

Calcul mental à l'usage du pilote d'avion

Objectif :

- Effectuer rapidement les calculs nécessaires à la préparation et à la conduite d'un vol local ou de navigation.

Moyens :

- Technique de calcul et de représentation :
 - la plus simple possible ;
 - adaptée aux conditions de réalisation du vol.

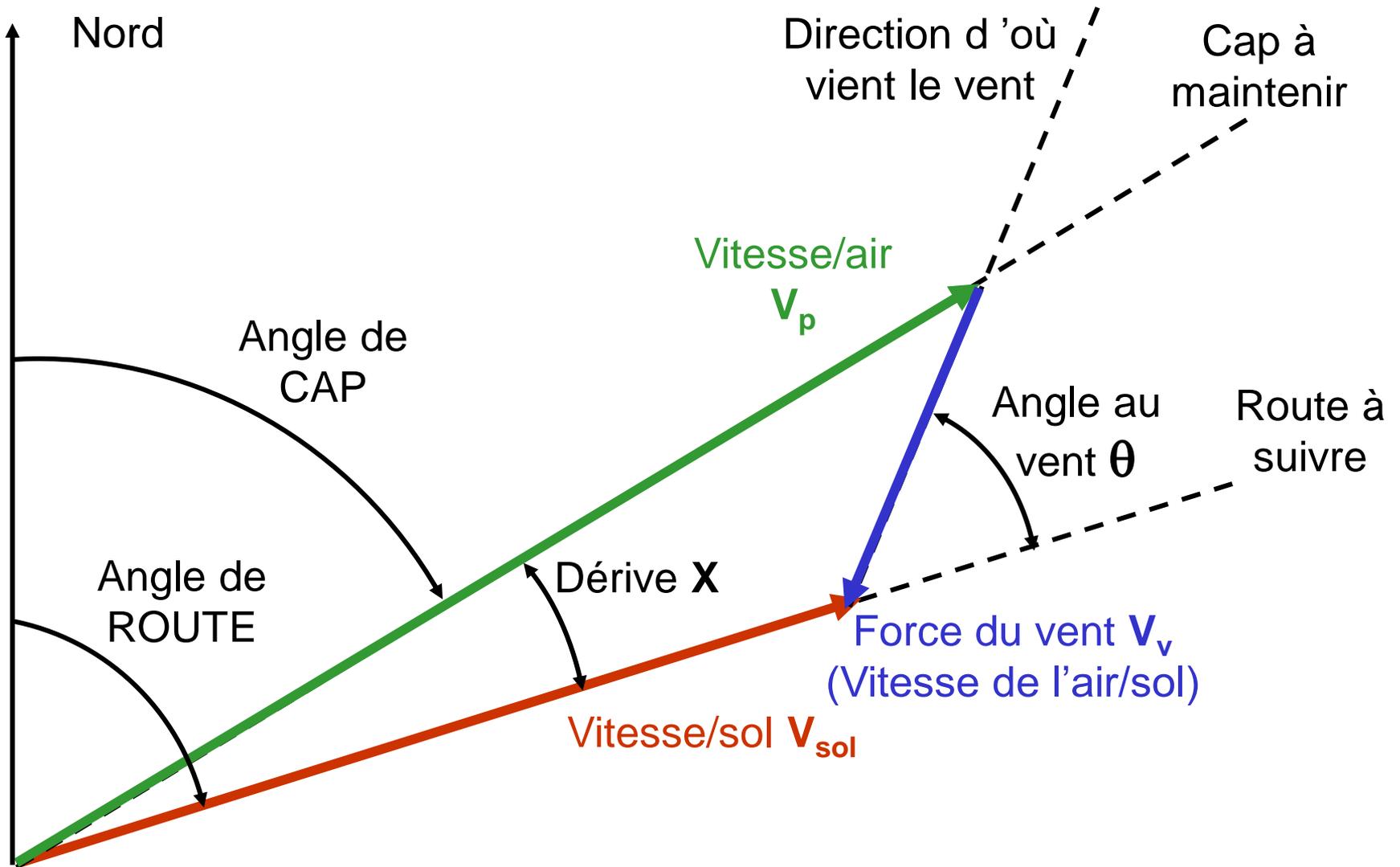
Pré requis :

- Connaître les tables de multiplication et quelques rudiments de trigonométrie ;
- Savoir "orienter" la trajectoire et le vent

Contrainte :

- Il faut pratiquer régulièrement !

Le triangle des vitesses



Calculs à effectuer

CAP à maintenir pour suivre la **ROUTE** malgré la **DÉRIVE** due à l'effet du **VENT**

TEMPS nécessaire pour parcourir la **DISTANCE** entre deux points

compte tenu :

de la **FORCE DU VENT** et de la **DIRECTION D'OÙ IL VIENT**

de la **VITESSE** de l'avion (**Vitesse/air** ou **Vitesse propre V_p**)

•**Nota important** : la **Vitesse propre n'est pas la vitesse indiquée sur le "Badin"** mais la **Vitesse d'équilibre** qui dépend, en palier :

- de l'altitude de vol et de la température de l'air à cette altitude ;
- de la masse et de la configuration de l'avion
- de la puissance utile appliquée (Régime moteur et P admission)
(Cf. Manuel de Vol)

Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent



Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent

Vous venez de vous dérouter et volez au cap 226° .

La carte météo indique un vent du Sud.

Quel est l'angle au vent ?

Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent



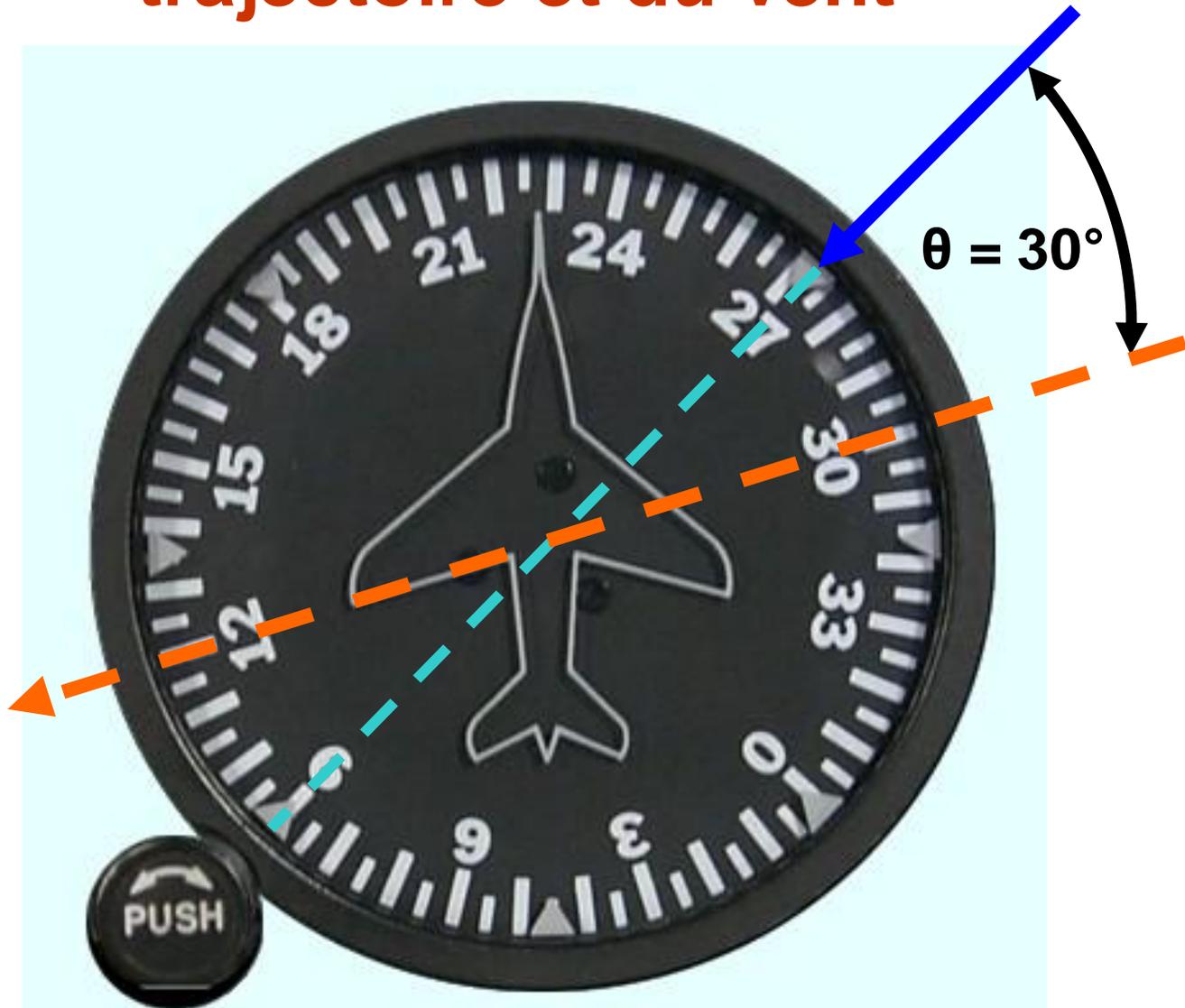
Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent

Volant au cap 226° vous devez maintenant suivre une route au 120° .

Vous avez relevé sur la carte météo un vent du 270° .

Quel sera l'angle au vent ?

Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent



Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent

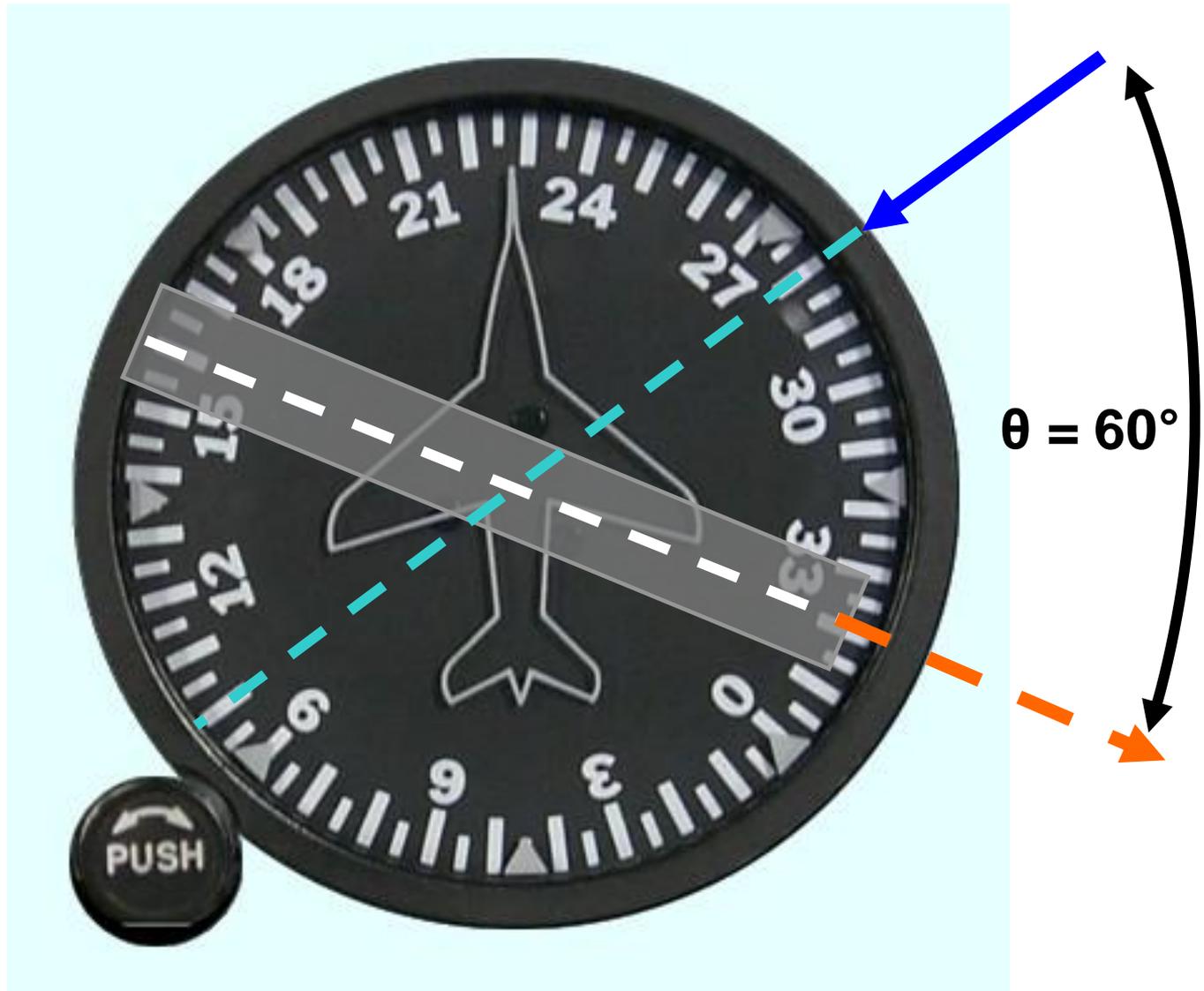
Au point AE de LFCL, vous allez rejoindre le début de la vent arrière 34.

Vous entendez le contrôleur annoncer à un autre avion en finale :

- autorisé atterrissage, vent 280° 25 kt Rafales à 30 !

Quel sera l'angle au vent en finale ?

Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent



Facteur de base

Rappel : Vitesse = distance parcourue pendant l'unité de temps

$$\text{Vitesse} = \frac{\text{Distance}}{\text{Temps}}$$

$$\text{Temps} = \frac{\text{Distance}}{\text{Vitesse}}$$

FACTEUR DE BASE :

- **temps de parcours (exprimé en minutes) de l'unité de distance (Nautical Mile - NM ou Kilomètre - km ou mètre - m)**

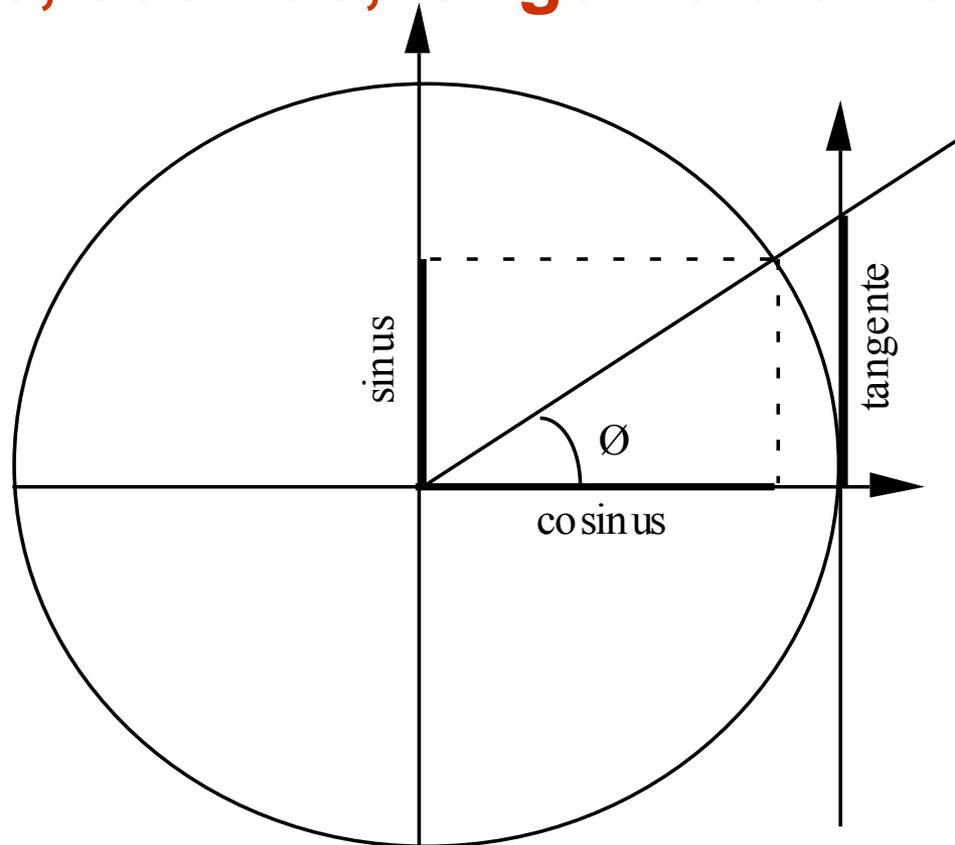
$$F_b = 60 \div V_p$$

☞ **diviser 60 par la Vitesse propre (en kt ou kmh ou m/s)**

Exemples :

$V_p = 100 \text{ kt}$	$F_b = 0,6$	soit 0,6 mn (36s) pour parcourir 1NM
$V_p = 80 \text{ kt}$	$F_b = 3/4$	soit 0,75 mn (45s) pour parcourir 1NM
$V_p = 120 \text{ kt}$	$F_b = 0,5$	soit 0,5 mn (30s) pour parcourir 1NM
$V_p = 150 \text{ kt}$	$F_b = 0,4$	soit 0,4 mn (24s) pour parcourir 1NM

Sinus, cosinus, tangente d'un angle



Sinus ou Cosinus ne dépassent jamais 1 ($\sin 90^\circ = 1$ $\cos 0^\circ = 1$).
 $\theta < 20^\circ$: Sin et Tang approximativement égaux à l'angle en radian.

Sinus d'un angle $> 20^\circ$

👉 ajouter 2 au chiffre des dizaines de la valeur en degrés de l'angle et diviser la somme obtenue par 10

Exemple :

$\emptyset = 33^\circ$ chiffre des dizaines = 3

j'y ajoute 2 ce qui donne 5

je divise 5 par 10

et j'obtiens $\text{Sin } 33^\circ = 0,5$

θ	$\sin \theta$	$\frac{* \theta}{60}$ puis $(\theta / 10 + 2) / 10$	Écart relatif
0	0,00	0,0	0,00%
10	0,17	*0,2	-4,01%
20	0,34	*0,3	-2,53%
30	0,50	0,5	0,01%
40	0,64	0,6	-6,65%
50	0,77	0,7	-8,61%
60	0,87	0,8	-7,62%
70	0,94	0,9	-4,22%
80	0,98	1,0	1,55%
90	1,00	1,0	0,00%

Sinus et tangente d'un angle $< 20^\circ$

☞ diviser par 60 la valeur en degrés de l'angle

$$\text{Sin } \emptyset = \emptyset^\circ \div 60$$

$$\text{Tan } \emptyset = \emptyset^\circ \div 60$$

Exemples :

$$15^\circ \quad 15 \div 60 = 0,25 \text{ (valeur exacte } 0,258)$$

$$25^\circ \quad 25 \div 60 = 5 \div 12 = \text{environ } 0,4 \text{ (valeur exacte } 0,422)$$

$$28^\circ \quad 28 \div 60 = 14 \div 30 = 7 \div 15 = \text{environ } 0,5 \text{ (valeur exacte } 0,469)$$

$$\text{Sin } 3^\circ = \text{Tan } 3^\circ = 3 \div 60 \quad \text{soit } 1 \div 20 = 0,05 \quad \text{soit } 5\%$$

$$\text{Sin } 12^\circ = \text{Tan } 12^\circ = 12 \div 60 \quad \text{soit } 1 \div 5 = 0,2 \quad \text{soit } 20\%$$

$$\text{Sin } 15^\circ = \text{Tan } 15^\circ = 15 \div 60 \quad \text{soit } 1 \div 4 = 0,25 \quad \text{soit } 25\%$$

Cosinus d'un angle

☞ Calculer l'angle complémentaire (à 90°) puis son sinus

$$\text{Cos } \theta^\circ = \text{Sin } (90^\circ - \theta^\circ)$$

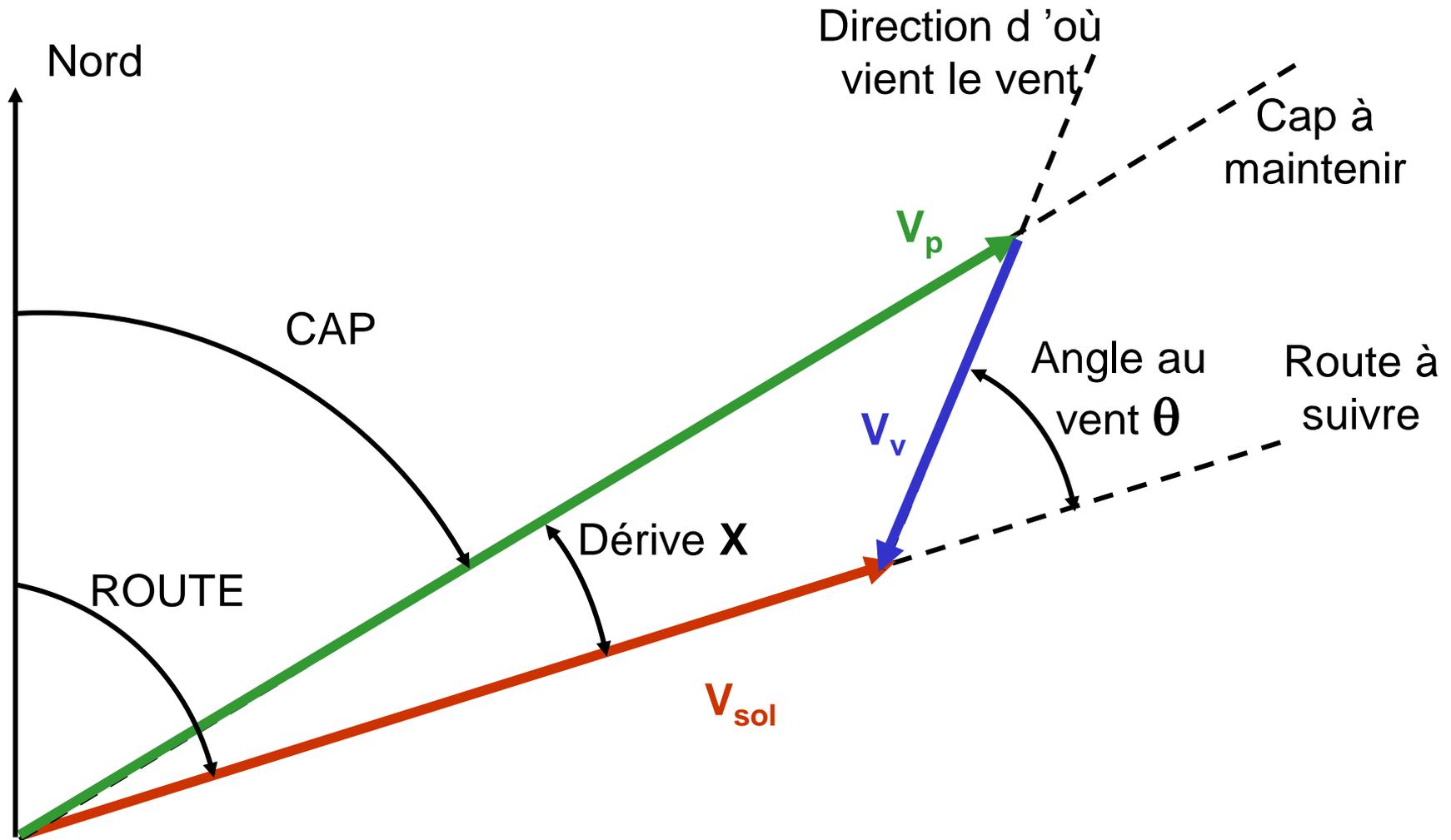
Exemple :

$$\text{Cos } 30^\circ = \text{Sin } (90^\circ - 30^\circ) = \text{Sin } 60^\circ = \sqrt{3}/2 \text{ soit } 0,85$$

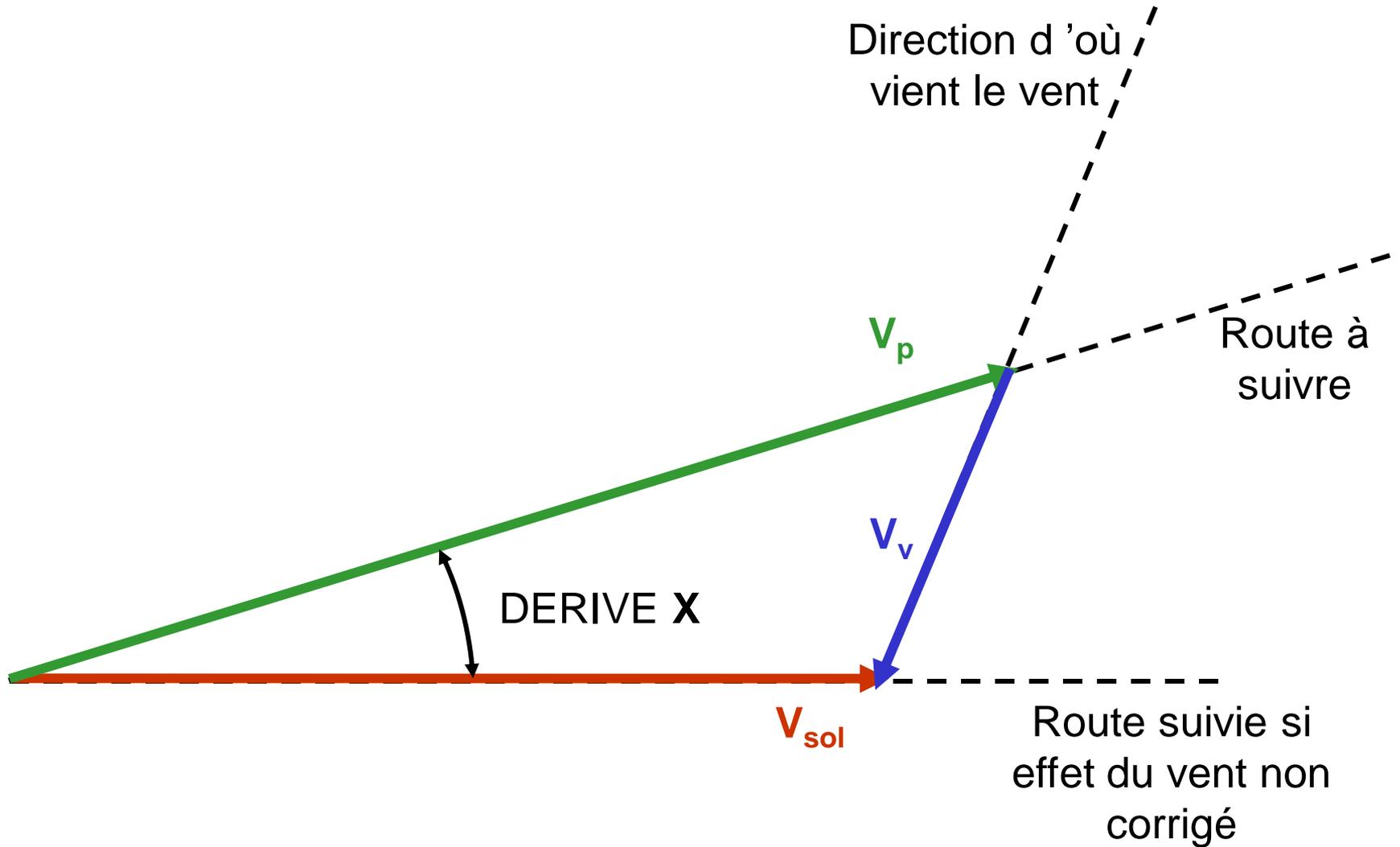
$$\text{Cos } 20^\circ = \text{Sin } (90^\circ - 20^\circ) = \text{Sin } 70^\circ = (7 + 2) \div 10 \text{ soit } 0,9$$

Résolution du triangle des vitesses

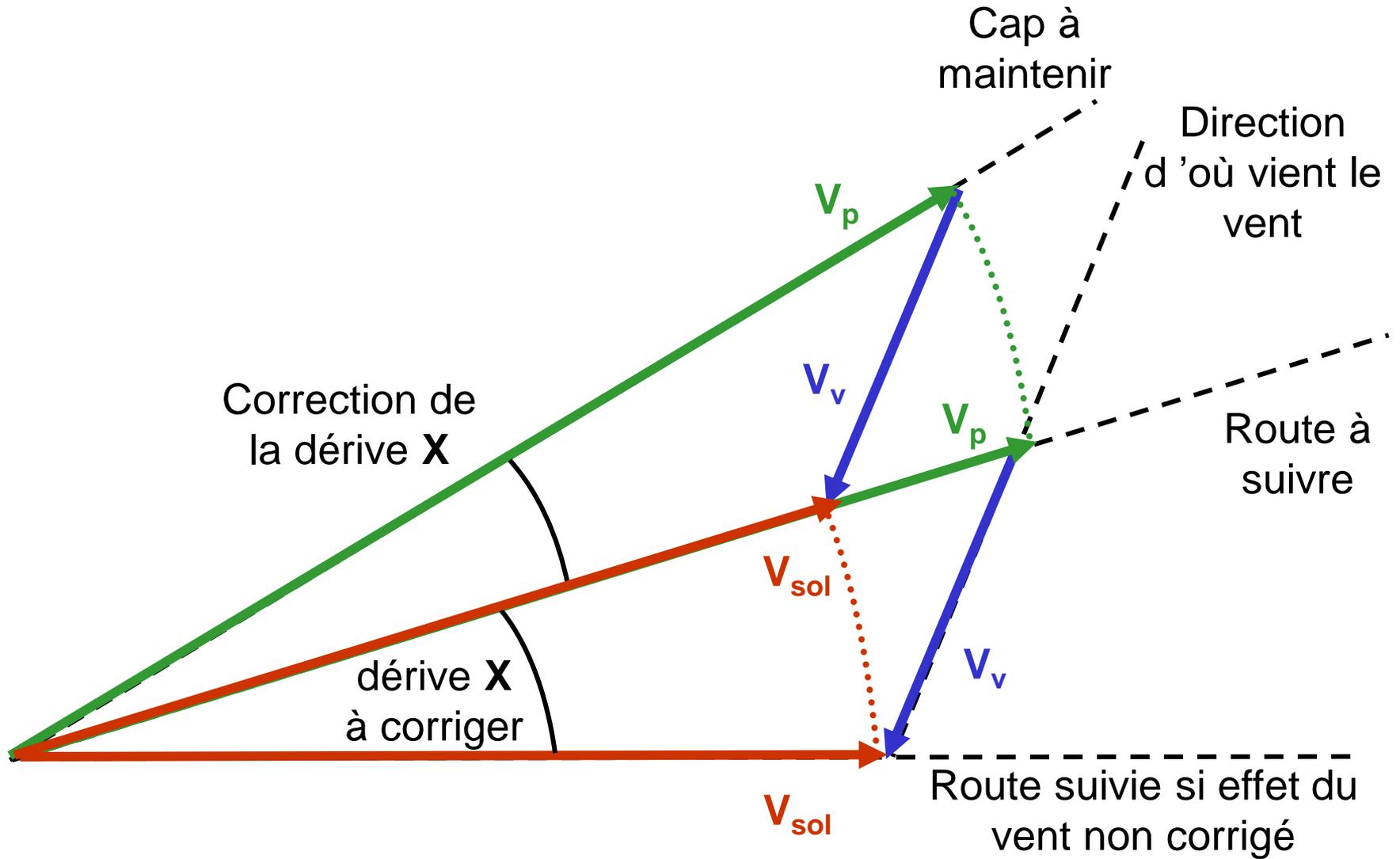
- CAP à maintenir pour suivre la ROUTE malgré la DÉRIVE due à la FORCE et à la DIRECTION DU VENT et selon la VITESSE de l'avion



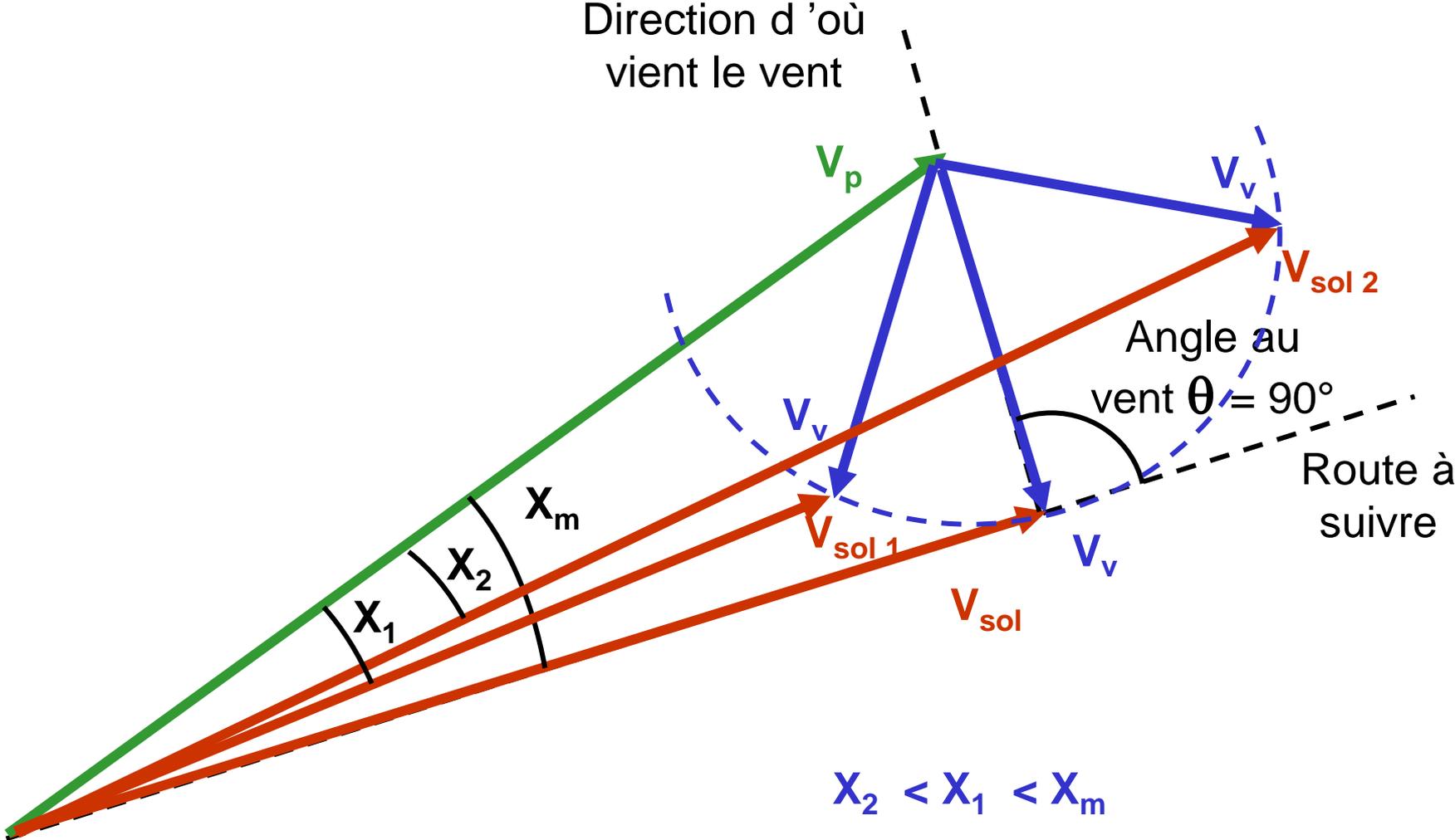
Notion de dérive



Correction de la dérive



Dérive maximum



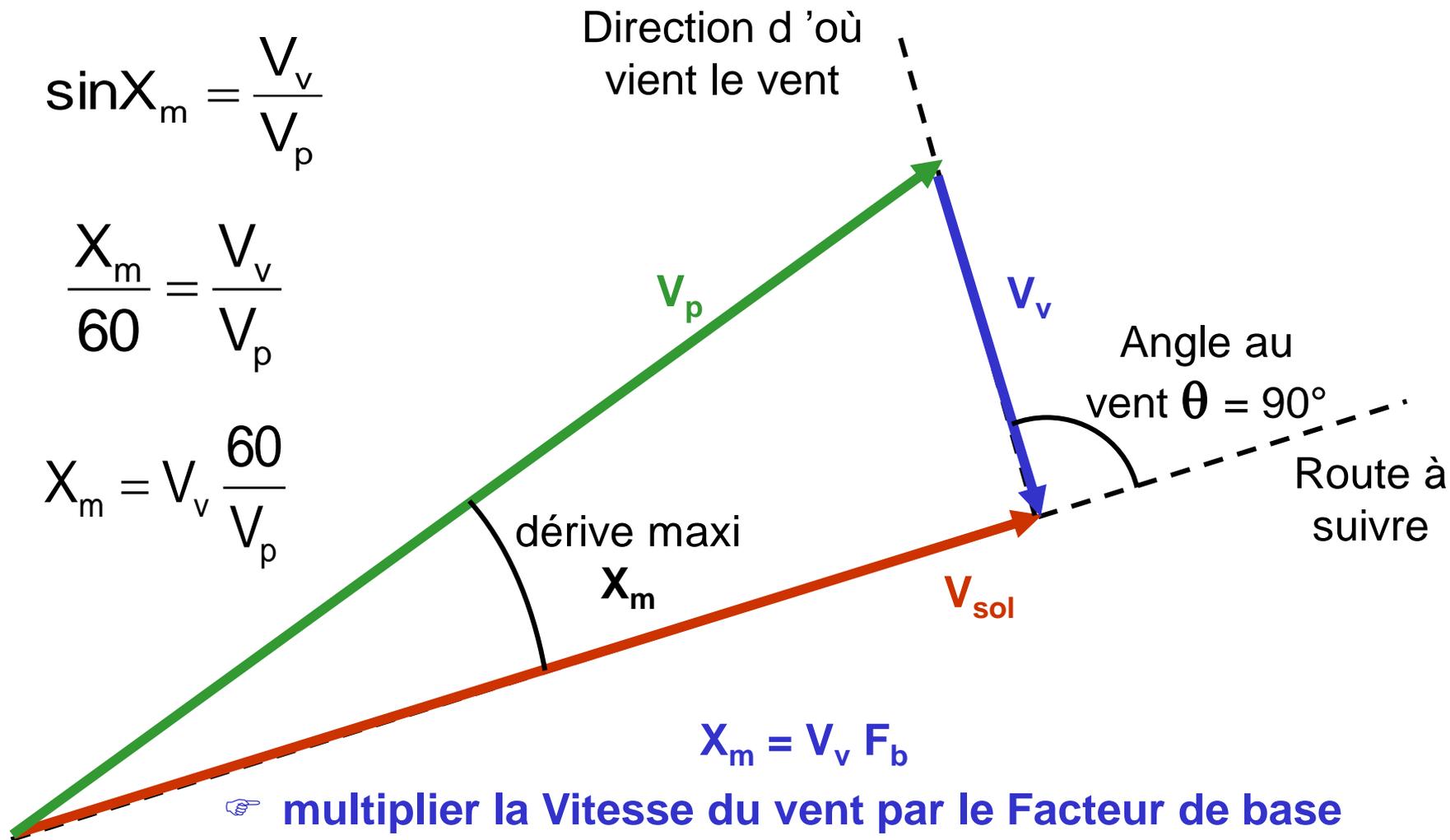
👉 quand le vent est perpendiculaire à la route, la dérive est maximum !

Dérive maximum

$$\sin X_m = \frac{V_v}{V_p}$$

$$\frac{X_m}{60} = \frac{V_v}{V_p}$$

$$X_m = V_v \frac{60}{V_p}$$



☞ multiplier la Vitesse du vent par le Facteur de base

- F_b calculé avec V_p en kt prendre Vitesse vent en kt
- F_b calculé avec V_p en kmh prendre Vitesse vent en kmh

Dérive en route

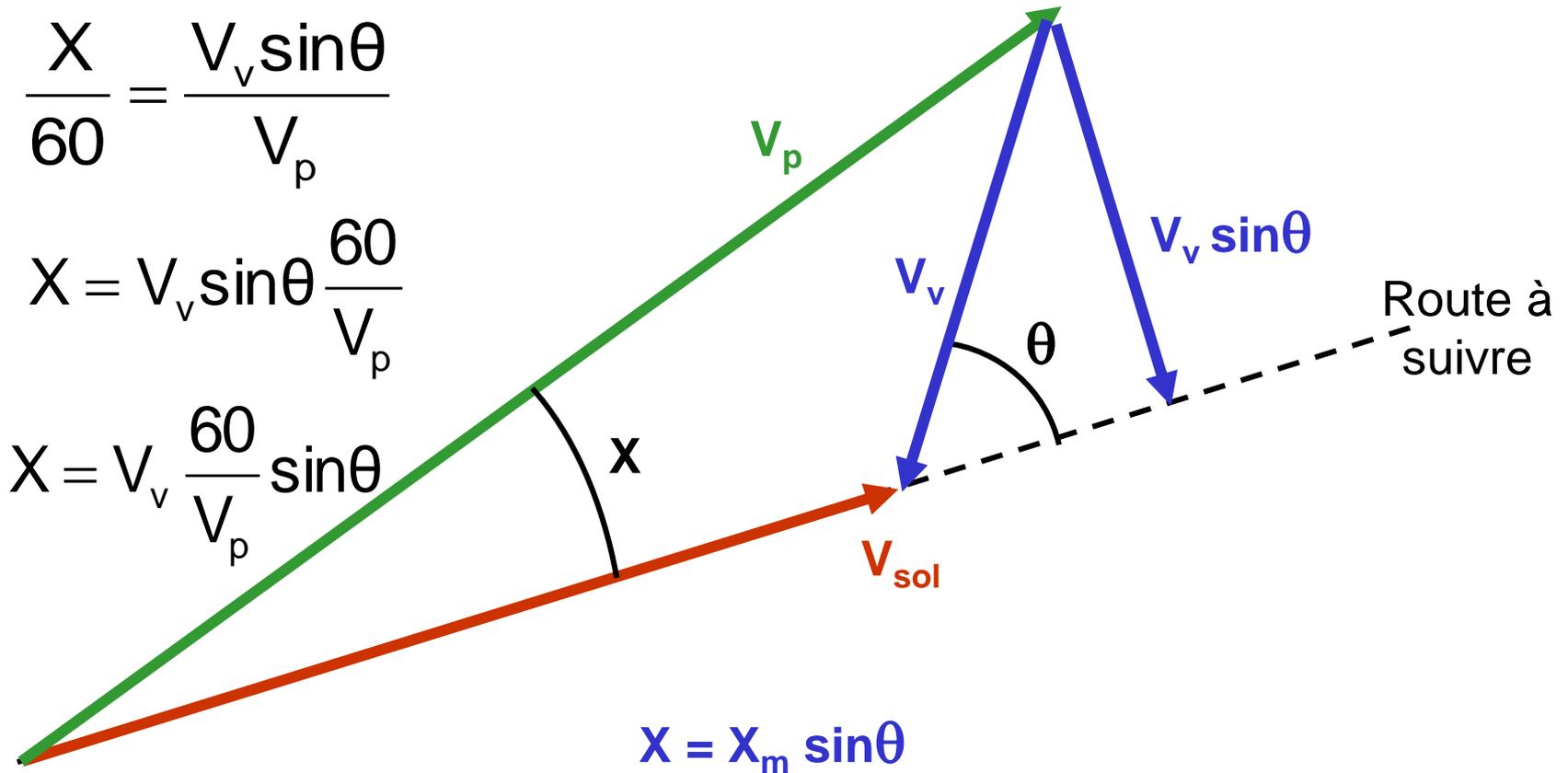
$$\sin X = \frac{V_v \sin \theta}{V_p}$$

$$\frac{X}{60} = \frac{V_v \sin \theta}{V_p}$$

$$X = V_v \sin \theta \frac{60}{V_p}$$

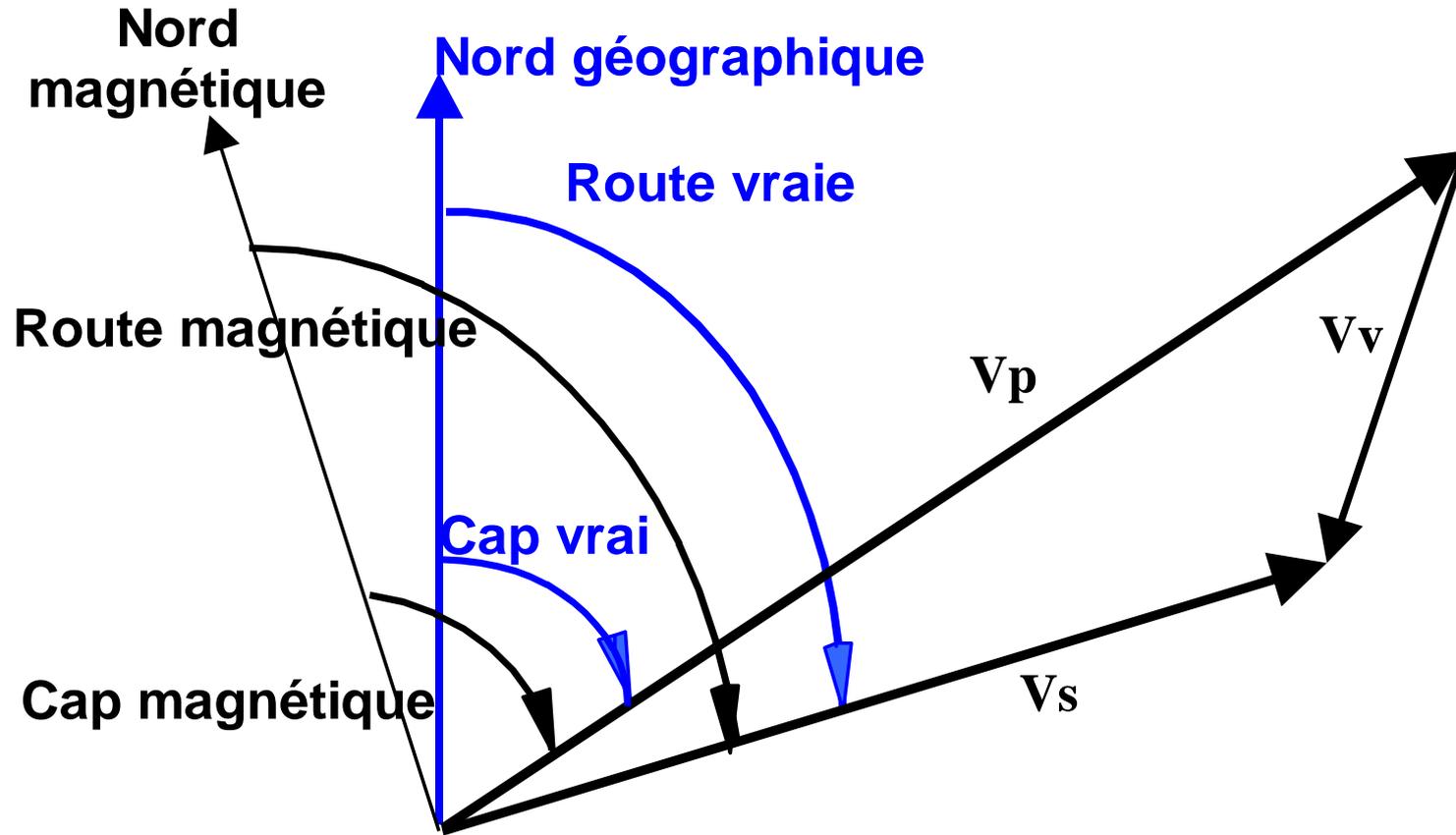
$$X = V_v \frac{60}{V_p} \sin \theta$$

$$X = X_m \sin \theta$$



☞ multiplier la Dérive maximum par le Sinus de l'angle au vent

Route magnétique (Rm)



Route magnétique (Rm) = Route vraie (Rv) \pm Déclinaison (D)

$$Rm = Rv \pm D$$

Cap magnétique (Cm)

Cap magnétique (Cm) = Route magnétique (Rm) \pm Dérive (X)

$$\mathbf{Cm = Rm \pm X}$$

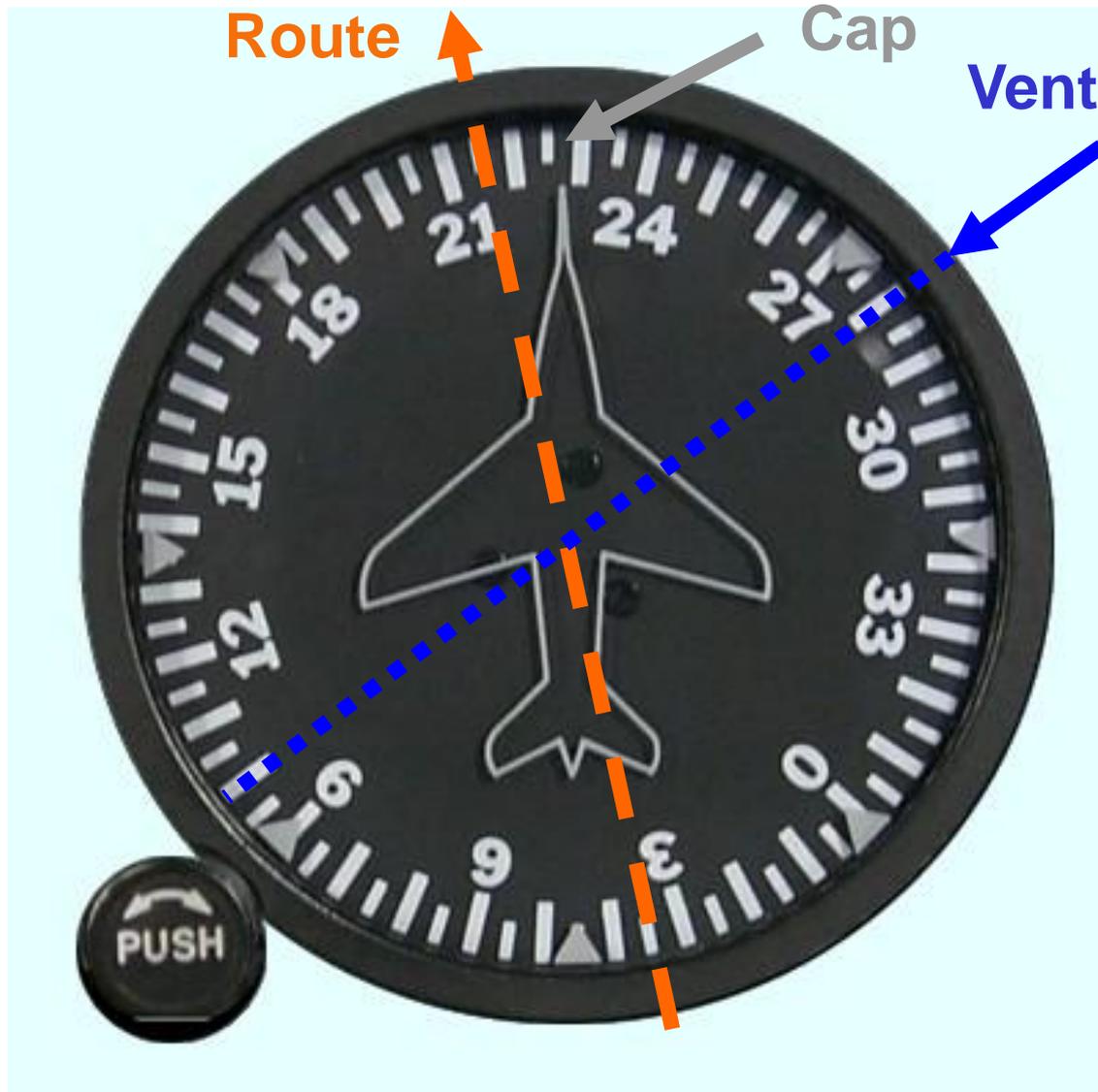
- ajouter (+) dérive à route si vent à droite (augmenter le cap) ;
- la retrancher (-) si vent à gauche (diminuer le cap).

Nota :

Si vent vient de la droite : Cap à maintenir supérieur à la Route
(tout ce qui est à droite augmente !)

Si vent vient de la gauche : Cap à maintenir inférieur à la Route
(tout ce qui est à gauche diminue !)

Le "Cap" est toujours entre la "Route" et le "Vent"



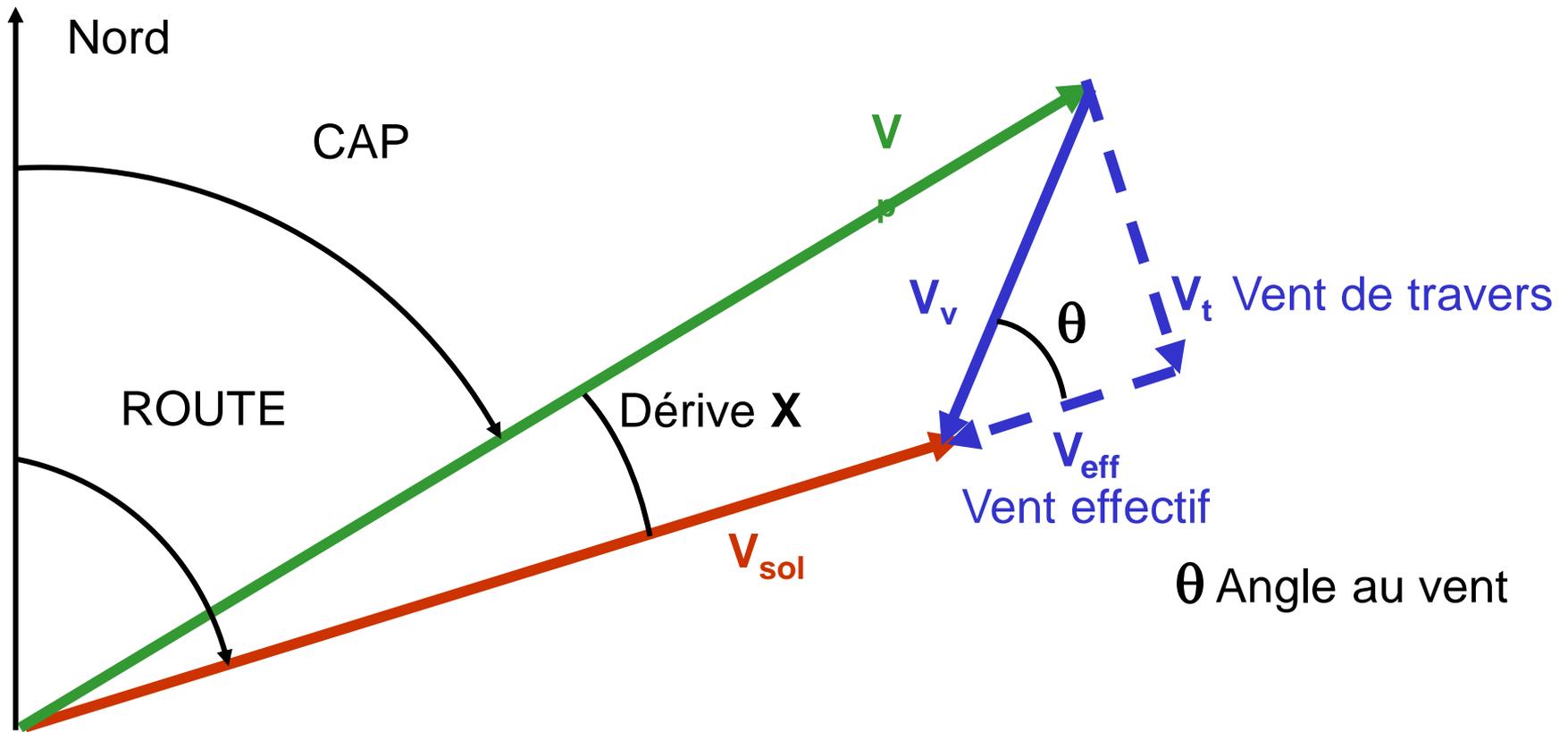
Résolution du triangle des vitesses

TEMPS nécessaire pour parcourir la **DISTANCE** entre deux points compte tenu de la **FORCE** et de la **DIRECTION** du **VENT** et selon la **VITESSE PROPRE** de l'avion

Temps sans vent ?

Temps estimé à partir du Vent effectif (vent sur la route) ?

Vitesse sol

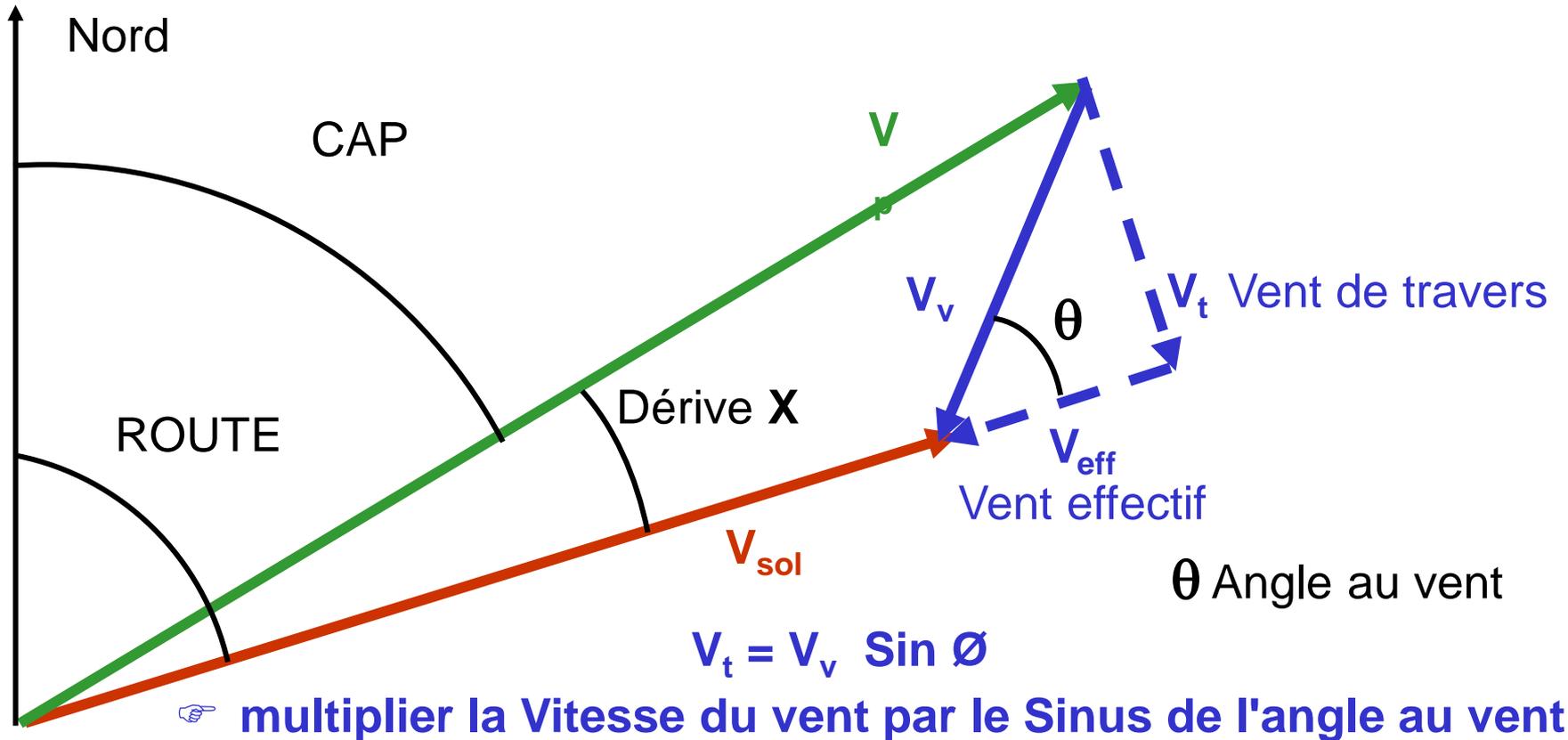


$$V_{sol} = V_p \pm V_{eff}$$

- ajouter si le Vent souffle du secteur arrière
- retrancher si le Vent souffle du secteur avant

si Route perpendiculaire au Vent : Vitesse sol = Vitesse propre

Vent de travers et Vent effectif



$$V_{eff} = V_v \cos \theta$$

☞ multiplier la Vitesse du vent par Cosinus de l'angle au vent

remarque : quand il y a un changement de route de 90° le vent effectif devient le vent de travers et inversement !

Temps sans vent en minutes pour parcourir une distance

👉 Rappel sur le FACTEUR DE BASE

Fb = temps de parcours (en minutes) de l'unité de distance (Nautical Mile -NM ou Kilomètre-km)

$$F_b = 60 \div V_p$$

Pour calculer le Temps sans vent

👉 multiplier la Distance D par le Facteur de base Fb

$$T_{sv (mn)} = D \cdot Fb$$

- si Fb calculé avec Vp en kt, exprimer la Distance en NM
- si Fb calculé avec Vp en kmh, exprimer la Distance en km

Principe du calcul du temps estimé à partir du vent effectif ou prévu

$$\text{Temps (mn)} = \frac{60 \cdot \text{Distance (NM)}}{\text{Vitesse (Kt ou NM/Heure)}} \quad \text{Temps réel : } Tr = \frac{D \cdot 60}{Vp + V_{\text{eff}}}$$

- $V_{\text{eff}} < 0$ si vent de face et $V_{\text{eff}} > 0$ si vent arrière.
- Temps estimé = Temps réel calculé avec Vp et V_{eff} prévues.
- expression peu exploitable en calcul mental.

Trois méthodes :

1. Calcul du % de variation du Temps mis sur un segment par rapport au Temps sans vent et utilisation de ce % pour déterminer la correction à apporter au Temps sans vent du segment suivant.
2. Calcul de l' **écart entre le Temps sans vent et le Temps réel**, à partir de la valeur du Vent effectif, déterminée selon le vent prévu (force et direction) et l'angle au vent.
3. Calcul du Facteur de base avec la vitesse sol $Fb = \frac{60}{Vp + V_{\text{eff}}}$

Calcul de l'écart entre Temps sans vent et Temps réel

$$\Delta T = T_r - T_{sv}$$

Ramené à "l'unité de temps réel" l'écart est $\frac{\Delta T}{T_r} = \frac{T_r - T_{sv}}{T_r}$

Posons $\frac{\Delta T}{T_r} = t$

t : écart de temps dû au vent pendant une "unité de temps réel"
Si on sait calculer **t**, on pourra estimer ΔT par le produit $T_r.t$

Calculons $\Delta T = T_r.t = T_r - T_{sv}$ soit $\frac{D.60}{V_p + V_{eff}} t = \frac{D.60}{V_p + V_{eff}} - \frac{D.60}{V_p}$

au même dénominateur : $\frac{D.60}{V_p + V_{eff}} t = \frac{D.60.V_p - D.60(V_p + V_{eff})}{(V_p + V_{eff}).V_p}$

D'où il vient $t = \frac{-V_{eff}}{V_p}$

Calcul du Temps estimé

Dans l'expression $t = \frac{-V_{eff}}{V_p}$ $V_{eff} = V_v \cos \theta$ soit :

$$t = \frac{-V_v \cos \theta}{V_p} \quad \text{il vient en multipliant par 60 : } 60t = \frac{-V_v \cos \theta}{V_p} 60$$

or $\frac{60}{V_p} = F_b$ d'où $60t = -V_v \cdot \cos \theta \cdot F_b$

$$V_v \cdot F_b = \frac{NM}{Heure} \times \frac{Minutes}{NM} \quad V_v \cdot F_b = \frac{Minutes}{Heure}$$

donc $60 t$ est un rapport dimensionné en $\frac{Minutes}{Heure}$

or [Minute x 60] = Secondes et [Heure x 60] = Minutes

t représente donc l'écart de temps de parcours (en secondes) dû au vent, obtenu sur le parcours effectué pendant une unité de temps réel (une minute).

Dans $60t = -V_v \cdot \cos \theta \cdot F_b$ le produit $F_b \cdot V_v$ est l'expression de la dérive maximum X_m d'où la relation $t = -X_m \cdot \cos \theta$ (en $\frac{Secondes}{Minute}$)

Calcul du Temps estimé

On considérera que :

- le Temps de parcours réel (T_r), utilisé pour établir la formule de calcul de t , reste voisin du Temps de parcours sans vent (T_{sv});
- l'utilisation de t pour estimer ΔT donne une valeur "acceptable" pour l'usage qui en est fait.

En résumé :

- **déterminer le coefficient de correction du temps (en secondes par minute de vol)** $t = X_m \cos \theta$
- **calculer la correction (en secondes) du Temps sans vent**

$$\Delta T_{\text{sec}} = T_{sv_{mn}} t \text{ (avec } T_{sv} \text{ exprimé en minutes)}$$

- **convertir la valeur de la correction en minutes** $\Delta T_{mn} = \Delta T_{\text{sec}} / 60$
et l'ajouter (ou la retrancher) au Temps sans vent (en minutes)

$$T_{e_{mn}} = T_{sv_{mn}} \pm \Delta T_{mn}$$

☞ si vent de face, ajouter la Correction

☞ si vent arrière, retrancher la Correction

Calcul du Temps estimé : exemples

Avion DR400/120 : $F_b = 0.6$ $V_v = 25\text{kt}$ $\theta = 40^\circ$ $T_{sv} = 10'$

$X_m = 15^\circ$ $(0,6 \times 25)$

$t = 10$ $(15 \times 0,7)$

Correction : $10' \times 10$ soit $100''$ ou $1'40''$

Si vent de face $T_e = T_{sv} + \text{Correction} = 10' + 1'40''$ soit $11'40''$

Si vent arrière $T_e = T_{sv} - \text{Correction} = 10' - 1'40''$ soit $8'20''$

Avion = DR400/140 $V_p = 120 \text{ kt}$ $\text{Vent} = 300^\circ / 10 \text{ kt}$ $R_m = 270^\circ$

Exercice : application à une navigation

- Route à suivre : 070° (route magnétique)
- Vent à l'altitude de croisière : $010^\circ / 25$ kt (vent secteur Nord, donc orienté à la gauche du pilote allant vers l'Est)
- Distance de l'origine de la navigation à la verticale du terrain d'arrivée: 86 NM
- Atterrissage Piste 32 (QFU 318°), vent au sol : $030^\circ / 25$ kt
- Vitesse en montée initiale, vent arrière et étape de base : 90 kt
- Vitesse en montée vers le niveau de vol : 100 kt
- Vitesse en finale (si vent < 10 kt) : 75 kt
- Vitesse en régime de Croisière : 150 kt
- Limite de vent de travers démontré pour l'avion utilisé : 22 kt
- Décollage Piste 34 (QFU = 339°), vent au sol : $020^\circ / 20$ kt

Calculs à faire

Déterminer sans utiliser la calculatrice ni aucun brouillon :

- le vent de travers à l'arrivée (pour savoir si on peut atterrir)
- le vent de travers au départ (pour savoir si on peut décoller)
- le cap magnétique en navigation
- le temps sans vent sur le parcours
- le temps estimé sur le parcours
- les caps magnétiques en tour de piste à l'arrivée