

# 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.

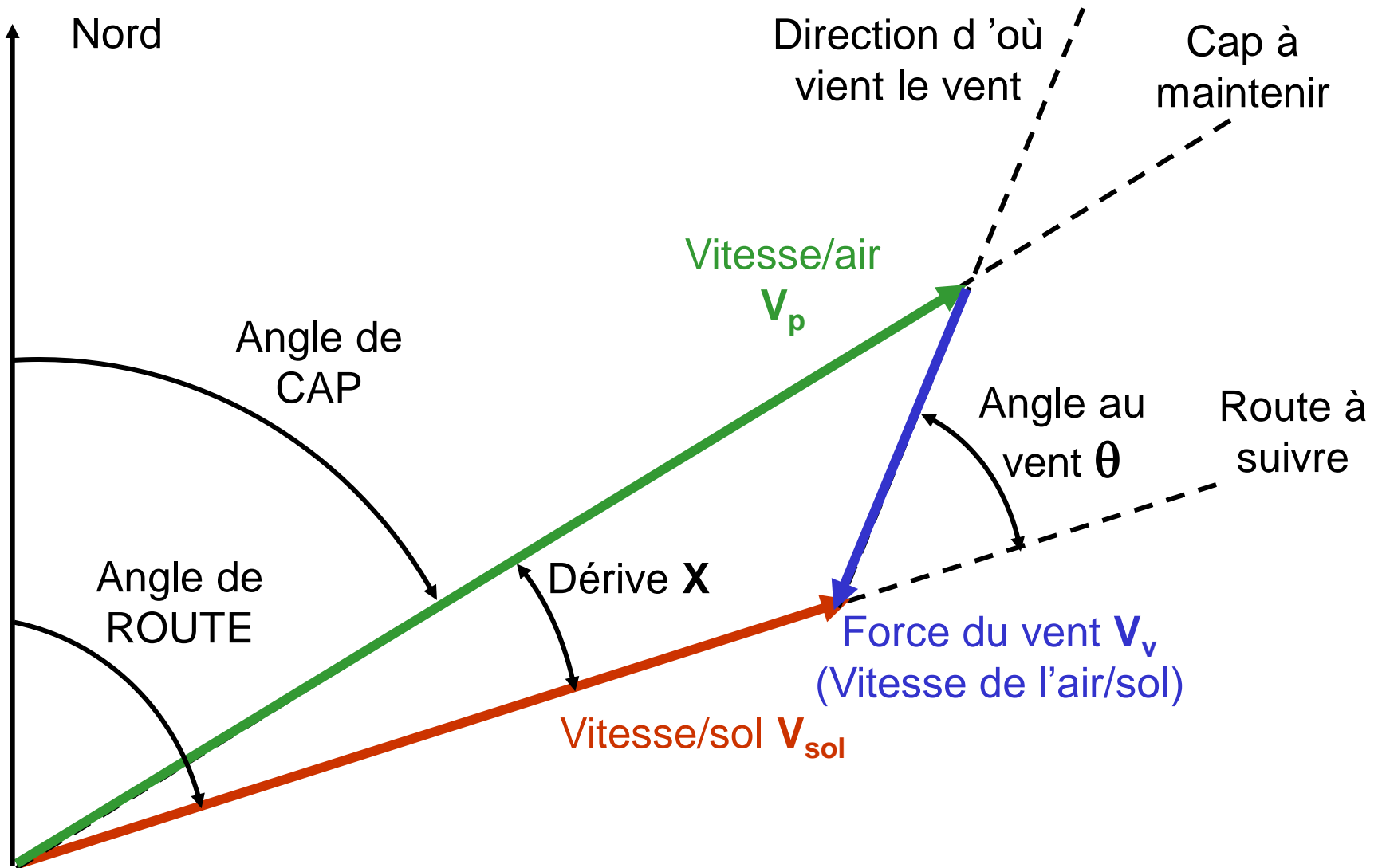
## Pré requis :

- 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  $226^\circ$ .**

**La carte météo indique un vent du Sud.**

**Quel est l'angle au vent ?**

# Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent



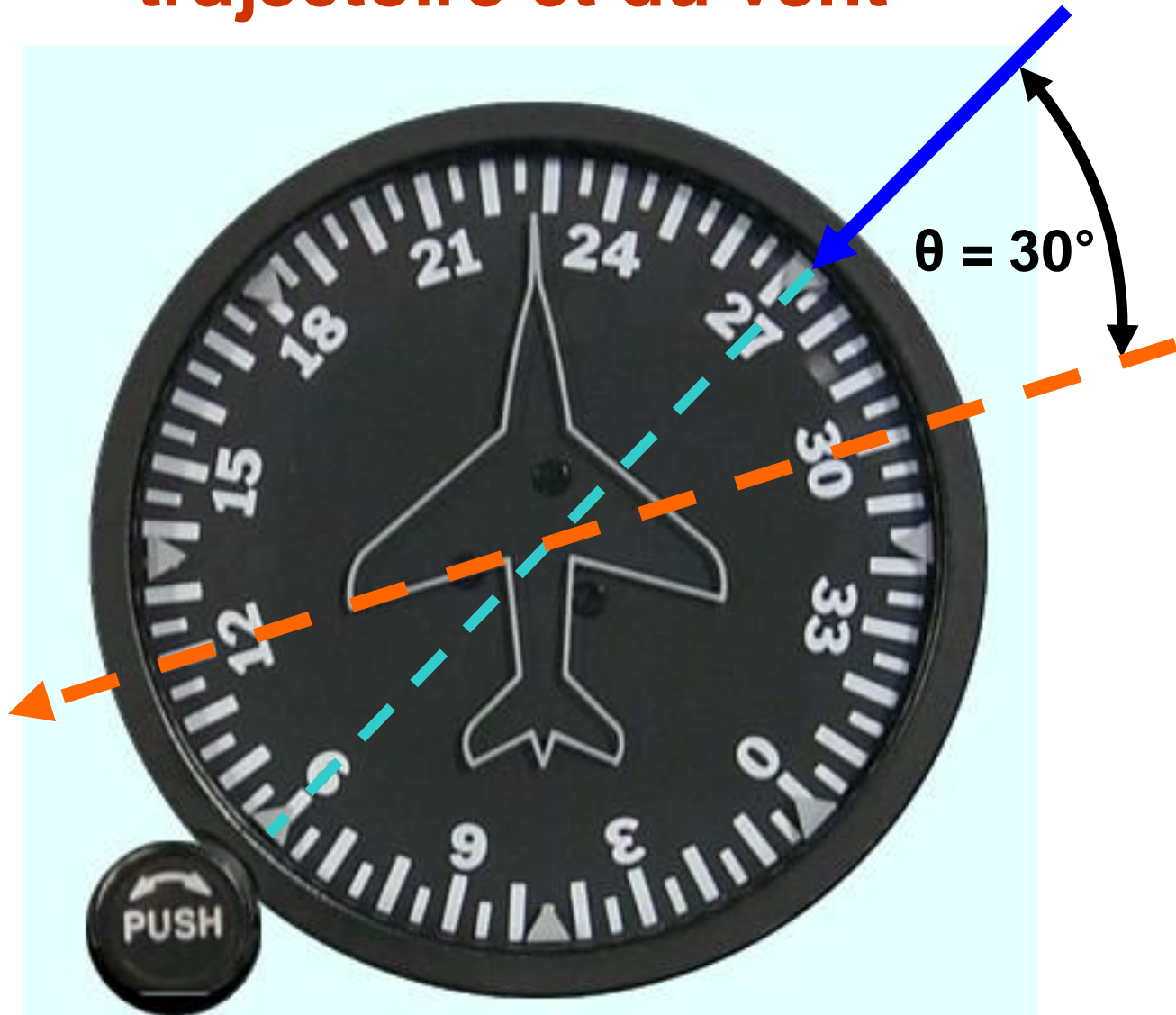
# Se représenter l'orientation de la trajectoire et du vent

Volant au cap  $226^\circ$  vous devez maintenant suivre une route au  $120^\circ$ .

Vous avez relevé sur la carte météo un vent du  $270^\circ$ .

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

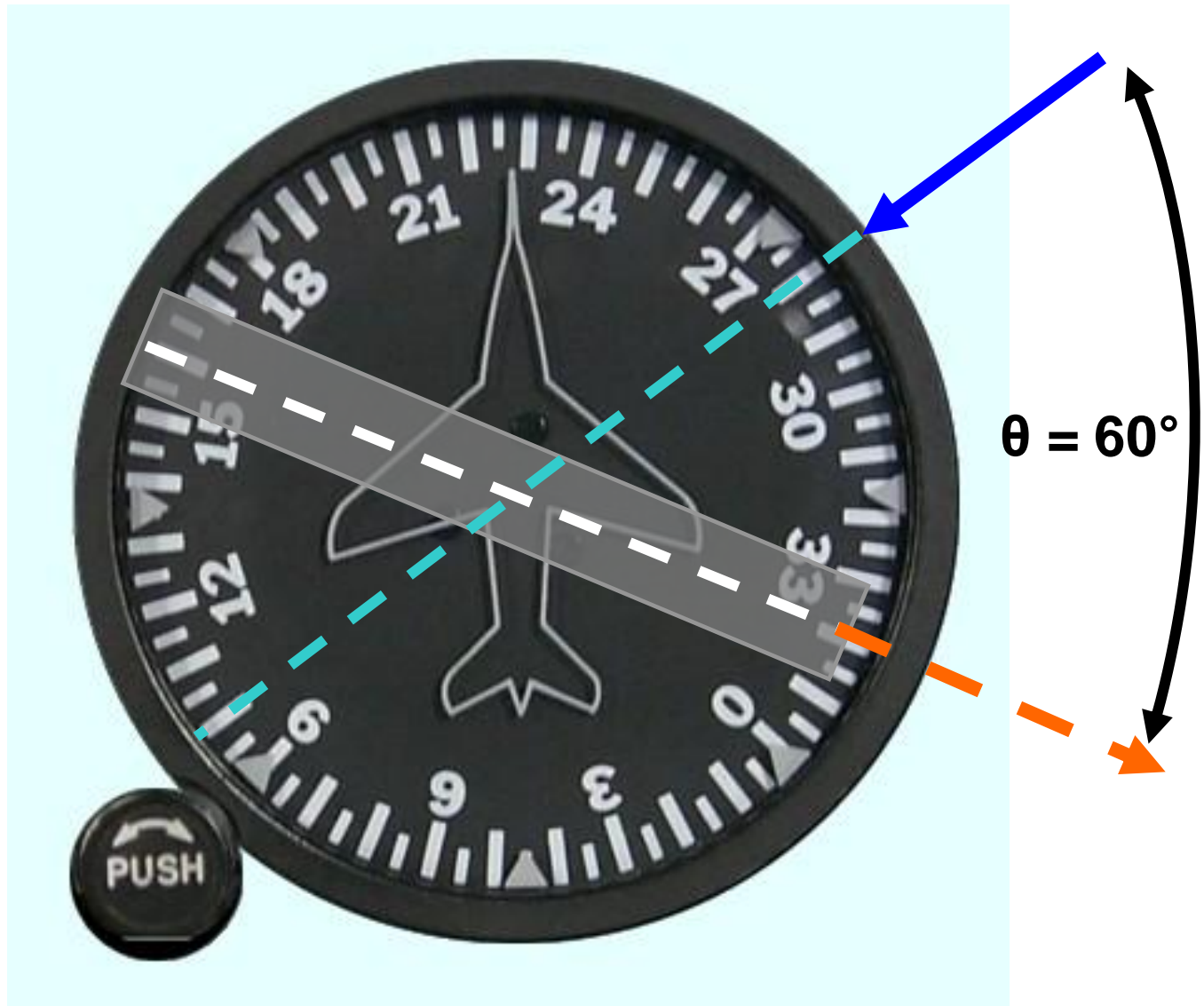
Au point AE de LFCL, vous allez rejoindre le début de la vent arrière 34.

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)**

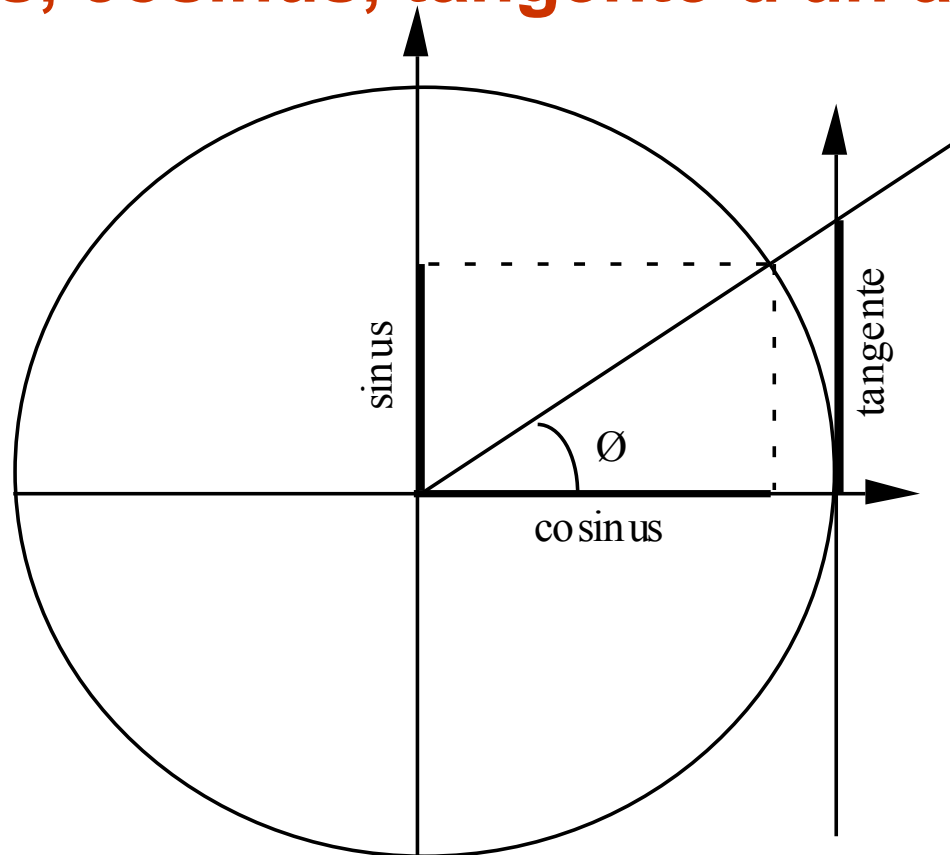
$$F_b = 60 \div V_p$$

☞ **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  $\text{Sin } 33^\circ = 0,5$

$\theta$	$\sin \theta$	$\frac{* \theta}{60}$ 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

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

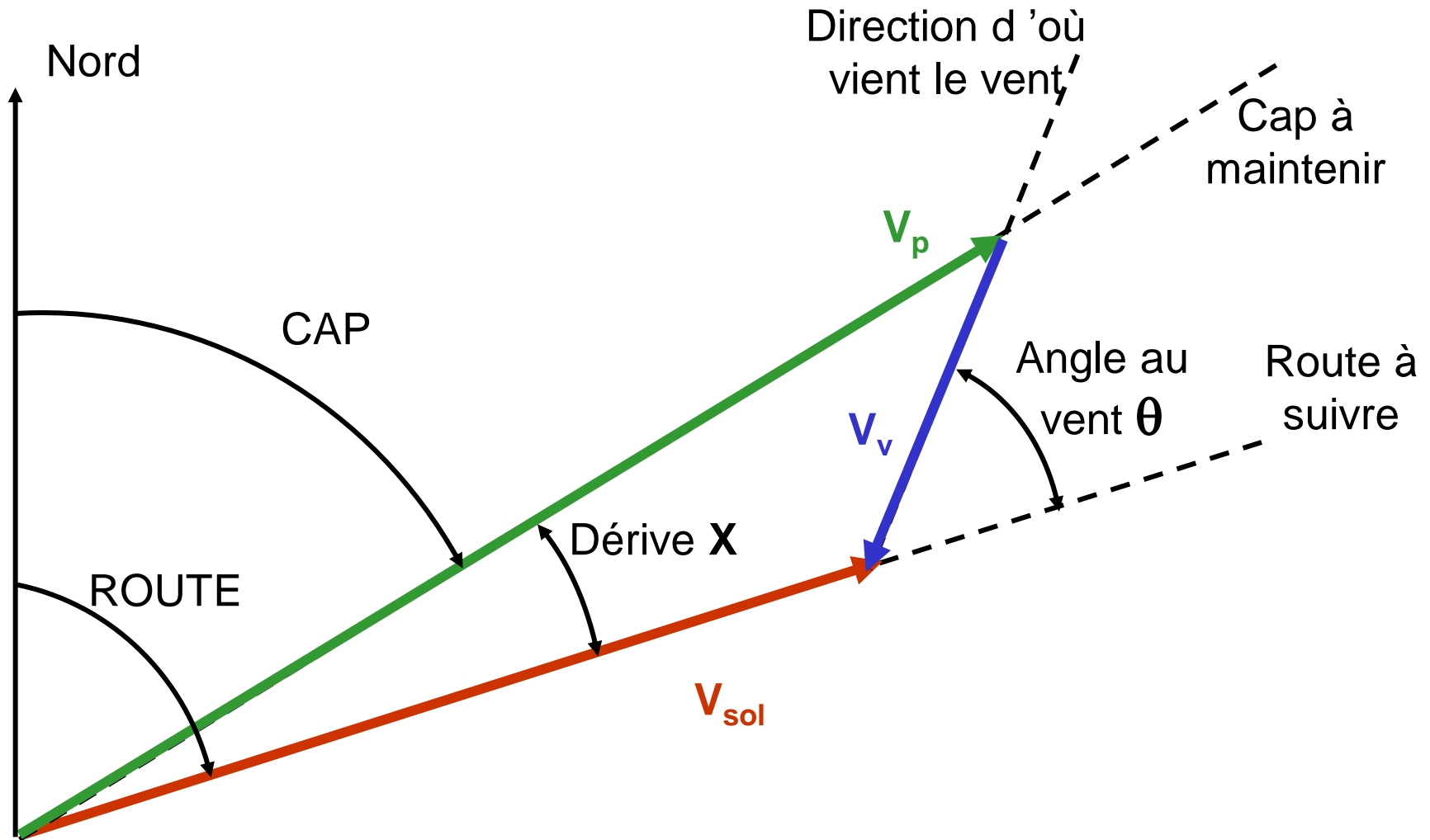
Exemple :

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

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

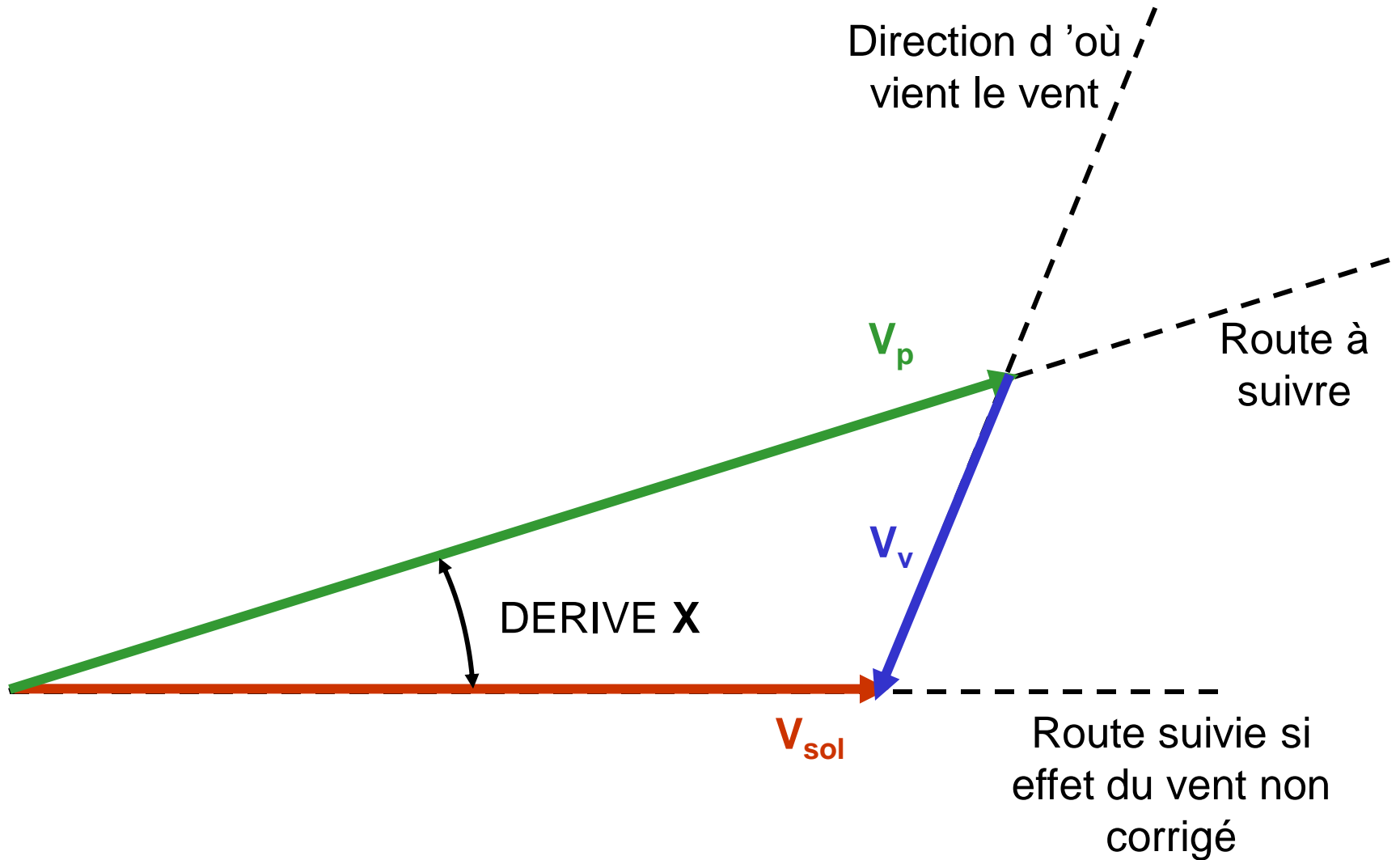
# Résolution du triangle des vitesses

- 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

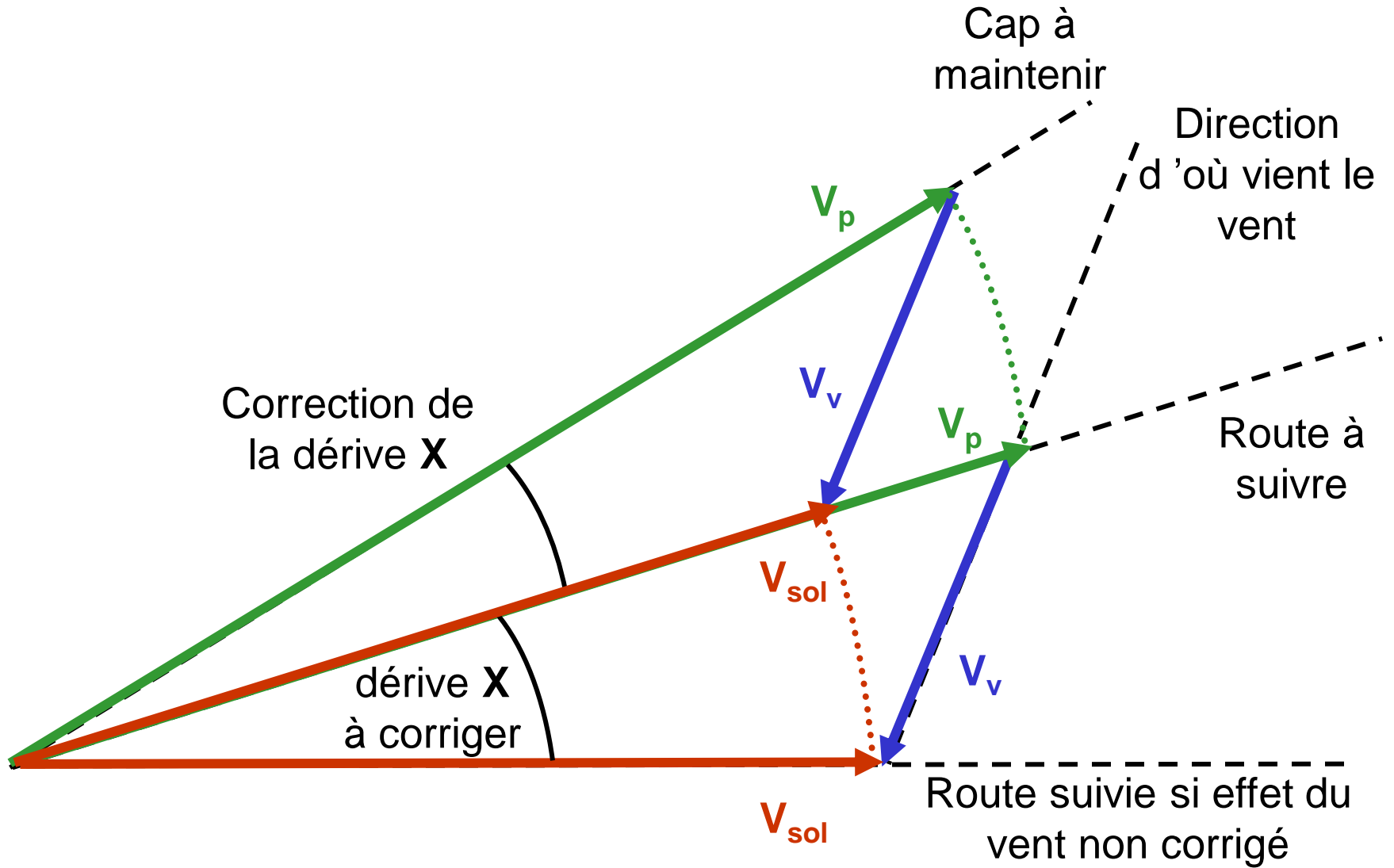




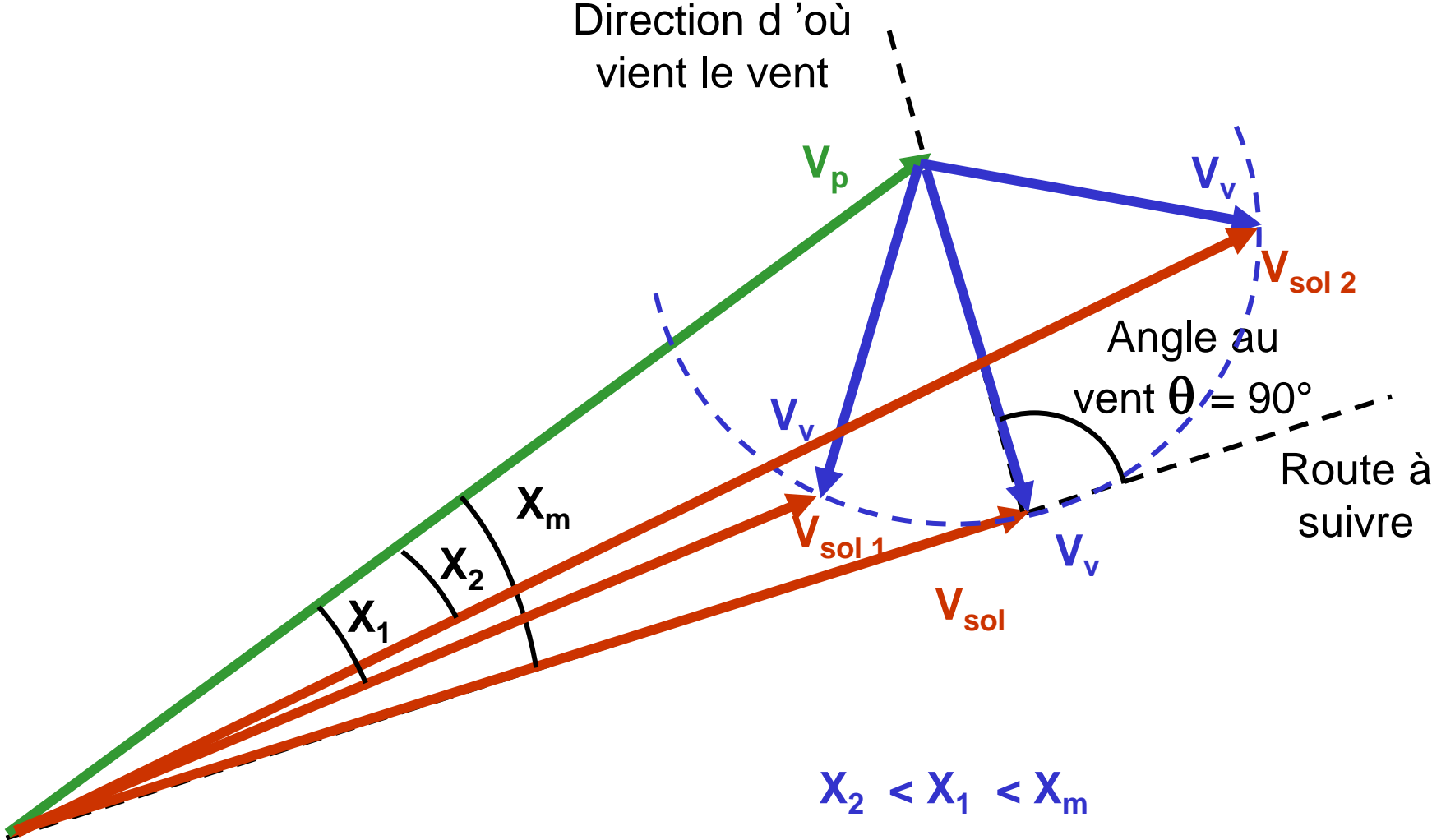
# Notion de dérive



# Correction de la dérive



# Dérive maximum



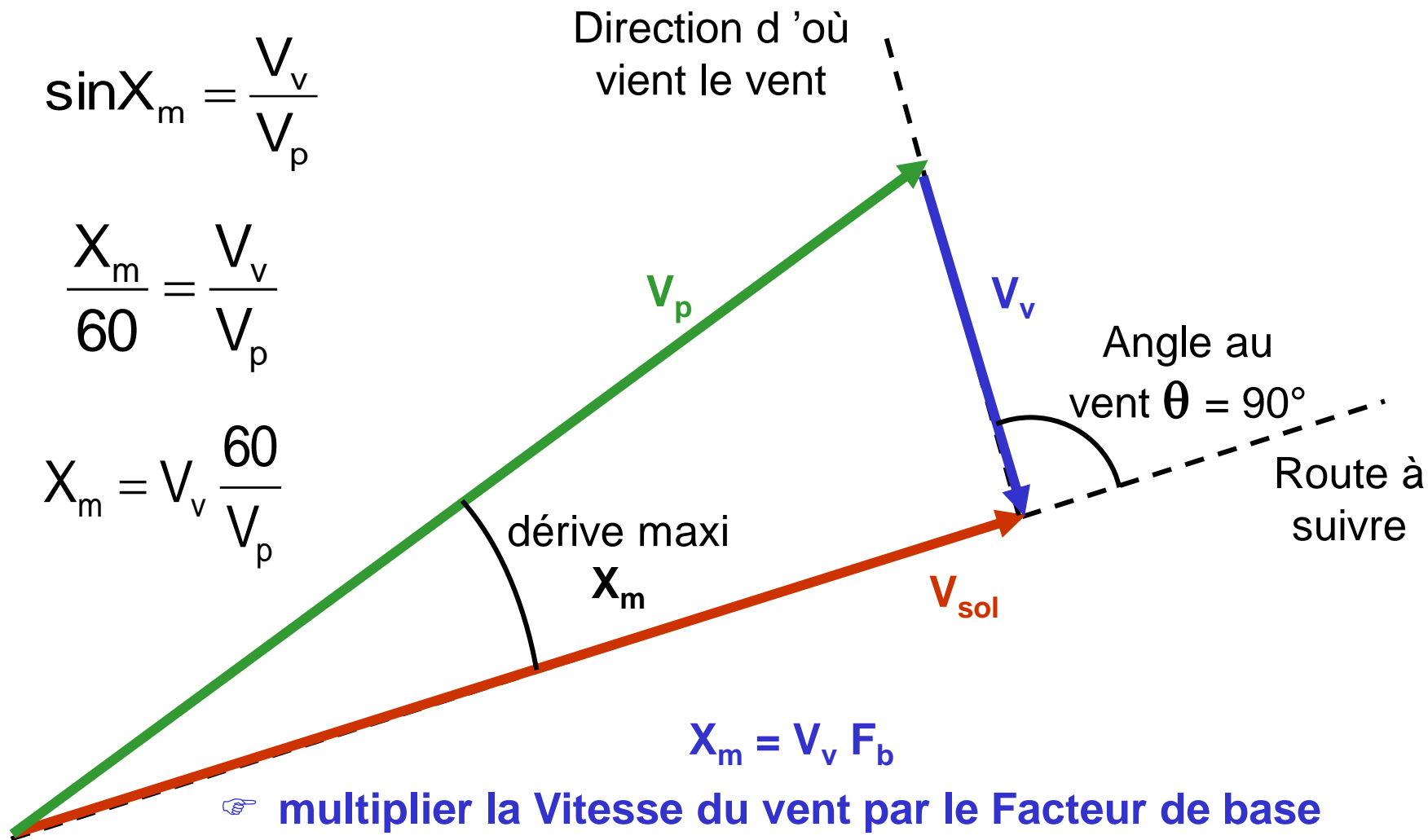
👉 quand le vent est perpendiculaire à la route, la dérive est maximum !

# 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

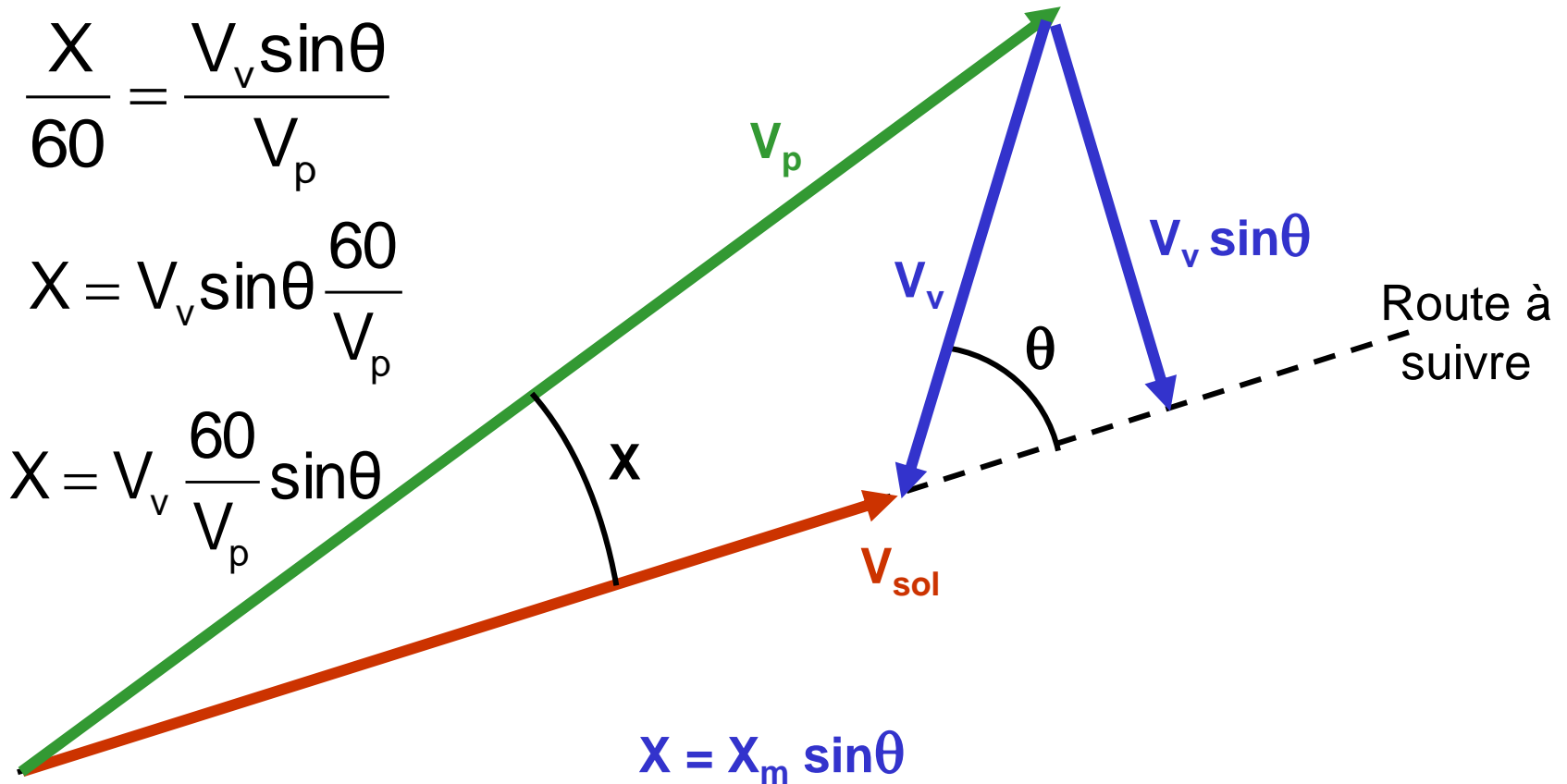
$$\sin X = \frac{V_v \sin \theta}{V_p}$$

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

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

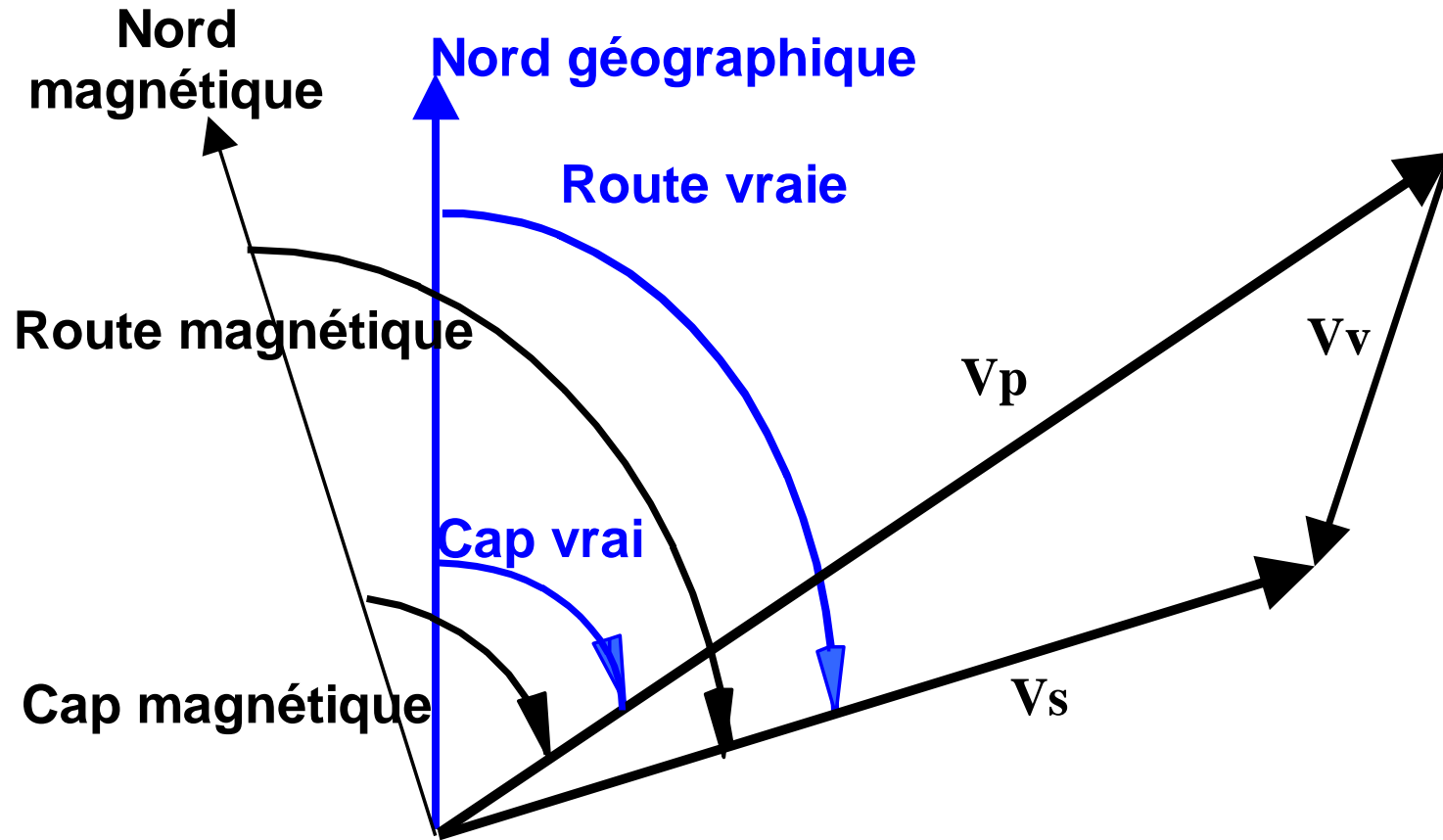
$$X = V_v \frac{60}{V_p} \sin \theta$$

$$X = X_m \sin \theta$$



☞ 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)**

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

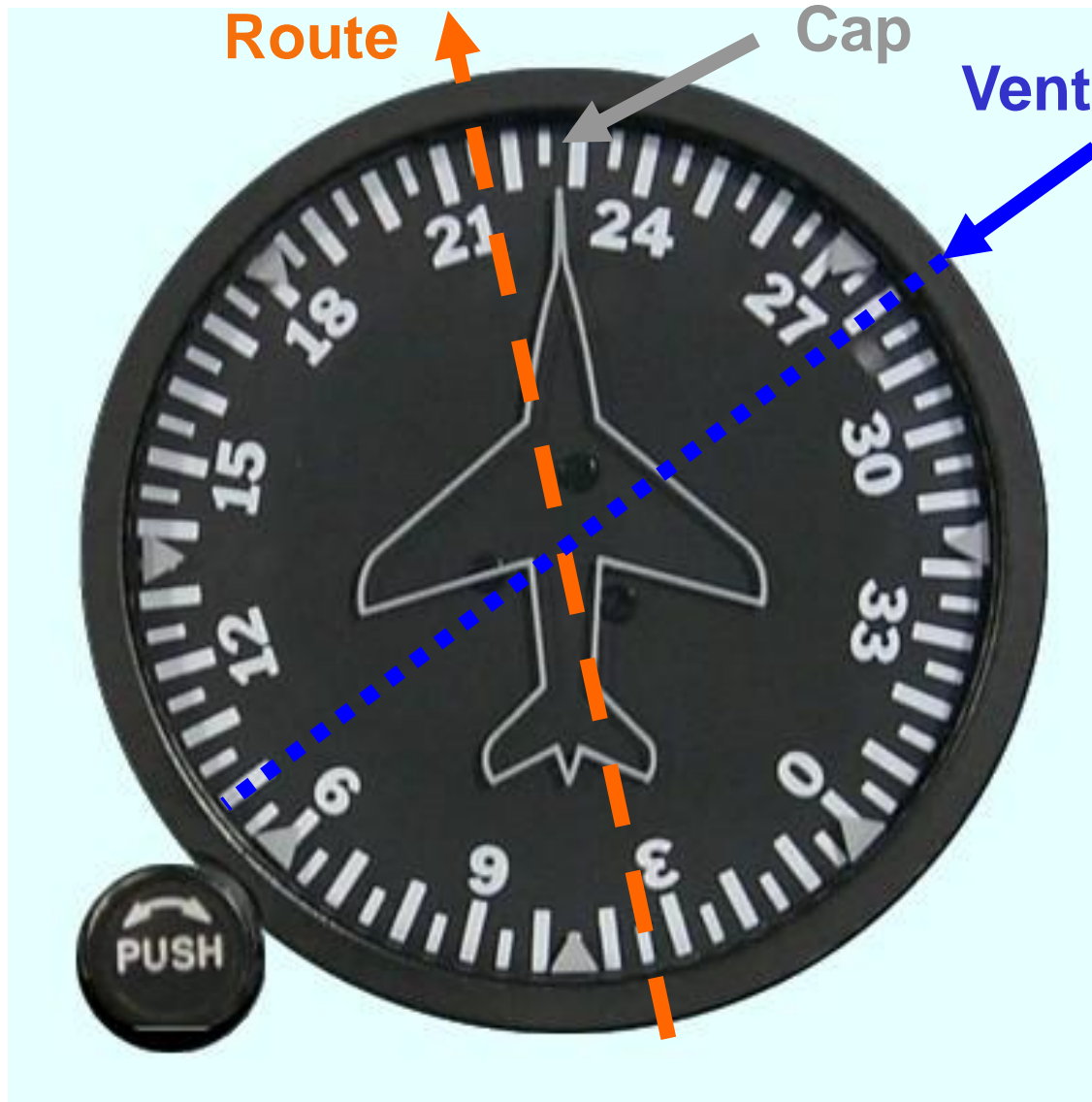
- ajouter (+) dérive à route si vent à droite (augmenter le cap) ;
- la retrancher (-) si vent à gauche (diminuer le cap).

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"





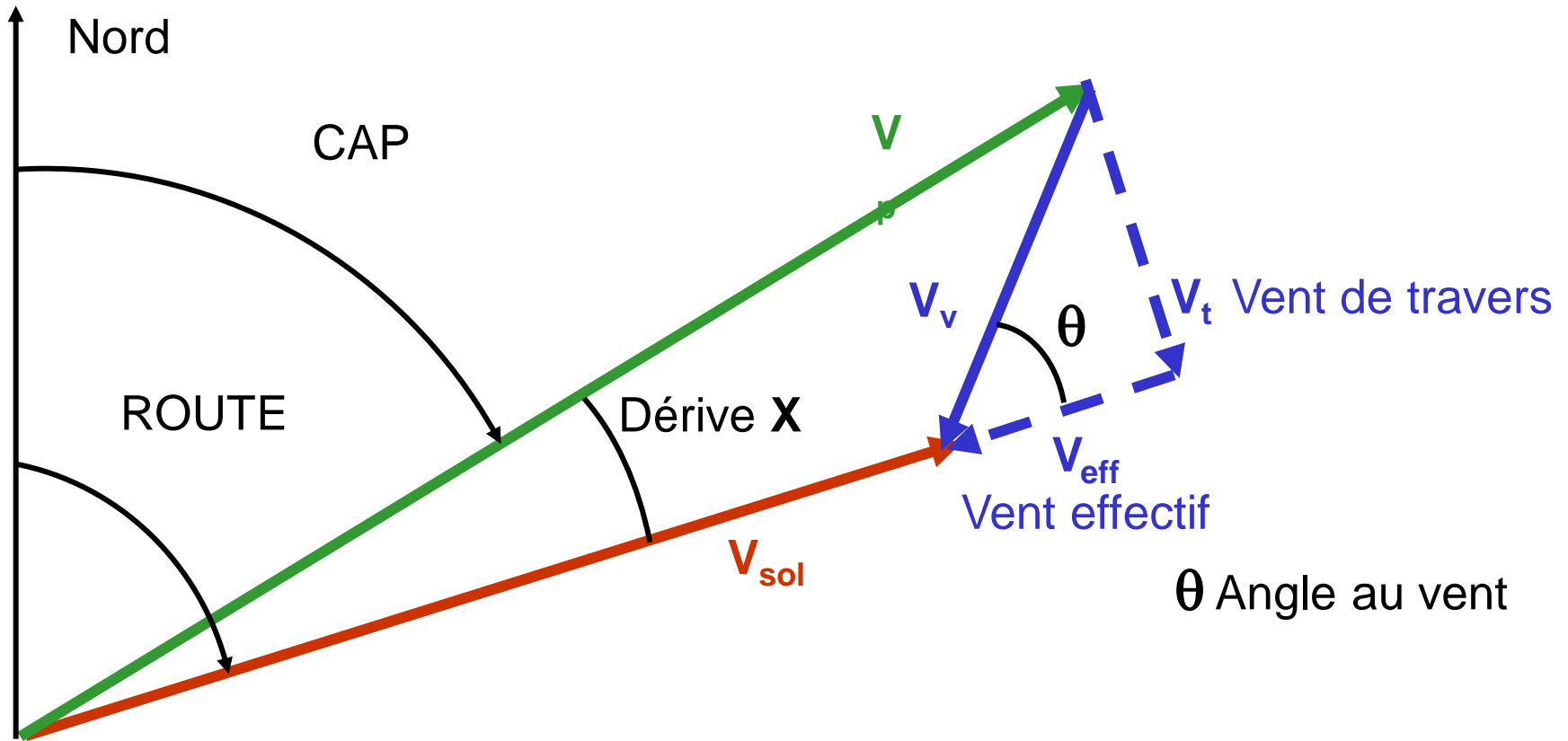
# Résolution du triangle des vitesses

**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

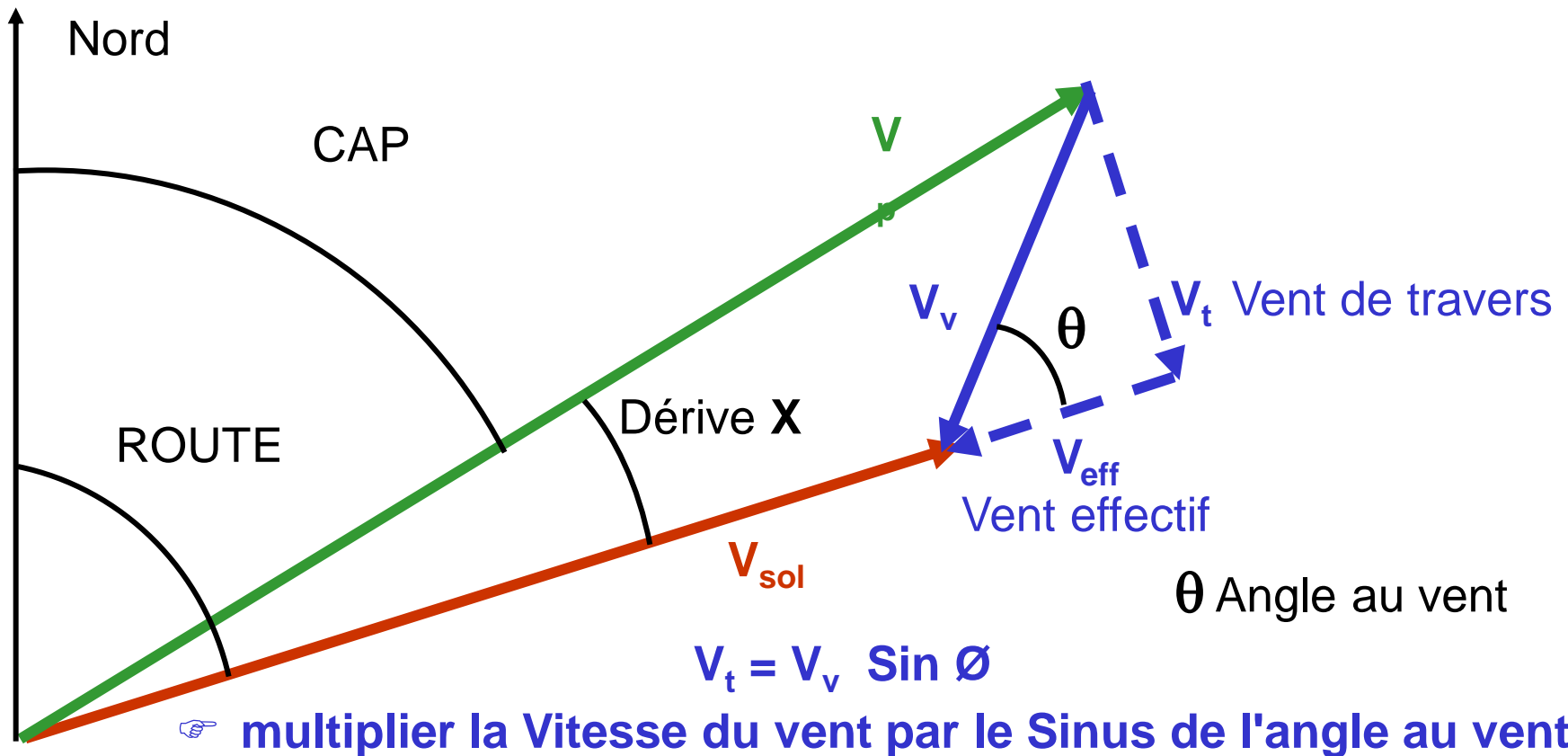


$$V_{sol} = V_p \pm V_{eff}$$

- 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  $90^\circ$  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  $V_{\text{eff}}$  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  $\Delta T$  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  $t = \frac{-V_{\text{eff}}}{V_p}$   $V_{\text{eff}} = V_v \cos \theta$  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  $60t = -V_v \cdot \cos \theta \cdot F_b$

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

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

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  $\frac{\text{Secondes}}{\text{Minute}}$ )

# 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  $\Delta T$  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 :  $070^\circ$  (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  $318^\circ$ ), 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 =  $339^\circ$ ), 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