



ONF Vegetis

Diagnostic approfondi de test de traction



Parc Bonneveine Avenue de Hambourg 13008 Marseille



MARS 2026



Suivi documentaire

Version du 09/03/2026

COORDINATION ET REDACTION

CAMILLE CAMARENA ONF VEGETIS	Expert – Pôle Arbre Conseil® - Agence ONF Vegetis Midi Méditerranée  07 77 91 03 08  camille.camarena@onf.fr
EDDY DA COSTA ONF VEGETIS	Expert Arbre Conseil® - Agence ONF Vegetis Midi Méditerranée  06.15.24.47.74  eddy.da-costa@onf.fr

CONTACT CLIENT


JEROME LEMOINE	Direction de la Nature en Ville - Ville de Marseille  jlemoine@marseille.fr
-----------------------	---

TABLE DES MATIERES

I. PREAMBULE ET CONTEXTE.....	4
2. RESULTATS ET SYNTHESE D'OBSERVATION.....	106



1.

PREAMBULE ET CONTEXTE

I. CONTEXTE

La Ville de Marseille a sollicité l'expertise d'ONF Végétis pour réaliser des diagnostics approfondis par tests de traction sur des pins d'Alep implantés dans le Parc Bonneveine (8^e arrondissement). Cette intervention s'inscrit dans le cadre d'un projet de réaménagement visant à transformer trois zones du parc en aires de jeux pour enfants.

Cette expertise approfondie constitue la seconde intervention réalisée sur le site. Lors d'une première campagne d'essais menée en 2025, des tests de traction avaient été réalisés sur 12 pins d'Alep implantés au sein des alvéoles concernées par le projet.

Afin de compléter l'analyse et d'obtenir une évaluation exhaustive de la stabilité mécanique de l'ensemble des arbres présents dans ces alvéoles, une seconde tranche d'investigations a été réalisée en février 2026. Celle-ci a permis de réaliser des tests de traction sur 14 arbres supplémentaires implantés dans les mêmes alvéoles, de manière à disposer d'un diagnostic mécanique sur l'ensemble des sujets présents dans ces zones.

Ces diagnostics interviennent après plusieurs phases de travaux et d'analyses ayant déjà eu lieu sur le site.

Étape 1 : Identification des changements environnementaux

- **Travaux réalisés début septembre 2025** : retrait de pavés et d'enrobés (chape béton) d'environ 50 cm d'épaisseur sur deux zones dites « alvéoles ».
- **Caractéristiques des zones** : groupements circulaires de pins d'Alep implantés depuis la création du parc (1975), formant une unité cohésive.
- **Impact immédiat** : modification brutale des conditions racinaires entraînant une instabilité mécanique.
- **Conséquence directe** : chute d'un arbre peu après le retrait des enrobés, révélant un risque accru pour les sujets restants.

Étape 2 : Diagnostic visuel initial sur 25 sujets dans les alvéoles

- **Date** : 29 septembre 2025.
- **Portée** : 25 pins concernés par le projet.
- **Résultats** :
Retrait immédiat de 9 sujets jugés dangereux sans tests complémentaires.
Prescription de 14 tests de traction pour évaluer la tenue mécanique des arbres dont la stabilité ne pouvait être déterminée visuellement.
- **Impact attendu** : sécurisation des zones avant poursuite des travaux, réduction du risque de chute en milieu fréquenté.

Étape 3 : Première campagne de tests de traction (novembre 2025)

• **Objectif** : évaluer la résistance mécanique des arbres restants dans les zones où :
les travaux de décaissement ont déjà été engagés ;
une troisième zone présentant les mêmes conditions de développement des arbres, destinée à accueillir une aire de jeux, sans travaux préalables, a été incluse pour anticiper les risques.

• **Méthodologie** :

Des tests de traction ont été réalisés sur un échantillon représentatif de 12 arbres ayant poussé dans des conditions aériennes et souterraines similaires.

Ces tests ont permis d'établir une première analyse de la stabilité mécanique des arbres et d'engager une extrapolation des résultats aux autres sujets des trois alvéoles grâce à l'analyse de la cohésion du groupement.

Étape 4 : Seconde campagne de tests de traction (février 2026)

Afin de compléter l'analyse et de disposer d'un diagnostic mécanique exhaustif sur l'ensemble des arbres présents dans les alvéoles concernées par le projet, une seconde campagne de tests de traction a été réalisée en février 2026.

Cette intervention a permis de tester 14 arbres supplémentaires implantés dans les mêmes alvéoles que ceux étudiés lors de la première campagne.

L'ensemble des arbres présents dans ces zones a ainsi fait l'objet d'un test de traction, permettant d'affiner l'évaluation du niveau de stabilité mécanique du groupement et d'adapter les préconisations de gestion et de sécurisation.

Étape 5 : Analyse des risques liés à la dynamique du groupement

Les pins d'Alep des trois alvéoles se sont développés en groupement dense, avec des interactions mécaniques fortes et des contraintes communes liées à leur implantation que l'on ne retrouve pas ailleurs dans le parc (zone historiquement totalement pavée). L'ouverture du groupement (par suppression de certains sujets) peut induire :

- une perte de soutien mutuel ;
- une augmentation des contraintes mécaniques sur les arbres restants ;
- un risque de chute en cascade.

Impact global : nécessité d'une approche prudente et progressive pour maintenir la stabilité écologique et sécuritaire du site.

LOCALISATION ET PHOTOS DU SITE

La carte ci-dessous présente les 3 zones dites « alvéoles » ciblées par les divers diagnostics et ayant vocation à devenir des aires de jeux.

Ces 3 zones présentent des conditions de développement similaire pour les arbres, que l'on ne retrouve pas ailleurs dans le parc.

Sur ces zones les arbres ont été implanté de manière circulaire et leur système racinaire ont été recouvert de pavés épais.

Nombres d'arbres par zones :

- Zone 1 : 8 (7 + 1 arbre déjà tombé avant les diagnostics)
- Zone 2 : 17 (16 + 1 arbre déjà tombé avant les diagnostics)
- Zone 3 : 8



Photos de la zone 1:



Pavés et chape de béton partiellement retirés : décaissement sur environ 50 cm de profondeur

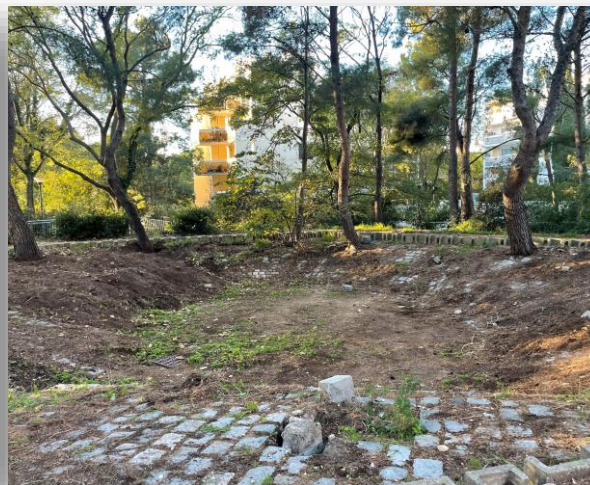
Système racinaire déficient sans racines d'ancrage

Photos de la zone 2:



Pavés et chape de béton totalement retirés. Arbres implantés dans un talus avec pour certains des inclinaisons marquées et des mâts racinaires peu développés

Photos de la zone 3:



Pavés et chape de béton conservés. Arbres implantés en groupement dense





Epaisseur des pavés retirés d'environ 30-35cm



Mâts racinaires et collets des arbres, fortement contraint par les pavés



Arbre présentant une inclinaison marquée avec un ancrage douteux englobant les pavés



II. METHODOLOGIE EMPLOYEE

Le test de traction permet de tester l'ancrage racinaire de l'arbre et la résistance en flexion du tronc en différents points. Pour ce faire, plusieurs appareils sont utilisés :

- Des inclinomètres positionnés sur le collet ;
- Des élastomètres positionnés sur le tronc, dans l'axe de la traction. Ils doivent être positionnés sur les points de faiblesse du tronc. Ils permettent de déterminer le module d'élasticité (module de Young) réel à l'emplacement de pose ;
- Un dynamomètre permettant la mesure en temps réel de la force exercée sur l'arbre.

L'exploitation des données issues des élastomètres et inclinomètres est établie à partir des données d'analyse de charge du vent (surface du houppier faisant écran au vent, prise en compte des rafales de vents...).

Pour l'analyse des conditions aérologiques, la méthode des tests de traction développée par Lothar Wessolly (Wessolly, et al., 1998) se base sur l'Eurocode 1 « Action du vent sur les structures » (AFNOR, 2000). L'effet de friction par le vent est négligé en architecture (surfaces lisses). Pour les arbres, l'effet de friction du vent sur les houppiers ne peut pas être négligé. De ce fait, deux coefficients de pondération sont mis en œuvre :

- Le coefficient de voisinage décrit l'influence de grandes structures avoisinantes sur les vitesses locales du vent. De fait, le comportement de fluctuation du vent dans une zone proche du sol crée de fortes turbulences. De plus, la vitesse de fluctuation du vent peut être augmentée localement par des effets d'entonnoir ou de tunnel ainsi qu'à proximité de hauts bâtiments (facteur supérieur à 1). D'autre part, une diminution de la vitesse du vent peut également survenir du fait de la pression dynamique devant une grande structure. Ces effets sont évalués conservateurs grâce au facteur de voisinage.
Dans la vitesse du vent estimée lors de la mesure, le facteur de voisinage intervient de manière linéaire comme facteur de correction.
- Le facteur d'exposition tient compte d'une éventuelle occultation de l'arbre testé par d'autres grandes structures ou d'arbres placés devant celui-ci. Par exemple, un coefficient d'exposition de 0.8 signifie que seulement 80% de la charge de vent calculée est prise en compte. Il réduit la charge totale de vent indiquée lors de la mesure et est pris en compte comme facteur linéaire f_E dans le calcul simplifié de la pression du vent.

Les connaissances sur les effets d'occultation viennent entre autres des études sur le canal du vent faites par RUCK et aussi de travaux plus anciens sur le mouvement d'air au sol dans l'environnement de bâtiments. L'influence des bâtiments diminue fortement, plus la distance par rapport à l'arbre est importante. Le coefficient d'exposition ne devrait prendre en compte que les effets qui n'ont pas encore été saisis par le choix de la catégorie du terrain. De plus, la distance entre l'arbre et la structure occultante est déterminante.

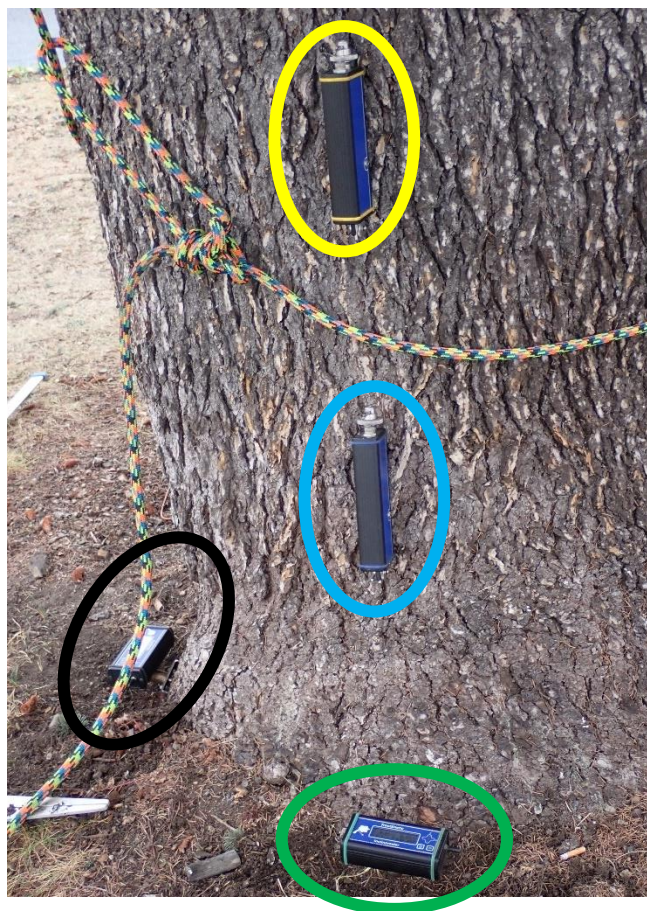
III. MISE EN ŒUVRE DU TEST

La prise de données sur site est réalisée à l'aide d'élastomètres qui mesurent l'allongement ou la compression des fibres du bois. Les bandes de couleur sur les élastomètres correspondent aux couleurs données à chaque appareil. Après exploitation des données, ce sont les mesures des élastomètres qui permettent d'apprécier la résistance du tronc.

Les inclinomètres mesurent les mouvements du plateau racinaire. Le principe des couleurs est similaire à celui des élastomètres.

Les mesures relevées sont mises en relation avec la force exercée à l'instant de la prise de mesure. Le choix des emplacements de pose des inclinomètres et élastomètres est réalisé en fonction des singularités rencontrées.

Dans la mesure du possible, les inclinomètres sont posés à différents emplacements en prenant soin d'éviter les contreforts racinaires pour éviter les artefacts de mesures. En effet, en posant un inclinomètre sur un mât racinaire, les risques de mesurer un mouvement de ce mât au lieu du mouvement du plateau racinaire est élevé.



Positionnement des élastomètres sur le tronc et des inclinomètres au collet, avec les codes couleur correspondants

IV. CALCULS RELATIFS AU TEST

Facteurs de sécurité (FS)

L'interprétation des résultats aboutit à des valeurs numériques, sans unités, appelées facteur de sécurité.

Le facteur de sécurité de base est le résultat du rapport entre la compression subie (à 1m du sol, point le moins résistant d'un arbre) par l'effet du vent (selon l'Eurocode 1) avec la valeur maximale admissible pour l'essence étudiée :

- Un facteur de sécurité de base (SIA) <1 signifie que l'arbre n'est pas susceptible de résister au vent maximum d'après l'Eurocode 1 ;
- Un facteur de sécurité de base (SIA) > 1.5 ne nécessite pas de mesures particulières. L'arbre se situe au-delà des seuils de risque ;
- Un facteur de sécurité de base (SIA) compris entre 1 et 1.5 signifie que l'arbre résiste mais que la marge de sécurité est réduite. En général, un tel résultat aboutit à des propositions de taille de réduction dont l'ampleur est déterminée par le calcul.

Ce facteur de sécurité de base est un calcul théorique permettant de déterminer si un arbre dispose de réserves mécaniques ou non. En le comparant avec les facteurs de sécurité issus des tests (élastomètres et inclinomètres), il est possible de se rendre compte si ces réserves sont entamées par les problèmes rencontrés, ou a contrario, si l'arbre a mis en place des bois de réaction.

Valeurs relatives des facteurs de sécurité

Outre les niveaux des facteurs de sécurité obtenus à partir des différents emplacements de pose, ces valeurs sont mises en rapport avec le facteur de sécurité de base. L'exemple ci-dessous, **qui ne correspond pas aux arbres étudiés**, en explique le principe :

Traction Nord Facteur de sécurité de base : 4.3	Inclinomètre bleu	Inclinomètre jaune	Elastomètre rouge	Elastomètre jaune	Elastomètre bleu
<i>Hauteur de pose (à partir du collet initial, en mètre)</i>	0.05	0.05	0.25	1.05	1.80
FS	7,07	7,51	4.62	3.03	2.27
Perte ou gain de résistance	64 %	75 %	7 %	- 30 %	- 47 %

Ce FS, calculé pour chaque traction au niveau de chaque appareil de mesure, permet :

- De détecter le point de moindre résistance et le mettre en relation avec les constatations visuelles ;
- D'évaluer la perte ou le gain par bois de réaction de la résistance mécanique, aussi bien au niveau de l'ancrage que de la résistance à la rupture du tronc ;
- De suivre l'évolution dans le temps de la mécanique par comparaison des tests de traction. Certains facteurs de sécurité peuvent être suffisants, même avec une importante perte de résistance mécanique.

Dans l'exemple du tableau ci-dessus :

- Le niveau de moindre résistance se situe au niveau du tronc à 1,80m du sol La perte par rapport au facteur de sécurité de base est de 47%. Cependant le facteur de sécurité à ce point reste largement supérieur au 1.5 minimal requis.
- L'ancrage est nettement supérieur au facteur de base. Aucune faiblesse d'ancrage n'est détectée dans ce cas.

CONTRAINTES LOCALES

La direction des vents dominants :

La direction des vents dominants est un des éléments de base pour l'analyse mécanique des arbres. Un arbre soumis régulièrement à des vents soufflants de la même direction développe des bois de réaction lui permettant de résister à ces vents.

La station météo la plus proche est celle de Marseille-corniche, elle indique un vent dominant venant principalement Nord/Nord-ouest ainsi que d'un vent secondaire provenant du Sud-est (source windfinder.com, données du 04/2012 au 10/2025).



PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT

L'exploitation des données issues des élastomètres et inclinomètres est établie à partir des données d'analyse de charge du vent (surface du houppier faisant écran au vent, prise en compte des rafales de vents...).

Pour l'analyse des conditions aérologiques, la méthode des tests de traction développée par Lothar Wessolly (Wessolly, et al., 1998) se base sur l'Eurocode 1 « Action du vent sur les structures » (AFNOR, 2000). L'effet de friction par le vent est négligé en architecture (surfaces lisses). Pour les arbres, l'effet de friction du vent sur les houppiers ne peut pas être négligé.

De ce fait, deux coefficients de pondération sont mis en œuvre :

- ➔ Le coefficient de voisinage décrit l'influence de grandes structures avoisinantes sur les vitesses locales du vent. De fait, le comportement de fluctuation du vent dans une zone proche du sol crée de fortes turbulences. De plus, la vitesse de fluctuation du vent peut être augmentée localement par des effets d'entonnoir ou de tunnel ainsi qu'à proximité de hauts bâtiments (facteur supérieur à 1). D'autre part, une diminution de la vitesse du vent peut également survenir du fait de la pression dynamique devant une grande structure. Ces effets sont évalués conservateurs grâce au facteur de voisinage.

Dans la vitesse du vent estimée lors de la mesure, le facteur de voisinage intervient de manière linéaire comme facteur de correction.

- ➔ Le coefficient d'exposition, qui tient compte d'une éventuelle occultation de l'arbre testé par d'autres grandes structures ou d'arbres placés devant celui-ci. Par exemple, un coefficient d'exposition de 0.8 signifie que seulement 80% de

la charge de vent calculée est prise en compte. Il réduit la charge totale de vent indiquée lors de la mesure et est pris en compte comme facteur linéaire fE dans le calcul simplifié de la pression du vent.

Les connaissances sur les effets d'occultation viennent, entre autres, des études sur le canal du vent faites par RUCK et aussi de travaux plus anciens sur le mouvement d'air au sol dans l'environnement de bâtiments. L'influence des bâtiments diminue fortement, plus la distance par rapport à l'arbre est importante. Le coefficient d'exposition ne devrait prendre en compte que les effets qui n'ont pas encore été saisis par le choix de la catégorie du terrain. De plus, la distance entre l'arbre et la structure occultant est déterminante.

La rugosité choisie ici est « **village** » pour chacun des sujets étudiés.

En effet, l'environnement des arbres est essentiellement composé de bâtiments peu élevés et autres arbres en groupe.

V. LIMITES DE L'ETUDE

Le diagnostic est réalisé à l'instant T en recourant aux connaissances disponibles et aux instruments existants à cet instant. Par ailleurs, le degré d'investigation dépend de la prestation choisie par le client et décrite dans la méthode de diagnostic jointe lors de l'envoi du devis. **L'acceptation du devis vaut approbation de la méthodologie proposée.** Les observations et les analyses des états physiologique, sanitaire et biomécanique de l'arbre, effectuées par l'expert pour établir le diagnostic sont assujetties aux moyens d'investigations mis en œuvre (voir la méthode de diagnostic), à la saison d'observation et à l'état apparent des agents parasites et lignivores au moment de sa réalisation.

Compte tenu des caractéristiques du diagnostic énoncé précédemment, sa fiabilité est limitée dans le temps et suppose la mise en œuvre de suivis physiologiques, sanitaires et biomécaniques réguliers. **La durée de validité du diagnostic, variable selon l'état des arbres et de leur environnement, sera comprise entre un et trois ans, voire exceptionnellement 5 ans, dans des conditions normales d'évolution.**

L'arbre est un organisme vivant en constante évolution soumis à de multiples interactions avec d'autres organismes commensaux ou parasites et avec son environnement extérieur. De nombreux facteurs externes à l'arbre peuvent influencer sur son état et rendre caducs, a posteriori, les résultats du diagnostic :

Facteurs climatiques : vent violent, orage, neige, verglas, sécheresse, canicule, etc.

Facteurs anthropiques : travaux de terrassement, taille inadaptée, blessures, modifications de l'environnement, etc.

Prise en compte de la biodiversité

L'arbre est un milieu privilégié pour de nombreuses espèces. Dans ce cadre, et lors d'un diagnostic, l'expert Arbre conseil® mentionnera la présence ou la suspicion de présence d'habitats, d'espèces protégées au titre des directives européennes « Habitats- Faune-Flore » et « Oiseaux ».

Le propriétaire ou son représentant devra réaliser ou faire effectuer des investigations complémentaires afin de s'assurer de la présence des espèces mentionnées.

En cas de confirmation, les travaux préconisés sur les arbres concernés devront être soumis à dérogations officielles accordées par l'autorité préfectorale.

A la demande du maître d'ouvrage, et dans le cadre de ses prestations, les services de l'ONF pourront apporter un appui technique et administratif pour la mise en œuvre de ces démarches.





2.

SYNTHESE et PRECONISATIONS

test de traction – Ville de Marseille

Diag

SYNTHESE

La présente étude porte sur l'évaluation biomécanique d'arbres implantés dans le parc Bonneveine, sur la commune de Marseille (8^e arrondissement), au moyen de tests de traction réalisés sur plusieurs campagnes d'investigation.

Une première campagne d'essais réalisée en 2025 a porté sur douze Pins d'Alep (*Pinus halepensis*), sélectionnés parmi un groupement de pins implantés dans trois zones du parc dites « alvéoles ». Ces investigations ont été réalisées conformément à la méthodologie du test de traction, validée avec la commune, et ont fait suite à un diagnostic visuel et sonore préalable engagé à la suite du basculement d'un sujet.

Dans le cadre de travaux de réhabilitation du site, le revêtement de surface, constitué d'une chape de béton maigre (~20 cm d'épaisseur) surmontée d'un pavage (~30 cm), a été intégralement déposé sur deux des zones d'implantation. Cette opération a induit une désolidarisation du sol, aggravant une structure déjà peu cohésive.

L'examen pédologique a révélé un horizon majoritairement sableux, intégrant de nombreux éléments grossiers (50–150 mm) et caractérisé par une faible capacité portante. L'enracinement des sujets se présente comme superficiel, avec prédominance de racines en chignons évoluant dans les premiers centimètres du sol. Des blessures au niveau des collets ont également été identifiées ; elles résultent du contact direct entre les troncs et les éléments du revêtement. L'ensemble des indices stationnels observés suggère une plantation initiale en fosses de dimensions restreintes, ne permettant pas un développement racinaire optimal.

Les résultats des tests de traction réalisés sur les 12 premiers sujets ont mis en évidence des pertes d'ancrage significatives, avec des facteurs de sécurité moyens proches de 1, soit en deçà du facteur de sécurité minimal généralement recommandé de 1,5 pour garantir la stabilité mécanique des arbres en conditions de vent usuelles.

Afin de compléter l'analyse et d'obtenir une vision exhaustive de la stabilité mécanique des arbres concernés, une seconde campagne d'investigations a été réalisée en février 2026. Cette campagne a permis de réaliser 14 tests de traction supplémentaires sur des pins d'Alep supplémentaires implantés au sein des trois alvéoles.

Au total, 26 tests de traction ont été réalisés sur le site, permettant de disposer d'une analyse biomécanique étendue et représentative des conditions de stabilité des arbres étudiés.

Les résultats obtenus lors de la seconde campagne confirment les tendances observées lors des premiers essais. Les arbres implantés dans les trois alvéoles présentent de manière récurrente des pertes d'ancrage significatives (facteur de sécurité calculé inférieur à 1), directement liées aux conditions stationnelles défavorables caractérisant ces zones :

- sol peu cohésif,
- enracinement superficiel,
- contraintes historiques liées à la présence prolongée d'un revêtement minéral épais limitant le développement racinaire.

Ces résultats mettent clairement en évidence une problématique structurelle spécifique aux trois zones dites « alvéoles », au sein desquelles les arbres se sont développés dans des conditions fortement contraintes.

Au regard des résultats obtenus, l'abattage de 14 arbres implantés dans ces alvéoles est préconisé, ces sujets présentant des pertes d'ancrage incompatibles avec le niveau de sécurité requis dans un espace à forte fréquentation publique et destiné à accueillir des aires de jeux.

Il est conclu que les 26 sujets ayant fait l'objet de tests de traction au niveau des zones « alvéoles » présentent un niveau de défaillance mécanique et de dangerosité incompatible avec leur maintien. Leur abattage est donc nécessaire.

Ainsi, les trois alvéoles concernées par les futurs aménagements ne pourront être considérées comme présentant un niveau de sécurité acceptable qu'après l'abattage de l'intégralité des 26 arbres qu'elles comprennent.

Il est néanmoins important de préciser qu'aucun autres arbres à proximité de ces 3 alvéoles ne seront impactés par ces abattages, en effet, les conditions de croissances des peuplements alentours sont très différents des pins diagnostiqués ici.

Les résultats détaillés sont consignés dans les fiches ci-après.

Aix-en-Provence, le 09 mars 2026
Les expert(e)s Arbre Conseil®

Camille Camarena et Eddy Da Costa





Expertise Arbre Conseil® : VILLE DE MARSEILLE - PARC BONNEVEINE - TEST DE TRACTION

- Arbre abattu ou tombés
- Arbres préconisés à l'abattage suite aux test de tractions



1:500 2020



ONF Vegetis

Siège ONF Vegetis
Chemin des Mazes
77140 NEMOURS



onf-vegetis.fr