

Vent, vagues et couche limite¹

(courrier de M. Jean-Jacques Coiffard)

Monsieur

Ancien pilote de chasse, amateur de croisière à la voile et fidèle à votre revue, j'aurais deux questions à vous poser.

- De combien doit-on majorer la vitesse du vent (en mer) mesurée à 2,50 m pour connaître sa vitesse en tête de mât (soit 15 mètres) ?
- D'autre part, compte tenu d'une amplitude de vagues et de houle donnée, à quelle altitude le flux turbulent devient-il laminaire et quelle serait l'épaisseur de la couche limite ?

En espérant recevoir une réponse bientôt, je vous présente mes félicitations pour votre revue très attrayante et vous demande d'accepter, monsieur, mes respectueuses salutations.

Réponse de la rédaction

Il s'agit ici d'une question bien naturelle. En effet, tout marin, professionnel ou plaisancier, qui a suivi quelques cours de météo, a entendu dire que, par suite du frottement sur le sol, la vitesse du vent augmente avec la hauteur. D'une valeur nulle au contact du sol, la vitesse du vent croît jusqu'à une altitude d'environ 1 500 m, soit la limite supérieure de la couche limite atmosphérique (également appelée couche limite de frottement ou couche limite planétaire). Il a même probablement retenu qu'il existe une couche limite de surface (CLS) atteignant 100 m de hauteur dans laquelle le vent croît avec l'altitude sans changer de direction, tandis qu'au-dessus, la direction du vent varie pour devenir progressivement sensiblement parallèle aux isobares. Il sait sans doute aussi qu'il faut distinguer les masses d'air instable (air froid sur mer chaude par exemple), des masses d'air stable (air chaud sur mer froide). Les premières sont le siège de mouvements verticaux qui provoquent une homogénéisation sur l'altitude se traduisant par un vent irrégulier, plus fort en moyenne car plus proche du vent d'altitude, une bonne visibilité, des nuages de type cumulus, etc. À l'inverse, les masses d'air stable, faute de brassage par mouvements verticaux, connaissent une mauvaise visibilité, des nuages en couche, etc., et un vent qui augmente rapidement avec l'altitude.

Mais, bien souvent, l'enseignant météorologiste préfère s'en tenir à ces aspects descriptifs et escamote l'aspect quantitatif. Car il faut dire que le sujet est complexe : il n'y a pas de formules universellement reconnues et personne ne sait très bien ce qu'est un vent à 10 m (hauteur standard de la mesure du vent) lorsque les vagues font 10 m et plus. Conséquence, les ouvrages de météo marine sont eux aussi très discrets sur le sujet. René Mayençon, dans l'édition 1992 de *Météorologie Marine* (EMOM), a repris les résultats d'une étude publiée par l'Organisation météorologique mondiale². Mais cette étude ayant pour but de comparer les mesures faites sur les plates-formes de forage en mer, à plus de 50 mètres de hauteur, aux mesures faites à 10 mètres, les abaques présentés ne renseignent pas sur ce qui se passe au-dessous de 10 mètres.

Néanmoins, après avoir consulté nos collègues les plus avertis, nous sommes en mesure d'avancer les réponses suivantes.

1) On peut utiliser la formule ci-dessous, simple, valable plutôt entre 10 et 100 mètres qu'au-dessous de 10 mètres, plutôt adaptée aux vents forts (20 noeuds et plus) et ne prenant pas en compte la stabilité de l'air. Elle s'applique au vent moyen (vitesse moyennée sur dix minutes) et non aux rafales.

$$V(Z_1) = V(Z_2) \cdot (Z_1 / Z_2)^{0,12} \text{ avec } \begin{array}{l} V(Z_1) = \text{vitesse du vent à l'altitude } Z_1 \\ V(Z_2) = \text{vitesse du vent à l'altitude } Z_2 \end{array}$$

$$\text{soit } V(15\text{m}) = 1,24 \cdot V(2,5\text{m})$$

2) Pour être plus proche de la réalité, les modèles de prévision numérique font appel à la théorie actuelle de la couche limite de surface (CLS). Sur mer, cette théorie s'applique de quelques dizaines de centimètres au-dessus de la crête des vagues jusqu'à à 100 mètres de hauteur. Le calcul de la variation du vent moyen avec l'altitude est alors beaucoup plus complexe, faisant intervenir la vitesse du vent, la stabilité de l'air et la longueur de rugosité. Ce dernier paramètre sert à calculer le frottement sur le sol : la longueur de rugosité est plus importante sur une région urbanisée, que sur une région couverte de forêts. Elle est minimum sur un sol aride. Sur mer, la longueur de rugosité augmente avec l'état de la mer qui, elle-même, dépend du vent. Avec cette méthode, plus question de présenter une équation simple du premier degré. Nous présentons donc les résultats sous la forme de trois tableaux : cas neutre (masse d'air ni stable, ni instable), masse d'air stable et masse d'air instable.

¹ MetMar 176, septembre 1997, pages 36 et 37

² Wind measurements reduction to a standard level, *Shearman and Zelenko report n° 22, dans la série Marine meteorology and related oceanographic activities, Organisation météorologique mondiale, 1989.*

Enfin, il faut encore noter deux points :

- il s'agit, comme ci-dessus, du vent moyen sur dix minutes et non des rafales ;
- des écarts de température entre l'air et la mer atteignant 5 °C sont rares au large, à nos latitudes, (moins de 10 % des observations) ; le cas neutre pourra donc être utilisé pratiquement tout le temps ;
- en principe la direction du vent varie peu avec l'altitude entre 0 et 100 mètres. Mais, on observe parfois, au moment où la brise de mer s'établit, des écarts de direction du vent entre le pont d'un voilier (2,5 mètres) et le sommet du mât (20 mètres) pouvant atteindre 180°. Bien entendu, ces écarts ne s'observent que par vent très faible (moins de 5 nœuds).

cas neutre: $T_{\text{mer}} - T_{\text{air}} = 0 \text{ °C}$

| altitude | Vitesse du vent en m/s | | | | |
|----------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2.5 m | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 10 m | 5.70 | 11.40 | 17.45 | 23.72 | 30.19 |
| 15 m | 5.96 | 11.90 | 18.33 | 25.08 | 32.15 |

cas instable: $T_{\text{mer}} - T_{\text{air}} = 5 \text{ °C}$

| altitude | vitesse du vent en m/s | | | | |
|----------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2.5 m | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 10 m | 5,38 | 11.04 | 17.06 | 23.31 | 29.79 |
| 15 m | 5.48 | 11.34 | 17.69 | 24.40 | 31.44 |

cas stable: $T_{\text{mer}} - T_{\text{air}} = -5 \text{ °C}$

| altitude | vitesse du vent en m/s | | | | |
|----------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2.5 m | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 10 m | 8.15 | 12.45 | 18.25 | 24.41 | 30.83 |
| 15 m | 12.50 | 13.91 | 19.84 | 26.38 | 33.34 |