

# Contenu de formation

## VI - VTA

# Analyse visuelle de l'arbre et évaluation de l'état mécanique (Depuis 1991)



**Guide des Ateliers**

**Responsable pédagogique : William Moore**

©William Moore. Mise à jour juillet 2024



# Votre parcours de formation

15 ateliers sont proposés sur 3 niveaux.

Commencer toujours votre parcours de formation avec le Voyage au Centre de l'Arbre.

## Thématique I : Connaissance fondamentale de l'arbre

Voyage au Centre de l'Arbre vous découvrez une nouvelle vue approfondie de l'arbre, de ses associés et de leur fonctionnement. Vous vous procurez des outils pour le diagnostic de l'arbre ainsi que des techniques d'observation. L'ensemble des traitements y est abordé en fonction des observations réalisées lors de vos dissections ainsi que de vos observations macro et microscopiques.

Pendant votre Voyage au Centre de l'Arbre vous serez initié à la physiologie de l'arbre, son architecture, son anatomie.

Cependant ces thèmes fondamentaux nécessitent une attention particulière d'où les cinq autres ateliers de la thématique I :

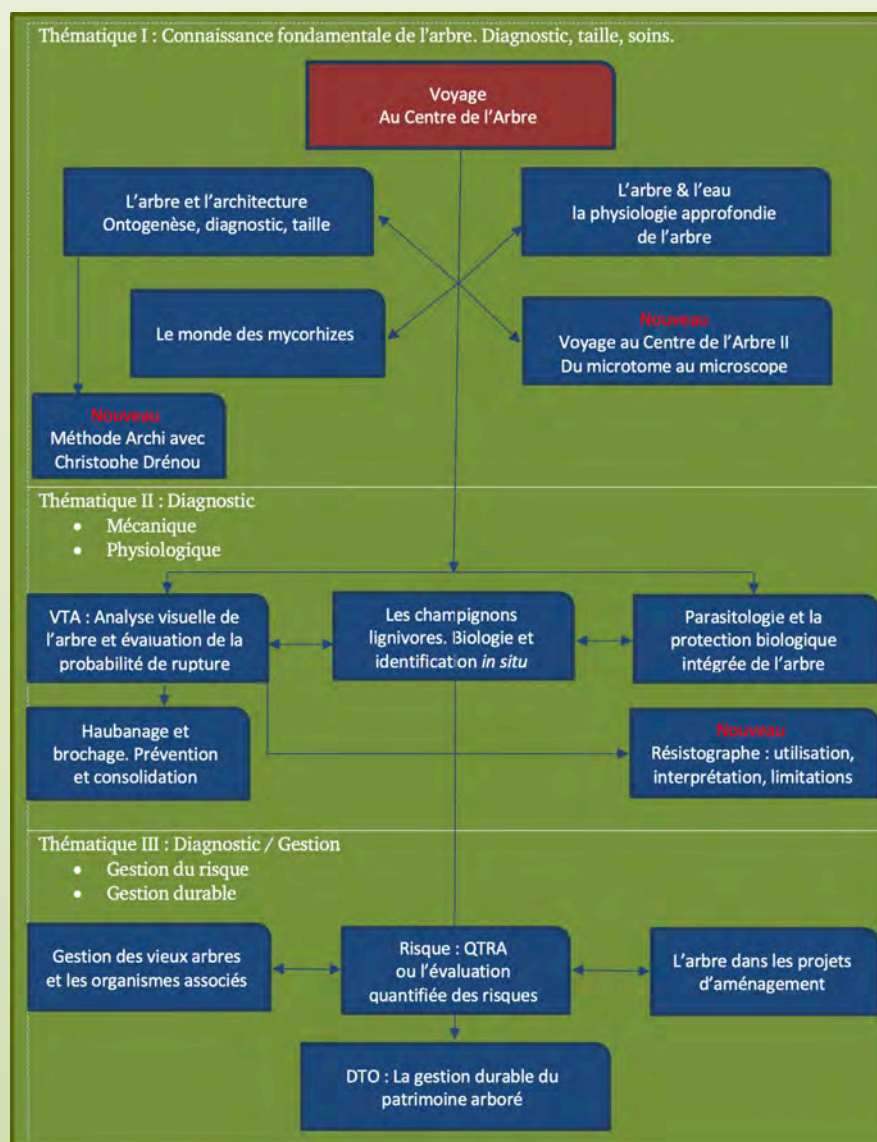
- L'architecture de l'arbre, ontogenèse, diagnostic, taille.
- L'arbre et l'eau. La physiologie approfondie de l'arbre.
- Le monde des mycorhizes
- Voyage au Centre de l'Arbre II. Du microtome au microscope. L'anatomie fonctionnelle du bois et de l'écorce.
- La méthode « Archi » de Christophe Drénou.

## Thématique II : Diagnostic mécanique et physiologique

Les cinq modules de la thématique II traitent du diagnostic mécanique et des dysfonctionnements physiologiques de l'arbre ainsi que les agents pathogènes.

## Thématique III : Gestion du risque et gestion durable

Les quatre ateliers proposés en thématique III traitent la gestion de l'arbre : risque, biodiversité et le projet d'aménagement. Le cursus s'achève méthodiquement par l'atelier DTO qui permet d'aborder le diagnostic et la gestion durable d'un patrimoine arboré entier en fonction de l'ensemble des éléments présentés lors des ateliers précédents.



*N'hésitez pas à nous contacter lors du montage de votre projet afin de déterminer avec vous le parcours de formation le plus adapté à vos besoins*

## SOMMAIRE

<b>VI. VTA - ANALYSE VISUELLE DE L'ARBRE ET EVALUATION DE L'ETAT MECANIQUE</b>	<b>4</b>
<b>Généralités</b>	<b>4</b>
Prérequis	4
Motifs de la formation	4
Objectifs généraux	5
Résultats et produits attendus	5
Public visé	5
Accessibilité aux personnes handicapées	5
Méthodes	5
Évaluation de la satisfaction des participants	5
Évaluation des acquis	5
Durée	5
Intervenants	5
<b>Contenu en détail</b>	<b>6</b>
Module 1 : Principes de base	6
Module 2 : Le comportement biomécanique de l'arbre : l'arbre, un organisme mécaniquement optimisé.	7
Module 3 : Développement des symptômes et l'analyse visuelle de l'arbre	8
Module 4 : Seuils de sécurité et évaluation de la probabilité de rupture	9
Module 5 : Les outils de diagnostic	10
Module 6 : L'investigation approfondie	11
Module 7 : Traitements pour réduire le risque associé à un défaut	12
<b>VI. VTA - Déroulement</b>	<b>13</b>

## VI. VTA - ANALYSE VISUELLE DE L'ARBRE ET EVALUATION DE L'ETAT MECANIQUE

La biomécanique, le diagnostic visuel, la détection des défauts, l'évaluation de l'état mécanique.



L'arbre de gauche montre les symptômes de rupture imminent. Pour la personne avertie les symptômes sont bien marqués. Aucun sondage n'est nécessaire. L'abattage de l'arbre a été formellement interdit, il est tombé deux semaines plus tard, heureusement sans dommages corporels.

Des catastrophes illustrées par la photo de droite, peuvent être évitées par des contrôles réguliers effectués par une personne avertie. Photo Roy Finch, expert Britannique.

### GENERALITES

#### Prérequis

Formation Voyage au Centre de l'Arbre fortement recommandée. Sinon, merci de lire attentivement le contenu du Voyage au Centre de l'Arbre et de vérifier que vous maîtrisez les thèmes abordés.

#### Motifs de la formation

La chute d'un arbre ou d'une partie de l'arbre est une préoccupation majeure du gérant. L'identification des défauts pouvant entraîner une rupture repose dans la capacité de reconnaître les symptômes visuels de défauts mécaniques internes ou externes. Ces symptômes sont parfois très subtils et visibles seulement par une personne avertie. Une compréhension du comportement biomécanique de l'arbre est essentielle pour comprendre le développement des symptômes et l'évolution des défauts. Suite à la détection d'un symptôme des outils simples ou sophistiqués sont employés pour vérification et pour la mesure de l'ampleur du défaut. Ces outils sont plus au moins efficaces et l'opérateur doit être au courant de leurs limites. D'autre part, ces outils sont plus au moins intrusifs (percement), une bonne lecture de l'arbre permet de minimiser le nombre de perforations effectuées.

Cet atelier repose en grande partie sur les travaux de Professeur Claus Mattheck et son équipe, au Centre de Recherche Nucléaire de Karlsruhe en Allemagne. La recherche qu'il mène avec son équipe depuis de nombreuses années, a permis d'établir la méthode VTA pour le diagnostic de l'état mécanique des arbres et de créer des logiciels utilisés pour *optimiser* la forme de certaines pièces mécaniques. (Voitures et broches chirurgicales sont maintenant conçues en tenant compte des lois physiques qui régissent les arbres !).

Cet atelier comprend également une présentation des méthodes **SIA**, Statique Intégrée de l'Arbre de Lothar Wessolly et la méthode d'**Autoréférencement** de Frank Rinn (**Rinntech**). Les seuils de sécurité proposés par les trois méthodes (VTA, SIA, Rinntech) sont comparés et critiqués.

La pratique de la méthodologie de Claus Mattheck, depuis 1993 et l'utilisation depuis 1982 de toute une gamme d'instruments pour l'évaluation de défauts mécaniques, ont permis à William Moore d'établir une étude comparative des différents outils et méthodologies et d'écrire plusieurs articles sur le sujet.

#### Objectifs généraux

1. Comprendre le comportement biomécanique de l'arbre.
2. Connaître les symptômes visuels des défauts internes des arbres.
3. Connaître les outils de diagnostic couramment utilisés.
4. Connaître les différentes méthodes couramment utilisées pour l'évaluation de la gravité d'un défaut incluant tests de traction et tomographie acoustique.
5. Connaître les techniques pour diminuer la probabilité de rupture.

#### Résultats et produits attendus

A la suite de cet atelier le participant sera capable :

1. De comprendre le comportement biomécanique de l'arbre.
2. De reconnaître les symptômes visuels de défauts.
3. De mener une investigation sur l'amplitude d'un défaut, tout en minimisant le nombre de sondages.
4. D'effectuer une cartographie de la section analysée.
5. De choisir parmi différentes méthodes pour l'évaluation de la gravité d'un défaut.

#### Public visé

Tous les métiers ayant trait à l'arbre (Service des Espaces Verts (ingénieurs, techniciens), arboristes, experts, architectes paysagistes...

#### Accessibilité aux personnes handicapées

Nous n'avons jamais eu de demande de formation d'une personne en handicap. Néanmoins, les travaux de rénovation en cours tiennent compte de l'accessibilité aux personnes handicapées dans nos bâtiments. Cependant les visites sur terrain ne sont pas adaptées à certains types de handicap car elles se situent en forêt. Si vous avez besoin de plus d'information merci de nous contacter.

#### Méthodes

Exposés en salle 50%. Études *in situ* 50%.

#### Évaluation de la satisfaction des participants

La satisfaction des stagiaires est analysée au moyen d'une fiche d'évaluation complétée à la fin du stage par chaque participant.

#### Évaluation des acquis

L'évaluation des acquis sera réalisée par :

1. Des séances questions-réponses pendant la formation.
2. Un QCM suite à la formation.

#### Durée

4 jours

#### Intervenants

William Moore et Darroch Moore.

## CONTENU EN DETAIL

### Module 1 : Principes de base

#### Objectif

#### 1. Connaître les contraintes physiques agissant sur l'arbre.

##### Contenu

- Révision : structure et fonction du bois et de l'écorce.
- La contrainte de compression.
- La contrainte de tension.
- Le moment de flexion.
- La contrainte de cisaillement.
- La fibre neutre.
- Le moment géométrique d'inertie.
- La contrainte de torsion.
- Les contraintes associées aux encoches.
- La structure du bois d'un point de vue biomécanique : les contraintes de croissance, le rôle des rayons.

Durée	Méthodes pédagogiques	Intervenant
2 h	Exposés en salle	William Moore

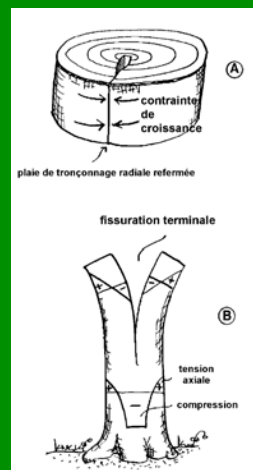
Il existe dans le bois des précontraintes associées à la croissance. Les précontraintes renforcent un bois d'un point de vue mécanique.

### La contrainte de croissance

Après une coupe de scie radiale dans une rondelle de bois vert, le bois se comprime latéralement. Il y a donc une précontrainte *circconférentielle* à l'intérieur du tronc qui agit comme une contrainte de compression sur la surface du tronc.

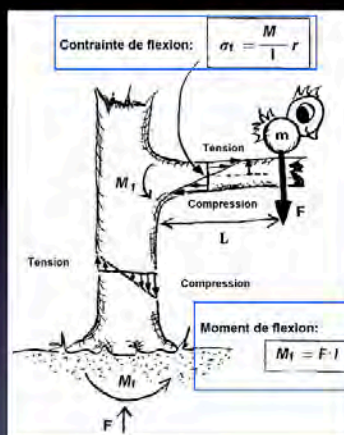
Après une coupe longitudinale dans un tronc vert, le tronc s'écarte au niveau de la coupe. Il y a donc une précontrainte *longitudinale* à l'intérieur du tronc qui agit sur la surface comme une contrainte de tension sur la surface du tronc.

Les précontraintes sont dues à l'expansion latérale et à la contraction longitudinale pendant le développement des cellules.



Principes de base en science physique : présentation simple !

### Le moment de flexion et la fibre neutre



- Moment de flexion ( $M_f$ ) :  
 $M_f = F \times L$
- Contrainte de flexion ( $\sigma_f$ ) :  
 $(M_f / I) \times r$   
( $I$  : moment géométrique d'inertie qui caractérise la forme de la section)
- Fibre neutre :  $\sigma_f = 0$

Les contraintes de flexion sont portées principalement par l'extérieur de la branche.



Module 2 : Le comportement biomécanique de l'arbre : l'arbre, un organisme mécaniquement optimisé.

### Objectifs

1. Comprendre le comportement biomécanique de l'arbre à travers les axiomes du Prof. Claus Mattheck.
2. Comprendre le flux de la force du vent, des feuilles au sol, et l'axiome de la contrainte constante.
3. Comprendre comment l'arbre optimise sa forme externe et la qualité du bois interne selon les contraintes subies.
4. Comprendre comment l'arbre minimise la longueur de ses bras de levier.
5. Comprendre la notion d'échec prévisible et d'échec imprévisible.

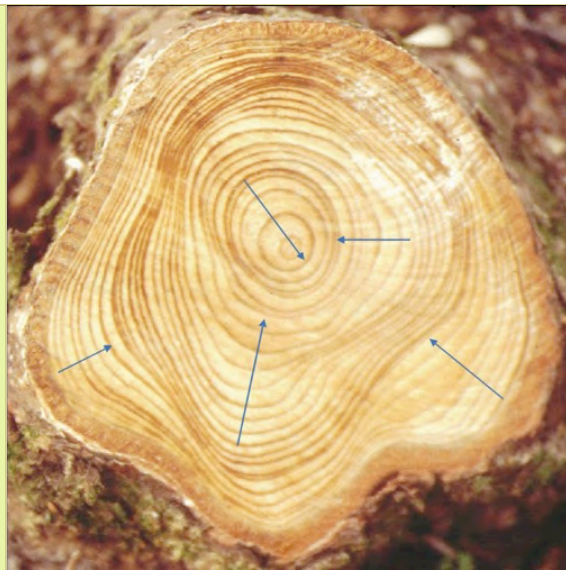
### Contenu

- Notions fondamentales : contraintes de compression, de tension, de torsion et de cisaillement. Singularités et flux des forces.
- Facteurs de sécurité.
- La contrainte de la croissance.
- Le bois de tension et le bois de compression.
- Le bois de « soutien ».
- La structure de la paroi cellulaire et le modèle bois/béton armé. Le rôle des rayons et le modèle bois/tour.
- La dégradation de la paroi cellulaire et modes de rupture du bois. Les différents types de pourriture : pourritures blanches simultanées et sélectives, marron, cubiques et alvéolaires.
- Présentation d'exemples d'échecs prévisibles et d'échecs imprévisibles.
- La chute de branche en période estivale, un échec généralement imprévisible. Facteurs causaux.

Durée	Méthodes pédagogiques	Intervenant
4 h	Exposés en salle, observations <i>in situ</i> .	William Moore



L'axiome de la distribution uniforme de la contrainte  
La contrainte est distribuée également sur la surface de l'arbre. Les contraintes associées aux encoches ne provoquent pas de concentration locale de la contrainte.



La biomécanique est un sujet qui devient rapidement très complexe. Dans cet atelier, les principes de bases sont présentés en utilisant un minimum de mathématiques pour illustrer les types de contraintes subies par un arbre.  
La forme externe de l'arbre et la qualité locale interne du bois sont modifiées en fonction des contraintes subies. L'historique des contraintes peut être lu en observant les cernes de croissance.  
L'arbre est continuellement en train d'optimiser sa forme en fonction de la contrainte subie. La compréhension de ces phénomènes chez l'arbre sain est importante car elle explique le développement des symptômes lorsqu'un défaut se développe.

### Module 3 : Développement des symptômes et l'analyse visuelle de l'arbre

#### Objectifs

1. Connaître les symptômes visuels des défauts mécaniques
2. Savoir effectuer une analyse visuelle de l'arbre

#### Contenu

La méthode VTA : développement et reconnaissance des symptômes associés aux :

- Cavités et pourritures symétriques.
- Cavités et pourritures asymétriques.
- Fissures longitudinales.
- Écorces incluses.
- Défauts racinaires.
- Arbres inclinés.
- Inclinaisons progressives.
- Poutres à risque.

Durée	Méthodes pédagogiques	Intervenant
8 h	Exposés en salle, observations <i>in situ</i> .	Darroch Moore.

Lors d'un atelier VTA un chêne debout a été diagnostiqué, suite à une analyse visuelle, comme présentant trois fissures associées à une ancienne blessure.

Vérification faite, l'analyse visuelle avait effectivement abouti à un diagnostic adéquat !





#### Module 4 : Seuils de sécurité et évaluation de la probabilité de rupture

##### Objectifs

1. Connaître les seuils de sécurité couramment employés pour l'évaluation de risque.
2. Connaître les limitations des seuils de sécurité.

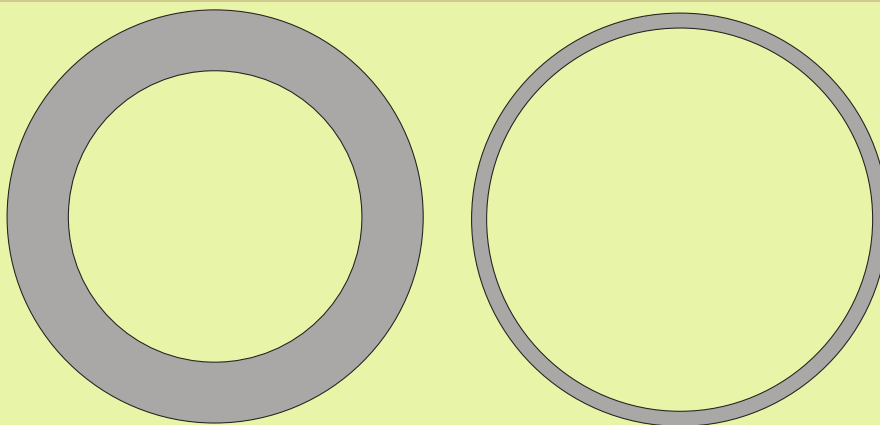
##### Contenu

- Présentation des seuils de sécurité concernant : pourritures et problèmes de développement des racines de support, cavités et pourritures symétriques, cavités et pourritures asymétriques, le rapport hauteur / diamètre.
- L'évolution des seuils de sécurité depuis 1963, Wagener, Willis, Mattheck, Wessolly et Rinn.
- Les complications posées par les multiples défauts.
- Évaluation écorces incluses.
- Application de la méthode SIA.
- Comparaison et critique constructif des seuils SIA, VTA et Rinntech.

Durée	Méthodes pédagogiques	Intervenants
3 h	Exposés en salle, observations <i>in situ</i> .	William Moore. Darroch Moore.

L'évaluation du risque présenté par un défaut est souvent déterminée en comparant les résultats du diagnostic aux seuils de sécurité publiés par différents auteurs. A l'heure actuelle, il y a un grand conflit sur ce sujet.

Dans ce module, l'historique de l'évolution de ces seuils est tracé depuis les années 1960 et les différents seuils sont critiqués. La mauvaise application des seuils peut être catastrophique (élagages, abattages sans raison réelle, échec mécanique).



VTA : 70% creux. Réduction en volume requise.

SIA : 93% creux, 100% sûr sous ouragan.

## Module 5 : Les outils de diagnostic

### Objectifs

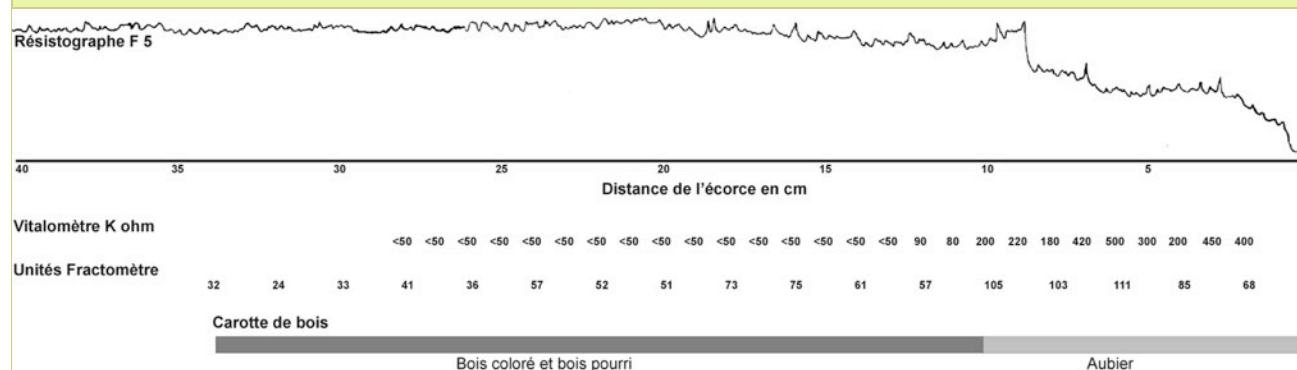
1. Connaître les outils utilisés pour le diagnostic de l'état de l'arbre
2. Connaître les limitations et les problèmes associés à chaque outil
3. Savoir interpréter les résultats

### Contenu

- Présentation et utilisation des outils de diagnostic :
  - Tige métallique
  - Marteaux
  - Portable Compression Meter (PCM)
  - Shigomètre
  - Tarière
  - Marteau à ondes sonores
  - Rési : M300, F400 et PD 400
  - Résistographe : Rinntech
  - Fractomètre
- Les appareils à tomographie sont présentés en diaporama.
- Étude des arbres sains *in situ*. Bois à zones poreuses, bois à pores diffus, conifères. Interprétation des résultats obtenus.

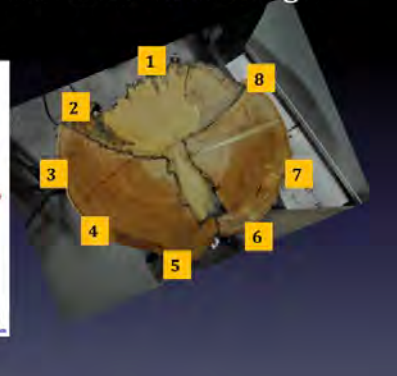
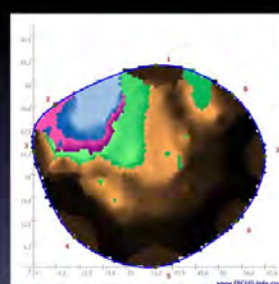
Durée	Méthodes pédagogiques	Intervenant
3 h	Exposés en salle, observations <i>in situ</i> .	W. Moore

Des outils plus ou moins sophistiqués sont souvent utilisés pour approfondir un diagnostic. Chaque outil a ses limitations. La courbe du Résistographe indique un bois d'excellente qualité pour du chêne. Les valeurs du Shigomètre indiquent des altérations majeures, confirmées par les faibles valeurs obtenues avec le Fractomètre, qui indiquent une perte considérable en robustesse.



Chaque méthode a ses limitations.

### Tomographie d'un hêtre atteint par Armillaire : ou les limites des outils de sondage



## Module 6 : L'investigation approfondie

### Objectifs

1. Savoir mener une investigation approfondie suite à la découverte d'un symptôme
2. Savoir enregistrer les résultats
3. Savoir effectuer une cartographie d'un défaut

### Contenu

- Sondage ? Où sonder ? Comment procéder à un sondage et comment minimiser le nombre de sondages effectués.
- Enregistrement des données sur fiches et cartographie des défauts
- Étude des arbres présentant des défauts *in situ*.
- Interprétation des résultats obtenus.
- Évaluation de la gravité d'un défaut.

Durée	Méthodes pédagogiques	Intervenant
6 h	Exposés en salle, observations in situ.	Darroch Moore.

La lecture de l'arbre permet de détecter les symptômes de défauts internes.

Ce platane présente des symptômes d'une cavité asymétrique. La confirmation de ce défaut a été effectuée par deux sondages avec un Marteau à Ondes Sonores.

Un seul sondage par tarière a permis de localiser l'endroit où la paroi résiduelle est la plus mince. L'arbre n'est pas compromis.

Sans analyse visuelle, trouver l'endroit où la paroi est la plus réduite est comme chercher une épingle dans le foin. L'arbre risque de finir comme un gruyère.

La bonne lecture de l'arbre permet de minimiser le nombre de sondages nécessaires.





Module 7 : Traitements pour réduire le risque associé à un défaut

Objectif

1. Connaître les différents types de gestion et les traitements pour minimiser les risques

Contenu

- Le risque : introduction à la méthode QTRA (Évaluation Quantifiée du Risque).
- Interventions sur la cible.
- L'haubanage. Les matériaux utilisés. Le positionnement des haubans, systèmes simples et systèmes complexes. Haubanage de « rétention ».
- Renforts.
- Supports.
- Taille : éclaircie, réductions de couronnes légères et réductions de couronne sévères. Le pour et le contre.

Durée	Méthodes pédagogiques	Intervenants
2 h	Exposés en salle, observations <i>in situ</i> .	William Moore. Darroch Moore.

Étais, haubans et mulch pour ce chêne de 1100 ans en Grande Bretagne.



## VI. VTA - DEROULEMENT

Jour I	Jour II	Jour III	Jour IV
Matin : 08.30 – 12.30	Matin : 08.30 – 12.30	Matin : 08.30 - 12.30	Matin : 08.30 - 12.30
Salle	Salle	Salle	Sortie
<p>Le comportement biomécanique de l'arbre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La structure du bois d'un point de vue biomécanique</li> <li>• Contraintes : compression, tension, cisaillement, torsion</li> <li>• Singularités</li> <li>• La contrainte de la croissance</li> <li>• Facteur de sécurité</li> </ul> <p>Les 5 axiomes du Prof. Claus Mattheck</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La méthode VTA et l'axiome de la contrainte constante</li> <li>• Adaptations mécaniques de l'arbre</li> <li>• Le rôle des rayons et le modèle bois/tour</li> <li>• La chute de branche en période estivale</li> <li>• La structure de la paroi cellulaire et le modèle bois/béton armé</li> <li>• Les différents types de pourriture : pourritures blanches, simultanées, marron, cubiques et molles</li> </ul>	<p>L'analyse visuelle de l'arbre</p> <p>Le guide VTA page par page</p> <p>Cavités et pourritures</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cavités symétriques et cavités asymétriques</li> <li>• Cavités ouvertes</li> <li>• Seuils de sécurité t/R</li> <li>• Flambage de la fibre</li> </ul> <p>Fissures</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formation de fissures ;</li> <li>• La corne de bouc, et CODIT</li> <li>• La gélivure.</li> <li>• Fissures longitudinales</li> <li>• Fissures multiples</li> <li>• Fissures spirales</li> </ul> <p>L'assise racinaire</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Morphologie</li> <li>• Inclinaison progressif</li> <li>• Dégradation par champignons lignivores</li> <li>• Dommages suite aux aménagements</li> </ul> <p>Seuils de sécurité</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seuils de sécurité : H/D</li> <li>• Méthode SIA</li> <li>• Méthode Rinntech</li> <li>• Critique constructive des seuils SIA / VTA / Rinntech</li> </ul>	<p>Le guide VTA page par page, suite ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'arbre incliné</li> <li>• La poutre à risque</li> <li>• L'inclinaison progressive</li> <li>• L'écorce incluse</li> <li>• Les chancres pérennants</li> </ul> <p>Sondage ? Où sonder ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enregistrement des données</li> <li>• Cartographie du tronc</li> <li>• Présentation des résultats</li> </ul> <p>Eudes de cas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présentations en salle</li> </ul>	<p>Diagnostic visuel et approfondi des arbres <i>in situ</i></p>
Après-midi : 14.00-17.30	Après-midi : 14.00-17.30	Après-midi : 14.00-17.30	Après-midi : 14.00-16.00
Sortie	Sortie	Sortie	Salle
<p>Présentation des outils de diagnostic</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Étude des arbres sains <i>in situ</i>. Bois à zones poreuses, bois à pores diffus, conifères</li> <li>• Interprétation des résultats obtenus</li> <li>• Observations des adaptations mécaniques</li> </ul>	<p>Diagnostic visuel et approfondi des arbres <i>in situ</i></p> <p>Risque</p> <p>Introduction à la méthode QTRA (Évaluation Quantifiée du Risque)</p>	<p>Diagnostic visuel et approfondi des arbres <i>in situ</i></p>	<p>Traitements</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cibles</li> <li>• Haubannage</li> <li>• Renforts</li> <li>• Supports</li> <li>• Taille</li> </ul>