



HAL
open science

Thermographie et dendrodensimètre pour l'évaluation de la stabilité des arbres : comparaison de résultats.

Alessandra Catena

► To cite this version:

Alessandra Catena. Thermographie et dendrodensimètre pour l'évaluation de la stabilité des arbres : comparaison de résultats.. Revue forestière française, 2004, 56 (2), pp.164-170. <10.4267/2042/5085>. <hal-03449382>

HAL Id: hal-03449382

<https://hal.science/hal-03449382v1>

Submitted on 25 Nov 2021

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.



HAL Authorization

THERMOGRAPHIE ET DENDRODENSIMÈTRE POUR L'ÉVALUATION DE LA STABILITÉ DES ARBRES : COMPARAISON DE RÉSULTATS

ALESSANDRA CATENA

L'évaluation de la stabilité des arbres a pris une importance fondamentale dans l'aménagement des zones vertes, aussi bien publiques que privées, en raison des risques que présentent les arbres pour les personnes et pour les biens.

Le système d'investigation le plus répandu à l'heure actuelle, à cette fin, est l'évaluation visuelle de l'état de santé de l'arbre (Visual Tree Assessment, VTA), introduit par Mattheck (1994). Ce système se compose de trois phases : dans la première, on cherche, au niveau visuel, des signes ou des symptômes qui décèlent la présence de défauts internes des individus examinés ; dans la deuxième phase, on utilise des outils dits invasifs permettant de confirmer ou non l'existence des défauts supposés et de les quantifier. Mattheck, lui-même, dans son souci de ne pas infliger une blessure inutile à un arbre sain, ou de ne pas aggraver davantage la situation d'un arbre présentant déjà des défauts, recommande d'utiliser les outils à partir du moins invasif. Selon ce principe, à l'heure actuelle, les outils employés sont, dans l'ordre cité : le marteau à ondes sonores, le dendrodensimètre et le fractomètre ; plus les résultats sont probants et exhaustifs, plus le système est invasif. Dans la troisième phase, on évalue les résultats obtenus et on décide des mesures à prendre afin de préserver l'arbre autant que possible et de sauvegarder la sécurité des passants.

L'usage de la thermographie est connu depuis plusieurs années (Catalano *et al.*, 1986 ; Catena, 1992a et b). Il s'agit d'un système réellement non invasif qui détecte la présence et l'étendue de possibles défauts internes des arbres, en relevant, à distance, les différences de température sur la surface des arbres. La méthode se fonde sur le principe suivant : chaque fois que l'on détecte du tissu altéré à l'intérieur d'une plante, celui-ci ayant des propriétés thermiques (conductibilité et capacité) différentes par rapport aux tissus sains environnants, on relève sur la surface de l'arbre, dans la zone endommagée, une température plus faible par rapport à la température des tissus sains environnants. Cela se produit quelles que soient l'origine, la nature, la forme, la position et l'extension du dommage. S'il y a, en outre, une cavité interne, la différence entre les températures superficielles des deux zones est encore plus grande. Si la zone dont la température superficielle est la moins élevée est située en proximité du collet, en contact avec le terrain, le dommage concerne alors l'appareil racinaire (Catena, 2003 ; Catena *et al.*, 2002). Ce système, introduit par les techniciens de l'Unità di Telerilevamento de l'Istituto Superiore di Sanità (Unité de Télédétection de l'Institut supérieur de Santé italien) de Rome, a été expérimenté avec succès sur des milliers d'arbres de différentes essences.

L'expérience gagnée dans l'usage de la thermographie et l'exactitude des résultats obtenus ont suggéré de l'utiliser dans le cadre du VTA, juste après l'exécution de l'analyse visuelle et avant l'usage d'outils invasifs.

Puisque le système détecte, en effet, la différence d'activité métabolique entre la zone saine et la zone endommagée, la description du test thermographique relatif à un seul arbre (qu'il s'agisse d'un conifère, d'un arbre feuillu ou d'un palmier) est en mesure de prouver la fonctionnalité et la validité de la méthode. On présente, ci-dessous, la discussion sur l'investigation effectuée sur un Tilleul (*Tilia* sp.) monumental, situé le long d'une rangée d'arbres, au bord d'une rue. Puisque le dommage n'était pas grave au point qu'il faille abattre l'arbre, afin de prouver aux lecteurs la véracité des indications fournies par la thermographie, elles ont été confrontées avec celles obtenues par l'utilisation d'un outil invasif, le dendrodensimètre. Comme on le verra par la suite, les réponses obtenues sont similaires.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'appareil utilisé est une télécaméra à infra-rouge, modèle AVIO TVS 610, qui est sensible dans l'intervalle de longueurs d'onde 8-14 μm . Le système, aussi appelé thermographe, décèle la température superficielle du corps étudié et fournit, en temps réel (1/30^e s), une image (thermographie ou image thermique) sur son écran de 5 pouces. Cette image est une véritable "carte thermique" de la partie de l'arbre examiné. Dans les images en noir et blanc, le défaut est présenté par une nuance de gris plus foncé que la zone saine environnante ; dans les images en couleurs, les défauts sont rendus par une couleur différente de celle de la zone saine environnante.

Le capteur de l'appareil est composé par une matrice plate de microbolomètres fonctionnant à température ambiante : il a une résolution thermique de 0,1 °C et une résolution géométrique de 1,4 millistéradian. Cela signifie qu'il est en mesure de déceler des différences de température superficielle égales ou supérieures de 0,1 °C et, à une distance de 10 m, de reconnaître des objets ayant une surface supérieure ou égale à 1,4 cm^2 . La caméra est pourvue d'une batterie de type courant, qui permet à l'appareil de fonctionner de 1 à 4 heures, selon les modèles utilisés. Il s'agit d'un système portable qui pèse moins de 3 kg et peut être positionné sur un trépied pour appareils photographiques : il ne faut qu'une ou deux personnes pour l'utiliser.

L'outil peut être utilisé depuis le sol pour examiner aussi les parties aériennes des individus monumentaux, jusqu'à une distance de 20-25 m. À une distance supérieure, il y a le risque que l'appareil n'arrive pas à détecter des petits défauts, en raison du pouvoir réduit de résolution du système.

Les images, produites en noir et blanc ou en différentes échelles de couleurs établies par avance, peuvent être mémorisées sur une carte PCMCIA (une de ces cartes à 20 Mb peut contenir jusqu'à 100 images), de laquelle ces images peuvent être téléchargées sur un ordinateur pour être élaborées ensuite. Il est aussi possible de les enregistrer directement sur un magnétoscope portable, pour les visionner ensuite sur l'écran d'une télévision ou les imprimer sur papier. Les caractéristiques de la prise de vue sont enregistrées automatiquement sur l'image et il est possible d'écrire un message alphanumérique ou d'y enregistrer un court message vocal.

Un logiciel propriétaire PE, existant en plusieurs versions, permet le traitement des images sur un ordinateur et leur transformation en fichier. Ce fichier peut être importé en n'importe quel logiciel de traitement de textes et d'images, et ensuite imprimé. Le programme PE, selon les versions, permet aussi de rédiger un rapport sur l'investigation exécutée, dans lequel la photographie de l'arbre, les caractéristiques de la prise de vue, des dessins, des notes, etc., peuvent être insérés, outre l'image thermique.

Le dendrodensimètre est un appareil portable, composé essentiellement d'une sonde en acier, longue de 40 cm et dont le bout a un diamètre de 3 mm environ, qui est poussée par un dispositif la faisant pénétrer à vitesse constante dans l'arbre examiné. Un ordinateur, séparé de l'outil, mesure la puissance nécessaire à dépasser la résistance au perçage de la sonde et l'indique comme ordonnée dans un graphique, sur la base du parcours effectué, qui est indiqué comme abscisse dans le même graphique. Le graphique a une longueur standard de 40 cm. Dans le cas de tissus sains, la résistance augmente à mesure que le perçage avance, tandis que, en présence d'altérations ou d'une cavité, la résistance est réduite et le graphique, qui est gradué en centimètres, permet non seulement de connaître l'état de santé des tissus percés, mais aussi de mesurer la profondeur du phénomène sous la surface et son extension linéaire. Sur le tracé, on peut aussi enregistrer des données relatives à l'investigation. Le système fonctionne avec batterie, dont la durée de fonctionnement dépend clairement de la résistance des tissus examinés. En outre, cet appareil permet, par un logiciel propriétaire, de télécharger les tracés sur un ordinateur, duquel ils sont transférés à des logiciels de traitement de textes et d'images et, ensuite, imprimés dans un rapport.

Le dendrodensimètre est limité dans son utilisation par le fait qu'il ne fournit d'informations que sur l'endroit où il est employé : afin d'analyser les parties aériennes des arbres ou, en tout cas, des endroits qui ne sont pas directement accessibles depuis le sol, il faut des échelles ou des échafaudages, et donc le système exige plus de temps et de personnel.

RÉSULTATS

Le Tilleul, objet de l'investigation, fait partie d'une rangée de huit individus située le long d'une rue. Les arbres ont été découronnés auparavant et présentent de nombreuses plaies d'élagage et quelques blessures le long du tronc. L'arbre en question a un diamètre à hauteur de poitrine de 85 cm et est haut de 10 m environ. Comme on peut le voir sur la figure 1 (ci-contre), prise du sud, l'asphalte du revêtement de la chaussée est en contact avec le collet de l'arbre ; ses racines présentent de grands défauts en raison du trafic, de la base en ciment d'un signal routier (côté postérieur gauche) et du pilier, visible à la droite de la photographie, d'une clôture voisine en ciment. À 1 m du tronc, à droite sur la photographie, le tuyau enterré du réseau urbain de distribution du gaz est présent. L'individu a quatre branches principales résiduelles qui présentent quelques petites blessures et une grande cavité due à la perte d'une grande branche à la base du houppier en direction de l'observateur. À la base, en outre, une profonde fente longitudinale, longue de 1 m, remonte du collet vers la tige.

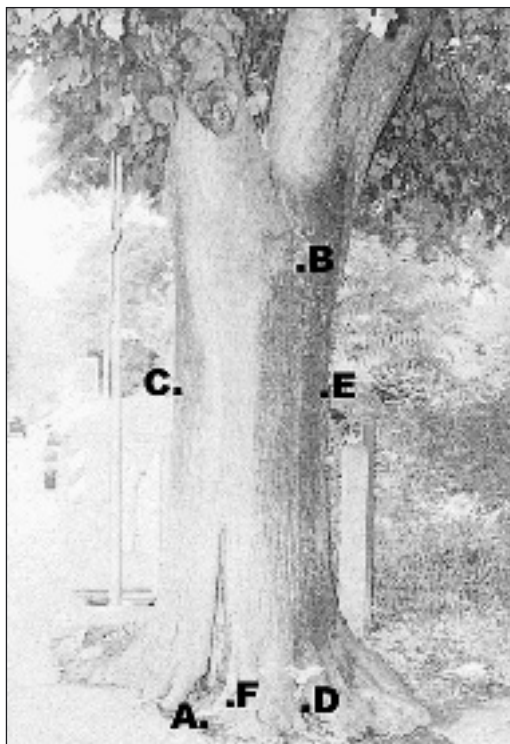
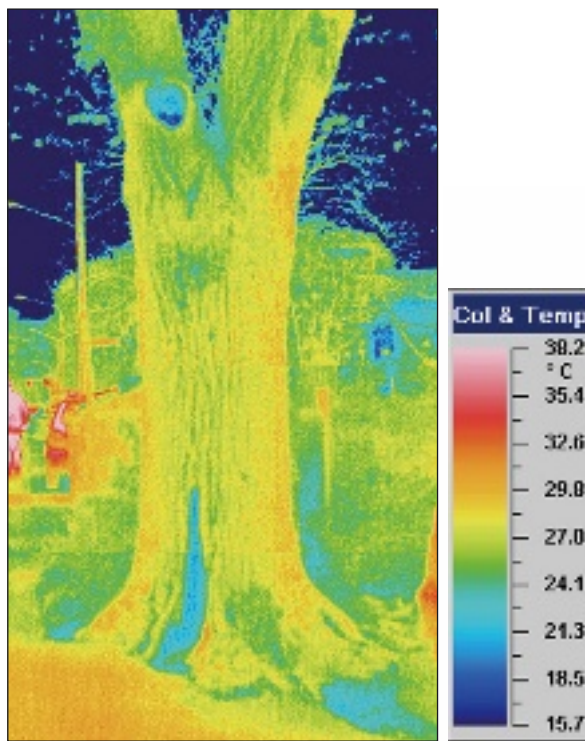


FIGURE 1 LE TILLEUL OBJET DE L'ANALYSE

Les lettres indiquent les points d'insertion de la sonde du dendrodensimètre utilisé pour vérifier ce que la thermographie a décelé

FIGURE 2
LA THERMOGRAPHIE MONTRÉ
L'EXISTENCE D'UN DÉFAUT IMPORTANT
QUI INTÉRESSE
LA PARTIE GAUCHE DU TRONC
ET LES BRANCHES PRINCIPALES,
À PARTIR DE LA BASE DU HOUPPIER

L'analyse thermographique (figure 2, ci-contre), faite du côté sud avec le même angle que pour la prise de la photographie de la figure 1, montre l'état des tissus internes de l'arbre. L'échelle des températures, à la droite de l'image, permet de corréler chaque couleur à la température superficielle correspondante. Les zones saines de l'arbre sont marquées en couleur rouge-orange, les zones endommagées sont indiquées en jaune et vert tandis que les blessures ouvertes sont marquées en bleu. Les différentes tonalités de jaune et de vert indiquent la différente intensité des dommages détectés : plus la température est basse, plus les tissus sont abîmés ; la

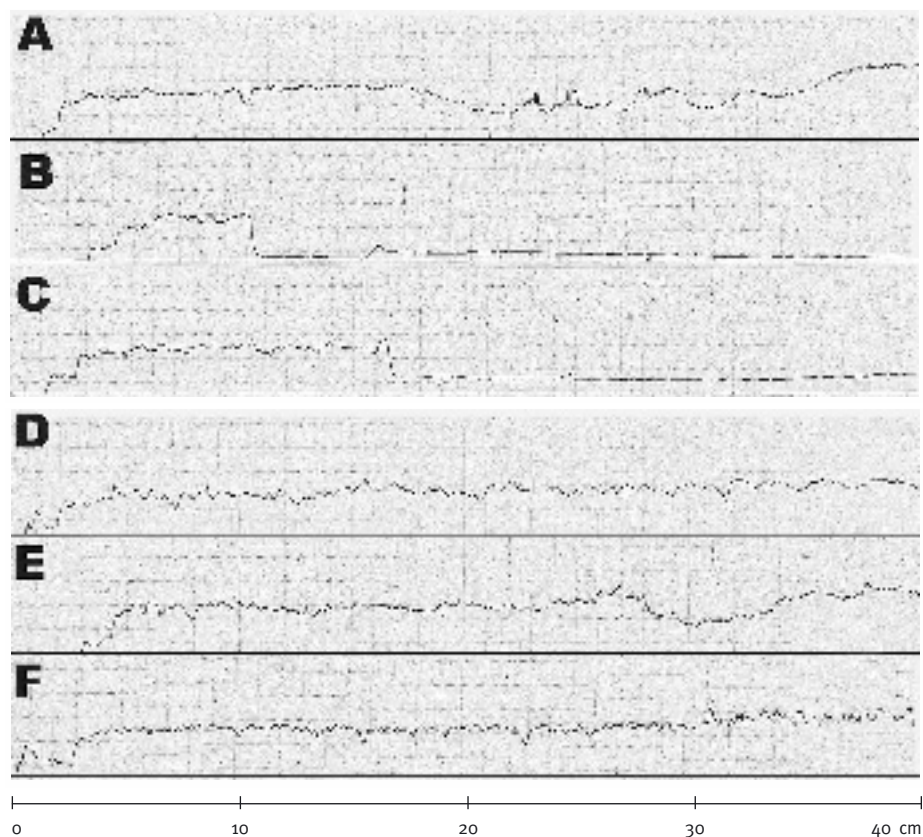


zone marquée en vert entre les lettres D et F, la zone à gauche de la lettre B et les deux zones au premier plan indiquent la présence d'un tissu très endommagé ou d'une cavité. L'appareil racinaire paraît en bon état sauf dans la zone indiquée en vert. Actuellement, le système n'est pas en mesure de distinguer entre un tissu abîmé et une cavité, mais il faut tenir compte du fait que l'investigation est effectuée à distance et que, comme les spécialistes le savent très bien, pour ce qui concerne la stabilité, une cavité équivaut à un tissu très endommagé. Comme on peut le voir, une vaste altération s'étend le long de la tige : l'utilisation d'une sonde métallique a permis de vérifier que la fente longitudinale et la cavité sur la branche sont communicantes. Toutefois, le défaut s'étend le long des branches (en vert) : la première branche, sur la droite de l'image, semble présenter un défaut mineur par rapport aux autres (en jaune et rouge-orange). Le test thermographique a permis de détecter et d'évaluer même les défauts qui ne sont pas visibles de l'extérieur. Tout en étant très abîmé, l'individu n'a pas été jugé à risque immédiat, mais il devra être suivi régulièrement dans le temps et la couronne devra être bien élaguée.

Pour prouver aux lecteurs l'exactitude du test thermographique, comme il n'était pas nécessaire d'abattre prématurément l'individu majestueux, on a fait des tests au moyen d'un outil invasif, un dendrodensimètre, afin de comparer les résultats obtenus par les deux techniques. On a effectué six sondages sur la circonférence de l'arbre, du sol jusqu'à la hauteur maximum qu'un opérateur peut atteindre depuis le sol : les résultats ont confirmé la présence de tissus altérés et d'une cavité excentrée par rapport à l'axe de l'arbre ; les tracés obtenus sont présentés en figure 3 (p. 168), indiqués par des lettres. Pour une meilleure compréhension de ces essais, en figure 1, les différents trous d'insertion de la sonde dans l'arbre ont été indiqués par la même lettre. Les deux trous d'insertion de la sonde, le long du côté postérieur de l'arbre, sont indiqués par les lettres F et D.

Le premier essai (A) a été fait du côté sud, sur la marge droite de la blessure à la base du tronc et avec un angle de 30° vers le bas : en ce point, la thermographie indiquait la présence de tissus très endommagés (couleurs vert et jaune-vert). L'examen du tracé décèle la présence de tissus très altérés entre 15 et 37 cm. Le deuxième essai (B) a été fait du côté sud-est à 230 cm environ de hauteur et avec un angle de 30° vers le haut. La thermographie avait indiqué la présence de tissus internes très abîmés. Le tracé montre des tissus altérés mais encore consistants dans les 6 premiers centimètres et ensuite une cavité atteignant 40 cm, c'est-à-dire la longueur de pénétration de la sonde. Le troisième essai (C), effectué du côté ouest à environ 160 cm le long de la tige et parallèlement au sol, a mis en lumière la présence de tissus altérés dès 10 cm et une cavité à partir de 17 cm qui s'étend le long du trajet de la sonde. La thermographie avait montré d'abord la présence d'une petite zone de tissus sains (couleur rouge-orange) et, ensuite, des tissus de plus en plus altérés en allant vers le centre du tronc. Le quatrième essai (D), fait du côté nord-est au collet avec un angle de 30° vers le bas, montre la présence de tissus altérés, mais consistants, tout au long du trajet de la sonde, confirmant ainsi les indications fournies par la thermographie. Le cinquième essai (E) fait du côté est, à 160 cm le long de la tige et parallèlement au sol, a mis en lumière la présence de tissus altérés dès le début du tracé, mais le dommage empire à partir de 27 cm. Le dernier essai (F) fait du côté

FIGURE 3 LES TRACÉS DU DENDRODENSIMÈTRE MONTRENT LA CORRESPONDANCE ENTRE LES DONNÉES FOURNIES PAR LA THERMOGRAPHIE ET L'ÉTAT RÉEL DES TISSUS DANS LE TRONC
Les lettres en permettent le positionnement sur le tronc



nord, à 5 cm du sol et parallèlement à celui-ci, montre une altération initiale à partir de 15 cm qui s'aggrave en allant vers le centre de l'arbre, confirmant à nouveau, comme pour le point D, les données fournies par la thermographie (dégâts au niveau de l'appareil racinaire, face à l'observateur).

En l'absence d'échafaudage, on n'a pas pu faire d'analyse au niveau de la ramification et des branches.

On peut remarquer que, en général, il y a une excellente correspondance entre ce que la thermographie indique et ce qui est montré par les différents tracés : les différences principales entre les deux systèmes semblent résider dans le fait que le dendrodensimètre, outre le fait qu'il permet de distinguer avec exactitude entre tissu altéré et cavité, possède une précision au centimètre dans la détermination des dimensions du défaut et du tissu sain résiduel, ce qui n'est signalé qu'au niveau qualitatif par la thermographie.

CONCLUSIONS

L'épreuve comparative a mis en lumière une bonne correspondance entre les données obtenues par les deux outils, confirmant qu'il convient d'employer la thermographie dans le cadre du VTA, avant l'usage d'outils invasifs. Les avantages considérables fournis par le système compensent amplement le coût encore partiellement élevé de l'appareil. Ces avantages sont les suivants : le caractère non invasif, la possibilité d'analyser, dans une seule image, de grandes parties d'arbre, la disponibilité immédiate de l'image thermique et, par conséquent, la connaissance de l'état de santé de l'arbre entier en temps réel, la possibilité d'introduire les images dans une banque de données ou dans un recensement de l'état de santé du végétal, ce qui permet de suivre, avec une bonne précision, le développement du phénomène au fil des années, simplement en comparant les images relatives.

L'impossibilité de juxtaposer parfaitement ce que le thermogramme et l'analyse des deux tracés pris au même niveau (C et E) ont décelé peut être expliquée par le fait que la thermographie montre la situation existante sur le plan orthogonal de l'axe de filmage, ce qui ne peut pas être affirmé pour les deux tracés. Les arboriculteurs avertis de l'usage du dendrodensimètre savent bien que la présence d'un défaut non homogène, mais à poches, ou des tissus de consistance différente le long du trajet de pénétration de la sonde, ne garantit pas la parfaite linéarité de pénétration de la sonde même. En outre, pour prendre en considération toutes les causes possibles d'erreur, il faut tenir compte du fait que le déplacement, même de quelques degrés, de l'orthogonalité de positionnement de l'outil, dans les deux points opposés de l'arbre, peut faire en sorte que les deux tracés ne se trouvent plus le long du même diamètre.

On ne veut absolument pas affirmer l'inutilité de l'usage de méthodes invasives dans l'évaluation de la stabilité des arbres, mais seulement soutenir qu'il convient d'utiliser tout d'abord la thermographie et, ensuite, le cas échéant de faire l'analyse invasive, afin d'éviter de causer inutilement des dégâts sur un arbre sain ou de diffuser un défaut déjà présent.

Alessandra CATENA
Arboriste libérale
Via Peveragno, 33
I-00166 ROME (ITALIE)
(alessandra.catena@tiscali.it)

BIBLIOGRAPHIE

- CATALANO (M.), CATENA (G.), PALLA (L.). — Impiego dell'infrarosso per l'individuazione di alcuni fenomeni morbosi negli alberi. — *Agricoltura Ricerca*, n° 59, 1986, pp. 7-16.
- CATENA (A.). — Thermography reveals hidden tree decay. — *Arboricultural Journal*, vol. 27, 2003, pp. 27-42.
- CATENA (A.), CATENA (G.), LUGARESI (D.), GASPERONI (R.). — La termografia rivela la presenza di danni anche nell'apparato radicale degli alberi. — *Agricoltura Ricerca*, n° 189, 2002, pp. 81-100.
- CATENA (G.). — Une application de la thermographie en phytopathologie. — *Phytoma*, n° 439, 1992a, pp. 45-48.
- CATENA (G.). — Une méthode nouvelle pour évaluer l'état de santé des arbres. — *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, n° 6, 1992b, pp. 897-903.
- MATTHECK (C.), BRELOER (H.). — Field guide for Visual Tree Assessment (VTA). — *Arboricultural Journal*, vol. 18, 1994, pp. 1-23.

THERMOGRAPHIE ET DENDRODENSIMÈTRE POUR L'ÉVALUATION DE LA STABILITÉ DES ARBRES : COMPARAISON DE RÉSULTATS (Résumé)

Parmi les outils et les méthodes d'investigation développés pour la détermination de l'état de santé des arbres, on peut distinguer l'Analyse visuelle des Arbres (Visual Tree Assessment, VTA) qui, partant de la détection visuelle des défauts externes des arbres, permet d'évaluer la dangerosité des exemplaires examinés par l'usage d'outils dits invasifs.

L'utilisation de la thermographie, en tant que méthode d'investigation non invasive, est conseillée dans le cadre du VTA après l'analyse visuelle et avant l'usage des outils préconisés par le VTA, pour diagnostiquer la présence et l'extension de défauts internes des arbres. C'est le seul système parmi les méthodes connues qui permet de "lire" la situation existante à travers les images qu'il produit. La disponibilité des images de la situation décelée permet en outre de contrôler le développement de la pathologie, au fil des années, par une simple comparaison des images relatives.

On présente l'étude effectuée sur un Tilleul à l'aide de la thermographie, dont les résultats sont comparés avec ceux qui ont été obtenus par l'usage d'un dendrodensimètre.

THERMOGRAPHY AND DENDRODENSITOMETRY FOR ASSESSING TREE STABILITY – COMPARATIVE RESULTS (Abstract)

Among the investigative tools and methods developed to determine the health status of trees, Visual Tree Assessment (VTA) is prominent. It begins with a visual assessment of external symptoms and damage, and then goes on to use invasive tools to establish to what extent a tree presents a hazard.

The use of thermography, a non-invasive investigative tool, is proposed as a step within the VTA after visual assessment, prior to using the method's usual tools for detecting the presence and magnitude of internal tree decay. The system is the only available method that is capable of "reading off" the current condition directly from the images it produces. Moreover, the status of the disease can be tracked by comparing images recorded over time.

The article describes an investigation carried out on a lime tree using a thermographic system. The results are compared with those obtained with a densitometer.
