



Les Cahiers de la S.R.D.



***Grandeurs numériques et
navigation***

Avertissement

Ces cahiers ont pour vocation de synthétiser les connaissances relatives à chacun des thèmes abordés. Ils sont le fruit de la mutualisation des expériences communes des auteurs en matière de navigation.

Ils ne nécessitent pas de pré-requis scientifiques pour leur compréhension. Mais ils essaient néanmoins de ne pas céder à la facilité de la simplification abusive qui fausserait l'intention initiale : celle de faire comprendre les interactions complexes qui régissent la marche d'un voilier.

Malgré toute l'attention qui a été portée à la rédaction de ces pages, certaines erreurs ou imprécisions peuvent subsister. Les auteurs s'en excusent et remercient le lecteur pour son indulgence. Ils le remercient également de leur faire part de ses remarques et suggestions.

Bonne lecture et surtout bonnes navigations,

Les auteurs

GRANDEURS NUMÉRIQUES ET NAVIGATION

Nos bateaux sont dotés d'équipements électroniques qui nous fournissent bon nombre d'informations qui peuvent nous être fort utiles à condition ...de savoir les interpréter et les utiliser en navigation. Nous nous proposons d'en détailler quelques unes ici.



1 UN BATEAU, DU VENT ET DES VENTS

1.1 PLEIN DE VENTS : LE VENT RÉEL ET LE VENT APPARENT

Le lecteur déjà familier des notions de vent réel, de vent apparent et de la construction géométrique les unissant peut directement se reporter au §1.3.

Nous avons tous ressenti le vent sur notre visage dans des situations bien différentes, comme par exemple debout immobile sur la plage en hiver face au vent. Dans cette situation nous « sentons » le vent et sa « force ». On pourrait avoir le même ressenti en roulant en voiture décapotable par une belle journée d'été sans vent en se dressant pour que notre tête soit au dessus du pare-brise. Pour avoir le même ressenti sur notre visage que celui procuré par le vent sur la plage il faut rouler en voiture à une vitesse identique à celle du vent.

Plaçons nous maintenant debout à la proue d'un bateau avançant au moteur sur un plan d'eau sans vent. Au hasard celui-ci :



Celui-ci allait à 22 nd de vitesse de croisière. Les personnages placés à la proue ont ressenti un vent de 22 nd en pleine figure.

Le budget de la SRD étant limité, nous n'avons pas pu mettre en oeuvre la deuxième situation que le lecteur imaginera facilement: le bateau est au mouillage, face au vent. Pour avoir le **même ressenti** que dans la situation précédente, il faut un vent de 22 nd.

Dans la première situation, le vent sur le plan d'eau est nul, la vitesse du bateau est de 22 nd. Le vent ressenti est de 22 nd. Dans la deuxième situation le vent sur le plan d'eau est de 22 nd, la vitesse du bateau est nulle. Le vent ressenti est toujours de 22 nd.

Maintenant prenons la mer par temps venteux et allons face au vent, figure 1 page suivante. Nous ressentirons à la fois le vent soufflant sur le plan d'eau et le vent créé par le déplacement du bateau. Le vent soufflant sur le plan d'eau s'appelle le vent réel, noté **Vr** et le second, le « vent vitesse » noté **Vv**. Le vent ressenti sera donc la somme de **Vr** et **Vv**. Ce vent ressenti s'appelle le **vent apparent** et est noté **Va**.

Pour représenter ces vents, on utilise une flèche dont la direction donne le sens du vent et dont la longueur est proportionnelle à sa vitesse.

¹ nd : abréviation du noeud marin, soit 1,852 km/h.

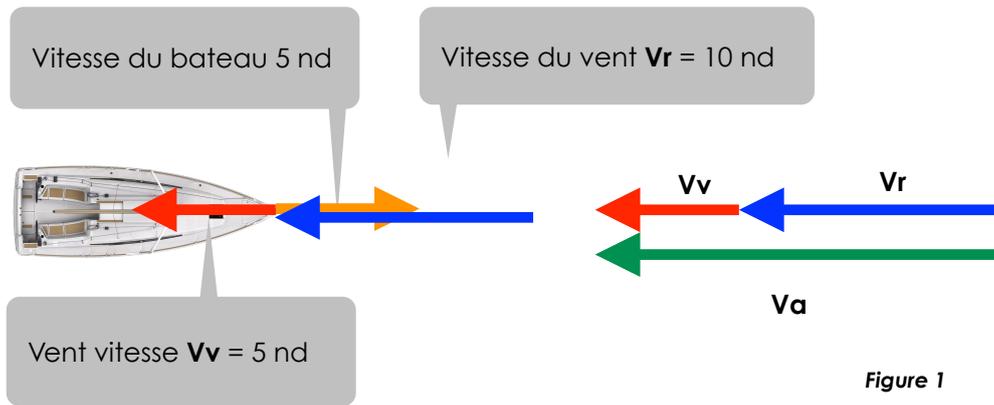


Figure 1

Effectuons un demi-tour pour naviguer vent dans le dos, figure 2. Nous aurons donc V_r dans le dos et V_v face à nous. Nous ressentirons donc la différence entre V_r et V_v . Dans ce cas si V_r est égal à V_v , nous ne ressentirons aucun vent, si V_r est plus grand que V_v , nous ressentirons un vent dans le dos égal à $V_r - V_v$. Si au contraire V_v est plus grand que V_r , nous ressentirons un vent de face égal à $V_v - V_r$.

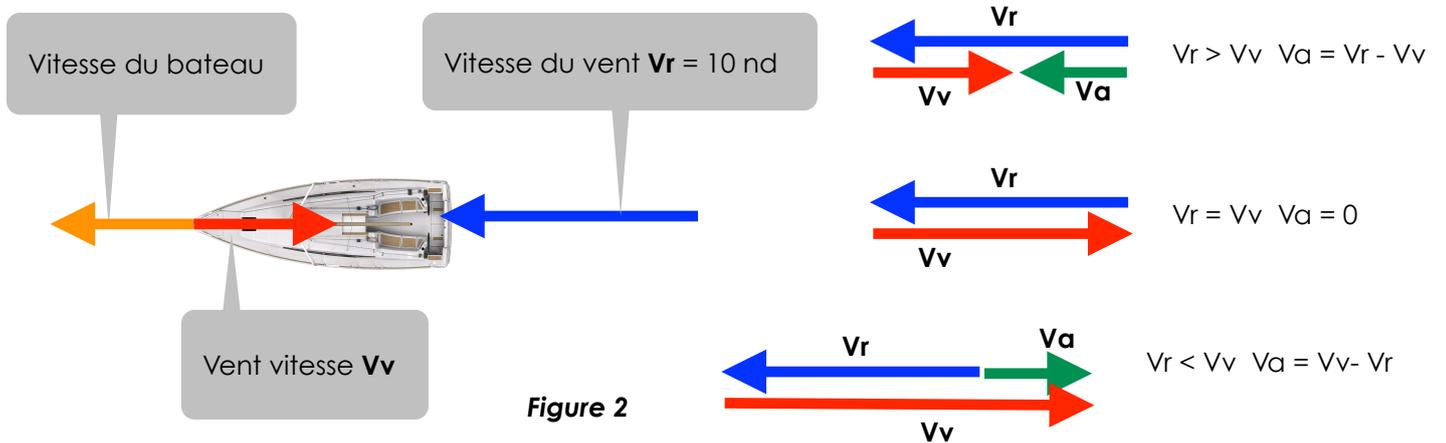


Figure 2

On peut visualiser V_a par un fanion flottant à l'avant de notre bateau, il prendra la direction de ce vent apparent.

Imaginons maintenant que notre bateau navigue à une vitesse de 5 nd, travers au vent c'est-à-dire qu'il le reçoit sur son côté, figure 3. Les schémas suivants le montrent dans différentes configurations de force de vent. Le vent apparent (vent ressenti) sera à chaque fois une combinaison du vent vitesse V_v et du vent réel V_r .

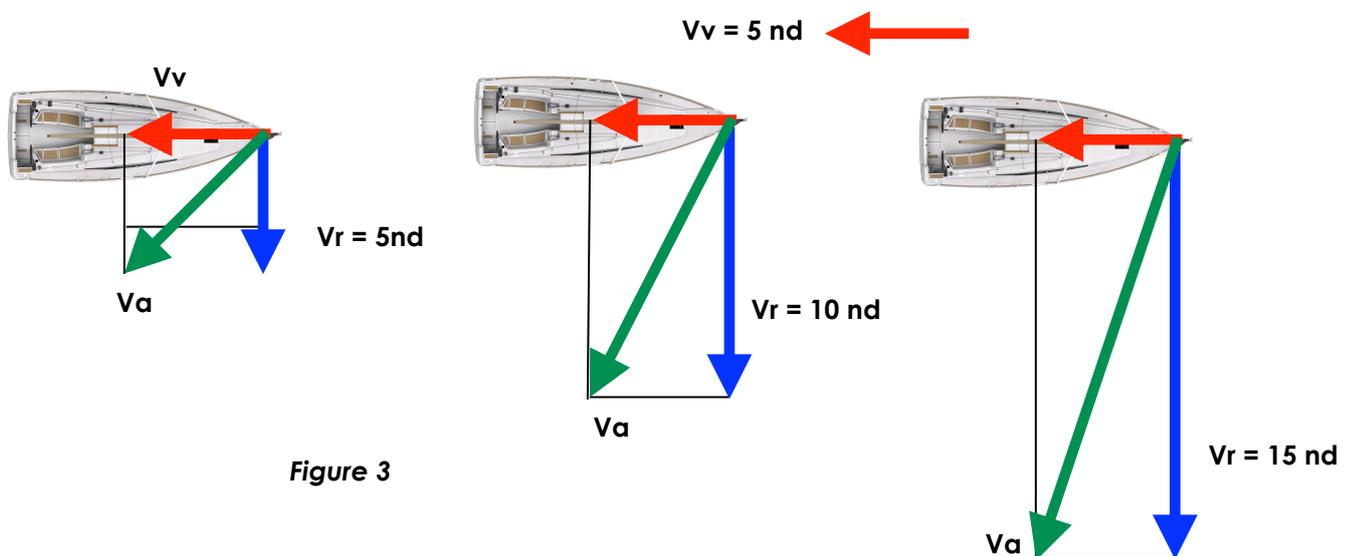


Figure 3

Un fanion placé à l'avant s'inclinerait suivant la direction de V_a . Tout ceci nous montre que le vent apparent V_a est donc la **somme** (au sens large) de V_r et V_v , sachant que V_v est l'opposé de la vitesse du bateau. On arrive aux représentations générales de la figure 4 où V_r a une direction quelconque par rapport au bateau.

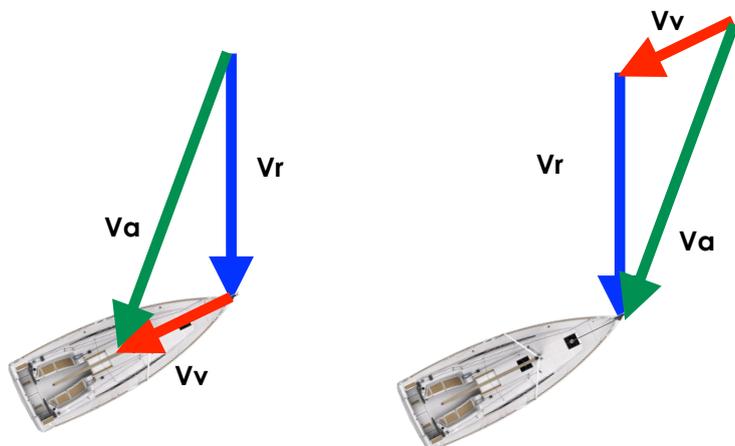


Figure 4

Les deux représentations de la figure 4 sont équivalentes.

C'est le vent apparent V_a qui est primordial, c'est lui qui fait fonctionner les voiles de notre bateau, pour un même vent réel sur le plan d'eau, il change d'orientation et de vitesse suivant l'allure du voilier.

1.2 LE VENT APPARENT À DIFFÉRENTES ALLURES

La figure 5 montre la construction du vent apparent à différentes allures, on voit que ce vent apparent V_a est beaucoup plus fort au près lorsqu'on serre le vent qu'au travers ou au grand largue. Plus on s'écarte du vent réel, plus le vent apparent diminue et vient par le travers du bateau.

« Une bonne brise, 20 nd de vent réel, le bateau remonte au près, la gîte commence à amener un voile d'inquiétude sur le visage de certains équipiers. Le skipper abat pour se placer au portant, le bateau perd doucement de sa gîte, le vent apparent baisse au grand soulagement des équipiers précédemment inquiets. Certains d'entre eux croient à un changement de temps salutaire accompagné d'une chute du vent...jusqu'à ce que le skipper place le bateau bout au vent pour affaler ! Le vent réel reprend ses droits dans le bruit de la voile qui fasseye avant de rejoindre la bôme pour son repos. »

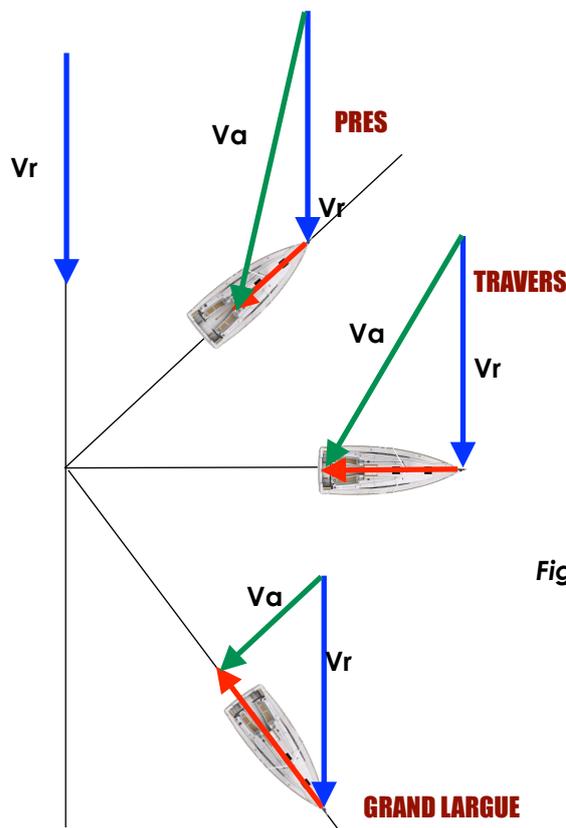
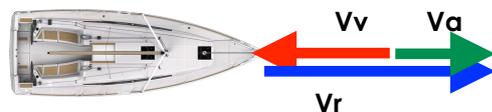


Figure 5

Le paradoxe du plein vent arrière

En supposant le vent réel constant, plus notre voilier navigant plein vent arrière va vite, plus le vent apparent va diminuer. Si le vent apparent diminue, la propulsion du voilier diminue et il ralentit donc ! Il y a donc une limite de vitesse inévitable pour le voilier à cette allure.



1.3 EN RÉSUMÉ

La figure 6 rassemble toutes les grandeurs utiles :

Vr : vitesse du vent réel, notée aussi **TWS** (true wind speed) sur les afficheurs.

Vb : vitesse du bateau sur l'eau mesurée par le speedomètre et désignée souvent par **SPEED** sur les afficheurs.

Vv : vent « vitesse » créé par le déplacement du bateau, Vv est opposé à Vb et permet de trouver le vent apparent.

Va : vitesse vent apparent ou **AWS** (apparent Wind speed), composition de Vv et Vr. Va est mesuré par l'**anémomètre**.

Ar : angle du vent réel, angle entre la ligne de foi du bateau et le vent réel Ou **TWA** (True Wind Angle)

Aa : angle du vent apparent entre la ligne de foi du bateau et la direction du vent apparent **AWA** (Apparent Wind Angle). Aa est mesuré par la **girouette**.

Ces deux angles sont des **GISEMENTS** (angle entre la direction concernée et la ligne de foi du bateau).

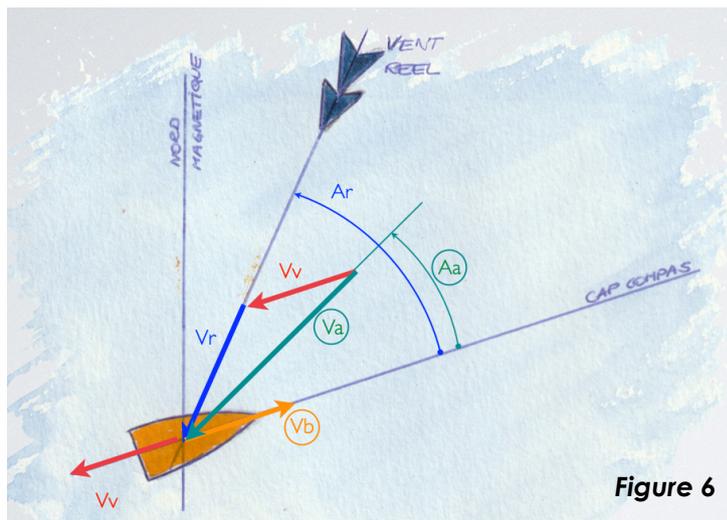


Figure 6

1.2 DES GRANDEURS MESURÉES ET CALCULÉES

La figure 7 montre une organisation de l'instrumentation de bord. Trois de ces grandeurs sont mesurées par les capteurs appropriés et affichées. Il s'agit de **Vb** (Speed), **Aa** (AWA) et **Va** (AWS). Un traceur, une centrale de navigation ou un logiciel de navigation calculent **Vr** (TWS) et **Ar** (TWA) à partir des trois mesures précédentes.

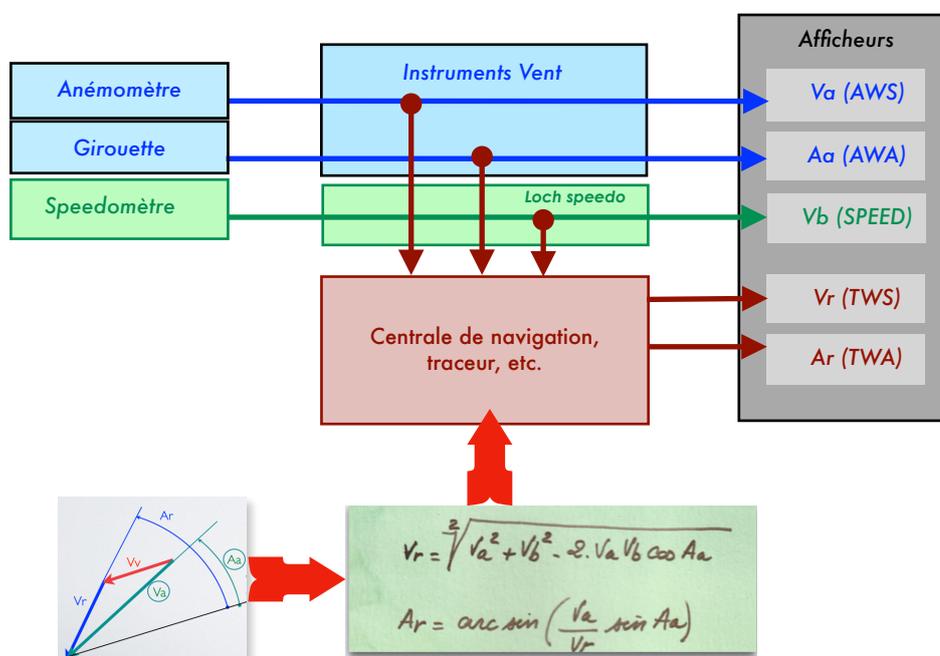


Figure 7

Il faut néanmoins prendre les valeurs de **Vr** et **Ar** avec prudence car elles dépendent de grandeurs mesurées qui peuvent être fortement altérées par les conditions de mer (rafales, vagues, cavitation du speedomètre, etc.)

1.3 LOFER SOUS LA RISÉE OU ...CHOQUER ?

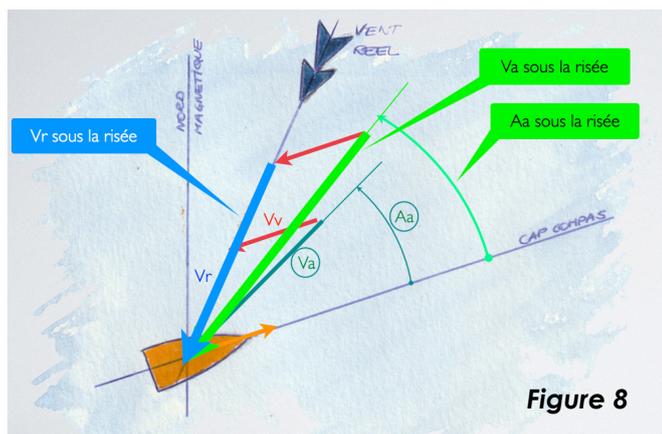


Figure 8

Le bateau remonte au vent au près serré avec un vent réel V_r .

Sous l'effet de la risée, V_r augmente.

V_a augmente alors ainsi que A_a , le vent apparent adonne en augmentant.

**On peut alors lofer pour gagner en cap au vent
OU**

Garder le même cap en choquant ses voiles pour gagner en vitesse.

2 A LA SURFACE, TOUT DÉRIVE

V_b : vitesse du bateau sur l'eau mesurée par le speedomètre.

Sous l'effet du vent le voilier dérive latéralement à une vitesse V_d . Il résulte des deux mouvements un mouvement du bateau sur la surface de l'eau à la vitesse V_s .

Si on projette cette vitesse V_s sur la direction du vent réel, on obtient le **VMG** ou « velocity made good ». Qui représente la vitesse d'avancée dans le vent.

Traceurs, centrale de navigation et logiciels de navigation donnent le VMG à partir notamment de A_r (prudence). Au **près** il est **positif** et **négatif** au **portant**.

Le VMG participe du célèbre compromis cap/vitesse.

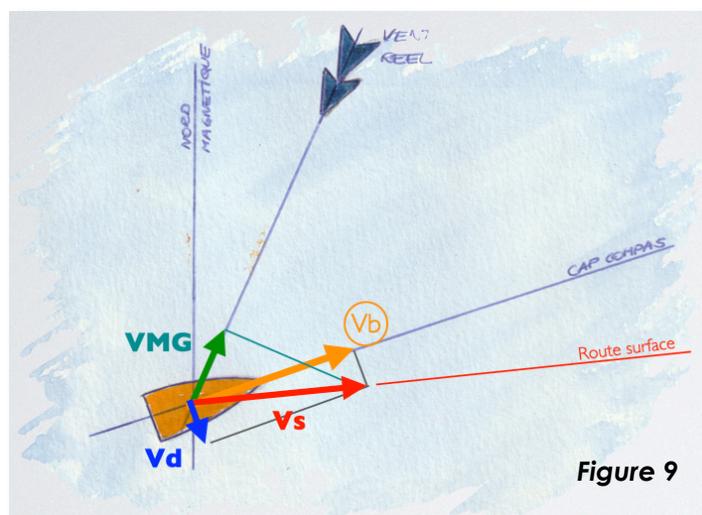


Figure 9

2.1 LES POLAIRES

Les courbes **polaires** analogues à celles de la figure 10 sont issues des programmes de prédiction de performance **VPP** ou d'acquisition « in situ » à l'aide de logiciels de navigation.

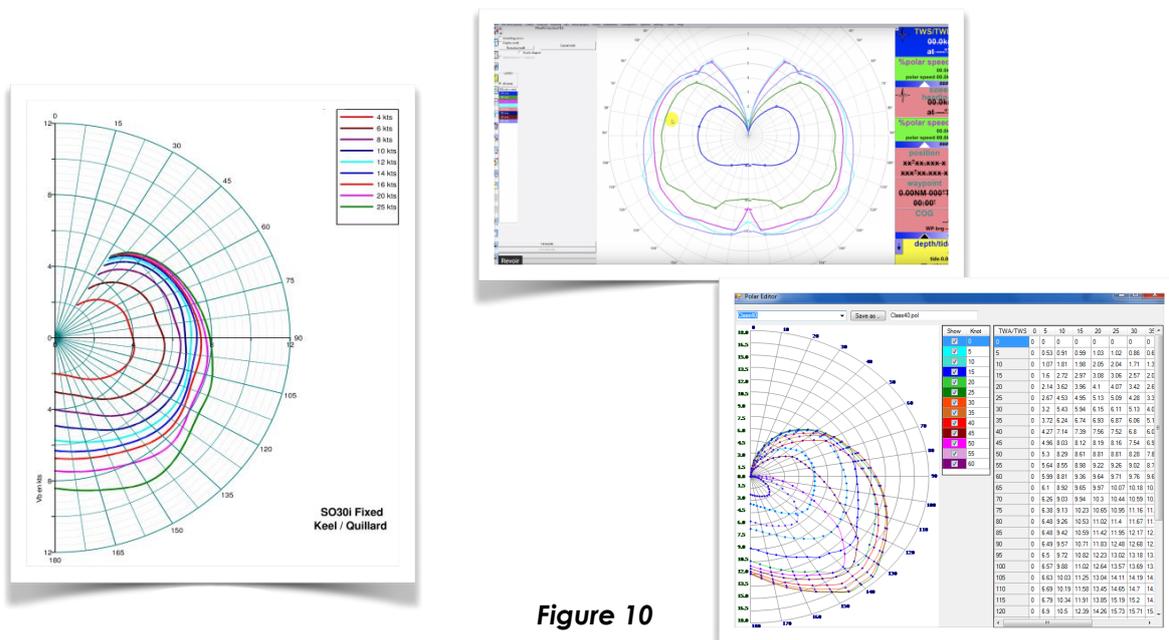


Figure 10

Lecture des polaires (figure 11)

Plusieurs courbes figurent sur ces diagrammes, chacune d'elle est tracée pour une vitesse de vent réel V_r . Chaque courbe donne la vitesse du voilier dans la direction radiale définie par rapport au vent réel qui lui est orienté à 0°.

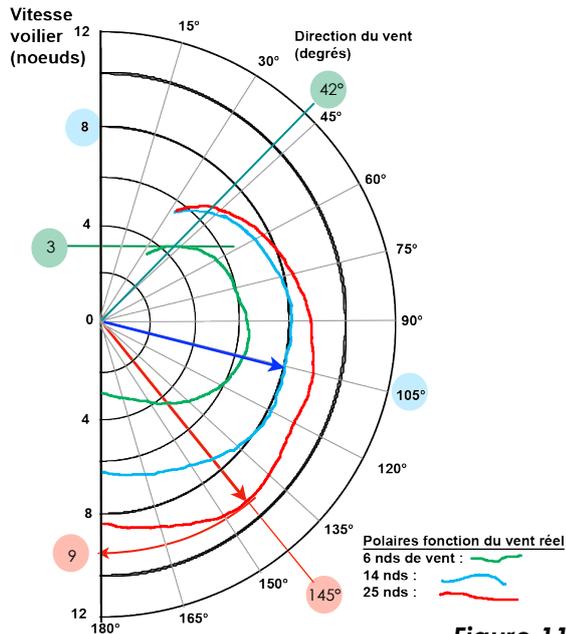


Figure 11

Pour faciliter la lecture, seules trois vitesses de vent figurent sur les polaires présentées sur la figure suivante.

Courbe bleu-clair :

Avec ce voilier, par 14 nd de vent réel, je peux espérer aller à 8 nd à 105° du vent réel.

Courbe rouge, 25 nd réels :

Vitesse maximale du bateau de 10 nd à 145° environ du vent réel.

Courbe verte, 6 nd réels :

Les polaires donnent le VMG_{max} et l'angle optimal de remontée au vent(ou de descente dans le vent). A 6 nd de vent réel : $VMG_{max} = 3$ nd à 42° environ du vent réel.

A bord les polaires peuvent être une base de réglage et fournir une cible de vitesse à atteindre.

Où trouver les polaires de son bateau ?

Certains constructeurs, pour leur modèles récents fournissent des polaires. Certains sites spécialisés permettent de les obtenir pour bon nombre de modèles. Si on ne trouve pas les polaires correspondant à son modèle, on pourra se contenter des polaires d'un bateau de même génération et de même longueur.

2.3 COMPROMIS CAP/VITESSE

Les polaires nous renseignent sur le **VMG** et nous montrent son importance pour remonter au vent en privilégiant l'**angle optimal de remontée au vent**. Dans l'exemple de la figure 12 on voit qu'il est intéressant de ne pas trop serrer le vent et de ne pas rechercher une vitesse plus importante.

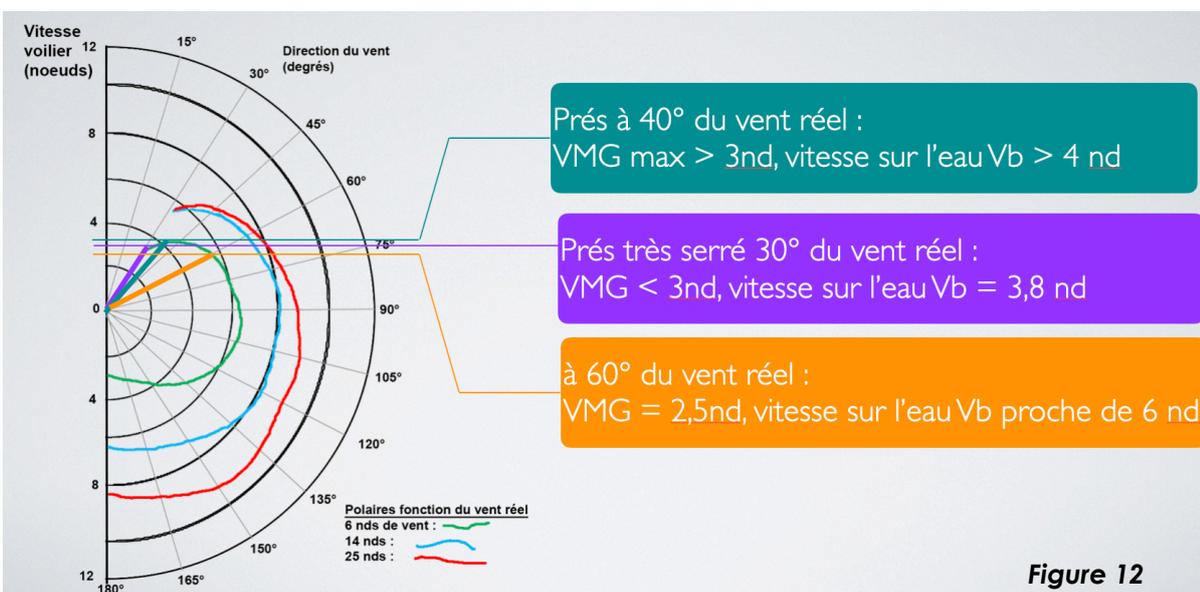


Figure 12

2.2 PRÊT À FAIRE DU PRÉS? LES LAYLINE

Les polaires nous fournissent le VMG_{max} et l'angle optimal de remontée au vent. A partir de la marque à atteindre (figure 13), de part et d'autre du vent réel on trace deux droites. Chacune d'elle est inclinée par rapport au vent de l'angle optimal de remontée au vent. Ce sont les deux **layline**.

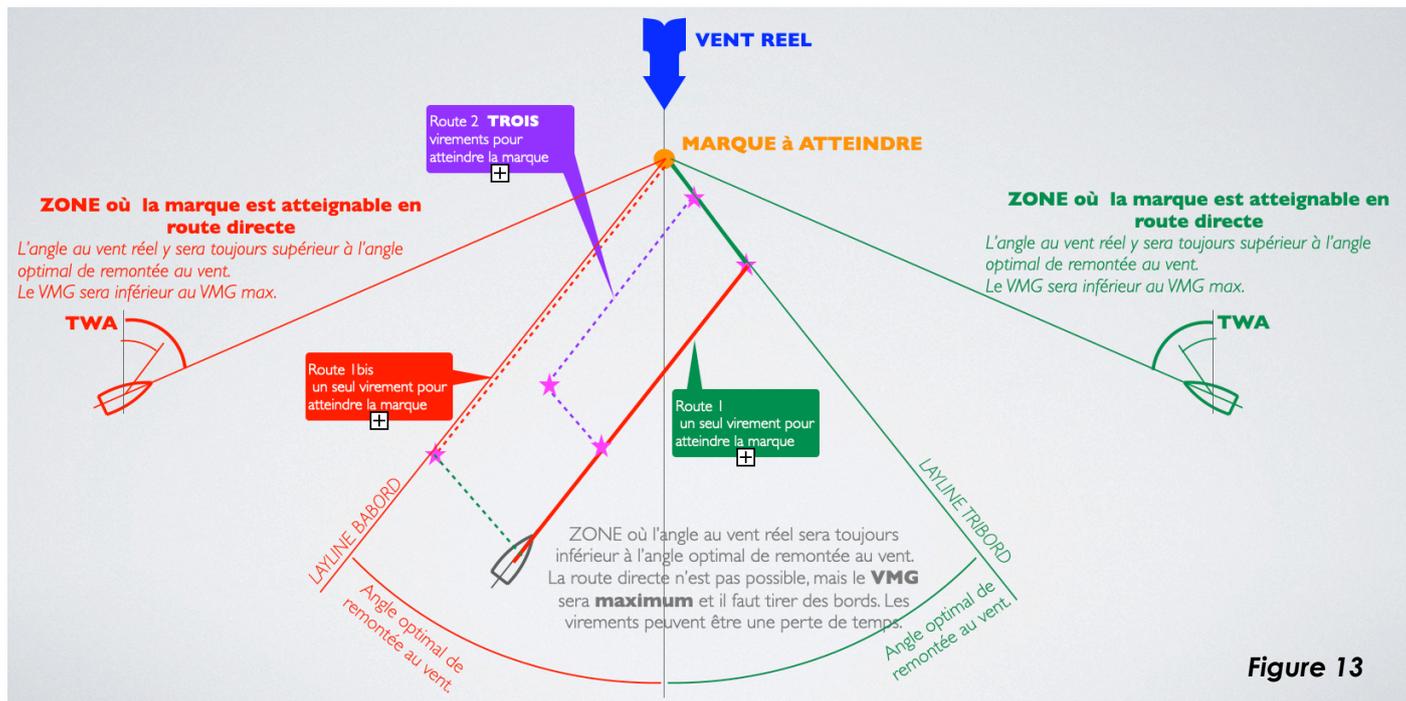


Figure 13

Si notre bateau est situé entre les deux layline, il pourra atteindre la marque en louvoyant tout en navigant avec l'angle optimal de remontée au vent et le VMG_{max} . Son temps de parcours sera ainsi minimal.

S'il est situé à l'extérieur des layline, il pourra certes rejoindre la marque en route directe, mais comme il naviguera avec un angle de remontée au vent supérieur à l'angle optimal, son VMG sera plus faible que le VMG_{max} . Il aura un temps de parcours plus élevé, même si sa vitesse sur l'eau est plus élevée que lorsqu'il navigue entre les deux layline.

Nous verrons plus loin que ces deux lignes imaginaires sont importantes pour élaborer une stratégie de virement de bord en régates mais aussi en croisière.

Certains équipements de bord peuvent les afficher, avec un angle optimal de remontée figé à 45° ou paramétrable par l'utilisateur.

3 LE COG, LE SOG, PAS DE FOG

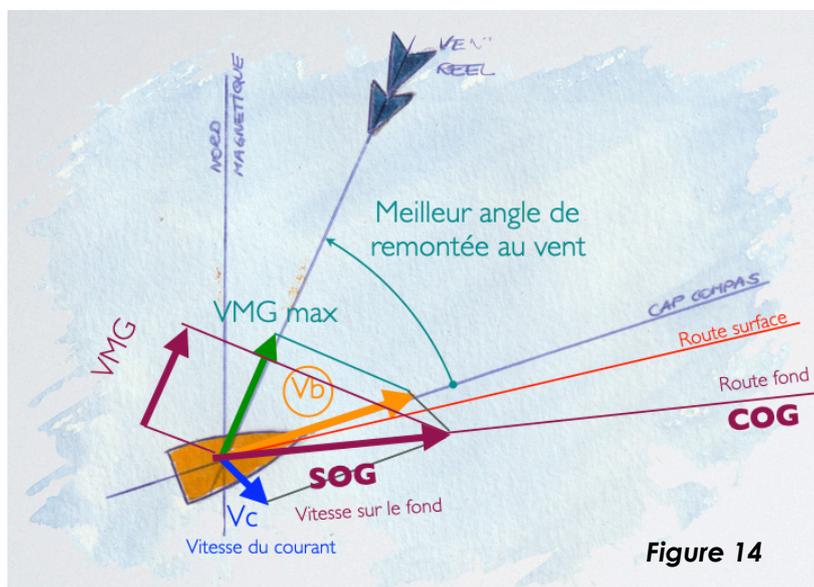


Figure 14

Les courants ne modifient pas la route surface mais celle parcourue sur le fond (figure 14). En composant V_b et la vitesse du courant V_c , on obtient la vitesse sur le fond **SOG** (speed over ground).

Cette route sur le fond détermine le cap sur le fond, le **COG** (course over ground, cap sur le fond).

SOG et **COG** sont calculées à partir des données GPS.

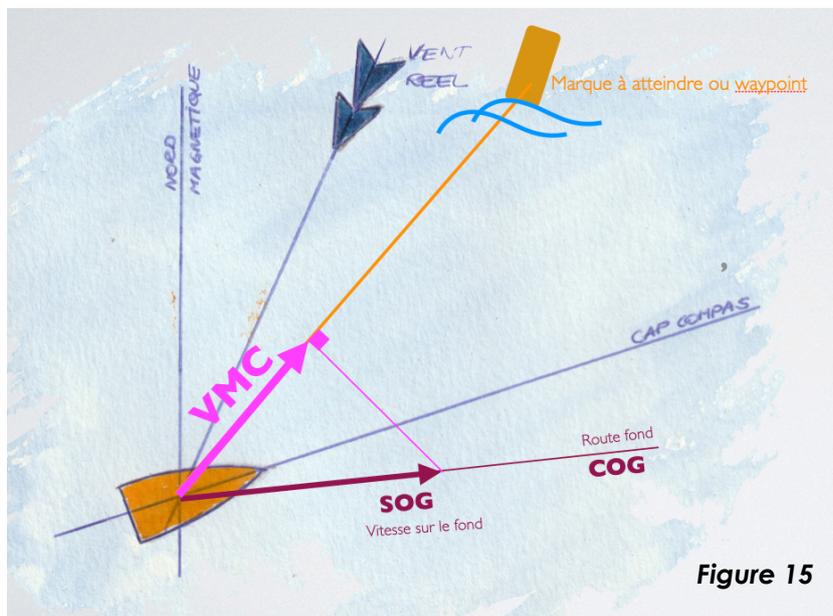
Calcul du VMG effectif :

$$VMG = SOG \cdot \cos(COG + TWA - CapCompas)$$

4 POUR S'AÉRER : LE VMG

VMC : Vélodité Made on Course

Le **VMC** représente la vitesse de rapprochement sur le fond d'une marque à atteindre (figure 15). C'est la « vitesse de progression » ou le « gain sur la route ». Au près, meilleur sera le **VMG**, meilleur sera le **VMC**.



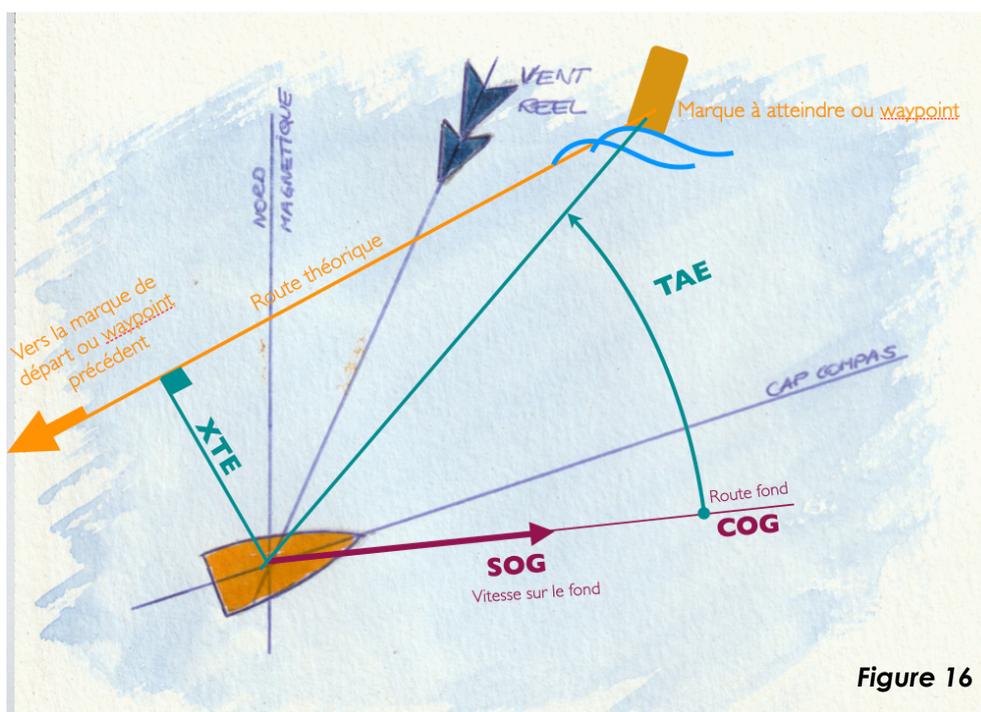
5 ET LE XTE ET LE TAE ?

XTE : Cross Track Error ou erreur d'écart de route, représente la distance dont le bateau s'écarte de la route.

Il est mesuré perpendiculairement à cette route et intègre la dérive vent et la dérive courant...et les erreurs de barre!

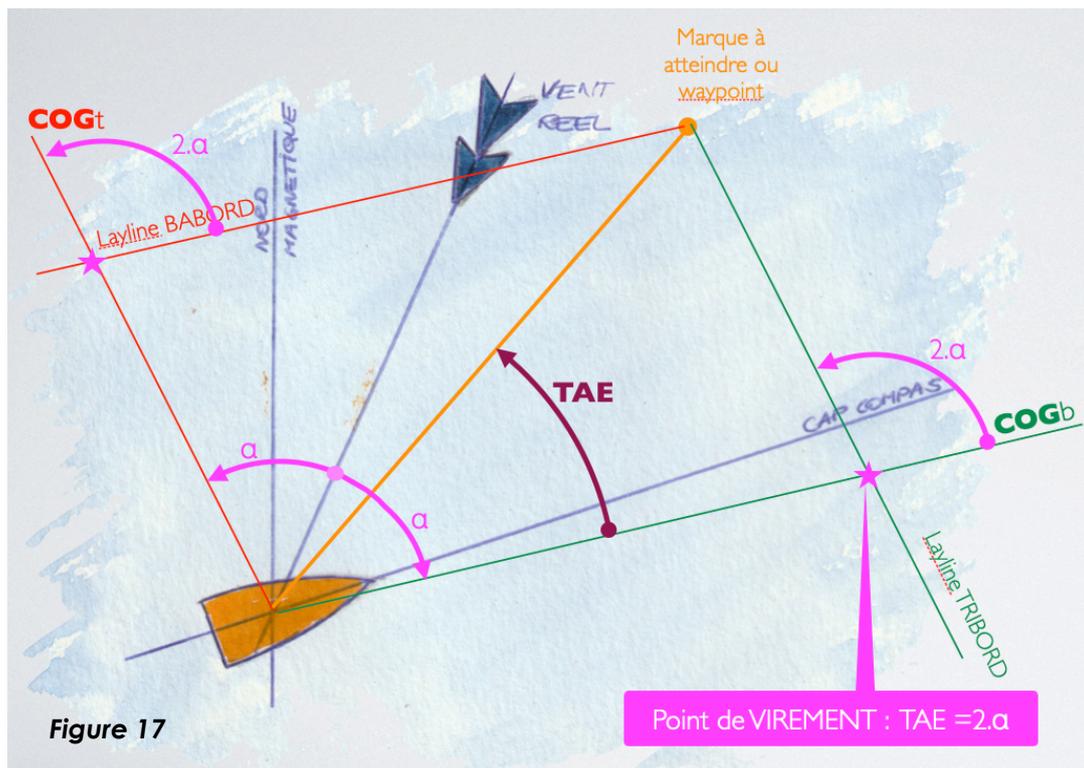
TAE : Track Angle Error ou Erreur Angulaire de Route, se mesure entre le relèvement de la marque à atteindre et la route sur le fond COG.

Il peut affiner une stratégie de virement pour atteindre la marque.



6 PARÉ À VIRER

6.1 QUAND VIRER AVEC PAS OU PEU DE COURANT ?



Ici l'angle de remontée optimal au vent est noté a , les bords précédents ont permis de déterminer les deux caps **COGb** et **COGt**. Les deux layline sont tracées à partir de la marque à atteindre. Deux bords sont possibles, dans les deux cas, la distance à parcourir est identique et le virement permettant de faire route directe sur la marque est à déclencher lorsque le **TAE** est égal à $2.a$.

$$TAE = 2.a$$

Si $COGb > COGt$: $2.a = COGb - COGt$

Si $COGb < COGt$: $2.a = 360 + COGb - COGt$

Lorsque le **TAE** n'est pas disponible, le relèvement de la marque est utilisé.

Sur le bord « **bâbord amure** » le relèvement de la marque R vaut : **R = COGt**

Sur le bord « **tribord amure** » le relèvement de la marque R vaut : **R = COGb**

6.2 QUAND VIRER AVEC DU COURANT ?

Figure 18 : le bateau est réglé pour l'angle de remontée optimal au vent : a . Le courant est pris en compte pour définir les deux vitesses sur le fond **SOGb** et **SOGt**. **COGb** et **COGt** sont maintenant connus. Les layline sont alors définies par **COGb** et **COGt**.

Le virement devient possible quand la layline est atteinte, alors : **TAE = β**

- Si $COGb > COGt$: **$\beta = COGb - COGt$**

- Si $COGb < COGt$: **$\beta = 360 + COGb - COGt$**

Si **TAE** n'est pas disponible, le relèvement de la marque est utilisé.

Sur le bord « **bâbord amure** » le relèvement de la marque R vaut : **R = COGt**

Sur le bord « **tribord amure** » le relèvement de la marque R vaut : **R = COGb**

Le compas de relèvement retrouve toute son importance !

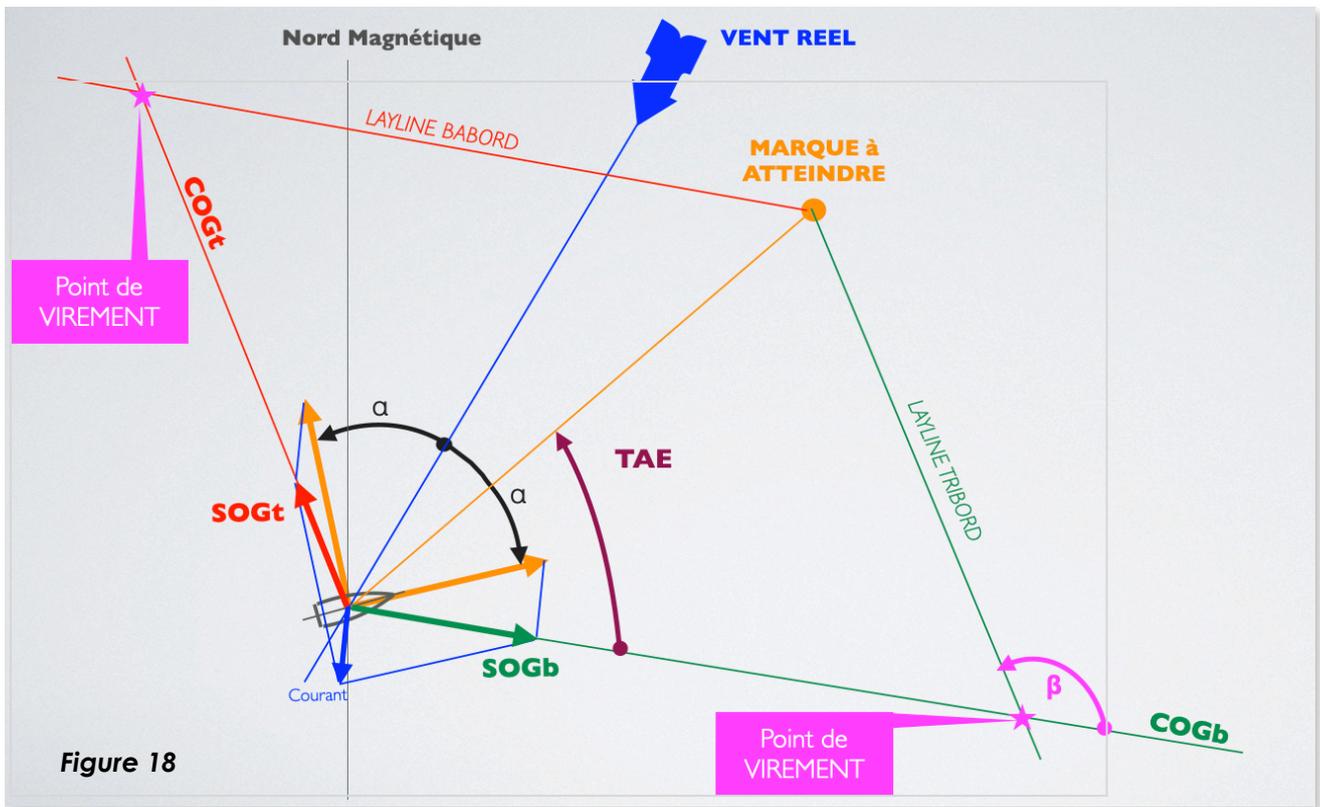


Figure 18

6.3 ON Y PERD À ÊTRE TROP PRESSÉ DE VIRER

Le bateau suit le cap **COGb** (figure 19). Si le virement est effectué lorsque $TAE = 90^\circ$, la marque ne sera pas atteinte en ligne directe. La route sera une parallèle à la layline tribord et nécessitera au moins un virement supplémentaire.

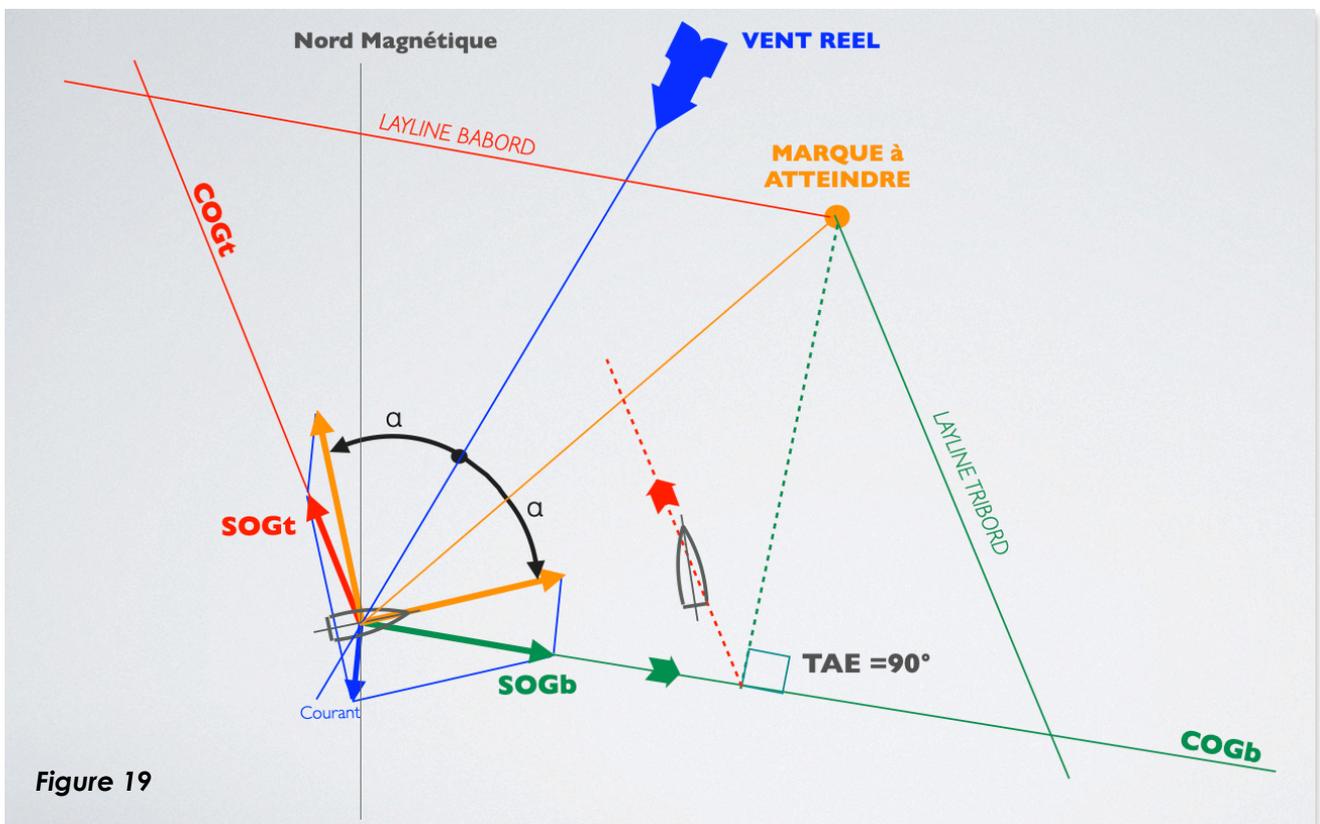


Figure 19

7 UNE ARCHITECTURE NUMÉRIQUE

L'architecture présentée figure 20 montre le trajet des informations issues des capteurs vers les afficheurs. L'instrumentation traite ces informations avec notamment un filtrage pour « nettoyer » les signaux des éventuels signaux parasites. La centrale de navigation effectue les calculs nécessaires à l'obtention des grandeurs qui ne sont pas directement mesurées par les capteurs.

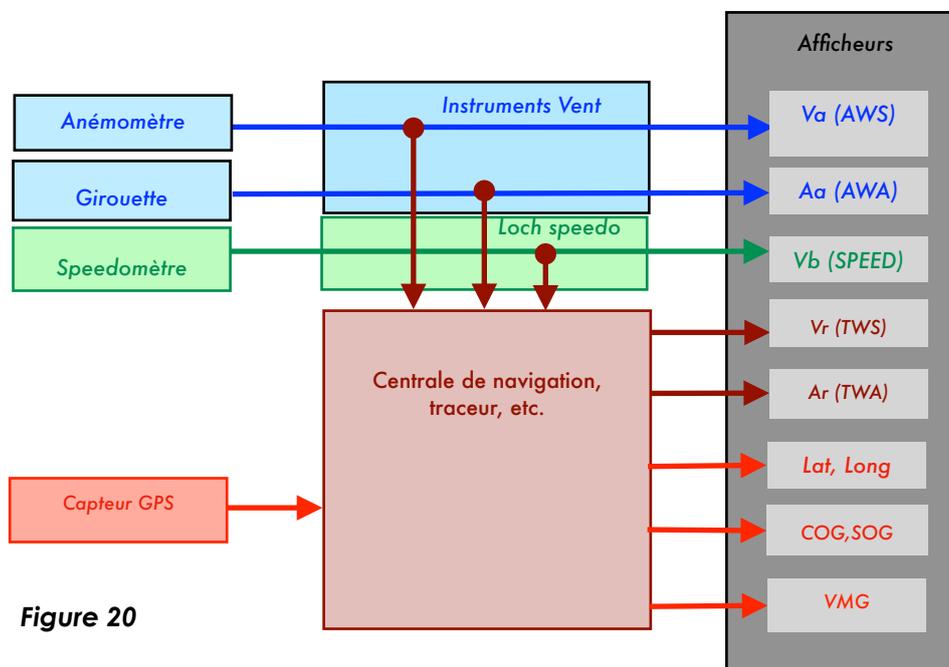


Figure 20

D'autres grandeurs calculées par les centrales existent, la liste est bien longue. On rencontrera suivant les marques : **STW** (Speed Through water) vitesse sur l'eau, **GTW** (Ground Wind Direction) direction du vent par rapport au sol, **GWS** (Ground Wind Speed) vitesse du vent par rapport au sol, **CTW** (Course Through Water) cap sur l'eau (les courants ne sont pas pris en compte comme dans le **COG**). La liste est longue et l'imagination des développeurs débordante....

8 ON RÉSUME

Au Prés :

- Régler le bateau à l'angle optimal de remontée au vent fournit le meilleur **VMG**, donc un **temps** de parcours **minimal**.
- Avec ou sans courant on peut envisager de virer quand le relèvement de la marque est égal au **COG** sur l'autre bord. Virer trop tôt n'allonge pas la route mais introduit des virements excédentaires.
- Il est prudent de prendre une marge de sécurité de quelques degrés pour la prise en compte de la dérive vent.
- Pour prendre en compte efficacement les bascules de courant, de vent en direction et force sur plusieurs heures de navigation il faut recourir aux modules de routage des logiciels de navigation.

Grandeurs numériques et navigation

1 Un bateau, du vent et des vents	2
1.1 Plein de vents : le vent réel et le vent apparent	2
1.2 Le vent apparent à différentes allures.....	4
1.3 En résumé	5
1.2 Des grandeurs mesurées et calculées	5
1.3 Lofer sous la risée ou ...choquer ?.....	6
2 A la surface, tout dérive	6
2.1 Les polaires	6
2.3 Compromis cap/vitesse	7
2.2 Prêt à faire du prés? les layline	8
3 Le COG, le SOG, pas de fog.....	8
4 Pour s'aérer : le VMC	9
5 Et le XTE et le TAE ?.....	9
6 Paré à virer	10
6.1 Quand virer avec pas ou peu de courant ?	10
6.2 Quand virer avec du courant?	10
6.3 On y perd à être trop pressé de virer.....	11
7 Une architecture numérique.....	12
8 On résume	12