

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse



Principes élémentaires de navigation

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Avant de débiter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Présentation du cours



- Introduction.
- La Terre.
- Les données de navigation.
- Orthodromie et loxodromie.
- La radionavigation.
- La navigation verticale.
- Les cartes.
- Conclusions.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

Introduction



- Depuis que l'homme existe, il a cherché à se situer.
- Pour atteindre cet objectif, il a dû découvrir son environnement : sa région, son continent, la Terre, le système solaire, les galaxies et encore au-delà.
- Le fait de se rendre d'un point à un autre s'appelle la navigation.
- Il existe donc la navigation terrestre, maritime, aérienne et spatiale.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

La Terre



- La Terre est une des huit planètes constituant le système solaire.
- Il existe d'autres planètes appelées « planètes naines ».

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

La Terre

- Le système solaire fait lui-même partie d'une galaxie appelée « Vie Lactée ».
- Grâce au télescope Hubble, nous avons pu découvrir d'autres galaxies de différentes formes.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

La Terre

Caractéristiques de la planète Terre

- La Terre est généralement considérée comme une sphère.
- En réalité, la Terre est un géoïde : elle est légèrement aplatie aux pôles.
- Facteur d'aplatissement :

$$\frac{12\,756,8\text{ km} - 12\,713,6\text{ km}}{12\,756,8\text{ km}} = 0,0034, \text{ soit environ } 1/300$$


© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

La Terre

Caractéristiques de la planète Terre

- Calculons le diamètre moyen de la Terre :

$$\frac{12\,756,8\text{ km} + 12\,713,6\text{ km}}{2} = 12\,735,2\text{ km}$$

- Rayon moyen : 6 367,6 km.
- Circonférence moyenne : 40 008,8 km.
- Pour le reste de l'exposé, nous retiendrons que la Terre est une sphère parfaite, sauf indications contraires.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique de Toulouse

La Terre

Mouvements de la Terre

- La Terre tourne autour du Soleil suivant une orbite elliptique :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

La Terre

Mouvements de la Terre

- La Terre tourne sur elle-même, mais son axe de rotation est incliné par rapport à son plan d'orbite.
- La Terre effectue un tour complet en 24 heures; ce qui représente une vitesse angulaire de 15° à l'heure.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

La Terre

Mouvements de la Terre

- Pour un observateur situé au-dessus du Pôle Nord, la Terre tourne sur elle-même suivant un mouvement anti-horaire.
- Pour un observateur situé sur la surface de la Terre et regardant en direction du Pôle Nord, les astres se déplacent suivant un mouvement apparent de la droite (Est) vers la gauche (Ouest).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation

Introduction

- Le problème général de la navigation aérienne consiste à déplacer un aéronef d'un point à un autre sur la surface de la Terre.
- Trois paramètres sont à définir :
 - La position d'un point (coordonnées terrestres + altitude).
 - La direction ou l'orientation sur la Terre (angle).
 - La distance entre la position actuelle ou de départ et celle de destination ou des points de survol.
- Par ailleurs, il est important de synchroniser la navigation par rapport à une unité de temps.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation

Introduction

- Plusieurs éléments sont à connaître ou à déterminer :
 - Le point de départ.
 - Le point d'arrivée (destination).
 - Les points de survol (waypoints).
 - Les routes aériennes (airways).
 - Les zones de contrôle.
 - Les vitesses (air et sol).
 - Les obstacles et zones interdites.
 - Etc.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation

Introduction

- Afin d'aider le pilote dans sa tâche, à l'heure actuelle, ce sont les différents systèmes de radionavigation et inertiels qui sont utilisés :
 - Navigation à courte distance (< 200 NM) : ADF, DME et VOR.
 - Navigation à longue distance : GNSS et IRS/INS.
- Dans les aéronefs modernes, tous ces systèmes sont devenus des capteurs alimentant en données pertinentes des ordinateurs de bord qui prendront en charge la gestion de la navigation dans son ensemble : RNAV (Area Navigation) connus aussi sous les noms de FMS (Flight Management Systems) ou de NMS (Navigation Management Systems).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation

Les différentes façons de naviguer

- Origine à destination : souvent des vols très courts et VFR.
- Origine, succession de balises, destination : en général pour les vols plus longs.
- Origine, routes aériennes, destination : navigation encadrée par des routes aériennes clairement paramétrées.
- Origine, succession de points de survol, destination : navigation à l'aide de systèmes permettant la création de points de survol fictifs (WPT-Waypoints).
- Toutes combinaisons des précédentes.
- Souvent, la navigation s'effectuera en trois dimensions à chaque instant en intégrant l'altitude (VNAV-Vertical Navigation).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation

Les différentes approches aux aéroports

Approches de non précision :

- Guidage latéral seulement, souvent avec l'ADF.

Approches de précision :

- Guidage latéral.
- Guidage sur la pente d'approche.
- Information de distance jusqu'au seuil de piste.
- Hauteur de décision requise.
- ILS (LOC et G/S) et DME, GPS + SBAS ou MLS.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

GRAND CERCLE :

Intersection de la surface de la sphère par un plan passant par son centre. Un grand cercle partage toujours la sphère en deux parties égales.
Exemple : l'Équateur

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

L'ÉQUATEUR :

C'est un grand cercle particulier dont le plan est perpendiculaire à la ligne des pôles.
Il partage la Terre en deux hémisphères :
• l'Hémisphère Nord ou Boréal
• l'Hémisphère Sud ou Austral

© Département d'avionique Document à des fins de formation

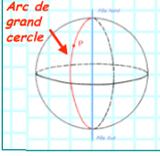
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

Arc de grand cercle :
Arc de cercle (entre deux limites) pris sur un grand cercle.
Exemple : un méridien.
Un méridien et l'antiméridien correspondant forment un grand cercle.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

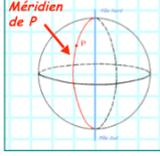
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

Méridien de P :
Le méridien d'un point de la surface de la Terre est le demi grand cercle passant par le point et s'arrêtant aux pôles.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

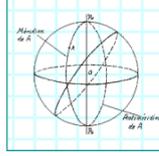
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

ANTIMÉRIDEN :
L'antiméridien d'un point de la surface de la Terre est le demi grand cercle opposé au méridien de ce point.
C'est en particulier le méridien de l'antipode de ce point.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

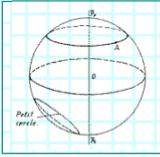
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

PETIT CERCLE :
Intersection de la surface de la sphère par un plan ne passant pas par son centre.
Exemple : un parallèle.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

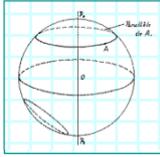
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

PARALLÈLE :
Petit cercle dont le plan est parallèle à l'équateur.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

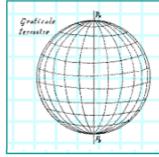
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Quelques définitions :

GRATICULE TERRESTRE :
Réseau des méridiens et des parallèles imaginé sur la surface de la sphère terrestre.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

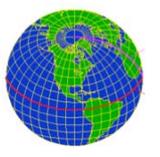
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Comment définir la position d'un point sur la Terre ?

- Déterminer la **position** d'un point à la surface de la Terre va consister à définir l'**intersection** d'un **méridien** avec un **parallèle**.
- Pour cela, il faut définir un **méridien** comme **référence** ainsi qu'un **parallèle**.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

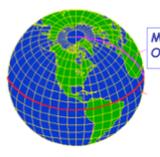
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Comment définir la position d'un point sur la Terre ?

- Le méridien de référence est appelé **Méridien Origine**.
- Il passe par le village anglais de **Greenwich**.
- À partir de ce méridien origine, on comptera également le **temps universel coordonné (UTC)**.



© Département d'aviation Document à des fins de formation

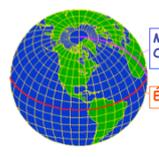
ENNA École nationale aérospatiale et aéronautique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Comment définir la position d'un point sur la Terre ?

- Le parallèle de référence est l'**Équateur**.
- Il est à noter que l'Équateur est le seul parallèle qui est aussi un **grand cercle**.

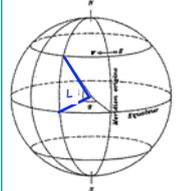


© Département d'aviation Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres



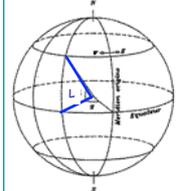
- La latitude (L) :
- La latitude est l'angle que fait le rayon terrestre au point considéré avec le plan de l'Équateur.
- Les latitudes sont comptées de 0° à 90° en précisant « nord » (N, +) ou « sud » (S, -) suivant l'hémisphère du point considéré.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres



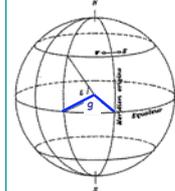
- La latitude (L) :
- Latitude de l'Équateur : 0°.
- Latitude du Pôle Nord : 90°N.
- Latitude du Pôle Sud : 90°S.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres



- La longitude (g) :
- La longitude est l'angle que fait le plan méridien du point considéré avec le plan méridien de Greenwich.
- Les longitudes sont comptées de 0° à 180° en précisant « est » (E) ou « ouest » (W) par rapport au Méridien de Greenwich.
- Si le Nord est situé au-dessus, l'Est sera à droite et l'Ouest à gauche.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres



- La longitude (g) :
- Longitude du Méridien de Greenwich : 0°.
- Longitude des pôles : indéterminée.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Les latitudes et longitudes :



Nord
Sud
Ouest
Est

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Les coordonnées terrestres

• Exemples :

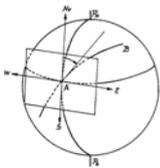
- La latitude L d'un point situé sur le parallèle 8°28'12" Nord s'écrira : « L = 082812 N » ou « L = 0828200 N ».
- La latitude L d'un point situé sur le parallèle 15°04'04" Sud s'écrira : « L = 150404 S » ou « L = 1504067 S ».
- La longitude g d'un point situé à 120°48'55" à l'ouest de Greenwich s'écrira : « g = 1204855 W » ou « g = 12048917 W ».
- La longitude g d'un point situé à 5°28'30" à l'est de Greenwich s'écrira : « g = 0052830 E » ou « g = 00528500 E ».

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Orientation sur la Terre



- Les tangentes aux méridiens et aux parallèles indiqueront les quatre points cardinaux :
- Nord.
- Sud.
- Est.
- Ouest.
- Il s'agit d'orientation « vraies » car basées sur la direction du nord vrai (Nv).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

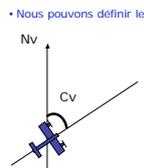
ENNA École nationale aérospatiale et technique

Les données de navigation

Orientation sur la Terre

• Nous pouvons définir le cap vrai Cv :

- Il s'agit de l'angle entre :
 - Le nord vrai (fixé par la direction du méridien qui passe par l'aéronef).
 - L'axe longitudinal de l'aéronef.
- Le cap est croissant de 0 à 360°, dans le sens horaire.
- Le cap est indiqué par trois chiffres.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aérospatiale et technique

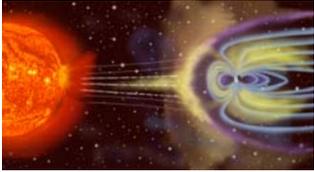
Les données de navigation

Orientation sur la Terre

- Or, depuis de nombreux siècles, l'instrument de base servant à la navigation est la boussole.
- La boussole prend référence sur le nord magnétique.
- La terre est un immense aimant causé probablement par son noyau fer-nickel en fusion.
- Le champ est orienté dans la direction pôle Nord-pôle Sud et vaut environ 0,32 Gauss à l'équateur et 0,62 Gauss aux pôles.
- Le champ magnétique terrestre ne se limite pas aux environs immédiats de la Terre.
- En fait, il s'agit d'un système plus complexe appelé magnétosphère.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

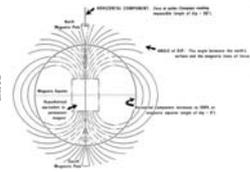
Les données de navigation
Orientation sur la Terre



• La **magnétosphère** est l'**environnement magnétique** de la Terre.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation
Orientation sur la Terre



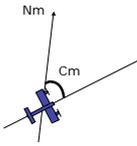
- La Terre **tourne** autour d'un **axe Nord-Sud** et **pivote** autour des **deux pôles géographiques**.
- Non loin du **Pôle Nord géographique** se situe le **Pôle Nord magnétique**, où se **rejoignent** les **lignes de force du champ magnétique terrestre**.

• Le **Pôle Nord Magnétique se déplace**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation
Orientation sur la Terre

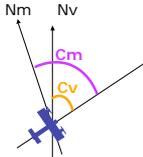
- La référence pour la **radionavigation** sera le **nord magnétique**.
- Nous pouvons définir le **cap magnétique** C_m :



- Il s'agit de l'**angle** entre :
 - Le **nord magnétique** (fixé par la direction donnée par la boussole).
 - L'**axe longitudinal** de l'aéronef.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation
Orientation sur la Terre



- Pour passer du **cap magnétique** au **cap vrai** ou vice versa, il faut connaître l'**écart angulaire** entre le **nord vrai** et le **nord magnétique** pour la position actuelle de l'aéronef.
- Cet écart angulaire s'appelle la **déclinaison magnétique** V (*Variation*).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

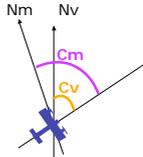
Les données de navigation
Orientation sur la Terre

- La **déclinaison magnétique** se trouve sur les **cartes** identifiée par les **lignes isogones**.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation
Orientation sur la Terre



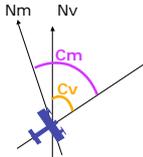
Déclinaison W : V est négative
Déclinaison E : V est positive

$C_v = C_m + V$
 $C_m = C_v - V$

- **Exercice** : un aéronef est à CYHU ou la déclinaison magnétique est 16W.
- **Si le cap magnétique = 240, quel sera le cap vrai ?**
 $C_v = 240 + (-16) = 224$
- **Si le cap magnétique = 006, quel sera le cap vrai ?**
 $C_v = 006 + (-16) = 350$

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation
Orientation sur la Terre



Déclinaison W : V est négative
Déclinaison E : V est positive

$C_v = C_m + V$
 $C_m = C_v - V$

- **Exercice** : un aéronef est à CYHU ou la déclinaison magnétique est 16W.
- **Si le cap vrai = 240, quel sera le cap magnétique ?**
 $C_m = 240 - (-16) = 256$
- **Si le cap vrai = 006, quel sera le cap magnétique ?**
 $C_m = 006 - (-16) = 022$

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation
Orientation sur la Terre



- À bord d'un aéronef, le pilote prendra sa référence de cap sur la **boussole magnétique (Compass)**.
- Or cette boussole embarquée est influencée par la **masse métallique de l'avion** ainsi que par les équipements de bord générant des **ondes électromagnétiques parasites**.
- Un **écart** existe donc entre le **champ magnétique terrestre** et l'**indication de la boussole**.
- Cet écart est appelé « **déviaton** » (d).
- La **déviaton** est propre à chaque aéronef et est indiquée sur la **carte de compensation** de la boussole.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les données de navigation
Orientation sur la Terre

- En résumé, il y a donc **trois caps** qu'il faut définir :



Le **CAP VRAI** (C_v) } Déclinaison magnétique (V)
Le **CAP MAGNETIQUE** (C_m) }
Le **CAP COMPAS** (C_c) } Déviaton (d)

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Les données de navigation

Les distances

- Historiquement, il y a toujours eu deux grands courants de pensée en ce qui concerne les unités :
 - Le système français (métrique).
 - Le système anglo-saxon.



- Pour ce qui est de l'unité angulaire, le système français était basé sur le « grade ».
- Il faut 400 grades pour effectuer un tour complet.
- La circonférence de la Terre étant de 40 000 Km environ, à 1 grade correspond 100 Km de circonférence et, dès lors, à 1/100e de grade correspond un kilomètre de circonférence.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Les données de navigation

Les distances

- Historiquement, il y a toujours eu deux grands courants de pensée en ce qui concerne les unités :
 - Le système français (métrique).
 - Le système anglo-saxon.
- L'unité angulaire du système anglais est basé sur le « degré ».
- Il faut 360 degrés pour effectuer un tour complet.
- Un degré se décompose en minutes et secondes; il faut 3600 secondes pour faire un degré et 60 secondes pour faire une minute.
- Une minute d'arc de grand cercle prise sur la Terre correspond à un mille nautique (NM-Nautical Mile).
- La circonférence de la Terre équivaut donc à 21 600 NM.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Les données de navigation

Les références de temps

- Toute navigation doit requérir à une synchronisation temporelle.
- En effet, le pilote doit déterminer :
 - L'heure de départ.
 - Les heures de passage aux différents points de route.
 - L'heure d'arrivée (ETA = « *Estimated Time of Arrival* »).
 - Temps restant pour atteindre un point de route ou la destination (ETE = « *Estimated Time Enroute* »).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Les données de navigation

Les références de temps

- Les horloges des avions modernes sont des équipements très sophistiqués et de grande précision.
- De leur information de temps dépendent beaucoup de paramètres.
- Exemple : Airbus A340 :



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Les données de navigation

Les références de temps

- Le temps universel est basé sur l'heure présente du Méridien de Greenwich; on parlera de temps universel coordonné ou UTC (« *Coordinated Universal Time* »).



© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Les données de navigation

Les références de temps

- Aux environs de l'antiméridien de Greenwich, on trouve la ligne de changement de date :
 - Une heure peut être considérée comme « locale ».
 - L'heure UTC se dit « zoulou ».
 - Au Québec, le fuseau horaire s'appelle « heure nationale de l'Est (HNE) ».
 - Par rapport à l'heure UTC :
 - Été : **HNE = UTC - 4h00**
 - Hiver : **HNE = UTC - 5h00**

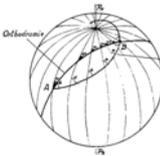


© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Orthodromie et Loxodromie

Orthodromie



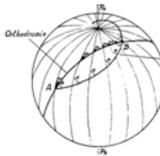
- La plus courte distance entre deux points situés sur une sphère est un arc de grand cercle passant par ces deux points.
- Une navigation suivant cet arc est appelée « orthodromie ».
- Cette méthode de navigation est utilisée pour les vois à longue distance car la route suivie sera la plus courte.
- La route suivie selon une orthodromie coupe les méridiens suivant des angles différents; il faut continuellement corriger le cap de l'aéronef.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

Orthodromie et Loxodromie

Loxodromie



- Une navigation suivant une route passant par deux points et coupant tous les méridiens avec le même angle est appelée « loxodromie ».
- Cette méthode de navigation est plus facile à appliquer car on maintient le même cap tout au long du trajet.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École Nationale Aéronautique

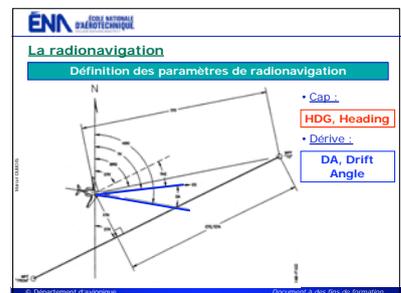
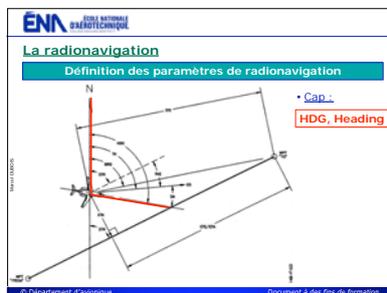
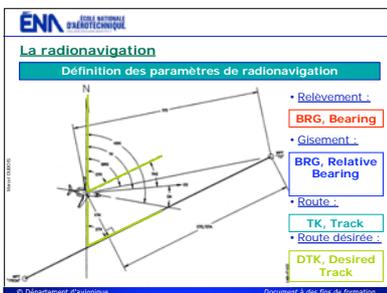
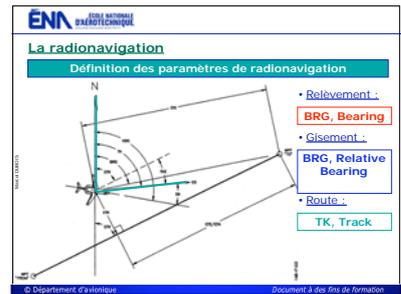
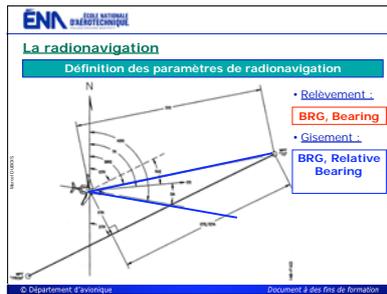
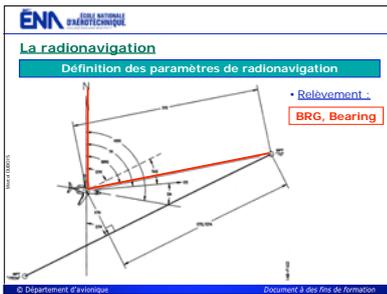
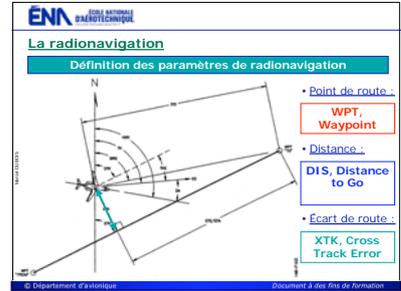
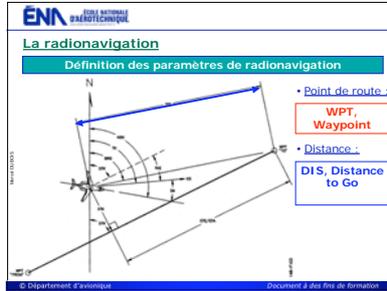
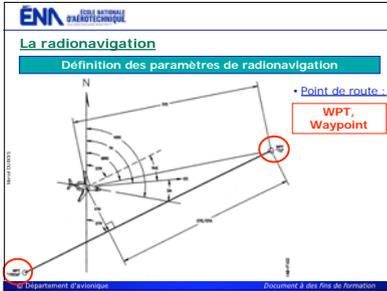
La radionavigation



- En aéronautique, il existe deux méthodes de naviguer :
 - Navigation observée.
 - Navigation à l'estime.



© Département d'avionique Document à des fins de formation



La radionavigation

Définition des paramètres de radionavigation

- Cap :
- **HDG, Heading**
- Dérive :
- **DA, Drift Angle**
- **TKE, Track (Angle) Error**

© Département d'avionique Document à des fins de formation

La radionavigation

Détermination de la position

Lorsqu'on effectue une navigation par rapport à des balises ou des satellites, plusieurs possibilités existent afin de déterminer la position relative d'un aéronef par rapport à ces balises ou satellites :

Un angle θ et une distance ρ par rapport à une balise au sol

© Département d'avionique Document à des fins de formation

La radionavigation

Détermination de la position

Lorsqu'on effectue une navigation par rapport à des balises ou des satellites, plusieurs possibilités existent afin de déterminer la position relative d'un aéronef par rapport à ces balises ou satellites :

Deux angles, θ_1 et θ_2 , par rapport à deux balises au sol

© Département d'avionique Document à des fins de formation

La radionavigation

Détermination de la position

Lorsqu'on effectue une navigation par rapport à des balises ou des satellites, plusieurs possibilités existent afin de déterminer la position relative d'un aéronef par rapport à ces balises ou satellites :

Trois distances, ρ_1 , ρ_2 et ρ_3 , par rapport à trois balises au sol ou trois satellites

© Département d'avionique Document à des fins de formation

La radionavigation

Détermination de la position

Lorsqu'on effectue une navigation par rapport à des balises ou des satellites, plusieurs possibilités existent afin de déterminer la position relative d'un aéronef par rapport à ces balises ou satellites :

Deux jeux d'hyperboles comprenant trois foyers

© Département d'avionique Document à des fins de formation

La navigation verticale (VNAV)

Un aéronef évoluant en trois dimensions, le pilote doit naviguer non seulement horizontalement, mais également verticalement.

Les systèmes de navigation par satellites peuvent donner une position verticale, mais, malgré tout, ce sont les centrales aérodynamiques (ADC-Air Data Computers) qui seront les capteurs de position verticale sur les aéronefs modernes.

Pour rappel, il existe trois types de mesures verticales :

- **ALTITUDE** : mesurée à l'aide de l'altimètre calé en QNH.
- **NIVEAU DE VOL** (altitude-densité) : mesuré à l'aide de l'altimètre calé sur 29,92 in Hg ou 1013,25 mb.
- **HAUTEUR** : mesurée par le radioaltimètre.

L'unité de mesure en usage en aéronautique est le pied (Foot-Feet).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

Les cartes sont une représentation plane d'une partie de la surface de la Terre.

Les éléments sont représentés sur la carte par une dimension correspondant à une fraction de la dimension réelle.

Cette fraction est appelée l'échelle (Scale) :

Échelle = Distance sur la carte / Distance sur la Terre

Exemple : 1 km représenté sur une carte au 1/25 000e aura quelle longueur sur la carte ? Réponse : 40 mm.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

L'échelle est indiquée sur toutes les cartes :

1:2 400 000.
1in = 38 miles.
1cm = 24 km.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

Le problème consiste à représenter la surface sphérique de la Terre sur une surface plane.

Trois propriétés de canevass peuvent être définies :

- **Canevas équivalent** : équivalence des surfaces et des aires.
- **Canevas équidistant** : équivalence des distances.
- **Canevas conforme** : équivalence des angles.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

• Pour réaliser les cartes terrestres, une méthode de projection particulière sera utilisée afin de respecter l'une ou l'autre des trois propriétés précédentes :

Projection cylindrique Projection conique Projection plane

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

• Pour réaliser les cartes terrestres, une méthode de projection particulière sera utilisée afin de respecter l'une ou l'autre des trois propriétés précédentes :

Tangente Sécante Diamétrale

Directe ou polaire

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

• Pour réaliser les cartes terrestres, une méthode de projection particulière sera utilisée afin de respecter l'une ou l'autre des trois propriétés précédentes :

Oblique Transverse Equatoriale

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

Projection cylindrique conforme de Mercator

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

Projection conique de Lambert

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

Projection stéréographique polaire conforme

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

Projection orthodromique ou gnomonique

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

• Sur la carte AIR 5002, quel type de projection a été utilisée ?

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Les cartes

Les représentations électroniques des cartes

• Les cartes générées électroniquement sur les écrans EFIS sont habituellement :

- Projection conique de Lambert pour la navigation « en route ».
- Projection cylindrique transverse de Mercator lors des approches.

• Ceci est un bon compromis permettant de respecter les formes, les distances et les directions.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aéronautique et astronautique

Conclusions



- Il est important pour le technicien en avionique de comprendre les principes élémentaires de navigation.
- Le compréhension des méthodes de navigation permet aussi de comprendre les algorithmes des systèmes de gestion de la navigation.
- En cas de dysfonctionnement d'un système de navigation, la compréhension des méthodes de navigation pourra aussi aider le technicien à identifier la cause d'un problème.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

ENNA École nationale aéronautique et astronautique



Merci de votre attention

© Département d'avionique Document à des fins de formation