



**FEDERATION  
EUROPEENNE DE LA  
MANUTENTION**

**Groupe de Produits  
Grues et Equipement de  
Levage**

**FEM**

**5.016**

**(3<sup>ème</sup> Edition)  
Avril 2017**

**- Guide -**

**"Risques relatifs à la sécurité lors de l'installation et le  
transport d'éoliennes"**

**- Guideline -**

**"Safety Issues in Wind Turbine Installation and  
Transportation"**

**- Leitfaden -**

**"Sicherheitsrisiken während der Erstellung und des  
Transportes von Windkraftanlagen"**

Fédération Européenne de la Manutention – Groupe de produits Grues et Equipement de Levage

Copyright: FEM PG CLE

Les sources sont indiquées à la fin du document

Disponible en: anglais (EN), français (FR), allemand (DE), italien (IT), espagnol (ES)

# TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. Introduction .....	4
2. Étendue.....	5
3. Notions fondamentales.....	5
3.1 Capacité de grue et tableaux de charge.....	5
3.2 Indication de vent dans les tableaux de charge .....	5
3.3 Influence du vent sur la grue et la charge.....	6
3.4 Notions fondamentales sur le vent.....	7
4. Planification du levage et détermination de la vitesse du vent admissible .....	9
5. Influence du vent pendant les opérations de abaissement/relevage de la flèche .....	13
6. Vent hors service (stationnement de la grue).....	13
7. Chargements des stabilisateurs et pressions de contact .....	13
8. Risques pour les grues mobiles pendant les travaux de réparation sur les éoliennes .....	14
9. Chemin d'accès.....	15
9.1 Préparation .....	15
9.2 Déplacement de la grue dans une configuration d'assemblage partiel .....	16
10. Conclusion.....	17
Annexe 1 : Base théorique .....	18
Annexe 2 : Indications sur anémomètres / indicateurs de vitesse du vent sur des grues mobiles.....	19
Annexe 3 : Vitesse du vent comme fonction de la hauteur .....	21
Tableau 1 —Vitesse de rafale de 3 secondes comme fonction de la vitesse moyenne du vent selon l'échelle de Beaufort et l'élévation .....	21
Annexe 4 : Pression d'impact comme fonction de l'élévation .....	22
Tableau 2 — Pression quasi-statique comme fonction de la vitesse moyenne du vent selon l'échelle de Beaufort et fonction de l'élévation .....	22
Annexe 5 : Formes typiques .....	23
Tableau 3 — Formes typiques et valeurs $C_w$ correspondantes .....	23
Annexe 6 : Valeurs de Beaufort .....	24
Tableau 4 – Échelle de Beaufort .....	24
Annexe 7 : Tableau de charge .....	25
Tableau 5 — Exemple de tableau de charge.....	25
Bibliographie .....	26
Références .....	27

**Mention légale :** Ce guide ne prétend pas inclure tous les scénarios possibles et imaginables et ne possède pas de valeur juridique. Il ne remplace et ne peut remplacer l'étude des directives, lois et règlements applicables. En outre, les caractéristiques spécifiques des différents produits et leurs diverses applications doivent être prises en compte (voir les instructions d'utilisation correspondantes des équipements utilisés). Pour cette raison, les estimations et procédures auxquelles il est fait référence dans cet article peuvent être influencées par une grande variété de circonstances.

### **Rectificatif (2<sup>ème</sup> Ed)**

- a) Figure 3 a été remplacée
- b) Chapitre 4 "To enable an easy and quick ... in the work flow diagram to determine the ~~minimum~~ allowed wind speed."
- c) Figure 4 légende a été ajoutée
- d) Dans la partie « Base théorique », « p : pression dynamique » a été remplacé par « q : pression dynamique quasi-statique »

### **Rectificatif (3<sup>ème</sup> Ed)**

- a) Mise à jour des chapitres 5,6,7 et 9.2.
- b) Les notions théorétiques ont été déplacées dans l'annexe 1
- c) Les indications sur anémomètres / indicateurs de vitesse du vent sur des grues mobiles ont été ajoutées dans l'annexe 2
- d) Les annexes 1-5 de l'édition précédente ont été déplacées en conséquence (annexes 3-7).

## 1. Introduction

Lever des charges dans des conditions de vent fort peut présenter un danger potentiel à ne pas sous-estimer. Les forces du vent agissant sur les charges durant les opérations de levage ont causé plusieurs accidents graves, en particulier dans l'industrie éolienne. Pour cette raison, ESTA (Association européenne du levage et du transport de charges lourdes) et FEM (Fédération européenne de la manutention - Groupe de produits grues et équipement de levage, grues mobiles) ont édité une alerte de sécurité en avril 2010 dans plusieurs magazines (N 0219 Document compilé par FEM/ESTA).

Avant de procéder au levage d'une charge, le conducteur de grue doit s'assurer que la grue et la charge ne sont pas exposées à des vents qui pourraient dépasser les limites établies par le fabricant de grues. Il est donc important d'être informé sur les conditions de vent prévues bien avant les opérations de levage. Particulièrement dangereuses sont les rafales localisées qui peuvent surgir en rapport avec de fortes averses ou des pluies d'orage, par exemple.

De même, de nombreux transporteurs et sociétés de location de grues se plaignent de contraintes de temps (pression du planning) pour ce qui concerne les délais d'exécution (montage d'éoliennes). En particulier, mais pas seulement, vers la fin d'une année civile, le délai d'exécution est souvent réduit à un niveau inacceptable. Sans un délai d'exécution convenable, le risque « d'empiéter sur la sécurité » augmente, en particulier les risques d'accidents liés à l'utilisation de la grue sous des régimes de vent plus forts que ceux autorisés par les fabricants de grues.

Ce document sert à informer les conducteurs de grue, les planificateurs de projet et les équipementiers de grutage sur les questions de sécurité durant le montage des éoliennes, en particulier sur l'influence du vent sur une grue mobile sur le site de montage. Le chapitre 3 est une introduction aux notions fondamentales concernant les charges du vent comme par exemple la norme européenne sur les grues mobiles, EN13000. Il sera montré aux pages suivantes comment les charges de vent, et enfin les cas de charges spéciales tels que lors du montage des turbines éoliennes, peuvent être calculés. De même, il sera montré quelles informations sont nécessaires.

Ce document ne prétend pas être exhaustif. Il complète le manuel d'utilisation appartenant à la grue. Il ne remplace donc pas le manuel d'utilisation ni les tableaux de charge de la grue en question.

En publiant ce document, nous avons voulu inciter à une plus grande sensibilité face au travail avec des équipements lourds. FEM offre ici l'expérience de tous les fabricants réunis dans la fédération.

## 2. Étendue

Ce document s'applique aux grues mobiles (p. ex. grues télescopiques sur pneus, grues sur chenilles). Il sert uniquement de référence ou de vue d'ensemble : il vise à donner des informations et des conseils dans l'évaluation des risques.

## 3. Notions fondamentales

### 3.1 Capacité de grue et tableaux de charge

La capacité d'une grue mobile dans une configuration est limitée par des influences diverses (p. ex. résistance structurelle des composants, stabilité de la grue). Par conséquent, la capacité de chargement autorisée par une configuration donnée est indiquée dans ce qu'on appelle un tableau de charge comme combinaison de charge autorisée et de portée correspondante (voir exemple à l'annexe 7). Cette combinaison charge/portée est surveillée par le contrôleur d'état de charge (CEC) de la grue et ne doit pas être dépassée!

Les charges autorisées dans le tableau de charge devront éventuellement être réduites si les hypothèses faites lors de la conception de la grue sont dépassées (voir chapitre 3.2 ci-dessous). Cette évaluation spécifique au site et au levage envisagé est sous la responsabilité de l'utilisateur de la grue.



La planification et l'exécution d'un levage avec des charges supérieures aux capacités autorisées comprenant p. ex. des influences prévisibles du vent et la désactivation du CEC (contrôleur d'état de charge) de la grue peuvent causer des blessures graves ou des accidents mortels !

### 3.2 Indication de vent dans les tableaux de charge

L'influence du vent et des rafales de vent sont souvent sous-estimés lors des opérations de levage avec grues mobiles. Lors du levage de charges présentant une grande surface d'exposition au vent, tel qu'une pale de rotor ou un rotor d'éolienne complet, les conditions et hypothèses de calcul des charges de vent peuvent différer de manière significative des valeurs standard fournies par l'EN13000. Ces valeurs standard constituent la base de calcul des grues; à ce titre, les charges théoriques liées au vent peuvent alors être largement dépassées.

Toutes les grues mobiles en usage sur le marché européen doivent être conformes aux exigences de la directive européenne sur les machines 2006/42/CE. La norme européenne applicable pour les grues mobiles est l'EN13000, laquelle comprend les hypothèses de charge pour le calcul de la structure portante d'une grue mobile. Pour ce qui concerne le calcul des forces du vent sur la charge soulevée, les hypothèses suivantes sont applicables:

- 1) Une surface projetée standard prévisionnelle de la charge soulevée de  $1 \text{ m}^2$  par tonne.
- 2) Un coefficient de traînée standard de la charge soulevée de  $c_w = 1,2$ .

Mais

- les pales de rotor ou rotor complet ont généralement une surface projetée beaucoup plus grande que celle correspondant à  $1 \text{ m}^2/\text{t}$ , souvent 5 à 10 fois plus élevée,
- la valeur  $c_w$  d'un bloc rotor complet est souvent 1,5 - 1,8 et non la valeur 1,2 assumée par la norme EN13000.

Par conséquent, les vitesses de vent admissibles sur les tableaux de charge de la grue sont souvent non valables pour le levage de pales de rotor, blocs rotor ou autres structures présentant de larges surfaces. Le levage de ces objets requiert donc des vitesses de vent plus faibles que les vitesses de

vent autorisées pour le levage des sections du mât de l'éolienne, de la nacelle ou d'autres charges lourdes.

Concernant l'EN13000, la vitesse du vent de référence dans les tableaux de charge est ce qu'on appelle la « rafale de 3 secondes » mesurée au plus haut point de la flèche et non la vitesse de vent moyenne mesurée à 10 mètres de hauteur sur une période de 10 minutes comme indiqué par la plupart des stations météo. La vitesse du vent de rafale de 3 secondes peut facilement être 2 fois plus élevée; donc en tenant compte de la vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur, on peut facilement sous-estimer les conditions réelles !

Ces 3 facteurs

- surface au vent de la pale/du bloc rotor,
- coefficient de traînée  $c_w$  et
- vitesse de vent de "rafale de 3 s" mesurée au plus haut point de la flèche

expliquent en partie la nécessité d'une planification minutieuse, de l'observation des conditions météorologiques et de la prise en compte d'un délai d'attente lors de la planification d'élévation des pales de rotor/blocs rotor.



Il faut prendre en compte des possibles délais d'attente lors du levage de pales ou blocs rotors en raison des vitesses de vent admissibles souvent beaucoup plus faibles comparé aux vitesses de vent max. admissibles du tableau de charge de la grue. La probabilité de ces délais d'attente doit être prise en compte lors de la planification.

### 3.3 Influence du vent sur la grue et la charge

La vitesse et la direction du vent, la forme et la taille de la charge ont un effet majeur sur la stabilité et le chargement des grues mobiles.

Un doublement de la vitesse du vent augmente de quatre fois la charge du vent et la vitesse du vent augmente avec la hauteur au-dessus du sol (voir chapitre 3.3 ci-dessous). La forme de la charge a une influence sur la résistance au vent et donc sur la charge générée par le vent et agissant sur la grue (voir chapitre 4 ci-dessous).

L'influence du vent sur la grue et la charge implique des chargements des stabilisateurs qui diffèrent considérablement des valeurs indiquées dans les manuels ou calculées avec les outils de planification fournis par les fabricants (voir également le chapitre 7).

Lorsque le vent s'exerce sur la charge, celle-ci peut se balancer dans la direction du vent. Cela signifie que l'effort de la charge n'agit plus sur la flèche selon une direction verticale vers le bas. En fonction de la vitesse du vent, de la surface de la charge exposée au vent et de la direction du vent, la portée effective de la charge peut augmenter ou des forces latérales interdites peuvent agir sur la flèche de grue.

Des forces latérales sur la charge provoquent une inclinaison latérale du câble de levage, qui peut endommager les poulies et causer des dégâts de torsion du câble de levage.



Si le chargement créé par le balancement est proche de la charge max. autorisée pour cette configuration, le limiteur de charge pourrait commuter constamment.

Le vent peut souffler de face, de l'arrière et de côté sur la grue et la charge. Ces 3 directions doivent être prises en compte pour la grue et la charge et ont des répercussions différentes sur la grue :

Le **vent de face** ne réduit pas le chargement du crochet, du câble de levage, des poulies et du treuil de levage car la charge continue d'agir avec sa force de gravitation.

Avec le vent de face, la charge sur la flèche est réduite car le vent agit sur la surface projetée de la grue et réduit le poids mort de la grue. Dans ce cas, le contrôleur d'état de charge (CEC) indique une valeur inférieure à la charge réelle.



La limite de coupure du CEC correspondante sera à une portée plus importante que celle indiquée dans les tableaux de charge. Par conséquent, la grue sera surchargée au point de coupure.

Le **vent latéral** qui agit sur la flèche de grue et la charge est particulièrement critique pour la grue mobile.



La charge additionnelle liée au vent latéral n'est pas détectée ni indiquée par le contrôleur d'état de charge (CEC). L'indication de charge est similaire à celle affichée en l'absence de vent. Cela peut entraîner une surcharge de la grue et impacter sa résistance et sa stabilité.

Avec le **vent arrière**, la flèche est soumise à une charge additionnelle. L'indication de charge du CEC est plus grande que la charge effective. La coupure du CEC se déclenche donc à une charge inférieure à la charge maximum admissible indiquée dans le tableau de charge.



Un levage (en particulier le levage de charges présentant une grande prise au vent) ne doit jamais être planifié trop près des limites du tableau de charge.

Etant donné que lors du levage de la charge, celle-ci est pivotée, toutes les directions du vent peuvent influencer l'état de charge, même si la direction principale du vent ne change pas.

La qualité sans cesse améliorée, les technologies des grues mobiles, un conducteur de grue ayant une solide expérience professionnelle et étant formé aux influences du vent ainsi qu'une planification professionnelle et anticipée des tâches de levage permettront de réduire considérablement les risques d'accident.

### 3.4 Notions fondamentales sur le vent

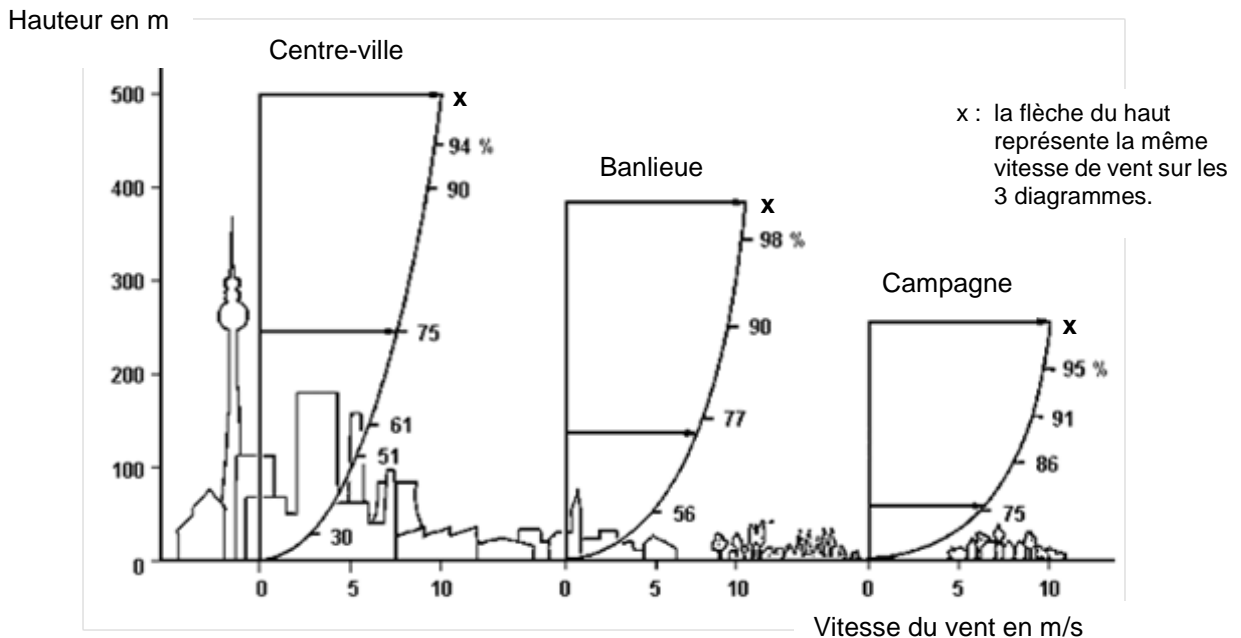
Les vitesses du vent sont généralement classées avec la dite "**échelle de Beaufort**" en bft (voir Annexe 6). C'est une échelle de mesure empirique de 0 à 12 (par observation des phénomènes naturels). Les forces du vent peuvent être déterminées au moyen d'effets visibles typiques et d'observations naturelles du paysage. La force Beaufort se réfère, en termes pratiques, à la vitesse moyenne du vent sur une durée de **10 minutes** à une hauteur de 10 mètres. Les valeurs Beaufort varient de 0 (calme) à 12 (ouragan).

Une forte bourrasque active à l'intérieur d'un vent ou d'une tempête est appelée **rafale**. On est souvent surpris lorsque la météo annonce des pics de vent de 33 km/h par exemple, car le vent donne l'impression d'être beaucoup plus fort. En réalité, avec les rafales, nous nous préoccupons d'une bourrasque qui est plus puissante et indépendante de la valeur moyenne du vent. Ainsi, une rafale de vent peut atteindre 60 km/h ou plus alors que la valeur moyenne est largement en dessous (33 km/h dans l'exemple).



La vitesse d'une rafale est la valeur moyenne de la vitesse du vent mesurée pendant une durée de **3 secondes**. La vitesse de rafale est plus élevée que la vitesse moyenne du vent mesurée sur une durée de 10 minutes. En outre, la direction du vent au cours d'une rafale peut varier d'environ 30 degrés, ce qui peut causer des effets secondaires intempestifs.

Loin au-dessus du sol, à une hauteur d'env. 1 km, le vent n'est plus affecté par les caractéristiques de surface du sol. Les vitesses du vent dans les couches atmosphériques inférieures sont réduites par la résistance de frottement au sol. Différence est faite entre la **rugosité** du terrain, l'influence des obstacles et l'influence des contours du paysage, connu également sous le nom "d'orographie" du terrain. Les classes de rugosité sont comprises entre 0 (surface de l'eau) et 4 (villes avec immeubles très élevés).



**Figure 1 — Influence de la rugosité du sol sur la vitesse du vent**

Dans l'industrie du vent, les techniciens parlent souvent de classes de rugosité lorsqu'ils évaluent les caractéristiques du vent d'un paysage. Une classe de rugosité élevée de 3 à 4 est caractérisée par de nombreux arbres et bâtiments, alors que la surface d'un lac tombe dans la classe de rugosité 0. Les pistes en béton dans les aéroports appartiennent à la classe de rugosité 0,5. **Les valeurs du service météorologique et les calculs de vitesse du vent se rapportent à une rugosité de classe 2.** En cas de classes de rugosité plus petites, il faut tenir compte du fait que la vitesse du vent sera plus élevée sur le site de travail (voir figure ci-dessus) que les chiffres fournis par la station météo !



## Vitesse du vent en fonction de la hauteur

Pour calculer la vitesse du vent prévisible pour le plus haut point de la flèche, se référer au tableau de l'Annexe 3.

### Exemple :

Vous recevez une notification de vitesse du vent (p. ex. de la station météo la plus proche) de 6,2 m/s à 10 m au-dessus du niveau du sol, calculée sur une durée de 10 minutes. Selon le tableau Beaufort (voir Annexe 6), cela correspond à une vitesse du vent de valeur 4 sur l'échelle Beaufort. Vous disposez d'une hauteur de levage max. de p. ex. 50 m. La vitesse du vent de rafale de 3 s à une hauteur de 50 m peut maintenant être lue à l'aide du tableau à l'Annexe 3. Elle s'élève à 13 m/s. Etant donné qu'elle dépasse la vitesse de vent de rafale maximum admissible de 9 m/s selon le tableau de charge, l'opération de levage de charge ne devra pas être réalisée.

## 4. Planification du levage et détermination de la vitesse du vent admissible

Les valeurs suivantes doivent être connues ou demandées avant d'effectuer le levage :

- La **masse de la charge** (m)
- La **surface projetée maximum** ( $A_p$ ) de la charge (voir plus bas)
- Le **coefficient de traînée** ( $C_w$ )
- La **vitesse du vent de rafale** ( $v_{act}$ ) prévisionnelle sur 3 s au plus haut point de la flèche

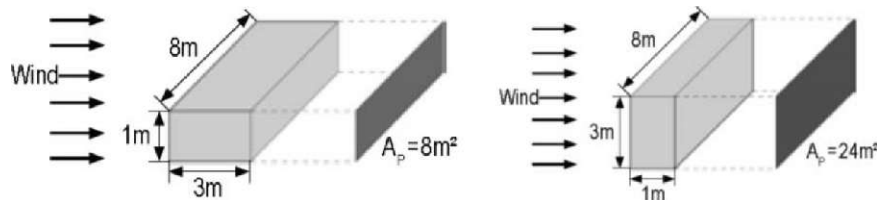


Figure 2 — Calcul de  $A_p$



Les procédures et informations de sécurité concernant les conditions de vent indiquées dans les tableaux de charge des fabricants doivent être strictement observées et suivies afin de prévenir les accidents. Seul un personnel spécialisé et qualifié est autorisé à effectuer la planification et l'exécution du levage.

Chaque levage sera planifié en tenant compte des conditions environnementales (p. ex. données météorologiques comprenant les prévisions météorologiques, autres conditions environnementales pertinentes).

- La détermination de la vitesse du vent sera basée sur la rafale de vent prévue (rafale de vent de 3 s) au plus haut point du système de flèche.
- Pendant la planification, la charge levée, sa forme géométrique et son facteur de traînée aérodynamique doivent également être pris en compte.

Une méthode de calcul simplifiée (voir schéma ci-dessous) couvre tous les cas particuliers et est donc une méthode « conservatrice ». Les calculs plus précis peuvent conduire à des vitesses du vent admissibles plus élevées ; contacter éventuellement le fabricant pour un calcul exact.

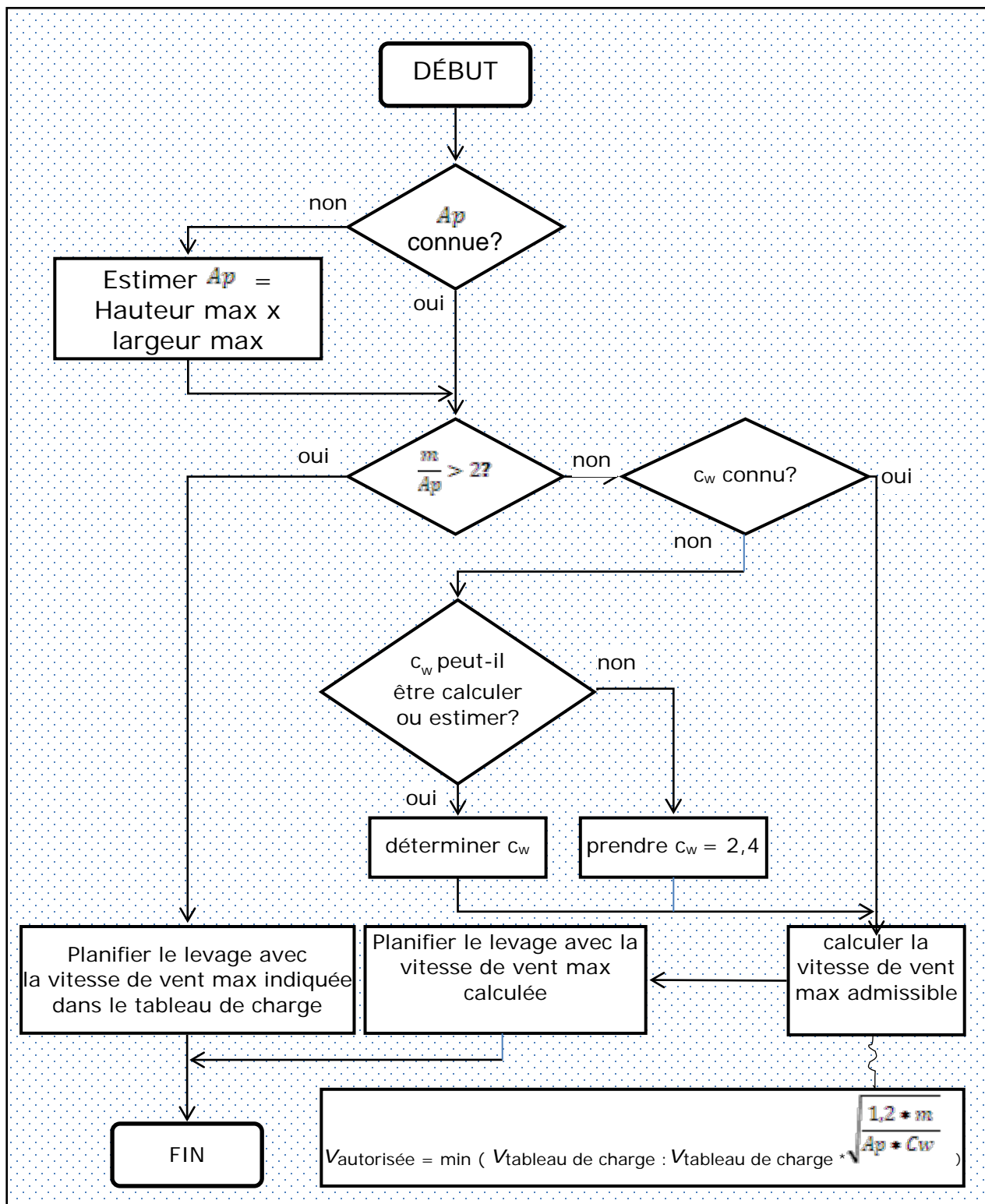


Figure 3 – Synoptique de détermination de la vitesse de vent admissible

**Légende :**

- m - charge utile [t]
- $A_p$  - surface projetée [m<sup>2</sup>]
- $c_w$  - coefficient de traînée ; un exemple de formes et de coefficients de traînée correspondants est donné en Annexe 5

- $V_{\text{autorisée}}$  - vitesse maximum autorisée d'un vent de rafale de 3 secondes au plus haut point du système de flèche [m/s].

La vitesse du vent autorisée ne doit pas être plus élevée que la vitesse du vent du tableau de charge [m/s].

- $V_{\text{tableau de charge}}$  - vitesse du vent du tableau de charge [m/s]

Le facteur 2 mentionné dans la formule  $\frac{m}{A_p} > 2$  correspond au rapport entre le coefficient de traînée max. 2,4 et le coefficient de traînée standard 1,2 pris pour l'hypothèse de charge.

Pour déterminer facilement et rapidement la vitesse du vent max. autorisée (longue formule dans le schéma ci-dessus), un graphique de réduction de la vitesse du vent peut être fourni (voir exemple ci-dessous). Les deux exemples suivants montrent l'utilisation de tels graphiques. Les mêmes résultats peuvent être obtenus en utilisant la formule dans le synoptique pour déterminer la vitesse de vent admissible.

**Exemple 1** pour déterminer la vitesse du vent maximale admissible (ligne pointillée sur le diagramme de réduction de la vitesse du vent, voir plus bas) :

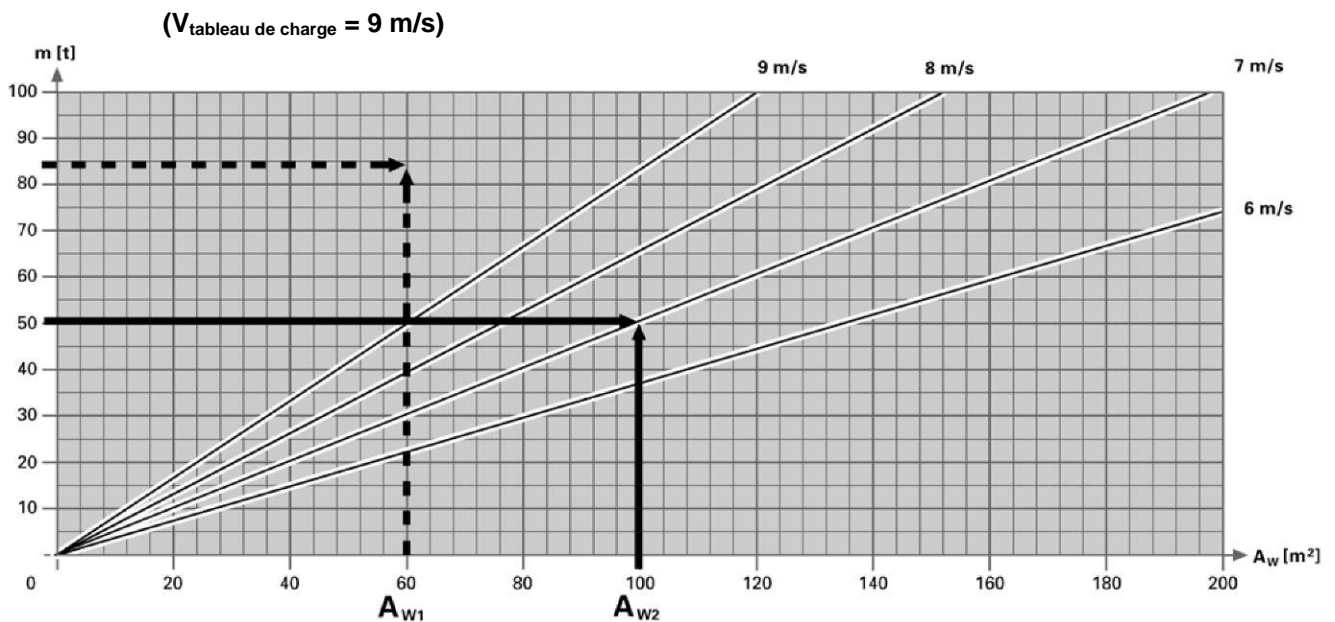
Une charge avec une masse de 85 t a une valeur  $c_w$  de 1,2 et une surface projetée de 50 m<sup>2</sup>. Un coefficient de traînée  $c_w$  de 1,2 et une surface projetée de 50 m<sup>2</sup> équivalent à une surface d'exposition au vent de 60 m<sup>2</sup> ( $A_{w1}$ ). Dans cet exemple, le tableau de charge permet une vitesse du vent maximum de 9 m/s. Pour cette raison, le diagramme de réduction de la vitesse de vent avec 9 m/s doit être utilisé. Sur le diagramme de réduction de la vitesse 9,0 m/s, une ligne verticale est tracée vers le haut au point correspondant à une surface au vent  $A_{w1}$  de 60 m<sup>2</sup>. Tirer ensuite une ligne horizontale à partir de la charge de 85 t à soulever. Le point d'intersection des deux lignes est situé avant le gradient 9 m/s.

⇒ La vitesse du vent maximale admissible pour cette charge reste donc à 9 m/s comme indiqué sur le tableau de charge.

**Exemple 2** pour déterminer la vitesse du vent maximale admissible (ligne continue sur le diagramme de réduction de la vitesse du vent, voir plus bas) :

La charge à lever a une masse de 50 t, une valeur  $c_w$  de 1,3 et une surface projetée de 77 m<sup>2</sup>, ce qui équivaut à une surface d'exposition au vent de  $77 \cdot 1,3 = 100$  m<sup>2</sup> ( $A_{w2}$ ). En faisant le rapport entre la surface exposée au vent et la charge, il s'ensuit une valeur de 2 m<sup>2</sup> par t. Cette valeur dépasse la valeur admissible de la surface de charge exposée au vent de 1,2 m<sup>2</sup> par t. En se basant à nouveau sur le tableau de charge, une vitesse du vent maximale de 9m/s est admissible (pour une surface exposée au vent correspondante de 1,2 m<sup>2</sup> par t). La vitesse du vent maximale admissible doit alors être déterminée au moyen du graphique de réduction de la vitesse à 7m/s.

⇒ La vitesse du vent maximale admissible pour lever cette charge doit être réduite à 7m/s en comparaison à 9m/s indiqué sur le tableau de charge.



**Légende**  $A_w = A_p \cdot C_w$   $A_w$  - surface exposée au vent ( $m^2$ )

**Figure 4 – Graphique de réduction de la vitesse du vent**



La vitesse du vent maximale admissible déterminée à 7m/s dans l'exemple 2 n'est pas programmée dans le système informatique d'une grue mobile. Il n'y a pas d'avertissement si la vitesse maximum admissible du vent est dépassée. Pour cette raison, le conducteur de grue doit contrôler lui-même la valeur de vitesse du vent dans le système informatique.



Si la vitesse maximale admissible du vent est atteinte ou dépassée, la charge doit être déposée sur le sol le plus rapidement possible. Vu qu'il est souvent très difficile, voire impossible de redéposer une charge déjà levée, il est essentiel pour un levage en toute sécurité de connaître à l'avance les conditions du vent pendant toute la durée de l'opération de levage, y compris de montage et démontage (voir chap. 5) en obtenant par exemple un bulletin météo détaillé.

Avant de débuter une opération de levage, faire pivoter la tourelle de la grue non chargée sur 360° et observer la vitesse du vent mesurée par l'anémomètre et affichée dans la cabine du conducteur de grue. Etant donné que l'anémomètre peut passer dans les zones plus ou moins protégées du vent derrière l'éolienne ou la structure de la grue, la vitesse du vent max. peut différer en pivotant la grue.

Ces graphiques de réduction de la vitesse du vent peuvent être fournis par le constructeur de grue mobile pour chaque vitesse du vent indiquée sur les tableaux de charge; sans ces diagrammes, le calcul selon le synoptique présenté ci-dessus débouchera sur les mêmes résultats.

## 5. Influence du vent pendant les opérations de abaissement/relevage de la flèche

Le conducteur doit tenir compte des instructions et informations du fabricant concernant l'influence du vent pendant les opérations de abaissement/relevage de la flèche.

- La vitesse du vent maximale admissible de la configuration de la grue correspondant aux opérations de abaissement/relevage de la flèche est donnée dans le manuel d'instructions. Chaque opération de abaissement/relevage de la flèche de la grue doit être planifiée en tenant compte des conditions environnementales (p. ex. données météorologiques y compris bulletins météo, conditions environnementales pertinentes) pour la durée de toutes les phases.
- Lors des opérations de abaissement/relevage de la flèche les chargements des stabilisateurs ou les pressions de contact au sol peuvent être plus élevées que lors de l'opération de la grue.

## 6. Vent hors service (stationnement de la grue)

Une grue mobile doit être utilisée uniquement aux vitesses du vent autorisées (rafale de 3 s) indiquées dans les tableaux de charge (pour une surface équivalente d'exposition au vent inférieure ou égale à 1,2 m<sup>2</sup> par t) ou déterminée par un autre calcul (pour une surface d'exposition au vent supérieure à 1,2 m<sup>2</sup> par t - voir chapitre 4.). Si la vitesse du vent augmente, la grue doit être ramenée dans une position sûre en posant la flèche au sol ou en ramenant la grue en position de stationnement. La position de stationnement indiquée par le fabricant est une position optimisée dans laquelle la machine peut résister aux vitesses de vent élevées. Les vitesses du vent admissibles pour la grue hors service sont indiquées par le fabricant.

En déposant ou déplaçant la flèche en position de stationnement, il est possible que la grue passe par des configurations plus sensibles au vent; par conséquent, la flèche doit être posée ou ramenée en position de stationnement suffisamment tôt afin que la vitesse du vent admissible pour le abaissement/relevage de la flèche indiquée par le fabricant ne soit pas dépassée.

Particulièrement avec des systèmes de flèche longs (>120m), les forces du vent sur le système de flèche et l'élasticité du système de flèche augmentent les chargements sur les stabilisateurs d'une grue calée ou augmentent les pressions de contact au sol sous une grue à chenilles. Les forces exercées par les stabilisateurs ou les pressions de contact au sol peuvent être plus élevées que lors de l'opération ! Cette augmentation des chargements des stabilisateurs ou des pressions de contact peut être calculée que par le fabricant de la grue, sachant que les forces du vent et l'élasticité de la flèche doivent être prises en compte.

## 7. Chargements des stabilisateurs et pressions de contact

Les chargements de stabilisateurs et les pressions de contact des chenilles des grues mobiles indiqués par les fabricants ne tiennent pas compte de :

- la déformation élastique de la grue,
- l'inclinaison max admissible de la grue,
- les forces du vent sur la flèche et la charge,
- la charge supplémentaire due aux forces dynamiques (mouvements de grue),
- l'interaction entre la charge de grue exercée sur les patins des stabilisateurs ou des chenilles et le sol.

Les évolutions techniques récentes des grues et les exigences croissantes pendant les opérations sur les chantiers dans les dernières années, tel que :

- utilisation d'acier à haute résistance présentant une plus grande élasticité
- plus grande longueur du système de flèche
- conception minimisant le poids
- levages plus fréquents avec de plus grandes surfaces exposées au vent et valeurs  $c_w$  plus grandes
- utilisation sur des sites avec vitesses de vent plus élevées

entraînent une déformation élastique plus importante de la grue. Cela implique des charges/pressions de contact plus élevées sous les stabilisateurs ou les chenilles.

En règle générale, les charges des stabilisateurs d'une grue mobile calculées avec l'outil de planification doit être multipliées par les facteurs suivants :



Pour le levage d'éléments de mât ou de la nacelle: 1,2



Pour le levage d'une pale de rotor ou d'un bloc rotor complet : 1,35



L'augmentation des charges des stabilisateurs d'une grue mobile dans un mode d'opération avec de contrepoids supplémentaire, par exemple opération avec derrick/superlift ou contrepoids mobile, peut être largement supérieure aux facteurs donnés ci-dessus.

Ceci doit être pris en compte lors du choix des plaques de répartition sous les stabilisateurs de grue.

Si des grues sur chenilles sont utilisées, l'augmentation des pressions de surface dépend des dimensions des chenilles et de la configuration de la grue (par exemple derrick/superlift, fléchette). Les facteurs d'augmentation peuvent être supérieurs comparés aux grues sur des stabilisateurs. Ces facteurs peuvent être calculés que par le fabricant de la grue, en utilisant le numéro de série de la grue, la configuration du système de flèche, la configuration du contrepoids, la charge avec la portée et la surface exposée au vent (inclus le coefficient de traînée).

## **8. Risques pour les grues mobiles pendant les travaux de réparation sur les éoliennes**

Pour les travaux de réparation, par exemple de remplacement de pales de rotor ou du rotor complet, une grue plus petite est généralement utilisée, en comparaison au montage initiale de l'éolienne où la taille de grue a été dimensionnée en fonction du poids de la nacelle. Par conséquent, il arrive que la grue utilisée pour la maintenance soit proche de sa capacité nominale et les charges supplémentaires dues au vent et non prises en compte dans la planification peuvent surcharger la grue.

Lorsque des composants d'éolienne sont démontés pour être descendus au sol, il convient de s'assurer que le câble de levage est fermement enroulé sur le tambour de treuil lors de la montée à vide du crochet pour éviter le coincement du câble de levage entre des brins de câbles desserré sur le treuil. Cela peut être évité en utilisant une moufle à crochet plus lourde ou une charge supplémentaire.

## 9. Chemin d'accès

### 9.1 Préparation

En raison des contraintes de temps, les grues mobiles sont très souvent déplacées d'une plateforme à une autre sur le chantier d'éoliennes dans un état semi-assemblé. Des mesures de sécurité supplémentaires sont alors nécessaires, en particulier :

#### Capacité de charge

Les chemins d'accès doivent pouvoir supporter les charges à l'essieu/pressions de contact des chenilles de la grue dans sa configuration semi-assemblée. En se déplaçant sur des chemins d'accès avec un système de Superlift et/ou le pied de la fléchette relevable et/ou une partie du contrepoids, la charge à l'essieu peut augmenter jusqu'à plus de 25 t. L'entreprise contractante responsable de la construction des voies d'accès doit être parfaitement informée de cette charge à l'essieu/pression de contact des chenilles.



Les voies d'accès doivent être conçues pour répondre aux exigences de la grue dans la configuration particulière de son déplacement sur le site et non en fonction de la configuration route ou d'une valeur générique de charge à l'essieu ou de pression de contact des chenilles.



Les chemins d'accès pour grues tout-terrain et grues sur porteur : A noter qu'un pneu de grue avec une charge à l'essieu de 12 t et une pression de pneu nominale de 10 bar équivaut à un chargement du pneu sur le sol de 100t/m<sup>2</sup>!

#### Dévers transversal, planéité des chemins d'accès, inclinaison des chemins d'accès

Le dévers transversal de la route et l'inclinaison de la route doivent être dans les limites indiquées par le fabricant de grue.



La voie d'accès doit être conçue pour supporter la grue dans la configuration particulière dans laquelle elle est déplacée sur le site.



En fonction du dévers transversal de la route et de l'élasticité des pneus, les charges sur les roues d'un côté et de l'autre de la grue mobile seront différentes ! Assurez-vous que la route peut supporter cette charge.



Chemins d'accès pour les grues sur chenilles : si la largeur extérieure de la chenille est plus grande que la largeur de roulement de la route d'accès, le terrain peut être surchargé car seules les parties intérieures de chaque chenille porteront la charge ce qui conduira à une inclinaison des patins de chenille. Cela peut entraîner un basculement sur le côté. De plus, les galets de chenille n'ayant plus qu'un contact ponctuel sur les patins de chenille, ces composants subiront une usure prématurée. La même phénomène se produit lorsque la voie d'accès présente une forme convexe (généralement pour des raisons de drainage et d'écoulement des eaux).

## 9.2 Déplacement de la grue dans une configuration d'assemblage partiel

Afin de gagner du temps lors des opérations de abaissement/relevage de la flèche et de démontage pendant l'opération sur plusieurs éoliennes, les grues sont souvent déplacées dans un état (partialement) monté. Les systèmes de flèche ou parties de ces systèmes ainsi que les contrepoids peuvent rester sur la grue et être transportés ensemble avec la grue.

Cela entraîne l'augmentation des charges à l'essieu ou des pression de contact des chenilles de la grue et le centre de gravité se déplace vers le haut. Les déplacement de la grue sous ce type des conditions requiert une planification et préparation appropriées. Les instructions ci-dessous identifient un nombre des points critiques, mais les spécifiées du site peuvent impliquer d'investigations supplémentaires.

- La configuration de transport de la grue mobile est conforme à la spécification du fabricant.
- La voie de transport peut supporter les charges à l'essieu ou les pressions de contact pour la configuration choisie et fournit une réserve appropriée pour l'augmentation de charge lors du transport (par exemple, inclinaison sur le côté de la voie de transport, le balancement de côté de la grue lors du transport,...)
- Le chemin d'accès a été complètement inspecté afin d'éviter des irrégularités (par exemple insuffisances cachées du souterrain, couches sans la résistance nécessaire sur le chemin du site,...)
- Les inclinaisons dans le sens du transport et latérale du chemin d'accès correspondent aux valeurs donnés par le fabricant.
- Des stabilisateurs ou d'autres moyens sont utilisés comme support conformément au fabricant de la grue ; ils servent de la même manière comme les roues stabilisatrices sur un vélo pour enfant (par exemple dans le cas de perte soudaine de pression des pneus, mouvement latéral crée par une couche moue dans le chemin d'accès), mais ils ont besoin du sol préparé afin de supporter la charge.
- La position du centre de gravité lors du transport d'une grue dans un état (partialement) monté se trouve facilement à une hauteur de quelques mètres, en tout cas plus haut que lors du transport sur les routes. Toute inclinaison pendant le transport sur le site réoriente tout ce rouage vers la ligne de basculement, accompagné par une augmentation importante de la charge sous les pneus ou chenilles.
  - Pour une grue mobile avec une suspension hydropneumatique, les cylindres de suspension représentent la ligne de basculement et pas les pneus !
  - Pour une grue mobile sur chenilles, la distribution de la charge sous les patins de chenille deviendra de plus un plus non-uniforme, pouvant résulter dans une inclinaison encore plus prononcée.
- Lors du transport, toutes les mouvements brusques doivent être évités, car ils peuvent provoquer le balancement de la grue.



## 10. Conclusion

Pendant les opérations de grue dans des conditions venteuses, et en particulier lorsque des charges présentant de grandes surfaces sont levées, il est impératif de prendre en compte l'influence du vent. Avant de commencer les opérations, le conducteur de grue doit déterminer la vitesse du vent maximum prévisionnelle sur le site en contactant la station météo compétente. Le levage est interdit si les vitesses de vent prévisionnelles dépassent les vitesses du vent max. calculées en fonction de la charge lors de la planification des opérations. Si le vent souffle en rafales juste avant le levage, il est fort probable que de fortes rafales imprévues auront lieu dans le futur immédiat. Les prévisions **météorologiques** sont disponibles sur internet (p. ex. [www.windfinder.com](http://www.windfinder.com) à la rubrique "Super Forecast"). A noter que la vitesse de rafale indiquée est basée sur une hauteur de seulement 10 m au-dessus du sol.

En particulier pendant le levage de charges avec une masse relativement faible mais une surface importante, la charge du vent a un impact considérable sur la capacité de levage de la grue. La surface effective de la charge exposée au vent devant être prise en compte est le résultat de la surface projetée multipliée par le coefficient  $c_w$  (facteur de traînée - coefficient de forme pour la charge). La surface et le facteur  $c_w$  doivent être connus par toutes les parties responsables impliquées dans la planification des opérations de levage.



**Une opération de levage effectuée sans prendre en compte les forces du vent prévisionnelles et la surface réelle de la charge exposée au vent peut entraîner une défaillance des composants et/ou un basculement de la grue !**



**Risque d'accidents mortels sur le site de travail si les effets du vent ne sont pas pris en compte !**

## Annexe 1 : Base théorique

(Pour plus d'informations, voir EN 13000:2010)

### Définitions

- N** Newton (unité de force)
- $c_w$**  facteur de résistance au vent (coefficient de traînée)
- $v_{max}$**  vitesse de rafale maximum admissible de 3 secondes (m/s) au plus haut point de la flèche.
- $\bar{v}$**  vitesse du vent déterminée sur une durée de 10 min  $v$  [m/s] à 10 m au-dessus du niveau du sol ou de la mer
- $v(z)$**  valeur moyenne de la vitesse du vent sur une durée de 3 secondes à une hauteur  $z$  au-dessus du sol (m/s).
- $z$**  hauteur au-dessus du sol
- $q(z)$  Pression d'impact quasi-statique [N/m<sup>2</sup>] agissant à la hauteur  $z$  et calculé sur la base  $v(z)$ , voir aussi Annexe 4**

### Vitesses et pressions du vent

Dans le calcul des charges de vent, l'hypothèse est prise que le vent souffle horizontalement dans la direction la moins favorable, mais à une vitesse liée à la hauteur (10m au-dessus du sol). La vitesse d'une rafale de 3 secondes  $v(z)$  [m/s] agissant sur un point au hauteur  $z$  [m] et décisive pour les calculs, est basée sur une vitesse moyenne du vent déterminée sur une durée de 10 min  $v$  [m/s] à 10 m au-dessus du niveau du sol ou de la mer.

$$v(z) = [z/10]^{0,14} + 0,4 \cdot \bar{v}$$

pour  $z = 10[m] \rightarrow v(z) = 1,4 \cdot \bar{v}$  **voir Annexe 3**

La pression d'impact quasi-statique  $q(z)$  [N/m<sup>2</sup>] est le résultat de :

$$q = 0,625 \cdot v(z)^2$$

pour  $z = 10[m] \Rightarrow q(z) = 1,225 \cdot \bar{v}^2$  **voir Annexe 4**

La vitesse du vent admissible pour la grue en service et hors service est obtenue à partir de la vitesse de rafale  $v(z)$  agissant au point le plus élevé pris en compte pour les vérifications.

## **Annexe 2 : Indications sur anémomètres / indicateurs de vitesse du vent sur des grues mobiles**

### **Exigences normatives**

La norme EN13000 exige un indicateur de vitesse du vent sur les grues mobiles lorsque l'ensemble de la flèche/fléchette dépasse une longueur de 65 m, ou lorsque le temps de repliage est supérieur à 5 min.

EN13000 mentionne aussi : « ... Afin d'éviter tout danger, en particulier dû à un changement soudain de la vitesse ou de la direction du vent lors des passages de fronts météorologiques, il convient de prendre en compte les rapports météorologiques lorsque des opérations de levage sont programmées... ».

### **Détection de la vitesse du vent en service / hors service**

La détection de la vitesse du vent avec d'anémomètres est normalement possible si le système de control de la grue est activé « ON » - lorsque la position est « OFF » il y a pas des signaux disponibles.

### **Calibration et re-calibration**

La précision du anémomètre est calibrée par le fournisseur de l'anémomètre avant de mettre l'équipement sur le marché ; l'utilisateur doit assurer que l'anémomètre fonctionne correctement en le vérifiant régulièrement, au moins une fois dans l'année, par inspection visuelle (dégâts) et test fonctionnel (l'anémomètre tourne facilement sans résistance et les valeurs fournis sont correctes/plausibles. Il n'est pas nécessaire de conduire une re-calibration périodique (par exemple annuelle) de l' anémomètre, sauf si les résultats du test fonctionnel le requissent.

### **Précision**

Les anémomètres utilisés sur les grues mobiles sont fabriqués par des différents fournisseurs. La figure ci-dessous montre un exemple typique du ce type de capteur.



**Figure 5. Anémomètre**

Les capteurs utilisés ont d'habitude une précision de moins de  $\pm 3\%$  de la valeur mesurée, ce que correspond à une précision de 0,5 m/s. Le signal de la vitesse du vent d'un tel capteur est affiché à la station de control active.

L'anémomètre peut être attaché à une tige (extensible) au bout de la flèche afin de permettre une élévation au-dessous de la flèche, sachant que la longueur de la tige est limitée pour éviter des collisions pendant les levages. Des parties de la flèche ou d'autre obstacles dans la proximité de la grue peuvent créer des perturbations dans le courant de vent – les valeurs mesurées seront donc influencées par cet effet de sillage!

La vitesse du vent indiquée par l'anémomètre représente donc la vitesse momentanée du vent (avec la précision de l'anémomètre) plus les tolérances causées par les effets de sillage.

Même si la tige de l'anémomètre est extensible en hauteur, certaines perturbations ou effets de sillage causés par les parties de la flèche peuvent affecter la vitesse du vent détectée. En conséquence la précision des valeurs mesurées de la vitesse du vent est inférieure à celle donnée dans la spécification technique du fabricant et dépend de l'orientation de la flèche et de la configuration de la grue.

### **Récapitulatif**

1. La détection de la vitesse du vent est active seulement quand le système de contrôle de la grue est sur la position « ON ».
2. Les valeurs mesurées sur la grue représentent la vitesse momentanée du vent en tant qu'aide opérationnelle.
3. Toute levage doit être planifié en prenant en considération les conditions environnementales (par exemple conditions météorologiques, inclus les rapports météorologiques, conditions environnementales pertinentes), voir EN13000 :2014, chapitre 6.2.2.4.
4. Les valeurs mesurées de la vitesse du vent sont influencées par des parties de la flèche ou d'autres obstacles, en réduisant considérablement la précision théorique de l'anémomètre.
5. Les contrôles périodiques de l'anémomètre exigent que une inspection visuelle et un test fonctionnel.

### Annexe 3 : Vitesse du vent comme fonction de la hauteur

Tableau 1 —Vitesse de rafale de 3 secondes comme fonction de la vitesse moyenne du vent selon l'échelle de Beaufort et l'élévation

Niveau Beaufort	3	4	5 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>	6	7 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>	8	9	10
$\bar{v}$ [m/s] <sup>b</sup>	5,4	7,9	10,1	10,7	13,8	14,3	17,1	20,7	24,4	28,4
$z$ [m]	$v(z)$ [m/s]									
10	8	11	14	15	19	20	24	29	34	40
20	8	12	15	16	21	22	26	31	37	43
30	9	12	16	17	22	22	27	32	38	45
40	9	13	16	17	22	23	28	33	39	46
50	9	13	17	18	23	24	28	34	40	47
60	9	13	17	18	23	24	29	35	41	48
70	9	14	17	18	24	25	29	36	42	49
80	9	14	18	19	24	25	30	36	42	49
90	10	14	18	19	24	25	30	36	43	50
100	10	14	18	19	25	25	30	37	43	51
110	10	14	18	19	25	26	31	37	44	51
120	10	14	18	19	25	26	31	38	44	52
130	10	15	19	20	25	26	31	38	45	52
140	10	15	19	20	26	26	32	38	45	53
150	10	15	19	20	26	27	32	39	45	53
160	10	15	19	20	26	27	32	39	46	53
170	10	15	19	20	26	27	32	39	46	54
180	10	15	19	20	26	27	33	39	46	54
190	10	15	19	20	26	27	33	40	47	54
200	10	15	19	21	27	27	33	40	47	55

<sup>a</sup> Vent "grue en-service":  
 1 léger  $\bar{v} = 10$  [m/s] => for  $z = 10$  [m] =>  $q(z) = 125$  [N/m<sup>2</sup>]  
 2 normal  $\bar{v} = 14$  [m/s] => for  $z = 10$  [m] =>  $q(z) = 250$  [N/m<sup>2</sup>]

<sup>b</sup> Limite supérieure de Beaufort

#### Légende

- $\bar{v}$  [m/s] : vitesse du vent moyenne à 10 m de hauteur (limite supérieure sur l'échelle de Beaufort) sur une durée de 10 min.
- $z$  [m] : élévation au-dessus d'un sol nivelé.
- $v(z)$  [m/s] : vitesse de rafale de 3 secondes agissant à une hauteur  $z$  et décisive pour les calculs.
- $q(z)$  [N/m<sup>2</sup>] : pression quasi-statique agissant à une hauteur  $z$  et calculée sur la base de  $v(z)$ , voir Annexe 4.

## Annexe 4 : Pression d'impact comme fonction de l'élévation

Tableau 2 — Pression quasi-statique comme fonction de la vitesse moyenne du vent selon l'échelle de Beaufort et fonction de l'élévation

Niveau Beaufort	3	4	5 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>	6	7 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>	8	9	10
$\bar{v}$ [m/s] <sup>b</sup>	5,4	7,9	10,1	10,7	13,8	14,3	17,1	20,7	24,4	28,4
$z$ [m]	$q(z)$ [N/m <sup>2</sup> ]									
10	36	77	125	140	233	250	358	525	729	988
20	41	88	144	161	269	288	412	604	839	1137
30	45	96	156	176	292	313	448	657	913	1237
40	46	102	166	186	310	332	476	698	970	1314
50	50	107	174	196	325	348	499	732	1016	1377
60	52	111	181	203	338	362	519	761	1057	1431
70	54	115	187	210	349	374	536	786	1092	1480
80	55	117	193	216	360	385	552	809	1124	1523
90	57	121	198	222	369	395	566	830	1153	1562
100	58	124	202	227	377	404	579	849	1180	1598
110	59	126	206	232	385	413	591	867	1204	1632
120	60	129	210	236	393	421	603	883	1227	1663
130	61	131	214	240	400	428	613	899	1249	1692
140	62	133	218	244	406	435	623	914	1269	1720
150	63	135	221	248	412	442	633	928	1289	1746
160	64	137	224	251	418	448	642	941	1307	1771
170	65	139	227	255	424	454	651	953	1325	1795
180	66	141	230	258	429	460	659	966	1342	1818
190	67	142	233	261	434	465	667	977	1358	1839
200	67	144	235	264	439	471	675	988	1373	1860
<sup>a</sup> Vent "en-service": 1 léger $\bar{v} = 10,1$ [m/s] $\Rightarrow$ for $z = 10$ [m] $\Rightarrow$ $q(z) = 125$ [N/m <sup>2</sup> ] 2 normal $\bar{v} = 14,3$ [m/s] $\Rightarrow$ for $z = 10$ [m] $\Rightarrow$ $q(z) = 250$ [N/m <sup>2</sup> ] <sup>b</sup> Limite supérieure de Beaufort										

### Légende

$\bar{v}$  [m/s] : vitesse du vent moyenne à 10 m de hauteur (limite supérieure sur l'échelle de Beaufort) sur une durée de 10 min.

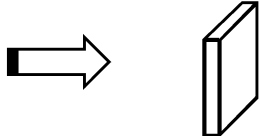
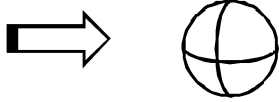
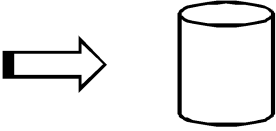
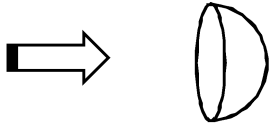
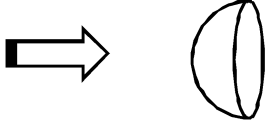

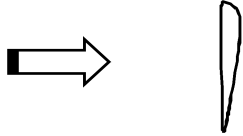
$z$  [m] : élévation au-dessus d'un sol nivelé.

$v(z)$  [m/s] : vitesse de rafale de 3 secondes agissant à une hauteur  $z$  et décisive pour les calculs, voir Annexe 1.

$q(z)$  [N/m<sup>2</sup>] : pression quasi-statique agissant à une hauteur  $z$  et calculée sur la base de  $v(z)$ .

## Annexe 5 : Formes typiques

Tableau 3 — Formes typiques et valeurs  $C_w$  correspondantes

Forme	Coefficient de traînée $C_w$	Commentaire
	1,1 à 2,0	
	0,3 à 0,4	
	0,6 à 1,0	
	0,8 à 1,2	
	0,2 à 0,3	
	0,05 à 0,1	Pale d'éolienne
	Env. 1,6	Pale d'éolienne

Les coefficients de traînée des charges pour le calcul doivent être pris des spécifications des fabricants (des pales d'éoliennes) ; en cas d'indisponibilité, les valeurs dans les tableau 3 peuvent fournir des orientations.

## Annexe 6 : Valeurs de Beaufort

Tableau 4 – Échelle de Beaufort

Vitesse du vent		Vitesse du vent (moyenne de 10 minutes)		Effet du vent
Échelle de Beaufort	Désignation	m/s	km/h	
0	Calme	0 à 0,2	1	Calme, la fumée s'élève verticalement.
1	Léger appel d'air	0,3 à 1,5	1 à 5	Direction du vent indiquée par la fumée mais pas par les girouettes.
2	Légère brise	1,6 à 3,3	6 à 11	Vent ressenti sur le visage, bruissement des feuilles, girouette actionnée par le vent.
3	Brise douce	3,4 à 5,4	12 à 19	Feuilles et branches en mouvement constant, le vent déploie un drapeau léger.
4	Brise modérée	5,5 à 7,9	20 à 28	Le vent soulève la poussière et les papiers, remue les brindilles et petites branches.
5	Brise fraîche	8,0 à 10,7	29 à 38	Les petits arbres commencent à s'agiter. De petites vagues se forment sur les lacs.
6	Vent fort	10,8 à 13,8	39 à 49	Grosses branches en mouvement, les lignes télégraphiques sifflent, parapluies difficilement utilisable.
7	Coup de vent modéré	13,9 à 17,1	50 à 61	Arbres entiers en mouvement, difficulté à marcher contre le vent.
8	Coup de vent fort	17,2 à 20,7	62 à 74	Arrache les branches d'arbre, gêne considérable pour marcher à l'extérieur.
9	Tempête	20,8 à 24,4	75 à 88	Endommagements structurels légers (mitres de cheminée et ardoises arrachées).
10	Grosse tempête	24,5 à 28,4	89 à 102	Arbres déracinés, Dommages structurels considérables.
11	Tempête violente	28,5 à 32,6	103-117	Dommages très répandus
12	Ouragan	32,7 et plus	118 et plus	Dévastation importante



## Annexe 7 : Tableau de charge

Tableau 5 — Exemple de tableau de charge

	Grue avec 56t de contrepoids								
	Base de stabilisation - longueur 18,00 m - largeur 18,00 m								
	Flèche principale - longueur en m								
	35.33	35.33	35.33	40.15	40.15	40.15	44.98	44.98	44.98
Tel. sec. I	0.44	0.00	0.00	0.88	0.44	0.00	0.88	0.44	0.00
Tel. sec. II	0.44	0.44	0.00	0.44	0.44	0.44	0.88	0.44	0.88
Tel. sec. III	0.44	0.44	0.88	0.44	0.44	0.88	0.44	0.88	0.88
Tel. sec. IV	0.44	0.88	0.88	0.44	0.88	0.88	0.44	0.88	0.88
Orientation torelle	360°								
Rayon en m	Capacités de levage en t								
6.0	112.0	106.0	88.5						
7.0	112.0	100.0	81.5	90.0	92.0	82.5			
8.0	112.0	94.0	76.0	90.0	92.0	77.5	74.0	74.0	72.0
9.0	112.0	87.5	70.5	90.0	90.0	73.0	74.0	73.5	69.0
10.0	112.0	81.5	65.0	89.0	85.5	69.0	74.0	70.0	65.0
11.0	112.0	77.5	61.0	84.0	81.5	64.5	73.5	67.0	61.0
12.0	112.0	73.5	57.5	79.0	77.0	60.5	70.5	64.0	57.5
13.0	112.0	69.0	54.0	74.5	73.5	57.5	67.0	61.0	54.5
14.0	107.0	65.0	50.0	70.5	70.5	54.5	63.5	58.0	51.5
15.0	102.0	62.0	48.0	67.0	67.0	51.5	60.5	55.5	48.5
16.0	94.0	59.5	45.5	63.5	63.5	49.0	57.5	52.5	45.5
18.0	81.5	54.0	41.0	57.0	59.0	45.0	51.5	48.5	41.5
20.0	71.5	49.5	37.0	52.0	54.5	41.0	47.0	44.5	37.5
22.0	63.5	46.0	34.5	47.0	49.5	37.0	42.5	41.0	34.5
24.0	57.0	42.5	31.5	43.5	47.0	35.0	39.0	38.5	32.0
26.0	51.5	39.0	28.5	40.0	44.0	32.5	35.5	35.5	29.5
28.0	46.5	37.0	27.0	37.0	41.5	30.5	33.0	33.0	27.0
30.0	42.5	35.0	25.0	34.0	38.5	28.0	30.5	31.5	25.5
32.0	34.0	33.0	23.5	31.5	37.0	26.5	28.5	29.5	23.5
34.0				29.5	35.0	25.0	27.0	28.0	22.0
36.0				27.5	33.5	23.5	25.0	26.0	20.5
38.0							23.5	25.0	19.2
40.0							21.5	23.5	18.2
Code CEC	1350								
Vitesse du vent max. admissible	12 m/s								
	9 m/s	11 m/s	12 m/s	10 m/s	8 m/s	12 m/s	10 m/s	11 m/s	

## **Bibliographie**

- [1] N0129 FEM/ ESTA Press Release - Mobile Cranes - Influence of wind forces during crane operation - Frankfurt 12<sup>th</sup> April 2010
- [2] Influence of wind on crane operation, 2<sup>nd</sup> release 2011, Liebherr Werk Ehingen GmbH
- [3] European Standard EN 13000:2010 Cranes - Mobile Cranes, including preliminary work of CEN TC 147 WG11 for the next amendment.
- [4] 2006/42/EC - Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast)  
OJ No L 157, 9 June 2006

## Références

Réalisé par le Comité Technique du Groupe Produit Appareils de levage « Cranes and Lifting Equipment » de la Fédération Européenne de la Manutention (FEM)

Secrétariat: **Secretariat of FEM Product Group Cranes and Lifting Equipment**  
**c/o VDMA**  
**Materials Handling and Logistic Technology Association**  
**Lyoner Str. 18**  
**D-60528 Frankfurt**

---

Disponible sur le site web de la FEM (Maison d'édition):

<http://www.vdmashop.de/FEM/>

---

Pour plus d'informations concernant FEM, veuillez-vous rendre sur le site FEM :

<http://www.fem-eur.com>