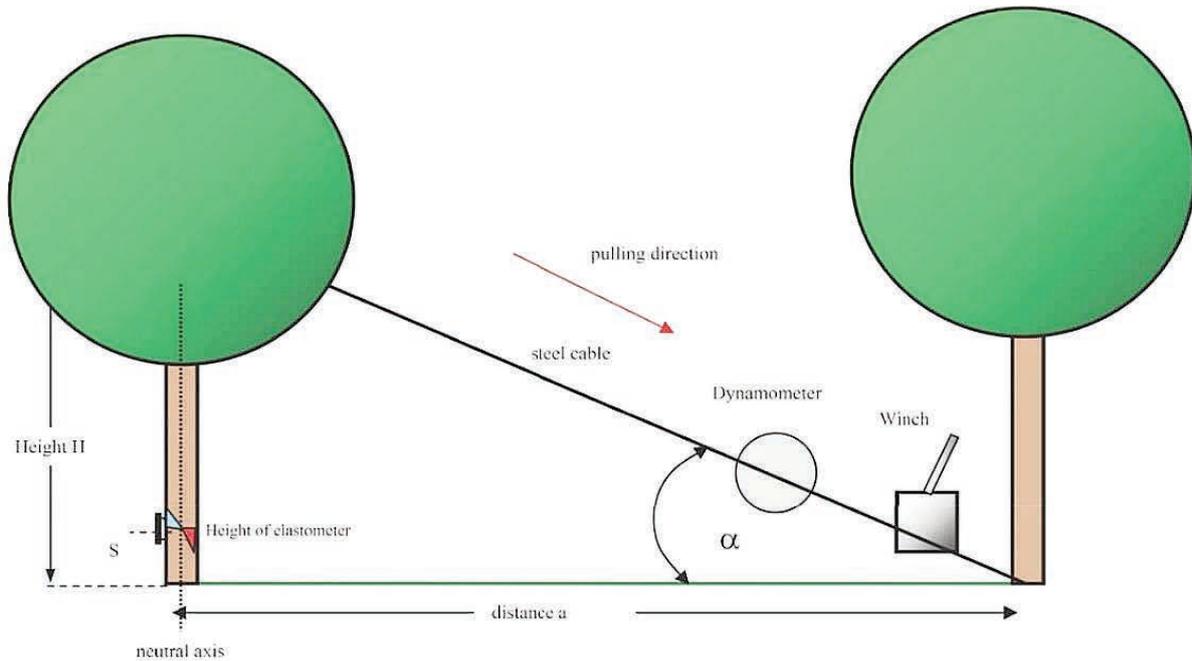
Un risque grave de déracinement apparaît lorsque les racines sont sectionnées à environ 1 mètre à 1,3 mètre du tronc de l'arbre. La courbe générale de basculement a été établie scientifiquement à partir de tests de traction destructifs effectués sur plus de 400 arbres de différentes espèces dans différentes conditions de sol. Cette courbe de basculement montre que la principale défaillance du processus de déracinement se produit déjà entre 2,5 et 4 degrés d'inclinaison (rupture primaire). À partir de 4 degrés d'inclinaison, plus aucune augmentation de la force de traction n'est nécessaire jusqu'à ce qu'une inclinaison de 45 à 60 degrés soit atteinte (WESSOLLY, 1998).

L'influence de la pourriture des racines sur

3-7 La mise en oeuvre

Les tests de traction sont effectués dans les conditions suivantes :

- Un grimpeur élagueur est mis à disposition par le client lors de la prise de données, ce dernier est sollicité pour le placement des câbles dans les arbres ainsi que la manipulation du tirefort.
- Au minimum une traction est effectuée par sujet (4 inclinomètres et 4 élastomètres)
- Toutes les autorisations, signalisations, gestion de la circulation, etc. ... sont mises en oeuvre par le client.
- Le point d'ancrage de chaque test de traction est soit un autre arbre, soit un véhicule dont la masse minimale au sol est de 7.5 tonnes ; il est situé lorsque la configuration du site le permet dans l'axe des vents dominants et est mis à disposition par le client.



Les tests sont réalisés grâce à la méthode développée par Lothar Wessolly (*Prof. Lothar Wessolly - Inventeur de la méthode SIM/SIA, évaluation statique des arbres, Université de Stuttgart*). Les données sont prises sur le terrain avec les outils électroniques (Picus TreeQinetic®) développés par la société Argus Electronic gmbh de Rostock, elles ont ensuite analysées et interprétées par le logiciel Arbostat® (Arbo safe – Gauting).

Une charge minimale de 15kN (cette charge correspond approximativement à une brise de vent de 20km/h) est appliquée sur chaque arbre. Cette charge est mise en oeuvre grâce à l'utilisation d'un câble en Dyneema® placé dans l'arbre ; ce câble est relié à un tirefort qui est fixé sur un engin d'une masse minimale au sol de 7.5 tonnes ou au pied d'un autre arbre à proximité.

Des sondes sont posées sur le tronc (rupture) et le collet (basculement).

Rupture : enregistrement de l'allongement ou la compression sous la charge appliquée des fibres de bois en μm . Des valeurs limites sont prises en considération, celle-ci correspondent à 20% de la limite d'élasticité (la limite d'élasticité est la contrainte à partir de laquelle un matériau arrête de se déformer d'une manière élastique, réversible et commence donc à se déformer de manière irréversible).

Basculement : enregistrement de l'angle d'inclinaison du plateau racinaire sous la charge appliquée, en millièmes de degré. Des valeurs limites sont prises en considération, celle-ci correspondent approximativement à 10% de la limite de basculement.

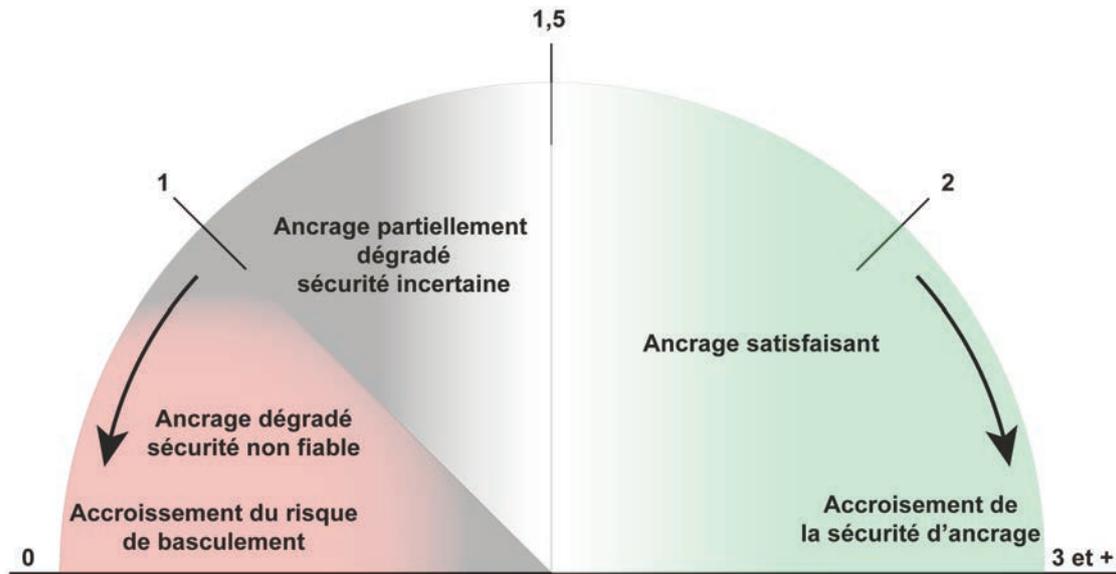
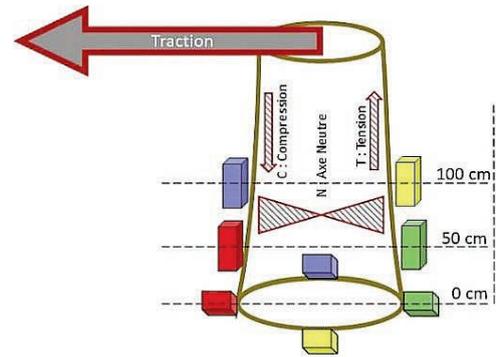
Ces tests ne portent pas préjudice aux arbres et les appareils utilisés permettent d'arrêter la charge bien avant que la limite d'élasticité ou de basculement soit atteinte. Les inclinomètres (basculement) sont positionnés en tension et en compression ainsi que dans l'axe perpendiculaire à la traction ; cet axe est nommé «axe neutre». Les élastomètres (allongement ou compression des fibres de bois) sont positionnés en compression et en tension conventionnellement à 1.0 et 1.5 mètre. Sauf indication contraire, les sondes sont positionnées selon le schéma ci-après :

Vert : fiable

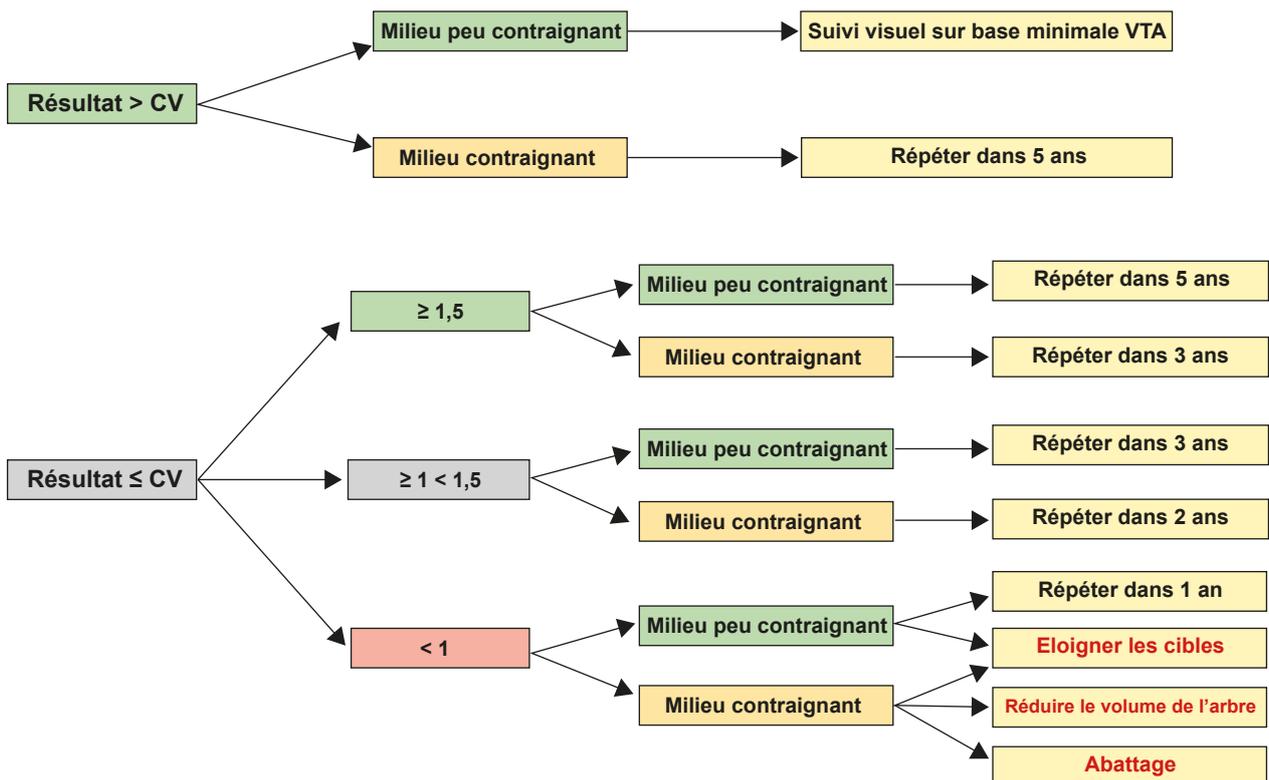
Gris : début de dégradation, diminution de la fiabilité - évaluation précise du risque pour prise de décision

Rouge : non fiable sous des charges de vent à partir de 12 Beaufort - remplacement recommandé

NaN : pas d'appareil ou données recueillies non utilisables



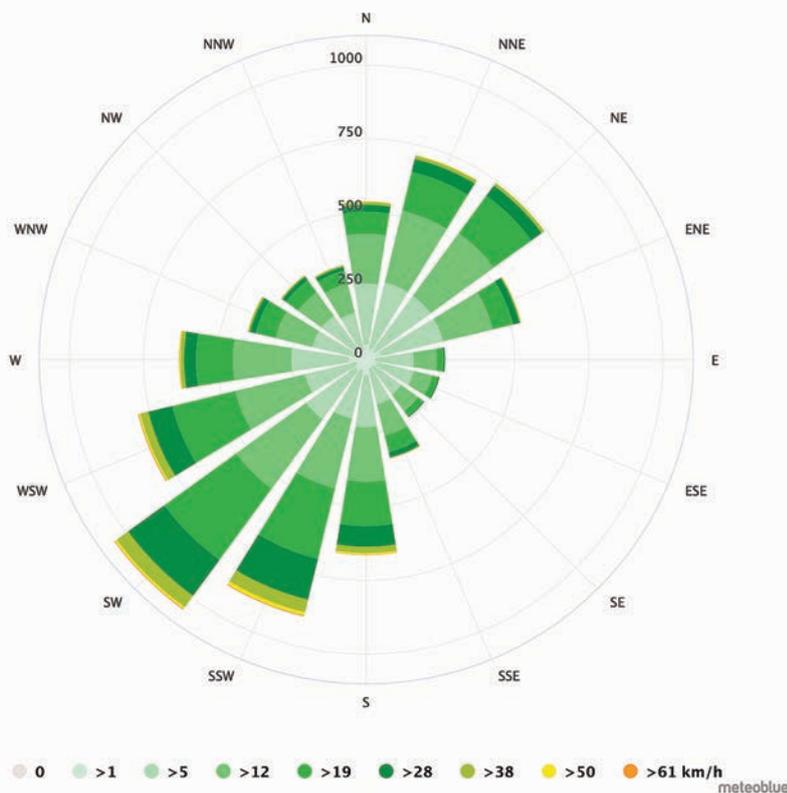
Les recommandations de suivis sont proposées sur base des observations faites sur site ainsi que des résultats obtenus ; elles répondent en règle générale à la démarche présentée dans le schéma décisionnel présenté ci-dessous.



IV - CONSTATS ET DIAGNOSTICS : LE PLATANE n°16612

4-1 L'implantation

L'arbre est implanté sur la marge sud du jardin à l'extrémité est d'un court alignement de 3 platanes monumentaux dont la hauteur avoisine les 40 m pour des diamètre de tronc supérieur à 2 m. Il s'agit d'un ensemble à très forte valeur patrimoniale qui regroupe probablement les platanes les plus anciens et développés de la Ville. Ils sont vraisemblablement contemporains de la création du site par Eugène Bülher en 1864. Ils seraient donc âgés de 160 ans environ. Ces 3 sujets sont très proches les uns des autres entraînant une concurrence et une étroite interaction mécanique de leurs charpentes. Compte tenu des spécificités de l'espèce une anastomose de leurs racines est probable rendant une dépendance au moins partielle de leurs enracinements respectifs.



L'axe venteux dominant sur le secteur (Rose des vents - station météo aéroport de Tours - Météoblue) fait état d'une orientation dominante SW - NE; Il est noter de par sa position que ce sont les vents du NE qui sont susceptibles d'impacter de manière plus sensible le sujet 16612. Les vents plus nombreux et violents du sud-ouest sont pondérés a priori par les voisins 16613 et 16614. L'implantation urbaine peut cependant participer à des modifications locales des effets venturi en détournant partiellement les flux par les bâtiments.

Ces 3 arbres ont subi des antécédents de réduction anciens après lesquels ils ont été relâchés et ils ont redéveloppés des volumes importants.

De par leurs volumes monumentaux, ils développent tous les 3 des impacts potentiels majeurs

sur tout l'environnement urbain au sein duquel ils sont implantés.

4-2 L'historique du suivi de l'arbre



L'arbre fait l'objet d'un suivi plus ou moins régulier depuis 2010, début des campagnes d'expertises sur le patrimoine arboré de la Ville. Le tableau ci-dessous récapitule les différents moments de ce suivi et les principaux constats effectués.

ANNEE	INVESTIGATION - CONSTAT	RECOMMANDATION
2010	Premier relevé et analyse de l'état sanitaire et mécanique : Arbre modérément altéré	Retour d'expertise
2015	Détection d'une infection d' <i>Inonotus hispidus</i> sur charpentièr Détection infection de <i>Rigidoporus ulmarius</i> sur le collet - sondages résistographe sur base tronc et collet sans traces de dégradations	Contrôle hauteur
2017	Contrôle hauteur sur l'axe infecté par <i>Inonotus hispidus</i> : impact tolérable	Retour d'expertise Test de traction
2019	Test de traction (sur 2 côtés) : 4 mesures "vertes" et 4 mesures "grises" sur l'ancrage - 8 mesures "vertes" sur la rupture	Nouveau test à 1 an
2020	Test de traction (sur 2 côtés) : 6 mesures "vertes" et 2 mesures "grises" sur l'ancrage - 8 mesures "vertes" sur la rupture	Nouveau test à 2 ans
Avril 2022	Test de traction (sur 1 seul côté) : 4 mesures "rouge" sur l'ancrage - 2 mesures "vertes" et 2 mesures "grises" sur la rupture	Nouveau test rapproché
Novembre 2022	Test de traction (sur même côté que précédent) : 2 mesures "vertes" et 2 mesures "grises" sur l'ancrage - 4 mesures "vertes" sur la rupture	Tomographie
Décembre 2022	Tomographie : plage de pourriture centrale	Proposition de sondages au résistographe
Février 2023	Sondages au résistographe	1 sondage sur collet avec une dégradation significative

Le test de traction effectué en avril 2022 a mis en évidence une importante perte d'ancrage qui a motivé ensuite plusieurs examens complémentaires. La mise en oeuvre du test s'est effectuée selon un axe E-NE proche de celui des vents dominants sur le site à la suite d'un épisode pluvieux important.

Ce test s'inscrit dans un contexte particulier de détrempe des sols importante qui n'avait jamais été rencontré lors des précédentes investigations et de la dernière mise en oeuvre en novembre 2022. Le déficit d'ancrage constaté en avril 2022 est important et surtout il fait état qu'aucune face de la base du tronc n'apparaît stable à l'issue du recueil de données. Le test suivant de novembre 2022, effectué selon le même protocole, indique des valeurs apparemment plus favorables et proches de celles mises en évidence sur les tests effectués avant avril 2022. 3 des valeurs recueillies sont apparues inférieures à celles du test d'octobre 2020. **Une suspicion légitime d'un affaiblissement de l'ancrage de ce platane monumental semble donc se faire jour et nous interpelle sur ses capacités de maintien en sécurité.**

4-3 Le *Rigidoporus ulmarius*



Sporophores de *Rigidoporus ulmarius*

Ce champignon détecté et identifié en 2015 sur des racines affleurantes au SE du collet constitue le facteur de dégradation principal à l'oeuvre sur le platane 16612. Il s'agit ici d'un vecteur de pourriture brune ou cubique qui présente un comportement saprophytique relativement opportuniste en infectant des zones mortes de la charpente et/ou des blessures affectant aussi bien les parties basses du tronc et du collet que celles des parties supérieures de la charpente. Il appartient à la petite famille des champignons vecteur de pourriture cubique sur les feuillus.

La littérature l'associe à la pourriture de pied des ormes, espèce vis à vis de laquelle il constitue un facteur d'altération mécanique majeur. Son comportement sur les autres espèces (dont le platane) est nettement moins documenté mais on considère généralement que sa progression est lente.

Dans le cas du sujet du Jardin Sicard, la présence des sporophores sur des racines affleurantes laisse supposer qu'il a pu l'infecter à partir de lésions externes pour ensuite développer une ou plusieurs colonnes de pourriture en direction du tronc dont il colonise peu à peu les parties centrales. La pourriture cubique (dégradation de la cellulose et de l'hémicellulose des tissus ligneux) entraîne une perte progressive d'élasticité qui peut induire à terme la casse du tronc ou du collet sous un coup de vent violent. Son impact sur les systèmes racinaires est moins bien connu faute d'études spécifiques. On peut supposer qu'en dégradant une partie des racines entourant le collet dans sa remontée au coeur du tronc, il puisse entraîner des pertes d'ancrage plus ou moins sensibles en fonction de leur disposition, de la nature et de l'étendue des lésions qui ont favorisé l'infection et de l'espèce d'arbre concernée. Il est important ici de rappeler qu'un des platanes monumentaux du Jardin de la Préfecture est infecté par le même champignon et que jusqu'à présent les tests de traction réguliers mis en oeuvre (car seule technique à notre disposition susceptible de mesurer la stabilité d'un arbre) manifestent jusqu'à présent une constante de mesures plus ou moins favorables quant à sa stabilité.

4-4 L'analyse mécanique de l'arbre

4-4-1 Les tests de traction

Les résultats des tests réalisés entre 2019 et 2022 par CPDG CONSULT SR sont figurés dans les tableaux récapitulatifs suivants en se reportant aux principes méthodologiques exposés dans le chapitre III précédent.

ID : 16612							
Date test	Facteur de sécurité de base	Orientation charge	Inclinomètre 1 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 2 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 3 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 4 sécurité d'ancrage	Commentaire
sept-19	3,2	E-NE	3,25	1,25	2,36	1,22	2 valeurs > 1,5 / 2 valeurs entre 1 et 1,5
		W-NW	2,94	1,36	2,56	1,31	2 valeurs > 1,5 / 2 valeurs entre 1 et 1,5
oct-20	3,2	E-NE	1,36	1,61	1,77	3,07	3 valeurs > 1,5 / 1 valeurs entre 1 et 1,5
		SW	1,81	1,39	1,6	3,99	3 valeurs > 1,5 / 1 valeurs entre 1 et 1,5
avr-22	3,3	E-NE	0,92	0,88	0,85	0,73	Toutes les valeurs < 1
nov-22	3,1	E-NE	1,71	1,23	1,43	2,23	2 valeurs > 1,5 / 2 valeurs entre 1 et 1,5

L'examen du tableau fait état des points suivants :

- le sondage d'avril 2022 est le seul à présenter des mesures inférieures au facteur de sécurité de valeur 1 qui marque la marge d'une perte d'ancrage très significative. Ce constat est à rapprocher d'un contexte pédologique amolli par les fortes pluies qui ont précédé la mise en œuvre de ce test. Il reste une incertitude concernant le comportement de cet arbre dans le cas où une forte pluie s'associerait à un épisode venteux violent. Si l'anastomose racinaire du sujet avec ses voisins peut éventuellement compenser en partie l'affaiblissement manifesté de son ancrage, le caractère cassant de la pourriture cubique pourrait entraîner une rupture des parties basses du collet dans le contexte d'une tempête.

- on note une diminution relative des valeurs recueillies sur les inclinomètres depuis 2020 même si plusieurs d'entre elles restent dans leurs marges qualitatives d'appréciation. Si on peut considérer qu'un facteur de variabilité est inhérent au recueil de données via des instruments comme les inclinomètres (variation de position et de contexte environnemental), une diminution des facteurs de sécurité calculés semble cependant plus ou moins sensible depuis cette date.

Indépendamment du test d'avril 2022, l'ancrage de l'arbre semble manifester une érosion qualitative relativement rapide en seulement 4 années d'investigations. Au vu de ces seules données, on peut considérer qu'un risque de casse ou d'effondrement pourrait se concrétiser dans le cadre d'une tempête particulièrement violente et très arrosée par la pluie. Celui-ci apparaît a priori beaucoup plus modéré en situation météorologique "normale". Une diminution progressive de l'ancrage semble cependant s'esquisser en relation probable avec l'action du champignon.

Le tableau suivant figure les évaluation de rupture sur la base du tronc via les données recueillies par les élastomètres.

ID : 16612							
Date test	Facteur de sécurité de base	Orientation charge	Tensiomètre 1 sécurité de rupture	Tensiomètre 2 sécurité de rupture	Tensiomètre 3 sécurité de rupture	Tensiomètre 4 sécurité de rupture	Commentaire
sept-19	3,2	E-NE	2,61	2,44	2,99	2,7	Toutes les valeurs > 1,5
		W-NW	2,68	2,48	2,79	2,75	Toutes les valeurs > 1,5
oct-20	3,2	E-NE	7,18	6,56	7,9	5,71	Toutes les valeurs > 1,5
		SW	5,24	2,96	3,92	3,74	Toutes les valeurs > 1,5
avr-22	3,3	E-NE	1,37	1,52	1,58	1,3	2 valeurs > 1,5 / 2 valeurs entre 1 et 1,5
nov-22	3,1	E-NE	1,56	1,7	1,53	1,55	Toutes les valeurs > 1,5

On constate une assez grande variation des données recueillies qui se situent toutes au dessus de la valeur critique (1) du facteur de sécurité. Le test d'avril 2022 regroupe les plus faibles d'entre elles (dont les seules 2 valeurs "grises" de l'ensemble des tests), traduisant un contexte général de fragilisation de la charpente. On relève également que les dernières valeurs obtenues en novembre 2022 qui tout en étant "vertes" sont les plus faibles recueillies depuis 2019. Ces constats sembleraient indiquer une diminution relative et non critique de la solidité de la base du tronc. Ils confirment également qu'un environnement pédologique amolli par les pluies affaiblit la capacité de résistance à la rupture du tronc.

Les tableaux ci-après figure les résultats obtenus sur les tests des 2 platanes voisins (16613 et 16614) réalisés en novembre 2022.

ID : 16613							
Date test	Facteur de sécurité de base	Orientation charge	Inclinomètre 1 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 2 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 3 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 4 sécurité d'ancrage	Commentaire
nov-22	3,1	SW	2,67	3,23	3,59	4,31	Toutes les valeurs > 1,5

ID : 16614							
Date test	Facteur de sécurité de base	Orientation charge	Inclinomètre 1 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 2 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 3 sécurité d'ancrage	Inclinomètre 4 sécurité d'ancrage	Commentaire
nov-22	3,0	SW	2,9	1,9	3,45	3,05	Toutes les valeurs > 1,5

Les 2 arbres présentent des valeurs "vertes" proches (bien qu'elles soient légèrement inférieures pour 3 d'entre elles chez 16614). on peut considérer que ces arbres ne présentent en l'état aucun désordre particulier sur leurs ancrages respectifs.

4-4-2 La tomographie

La synthèse et les résultats de la tomographie réalisée par CPDG CONSULT SR en décembre 2022 lors des derniers tests de traction sont figurés dans la fiche ci-dessous.

Tomographie

Fiche récapitulative

ArbreConsult

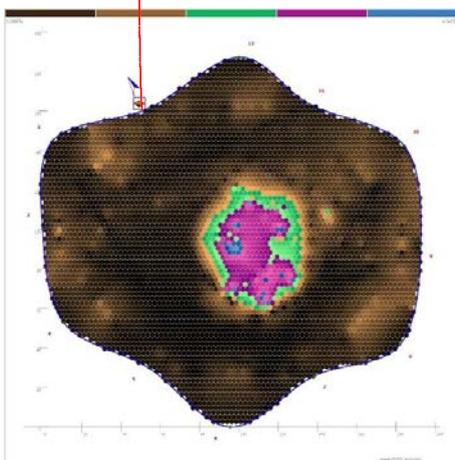
Site	CP	Ville / Commune	Pays		
Jardin François Sicard	37000	Tours	France		
Nom de l'arbre	N° de l'arbre	N° du site (UG)	Date du test		
Platanus x hispanica	16612		16 décembre 2022		
Evaluation mécanique pour les zones de l'arbre sondées	Préconisation de suivi	Délai (mois) et date de préconisation	Evolution probable	Intervention recommandée	Evaluation du risque
Altéré	Test de traction	12 16-12-23	Défavorable	Entretien courant lié au site d'implantation	tolérable



Sauf avis contraire, la sonde 1 est située conventionnellement au Nord.

Le nombre de sondes utilisées est défini par le logiciel en fonction de la circonférence mesurée de la section sondée, ce nombre peut être augmenté en fonction de la configuration de cette zone, particulièrement sur des collets comportant des contreforts très marqués ou développés.

Hauteur de sondage	+/- 80 cm (Nord)	Nombre de sondes utilisées	12
--------------------	------------------	----------------------------	----



La tomographie présente une dégradation interne concentrique peu étendue, celle-ci montre une PRBS largement suffisante au niveau de sondage.

Elle ne permet cependant pas de souligner les faiblesses en ancrage relevées par les tests de traction.

Rmq : Les évaluations, préconisations de suivi et d'intervention dans le cadre en haut de page sont données sur base du résultat des tests d'ancrage également effectués.

Il est intéressant de noter que la tomographie a été mise en oeuvre à 0,8 m du sol (pour des raisons pratiques et de pertinence des mesures) et qu'elle met nettement en évidence une colonne de pourriture dans la partie centrale du tronc. Celle-ci confirme la colonisation en cours du *Rigidoporus ulmarius*. La perte mécanique associée sur cette zone du tronc est limitée du fait de son entourage par des parois résiduelles encore très épaisses. Compte tenu de l'écologie, du champignon et de son positionnement en colonisation remontante, il est probable que la base de l'arbre et du collet soient sensiblement plus dégradées que sur la partie plus haute du tronc qui a été rendue visible par la tomographie.

4-4-3 Les sondages au résistographe

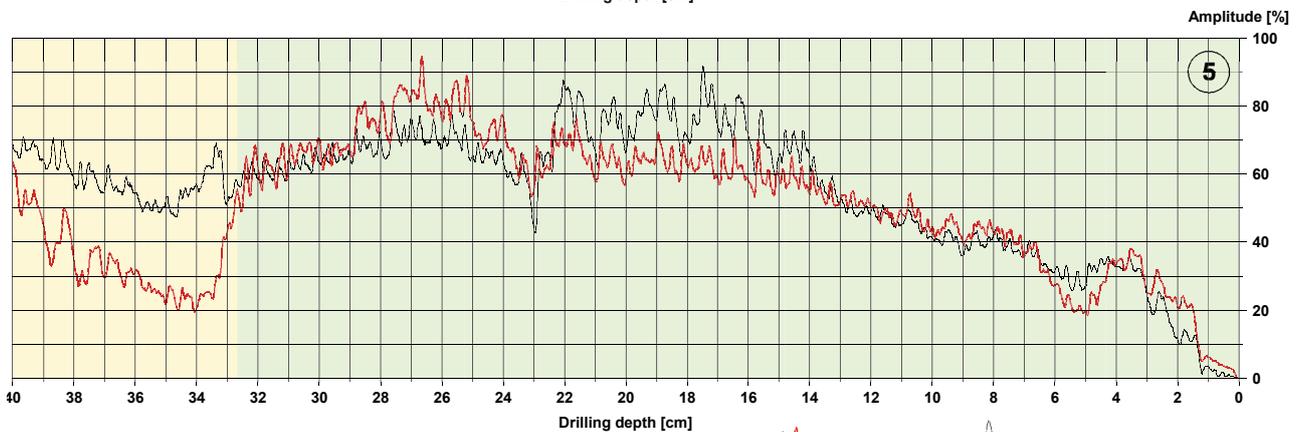
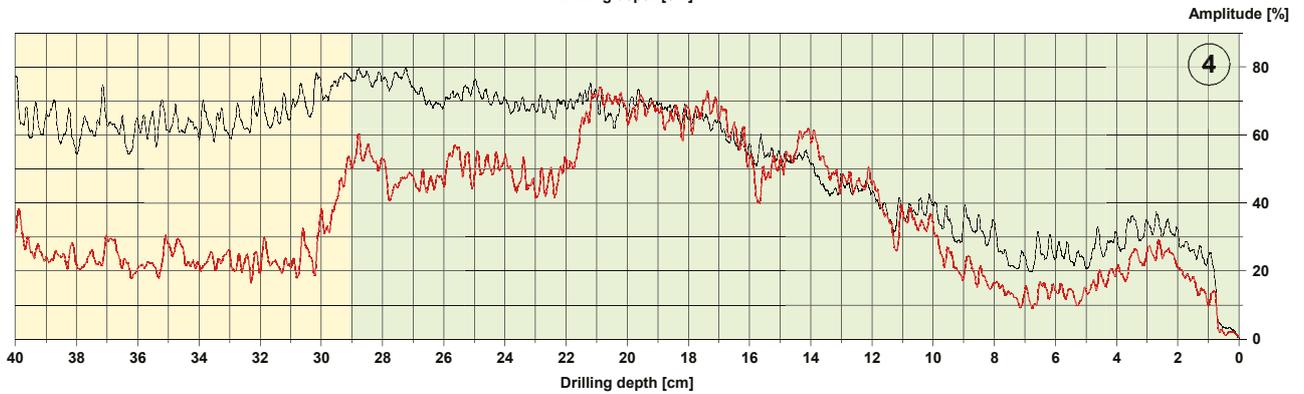
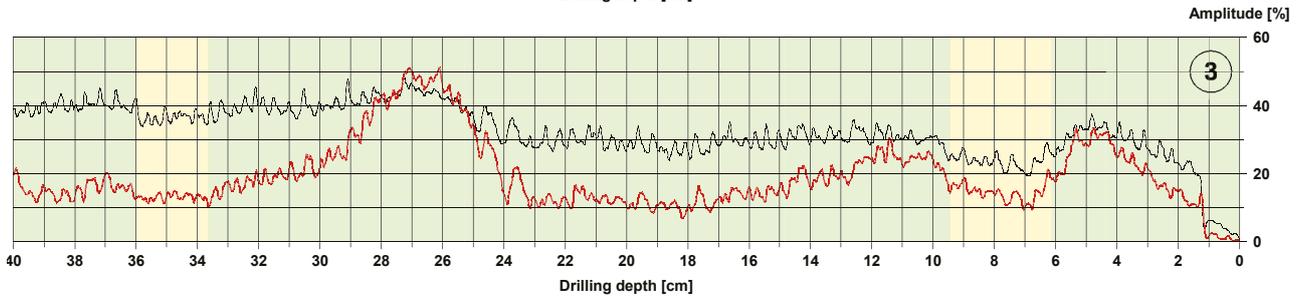
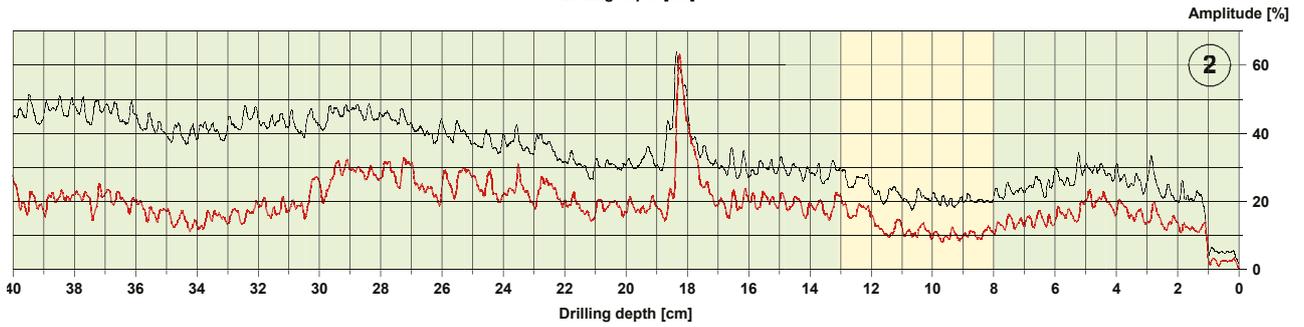
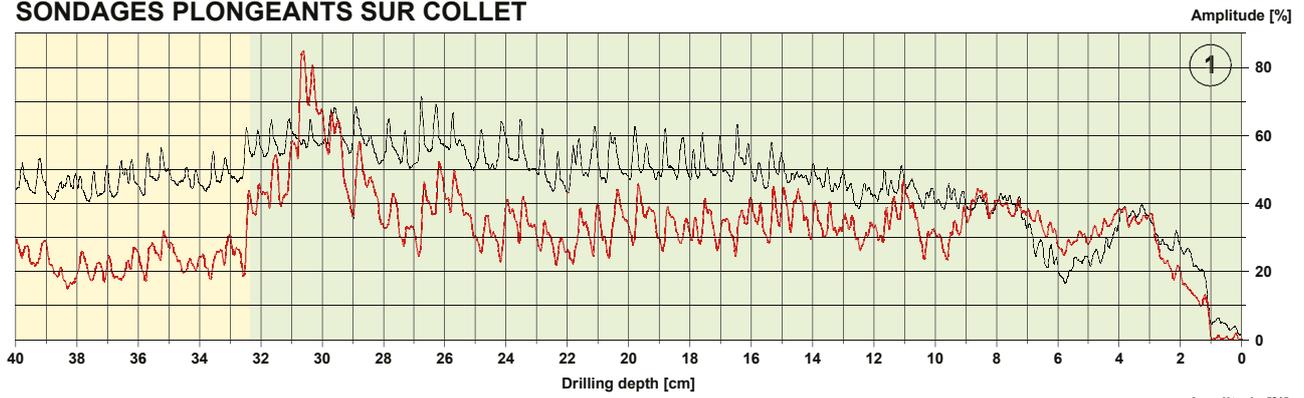
14 sondages ont été mis en oeuvre sur la base de l'arbre en février 2023. Le tableau ci-dessous et les courbes ci-après figurent les constats effectués.

16612 - Résultats instrumentaux : Resistographe IML PD400 (40 cm investigables)					
N° sondage	Position	Orientation	Commentaire	Diam. (cm)	t/R
1	Plongeant sur collet	SW	Dégradation peu évoluée à 31,5 cm	-	-
2	Plongeant sur collet	SE	Petite plage de dégradation peu évoluée sur 5 cm à 7 cm de profondeur	-	-
3	Plongeant sur collet	ESE	2 petites plages de dégradation peu évoluées sur 3,5 cm à 5 cm de profondeur et sur 2,5 cm à 33,5 cm de profondeur	-	-
4	Plongeant sur collet	NW	Dégradation peu évoluée 28 cm de profondeur	-	-
5	Plongeant sur collet	WSW	Dégradation peu évoluée 31 cm de profondeur	-	-
6	Plongeant sur collet	S	Plage de dégradation peu évoluée à 9,5 cm de profondeur puis pourriture étendue à partir de 19 cm	-	-
1	Droit ras du sol sur contrefort tronc	SW	Petite plage de dégradation peu évoluée sur 5,5 cm à 6,5 cm de profondeur	240	> 33%
2	Droit ras du sol sur contrefort tronc	SE	Aucune anomalie	229	> 34%
3	Droit ras du sol sur contrefort tronc	ENE	2 petites plages de dégradation peu évoluées sur 4 cm à 5 cm de profondeur et à partir de 35,5 cm de profondeur	236	NS
4	Droit ras du sol sur contrefort tronc	NW	2 petites plages de dégradation peu évoluées sur 2 cm à 3,5 cm de profondeur et sur 7 cm à 24 cm de profondeur	229	NS
5	Droit ras du sol sur base tronc	WSW	Pas d'anomalie	232	>34%
6	Droit ras du sol sur contrefort tronc	S	Pas d'anomalie	231	>33%
13	Droit sur tronc - 0,8 m	ENE	Pas d'anomalie	182	>43%
14	Droit sur tronc - 0,8 m	NW	Pas d'anomalie	182	>44%

Seul le sondage plongeant n°6 fait état d'une nette dégradation sans équivoque des parties basses du collet. Cette présence non détectée en 2015 traduit l'existence de la colonne interne de la pourriture induite par le *Rigidoporus* en direction du tronc et qui a été mise en évidence jusqu'à 0,8 m de haut par la tomographie. Le reste des sondages, lorsqu'ils manifestent des dégradations, ne fait état que de légères traces sans conséquences significatives particulières sur la tenue mécanique du tronc. On peut interpréter celles-ci soit comme des artefacts ponctuels non rattachés à la dégradation générale des tissus ligneux par le *Rigidoporus*, soit des signes ponctuels d'extension de celui-ci appelés à s'étendre au sein du tronc et du collet au cours des prochaines saisons. Les sondages effectués en 2015 ne faisaient état d'aucune anomalie. On peut donc considérer qu'une présence plus affirmée de pourriture est opérante sur les parties basses du tronc du sujet.

Il est important également de souligner que l'appareil (un IML PD400) ne peut explorer que 40 cm de bois ce qui ne représente en situation sur la base du tronc qu'environ au maximum 33 à 34% du rayon de celui-ci. **A l'exception de la zone sud qui est la seule à présenter une dégradation significative détectable et limitée, on ne peut rien évaluer de pertinent sur les pertes mécaniques à l'oeuvre sur la base de cet arbre via ces nombreux sondages au résistographe faute de potentialités d'investigation plus étendues.**

SONDAGES PLONGEANTS SUR COLLET



 Bois très dégradé mécaniquement

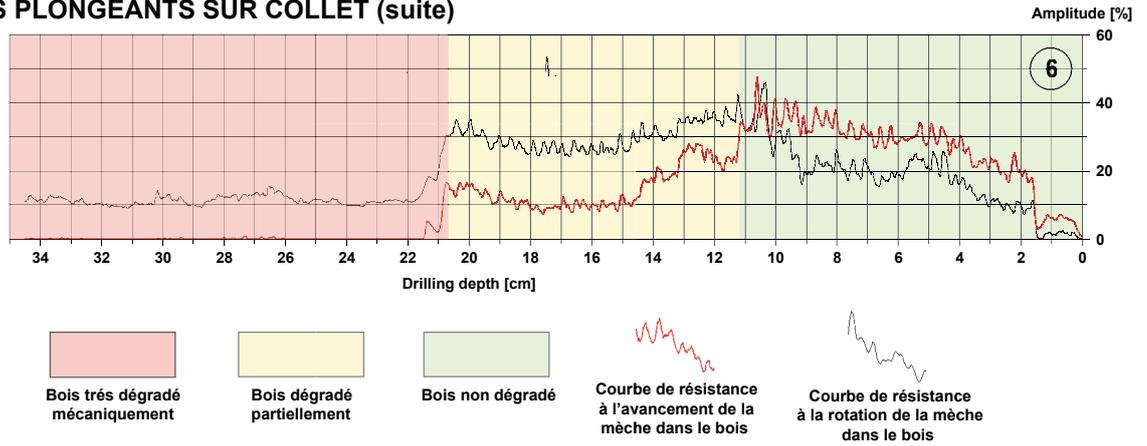
 Bois dégradé partiellement

 Bois non dégradé

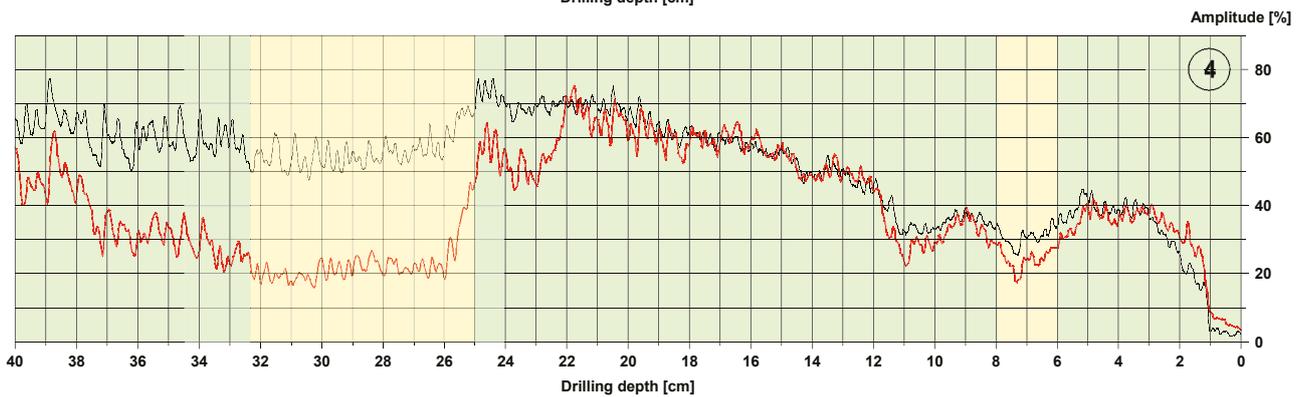
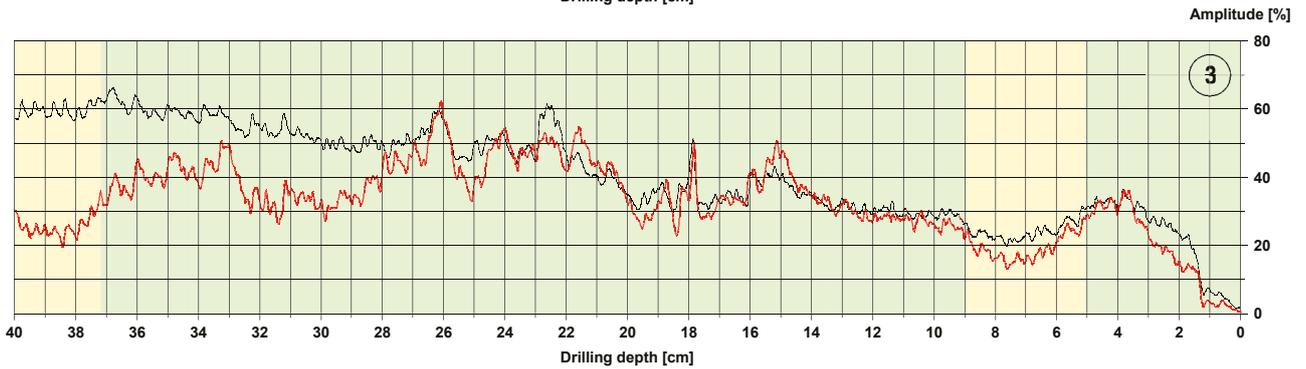
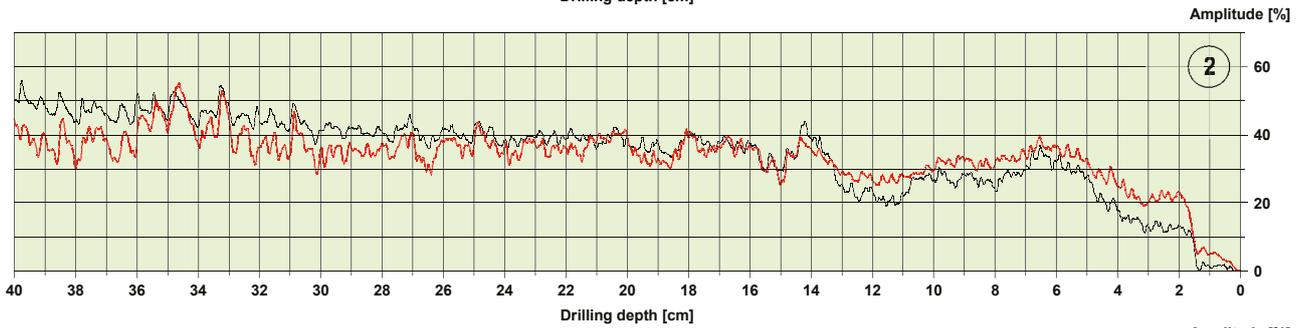
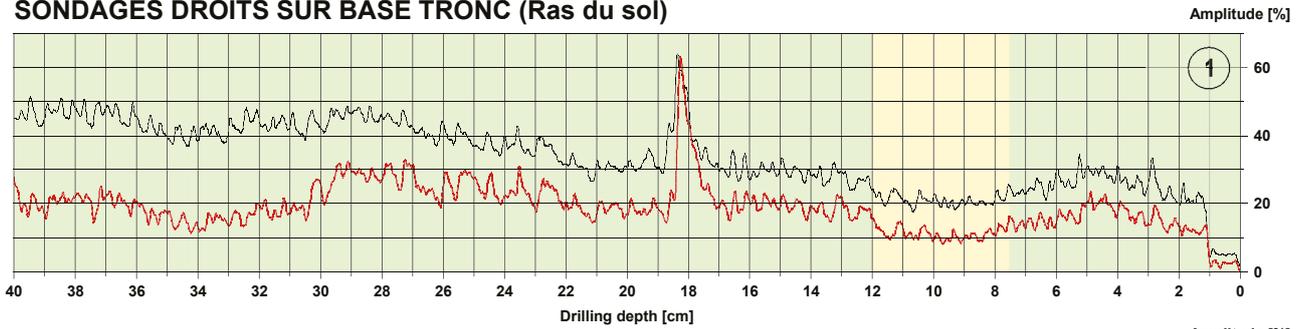
 Courbe de résistance à l'avancement de la mèche dans le bois

 Courbe de résistance à la rotation de la mèche dans le bois

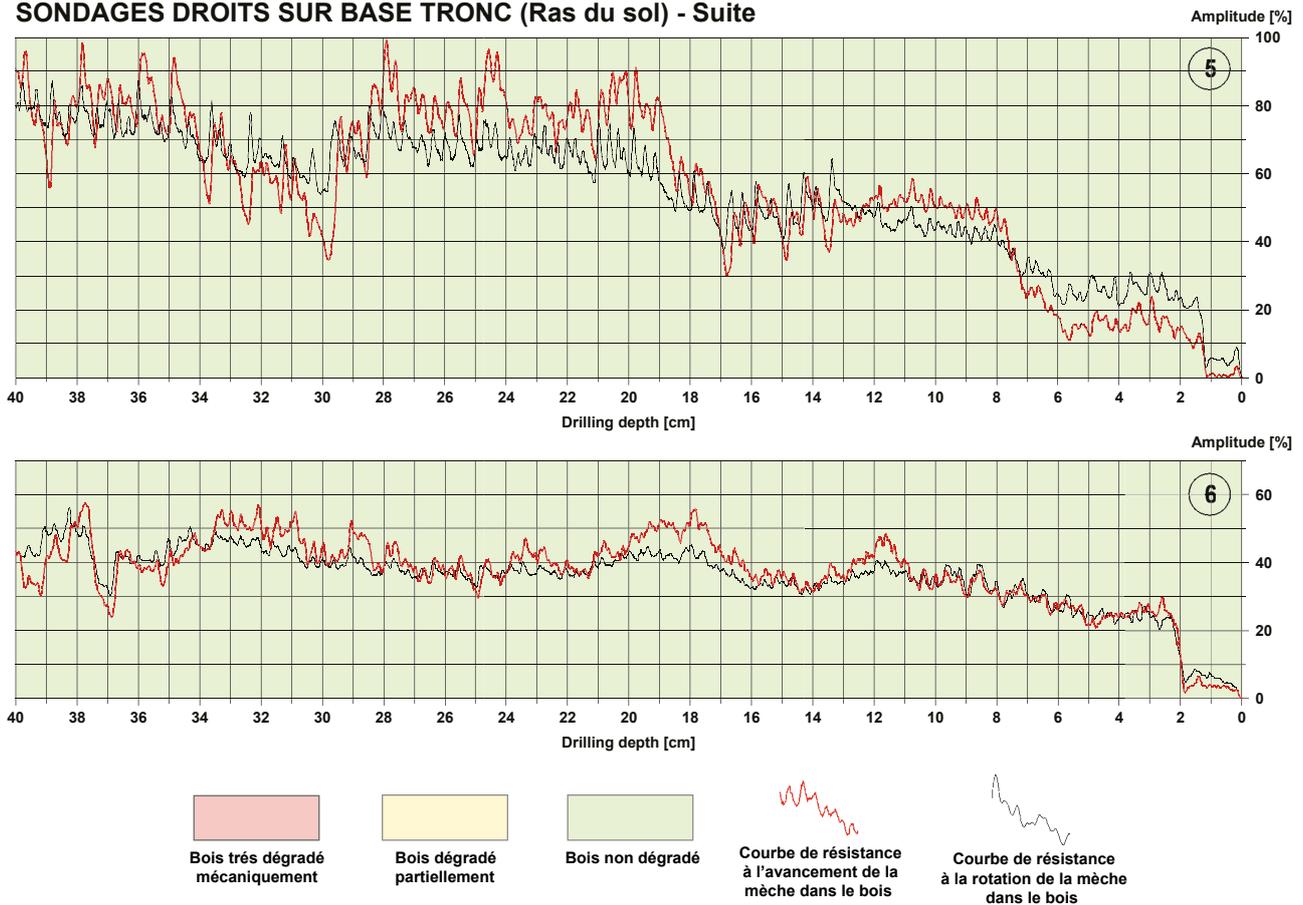
SONDAGES PLONGEANTS SUR COLLET (suite)



SONDAGES DROITS SUR BASE TRONC (Ras du sol)



SONDAGES DROITS SUR BASE TRONC (Ras du sol) - Suite



4-5 Les recommandations

A l'issue de cette compilation de données, nous considérons que ce platane monumental s'inscrit dans un processus de lent déclin mécanique qui inévitablement condamne à terme son maintien sur le site. Nous considérons que le *Rigidoporus* est en cours d'extension sur la base de son tronc et qu'il affaiblit peu à peu son ancrage et sa résistance mécanique. La pourriture cubique en développement va rendre les tissus ligneux de plus en plus cassants au fil du temps. Un point de rupture est susceptible de survenir à un moment encore incertain mais dont les caractéristiques phénoménales se dessinent peu à peu : un contexte de tempête violente avec de fortes précipitations. Il nous est naturellement impossible de prévoir l'irruption d'un tel épisode météorologique sur le site et la Ville de Tours. Il est a priori peu fréquent mais sa probabilité d'apparition est malheureusement loin d'être nulle en ces temps de dérèglement climatique.

Le dernier test de traction effectué en novembre 2022 s'avère proche de ceux effectués avant celui d'avril dont la singularité semble s'éclairer par les conditions climatiques très particulières dans lesquelles il a été réalisé. En l'absence de ces dernières, on peut considérer que l'arbre présente encore un contexte mécanique tolérable dans cet environnement urbain tout en constatant cependant une diminution relative des valeurs des facteurs de sécurité calculés sans que ces dernières ne s'inscrivent sous des seuils critiques théoriques. La problématique principale repose sur l'évaluation d'un risque de casse en relation avec l'irruption d'un phénomène météorologique inhabituel par sa violence et son intensité.

Compte tenu des impacts potentiels majeurs en cas de casse dans ce contexte urbain, nous considérons que la garantie d'un niveau de sécurité tolérable pour le public passe nécessairement par une mise en sécurité à court terme de cet arbre. **Celle-ci se concrétise à nos yeux soit par un abattage, soit par une réduction de couronne adaptée** de façon à limiter les prises au vent et les masses supportées tout en répondant aux pertes mécaniques constatées sur la base du tronc. Cette mise en oeuvre, si elle devait être réalisée, ne neutralisera cependant en rien la progression de la pourriture sur la base de l'arbre. Il s'agit dans ce cadre d'un maintien obligatoirement provisoire et qui restera toujours sous la menace d'un abattage à venir dès que les indices mécaniques apparaîtront défavorables sur sa base. Il reste que cette approche peut limiter l'impact de la disparition du sujet sur la tenue de ses 2 voisins qui risquent de subir des déstabilisations sensibles aussi bien sur la tenue de leurs parties aériennes que sur celle de leurs enracinements en cas de suppression brutale. **Quelque soit la modalité de mise en sécurité retenue, un examen régulier des 2 ou 3 arbres maintenus (y compris vis à vis de leurs ancrages) reste indispensable compte tenu des enjeux de sécurité majeurs représentés sur ce site.**