
	AÉRO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
04/2015	Conseil Sécurité	Page 1/7

Rédacteurs : Bruno Guaus, Jacques Loury, Jean-Louis Rabilloud Publié le 1^{er} septembre 2015
Mis à jour le 16 septembre 2015

Gradient de vent, kVe... : comprendre et agir !

Sur l'aérodrome de Toulouse-Lasbordes, le vent est souvent fort avec de violentes rafales dont on se passerait volontiers tant il induit non seulement de l'inconfort mais également des difficultés de pilotage.

Ce conseil sécurité a pour objectif de faire de brefs rappels sur le phénomène de gradient de vent et les précautions à prendre pour en minimiser les effets quant à la maîtrise de la trajectoire et de la vitesse en approche finale.

Une annexe contient divers éléments théoriques et techniques.

Contenu

1	Introduction.....	2
2	Comprendre !.....	2
2.1	Description du phénomène de gradient de vent.....	2
2.2	Effet du gradient de vent.....	2
3	Agir !.....	3
3.1	Le principe : accroître la vitesse d'approche pour anticiper l'effet du gradient de vent	3
3.2	La pratique : en approche finale, majorer la vitesse indiquée d'une quantité kVe	3
4	En conclusion	4
5	Pour approfondir le sujet.....	4
6	ANNEXE.....	5
6.1	Quelques rappels de mécanique du vol	5
6.2	Analyse d'une descente avec gradient de vent	6
6.3	Autre règle de détermination du kVe.....	7
6.4	Quelle intensité maximum du vent de surface pour approcher et atterrir en sécurité ?.....	7

1 Introduction

Par vent fort en courte finale, le régime moteur et la vitesse indiquée peuvent diminuer jusqu'à faire sonner l'avertisseur de décrochage et accentuer la pente de la trajectoire d'une manière telle que l'avion pourrait toucher des roues avant le seuil de piste !

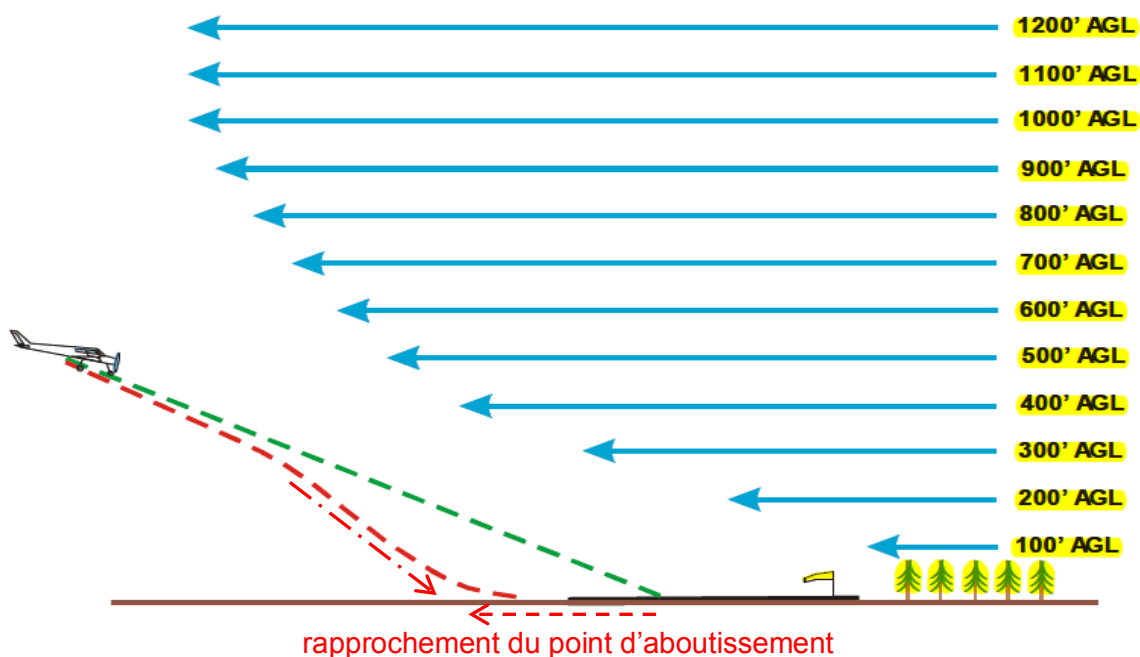
Comment cela peut-il s'expliquer et comment agir pour garder une trajectoire sûre ?

2 Comprendre !

2.1 Description du phénomène de gradient de vent

Dans les basses couches de l'atmosphère (de 0 à 1000 ft ASFC environ), le flux est ralenti par friction de l'air avec la surface de la terre et ce qui s'y trouve (bâtiments etc.). Ainsi l'intensité du vent atmosphérique diminue progressivement en même temps que la hauteur, jusqu'à atteindre l'intensité indiquée par la manche à air ou transmise par la Tour de Contrôle (direction et intensité mesurées à 10 m de hauteur et valeurs moyennes, y compris celles des rafales, calculées sur 2 minutes¹) : cette caractéristique de diminution d'intensité est désignée par l'expression « gradient de vent ».

Quelle que soit l'intensité du vent atmosphérique, le gradient de vent existe toujours : l'épaisseur de la couche où il est présent est simplement plus ou moins importante selon cette intensité.



2.2 Effet du gradient de vent

En entrant dans la couche d'atmosphère où le gradient de vent est présent, la contribution du vent atmosphérique effectif (composante de face) au vent relatif (vitesse « air ») se réduit progressivement, l'aile et les gouvernes sont moins « soufflées », la portance décroît, l'avion « s'enfonce », le point d'aboutissement (point d'intersection entre la trajectoire et le sol) se rapproche du seuil de piste avec le risque qu'il soit situé avant celui-ci !

Si pendant la descente on suppose que la traction de l'hélice et l'incidence sont inchangées, la décroissance progressive de la portance crée un déséquilibre de

¹ Cf. page 13 de la présentation faite au séminaire de recyclage de février 2014 intitulée :

[Amendements de la VAC-LFCL, rappels sur les caractéristiques, le fonctionnement et l'utilisation des installations](http://www.acat-toulouse.org/uploads/media_items/amendements-vac-lfcl-et-rappels-divers.original.pdf)
(http://www.acat-toulouse.org/uploads/media_items/amendements-vac-lfcl-et-rappels-divers.original.pdf)

Conseil Sécurité 04/2015	AÉRO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	Page 3/7
	Gradient de vent, kVe ... : comprendre et agir !	

sustentation (cf. annexe) se traduisant par une vitesse verticale Vz qui augmente : la trajectoire s'infléchit vers le bas.

Si maintenant on suppose que l'assiette est maintenue constante [par exemple en conservant le repère pare-brise aligné sur le point d'aboutissement désiré] l'incidence augmente du fait de l'infléchissement vers le bas de la trajectoire (cf. annexe).

Cette augmentation d'incidence, qui induit [par augmentation de la traînée] une diminution progressive de la vitesse de l'avion et donc du vent relatif, ne permet plus d'évoluer à la vitesse de sécurité $V_i > 1.3 V_{S0}$: il y a un risque de perdre le contrôle de l'avion à proximité du sol (décrochage), risque accentué en cas de rafales ou de cisaillement, le vol pouvant se terminer au mieux par un atterrissage très dur !

Un autre aspect de l'effet du gradient de vent est d'obtenir, après un décollage par vent fort en tout début de montée initiale des « varios » (vitesses verticales) très supérieurs à la performance mentionnée sur le manuel de vol !

Pour résumer, le gradient de vent en courte finale a pour effet :

- de diminuer progressivement la portance avec pour corollaire l'accroissement progressif de la Vz induisant une trajectoire de plus en plus pentue ;
- à assiette constante, d'augmenter progressivement l'incidence avec pour corollaire la diminution progressive de la vitesse de l'avion et donc du vent relatif, ce qui accentue l'effet ci-dessus !

3 Agir !

3.1 Le principe : accroître la vitesse d'approche pour anticiper l'effet du gradient de vent

La diminution du vent relatif lorsque l'avion entre dans la zone de gradient sera compensée par une plus grande traction de l'hélice, qui aura pour effet :

- d'augmenter la vitesse d'équilibre en l'absence de gradient de vent ;
- de réduire l'accroissement de la Vz et donc l'infléchissement vers le bas de la trajectoire et ainsi empêcher l'incidence de trop augmenter ;

Sans application d'une plus grande traction de l'hélice mais en affichant une assiette à piquer plus importante afin de diminuer l'incidence et ainsi tenter de maintenir la vitesse « air » initiale [pour préserver une marge suffisante vis-à-vis du décrochage], le résultat sur la trajectoire sera identique, à savoir une pente de plus en plus forte.

3.2 La pratique : en approche finale, majorer la vitesse indiquée d'une quantité kVe

Appliquer une plus grande traction de l'hélice revient à augmenter la puissance que doit délivrer le moteur par vent calme, puissance qui dépend de la pente du plan d'approche, de la vitesse et de la configuration choisies : en pratique le pilote pré-affiche une assiette et une valeur RPM pour obtenir une vitesse verticale Vz et une vitesse indiquée Vi.

La majoration de la vitesse indiquée en approche finale est désignée **kVe**, expression dans laquelle Ve représente le « vent effectif » c'est-à-dire la composante du vent de surface parallèle à l'axe de la piste [$V_e = 0$ lorsque le vent de surface est « plein travers »] et k un certain coefficient de réduction.

Pour simplifier la tâche, la composante Ve est prise égale à l'intensité Vv du vent de surface quel que soit l'angle au vent.

La majoration kVe est déterminée selon la règle suivante, préconisée par l'ENAC :

Vvent de surface, rafales comprises	Vv < 10 kt	10 kt < Vv < 20 kt	Vv > 20 kt
kVe	0	5 kt (10 km/h)	10 kt (20 km/h)

Cette règle présente l'intérêt d'être simple et de fixer une valeur maximum aux majorations afin d'éviter des vitesses indiquées élevées quand les rafales sont très intenses, ce qui peut induire des difficultés supplémentaires liées notamment au respect de la vitesse maximum volets sortis (V_{fe}) et à l'effet de sol.

Exemples d'application :

Vent, rafale	kVe		DA20	DR400
	kt	km/h	Vi _{kt}	Vi _{km/h}
10KT	0	0	60	120
10G15KT	5	10	65	130
15G20KT	5	10	65	130
15G25KT	10	20	70	140
20G30KT	10	20	70	140
25G35KT	10	20	70	140

Points d'attention

1. La distance effective d'atterrissage est légèrement augmentée quand le vent n'est pas « plein travers » mais la majoration reste nécessaire pour une bonne efficacité des gouvernes en cas de rafales ou de cisaillement (cf. [Conseil Sécurité 03/2015](#)).

La limite démontrée en vent de travers des avions légers est généralement située entre 15 et 25 kt : pour un vent « plein travers » avec rafale d'intensité inférieure à 20 kt, la majoration kVe serait de 5 kt (10 km/h) et pour 25 kt elle serait de 10 kt (20 km/h), ce qui en pratique augmentera peu la distance d'atterrissage.

2. Les vitesses mentionnées sur les manuels de vol au passage des 15 m en finale sont des vitesses « sans vent » et « confortables » car établies pour la masse maximum (DA20 : 55 kt ; DR42 : 110 km/h ; DR44 : 115 km/h ; DR46 : 120 km/h). Sur les check-lists établies par l'exploitant et disponibles dans les avions, les vitesses en finale sont volontairement augmentées à 60 kt sur le DA20 et à 120 km/h sur les DR 42 et DR44 [par souci d'homogénéité de la flotte], ces dernières valeurs étant supérieures à 1,3 V_{so} . De ce fait et par exemple, sur DR42 ou DR44 par Vent > 20 kt, le pilote peut se fixer 135 km/h comme valeur limite de la vitesse en finale, qui avec les fluctuations dues à la qualité du pilotage et à la turbulence pourra atteindre 140 voire 145 km/h en pointe.

4 En conclusion

Lors de la préparation du vol, considérer la direction du vent de surface, son intensité et celle de ses rafales sur les aérodromes prévus d'être fréquentés.

En vol et notamment lors de la prise des paramètres d'atterrissage, observer les signes annonciateurs d'un vent de surface intense et/ou avec rafales (extrémité de la manche à air « fouettée » et qui remonte), comparer l'intensité de la composante de travers avec la limite démontrée en vent de travers, déterminer le kVe, la vitesse et la configuration à adopter.

En approche finale, surveiller la manche à air, le point d'aboutissement, la vitesse et se tenir prêt à la remise de gaz ou à se dérouter si la situation paraît risquée !

5 Pour approfondir le sujet

INFO-PILOTE N°649, avril 2010, article : [De l'influence du gradient de vent sur l'approche et la montée](#), par Michel Barry

6 ANNEXE

6.1 Quelques rappels de mécanique du vol

- a) le palier ne peut être maintenu que si l'énergie totale (i.e. cinétique + potentielle) est conservée, l'énergie cinétique étant proportionnelle au carré de la vitesse de l'avion par rapport à la Terre et l'énergie potentielle proportionnelle à sa hauteur.
- b) en descente sans vent, à une vitesse et une pente de trajectoire constantes (i.e. à l'équilibre), l'énergie totale décroît de façon linéaire au fur et à mesure de la perte d'énergie potentielle.
- c) à une incidence et une vitesse données, la vitesse verticale est :

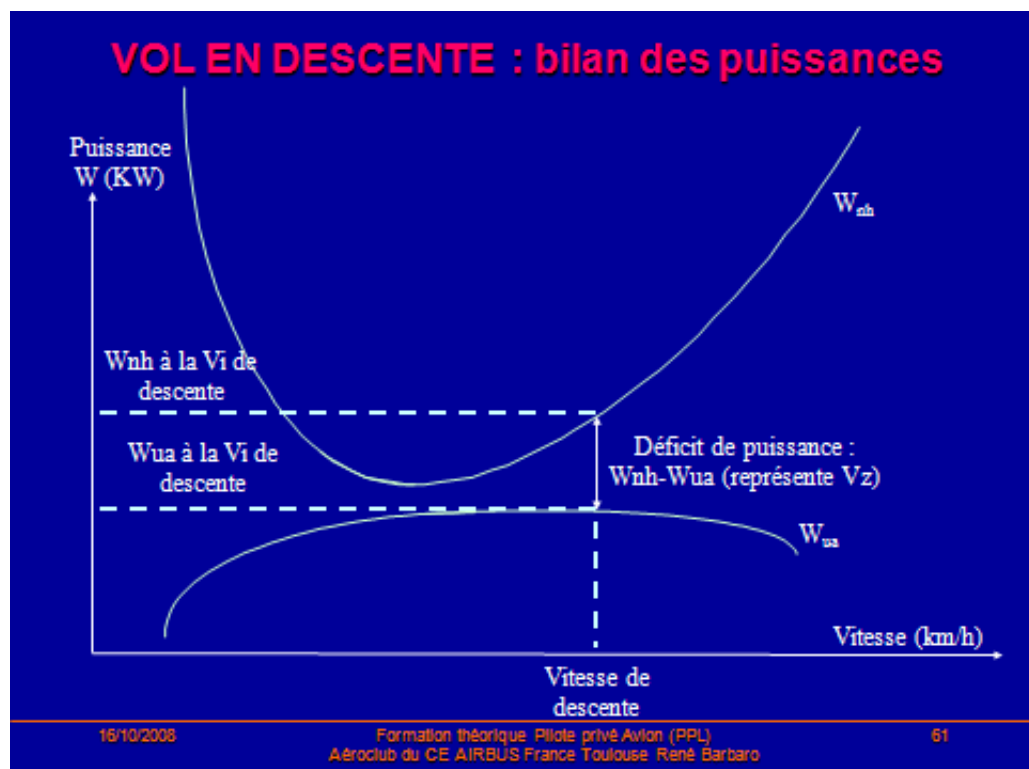
$$V_z = \frac{W_{ua} - W_{nh}}{\text{Poids}}$$

avec : W_{ua} = Puissance utile appliquée

W_{nh} = Puissance nécessaire au vol horizontal (palier).

Quand cette différence de puissance est nulle, la trajectoire est un palier, quand elle est positive c'est une montée et quand elle est négative c'est une descente.

Dans le cas d'une descente, la vitesse verticale V_z est proportionnelle au **déficit de puissance** utile appliquée sur celle qui doit être appliquée pour rester en palier à la même vitesse !



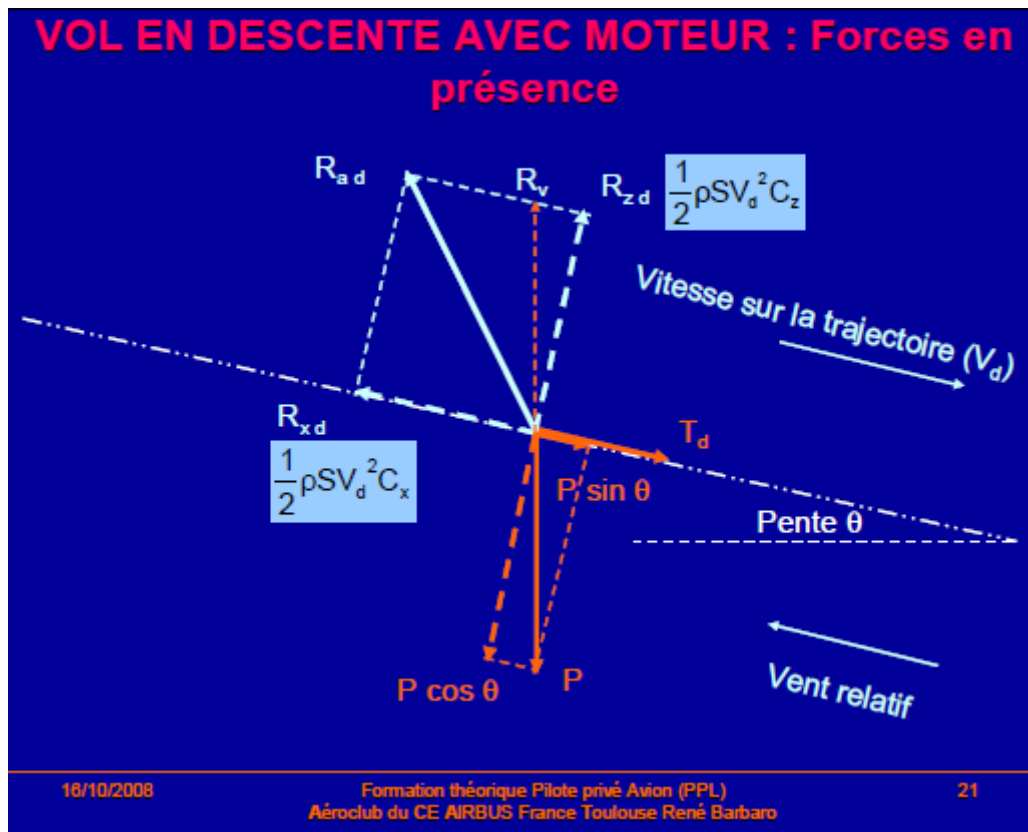
- d) à l'équilibre, en descente :

Sustentation :

Portance $R_{zd} = P \cos \Theta$ (P = Poids et Θ = angle de la trajectoire avec l'horizontale)

Propulsion [bilan Traction-Traînée] :

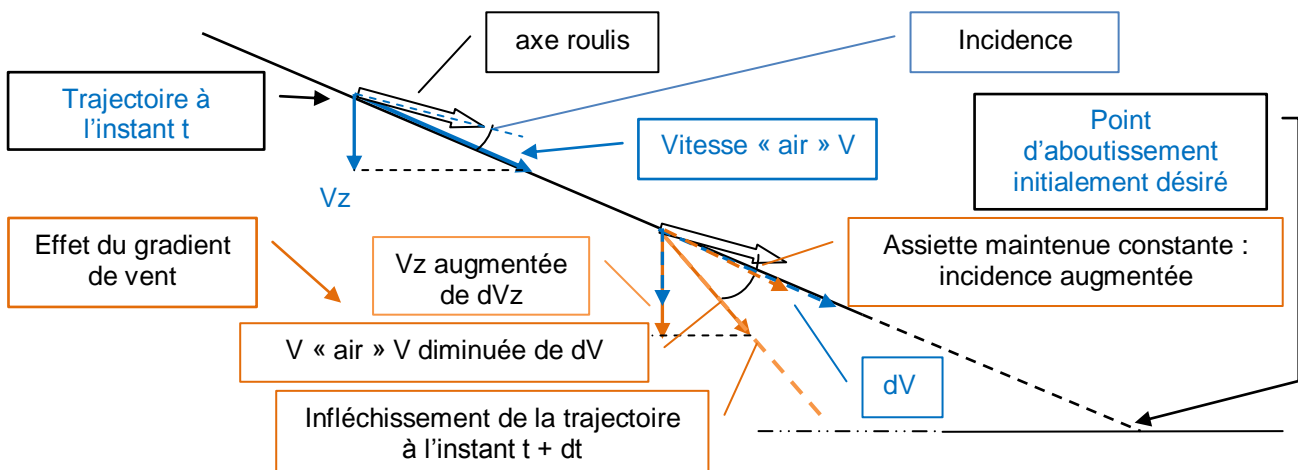
Trainée $R_{xd} = T_d + P \sin \Theta$ (T_d = traction de l'hélice)



6.2 Analyse d'une descente avec gradient de vent

Pendant la descente dans la couche où le gradient de vent est présent, la portance et la traînée sont en décroissance à cause de la diminution de la valeur instantanée du vent relatif :

- la portance R_{zd} devient inférieure à $P \cos \Theta$: ce déséquilibre de sustentation se traduit par une vitesse verticale de descente V_z qui augmente de dV_z , ce qui fait s'infléchir vers le bas la trajectoire [donc le vecteur Vitesse tangent à la trajectoire] ;
- la traînée R_{xd} devient inférieure à $T_d + P \sin \Theta$: autre déséquilibre de propulsion cette fois qui, peu après l'instant $t + dt$, se rétablirait à une vitesse légèrement supérieure, si le vent relatif ne diminuait plus et que l'incidence n'augmentait pas progressivement, ce qui est loin d'être le cas, le pilote ayant le réflexe de conserver son repère pare-brise aligné sur le point d'aboutissement initialement désiré (assiette maintenue constante).



En considérant l'équilibre de propulsion (bilan Traction-Traînée), selon les principes de la Mécanique (cf. annexe § 6.1) et de l'inertie d'une masse en mouvement par rapport à la terre (vitesse « sol »), l'énergie cinétique se conserve tant que le bilan Traction-Traînée n'a pas varié : de ce fait, l'évolution progressive de la pente de trajectoire et de la traînée due à la variation du vent relatif (gradient de vent) ne viendra qu'ultérieurement compenser (en partie) la variation de vitesse indiquée, alors que l'avion a déjà largement dévié de la trajectoire et de la vitesse qu'il avait antérieurement.

6.3 Autre règle de détermination du kVe

Cette autre règle est parfois enseignée mais tend à être remplacée par celle préconisée à l'ENAC, car son application s'avère compliquée en phase active de pilotage : en effet le calcul mental ci-après du kVe mobilise de la ressource intellectuelle !

Pour une vitesse indiquée en km/h :

$$kVe = \text{Vent}_{\text{moyen (kt)}} - 10 \text{ (autant de km/h que de vent moyen au-dessus de 10 kt)}$$

Pour une vitesse indiquée en kt :

$$kVe = \frac{\text{Vent}_{\text{moyen (kt)}} - 10}{2} \text{ (autant de kt que de vent moyen au-dessus de 10 kt divisés par 2)}$$

$$\text{avec } \text{Vent}_{\text{moyen}} = \frac{\text{Vent} + \text{Rafale}}{2}$$

Comparaison des Vi obtenues selon les deux règles :

Vent, rafale	Vent moyen	Autre règle		Vi _{kt} DA20		Vi _{km/h} DR400	
		kVe pour Vi _{km/h} (écart à 10 kt)	kVe pour Vi _{kt} (écart à 10kt/2) arrondi à l'unité supérieure	ENAC	Autre	ENAC	Autre
10KT	10 kt	0	0	60	60	120	120
10G15KT	13 kt	3	2	65	62	130	123
15G20KT	18 kt	8	4	65	64	130	128
15G25KT	20 kt	10	5	70	68	140	130
20G25KT	23 kt	13	7	70	68	140	133
20G30KT	25 kt	15	8	70	68	140	135
25G35KT	30 kt	20	10	70	70	140	140
30G35KT	33 kt	23	12	70	72	140	143
30G40KT	35 kt	25	13	70	73	140	145

Les résultats sur la Vi calculée selon chacune des règles sont très voisins, compte tenu de ce qui est généralement constaté quant aux fluctuations de la vitesse indiquée liées aux variations instantanées de l'intensité du vent de surface, à la présence ou l'absence effective de rafales et/ou de turbulence et enfin à la qualité du pilotage.

6.4 Quelle intensité maximum du vent de surface pour approcher et atterrir en sécurité ?

L'expérience montre qu'au-delà de 35 kt de vent moyen en avion léger et en supposant que la turbulence et le cisaillement [très souvent au rendez-vous à cette intensité] n'affectent pas trop la qualité du pilotage et que l'atterrissage a pu être effectué, les plus grosses difficultés sont rencontrées au sol à cause de l'effet « girouette », notamment lorsqu'il faut virer pour libérer la piste et ensuite rouler pour rejoindre l'aire de trafic et y manœuvrer !
