

Navigation, réglementation, sécurité des vols



Table des matières

1. Navigation	5
1.1. Repérage terrestre	5
1.2. Cartographie	6
1.3. Échelle et mesure de distance	7
1.4. Orientation sur Terre	9
1.5. Cap, vitesse, route	11
1.6. Mesure du temps	12
2. Cartographie aéronautique	13
2.1. Les cartes de navigation	13
2.2. Les cartes d'approche	15
3. Navigation aérienne	17
3.1. Préparation d'une navigation	17
3.2. Instruments d'assistance à la navigation	19
4. Réglementation aérienne	20
4.1. Droit aérien, agences nationales et internationales	20
4.2. Contrôle des aéronefs	21
4.3. Régime de vol	22
4.4. Organisation de l'espace aérien	23
4.5. Règles de survol, de priorité et d'anti-abordage	26
5. Aérodrome : infrastructure et procédures spécifiques	28
5.1. Infrastructure aéroportuaire	28
5.2. Procédures	30
6. Sécurité des vols	32
6.1. Gestion des risques	32
6.2. Performances humaines et limites	33
6.3. Prise de décision et culture de la sécurité	36

1. Navigation

La navigation aérienne est la connaissance instantanée de la position exacte de l'aéronef dans l'environnement qui l'entoure afin de déterminer la route à suivre pour arriver à destination. À l'exception des cas où cela est mentionné, nous nous intéressons à la navigation à altitude constante ramenée à la trajectoire sur la surface terrestre.

1.1. Repérage terrestre

La Terre est une sphère dont le rayon mesure 6378 m. Elle tourne autour du soleil en suivant une trajectoire elliptique presque circulaire en 365,25 jours et sur elle-même en 24 h. L'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire au plan contenant sa trajectoire autour du soleil ou _____ : l'angle entre l'axe et une droite perpendiculaire au plan est de $23^{\circ} 27'$.

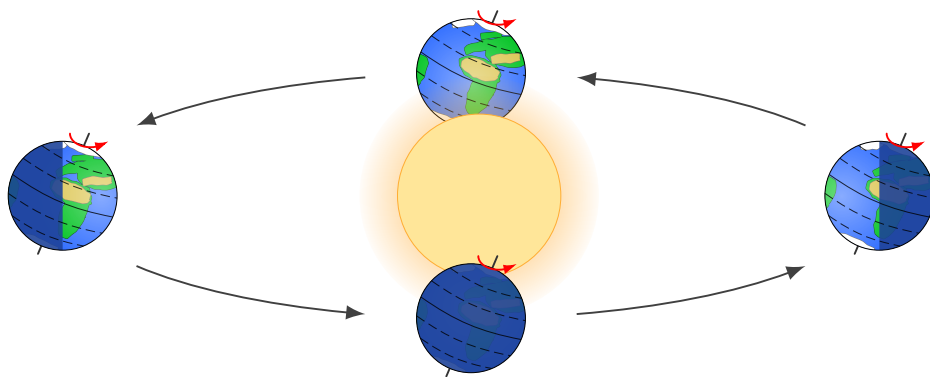


Figure 1 – Ensemble Terre-Soleil

Pour déterminer un point sur la surface terrestre (sans considération d'altitude), il est nécessaire d'avoir deux coordonnées. On définit pour cela deux types de courbes tracées sur la surface terrestre :

- les _____ qui sont des demi-cercles joignant les deux pôles ;
- les _____ qui sont des cercles correspondant à l'intersection entre la sphère terrestre et un plan perpendiculaire à l'axe de la Terre.

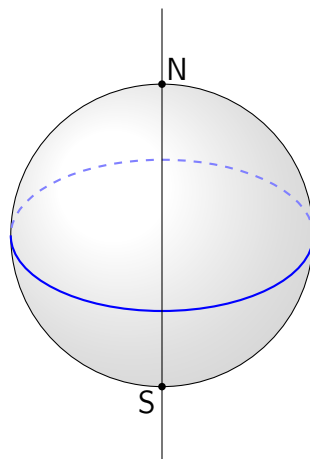


Figure 2 – Parallèles et méridiens

Exercice 1

Calculons la circonférence de la Terre :

Chaque point est ainsi déterminé par sa _____ et sa _____ :

- la longitude est un angle compris entre -180° (ou 180°W) et $+180^\circ$ (ou 180°E), l'origine correspondant à un méridien particulier, _____ ;
- la latitude est un angle compris entre -90° (ou 90°S) et $+90^\circ$ (ou 90°N), l'origine correspondant à un parallèle particulier, _____.

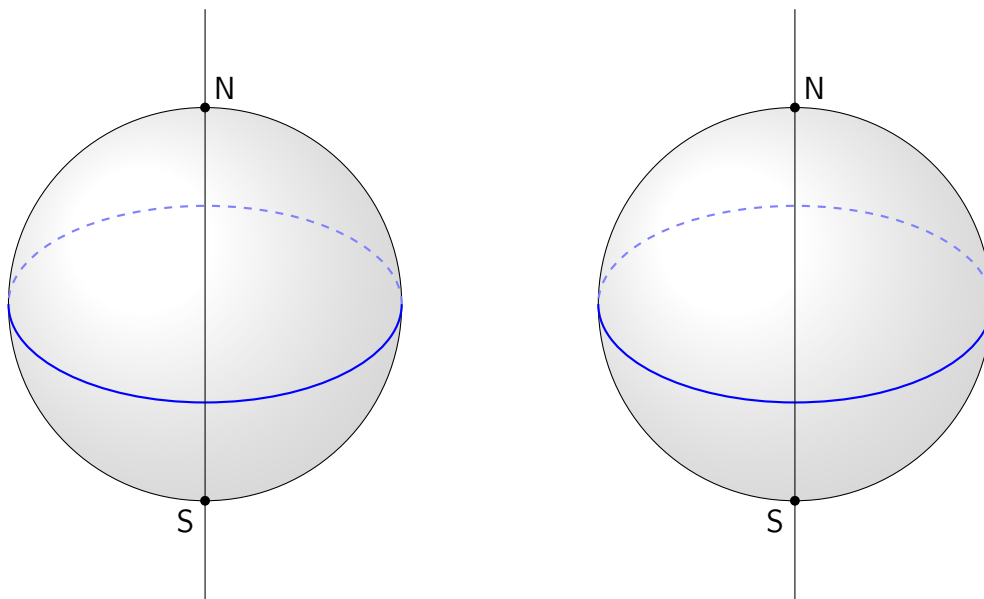


Figure 3 – Latitude et longitude

Remarque : le lycée Franco-Allemand de Buc a pour coordonnées $N48.771\ E002.121$ ou $N48^\circ46'14''\ E002^\circ07'16''$.

1.2. Cartographie

La cartographie terrestre consiste à transformer la surface terrestre sphérique en surface plane. À des fins d'utilisation pour la navigation, il est nécessaire de s'interroger sur la conservation :

- _____ pour mesurer la distance franchissable ;
- _____ pour se diriger.

On utilise deux méthodes principales pour cartographier la terrestre qui consistent à projeter la surface terrestre sur une surface développable voulue :

- la projection type Mercator, où on entoure la Terre d'un cylindre qui est ensuite « déroulé » ;
- la projection type Lambert, où on utilise un cône qui est ensuite « déroulé ».

Pour ces deux projections, les angles sont conservés mais pas les distances. Pourtant, pour une zone plus réduite de la Terre, les variations sont suffisamment faibles pour considérer que les distances et les angles sont assez proches de ceux sur la Terre sphérique.

Pour la carte « OACI VFR » de la France permettant la navigation à vue, on a choisi une représentation de type Lambert (le cône étant choisi de façon précise).

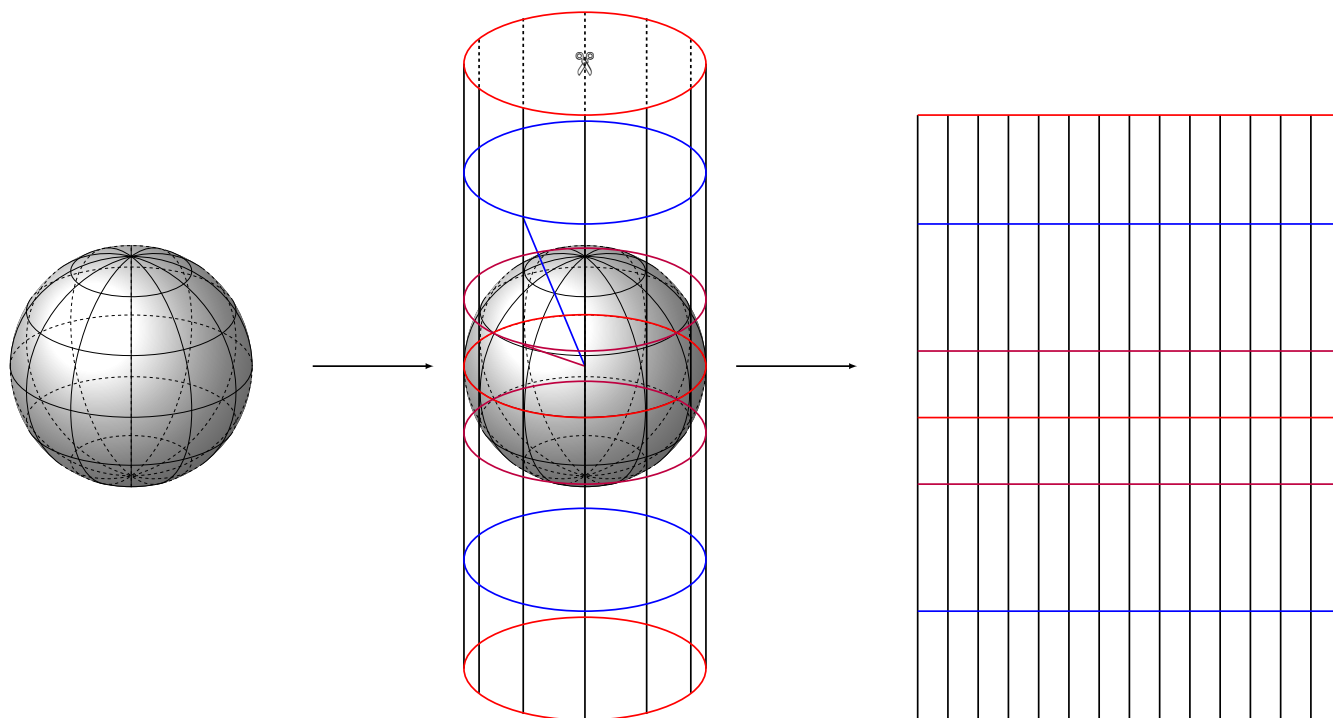


Figure 4 – Projection de Mercator

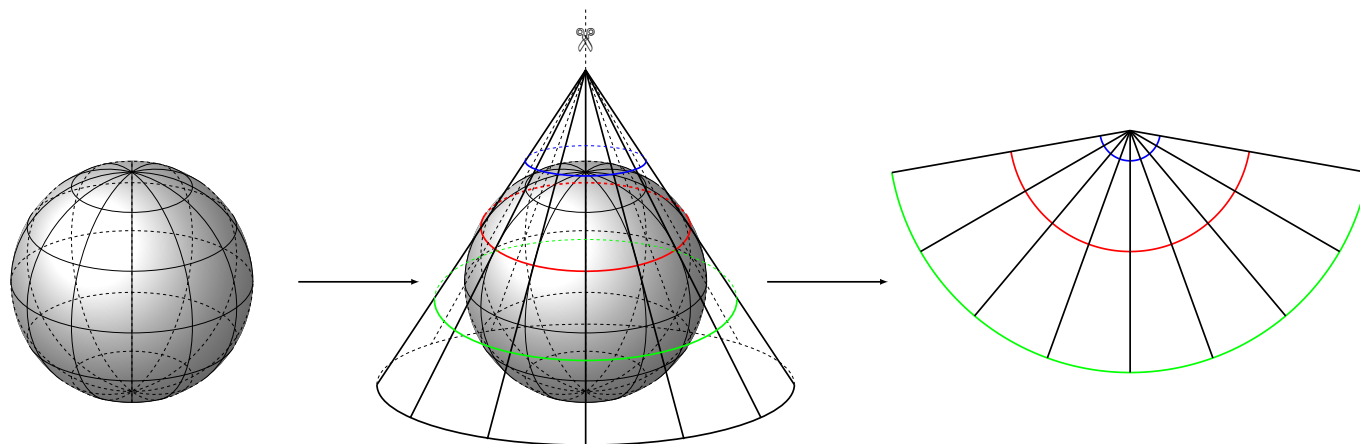


Figure 5 – Projection de Lambert

1.3. Échelle et mesure de distance

On appelle échelle d'une carte le rapport entre la distance sur la carte et la distance réelle **exprimées dans la même unité**. Ainsi, sur une carte $1/500000^e$, 1 cm correspond à 500 000 cm en réalité.

L'unité de distance habituelle en navigation aérienne est le _____ qui s'écrit NM (pour *nautical mile* en anglais). Celle-ci est définie comme la longueur à l'équateur correspondant à un angle de 1'.

Exercice 2

Calculons en km la distance correspondant à un mille nautique :

puis calculons la distance entre les aérodromes de Toussus (LFPN) et de Chartres (LFOR) sur la carte suivante (dont l'échelle n'est pas donnée mais qu'on considère constante sur cette petite partie de la Terre) :



1.4. Orientation sur Terre

Historiquement, la navigation s'effectue avec une boussole qui pointe vers _____ de la Terre. La Terre comporte en son centre un noyau métallique (du fer et du nickel) essentiellement sous formes solide et liquide. Les mouvements internes de ce noyau créent un _____ qu'on représente généralement sous la forme de l'illustration ci-après.

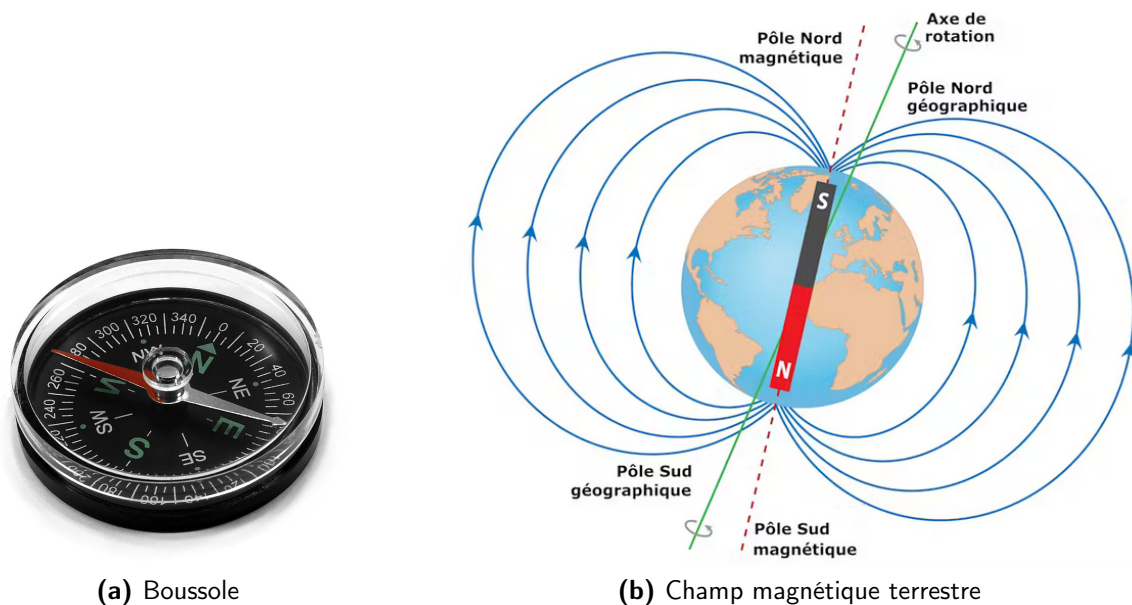


Figure 6 – Utilisation du magnétisme terrestre

Comme représenté sur la figure précédente, le **nord magnétique** n'est pas situé au même endroit que le **nord géographique** (ou _____ en aéronautique). Ces deux points ont des définitions différentes :

- le nord géographique est l'intersection entre l'axe de rotation de la terre et la surface terrestre situé dans l'hémisphère nord ;
- le nord magnétique est défini comme le point vers lequel pointe le pôle nord d'un _____ (qui est le principal constituant d'une boussole).

Dans la partie du cours sur les instruments, le _____ est exactement une boussole facilement lisible en vol.



Figure 7 – Compas magnétique

Ainsi, outre les corrections inhérentes aux perturbations des parties métalliques de l'avion, il faut prendre en compte le fait que le nord magnétique ne donne pas la direction du nord vrai et établir des cartes pour

corriger cette différence. De plus, le nord magnétique bouge au cours du temps.

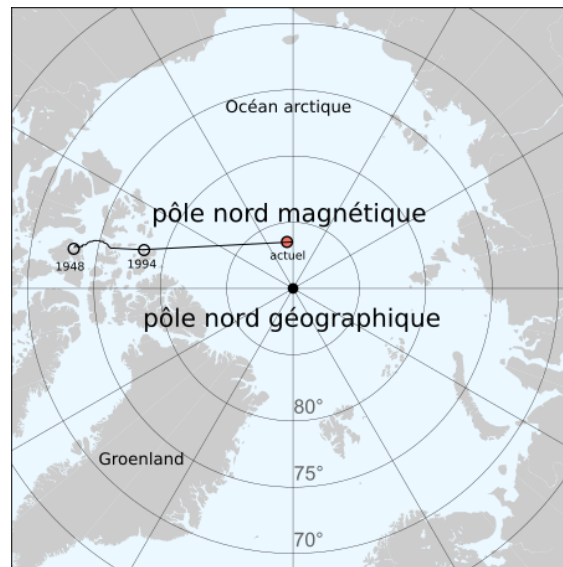


Figure 8 – Position du nord magnétique au cours du temps

On définit ainsi la _____ qui établit le lien entre le nord vrai et le nord magnétique sous la forme d'un angle. Celle-ci est variable selon la position sur la Terre et dans le temps (nécessité de modifier les cartes d'une année sur l'autre).



Figure 9 – Déclinaison magnétique

Remarque : on pourra constater qu'il ne s'agit pas de lignes sur la carte. En effet, on n'oubliera pas les difficultés pour représenter la Terre sous forme de carte.

Si on note D_m la déclinaison magnétique (négative vers l'ouest et positive vers l'est), θ_m la direction magnétique et θ_v la direction vraie, on a la formule :

$$\theta_v = \theta_m + D_m$$

qui est une égalité entre angles.

On peut examiner ceci avec les dessins figurant sur la page suivante et sur lesquels on donne l'indication de la boussole de l'avion (le compas, sur lequel les parties métalliques de l'avion sont négligées ou corrigées).

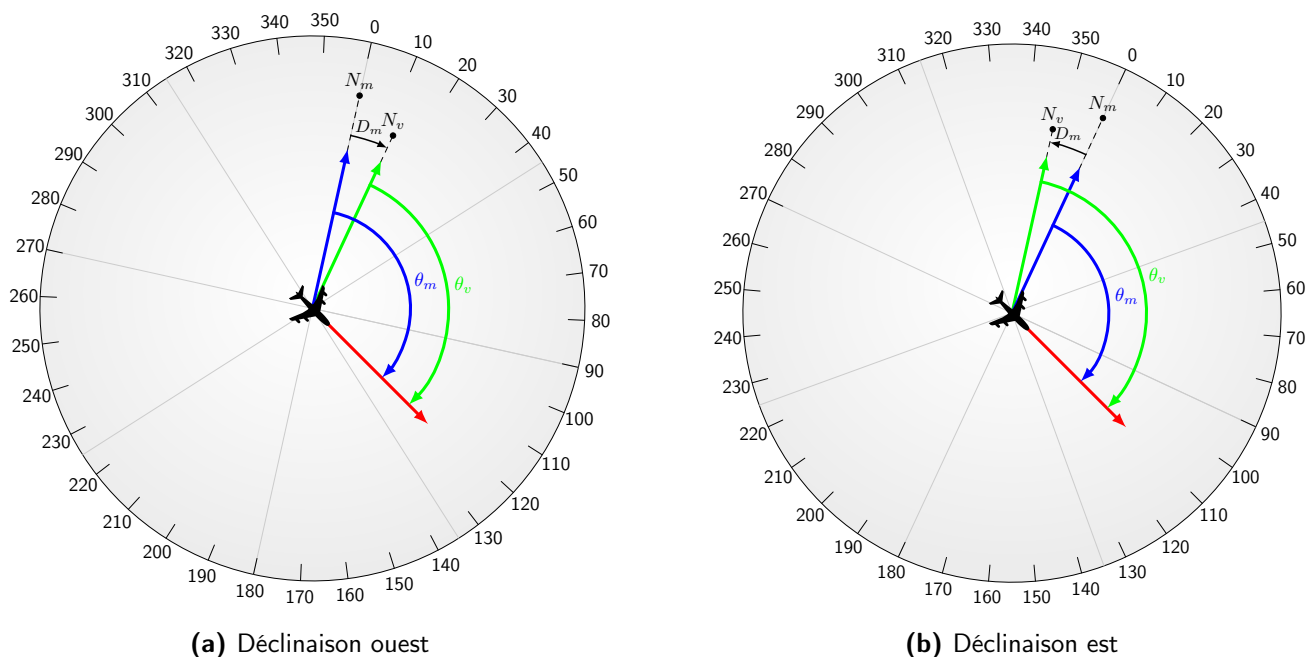


Figure 10 – Calculs et déclinaison magnétique

1.5. Cap, vitesse, route

Dans la partie précédente, nous avons mentionné la « direction » magnétique ou vraie. De façon précise, on a les définitions suivantes :

- le _____ vrai (C_v) ou magnétique (C_m) est la direction dans laquelle pointe l'avion ;
- la _____ vraie (R_v) ou magnétique (R_m) est la direction de la trajectoire suivie par l'avion.

Ces deux grandeurs s'expriment en degrés (à partir du pôle Nord ou magnétique selon les cas) et peuvent être différentes selon le vent.

Pour connaître le comportement du vent, on doit donner :

- sa _____ (parfois appelé « sa force ») ;
- son _____ ;
- sa _____ ;

ce qui indique qu'une représentation vectorielle est parfaitement adaptée. Ainsi, pour un vent, on donnera simplement un angle α et une vitesse v qui signifie que le vent vient de la direction α et va vers la direction $\alpha + 180$ ou $\alpha - 180$ (pour que l'angle reste dans l'intervalle $[0, 360[$) et qu'il a une vitesse de v nœuds.

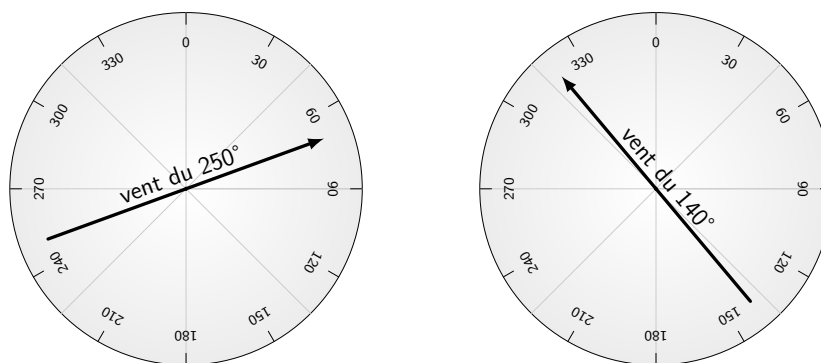


Figure 11 – Direction du vent (même vitesse)

Ainsi, la route d'un avion n'est pas confondu a priori avec son cap sauf si le vent est nul ou a la même direction que l'axe de l'avion. Sinon, en considérant que la ou le pilote est aux commandes (et regarde vers l'avant) :

- le cap est _____ que la route si le vent vient de la droite ;
- le cap est _____ que la route si le vent vient de la gauche ;

en considérant les cas où on dépasse 360° qu'on soit en cap et route magnétiques ou en cap et route vrais. La différence d'angle dépend de la vitesse _____ et du vent subi (_____, _____ et _____).

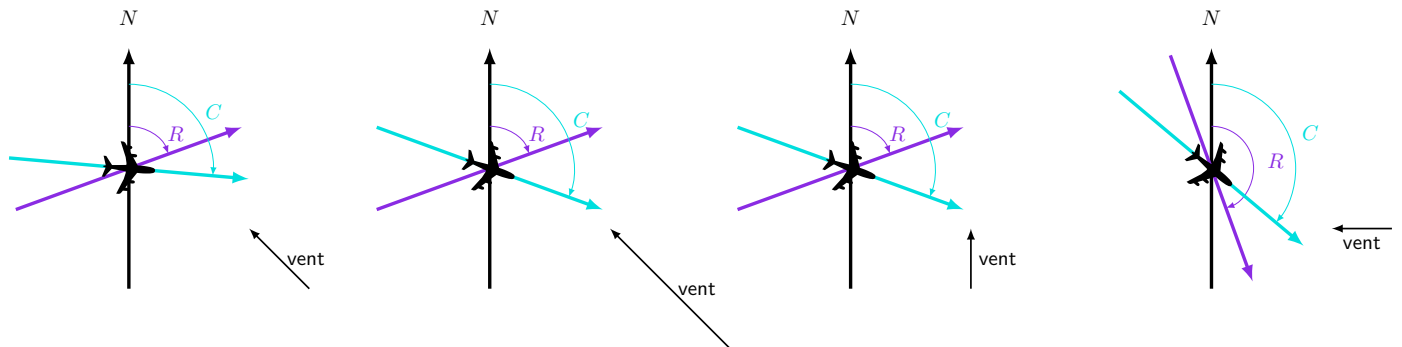


Figure 12 – Relation vent-route-cap

1.6. Mesure du temps

Comme nous l'avons évoqué plus haut, la terre réalise un tour sur elle-même en 24 h. Cette durée correspond au temps nécessaire pour que le soleil revienne au zénith d'un point d'observation.

De la même manière qu'il a été choisi de considérer le méridien de Greenwich comme origine des longitudes, il a été choisi de considérer ce même méridien comme origine des temps. Ainsi, lorsque le soleil passe le méridien de Greenwich, il est universellement 12 h. Ceci définit l'heure _____, selon l'abréviation anglaise _____.

Cette heure UTC n'est pas particulièrement adaptée à la vie quotidienne et l'on utilise plus couramment _____, définie pour chaque point sur terre de telle sorte que le soleil passe au zénith du point considéré à 12 h.

On comprend aisément que l'heure locale, en l'état, ne peut pas convenir non plus. Afin d'éviter des changements d'heure trop fréquents, on a donc défini _____ ou _____, permettant d'avoir la même heure sur une zone géographique importante. Dans l'idéal, il convient de diviser la Terre en _____ puisque _____. Dans la pratique, les fuseaux horaires ont une forme plus complexe.

Enfin, l'heure de fuseau peut être modulée localement par une loi d'état. C'est par exemple le cas en France : l'heure théorique est l'heure _____ mais entre le dernier weekend de mars et le dernier weekend d'octobre l'heure d'été est utilisée et correspond à l'heure _____.

Une dernière distinction est enfin à prendre en compte : la distinction entre jour et nuit. Sous nos latitudes, on considère que :

- la nuit aéronautique débute _____ ;
- la nuit aéronautique se termine _____.

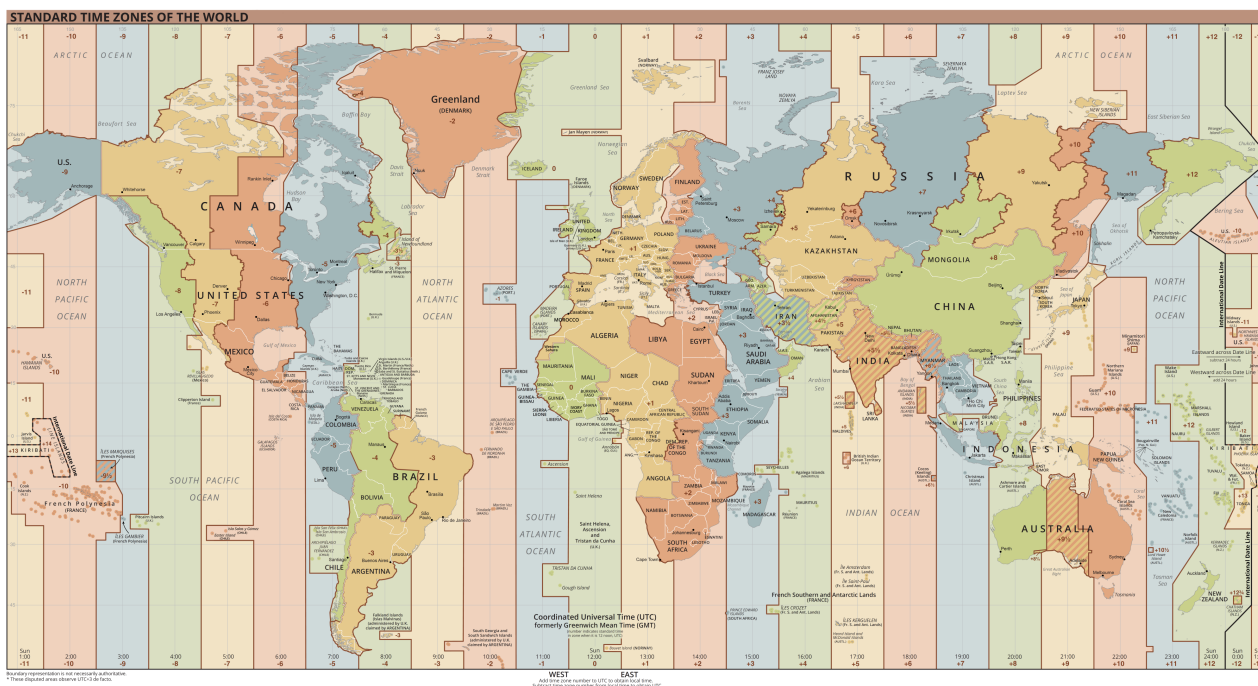


Figure 13 – Carte des fuseaux horaires.

2. Cartographie aéronautique

Pour la préparation et la conduite des vols, différents types de cartes sont utilisés selon les phases de vol. Nous verrons dans cette section les différences entre ces cartes et, sans rentrer dans le détail, nous étudierons quelques-unes des informations qu'elles contiennent.

2.1. Les cartes de navigation

Pour la phase de vol en route, il est nécessaire de choisir des cartes pour lesquelles les échelles sont petites, de manière à pouvoir représenter le trajet à suivre sur un document réduit.

Trois échelles sont couramment utilisées pour la navigation aérienne à vue, permettant d'obtenir un compromis entre la couverture (permettant de se déplacer loin) et la précision géographique (permettant d'identifier des repères au sol).

L'échelle _____ est utilisée pour les navigations de grande distance. À cette échelle, la France est couverte en deux cartes (Nord et Sud) éditées par le SIA (Service de l'Information Aéronautique).

L'échelle _____ est utilisée pour les navigations de moyenne distance. À cette échelle, la France est couverte en quatre cartes (Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest) éditées par l'Institut Géographique National (IGN) pour les informations géographiques, en partenariat avec le SIA pour les informations aéronautiques.

L'échelle _____ est utilisée pour les navigations de plus courte distance et/ou dans des zones densément peuplées. Il existe 6 cartes à cette échelle, couvrant les grandes métropoles (Lyon, Paris, Marseille, Strasbourg, Toulouse, Nice), éditées par le SIA.

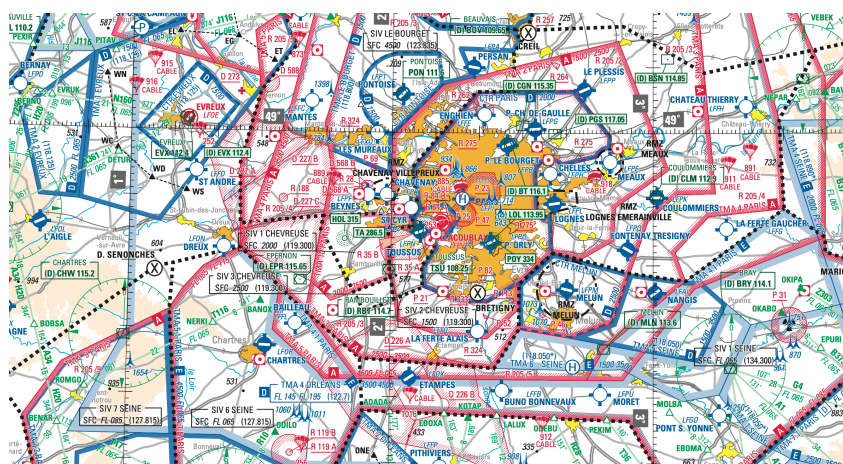


Figure 14 – Extrait de la carte 1/1 000 000 centré sur Toussus-le-Noble.



Figure 15 – Extrait de la carte 1/500 000 centré sur Toussus-le-Noble.

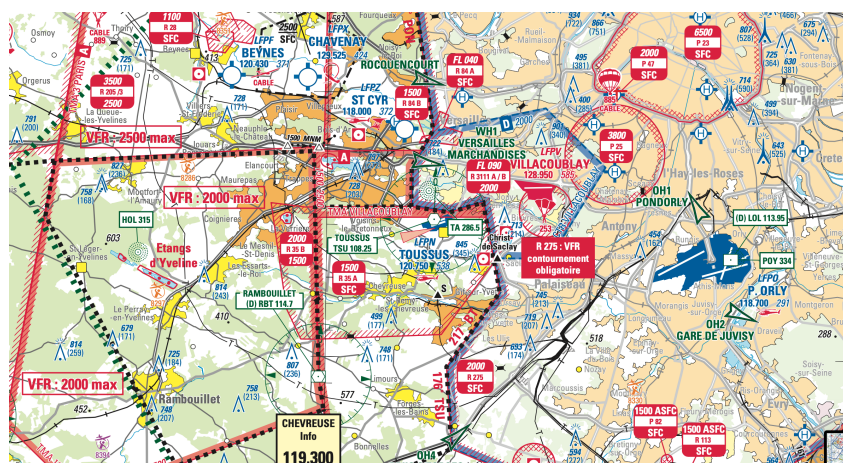


Figure 16 – Extrait de la carte 1/250 000 centré sur Toussus-le-Noble.

Remarque : L'échelle utilisée sur ces trois figures n'est pas respectée mais le facteur d'échelle est le même pour les trois figures et permet de se faire une idée de la zone géographique couverte. En effet, pour ces trois figures, nous avons isolé trois zones dont les dimensions sont similaires, et couvrant donc une partie de plus en plus réduite de la région parisienne.

Pour la navigation aux instruments, où le repérage de points significatifs au sol n'a plus d'importance, on utilise deux cartes à l'échelle 1/2 000 000, couvrant chacune la France entière mais à des niveaux de vols différents.

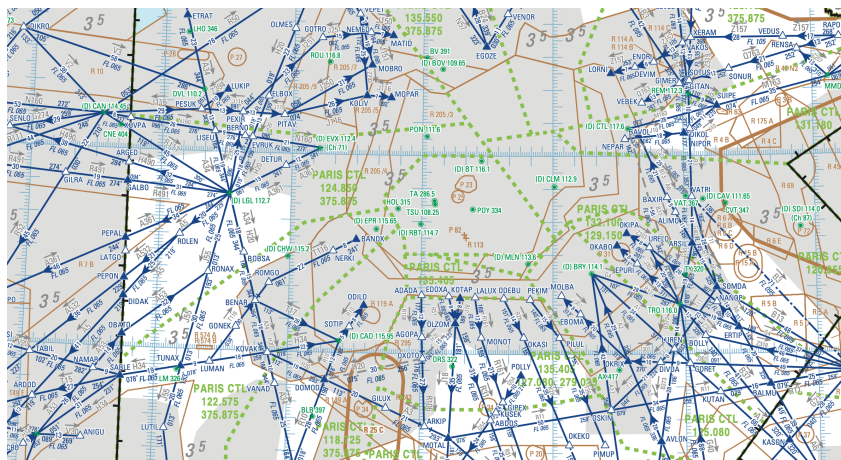


Figure 17 – Extrait de la carte 1/2 000 000 (espace inférieur) centré sur Toussus-le-Noble.

2.2. Les cartes d'approche

Pour les phases de départ et d'arrivée, il est nécessaire d'utiliser des cartes couvrant une zone restreinte autour de l'aérodrome considéré. On utilise pour cela des cartes dites d'*approche* à vue (ou _____), bien que ces cartes soient utilisées pour le départ aussi bien que pour l'approche.

Les échelles utilisées dans les documents d'approche sont très variables et permettent de visualiser l'environnement proche de l'aérodrome. Selon le terrain d'aviation considéré, on fait parfois une distinction entre la carte d'approche à vue et la carte d'atterrissage à vue. La première situe l'aérodrome dans son environnement tandis que la seconde se focalise sur la proximité immédiate des pistes d'atterrissage.

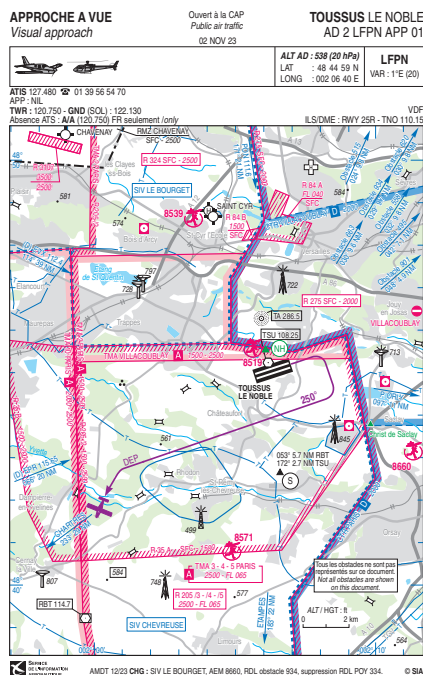
On retrouve sur ces documents des informations diverses concernant le fonctionnement de l'aérodrome :

- la dénomination officielle (complète et codifiée) de l'aérodrome ;
- le type de trafic rencontré (avion, hélicoptère, planeur, ULM, modèle réduit) ;
- la situation géographique (latitude, longitude et altitude) ;
- les fréquences radio utilisées pour échanger avec le contrôle, le cas échéant ;
- les informations à propos des pistes disponibles (longueur, largeur, distance utilisable) ;
- les aides visuelles et les éclairages disponibles ;
- ...

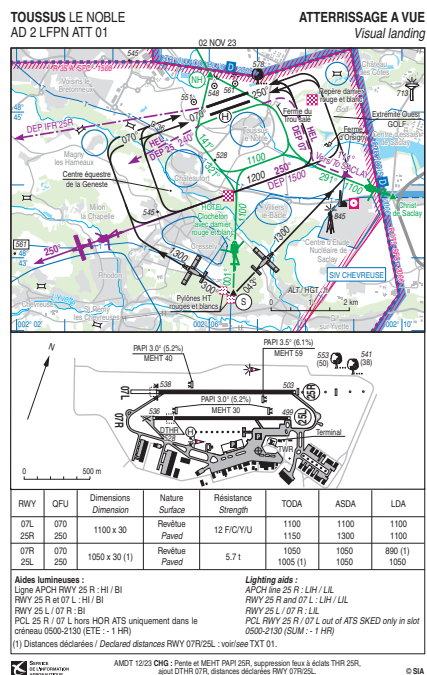
Les cartes, quant à elles, permettent d'identifier :

- les trajectoires à suivre pour rejoindre l'aérodrome ou s'en éloigner ;
- les trajectoires à suivre pour réaliser un circuit de piste, lorsque celui-ci est imposé ;
- le plan des installations (pistes, voies de circulations, parkings, etc.) pour les aérodromes complexes ;
- et toute autre information importante.

Pour le vol aux instruments, des trajectoires sont imposées pour les départs et pour les arrivées. On utilise pour cela des cartes de départs standardisés, d'arrivées standardisées et d'approche aux instruments.

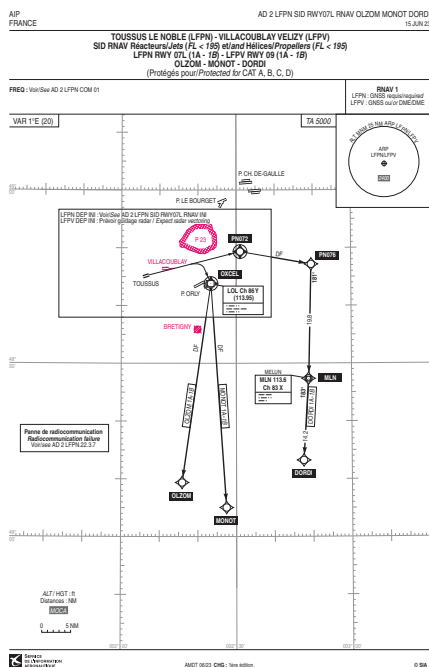


(a) Cartes d'approche à vue.

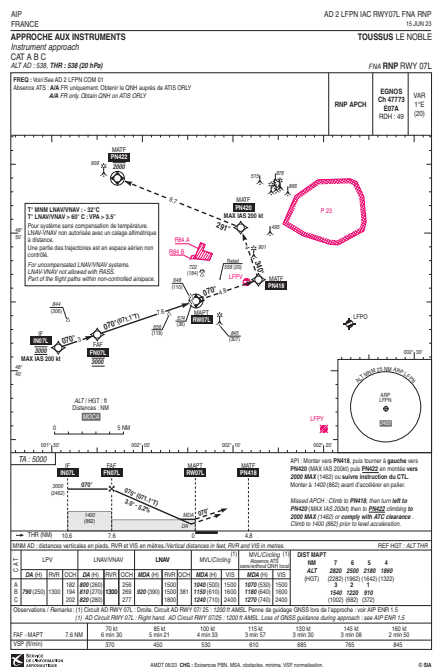


(b) Cartes d'atterrissage à vue.

Figure 18 – Cartes d'approche à vue du terrain de Toussus-le-Noble.



(a) Carte de départ aux instruments.



(b) Carte d'approche aux instruments.

Figure 19 – Extrait des cartes des départs et d'approche aux instruments de Toussus-le-Noble.

3. Navigation aérienne

Il existe trois types de navigations utilisés pour se repérer sur un trajet entre un aéroport de départ et un aéroport de destination :

- _____, dans le quel on suit un repère au sol de manière continue (route, autoroute, fleuve, etc.) ;
- _____, dans laquelle on maintient un cap à l'aide de la boussole ou de l'indicateur de direction pendant un temps pré-calculé afin de se déplacer de point de repère en point de repère ;
- _____, dans laquelle on utilise des balises installées au sol, envoyant des ondes radio et grâce auxquelles il est possible de déterminer sa position.

Il est courant, lors d'un vol, de faire appel à une combinaison de deux ou des trois méthodes de navigation en fonction des zones géographiques survolées, des balises de radionavigation disponibles, de la pertinence des points de repères croisés, etc.

3.1. Préparation d'une navigation

La préparation d'une navigation se fait en deux grandes étapes : une préparation à long terme et une préparation à court terme.

Lors de la préparation à long terme (pouvant être réalisée plusieurs jours ou semaines avant le vol), le pilote va, entre autres choses :

- étudier la carte sur le trajet envisagé pour identifier les moyens de repérages disponibles (repères géographiques et/ou moyens de radionavigation) ;
- choisir un chemin qui lui semble adapté ;
- mesurer l'orientation de chaque branche de la route à suivre par rapport au nord géographique et en déduire la route magnétique ;
- mesurer les distances entre ses différents points de repères ;
- mesurer le temps nécessaire pour aller d'un point à l'autre ;
- choisir les altitudes à utiliser pour les différentes branches.

Lors de la préparation à court (devant être réalisée peu de temps avant le vol, la veille voire le jour même), le pilote va actualiser sa navigation pour prendre en compte les informations météorologiques qu'il rencontrera durant le vol. Ceci lui permettra notamment de :

- déterminer les composantes axiale et de travers du vent sur chacune des branches ;
- calculer la dérive rencontrée et en déduire le cap magnétique à utiliser ;
- calculer la vitesse sol de l'avion et adapter les temps de vol sur chaque branche.

Remarque : Ces deux listes ne sont pas exhaustives. Nous nous sommes volontairement limités ici aux quelques éléments relatifs à l'orientation et au repérage dans l'espace.

On considère une navigation entre Toussus-le-Noble et Chartres effectuée sous le régime de _____ c'est-à-dire un régime de vol dans lequel on navigue en regardant à l'extérieur de l'aéronef par opposition au _____ (des précisions seront apportées plus loin dans le cours).

On donne trois tracés correspondant aux trois types de navigation étudiés précédemment :



Figure 20 – Types de navigation

Éléments relatifs à chaque type de navigation :

3.2. Instruments d'assistance à la navigation

Les principaux instruments de bord permettant de naviguer sont

- le _____, ou _____ qui est un instrument donnant la position de l'aéronef sur une carte terrestre et son altitude ;
- l'_____, ou _____ qui est un instrument constitué d'une flèche pointant dans une direction ;
- le _____, ou _____ qui est un instrument mesurant une distance ;
- le _____, ou _____ dont le fonctionnement est détaillé plus loin.



(a) VOR



(b) ADF



(c) DME

Figure 21 – Instruments utilisant des balises au sol



Figure 22 – GPS

Pour tous ces instruments, l'avion communique par voie hertzienne avec un élément extérieur :

- une _____ au sol dans le cas du VOR, de l'ADF ou du DME qui nécessite de régler une fréquence radio (donnée sur les différentes cartes aéronautiques) et éventuellement un _____ ;
- un ensemble de _____ permettant à l'avion de déterminer sa position spatiale : on peut donner un point vers lequel se diriger ou une route à suivre données sur les différentes cartes aéronautiques.

Si le DME, l'ADF et le GPS ont une utilisation assez clairs (la flèche de l'ADF pointe vers la balise, le DME donne une distance par rapport à la balise, le GPS donne une position sur une carte), le VOR est, quant

à lui, plus complexe. Il est nécessaire de régler la bonne fréquence et de choisir un radial. Le VOR fonctionne ainsi selon le schéma suivant (les numéros représentent la position de l'avion et ce qu'indique le VOR à bord).

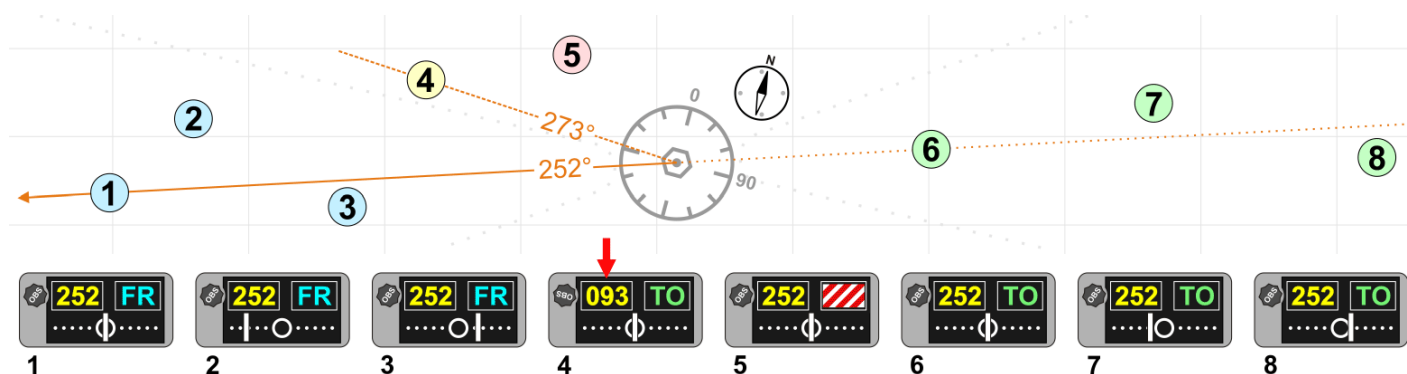


Figure 23 – Fonctionnement du VOR

Remarque : le GPS semble remplacer l'ensemble des autres éléments de radio-navigation. Le nombre de VOR actifs est actuellement en cours de réduction tout comme les ADF. Pourtant, un équivalent du VOR pour les approches appelé ILS (Instrument Landing System) garde une place prépondérante. Les DME restent très présents. En effet, ceci permet de multiplier les types de sources : si les signaux des satellites venaient à être brouillés, la sécurité des vols est maintenue par les stations au sol. En ce qui concerne l'altitude donnée par le GPS, celle-ci ne saurait remplacer l'altimètre à bord qui est beaucoup plus rapide pour transmettre les variations de pression.

4. Réglementation aérienne

Cette partie consiste à présenter quelques règles de circulation et de réglementation aérienne. Un des textes fondateurs du droit aérien (international mais avec des retombées nationales) est la _____ dont l'ancrage historique sera présenté dans la partie sur l'histoire. En résumé, elle affirme :

- la souveraineté de chaque État survolé ;
- le libre survol des pays ayant ratifié la convention ;
- l'obligation de simplifier et d'uniformiser les réglementations techniques.

4.1. Droit aérien, agences nationales et internationales

Pour garantir la sécurité et faciliter la libre circulation des personnes et des biens par le biais du transport aérien civil (le cadre militaire étant plus complexe), les états ont établi des règles communes de droit aérien. Plusieurs organisations participent à l'élaboration de ces règles :

- l'_____ qui dépend de l'ONU et participe à l'élaboration des politiques et des normes qui permettent la standardisation du transport aéronautique international ;
- l'_____ qui participe à l'élaboration des règles de circulation et de sécurité du transport aérien ;

- la _____ qui a pour mission de garantir la sécurité et la sûreté du transport aérien en France.

Le _____ est un code juridique en vigueur regroupant les dispositions juridiques relatives à l'aviation civile en droit français. Il est désormais partiellement inclus dans le Code des transports. Celui-ci fait office de « code de la route » pour le transport aérien.



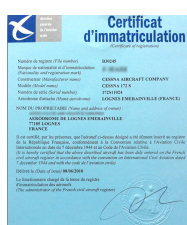
Figure 24 – Logo des organisations et agences

4.2. Contrôle des aéronefs

Comme pour la grande majorité des véhicules, un certain nombre de documents sont nécessaires pour permettre à un aéronef de circuler. Nous donnons ici la liste exhaustive pour un avion, la réglementation étant simplifiée pour certains aéronefs (comme les ULM notamment). Pour avoir l'autorisation de voler, un avion doit posséder à son bord :

- le certificat d'immatriculation (CI) ;
- le certificat de navigabilité (CND) et le certificat d'Examen de Navigabilité (CEN) qui indiquent l'aptitude à voler de l'avion ;
- les licences appropriées pour chaque membre de l'équipage ;
- le carnet de route sur lequel sont portés les renseignements relatifs à l'aéronef, à l'équipage et à chaque voyage ;
- s'il est muni d'appareils radioélectriques, la licence de la station radio de l'aéronef ;
- s'il transporte des passagers, la liste de leurs noms et lieux d'embarquement et de destination ;
- s'il transporte du fret, un manifeste et des déclarations détaillées de ce fret.

D'autres documents relatifs au type de vol effectué peuvent venir compléter cette liste.

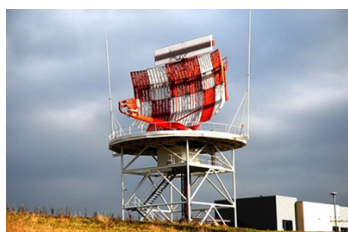


(d) Carnet de route

Figure 25 – Documentation avion

L'aéronef, selon la zone dans laquelle il se déplace, est plus ou moins _____ dans ses déplacements. Nous verrons plus loin la définition précise d'espace aérien contrôlé mais les contrôleurs aériens peuvent disposer de plusieurs moyens pour vérifier le déplacement d'un avion :

- _____ qui affiche sur un écran tout objet volant par un point et différentes informations ;
- _____ qui affiche sur un écran tout aéronef muni d'un _____ (c'est-à-dire un boîtier émetteur d'ondes radio pour lequel est réglé un code à quatre chiffres entre 0 et 7) pour obtenir des informations plus complètes qu'avec le radar primaire ;
- _____ qui permet de communiquer avec les membres d'équipage de l'aéronef.



(a) Antenne radar primaire



(b) Afficheur du radar

Figure 26 – Éléments d'un radar

Les contrôleurs aériens peuvent attribuer un code transpondeur spécifique à un aéronef pour l'identifier sur le radar mais certains codes sont réservés et permettent de communiquer certaines informations vitales :

- 7500 en cas de détournement ;
- 7600 en cas de panne radio ;
- 7700 en cas de détresse.

Les communications audio sont particulièrement codifiées dans la circulation aérienne : on parle de _____. La phraséologie ne fait pas partie du programme du BIA à l'exception de l'_____ présenté ci-après :

A	alpha	J	juliette	S	sierra
B	bravo	K	kilo	T	tango
C	charlie	L	lima	U	uniforme
D	delta	M	mike	V	victor
E	echo	N	november ou novembre	W	whisky
F	foxtrot ou fox	O	oscar	X	x-ray
G	golf	P	papa	Y	yankee
H	hotel	Q	quebec	Z	zoulou
I	india	R	roméo		

Ces mots ont été choisis de façon à éviter toute _____, c'est-à-dire toute confusion en cas de transmission audio de mauvaise qualité. Ainsi, une immatriculation d'aéronef s'énonce avec cet alphabet.

4.3. Régime de vol

Un aéronef peut suivre deux ensembles de règles différentes pour maîtriser sa position spatiale. Il peut voler selon les règles de

- _____ ou VFR pour *Visual Flight Rules* où la prévention des collisions repose essentiellement sur le principe voir et éviter : le ou la pilote doit constamment regarder à l'extérieur de l'avion pour respecter les règles de l'air ;
- _____ ou IFR pour *Instruments Flight Rules* où la prévention des collisions repose sur le contrôle de la circulation aérienne et le respect de trajectoires spécifiques :

le ou la pilote doit constamment regarder ses instruments et se conformer aux instructions du contrôle aérien pour respecter les règles de l'air.

Le vol aux instruments est plus long à apprendre que le vol à vue et nécessite une formation supplémentaire ainsi qu'un aéronef avec un équipement différent.



(a) VFR



(b) IFR

Figure 27 – Régimes de vol

4.4. Organisation de l'espace aérien

Afin d'assurer la sécurité des aéronefs, notamment dans les zones densément fréquentées, l'espace aérien peut être contrôlé. Lorsqu'un commandant de bord est en contact avec un contrôleur, il peut s'attendre à disposer des trois services suivants :

- _____ : permettant d'assurer un écoulement sûr, rapide et régulier du trafic aérien tout en évitant les abordages et collisions ;
- _____ : permettant d'informer les pilotes en fournissant tous renseignements utiles au bon déroulement du vol ;
- _____ : permettant de déclencher des moyens de recherche et de sauvetage si nécessaire.

Ces trois services ne sont pas systématiquement assurés, ou ne sont pas assurés de la même manière selon la classe d'espace dans laquelle se trouve l'aéronef. En effet, l'espace aérien est divisé en zones, qui peuvent être de sept types, repérés par une lettre de A à G. Nous verrons également qu'en plus de ces sept classes d'espace, il existe des zones à statut particulier.

Comme il est possible de le constater sur les cartes de navigations aériennes telles que celles présentées sur les figures 14 à 16, de larges zones sont entourées d'un liseré bleu ou rouge. Selon les informations imprimées en vis-à-vis de ces liserés, il est possible de connaître le type d'espace concerné et ainsi les types de services qui y seront rendus.

4.4.1. Les classes d'espace

Le tableau suivant résume les caractéristiques des sept classes d'espace rencontrées.

On précise ici quelques points pour la lecture de ce tableau :

1. La classe B n'est pas utilisée en France.
2. L'information de vol, entre deux vols VFR en classe C ou entre un vol VFR et un vol IFR ou VFR en classe D est accompagnée de suggestion de manœuvre à la demande du pilote.
3. On note VFRs le VFR spécial. Il s'agit d'un régime de vol VFR réalisé dans des conditions météorologique légèrement dégradées par rapport aux conditions généralement utilisées. Ce vol VFR dégradé ne peut être pratiqué que dans les zones contrôlées de type D.

Classe d'espace	Régimes de vol	Service de contrôle	Service d'information	Service d'alerte	Obligation radio	Demande de pénétration
A	IFR	IFR	oui	oui	oui	oui
B ¹	IFR	IFR et VFR	oui	oui	oui	oui
	VFR	IFR et VFR	oui	oui	oui	oui
C	IFR	IFR et VFR	oui	oui	oui	oui
	VFR	IFR	VFR ²	oui	oui	oui
D	IFR	IFR	VFR ²	oui	oui	oui
	VFR	non	IFR et VFR ²	oui	oui	oui
	VFRs ³	IFR et VFRs	oui	oui	oui	oui
E	IFR	IFR	VFR ⁴	oui	oui	oui
	VFR	non	IFR ⁴ et VFR ⁵	oui	non ⁶	non
F ⁷	IFR	non	oui ⁸	oui	oui	non
	VFR	non	oui ⁹	oui	non ⁶	non
G	IFR	non	oui ⁹	oui	oui	non
	VFR	non	oui ⁹	oui	non ⁶	non

4. Dans l'espace aérien de classe E, l'information de trafic entre vols VFR et IFR est faite dans la mesure du possible
5. Dans l'espace aérien de classe E, les vols VFR n'ayant pas obligation de contacter l'organisme de contrôle, l'information de vol entre vols VFR n'est faite que par rapport aux vols VFR dont l'organisme de contrôle à connaissance.
6. Dans les espaces aériens de classe E, F ou G, le contact radio n'est pas obligatoire pour les vols VFR sauf dans les zone à radio obligatoire, appelées RMZ de l'anglais *Radio Mandatory Zone*.
7. La classe F n'est pas utilisée en France.
8. En espace aérien de classe F, pour les vols IFR, en plus de l'information de vol, un service consultatif peut être assuré. Ce service consultatif aide les pilotes IFR à assurer leur espacement avec les autres vols IFR. Les deux services sont assurés si demandés.
9. Dans les espaces de classe F pour les vols VFR ou G pour les vols IFR et VFR, le service d'information n'est assuré que s'il est demandé par le pilote.

4.4.2. Les zones à statut particulier

Afin de protéger certains espaces ou pour éviter une cohabitation dangereuse entre certains aéronefs, on a créé des **zones à statut particulier** :

- _____ : zone interdite (de l'anglais *prohibited*), dont l'accès est interdit à tout aéronef (zones d'essais de missiles par exemple) ;
- _____ : zones réglementées (de l'anglais *restricted*), dont l'accès n'est autorisé qu'à certaines heures (zones de parachutage ou d'entraînement militaire par exemple) ;
- _____ : zones dangereuses (de l'anglais *dangerous*), dans lesquels les aéronefs peuvent pénétrer mais avec précaution (zones inhospitalières, de survol maritime notamment).

La connaissance de toutes les zones à statut particulier (caractéristiques géographiques, type d'activité, organisme responsable de l'activation, etc.) est mise à disposition des pilotes au moyen d'un guide complémentaire au cartes, publié par le SIA et mis à jours deux fois par an. Ce guide complémentaire contient également d'autres informations spécifiques (itinéraires imposés de jour ou de nuit, itinéraires de survol maritime et zones de vol, de parachutage et de vol à voile).

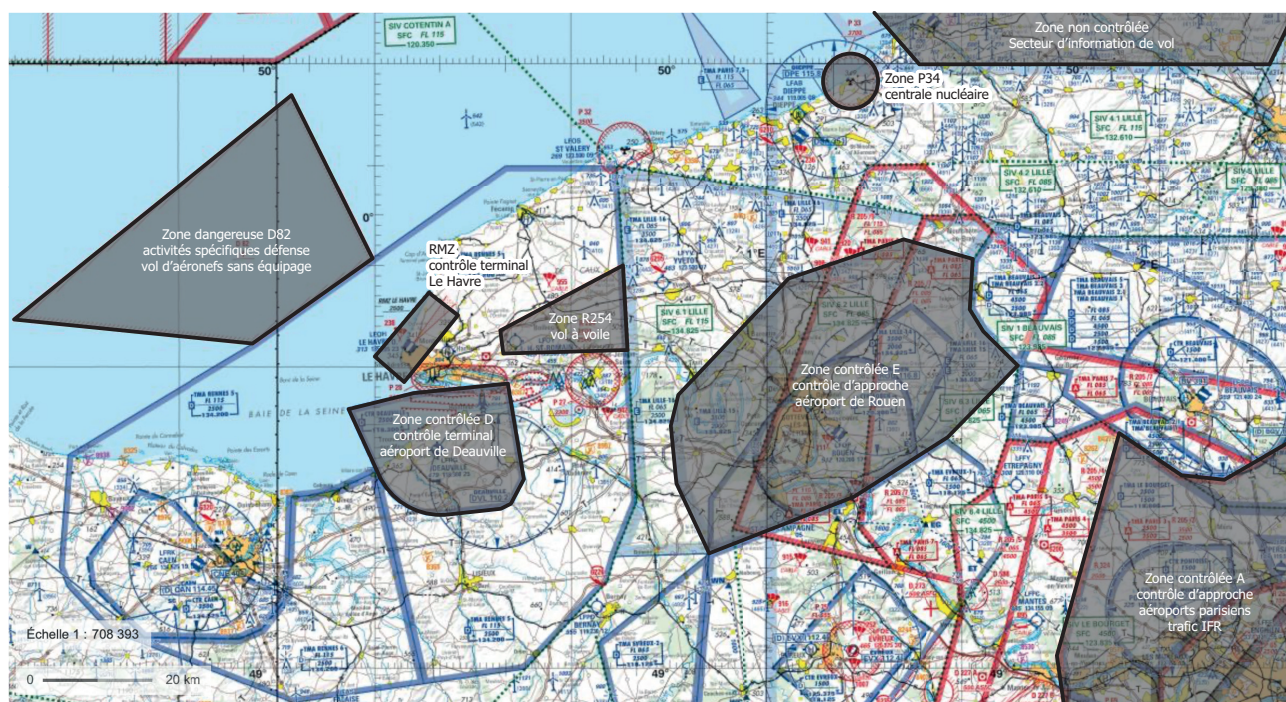


Figure 28 – Quelques exemples de zones sur la carte VFR 1/500 000.

LF R 2 LE RUCHARD		Plafond / Upper limit 3100ft AMSL Plancher / Lower limit SFC
Activité / Activity	Activités spécifiques Défense. Tirs sol/sol.	
Horaires d'activation / Hours	Possible activation H24	
Organisme gestionnaire / Operating authority	Gestionnaire : ELT LE RUCHARD 37220 AVON LES ROCHES - TEL. 02 47 45 72 57/59 - FAX : 02 47 45 72 79. CAM/CAG : Contournement obligatoire. Activité réelle connue par SEINE APP/INFO.	
Conditions de pénétration / Penetrating conditions		
Observations / Remarks		
LF R 3 A VOUZIERES SECHAULT		Plafond / Upper limit 1800ft AMSL Plancher / Lower limit SFC
Activité / Activity	Activités spécifiques Défense. Tirs d'explosifs. \Defence specific activities. Explosives operations.	
Horaires d'activation / Hours	From 01st JAN to 30th JUN : possible activation H24. From 01st JUL to 31st DEC, possible activation : MON-THU : H24 FRI : 0000-1900 SUM : -1HR. Outside LF-R 3 B Vouziers-Séchault activity.	
Organisme gestionnaire / Operating authority	CAG : contournement obligatoire pendant l'activité. CAM : pénétration sur autorisation du gestionnaire Gestionnaire : camp de Vouziers-Séchault. Chef du détachement du 25ème régiment du génie de l'air ou permanent. TEL : 03 25 07 72 14 - 03 24 30 42 11. Activité connue de SAINT-DIZIER APP pendant les horaires ATS.	
Conditions de pénétration / Penetrating conditions		
Observations / Remarks		
LF R 3 B VOUZIERES SECHAULT		Plafond / Upper limit 5000ft AMSL Plancher / Lower limit SFC
Activité / Activity	Activités Défense spécifiques. Ballon captif.	
Horaires d'activation / Hours	Possible activation H24 by NOTAM PN 24 HR. According to protocol.	
Organisme gestionnaire / Operating authority	Organisme gestionnaire et demandeur du NOTAM : Directeur des vols (TEL publié dans le NOTAM d'activation). CAG/CAM : contournement obligatoire sauf pour les aéronefs assurant des missions d'assistance, de sauvetage ou de sécurité publique, lorsque le contournement n'est pas compatible avec l'exécution de ces missions après autorisation du directeur des vols (DV). Balisage diurne : - du câble : par des fanions rouges fluorescents tous les 50m ; - de l'aérost : par des feux à éclats de haute intensité (1 blanc, 1 rouge). Balisage nocturne de l'aérost : - par des feux à éclats de haute intensité (1 blanc, 1 rouge) ; - par un projecteur DCA au point d'ancrage, faisceau de 1° d'ouverture et de couleur blanche. Détection/identification : réflecteur RADAR, transpondeur 3/A et C (code détresse 7700 si rupture du câble). Activité réelle connue de : - PARIS ACC/FIC - SAINT DIZIER APP.	
Conditions de pénétration / Penetrating conditions		
Observations / Remarks		

Figure 29 – Extrait du complément aux cartes présentant les premières zones réglementées.

4.5. Règles de survol, de priorité et d'anti-abordage

Afin d'assurer la sécurité, la hauteur minimal de navigation doit être supérieure à _____. Cette hauteur par rapport au sol a pour effet de donner au pilote un temps minimal pour réagir en cas de panne moteur, afin d'assurer un atterrissage forcé dans des conditions suffisantes de sécurité. En dehors des zones de campagne, des hauteurs minimales de survol sont également imposées :

- survol d'une agglomération d'un rayon inférieur ou égal à 600 m, survol d'un rassemblement de personnes (plage) ou d'animaux (élevage), survol d'un parc naturel ou d'une installation spécifique : hauteur minimale de _____ ;
- survol d'une agglomération d'un rayon supérieur à 600 m et inférieur ou égal à 1200 m : hauteur minimale de _____ pour un monomoteur à piston, ou de _____ pour un multimoteur à pistons, ou un avion à turbopropulseur ou turboréacteur ;
- survol d'une agglomération d'un rayon supérieur à 1200 m et inférieur ou égal à 3600 m, survol d'un rassemblement de plus de 10000 personnes (festival) ou animaux : hauteur minimale de _____ ;
- survol d'une agglomération d'un rayon supérieur à 3600 m, survol d'un rassemblement de plus de 100000 personnes ou animaux : hauteur minimale de _____ ;
- survol de la ville de Paris : hauteur minimale de _____.

En vol aux instruments et en vol à vue de nuit, dans la mesure où le contact visuel avec le sol est plus difficile à obtenir, la hauteur minimal de survol est relevée :

- à _____ au dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 8 km autour de l'aéronef en IFR ;
- à _____ au dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 8 km autour de l'aéronef en VFR de nuit ;
- à _____ au dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 8 km autour de l'aéronef en IFR et VFR de nuit en région montagneuse.

Compte tenu de la maniabilité et de la manœuvrabilité des différents aéronefs, les règles de priorité suivantes sont appliquées :

- les aéronefs remorquant des objets ou d'autres aéronefs ont priorité sur tout autre aéronef ;
- les planeurs doivent céder le passage aux ballons ;
- les dirigeables doivent céder le passage aux planeurs et aux ballons ;
- les aéronefs motorisés (avions et hélicoptère) doivent céder le passage aux dirigeables, aux planeurs et aux ballons.

Enfin, aux abords d'un aérodrome, un aéronef en vol a toujours priorité sur un aéronef au sol.

Par ailleurs, lorsque deux aéronefs doivent se croiser en vol, les règles d'anti-abordage suivantes s'appliquent :

- lorsque deux aéronefs sont sur des routes convergentes, celui qui voit l'autre aéronef sur sa droite doit s'écarter afin d'éviter toute collision (il s'agit d'une priorité à droite telle que celle généralement appliquée en voiture) ;
- lorsqu'un aéronef dépasse un autre aéronef, le dépassement se fait par la droite (à l'inverse de ce qui est pratique en voiture, afin de permettre à l'aéronef le plus rapide de garder une bonne visibilité sur l'aéronef dépassé) ;
- lorsque deux aéronefs se font face, chaque aéronef doit virer à droite pour éviter la collision.

Au delà de ces règles générales, en espace aérien contrôlé avec service de contrôle assuré, le contrôleur peut également donner d'autres indications pour éviter une collision, notamment en demandant aux pilotes de modifier leur vitesse ou leur altitude.

De nuit, pour identifier facilement si un avion arrive de face, de droite ou de gauche, le balisage lumineux

utilisé est le suivant : l'extrémité de l'aile gauche est équipée d'un phare rouge, l'extrémité de l'aile droite est équipée d'un phare vert et la dérive est équipée d'un phare blanc.

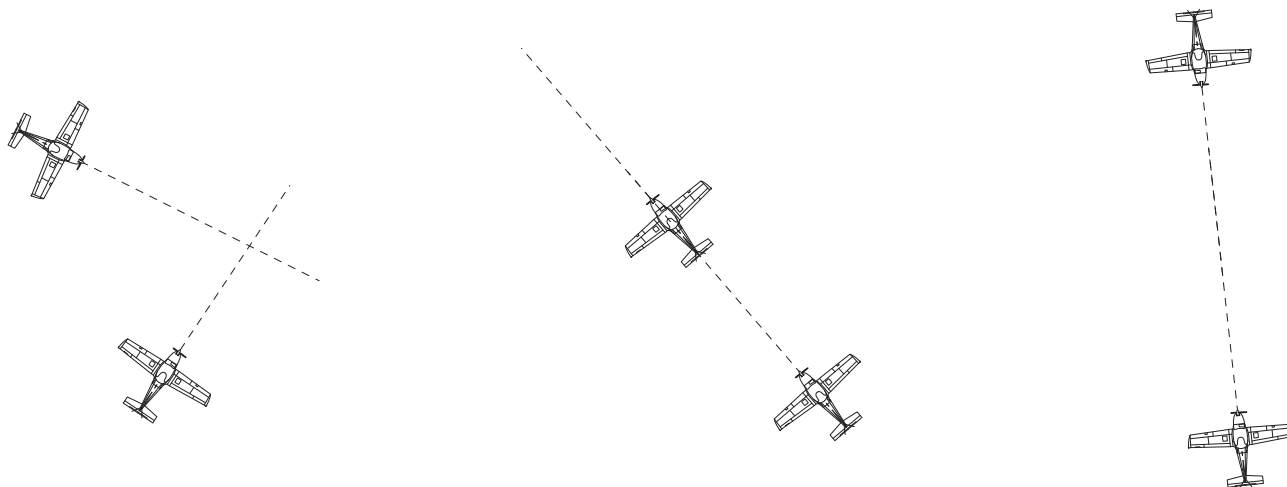


Figure 30 – Les règles de croisement et d'anti-abordage.

Selon leur type et leurs performances, deux avions volant face à face ont une vitesse relative qui peut rapidement atteindre 250 kt, soit près de 500 km/h (140 m/s). Dans ces conditions, éviter une collision de face est particulièrement complexe. Pour limiter les cas de figure dans lesquels une telle situation se rencontre, une _____ a été instaurée de manière à imposer aux avions une altitude de vol en fonction leur route. Cette règle comporte deux points :

1. un pilote évoluant en régime IFR choisit un niveau de vol dont le chiffre des unités est 0, un pilote évoluant en régime VFR choisit un niveau de vol dont le chiffre des unités est 5 ;
2. un pilote dont la route est comprise entre 000° et 179° choisit un niveau de vol dont les chiffres des dizaines sont impairs, un pilote dont la route est comprise entre 180° et 359° choisit un niveau de vol dont les chiffres des dizaines sont pairs.



Figure 31 – Illustration de la règle semi-circulaire pour le vol VFR.

5. Aérodrome : infrastructure et procédures spécifiques

Un aéronef doit décoller et atterrir depuis un aérodrome adéquat, c'est-à-dire d'une aire aménagée, dégagée d'obstacle et répertoriée comme tel par les autorités compétentes. L'aérodrome étant une zone de convergence de plusieurs aéronefs, des règles et procédures précises doivent y être appliquées afin d'assurer la sécurité de tous les usagers.

Dans cette section, nous verrons dans un premier temps les infrastructures communément rencontrées sur un aérodrome ainsi que les procédures spécifiques qui y sont appliquées.

Les infrastructures présentes sur un aérodrome ainsi que les procédures qui y sont appliquées dépendent du type de trafic aérien :

- type des aéronefs autorisés à utiliser l'aérodrome ;
- performance au décollage et à l'atterrissage des aéronefs ;
- fréquentation de l'aérodrome (en nombre d'atterrissage et de décollage par jour, ou mouvement) ;
- utilisation de jour ou de nuit ;
- utilisation en vol à vue ou en vol aux instruments.

5.1. Infrastructure aéroportuaire

Un aérodrome est généralement composé :

- d'un bloc technique ;
- d'un ou de plusieurs parkings ou aires de stationnement ;
- d'une ou de plusieurs pistes de décollage et atterrissage ;
- de voies de circulation.

Bloc technique

Le bloc technique, sur un aérodrome, est l'ensemble de bâtiments regroupant les services techniques de l'installation. Ceci inclut, s'ils sont présents, les services de contrôle (tour de contrôle notamment), les services de sauvetage et de sécurité (unité de protection incendie, brigade de gendarmerie), les services technique d'entretien du matériel et des infrastructures mais également le bureau de piste, où les pilotes ont à leurs disposition des outils leur permettant de réaliser les formalités administratives nécessaires pour la conduite de leurs vols.

Parkings et aires de stationnement

Les parkings et aires de stationnement sont les zones réservées au stationnement des aéronefs ainsi qu'à l'embarquement et au débarquement des passagers.

Piste

La piste est exclusivement réservée aux manœuvres de décollage et d'atterrissage des aéronefs. Elle est dotée de marques visuelles normalisées.

Sur une piste gazonnée (voir figure 33), le balisage de la piste est assuré par le marquage de ses limites latérales à l'aide de balises blanches visibles depuis le ciel et depuis le sol. Le cas échéant, le seuil de piste sera matérialisé par des « V » visibles depuis le ciel. Depuis le sol, les limites des voies de circulation sont matérialisées par des plots jaunes.

Sur une piste goudronnée (voir figure 34), selon les dimensions de la piste, on pourra trouver les éléments suivants :

- une marque de seuil de piste sous la forme de peignes (similaire au marquage d'un passage pour piétons sur une route) ;
- des marques de toucher des roues, matérialisant la zone dans laquelle les roues de l'avion doivent toucher le sol, et éventuellement accompagnées de marques intermédiaires ;
- un marquage de l'axe central de la piste, sous la forme d'une ligne discontinue ;
- le numéro de la piste (éventuellement complété par la mention L/C/R pour le cas de pistes parallèles) correspondant à l'orientation magnétique de la piste en dizaine de degrés arrondis au plus proche (appelé QFU).

On trouve généralement en bordure de piste, et parfois en plusieurs endroits de l'aérodrome, une manche à air visible depuis le ciel et permettant aux pilotes d'obtenir une indication à propos de l'orientation du vent et de sa vitesse. Ceci leur permet alors de choisir le sens d'utilisation de la piste de manière à décoller ou atterrir face au vent.

Sur les aérodrome ouverts aux opérations de nuit, les différents éléments de balisage pourront être lumineux. On utilise généralement la couleur blanche pour les balises de piste et la couleur bleue pour les balises des voies de circulation.



Figure 32 – Manche à air.



Figure 33 – Vue satellite de l'aérodrome de Chavenay.



Figure 34 – Vue satellite de l'aérodrome de Toussus-le-Noble.

Exercice 3

Sur la documentation relative à l'aéroport de Paris Charles de Gaulle, on peut lire que les quatre pistes parallèles sont orientées à $084^\circ/264^\circ$ par rapport au nord magnétique.

Quelles indications peut-on lire de chaque côté, au seuil de chaque piste ?

5.2. Procédures

Procédures relatives au vol à vue

Pour les avions évoluant en VFR, le tour de piste est une trajectoire standardisée autour de l'aérodrome, permettant au pilote de prendre ses repères pour l'atterrissage et laissant le temps de configurer l'avion pour l'atterrissage (sortie des dispositifs hypersustentateurs et du train le cas échéant). Cette phase de préparation se fait lors d'une branche de vol parallèle à la piste, avec le vent dans le dos. Cette branche est appelée ____.

Une fois l'avion configuré, le pilote effectue un virage à 90° de manière à se placer perpendiculairement à la piste en rapprochement. Cette branche de vol est appelée _____. Généralement, le pilote initie la descente durant cette phase de la procédure.

À la fin de l'étape de base, le pilote effectue le _____, de sorte que l'avion se retrouve face à la piste face au vent. C'est alors la _____ qui débute, durant laquelle le pilote va réduire progressivement la vitesse de son avion puis effectuer un _____ afin de toucher le sol avec la vitesse verticale la plus faible possible.

Au décollage, la phase de montée dans l'axe de piste est appelée _____.

Pendant l'entraînement et la formation des pilotes, il est courant d'enchaîner les décollages et atterrissages, faisant apparaître ce *tour* de piste. La montée initiale est suivie d'une branche de _____.

_____ (pendant laquelle le vent vient de travers) permettant de rejoindre le début de la branche de vent arrière évoquée précédemment.

L'ensemble du circuit (hors phases de décollage et d'atterrissage) est généralement réalisé à une hauteur de 1000 ft au dessus du sol.

Au départ, la prise de route vers la destination peut se faire à n'importe quel moment sur ce tour de piste.

À l'arrivée en revanche, afin de disposer d'un temps suffisant pour préparer son avion, le pilote doit débiter la procédure telle qu'elle a été décrite ici, c'est-à-dire au début de la branche de vent arrière.

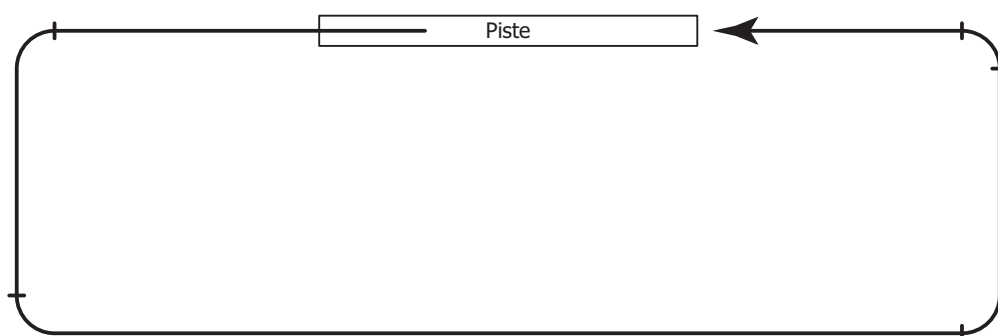


Figure 35 – Le tour de piste VFR.

Pour un exemple plus détaillé de tour de piste, on pourra par exemple se référer à la figure 18b, sur laquelle le circuit est intégralement tracé, et on pourra étudier les différences entre la procédure standard présentée ici, et celle décrite sur la carte d'atterrissage à vue de Toussus-le-Noble.

5.2.1. Procédures relatives au vol aux instruments

Sur un aérodrome ouvert à la circulation aux instruments, le pilote doit respecter des trajectoires et des altitudes définies dans les procédures. D'une manière générale, il sera pris en charge par les contrôleurs aériens qui lui garantiront un espacement avec les autres avions. La figure 19b donne un exemple pour une approche de ce type à Toussus-le-Noble.

La procédure aux instrument est basée sur des balises de radionavigation telles que le VOR, l'ADF ou le DME présentés à la section 3.2., ou sur des points de navigation par satellite.

Sans entrer dans des détails hors programme, on pourra retenir qu'une procédure IFR comporte, entre autres éléments :

- une trajectoire de descente vers une balise de radionavigation ou un point GPS ;
- une attente possible au voisinage de la balise ou du point GPS ;
- une finale permettant de rejoindre la piste depuis la balise ou le point GPS. L'axe de la finale est généralement lui-même matérialisée par une balise de radionavigation (l'ILS, pour *Instrument Landing System*) ou par satellite.

6. Sécurité des vols

La sécurité est au cœur de l'activité aéronautique. En effet, les accidents aériens ayant généralement des conséquences dramatiques, il a été de tous temps considéré comme une priorité de faire en sorte de réduire autant que faire se peut le nombre d'accidents de la circulation aérienne. Nous verrons dans cette section les solutions utilisées afin d'œuvrer en ce sens et les limites, notamment humaines, qui peuvent faire défaut.

6.1. Gestion des risques

Lors des balbutiements de l'aéronautique, les connaissances dans ce domaine nouveau ont d'abord dû être construites de manière empirique, en assurant des conditions de sécurité parfois précaires pour permettre l'essor de cette activité.

Les guerres mondiales du XX^e siècle ont mis à profit ce nouvel outil pour de nombreuses missions de reconnaissance, de transport, de défense ou d'offense ; ce qui s'est traduit par une hausse significative de l'activité aérienne, à laquelle s'est associée une forte hausse du nombre d'accidents.

En réaction à cela, la mise en place de nombreuses barrières a permis de réduire le nombre d'accidents eu égard à une activité toujours croissante.

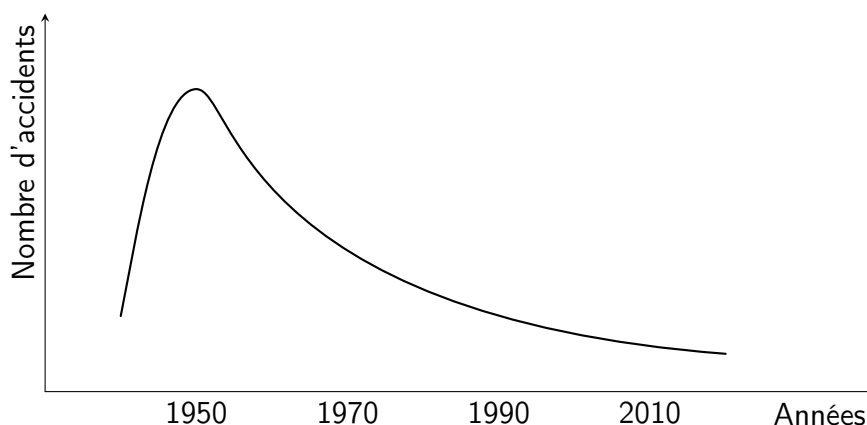


Figure 36 – Représentation schématisée de l'évolution du nombre d'accidents aériens depuis la seconde moitié du XX^e siècle.

Les différentes barrières installées peuvent porter sur des éléments différents prenant part de près ou de loin à la réalisation d'un vol. Parmi les points particulièrement surveillés, nous pouvons citer :

- _____ : les aéronefs sont des appareils certifiés et la conception d'un avion nécessite de réaliser toute une série de tests permettant de connaître précisément ses limites d'utilisation et on parle de (plage de vitesses utilisables, altitude maximale, masse au décollage, etc.) ;
- _____ : toutes les pièces fabriquées pour une utilisation aéronautique sont testées et certifiées ; elles sont produites et contrôlées par des agents disposant d'un agrément ; une traçabilité est également assurée afin de pouvoir retrouver si besoin un lot de fabrication ;
- _____ : les aéronefs certifiés doivent suivre un protocole d'entretien très précis préconisé par le constructeur (visite légère toutes les 50 h de vol, plus approfondie toutes les 100 h de vol, etc.) réalisées par des opérateurs agréés dans des ateliers certifiés ;

- _____ : le pilote doit être familier de l'utilisation de son avion, en avoir une bonne connaissance et assurer la conduite du vol en respectant les procédures prévues par le constructeur. Ces procédures (_____ ou _____) ont pour objectif d'aider le pilote à maîtriser les risques.

Ces différentes barrières constituent le _____
 _____ (du nom du psychologue James Reason).

Selon ce modèle, la sécurité résulte de la coordination d'un grand nombre d'éléments humains et techniques. Leur fonctionnement requiert des protections. L'accident est alors la conséquence d'une conjonction d'un certain nombre de facteurs, chacun d'eux étant nécessaire mais pas suffisant, à lui seul, pour compromettre l'efficacité des différentes protections.

Tout système complexe présente intrinsèquement des défaillances. Ces défaillances sont plus ou moins profondes et peuvent se manifester immédiatement (généralement en raison des actions d'un acteur de première ligne comme le pilote ou le mécanicien) ou demeurer latentes pendant des durées parfois considérables (elles sont alors dues aux actions d'un acteur en amont comme le concepteur ou le rédacteur des procédures).

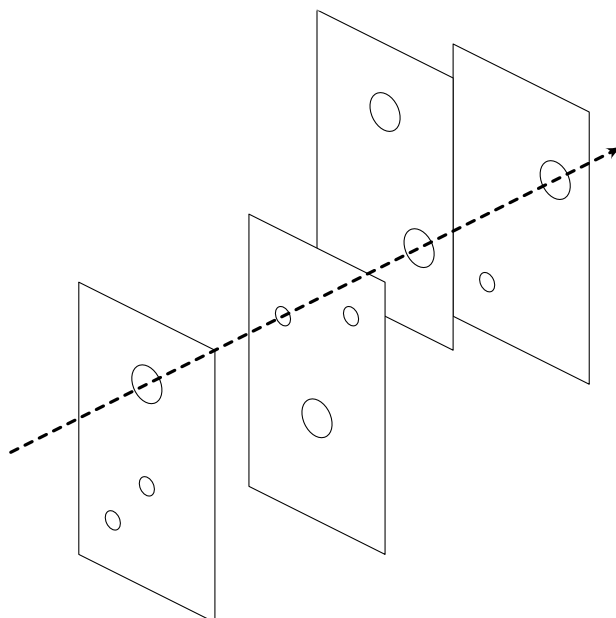


Figure 37 – La « sécurité emboîtée » : le modèle des plaques de Reason.

Parmi les différentes barrières présentes, celles liées à l'utilisation sont les plus vulnérables. L'exploitation de l'aéronef reste en définitive entre les mains d'un être humain, qui est souvent à l'origine d'erreurs préjudiciables à la sécurité.

6.2. Performances humaines et limites

L'étude des aptitudes et des performances humaines peut s'effectuer en mettant en relief deux niveaux : le niveau psychologique et le niveau physiologique.

Le niveau psychologique

Le niveau psychologique est particulièrement complexe à appréhender car il touche à la personnalité. Des études tendent toutefois à simplifier ces facteurs par l'identification de quelques grands types de personnalité qui vont se traduire par des comportements différents face à la gestion d'une situation à risque. On peut par exemple citer le type de personnalité « autoritaire » dont on pourrait résumer le mode de pensée par la

réaction « les règles, c'est pas pour moi ! » ou le type « résigné », que l'on pourrait résumer par la réaction « autant ne rien faire... ».

Les différentes façon de réagir face à une situation de crise ou les difficultés de gestion peuvent par ailleurs être exacerbées par le stress lorsqu'une situation inconnue se présente. Le stress s'exprime généralement à travers trois phases :

- _____ : le cerveau déclenche des réactions ayant pour objectif direct de permettre une fuite rapide de la zone de danger ou un affrontement direct (augmentation du rythme cardiaque, production d'adrénaline, amélioration de l'acuité visuelle) ;
- _____ : l'individu s'adapte à la situation stressante, évalue et analyse la situation dans l'objectif de prendre une décision pour résoudre la situation ;
- _____ : qui survient si l'exposition au facteur de stress perdure. L'organisme ne peut plus compenser les dépenses énergétiques, les défenses immunitaires s'affaiblissent et l'individu commence à ressentir une fatigue intense et du découragement.

Si le stress est généralement pointé du doigt pour ses effets néfastes, un bon niveau de stress (ni trop fort ni trop absent) peut être intéressant pour stimuler ses performances et se maintenir dans un état d'éveil compatible avec la réalisation du vol.

Le niveau physiologique

Le niveau physiologique traite de la biologie et met en avant les limites de l'être humain lors du vol. La navigation pouvant se réaliser à haute altitude, il faut d'abord étudier les effets d'une baisse de la quantité de dioxygène ou de la pression sur le fonctionnement du corps humain, mais même à basse altitude, d'autres difficultés peuvent être rencontrées lorsque nos sens nous envoient des informations contradictoires.

Concernant les effets de l'altitude, le premier élément significatif concerne la raréfaction du dioxygène. Schématiquement, la diffusion du dioxygène de l'atmosphère vers le sang et inversement du dioxyde de carbone du sang vers l'atmosphère se fait grâce à la différence de quantité de dioxygène et de dioxyde de carbone dans les deux milieux. On parle plus rigoureusement de pression partielle.

L'air atmosphérique est fortement chargé en dioxygène, celui-ci tend naturellement à se diffuser vers les zones où il est moins présent. Après consommation du dioxygène par les cellules, du dioxyde de carbone est rejeté ; sa concentration augmente dans le corps humain et il tend naturellement à se diffuser vers l'atmosphère où il est moins présent.

En montant en altitude, la quantité de dioxygène présent dans l'atmosphère diminue et il devient plus difficile de l'assimiler. Le manque de dioxygène est à l'origine de _____ : les cellules du corps humains sont moins bien oxygénées, leurs performances se dégradent, et si la situation dure, des conséquences irréversibles peuvent apparaître.

Afin de palier ce problème :

- dans un avion non pressurisé, il est nécessaire de prévoir un dispositif de diffusion d'oxygène pour les personnels de conduite si la durée de vol au dessus de 10 000 ft dépasse 30 minutes, et pour l'ensemble de l'équipage si le vol est exécuté au dessus de 12 500 ft ;
- dans un avion pressurisé, la pression dans la cabine est réglée à une altitude équivalente maximale de 7 500 ft et des dispositifs de diffusion d'oxygène doivent être à portée de main en cas de nécessité.

Enfin, le second effet notable de la montée en altitude est la diminution de pression. Cette diminution de pression peut avoir des effets indésirables sur le corps humain telles que des ballonnements, des gonflements ou des douleurs abdominales. Ainsi, afin d'éviter l'apparition de ces symptômes, un pilote non aguerri évitera par exemple de consommer des boissons gazeuses avant de monter en vol.

Mais les effets de la pression ne se limitent pas aux douleurs abdominales. Toute partie du corps humain renfermant une poche d'air peut devenir douloureuse : les cavités nasales ou les oreilles peuvent se boucher ou des douleurs dentaires peuvent survenir si des caries sont non traitées par exemple.

Au delà des effets de l'altitude, le corps humain et les sens qui nous permettent de percevoir notre environnement ont aussi leurs limites.

_____ possède de nombreuses faiblesses. La vision centrale est précise, mais elle est limitée à un angle de l'ordre de 2° . Au delà de ce cône très réduit, la vision périphérique, qui permet de percevoir les mouvements, n'est pas nette et ne permet pas de distinguer les couleurs. De plus, toute la rétine n'est pas utilisée pour construire une image de notre environnement. Le départ du nerf optique constitue une « tache aveugle » et le cerveau compose avec les informations provenant des deux yeux pour reconstruire une image complète. Pour aider dans cette tâche, il convient de prendre l'habitude de balayer régulièrement des yeux l'environnement pour fabriquer artificiellement du mouvement.



Figure 38 – La tache aveugle : fermer l'œil droit, regarder le signe +, et ajuster la distance séparant l'œil gauche de l'illustration.

_____ présentent de nombreuses faiblesses. Le tympan est fragile et il supporte mal les variations de pressions importantes. Ceci peut être gênant lors des montées rapides ou, plus fréquemment, lors des descentes rapides. Mais notre oreille interne est également le siège de notre équilibre. Les canaux semi-circulaires du système vestibulaire nous permettent de connaître notre orientation dans l'espace et d'estimer la verticale. Cette estimation de la verticale se fait en mesurant l'accélération de pesanteur à laquelle nous sommes habitués au quotidien. Mais dans un avion pouvant subir de fortes accélérations dans des directions très variées, notre perception de l'accélération de pesanteur peut être rapidement troublée par une accélération ou un freinage. Dans une phase d'accélération par exemple, l'apparition d'une composante d'accélération vers l'avant peut donner l'impression que la verticale se réoriente : que l'avion est en train de se cabrer. Ceci peut entraîner un comportement réflexe de pousser sur le manche, ce qui peut être très peu judicieux quand on pense que la phase d'accélération est généralement la phase de décollage.

Mais nos sens peuvent aussi avoir des effets bénéfiques. L'odorat par exemple pourra permettre à un pilote de détecter une odeur curieuse ou suspecte. Celle d'une infiltration de gaz d'échappement par exemple, ou d'un départ d'incendie. Notre sens du toucher pourra également nous permettra de lever des doutes, en récupérant une référence ferme et fixe sur le tableau de bord de l'avion par exemple. Ou bien pour distinguer les équipements de l'avion : la forme des poignées utilisées pour contrôler les volets, le train d'atterrissage, la puissance ou la richesse n'est pas la même.

On termine enfin cette section en évoquant les causes « anormale » de défaillance physiologique, par opposition aux causes naturelles dues au propre fonctionnement de nos sens ou aux effets de l'altitude : consommation de produits licites (médicaments, alcool, café) ou illicites (drogues). Concernant la consommation d'alcool, la réglementation indique que pour pouvoir entreprendre un vol la concentration d'alcool doit inférieure à 0,2 g d'alcool par litre de sang ou 0,1 mg d'alcool par litre d'air expiré. Dans la pratique, il est sage de considérer aucune consommation d'alcool dans les 8 à 12 h précédant un vol. Pour ce qui est de la consommation de drogues, elle est tout simplement interdite.

D'une manière générale, il est important d'entretenir une bonne hygiène de vie lorsque l'on est amené à

occuper les fonctions de personnel navigant technique ou commercial. Avant de d'entreprendre un vol, on pourra par exemple s'interroger avec l'acronyme M.A-F.O.R.M.E. :

M –

A –

F –

O –

R –

M –

E –

6.3. Prise de décision et culture de la sécurité

Compte tenu des éléments présentés précédemment, il semble évident que malgré toutes les précautions que l'on pourra prendre, les accidents sont inévitables. Le mieux que l'on puisse faire est donc d'œuvrer pour limiter leur survenue. De nos jours, les pilotes sont donc formés à accepter et prendre en compte dans leurs raisonnements les erreurs qui peuvent être commises. Pour les aider dans la prise de décision, des outils sont mis en place pour partager les expériences de manière à pouvoir identifier et traiter les erreurs et menaces. Ainsi, avant un vol, l'équipage d'un avion prendra un temps pour effectuer un bilan des menaces ou les erreurs susceptibles de compromettre la sécurité du vol. Cela peut-être lié par exemple aux conditions météorologiques ou à leur évolution, à l'importance du trafic aérien le jour du vol, au remplacement d'un équipement de communication pour un modèle avec lequel le pilote n'est pas familier. . . La liste est loin d'être exhaustive.

Avec la formation, le pilote apprend à prendre des décisions en ayant à l'esprit la sécurité. En ce sens, les décisions parfois considérées comme des échecs (faire demi-tour ou se dérouter, exécuter une remise de gaz, . . .) sont dédramatisées et acceptées comme des procédures normales.

Le mécanisme de prise de décision s'appuie alors sur un processus particulier que l'on peut résumer par l'acronyme D.E.C.I.D.E :

D –

E –

C –

I –

D –

E –

Malheureusement ce processus de décision peut être influencé par des éléments variés tels que la pression temporelle ou sociale, la conscience personnelle du niveau de risque, les biais décisionnels qui peuvent perturber le jugement, le stress ou la fatigue, la personnalité du pilote, etc.