

LIMITES

DE LA MÉTHODE SIA (ET DE SON LOGICIEL EN LIGNE) DANS L'ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ DE RUPTURE DES ARBRES, PAR FRANK RINN, ÉTÉ 2018

Traduit de l'anglais par Pierre-Émile Rollux

Relecture Olivier Dambizat & Philippe Trouillet, adhérents Sud-Est

Note du traducteur : certains termes utilisés par l'auteur nous ont paru ne pas correspondre aux enjeux actuels discutés dans l'arboriculture française. Nous avons ainsi pris la liberté de recontextualiser certains mots comme *safety* ou *dangerous*, en les traduisant, par exemple, par « risque d'échec » ou « moins résistant », plutôt que par « dangereux ».

Introduction

Wessolly et Erb ont développé la méthode « d'évaluation statique intégrée » (SIA en anglais pour *Static Integrated Assessment*) d'analyse du facteur de sécurité des arbres (Wessolly et Erb 1998, 2016) comme alternative à la méthode « évaluation visuelle des arbres » (VTA, *Visual Tree Assessment*) proposée par Mattheck (Mattheck *et al.* 1993).

Selon SIA, le paramètre principal qui sert à caractériser le facteur de sécurité des arbres est appelé « **stabilité de base** » (*Basic Stability*). Il dépend notamment de la charge liée au vent, de la hauteur de l'arbre, du diamètre au collet et des propriétés du matériau bois (élasticité et déformation critique).

Un logiciel SIA gratuit a dès lors été mis en ligne pour estimer rapidement ce paramètre <https://sia.simgruppe.de/sia.php>. La méthode SIA et son logiciel en ligne ont depuis connu un large essor, car la majorité des spécialistes du diagnostic mécanique des arbres qui enseignent et forment les professionnels du secteur (universités, conférences...), particulièrement en Allemagne et en Europe, l'ont préférée à la méthode VTA.

Le paramètre « stabilité de base » calculé par le logiciel en ligne se révèle utile et important, car il permet d'éviter de nombreux abattages ou étêtages insuffisamment fondés. En effet, encore trop de diagnostics de risque de rupture sur des vieux arbres se limitent à la seule détermination, qui plus est locale, de l'épaisseur de la paroi résiduelle. Ce

dernier paramètre est central pour comprendre les bases du comportement biomécanique des organes tubulaires des plantes (Spatz & Nicklas, 2013) mais, lorsqu'il est mesuré très localement sur de vieux arbres urbains, il apparaît insuffisant voire trompeur dans l'évaluation du risque de rupture (Rinn 2013).

Malgré certains avantages indéniables, la méthode SIA en ligne présente également d'importantes carences. Le présent article vise à en identifier quelques-unes.

Hypothèses majeures de la méthode SIA et conséquences

La charge du vent sur un arbre dépend de sa hauteur (Rinn 2014a), sensiblement de la même façon que la capacité de charge d'un tronc dépend de son diamètre (Rinn 2013). Cela explique pourquoi de nombreux arbres conservent un ratio H/D (hauteur/diamètre) relativement constant pendant les décennies de croissance qui suivent le stade juvénile (Kahle *et al.* 2008). Ce phénomène allométrique de la croissance des arbres met en lumière l'importance du ratio H/D dans l'évaluation du risque de rupture associé et caractérise clairement cette phase de croissance « pré-mature » dite d'exploration.

C'est la base de la controverse internationale sur le seuil de sécurité établi par VTA. Ce seuil est défini pour les arbres isolés et sains, par un rapport H/D inférieur à 50 (Mattheck *et al.* 2002). Gruber (2007) a qualifié ce seuil de « [...] non-prouvé scientifiquement ». Rust a par ailleurs déclaré (2013) : « Nos expériences ainsi que la littérature scientifique disqualifient l'usage d'un seuil H/D pour l'évaluation de la probabilité de rupture des arbres ». Soit dit en passant, Gruber et Rust préfèrent l'usage de SIA à celui de VTA pour l'évaluation des facteurs de sécurité, bien que SIA (et son logiciel en ligne) utilise aussi le ratio H/D. Les affirmations de Gruber ont été à leur tour qualifiées de

non-scientifiques par Fink (2009), déclarant que les données disponibles valident l'hypothèse de Mattheck. Gruber (2008) a alors répondu que la posture de Fink était incorrecte. Il résulte de ces débats une confusion générale parmi les diagnosticiens du monde entier qui ne savent plus ce qui est juste et ce qui ne l'est pas. Néanmoins, il semble que les arboristes soient actuellement plus enclins à favoriser l'approche SIA du fait de l'intense promotion qu'elle a reçue de la part de ses défenseurs.

Les recherches publiées par les quelques scientifiques indépendants en biomécanique, exempts d'intérêts économiques apparents dans le secteur de l'évaluation du risque de rupture des arbres, comme par exemple Niklas and Spatz, ou dans d'autres domaines scientifiques connexes, comme Kahle and Hasenauer, sont claires. Elles indiquent que la valeur absolue du ratio H/D des arbres est d'abord une conséquence des conditions locales de croissance et qu'elle diffère donc d'un site à l'autre. H/D traduit une adaptation de l'arbre par mécano-perception explicitée dans l'hypothèse de thigmomorphogénèse (Telewski 2006). Celle-ci suggère que la croissance cambiale radiale (croissance dite « secondaire ») varie suivant la direction radiale et la hauteur du tronc et que ce gradient est déterminé par l'action des contraintes mécaniques auxquelles l'arbre est soumis.

La thigmomorphogénèse peut se définir comme la réponse d'une plante, par sa croissance ou sa forme, aux stimulations mécaniques qu'elle subit, comme par exemple le contact, le vent ou la gravité. Puisqu'elle traduit une réponse, la valeur absolue du ratio H/D d'un arbre ne constitue pas un indicateur cohérent du risque d'échec de l'arbre, tant que ses conditions locales de croissance (espace aérien et racinaire) et de vent, ainsi que son intégrité sont inchangées. Si, par contre, la charge de vent augmente significativement, qu'elle qu'en soit la raison, tous les arbres même sains (H/D favorable) peuvent immédiatement voir leur facteur de sécurité diminuer. De la même façon, une singularité¹ peut augmenter la probabilité d'échec, particulièrement si celle-ci est couplée à une augmentation de la charge de vent. Alors, dans ce cas et à ce moment précis, le ratio H/D doit être intégré comme variable dans l'évaluation du risque de rupture et, heureusement, ceci est pris en compte dans le logiciel SIA en ligne.

Par ailleurs, l'aspect le plus important de ce ratio H/D dans l'évaluation du risque de rupture des arbres urbains est le fait que le paramètre « stabilité de base » – qui mesure la résistance de l'arbre sain face au risque d'échec – augmente automatiquement et annuellement dès lors que la croissance primaire (en hauteur) s'arrête. Ceci est une conséquence directe de la croissance annuelle secondaire (radiale) du tronc qui, elle, ne s'arrête pas chez tous les arbres vivants. Cela induit une augmentation plus que proportionnelle de la capacité de charge de la section transversale correspondante (Rinn 2013). Ainsi, la variable allométrique H/D est un facteur important pour l'évaluation du risque de rupture des arbres, notamment ceux qui ont des singularités notables au niveau du tronc. Comme SIA et son logiciel en ligne utilisent entre autres le ratio H/D dans l'évaluation de la

résistance des arbres, il est utile de comprendre les limites de l'approche.

Bases des calculs de la méthode SIA

Dans le logiciel SIA en ligne, le facteur théorique de sécurité face au risque d'échec primaire d'un arbre (du tronc) est appelé stabilité de base et s'exprime en pourcentage. Bien qu'en réalité ce ne soit pas un pourcentage mais juste un facteur de sécurité, il est défini ainsi :

Stabilité de base = Facteur de sécurité = Capacité de charge / Charge effective

Par exemple, lorsque la stabilité de base est donnée à 317 % par le logiciel SIA, le facteur de sécurité est 3.17, ce qui veut dire que le tronc est « conçu » pour supporter une charge 3.17 fois supérieure à la charge effective maximale à laquelle il est exposé. Cette charge effective, due au vent, est déterminée à partir des hypothèses locales de vitesses de vent et du coefficient de traînée estimatif pour l'essence de l'arbre en question.

La rupture survient logiquement lorsque la charge effective est supérieure à la capacité de charge (facteur de sécurité SIA < 1, stabilité de base SIA < 100 %). Par conséquent, Wessoly suggère d'imposer un facteur de sécurité d'au moins 1.5 (soit 150% en langage SIA) afin de garantir une sécurité suffisante. Ainsi, si la stabilité de base d'un arbre est comprise entre 1 et 1.5, des actions doivent être engagées pour réduire la probabilité d'échec. Afin de bien comprendre la précision et la fiabilité de ce facteur de sécurité (= stabilité de base) tel qu'il est déterminé par le logiciel SIA, il est important d'identifier les principaux paramètres influençant la capacité de charge, ainsi que la charge effective liée au vent. Les possibilités et les limites de ces méthodes en seront plus claires.

Précision des calculs

Dans un calcul, l'imprécision ou l'incertitude d'un résultat dépend de l'imprécision des diverses variables du calcul (Rinn 2014b). Prenons un cas simple : $A = B * C^3$
L'incertitude (Δ) de A se calcule comme suit : $\Delta A = \Delta B + 3 * \Delta C$
Selon les standards internationaux (ISO 5725-1), ce type d'analyse de l'incertitude (ou de l'erreur relative) doit s'appliquer à tous les types de calcul y compris dans le domaine de l'évaluation du risque de rupture des arbres.

Estimer la « stabilité de base » à partir de la capacité de charge du tronc et de la charge effective liée au vent

Selon Gere & Timoshenko (1997), le moment de flexion maximal (M_{max}) applicable à une poutre en porte-à-faux dans un matériau homogène se calcule en multipliant la contrainte (σ) par le module de section (W) qui caractérise sa section transversale : $M_{max} = \sigma * W$

Pour une poutre cylindrique de diamètre D, ce module de section vaut $W = \pi * D^3 / 32$

En rappelant la relation entre le module d'élasticité (E) et la déformation du matériau (ϵ) : $\sigma = E * \epsilon$

1. Singularité : Symptôme de type cavité, croissance accrue, nécrose... NdT

Alors le moment de flexion maximal applicable (avant déformation plastique ou rupture) à cette poutre dépend donc de l'élasticité du matériau, de sa déformation critique (ϵ_{crit}) et de son diamètre D : $M_{max} = E * \epsilon_{crit} * \pi * D^3 / 32$

Cela signifie que l'incertitude dans l'estimation du moment de flexion maximal applicable (en d'autres termes la capacité de charge) basée sur les variables ci-dessus vaut :

$$\Delta M_{max} = \Delta E + \Delta \epsilon_{crit} + 3 * \Delta D$$

Par ailleurs, dans un modèle simplifié (Rinn 2014a) centré seulement sur les variables d'influence majeure, la charge effective liée au vent (WL, Wind-load) exercée sur un arbre dépend de la taille du houppier (A), de la hauteur du vent (H), de la vitesse du vent (v), de la densité de l'air (q) et du coefficient de traînée (c_w) propre à l'essence considérée :

$$WL \sim q * A * c_w * v^2 * H$$

Ainsi l'erreur d'estimation vaut : $\Delta WL \sim \Delta q + \Delta A + \Delta c_w + 2 * \Delta v + \Delta H$

Le résultat principal de la méthode SIA, la « stabilité de base » (S), s'obtient en divisant la capacité de charge de la section préoccupante (dans ce cas, assimilée au moment de flexion maximal sur cette section) par l'estimation de la charge effective exercée sur l'arbre :

$$S = M_{max} / WL$$

Ainsi, S est donc proportionnelle à ces variables majeures :

$$S \sim E * \epsilon_{crit} * D^3 / (q * A * c_w * v^2 * H)$$

Et donc l'estimation de l'erreur associée :

$$\Delta S \sim \Delta E + \Delta \epsilon_{crit} + 3 * \Delta D + \Delta q + \Delta A + \Delta c_w + 2 * \Delta v + \Delta H$$

La précision et la fiabilité du résultat S dépendent donc de la précision relative d'un grand nombre de paramètres. Ces paramètres, eux-mêmes estimés, dérivent pour les uns des mesures locales (taille de la couronne, hauteur de l'arbre, vitesse du vent, densité de l'air) et pour les autres de valeurs de référence spécifiques à l'essence (E, ϵ_{crit} , c_w).

La compréhension de ce que cela implique précisément sort du sujet de cet article, mais cela est couvert dans la littérature (Niklas & Spatz 2012). Ici, la signification de l'erreur d'estimation dans la réalité sera illustrée par 2 exemples concrets.

Exemple 1 : peupliers sains

Nous avons inspecté neuf peupliers d'Italie *Populus nigra* var. 'Italica' formant un alignement (orientation sud-ouest nord-est) sur une colline dans le sud de l'Allemagne, largement exposés aux vents dominants (figure 1 ci-dessous).

Leur hauteur est supérieure à 20 m, leur diamètre au collet est de peu inférieur à 40 cm et l'écorce mesure environ 2 cm d'épaisseur. Selon le seuil de sécurité défini par VTA évoqué plus haut ($H/D < 50$), ces arbres seraient qualifiés de dangereux. Avec 20 m de hauteur H et 40 cm de diamètre comme paramètre d'entrée pour le calcul SIA (figure 2 ci-contre), le résultat obtenu pour la stabilité de base (S) est de 27% (figure 3 ci-contre).

Cela veut dire que la capacité de charge de la section transversale du tronc vaut environ seulement 1/4 de la charge effective exercée sur l'arbre par le vent. Cet arbre devrait donc avoir cassé depuis longtemps. Cet alignement d'arbres de 20 m de haut et de 40 cm de diamètre a en fait une stabilité de base encore plus basse et un ratio H/D encore plus haut. Il est donc en réalité encore moins résistant au sens des 2 méthodes VTA et SIA. Mais ces peupliers ont poussé et se sont développés pendant des décennies en réponse aux contraintes exercées par les vents forts auxquels ils ont été directement exposés. Ils ont essuyé de nombreuses tempêtes de vents extrêmes. Clairement, la nature montre ici que les deux méthodes ne sont pas adaptées à ce type d'arbre et ne devraient donc pas être appliquées. En considérant d'une part, qu'un arbre doit présenter une stabilité de base de 1,5 (150 %) pour être jugé fiable et d'autre part, que ces arbres qui ont supporté des décennies de vents forts sans vaciller sont manifestement fiables, alors la méthode SIA fait, dans ce cas, une erreur d'un facteur supérieur à 5. La méthode SIA ne prend pas correctement en compte la capacité des arbres à s'adapter aux régimes de contraintes et aux conditions de croissance locaux. En utilisant des valeurs de référence inappropriées (E, ϵ_{crit} , c_w), la méthode

▼ Figure 1. Un alignement de neuf peupliers d'Italie, sur une colline du sud d'Allemagne. La photo est prise du Nord-Ouest. Les vents dominants de la région viennent du Sud-Ouest. Ils ont toujours été largement exposés aux vents.



sous-estime la capacité de charge réelle des troncs pour ce type d'arbres. Les modalités d'adaptation de ces peupliers sains aux vents dominants se voient clairement à l'augmentation de leur hauteur depuis le sud-ouest vers le nord-est : l'arbre exposé directement aux vents dominants est nettement plus petit que ceux de l'autre côté de l'alignement. Cela montre que ces arbres ont clairement adapté leurs caractéristiques allométriques (hauteur et largeur) et leurs propriétés mécaniques aux vents. Ce phénomène n'est manifestement pas intégré dans les valeurs de référence, ni dans la méthode de calcul utilisées dans SIA (ni dans le ratio H/D de la méthode VTA).

▲ Figure 2. Formulaire d'entrée de la méthode gratuite de calcul SIA en ligne d'évaluation des risques de rupture des arbres, renseigné pour le plus petit des neuf peupliers de la figure 1.

SIA Evaluation statique intégrée		entrer les données		diagramme: A B C D		portance	
essence	peuplier d'Italie, Populus nigra 'Italica'						
hauteur darbre	20 m						
diamètre de tronc	40 cm						
épaisseur d'écorce	2 cm						
site	campagne						
forme de houppier	peuplier d'Italie						
arbre dallée	non						
diamètre net	36 cm						
diamètre requis s. diag. A	56 cm						
sécurité de rupture globale s. diag. B	27 %						
proportion d'épaisseur de paroi résiduelle requise s. diag. C							
épaisseur de paroi résiduelle requise							

Si, malgré le calcul SIA, des doutes quant à l'état statique de l'arbre subsistent, nous conseillons un examen détaillé au moyen de la méthode statique intégrée élasto-inclino.

Copyright © 2007

SIA-Méthode: Dr. Ing. Lothar Wessolly, Nittelwaldstraße 22, 70195 Stuttgart, Deutschland 

Programmierung: Brehm & Fritsch GmbH, Bachstraße 14, 15741 Bestensee, Deutschland

▲ Figure 3. Selon SIA, ces peupliers ne devraient plus être debout car « la stabilité de base » est calculée à 27 %, ce qui équivaut à dire que la charge exercée par le vent est au moins 4 fois supérieure à ce que peut supporter le tronc.

Exemple 2 : chêne mature

Un chêne mature (*Quercus robur*) présentant une couronne large et dense près de Cleveland (OH, USA) a été inspecté pour des questions de sécurité (figure 4). Une tomographie par ultrasons au collet a montré une paroi résiduelle significativement plus fine qu'un tiers du rayon de la section (figure 5). Selon le critère VTA $t/R > \frac{1}{3}$, cet arbre présente une forte probabilité d'échec. En revanche, le logiciel SIA en ligne indique, avec des valeurs prudentes de hauteur et diamètre (figure 6), une stabilité de base de plus de 5 000 %. Cela signifie que, s'il était sain, cet arbre serait plus de 30 fois plus solide que nécessaire pour être considéré fiable (5 670 %/150 %).

Donc selon SIA, cet arbre pourrait tolérer une grande proportion de pourriture dans son tronc sans présenter de risque d'échec (figure 7). L'estimation SIA donne en effet une épaisseur moyenne suffisante de paroi résiduelle égale à 1 cm. Le fait que cet arbre soit toujours debout montre que le seuil VTA $t/R > \frac{1}{3}$ n'est pas approprié à un arbre de cet âge et de cette taille. Car plus le diamètre des arbres matures est important plus ils tolèrent une zone de pourriture importante dans leur tronc (Rinn 2013). De plus, parmi les milliers d'arbres que j'ai inspectés depuis 1987, je n'en ai croisé aucun avec une paroi résiduelle de un cm qui tenait encore debout. Ces deux concepts ne sont manifestement pas adaptés à l'évaluation d'un arbre de ce type et de cette taille.

La littérature scientifique correspondante (de biomécaniciens indépendants) montre que l'erreur qui réside dans les résultats de la méthode SIA pour ce chêne provient d'une surestimation de la capacité de charge des troncs creux ou dégradés : le formulaire SIA utilise les formules exposées plus haut qui sont correctes pour décrire les ruptures en compression, si et seulement si, la paroi résiduelle est supérieure à $\frac{1}{4}$ du rayon ($t/R > 0,25$). Spatz et Niklas (2013) ont montré que la capacité de charge réelle des sections d'arbres creux à paroi résiduelle fine est en fait nettement plus basse, à cause des autres modes de rupture qui interviennent, différents de la compression/



▲ Figure 4. Chêne mature (*Quercus robur*) près de Cleveland (OH) avec son houppier identifié.

Figure 5. Les résultats d'une tomographie par ultrasons sur le chêne de la figure 4 montrent une pourriture importante dans le tronc. Selon le ratio VTA $t/R > \frac{1}{3}$, cet arbre présente une forte probabilité d'échec. ▶

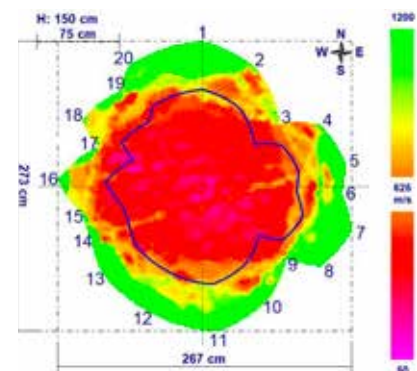




Figure 6. Formulaire d'entrées de la méthode en ligne SIA renseigné pour le chêne de la figure 4. ▼

SIA Evaluation statique intégrée		Français - OK	
Entrée de données		résultats	
Essence	chêne, <i>Quercus rob.</i>	sponsor du logiciel:  www.arboa.com	
Hauteur darbre (m)	25		
Diamètre de tronc (cm)	1. 250 2. (option)		
Epaisseur d'écorce (cm)	2		
Site	village/faubourg		
Arbre dallée	<input type="checkbox"/> distance entre arbres (max. 1/3 * hauteur darbre) (m)		
Forme de houppier	<input type="radio"/> cylindre élancé <input type="radio"/> ellipse <input checked="" type="radio"/> sphère <input type="radio"/> cordiforme formes particulières: <input type="radio"/> peuplier d'Italie <input type="radio"/> conifère		

tension. En fonction de la longueur de la cavité dans le tronc et si l'épaisseur de la paroi résiduelle est inférieure à 25 % du rayon de la section, une rupture tangentielle a plus de chance de survenir qu'une rupture par compression (figure 8). Lorsque le t/R tombe en dessous de 10%, un autre mode de

rupture intervient alors plus souvent, le flambage dit « flambage Brazier ». Ces deux modes de rupture réduisent fortement la capacité de charge d'une section de tronc contenant une part de pourriture importante ou un défaut de grande taille relative et ils surviennent plus fréquemment que le mode compressif

dans ces cas. Enfin, la prise en compte de ces modes de rupture ne parvient pas à expliquer complètement la très grande stabilité de base SIA pour ce chêne. Les valeurs de référence SIA de matériaux et coefficients de trainée sont également probablement inappropriées pour cette essence.

 Evaluation statique intégrée		<input type="button" value="entrer les données"/>	diagramme: <input type="button" value="A"/> <input type="button" value="B"/> <input type="button" value="C"/> <input type="button" value="D"/> <input type="button" value="portance"/>
essence	chêne, Quercus rob.		
hauteur darbre	25 m		
diamètre de tronc	250 cm		
épaisseur décorce	2 cm		
site	village/faubourg		
forme de houppier	sphère		
arbre dallée	non		
diamètre net	246 cm		
diamètre requis s. diagr. A	64 cm		
sécurité de rupture globale s. diagr. B	5679 %		
proportion d'épaisseur de paroi résiduelle requise s. diagr. C	0.295 %		
épaisseur de paroi résiduelle requise	1 cm		

Si, malgré le calcul SIA, des doutes quant à l'état statique de l'arbre subsistent, nous conseillons un examen détaillé au moyen de la méthode statique intégrée élasto-inclino.

Copyright © 2007

SIA-Methode: Dr. Ing. Lothar Wessolly, Nittelwaldstraße 22, 70195 Stuttgart, Deutschland 

Programmierung: Brehm & Fritsch GmbH, Bachstraße 14, 15741 Bestensee, Deutschland

Figure 7 : Selon SIA, le chêne de Cleveland a une stabilité de base (ou facteur de sécurité) de plus de 5 000 %. Plus important encore, l'épaisseur moyenne suffisante de la paroi résiduelle est de 1 cm. Cela signifie que, selon SIA, cet arbre n'aurait besoin que d'une paroi de 1cm pour être fiable. Cela contraste avec le résultat de VTA considérant ce même arbre comme fragile. Cependant, le fait que cet arbre et beaucoup d'autres arbres matures présentent des ratios t/R de moins de 1/3 depuis des décennies et survivent même à de fortes tempêtes, prouve que les deux concepts sont incorrects. La principale raison expliquant l'étonnante stabilité des vieux arbres creux n'est pas la qualité du matériau « bois », mais la croissance secondaire annuelle ininterrompue du tronc, même quand la croissance primaire (en hauteur) s'est arrêtée. Cet effet géométrique conduit à une augmentation annuelle du facteur de sécurité qui permet ainsi aux vieux arbres de tolérer plus de pourriture en vieillissant (Rinn 2013). De cette façon, dès que l'arbre ne pousse plus en hauteur, le seuil critique de perte de capacité de charge liée à son état mécanique change chaque année.

Résumé

La méthode SIA et son logiciel en ligne considèrent que la hauteur de l'arbre et le diamètre du tronc au collet sont des facteurs importants dans l'évaluation de la probabilité d'échec des arbres urbains. Cependant, les deux exemples évoqués dans cet article montrent que la méthode SIA souffre d'importantes limitations dans l'évaluation des arbres réels. Selon SIA, les peupliers du premier exemple auraient dû tomber depuis longtemps. Le fait qu'ils soient toujours debout montre

que leur facteur de sécurité (stabilité de base) calculé par SIA est sous-estimé d'un facteur d'au moins 5. Pour le chêne, le coefficient de sécurité SIA est surestimé d'un facteur encore plus grand et le calcul de l'épaisseur moyenne de paroi résiduelle suffisante (1 cm) est évidemment erroné. Les résultats imprécis de la méthode SIA proviennent certainement de raisons multiples ; valeurs de référence incorrectes (confirmant les travaux de Spatz et Pfisterer 2013) et selon Spatz et Niklas (2013), méthodes mathématiques incorrectes. Cela conduit dès

lors à se demander dans quels cas la méthode SIA fournit des résultats corrects et fiables.

Jusqu'ici, je n'ai trouvé aucune publication fondée sur des données et preuves formelles que la méthode SIA puisse effectivement déterminer des coefficients de sécurité précis pour des arbres urbains matures. Le manque de données probantes et les carences de la méthode ont été pointés du doigt il y a longtemps (Rinn 1993). Depuis, les décennies passées auraient dû permettre d'éprouver la méthode, de collecter des données, d'analyser les

résultats et de publier les conclusions dans des revues sérieuses. Je suis à ce jour incapable d'expliquer pourquoi cela n'a pas été fait. Nous pourrions nous attendre à ce que les arboristes, les experts indépendants de la mécanique des arbres et les universitaires soient pour le moins sceptiques à propos de la méthode SIA actuelle et de son logiciel en ligne. Qu'ils interrogent la promotion active dont la méthode fait encore l'objet de la part des experts du monde entier. Curieusement, SIA a fait son apparition dans des normes nationales et internationales et ce sans données probantes sérieuses et malgré des exemples concrets pour lesquels elle produit des résultats incorrects. Il existe une façon de corriger cette situation simplement et assez rapidement. Une validation des concepts SIA pourrait être menée en déterminant avec le logiciel le coefficient de sécurité d'une série d'arbres « tests ». Puis ces arbres seraient chargés / tirés arti-

ciellement jusqu'au point de rupture. Les résultats mesurés seraient alors comparés aux valeurs estimées par la méthode. Cela produirait une corrélation entre valeurs de rupture estimées et mesurées (par essence et classe d'âge, sains et présentant des caractéristiques). Le coefficient de détermination de la corrélation (r) permettrait alors aux spécialistes de la mécanique des arbres d'évaluer la précision et la fiabilité de la méthode (Rinn 2017). Afin d'obtenir une fiabilité suffisante pour l'évaluation de la probabilité d'échec, la corrélation devrait être significative (par exemple $r^2 > 0,7$). Le seuil d'acceptabilité de la corrélation et donc de la méthode serait fixé par une commission indépendante de scientifiques et d'experts de la normalisation.

Une procédure similaire devrait être appliquée à toute méthode qui ambitionne d'évaluer le facteur de sécurité des arbres urbains. Enfin, en fonction

des seuils de précision et de fiabilité ainsi établis, caractérisés par exemple par r^2 , on sélectionnerait quelle méthode mettre en œuvre et recommander dans les normes nationales et internationales pour l'évaluation des probabilités de rupture des arbres.

Tant qu'aucune preuve sérieuse ne permet d'attribuer un niveau de précision et de fiabilité suffisant à telle ou telle méthode (évaluation des risques de rupture ou de déracinement, par essence, classe de taille et d'âge et distinguant les arbres sains de ceux portant des singularités), aucune méthode ne devrait être massivement appliquée. Enfin, si une méthode qui n'a pas fait l'objet d'une telle procédure de validation doit être utilisée à défaut d'alternatives, alors elle doit l'être avec une extrême précaution et exclusivement par des experts qui savent ce qu'ils font. Et ces experts doivent publiquement reconnaître les limites des méthodes qu'ils emploient.

Bibliographie

ANSI A300 Part 5 : American national standard for tree care operations: tree, shrub and other woody plant manage;

Fink, S. (2009): "Hazard Tree identification by Visual Tree Assessment (VTA): Scientifically solid and practically approved". In: *Arboricultural Journal* 32.3, pp. 139–155.

Gere, J. M., S.P. Timoshenko (1997): *Mechanics of Materials*, PWS Publishing Company.

Gruber, F. (2007): Die wissenschaftlich nicht nachvollziehbare VTA-h/D=50-Grenzkonstante, ein kaum brauchbares, nicht justifizierbares Verkehrssicherheitskriterium [The scientifically not comprehensible VTRA-h/D=50 threshold, a hardly useful, not justifiable road safety criterion]. *Agrar- und Umweltrecht (Agricultural and Environmental Law)* 37:267–272.

Gruber, F. (2008): Reply to the responses of Claus Mattheck and Klaus Bethge to my criticisms on untenable VTA-failure criteria – Who is right and who is wrong? *Arboricultural Journal* 2008/12/01. Taylor & Francis. 277–296.

Kahle, H.-P., H. Spiecker, R. Unseld, P.J. Pérez Martínez, J. Prietzel, K.H. Mellert, R. Straussberger, K.E. Rehfuess (2008): Temporal trends and spatial patterns of height growth changes in relation to changes in air temperature and precipitation, and in relation to levels of foliar nitrogen and nitrogen deposition. In: *Causes and Consequences of Forest Growth Trends in Europe - Results of the Recognition Project*, Chapter: 4.2, Publisher: Brill, Editors: Kahle, H.P.; Karjalainen, T.; Schuck, A.; Ågren, G.I.; Kellomäki, S.; Mellert, K.H.; Prietzel, J.; Rehfuess, K.E.; Spiecker, H, pp.127–167.

Mattheck, C., Bethge, K., Erb, D. (1993): Failure Criteria for Trees. *Arboricultural Journal* (17) 2, Taylor & Francis, 201–209.

Mattheck, C., Bethge, K., Tesari, I., Kappel, R. (2002): A new failure criterion for non decayed solitary trees. *Arboricultural Journal* (26), 43–54.

Mattheck, C., Bethge, K. (2008): Abridged response to the criticism of VTA-failure criteria by Franz Gruber. *Arboricultural Journal* (31).

Niklas, K. (2000): Computing factors of safety against wind-induced tree stem damage. *Journal of Experimental Botany* 51 (345):797–806.

Niklas, K. & Spatz, H.-C. (2012): *Plant physics*. Plant Physics. Univ. of Chicago Press. ISBN-10: 0226586324.

Niklas, K. & T. Speck (2001): Evolutionary trends in safety factors against wind-induced stem failure. *American Journal of Botany* 88(7) :1266–1278.

Rinn, F. (1993): Modelle zur Beurteilung der Bruchsicherheit von Bäumen. Bewertung der Baumstatik nach Sinn und Wessolly sowie der 1/3-These nach Mattheck. *Landschaftsarchitektur* 5, 55–59. [Concepts for evaluating breaking safety of trees. Evaluation of the tree-statics by Sinn and Wessolly as well as the 1/3-rule by Mattheck]

Rinn, F. (2013): Shell-wall thickness and breaking safety of mature trees. *Western Arborist*, Fall 2013, 40–44.

Rinn, F. (2014a): How much crown pruning is needed for a specific wind-load reduction? *Western Arborist* Spring 2014, 10–13.

Rinn, F. (2014b): Error calculation in tree inspection You've got to be kidding! *Western Arborist*, Summer 2014, 36–38.

Rinn, F. (2015): Understanding size-related principles of tree growth for tree-risk evaluation. *Western Arborist* Winter 2015, 14–17.

Rinn, F. (2017): Principles and challenges of static load tests ('pull-testing') for estimating uprooting safety. *Western Arborist* Winter 2017, 36–41.

Rust, S. (2013): What Do We Really Know about Tree Slenderness As an Indicator for Risk Assessment? *ISA Annual Conference*, Toronto, Canada, 6. August 2013. (<http://www.isa-arbor.com/events/conference/presentationDescription.aspx?ID=952>)

Spatz, H.-C. & K.-J. Niklas (2013). Modes of failure in tubular plant organs. *American Journal of Botany* 100(2) : 332–336. 2013.

Spatz, H.-C. & J. Pfisterer (2013): Mechanical properties of green wood and their relevance for tree risk assessment. *Arboriculture and Urban Forestry* 39(5), 218–225.

Telewski, F. W. (2006): A unified hypothesis of mechanoperception in plants. *American Journal of Botany* 93 (10) : 1466–1476. 2006.

Wessolly, L. & Erb, M. 2016 : *Manual of Tree Statics and Tree Inspection*. Patzer Verlag, Berlin-Hannover, Germany. 288 pp. ISBN 978-87617-143-2