

# Théorie du brevet de pilote privé



L'AWACS

**Untitled Document**

Valérie Nonjarret  
valérie Nonjarret

# Sommaire

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><u>ABREVIATIONS</u></b> .....                                 | <b>1</b>  |
| <b><u>AEROMEDECINE</u></b> .....                                 | <b>4</b>  |
| <b><u>Physiologie aéronautique</u></b> .....                     | <b>5</b>  |
| <u>Effets de l'altitude</u> .....                                | 5         |
| <u>Hypoxie d'altitude</u> .....                                  | 5         |
| <u>Temps de conscience utile</u> .....                           | 6         |
| <u>Barotraumatismes</u> .....                                    | 6         |
| <u>L'hyperventilation</u> .....                                  | 6         |
| <u>Effets de l'accélération</u> .....                            | 6         |
| <u>La perception</u> .....                                       | 7         |
| <u>La vision</u> .....                                           | 7         |
| <u>L'équilibration</u> .....                                     | 7         |
| <u>L'audition</u> .....                                          | 8         |
| <u>La proprioception</u> .....                                   | 8         |
| <u>Les illusions sensorielles</u> .....                          | 8         |
| <u>Hygiène de vie</u> .....                                      | 8         |
| <u>Le froid</u> .....                                            | 8         |
| <u>La chaleur</u> .....                                          | 9         |
| <u>Note pour les plongeurs sous-marins</u> .....                 | 9         |
| <u>Les performances intellectuelles</u> .....                    | 9         |
| <u>La représentation mentale</u> .....                           | 9         |
| <u>Gestion de ses ressources</u> .....                           | 10        |
| <u>Prise de décision et jugement</u> .....                       | 10        |
| <b><u>Vigilance, sommeil, fatigue, stress</u></b> .....          | <b>12</b> |
| <u>La vigilance et le sommeil</u> .....                          | 12        |
| <u>La fatigue</u> .....                                          | 12        |
| <u>Le stress</u> .....                                           | 12        |
| <b><u>La fiabilité humaine et les erreurs humaines</u></b> ..... | <b>14</b> |
| <u>La notion d'erreur</u> .....                                  | 14        |
| <u>Erreur de représentation</u> .....                            | 14        |
| <u>Prévention des erreurs</u> .....                              | 14        |
| <b><u>CIRCULATION</u></b> .....                                  | <b>16</b> |
| <b><u>L'aérodrome : circuit, intégration</u></b> .....           | <b>17</b> |
| <u>Les pistes</u> .....                                          | 17        |
| <u>Le nom des aérodromes</u> .....                               | 17        |
| <u>L'aérodrome contrôlé</u> .....                                | 17        |
| <u>Les signaux lumineux</u> .....                                | 17        |
| <u>Les signaux au sol</u> .....                                  | 18        |
| <u>Le circuit d'aérodrome</u> .....                              | 19        |
| <u>Le circuit par mauvais temps</u> .....                        | 19        |
| <u>L'intégration dans les circuits d'aérodrome</u> .....         | 20        |
| <u>L'intégration sur un aérodrome contrôlé</u> .....             | 20        |
| <u>L'intégration sur un aérodrome non contrôlé</u> .....         | 20        |

# Sommaire

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><u>La préparation du vol</u></b>                                               | <b>21</b> |
| <u>Les NOTAM (Notice to Air Men – messages aux navigants)</u>                     | 21        |
| <u>Le plan de vol</u>                                                             | 21        |
| <u>Dans quel cas déposer un plan de vol ?</u>                                     | 21        |
| <u>Modalités du dépôt</u>                                                         | 22        |
| <u>Validité du plan de vol</u>                                                    | 22        |
| <u>Activation et clôture du plan de vol</u>                                       | 22        |
| <u>Plan de vol réduit</u>                                                         | 23        |
| <b><u>Le décollage</u></b>                                                        | <b>24</b> |
| <u>La visite prévol et la mise en route</u>                                       | 24        |
| <u>La check-list</u>                                                              | 25        |
| <u>Le roulage</u>                                                                 | 27        |
| <u>Vérifications des instruments</u>                                              | 27        |
| <u>Utilisation des gouvernes</u>                                                  | 28        |
| <u>Point fixe, alignement sur la piste</u>                                        | 29        |
| <u>Le décollage</u>                                                               | 29        |
| <u>Les phases du décollage</u>                                                    | 30        |
| <u>Contrôle de la symétrie du vol</u>                                             | 30        |
| <u>Le décollage par vent de travers</u>                                           | 30        |
| <u>Les performances et limitations au décollage</u>                               | 31        |
| <u>Les montées particulières associées au décollage</u>                           | 32        |
| <u>Montée normale</u>                                                             | 32        |
| <u>Montée à Vz max</u>                                                            | 32        |
| <u>Montée à pente max</u>                                                         | 32        |
| <u>La comparaison des performances de l'avion et des limitations au décollage</u> | 32        |
| <u>Le décollage court</u>                                                         | 33        |
| <u>Le décollage sur terrain mou</u>                                               | 33        |
| <u>Décollage derrière un avion de transport qui décolle</u>                       | 33        |
| <u>Décollage derrière un avion de transport qui se pose</u>                       | 34        |
| <b><u>Le vol en ligne droite</u></b>                                              | <b>35</b> |
| <u>Relation Puissance–Vitesse</u>                                                 | 35        |
| <u>Relation Pente de trajectoire – Vitesse</u>                                    | 35        |
| <u>Comment modifier la vitesse en conservant le vol horizontal ?</u>              | 35        |
| <u>Comment maintenir l'altitude constante lors d'une variation de vitesse ?</u>   | 35        |
| <u>Le vol lent</u>                                                                | 35        |
| <u>La tenue de cap</u>                                                            | 35        |
| <u>La tenue d'altitude</u>                                                        | 35        |
| <u>La tenue de la vitesse</u>                                                     | 36        |
| <u>Les turbulences de sillage</u>                                                 | 36        |
| <b><u>Le vol en montée – palier – descente</u></b>                                | <b>37</b> |
| <u>Passage du palier à la montée</u>                                              | 37        |
| <u>Le vol en croisière</u>                                                        | 37        |
| <u>Le vol en descente</u>                                                         | 37        |
| <u>La descente planée</u>                                                         | 37        |
| <u>Le passage de la descente au palier</u>                                        | 38        |
| <u>Le passage de la descente à la montée</u>                                      | 38        |
| <u>L'approche du décrochage</u>                                                   | 38        |
| <u>Le passage de la croisière à l'approche</u>                                    | 38        |
| <u>Approche finale</u>                                                            | 38        |

# Sommaire

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <u>De l'approche vers la montée.....</u>                                                   | 38        |
| <u>De l'approche vers la croisière.....</u>                                                | 39        |
| <u>La montée de meilleur angle (VX).....</u>                                               | 39        |
| <u>La montée de meilleur taux (VY).....</u>                                                | 39        |
| <b><u>Les virages.....</u></b>                                                             | <b>40</b> |
| <u>La mise en virage.....</u>                                                              | 40        |
| <u>En virage.....</u>                                                                      | 40        |
| <u>La sortie du virage.....</u>                                                            | 40        |
| <u>La symétrie du virage.....</u>                                                          | 40        |
| <u>Le virage en montée.....</u>                                                            | 41        |
| <u>Le virage en descente.....</u>                                                          | 41        |
| <u>Le virage serré.....</u>                                                                | 41        |
| <u>La mise en virage (45° ou 60°).....</u>                                                 | 41        |
| <u>En virage.....</u>                                                                      | 41        |
| <u>La sortie de virage.....</u>                                                            | 41        |
| <u>Le virage engagé.....</u>                                                               | 41        |
| <u>Avion engagé vers le haut.....</u>                                                      | 41        |
| <u>Avion engagé vers le bas.....</u>                                                       | 42        |
| <b><u>L'atterrissage.....</u></b>                                                          | <b>43</b> |
| <u>L'approche finale.....</u>                                                              | 43        |
| <u>La pente d'approche.....</u>                                                            | 43        |
| <u>Corrections sur la pente d'approche finale.....</u>                                     | 43        |
| <u>L'atterrissage.....</u>                                                                 | 44        |
| <u>La descente.....</u>                                                                    | 44        |
| <u>L'arrondi.....</u>                                                                      | 44        |
| <u>La remise des gaz.....</u>                                                              | 45        |
| <u>Le système lumineux d'indicateur de pente PAPI.....</u>                                 | 46        |
| <u>La comparaison des performances de l'avion et des limitations à l'atterrissage.....</u> | 46        |
| <u>L'atterrissage par vent de travers.....</u>                                             | 46        |
| <u>Corrections pendant le dernier virage.....</u>                                          | 46        |
| <u>Correction pendant l'approche finale.....</u>                                           | 47        |
| <u>L'atterrissage court.....</u>                                                           | 47        |
| <u>L'atterrissage sur terrain mou.....</u>                                                 | 47        |
| <u>L'atterrissage forcé.....</u>                                                           | 47        |
| <u>1. Localiser la panne et choisir un terrain valable.....</u>                            | 47        |
| <u>2. Choisir l'évolution pour raccorder la branche finale.....</u>                        | 48        |
| <u>3. Envoyer un message de détresse (3 fois mayday), transpondeur sur 7700.....</u>       | 48        |
| <u>4. Conduite à tenir lors de la finale.....</u>                                          | 48        |
| <u>L'atterrissage volets rentrés.....</u>                                                  | 48        |
| <u>L'atterrissage sans anémomètre.....</u>                                                 | 48        |
| <u>L'atterrissage.....</u>                                                                 | 49        |
| <u>Atterrissage derrière un avion de transport qui décolle.....</u>                        | 49        |
| <u>Atterrissage derrière un avion de transport qui se pose.....</u>                        | 49        |
| <b><u>Les règles de l'air.....</u></b>                                                     | <b>50</b> |
| <u>Prévention des abordages.....</u>                                                       | 50        |
| <u>Hauteur minimum de survol pour les aéronefs motopropulseurs.....</u>                    | 50        |

# Sommaire

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><u>L'interception en vol</u></b> .....                                                                            | <b>52</b> |
| <b><u>Les organismes de la circulation aérienne</u></b> .....                                                        | <b>53</b> |
| <u>Service du contrôle</u> .....                                                                                     | 53        |
| <u>Service d'information de vol</u> .....                                                                            | 53        |
| <u>ATIS (Automatic Terminal Information Service)</u> .....                                                           | 53        |
| <u>Service d'alerte</u> .....                                                                                        | 53        |
| <u>Les phases d'urgence</u> .....                                                                                    | 54        |
| <b><u>Division de l'espace aérien</u></b> .....                                                                      | <b>55</b> |
| <u>Les classes d'espace</u> .....                                                                                    | 55        |
| <u>Vol contrôlé</u> .....                                                                                            | 56        |
| <u>Vol non contrôlé</u> .....                                                                                        | 56        |
| <u>Vol sur la limite qui sépare deux espaces</u> .....                                                               | 56        |
| <u>Partition de l'espace aérien</u> .....                                                                            | 56        |
| <u>Partition de l'espace aérien inférieur</u> .....                                                                  | 56        |
| <b><u>Connaissance du trafic</u></b> .....                                                                           | <b>58</b> |
| <u>SIT (Secteur d'information du trafic)</u> .....                                                                   | 58        |
| <u>Aérodrome contrôlé</u> .....                                                                                      | 58        |
| <u>Aérodrome non contrôlé</u> .....                                                                                  | 58        |
| <b><u>Les conditions VMC</u></b> .....                                                                               | <b>59</b> |
| <u>Aérodromes IFR dotés d'espaces aériens contrôlés (CTR, TMA)</u> .....                                             | 60        |
| <u>Aérodromes IFR non dotés d'espaces aériens contrôlés</u> .....                                                    | 60        |
| <b><u>Les cas particuliers du VFR</u></b> .....                                                                      | <b>61</b> |
| <u>Le VFR "spécial"</u> .....                                                                                        | 61        |
| <u>Le VFR "ON TOP"</u> .....                                                                                         | 61        |
| <u>Le vol en région montagneuse</u> .....                                                                            | 61        |
| <u>Situation météo</u> .....                                                                                         | 61        |
| <u>Préparation du trajet</u> .....                                                                                   | 61        |
| <u>Cheminement en région montagneuse</u> .....                                                                       | 61        |
| <u>Le survol de l'eau</u> .....                                                                                      | 62        |
| <u>Le survol des régions terrestre désignées</u> .....                                                               | 62        |
| <u>Le vol à haute altitude</u> .....                                                                                 | 62        |
| <u>Les transport de passagers</u> .....                                                                              | 62        |
| <b><u>Expression de la position verticale</u></b> .....                                                              | <b>64</b> |
| <u>La hauteur</u> .....                                                                                              | 64        |
| <u>L'altitude (en dessous de la surface S)</u> .....                                                                 | 64        |
| <u>Le niveau de vol (FL pour Flight Level, au-dessous de la surface S, en espace aérien non contrôlé)</u> .....      | 64        |
| <u>Niveaux utilisables</u> .....                                                                                     | 64        |
| <u>Règle de la semi-circulaire (vols VFR)</u> .....                                                                  | 64        |
| <u>Niveaux de vol utilisables</u> .....                                                                              | 65        |
| <u>Expression de la position verticale dans les CTA, TMA et CTR</u> .....                                            | 65        |
| <u>L'altitude et le niveau de transition</u> .....                                                                   | 65        |
| <u>La couche de de transition</u> .....                                                                              | 65        |
| <u>Déterminer le premier niveau de vol utilisable au-dessus de l'altitude de transition connaissant le QNH</u> ..... | 66        |
| <u>Résumé : choix des altitudes et des niveaux de vol dans les CTA, TMA et CTR</u> .....                             | 66        |

# Sommaire

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><u>La surface S</u></b> .....                                           | <b>67</b> |
| <b><u>INSTRUMENTS DE BORD</u></b> .....                                    | <b>68</b> |
| <b><u>L'altimètre</u></b> .....                                            | <b>69</b> |
| <u>Principe</u> .....                                                      | 69        |
| <b><u>L'altimètre</u></b> .....                                            | <b>70</b> |
| <u>Altitude – Hauteur – Niveau de vol</u> .....                            | 70        |
| <u>L'altitude</u> .....                                                    | 70        |
| <u>La hauteur</u> .....                                                    | 70        |
| <u>Le niveau de vol</u> .....                                              | 70        |
| <u>Les calages altimétriques</u> .....                                     | 70        |
| <u>Altitude réelle</u> .....                                               | 70        |
| <b><u>L'anémomètre</u></b> .....                                           | <b>71</b> |
| <u>Principe</u> .....                                                      | 71        |
| <u>Les différentes vitesses caractéristiques</u> .....                     | 71        |
| <u>La vitesse indiquée (Vi ou IAS Indicated air speed)</u> .....           | 71        |
| <u>La vitesse corrigée (CAS)</u> .....                                     | 71        |
| <u>La vitesse propre ou vitesse vraie (Vp ou TAS True air speed)</u> ..... | 71        |
| <u>La vitesse sol (Vs ou GS Ground speed)</u> .....                        | 72        |
| <u>Exemple 1</u> .....                                                     | 73        |
| <u>Exemple 2</u> .....                                                     | 73        |
| <u>Exemple 3</u> .....                                                     | 74        |
| <u>Exemple 4</u> .....                                                     | 74        |
| <u>Exemple 5</u> .....                                                     | 74        |
| <u>Domaine d'utilisation</u> .....                                         | 75        |
| <b><u>Le variomètre</u></b> .....                                          | <b>77</b> |
| <b><u>Le compas</u></b> .....                                              | <b>78</b> |
| <b><u>Le gyroscope</u></b> .....                                           | <b>79</b> |
| <b><u>L'horizon artificiel</u></b> .....                                   | <b>80</b> |
| <b><u>La bille et l'aiguille</u></b> .....                                 | <b>81</b> |
| <u>La bille (symétrie du vol)</u> .....                                    | 81        |
| <u>L'aiguille (indicateur de virage)</u> .....                             | 81        |
| <b><u>Le conservateur de cap ou directionnel</u></b> .....                 | <b>82</b> |
| <b><u>Le VOR</u></b> .....                                                 | <b>83</b> |
| <u>Fonctionnement</u> .....                                                | 83        |
| <u>Principes</u> .....                                                     | 83        |
| <u>Les émetteurs VOR</u> .....                                             | 84        |
| <u>Le récepteur</u> .....                                                  | 84        |
| <u>Alignement sur un axe</u> .....                                         | 84        |
| <u>Conduite à tenir en cas de non réception d'une station VOR</u> .....    | 85        |

# Sommaire

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>Le DME (Distance Measuring Equipment)</u></b> .....     | <b>86</b>  |
| <u>Avantages</u> .....                                        | 86         |
| <u>Inconvénients</u> .....                                    | 86         |
| <b><u>Le HSI (Horizontal Situation Indicator)</u></b> .....   | <b>87</b>  |
| <b><u>Le radiocompas ou ADE</u></b> .....                     | <b>88</b>  |
| <u>Avantages/inconvénients de l'ADE</u> .....                 | 88         |
| <u>Les avantages</u> .....                                    | 88         |
| <u>Les inconvénients</u> .....                                | 88         |
| <u>Utilisation du radiocompas</u> .....                       | 89         |
| <u>Le boîtier de commande</u> .....                           | 89         |
| <u>Le cadran de lecture</u> .....                             | 89         |
| <u>Fonctionnement</u> .....                                   | 89         |
| <u>Calcul du QDM à partir du gisement</u> .....               | 90         |
| <u>Limites d'utilisation du radiocompas</u> .....             | 90         |
| <b><u>Le RMI (Radio Magnetic Indicator)</u></b> .....         | <b>91</b>  |
| <b><u>Le gonio ou VDF (VHF Directional Finding)</u></b> ..... | <b>92</b>  |
| <u>Procédure</u> .....                                        | 92         |
| <u>Avantage</u> .....                                         | 92         |
| <u>Inconvénients</u> .....                                    | 92         |
| <b><u>L'ILS (Instrument Landing System)</u></b> .....         | <b>93</b>  |
| <u>Fonctionnement</u> .....                                   | 93         |
| <b><u>Les markers</u></b> .....                               | <b>94</b>  |
| <b><u>Transpondeur</u></b> .....                              | <b>95</b>  |
| <b><u>Le GPS (Global Positioning System)</u></b> .....        | <b>96</b>  |
| <u>Classes des GPS utilisables en VFR</u> .....               | 97         |
| <u>Utilisation</u> .....                                      | 97         |
| <u>Base de données</u> .....                                  | 97         |
| <b><u>L'ampèremètre</u></b> .....                             | <b>98</b>  |
| <b><u>Le manomètre</u></b> .....                              | <b>99</b>  |
| <b><u>Le tachymètre</u></b> .....                             | <b>100</b> |
| <b><u>METEOROLOGIE</u></b> .....                              | <b>101</b> |
| <u>Définitions</u> .....                                      | 102        |
| <b><u>Caractéristiques de l'atmosphère</u></b> .....          | <b>104</b> |
| <u>La structure verticale de l'atmosphère</u> .....           | 104        |
| <u>Les paramètres de l'atmosphère</u> .....                   | 104        |
| <u>La pression atmosphérique</u> .....                        | 104        |
| <u>Variation avec l'altitude</u> .....                        | 105        |
| <u>Variation au niveau de la mer</u> .....                    | 105        |

# Sommaire

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <u>Vent et champs de pression</u> .....                          | 105        |
| <u>La température</u> .....                                      | 105        |
| <u>Variations diurnes</u> .....                                  | 106        |
| <u>Variations saisonnières</u> .....                             | 106        |
| <u>Variations horizontales</u> .....                             | 106        |
| <u>Les échanges thermiques</u> .....                             | 106        |
| <u>L'humidité</u> .....                                          | 106        |
| <u>Stabilité, instabilité</u> .....                              | 107        |
| <u>La masse volumique de l'air</u> .....                         | 107        |
| <u>Température</u> .....                                         | 108        |
| <u>Pression</u> .....                                            | 108        |
| <b><u>L'atmosphère standard</u></b> .....                        | <b>108</b> |
| <b><u>Les masses d'air et le vent</u></b> .....                  | <b>109</b> |
| <u>Masse d'air</u> .....                                         | 109        |
| <u>Vent</u> .....                                                | 109        |
| <b><u>Les perturbations et les fronts</u></b> .....              | <b>110</b> |
| <u>Perturbation</u> .....                                        | 110        |
| <u>Front</u> .....                                               | 110        |
| <b><u>Les nuages</u></b> .....                                   | <b>112</b> |
| <b><u>Le dossier de vol</u></b> .....                            | <b>115</b> |
| <b><u>Messages d'observation ou de prévision</u></b> .....       | <b>116</b> |
| <u>Le METAR</u> .....                                            | 116        |
| <u>Messages avec conditions CAVOK</u> .....                      | 116        |
| <u>Messages sans conditions CAVOK</u> .....                      | 116        |
| <u>Le TAF</u> .....                                              | 118        |
| <u>Le SPECI</u> .....                                            | 119        |
| <u>La tendance de prévision à l'atterrissage (TEND)</u> .....    | 119        |
| <u>Le SIGMET</u> .....                                           | 120        |
| <b><u>Les cartes</u></b> .....                                   | <b>121</b> |
| <u>La carte TEMSI</u> .....                                      | 121        |
| <u>La carte des vents et des températures prévus</u> .....       | 122        |
| <b><u>Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique</u></b> ..... | <b>123</b> |
| <u>Le givrage</u> .....                                          | 123        |
| <u>Le verglas</u> .....                                          | 123        |
| <u>Le givre mou (ou givre opaque)</u> .....                      | 123        |
| <u>La gelée blanche</u> .....                                    | 123        |
| <u>La turbulence</u> .....                                       | 123        |
| <u>La turbulence thermique</u> .....                             | 123        |
| <u>La turbulence dynamique</u> .....                             | 123        |
| <u>Les orages</u> .....                                          | 124        |
| <u>Les phénomènes réduisant la visibilité</u> .....              | 124        |
| <u>Les précipitations</u> .....                                  | 124        |
| <u>La brume (BR)</u> .....                                       | 124        |
| <u>Le brouillard</u> .....                                       | 124        |

# Sommaire

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <u>Le stratus (St)</u> .....                                          | 125        |
| <u>Action du relief sur le vent</u> .....                             | 126        |
| <u>Action du soleil : les brises de pente et de vallée</u> .....      | 126        |
| <u>Les stratus et le relief</u> .....                                 | 126        |
| <u>Les orages</u> .....                                               | 126        |
| <u>La turbulence</u> .....                                            | 126        |
| <u>L'effet de Foehn</u> .....                                         | 126        |
| <u>La météorologie côtière : brise de mer et brise de terre</u> ..... | 127        |
| <u>La brise de mer</u> .....                                          | 127        |
| <u>La brise de terre</u> .....                                        | 127        |
| <u>Les brouillards côtiers</u> .....                                  | 128        |
| <b><u>Météorologies locales</u></b> .....                             | <b>128</b> |
| <b><u>Où obtenir des informations météo</u></b> .....                 | <b>129</b> |
| <u>Avant le vol</u> .....                                             | 129        |
| <u>Pendant le vol</u> .....                                           | 129        |
| <b><u>GROUPE MOTOPROPULSEUR</u></b> .....                             | <b>131</b> |
| <b><u>Le système propulsif</u></b> .....                              | <b>132</b> |
| <b><u>Le moteur à piston</u></b> .....                                | <b>133</b> |
| <u>Description</u> .....                                              | 133        |
| <u>Fonctionnement</u> .....                                           | 133        |
| <u>L'alimentation</u> .....                                           | 134        |
| <u>Le carburateur</u> .....                                           | 134        |
| <u>Le givrage du carburateur</u> .....                                | 135        |
| <u>Conditions propices :</u> .....                                    | 135        |
| <u>Dispositif de réchauffage du carburateur</u> .....                 | 135        |
| <u>Utilisation de la commande de mélange</u> .....                    | 136        |
| <u>L'allumage</u> .....                                               | 136        |
| <u>La lubrification</u> .....                                         | 137        |
| <u>Les huiles minérales</u> .....                                     | 137        |
| <u>Les huiles dispersantes (car sans résidus de combustion)</u> ..... | 138        |
| <u>Le grade</u> .....                                                 | 138        |
| <u>Les circuits</u> .....                                             | 138        |
| <u>Le circuit de dépression</u> .....                                 | 138        |
| <u>Le circuit anémométrique</u> .....                                 | 138        |
| <u>Le circuit pneumatique</u> .....                                   | 139        |
| <u>Le circuit électrique</u> .....                                    | 139        |
| <u>Le circuit carburant</u> .....                                     | 140        |
| <u>Le refroidissement du moteur</u> .....                             | 142        |
| <b><u>Les turbomachines</u></b> .....                                 | <b>143</b> |
| <u>Le turboréacteur</u> .....                                         | 143        |
| <u>Le turboréacteur simple flux</u> .....                             | 143        |
| <u>Le turboréacteur double flux</u> .....                             | 143        |
| <u>Le turbopropulseur</u> .....                                       | 143        |
| <u>Le turbomoteur</u> .....                                           | 144        |
| <u>Le turbocompresseur</u> .....                                      | 144        |

# Sommaire

|                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>L'hélice</u></b> .....                                             | <b>145</b> |
| <u>Hélice à calage fixe</u> .....                                        | 145        |
| <u>Hélice à calage variable ou à régime moteur constant</u> .....        | 146        |
| <u>Utilisation de l'hélice à calage variable</u> .....                   | 146        |
| <b><u>Les performances en croisière</u></b> .....                        | <b>147</b> |
| <b><u>Le turbo-compresseur</u></b> .....                                 | <b>148</b> |
| <b><u>Les effets moteur</u></b> .....                                    | <b>149</b> |
| <b><u>Les anomalies de fonctionnement</u></b> .....                      | <b>150</b> |
| <u>L'huile</u> .....                                                     | 150        |
| <u>Chute de la pression d'huile</u> .....                                | 150        |
| <u>Elévation anormale de la température</u> .....                        | 150        |
| <u>Les anomalies dans le réseau électrique</u> .....                     | 150        |
| <u>Les anomalies de fonctionnement du circuit de lubrification</u> ..... | 150        |
| <b><u>Les procédures d'urgence</u></b> .....                             | <b>151</b> |
| <u>Le feu moteur</u> .....                                               | 151        |
| <u>Au démarrage</u> .....                                                | 151        |
| <u>En vol</u> .....                                                      | 151        |
| <u>Le feu cabine</u> .....                                               | 151        |
| <u>Le feu voilure</u> .....                                              | 151        |
| <u>Les pannes moteur</u> .....                                           | 151        |
| <u>Au décollage</u> .....                                                | 151        |
| <u>Après le décollage</u> .....                                          | 152        |
| <u>En vol</u> .....                                                      | 152        |
| <u>Panne partielle de puissance en vol</u> .....                         | 152        |
| <u>Panne électrique d'alternateur</u> .....                              | 152        |
| <b><u>Navigation</u></b> .....                                           | <b>153</b> |
| <b><u>Trigonométrie</u></b> .....                                        | <b>154</b> |
| <u>Exercice d'application</u> .....                                      | 154        |
| <u>Réponse</u> .....                                                     | 155        |
| <b><u>L'orientation</u></b> .....                                        | <b>156</b> |
| <u>Coordonnées géographiques</u> .....                                   | 156        |
| <b><u>La navigation</u></b> .....                                        | <b>157</b> |
| <u>Principes de navigation</u> .....                                     | 157        |
| <u>La route vraie (ou route géographique)</u> .....                      | 157        |
| <u>La mesure du temps</u> .....                                          | 157        |
| <u>Calcul du temps sans vent</u> .....                                   | 158        |
| <u>Influence du vent</u> .....                                           | 158        |
| <u>La mesure des vitesses</u> .....                                      | 159        |
| <u>Les QDR et les QDM</u> .....                                          | 159        |
| <u>QDR</u> .....                                                         | 159        |
| <u>QDM</u> .....                                                         | 159        |
| <u>Les radials</u> .....                                                 | 159        |
| <u>Les méthodes de navigation</u> .....                                  | 160        |

# Sommaire

|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| <u>Le cheminement</u> .....                                        | 160        |
| <u>L'estime</u> .....                                              | 160        |
| <u>Choix des repères</u> .....                                     | 160        |
| <b><u>Calcul du carburant</u></b> .....                            | <b>161</b> |
| <b><u>Les cartes d'aérodromes</u></b> .....                        | <b>163</b> |
| <u>L'échelle d'une carte</u> .....                                 | 163        |
| <u>L'unité de distance</u> .....                                   | 163        |
| <u>La carte au 1/500 000e OACI</u> .....                           | 163        |
| <u>La carte radionavigation à vue au 1/1 000 000e SIA</u> .....    | 164        |
| <u>Le complément à la carte France Radionavigation à vue</u> ..... | 164        |
| <b><u>Préparation et gestion de la navigation en vol</u></b> ..... | <b>165</b> |
| <u>Préparation du vol</u> .....                                    | 165        |
| <u>Préparation à long terme</u> .....                              | 165        |
| <u>Préparation à court terme (juste avant le vol)</u> .....        | 166        |
| <u>Gestion du vol</u> .....                                        | 166        |
| <u>Gestion de la charge de travail</u> .....                       | 166        |
| <u>Organisation des différentes phases de vol</u> .....            | 167        |
| <b><u>Outils nécessaires</u></b> .....                             | <b>168</b> |
| <u>La montre</u> .....                                             | 168        |
| <u>Le rapporteur</u> .....                                         | 168        |
| <u>La règle</u> .....                                              | 168        |
| <u>Le journal de bord</u> .....                                    | 168        |
| <u>Le crayon et la gomme</u> .....                                 | 168        |
| <b><u>La balise de détresse</u></b> .....                          | <b>169</b> |
| <b><u>Que faire si l'on est perdu ?</u></b> .....                  | <b>170</b> |
| <b><u>RADIOCOMMUNICATION</u></b> .....                             | <b>171</b> |
| <u>L'alphabet international et le code Morse</u> .....             | 172        |
| <u>Transmission des nombres</u> .....                              | 173        |
| <u>Les expressions</u> .....                                       | 174        |
| <u>L'échelle de lisibilité</u> .....                               | 175        |
| <u>Composition d'un message radio</u> .....                        | 176        |
| <u>Prise de contact</u> .....                                      | 176        |
| <u>Message</u> .....                                               | 176        |
| <u>Réponse à un message</u> .....                                  | 177        |
| <u>L'ATIS</u> .....                                                | 178        |
| <u>Le mode Q</u> .....                                             | 179        |

# Sommaire

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <u>Les fréquences.....</u>                                                   | <u>180</u> |
| <u>Les messages d'urgence et de détresse.....</u>                            | <u>181</u> |
| <u>L'urgence.....</u>                                                        | <u>181</u> |
| <u>La détresse.....</u>                                                      | <u>181</u> |
| <u>Conduite à tenir en cas de panne radio.....</u>                           | <u>182</u> |
| <u>REGLEMENTATION.....</u>                                                   | <u>183</u> |
| <u>Définitions.....</u>                                                      | <u>184</u> |
| <u>JAA, JAR, FCL, ........</u>                                               | <u>185</u> |
| <u>Services de la circulation aérienne.....</u>                              | <u>186</u> |
| <u>Organismes internationaux.....</u>                                        | <u>187</u> |
| <u>Organisme mondial de l'aviation civile (OACI).....</u>                    | <u>187</u> |
| <u>Organisation Européenne de l'Aviation Civile.....</u>                     | <u>187</u> |
| <u>Organisme national de tutelle de l'aviation civile.....</u>               | <u>188</u> |
| <u>La Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC).....</u>                | <u>188</u> |
| <u>Les règles du vol à vue (VFR).....</u>                                    | <u>189</u> |
| <u>Qualifications accessibles aux pilotes privés.....</u>                    | <u>190</u> |
| <u>Autorisation de voltige.....</u>                                          | <u>190</u> |
| <u>Qualification de radiotéléphonie internationale.....</u>                  | <u>191</u> |
| <u>Qualification vol de nuit.....</u>                                        | <u>191</u> |
| <u>Qualification atterrissage en montagne.....</u>                           | <u>191</u> |
| <u>Qualification vol aux instruments (IFR).....</u>                          | <u>191</u> |
| <u>Qualification instructeur pilote privé.....</u>                           | <u>191</u> |
| <u>Réglementation du pilote privé.....</u>                                   | <u>192</u> |
| <u>Conditions pour se présenter à l'examen en vol de la licence PPL.....</u> | <u>192</u> |
| <u>Les obligations du commandant de bord.....</u>                            | <u>192</u> |
| <u>Les documents associés à l'avion et au pilote.....</u>                    | <u>192</u> |
| <u>Renouvellement de la licence.....</u>                                     | <u>194</u> |
| <u>Validation.....</u>                                                       | <u>194</u> |
| <u>Prorogation de la qualification de classe ou de type.....</u>             | <u>194</u> |
| <u>Renouvellement lorsque la qualification a expiré.....</u>                 | <u>194</u> |
| <u>A l'intérieur d'une même classe.....</u>                                  | <u>194</u> |
| <u>Textes réglementaires.....</u>                                            | <u>195</u> |
| <u>L'aptitude physique et mentale.....</u>                                   | <u>196</u> |
| <u>Détermination de l'aptitude physique et mentale.....</u>                  | <u>196</u> |
| <u>Conditions d'admission de l'aptitude physique et mentale.....</u>         | <u>196</u> |

# Sommaire

|                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>Infractions et incidents aéronautiques</u></b> .....                                                          | <b>197</b> |
| <u>Infractions aux règles de la circulation aérienne</u> .....                                                      | 197        |
| <u>La commission régionale de discipline</u> .....                                                                  | 197        |
| <u>Les sanctions</u> .....                                                                                          | 197        |
| <u>Incidents de la circulation aérienne</u> .....                                                                   | 198        |
| <u>Sécurité mise en cause par un autre aéronef : procédure AIRPROX</u> .....                                        | 198        |
| <u>Sécurité mise en cause par une installation ou un organisme de la circulation aérienne : "réclamation"</u> ..... | 198        |
| <b><u>VOL DE NUIT</u></b> .....                                                                                     | <b>199</b> |
| <b><u>La nuit aéronautique</u></b> .....                                                                            | <b>200</b> |
| <b><u>Equipements de l'avion</u></b> .....                                                                          | <b>201</b> |
| <b><u>Balisage des obstacles et des véhicules</u></b> .....                                                         | <b>202</b> |
| <u>Balisage des obstacles</u> .....                                                                                 | 202        |
| <u>Balisage des véhicules</u> .....                                                                                 | 202        |
| <b><u>Balisage d'un aérodrome</u></b> .....                                                                         | <b>203</b> |
| <u>Repérage et identification des aérodromes</u> .....                                                              | 203        |
| <u>Balisage des pistes</u> .....                                                                                    | 203        |
| <u>Délimitation de piste</u> .....                                                                                  | 203        |
| <u>Feux de seuil de piste</u> .....                                                                                 | 203        |
| <u>Feux d'extrémité de piste</u> .....                                                                              | 203        |
| <u>Balisage de piste complémentaire</u> .....                                                                       | 203        |
| <u>Balisage des voies de circulation et des aires de parkings</u> .....                                             | 203        |
| <u>Aides lumineuses à l'approche</u> .....                                                                          | 204        |
| <u>Lignes d'approche</u> .....                                                                                      | 204        |
| <u>Autres aides lumineuses</u> .....                                                                                | 204        |
| <b><u>Météorologie nocturne</u></b> .....                                                                           | <b>205</b> |
| <u>Stratus et brouillards</u> .....                                                                                 | 205        |
| <u>Orages</u> .....                                                                                                 | 205        |
| <u>La turbulence</u> .....                                                                                          | 205        |
| <u>Passage dans une couche de nuages</u> .....                                                                      | 205        |
| <b><u>Aspects réglementaires du VFR de nuit</u></b> .....                                                           | <b>206</b> |
| <u>Conditions météorologiques minimales</u> .....                                                                   | 206        |
| <u>Dépôt du plan de vol</u> .....                                                                                   | 206        |
| <u>Aérodromes de départ et d'arrivée</u> .....                                                                      | 207        |
| <u>Emport de carburant</u> .....                                                                                    | 207        |
| <u>Hauteur minimale de survol</u> .....                                                                             | 207        |
| <u>Contact radio</u> .....                                                                                          | 207        |
| <u>Balisage lumineux de l'avion</u> .....                                                                           | 207        |
| <b><u>Mise en oeuvre de l'avion</u></b> .....                                                                       | <b>208</b> |
| <u>Visite prévol</u> .....                                                                                          | 208        |
| <u>Familiarisation avec la cabine</u> .....                                                                         | 208        |
| <u>Mise en route du moteur</u> .....                                                                                | 208        |
| <u>Roulage</u> .....                                                                                                | 208        |
| <u>Décollage et montée initiale</u> .....                                                                           | 208        |

# Sommaire

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <u>Utilisation des voies aériennes et autres espaces aériens contrôlés ou réglementés</u> ..... | 209        |
| <u>Approche et atterrissage</u> .....                                                           | 209        |
| <b><u>Navigation de nuit</u></b> .....                                                          | <b>210</b> |
| <u>La préparation</u> .....                                                                     | 210        |
| <u>Les documents à emporter</u> .....                                                           | 210        |
| <u>Les repères</u> .....                                                                        | 210        |
| <u>Les aides radio</u> .....                                                                    | 210        |
| <b><u>Procédures d'urgence</u></b> .....                                                        | <b>211</b> |
| <u>Panne d'éclairage</u> .....                                                                  | 211        |
| <u>Tableau de bord</u> .....                                                                    | 211        |
| <u>Phare d'atterrissage</u> .....                                                               | 211        |
| <u>Panne radio</u> .....                                                                        | 211        |
| <u>Panne de génération électrique</u> .....                                                     | 211        |
| <b><u>Obtention de l'aptitude Au vol de nuit</u></b> .....                                      | <b>212</b> |
| <b><u>Décompte du temps de vol</u></b> .....                                                    | <b>213</b> |
| <b><u>La vision de nuit</u></b> .....                                                           | <b>214</b> |
| <b><u>MECANIQUE DU VOL</u></b> .....                                                            | <b>215</b> |
| <b><u>Mathématiques</u></b> .....                                                               | <b>216</b> |
| <b><u>Physique</u></b> .....                                                                    | <b>217</b> |
| <u>La Masse</u> .....                                                                           | 217        |
| <u>Le poids</u> .....                                                                           | 217        |
| <u>Caractéristiques du poids</u> .....                                                          | 217        |
| <u>Les forces</u> .....                                                                         | 217        |
| <u>Caractéristiques d'une force</u> .....                                                       | 218        |
| <u>Représentation d'une force par un vecteur-force</u> .....                                    | 218        |
| <u>Equilibre des forces</u> .....                                                               | 218        |
| <u>Déséquilibre des forces</u> .....                                                            | 218        |
| <u>Le centre de gravité</u> .....                                                               | 219        |
| <u>Application en aéronautique</u> .....                                                        | 219        |
| <u>Les moments</u> .....                                                                        | 219        |
| <u>Application en aéronautique</u> .....                                                        | 220        |
| <u>Le centre de poussée</u> .....                                                               | 220        |
| <u>Le foyer</u> .....                                                                           | 220        |
| <u>Le facteur de charge</u> .....                                                               | 220        |
| <u>Equilibre de l'avion</u> .....                                                               | 221        |
| <u>Stabilité de l'avion</u> .....                                                               | 221        |
| <u>Position du centre de gravité par rapport au foyer</u> .....                                 | 221        |
| <u>Le centrage avant/arrière</u> .....                                                          | 222        |
| <b><u>Les aéronefs</u></b> .....                                                                | <b>223</b> |
| <u>Le ballon</u> .....                                                                          | 223        |
| <u>Le dirigeable</u> .....                                                                      | 223        |
| <u>L'ULM (Ultra Léger Motorisé)</u> .....                                                       | 223        |
| <u>Le planeur</u> .....                                                                         | 223        |

# Sommaire

|                                                                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <u>L'hélicoptère</u> .....                                                                                             | 223        |
| <b><u>Chargement et centrage</u>.....</b>                                                                              | <b>225</b> |
| <u>Vérification du chargement et du centrage</u> .....                                                                 | 225        |
| <u>Méthode utilisant des calculs</u> .....                                                                             | 225        |
| <u>La colonne des masses</u> .....                                                                                     | 225        |
| <u>La colonne des bras de levier</u> .....                                                                             | 226        |
| <u>La colonne des moments</u> .....                                                                                    | 226        |
| <u>Conclusion</u> .....                                                                                                | 227        |
| <u>Méthode graphique</u> .....                                                                                         | 228        |
| <u>Les limites du centrage</u> .....                                                                                   | 229        |
| <u>Que faire si le calcul de masse et centrage montre que la masse maximale de l'avion est trop importante ?</u> ..... | 230        |
| <b><u>Description de l'avion</u>.....</b>                                                                              | <b>231</b> |
| <u>La cellule</u> .....                                                                                                | 231        |
| <u>La voilure</u> .....                                                                                                | 231        |
| <u>Le fuselage</u> .....                                                                                               | 233        |
| <u>Les empennages</u> .....                                                                                            | 233        |
| <u>Le train d'atterrissage</u> .....                                                                                   | 234        |
| <u>Les commandes de vol</u> .....                                                                                      | 235        |
| <u>Les gouvernes</u> .....                                                                                             | 235        |
| <u>La gouverne de profondeur : le tangage</u> .....                                                                    | 235        |
| <u>Les ailerons : le roulis</u> .....                                                                                  | 235        |
| <u>La gouverne de direction : le lacet</u> .....                                                                       | 236        |
| <u>Les effets secondaires des gouvernes</u> .....                                                                      | 236        |
| <u>Le lacet inverse</u> .....                                                                                          | 236        |
| <u>Le roulis induit</u> .....                                                                                          | 236        |
| <u>L'effet de girouette</u> .....                                                                                      | 236        |
| <u>Utilisation des gouvernes lors du roulage</u> .....                                                                 | 236        |
| <u>Les compensateurs</u> .....                                                                                         | 236        |
| <u>L'assiette</u> .....                                                                                                | 237        |
| <u>L'angle d'attaque (ou angle d'incidence)</u> .....                                                                  | 237        |
| <u>La pente de trajectoire</u> .....                                                                                   | 237        |
| <b><u>Les effets moteur</u>.....</b>                                                                                   | <b>239</b> |
| <u>Le couple cabreur ou piqueur</u> .....                                                                              | 239        |
| <u>Le souffle hélicoïdal</u> .....                                                                                     | 239        |
| <b><u>Les contraintes sur la cellule</u>.....</b>                                                                      | <b>240</b> |
| <u>Limite élastique – rupture</u> .....                                                                                | 240        |
| <u>Vieillessement – fatigue des matériaux</u> .....                                                                    | 240        |
| <u>Efforts subis</u> .....                                                                                             | 240        |
| <u>Au roulage</u> .....                                                                                                | 240        |
| <u>En évolution</u> .....                                                                                              | 241        |
| <u>En descente</u> .....                                                                                               | 241        |
| <u>A l'atterrissage</u> .....                                                                                          | 241        |
| <b><u>Devenir Pilote privé</u>.....</b>                                                                                | <b>242</b> |
| <u>Conditions d'obtention</u> .....                                                                                    | 242        |
| <u>Privilèges accordés par le brevet</u> .....                                                                         | 243        |
| <u>Extensions possibles</u> .....                                                                                      | 244        |

# Sommaire

|                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <a href="#">Renouvellement de la licence</a>                                              | 245        |
| <b><a href="#">Devenir Pilote de ligne</a></b>                                            | <b>246</b> |
| <a href="#">Les filières gratuites</a>                                                    | 246        |
| <a href="#">Les filières autodidactes</a>                                                 | 246        |
| <a href="#">L'expatriation</a>                                                            | 246        |
| <b><a href="#">Devenir pilote militaire</a></b>                                           | <b>247</b> |
| <a href="#">Filière accessible par concours Maths SUP/SPE</a>                             | 247        |
| <a href="#">Filière accessible après le bac</a>                                           | 247        |
| <a href="#">Le concours de l'Armée de l'Air (Elève Officier du Personnel Navigant)</a>    | 247        |
| <a href="#">Le concours de la Marine (Elève Officier Pilote de l'Aéronautique Navale)</a> | 247        |
| <b><a href="#">Piloter avec un handicap</a></b>                                           | <b>248</b> |
| <a href="#">Liens</a>                                                                     | 248        |
| <b><a href="#">Aérodynamique</a></b>                                                      | <b>250</b> |
| <b><a href="#">L'aile</a></b>                                                             | <b>251</b> |
| <a href="#">L'incidence</a>                                                               | 252        |
| <b><a href="#">Le tube de Venturi</a></b>                                                 | <b>253</b> |
| <a href="#">Définitions et formules</a>                                                   | 253        |
| <a href="#">La pression atmosphérique</a>                                                 | 253        |
| <a href="#">La pression statique</a>                                                      | 254        |
| <a href="#">La pression dynamique</a>                                                     | 254        |
| <a href="#">La pression totale</a>                                                        | 254        |
| <a href="#">Le débit</a>                                                                  | 254        |
| <a href="#">Applications</a>                                                              | 254        |
| <a href="#">Une petite expérience</a>                                                     | 255        |
| <a href="#">Explication</a>                                                               | 255        |
| <b><a href="#">Le tube de Pitot et de Prandtl</a></b>                                     | <b>257</b> |
| <b><a href="#">Portance et traînée</a></b>                                                | <b>258</b> |
| <a href="#">Dans l'espace</a>                                                             | 258        |
| <a href="#">Application à l'aéronautique</a>                                              | 258        |
| <a href="#">Formules</a>                                                                  | 260        |
| <a href="#">Portance</a>                                                                  | 260        |
| <a href="#">Traînée</a>                                                                   | 261        |
| <b><a href="#">La finesse</a></b>                                                         | <b>263</b> |
| <a href="#">Finesse d'un planeur</a>                                                      | 263        |
| <b><a href="#">La résultante aérodynamique</a></b>                                        | <b>264</b> |
| <a href="#">Facteurs modifiant la résultante aérodynamique</a>                            | 265        |
| <a href="#">Les paramètres subis</a>                                                      | 265        |
| <a href="#">Les paramètres pilotés</a>                                                    | 265        |
| <b><a href="#">La polaire</a></b>                                                         | <b>266</b> |

# Sommaire

|                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>Le diagramme des puissances</u></b> .....                          | <b>267</b> |
| <u>Etude des trajectoires dans le plan vertical</u> .....                | 273        |
| <u>Le vol en palier</u> .....                                            | 273        |
| <u>Le vol en montée</u> .....                                            | 273        |
| <u>Le vol en descente</u> .....                                          | 275        |
| <b><u>Etude des trajectoires dans le plan horizontal</u></b> .....       | <b>277</b> |
| <u>Le virage</u> .....                                                   | 277        |
| <u>Relation entre le rayon de virage et la vitesse</u> .....             | 277        |
| <u>Relation entre le rayon de virage et l'inclinaison</u> .....          | 277        |
| <u>Virage en palier à puissance constante</u> .....                      | 277        |
| <u>Virage en palier à vitesse constante</u> .....                        | 277        |
| <b><u>Le décrochage et l'hypersustentation</u></b> .....                 | <b>278</b> |
| <u>Le décrochage</u> .....                                               | 278        |
| <u>Les indices permettant de détecter l'approche du décrochage</u> ..... | 278        |
| <u>Les manifestations du décrochage</u> .....                            | 278        |
| <u>Les facteurs influant la vitesse de décrochage</u> .....              | 278        |
| <u>Conduite à tenir à l'approche du décrochage</u> .....                 | 278        |
| <u>L'hypersustentation</u> .....                                         | 278        |
| <u>Les dispositifs hypersustentateurs</u> .....                          | 278        |
| <u>Le volet d'intrados</u> .....                                         | 279        |
| <u>Le volet de courbure</u> .....                                        | 279        |
| <u>Le volet Fowler</u> .....                                             | 280        |
| <u>Le bec de bord d'attaque</u> .....                                    | 280        |
| <b><u>Les dispositifs hyposustentateurs</u></b> .....                    | <b>281</b> |
| <u>Les aérofreins</u> .....                                              | 281        |
| <u>—</u> .....                                                           | 281        |
| <b><u>Relation entre la vitesse et l'incidence</u></b> .....             | <b>282</b> |
| <u>Vol en palier</u> .....                                               | 282        |
| <u>Vol en montée ou en descente</u> .....                                | 282        |
| <b><u>Relation entre la vitesse et la trajectoire</u></b> .....          | <b>283</b> |
| <b><u>formules utilisées en aéronautique</u></b> .....                   | <b>284</b> |
| <u>Unités</u> .....                                                      | 284        |
| <u>Aérodynamique</u> .....                                               | 285        |
| <u>Mécanique du vol</u> .....                                            | 285        |
| <u>Navigation</u> .....                                                  | 286        |

# **ABBREVIATIONS**

**Cx** Coefficient de [traînée](#)

**Cz** Coefficient de [portance](#)

**ft** Pied (30.48 cm)

**ft/mn** Pied par minute

**IFR** Règles de vol aux instruments

**Km** Kilomètre

**Kt** Knot (mille nautique par heure : 1, 852 km/h)

**Mn** Minute

**NM** Mille Nautique (1,1852 km)

**P** Poids = Masse \* 9.81 m/s

**Plafond** Hauteur moyenne de la base des nuages au-dessus du sol

**QFE** Pression atmosphérique régnant au niveau officiel de l'aérodrome

**QFU** Orientation magnétique de l'axe de la piste (en dizaines de degrés)

**QNE** Niveau de l'aérodrome (altitude pression)

**QNH** Pression atmosphérique régnant au niveau de la mer

## ABREVIATIONS

**Rx** [Traînée](#)

**Rz** [Portance](#)

**Vc** Vitesse conventionnelle (vitesse lue sur l'anémomètre lorsque la pression statique vaut 1013,25 hPa, la densité est de 1 et la température 15°C)

**VFE** Vitesse maximale, volets sortis

**VHF** Très haute fréquence radio

**Vi** Vitesse indiquée en kt (vitesse donnée par l'anémomètre élaborée d'après les pressions dynamiques et statiques)

**VLE** Vitesse maximale, train sorti

**VLO** Vitesse maximale de manoeuvre du train

**VNE** Vitesse maximale à ne jamais dépasser

**VNO** Vitesse maximale en utilisation normale

**Vp** Vitesse propre en kt (vitesse d'un avion par rapport à la masse d'air dans laquelle il se déplace)

**VRF** Règles de vol à vue

**Vs** Vitesse sol en kt

**Vso** Vitesse de décrochage en configuration atterrissage (train sorti et volets atterrissage) en kt

**Vs1** Vitesse de décrochage en configuration lisse et en vol rectiligne

**Vw** Vecteur [vent](#) (Velocity Wind : vitesse du vent) vent de face : -VW; vent de dos : VW

**Vz** Taux de chute (ou vitesse verticale) en ft/min

**W** Puissance

**Wu** Puissance utile (disponible)

**Wn** Puissance nécessaire

**Z** Altitude

## ABREVIATIONS

**Zp** Altitude pression

---

# AEROMEDECINE

[Physiologie aéronautique](#)

[Vigilance, sommeil, fatigue, stress](#)

[La fiabilité humaine et les erreurs humaines](#)

# Physiologie aéronautique

## Effets de l'altitude

Lorsque l'**altitude augmente**, la **pression atmosphérique** et la **température diminuent**.

## Hypoxie d'altitude

Quand la **pression atmosphérique diminue**, l'**apport d'oxygène aux tissus diminue**, constituant ce que l'on appelle l'hypoxie. Ce phénomène dépend de 3 facteurs :

- l'**amplitude** de la diminution de pression
- la **vitesse** de cette diminution : éviter de monter trop rapidement afin de permettre aux systèmes compensateurs de bien jouer leur rôle
- l'état de **santé** des individus : la sensibilité de l'homme à l'hypoxie est augmentée par le manque de sommeil, la fatigue, les abus de tabac ou d'alcool et une alimentation trop riche en graisse. A l'inverse, une alimentation riche en hydrates de carbone et en vitamine B1 et C augmente la tolérance à l'hypoxie

Il faut également savoir que :

- l'organisme humain comporte des systèmes compensateurs capables de retarder l'apparition des premiers troubles
- tous les pilotes ne réagissent pas de la même façon à l'hypoxie
- c'est le système nerveux qui est le plus touché du fait de sa faible résistance au manque d'oxygène
- les symptômes apparaissent le plus souvent de façon insidieuse

Le comportement induit évoque une intoxication alcoolique : euphorie, altération du jugement, troubles de la mémoire. On constate également une augmentation des fréquences cardiaques et respiratoires.

| Altitude (ft) | Signes cliniques                                                                                              |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4500          | début des manifestations pour les individus atteints d'insuffisance respiratoire ou de pathologies cardiaques |
| 12000         | maux de tête, fatigue                                                                                         |
| 18000         | maux de tête, somnolence, perturbations visuelles, troubles du comportement, perte de coordination            |
| 22000         | palpitations, hyperventilation, collapsus, perte de conscience                                                |
| 25000         | convulsions, collapsus                                                                                        |

*Tableau des signes cliniques de l'hypoxie en fonction de l'altitude*

## Temps de conscience utile

Au delà de 12000 ft, il est nécessaire de pressuriser l'avion ou d'utiliser un masque à oxygène.

### Temps de conscience utile

Temps pendant lequel un individu conserve ses facultés mentales. Il est d'environ 2 minutes à 25000 ft en cas de décompression explosive.

### Barotraumatismes

Incidents physiologiques provoqués par une **expansion des gaz** présents dans les cavités corporelles du fait de la baisse de la pression atmosphérique. Ils peuvent concerner différents organes (oreille externe, moyenne ou interne, dents, sinus, tube digestif) et ont pour seul remède la **descente**. Il est important que le pilote qui veut effectuer un vol à haute altitude ne souffre pas à ce moment-là d'otite ou de sinusite et qu'il n'ait pas non plus une carie dentaire avec abcès en formation.

### L'hyperventilation

Au début, sous l'effet de la peur, la **respiration s'accélère** (faisant baisser anormalement le taux du gaz carbonique du sang) et le pilote est couvert de **sueurs**. Il peut également sentir des **fourmillements** au niveau des doigts et des orteils, des **étourdissements** passagers, des **nausées**. Le rythme cardiaque s'accélère et des troubles de la vue peuvent apparaître : l'hyperventilation peut même aboutir à une perte de conscience.

Il faut essayer de **diminuer** volontairement l' **amplitude** et la **fréquence** des **mouvements respiratoires** et garder à l'esprit que la **pratique du vol** et la **confiance en soi** rendent de plus en plus improbables les accidents par hyperventilation.

### Effets de l'accélération

| Axe de l'accélération | Type des accélérations                 |
|-----------------------|----------------------------------------|
| avant arrière         | longitudinales et angulaires en roulis |
| droite-gauche         | latérales et angulaires en tangage     |
| tête-pied             | radiales et angulaires en lacet        |

*Les effets de l'accélération*

**Facteur de charge positif** : augmente la pression sanguine au-dessus du coeur et la diminue au-dessus

**Facteur de charge négatif** : provoque un afflux de sang vers le cerveau

| Nombre de G | Signes cliniques                                                   |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| + 2G        | sensation de compression, tête et membres lourds, mobilité réduite |
| + 3G        | sensations précédentes accentuées,                                 |

## La perception

|      |                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|
|      | augmentation des fréquences cardiaques et respiratoires                        |
| + 4G | perte de la vision périphérique, altération de la vision centrale (voile gris) |
| + 5G | perte de la vision centrale                                                    |

### Les effets du facteur de charge

## La perception

### La vision

**Accommodation** : procédé permettant au système visuel de s'adapter à la lumière ambiante et de s'orienter automatiquement pour la poursuite d'une cible ou le suivi du circuit visuel. Ce dispositif optique forme une image plane sur la **rétine**. A la surface de la rétine se trouve 2 types de cellules photosensibles :

- les **cônes** permettant la vision des détails et des couleurs. Ils sont inactifs en vision nocturne.
- les **bâtonnets** servant pour la vision des grandes formes et des mouvements y compris la nuit

La vision comporte plusieurs champs concentriques qui remplissent des fonctions différentes. Seule la **vision centrale** est capable de percevoir les détails fins de l'environnement et les couleurs. Elle couvre un champ très restreint. Au centre de ce champ se trouve l'acuité visuelle maximum. En vol, le pilote doit effectuer un balayage permanent à l'aide de sa vision centrale.

L'acuité visuelle (taille angulaire du plus petit détail perceptible) baisse avec l'âge (**1/10 tous les ans à partir de 50 ans** ) et certaines maladies (diabète). Elle dépend du **contraste de luminosité** et de **couleur** entre l'objet et le fond.

La **vision périphérique** est spécialisée dans la perception des mouvements et des contrastes. Elle ne permet pas de percevoir les détails ou les couleurs, mais va permettre d'attirer l'attention sur ce qui se passe en bordure du champ visuel : le sujet tournera alors son regard vers la perturbation pour regarder en vision centrale. Le **mouvement** ou le **changement de contraste** sont donc nécessaires pour attirer l'attention. La vision périphérique sert également de référence d'horizontalité. Elle est la **première à se dégrader** en cas de facteur de charge élevé, sous l'effet de l'hypoxie ou de la fatigue.

La vision du relief et de la profondeur est créée par le cerveau à l'aide des différentes composantes de la vision (centrale, périphérique, ...) et en les mélangeant à des informations issues des autres sens (équilibre) et de la mémoire.

## L'équilibration

La référence verticale est fournie par l'**appareil vestibulaire** situé dans l'oreille. Celui-ci comprend des détecteurs d'accélération qui ne perçoivent que les accélérations qui dépassent un certain seuil.

## L'audition

Faculté d'entendre certaines vibrations. Ces vibrations sont concentrées par le pavillon de l'**oreille externe**, excitent une membrane mince, le **tympan**, puis sont transmises à une série d'**osselets** situés dans l'oreille moyenne pour aboutir à un détecteur spécialisé situé dans l'oreille interne : la **cochlée**. Celle-ci transforme les vibrations en signaux physiologiques qui, transmis par le nerf auditif, sont interprétés par le cerveau comme des "sons".

Gamme de fréquence sonore : **50 à 16000 Hz** environ. Une exposition à une énergie sonore très élevée endommage la cochlée et peut provoquer une perte irréversible de la performance auditive.

## La proprioception

**Informations** fournies au cerveau (position des membres, efforts musculaires, accélérations subies, ...) par les détecteurs nerveux situés sur les muscles, tendons, articulations, la peau.

## Les illusions sensorielles

Dans le cas du **vol aux instruments** peut se produire une **illusion** résultant de l'**interaction** entre le **système vestibulaire** et le **système visuel**. La règle de base consiste à **croire** ce que disent les **instruments**. Quelques exemples :

- la **position** et le **mouvement** d'un **point lumineux** peuvent être perçus différemment de la réalité
- une **approche de nuit sans lumière extérieure** donnera lieu systématiquement à une **surévaluation de la hauteur**
- le **vol de nuit** peut provoquer la perception de **faux horizons**
- dans certains cas, le **sol** peut être **confondu** avec le **ciel**

## Hygiène de vie

Les **effets de l'alcool** sont **amplifiés par l'altitude** : augmentation du temps de réflexion, altération des capacités de jugement, perturbation de l'appréciation des risques, aggravation des illusions sensorielles.

Il faut prendre une **alimentation équilibrée** avant de voler, incluant des **sucres lents** (pâtes, céréales), des protéides et des lipides en petite quantité (fromage, jambon, oeufs). Il faut éviter de ne consommer que des sucres rapides afin de ne pas se retrouver en hypoglycémie et ne pas sauter de repas, principalement le petit déjeuner. Ce dernier sera nourrissant mais limité en corps gras. Le déjeuner sera avancé vers 11 heures et sera suffisamment léger pour que la digestion n'engourdisse pas trop le pilote durant le vol. Le soir, le menu sera libre et copieux dans la mesure où il ne perturbera pas le sommeil.

## Le froid

Les problèmes de froid concernent surtout les vols d'altitude et les vols d'hiver. Ils peuvent aussi se poser en demi-saison ou en été si l'air est frais, surtout si l'on a négligé de prendre un vêtement chaud. Faciliter la circulation en portant des vêtements amples, particulièrement pour les chaussures et les gants.

## La chaleur

La transpiration entraîne une déshydratation parfois aiguë avec pour symptôme la soif, la sécheresse des muqueuses, les crampes musculaires, les vertiges.

On peut également souffrir de la chaleur en attendant longtemps le décollage dans une cabine exposé au soleil. Il est possible d'éviter cela en se mettant à l'ombre, sous l'aile de l'avion par exemple et en se s'installant à bord quelques minutes avant le départ. En période chaude, emporter une boisson qui réhydratera en vol.

## Note pour les plongeurs sous-marins

Les risques d'aéroembolie de remontée peuvent se cumuler avec l'expansion des gaz dus à l'altitude et provoquer des accidents extrêmement graves. Pour les éviter, il faut ménager une douzaine d'heures de délai entre une plongée et un vol. Ce délai doit même être porté à 24 heures si la plongée a nécessité des paliers.

## Les performances intellectuelles

### La représentation mentale

#### La compréhension

Nous comparons en permanence le résultat de nos perceptions avec un résultat attendu : nous **filtrons** les informations. Le pilote utilise 3 sortes d'informations :

- les **connaissances profondes** : cette méthode est **inadaptée à l'action** car elle est lente et sujette à erreurs, il faut donc la réserver aux situations imprévisibles.
- les **règles** : certaines sont écrites dans les modes d'emploi (utiliser un magnétoscope), la plupart s'acquièrent avec l'expérience. Les règles utilisent moins de ressource que les connaissances profondes, mais elle nécessitent tout de même une **attention véritable**.
- les **schémas** : ce sont des actions que nous allons effectuer par réflexe (ex : trajet domicile-travail ). Plus l'expérience du pilote augmente, plus il schématise ses connaissances. L'avantage des schémas est qu'ils ne consomment **pratiquement pas de ressources mentales** excepté pour des contrôles périodiques. Par contre, ce mode de fonctionnement peut entraîner l'**erreur de routine** .

#### La mémoire

Ces outils sont stockés dans la **mémoire à long terme**. Sa capacité et sa durée sont pratiquement illimitées, mais son temps d'accès est long.

La **mémoire à court terme** est une sorte de mémoire tampon dans laquelle nous stockons les informations nécessaires à l'action immédiate. Sa capacité (8 item environ) et sa durée (une dizaine de seconde) sont limitées : il faut noter les clairances du contrôle par écrit. Par contre, son temps d'accès est quasiment instantané.

### L'attention

Les capacités d'attention sont limitées par la capacité de traitement d'information du cerveau. Si la charge de travail (proportion de la capacité totale d'attention effectivement engagée sur une période donnée) est trop importante, les ressources mentales peuvent être **saturées**. A l'inverse, si elle diminue trop, la vigilance va baisser, donc les performances.

### Les performances

Il existe plusieurs types de raisonnement :

le **raisonnement-action** permet d'associer un geste à un résultat. C'est le premier acquis des petits ainsi que le raisonnement machinal des adultes.

le **raisonnement logique** est appliqué à des objets concrets ou de plus en plus abstraits.

le **raisonnement analogique** est un raisonnement créatif.

le **raisonnement de bon sens** est basé sur l'expérience.

### Gestion de ses ressources

Pour réguler sa charge de travail, le pilote va utiliser 3 outils :

la **planification** permet d'anticiper et de simplifier.

la **confiance** dépend du savoir-faire du pilote qui doit éviter la saturation ainsi que de manquer une information importante.

l' **expertise** réduit la charge de travail en permettant d'agir "sans réfléchir", à l'aide de schémas .

### Prise de décision et jugement

En vol, le pilote doit prendre des décisions rapidement, et ces décisions sont souvent irréversibles. La **prise de décision** se passe de la façon suivante :

- recherches des informations utiles
- analyse de la situation
- inventaire des solutions
- confrontation des solutions au savoir-faire et au temps disponible
- évaluation de leur conséquence
- choix
- passage à l'acte

Le pilote **s'écarte** généralement de ce processus idéal car il :

- se trompe sur la fréquence réelle des événements
- préfère utiliser des solutions connues
- recherche des informations confortant ses décisions et minimise, réinterprète ou rejette les signes contraires
- se laisse influencer par l'opinion dominante

Ces biais présentent des **risques pour la sécurité** mais permettent au pilote d'**économiser des ressources**. De plus, le pilote expert sera capable de trier les informations grâce à son expérience et d'obtenir ainsi des décisions rapides et souples.

Il existe deux sortes de risques :

- le risque **externe** : probabilité d'incident, risque objectif
- le risque **interne** : risque provoqué à une mauvaise mise en œuvre de la solution choisie, risque subjectif, le pilote tend à minimiser ce risque

Les **stratégies de décisions** oscillent entre :

- les stratégies de décision **séquentielles** : une grande décision à long terme est découpée en décisions à court terme laissant chacune une porte de sortie
- les stratégies de **décision global** : l'essentiel de l'analyse et de la réflexion est concentrée avant l'action, la solution retenue est souvent irréversible

Les décisions dangereuses des pilotes résultent de **5 attitudes** :

- autoritaire
- impulsif
- invulnérable
- macho
- résigné

La **motivation** peut également jouer un rôle très important dans la prise de décision (obstination à poursuivre le vol malgré les évidences).

En résumé, il faut **préparer**, ses vols et **anticiper** .

# Vigilance, sommeil, fatigue, stress

## La vigilance et le sommeil

Le sommeil comporte plusieurs stades :

- la **veille active**, seul état dans lequel nous sommes capables de porter attention à un sujet particulier
- la **veille diffuse**, état transitoire entre la veille et le sommeil
- le **sommeil à ondes lentes**, période de récupération physique
- le **sommeil à ondes rapides** (ou sommeil paradoxal), période au cours de laquelle ont lieu les rêves, elle permet la restructuration de la mémoire

Le sommeil est caractérisé par une succession de **4 à 6 cycles** comprenant un sommeil profond, puis un stade transitoire ou l'éveil. Ces cycles durent de une heure et demi à deux heures. En seconde partie de nuit, les cycles comprennent de plus en plus d'épisodes de sommeil paradoxal.

Le besoin en sommeil est une donnée génétique individuelle. Chez les personnes âgées, il est plus léger et s'accompagne de nombreux réveils nocturnes.

Le **manque de sommeil** est **dangereux** pour le pilote. Il provoque une sensation de fatigue physique, des troubles de l'attention, une vulnérabilité aux illusions sensorielles (plus particulièrement en vol de nuit ou aux instruments), rend irritable et agressif.

La **vigilance** varie de manière cyclique, sur une période de 24 heures (rythme circadien) :

- les performances liées aux activités sensori-motrices sont minimales vers 6 heures du matin et maximales vers 18 heures
- les performances intellectuelles sont meilleures le matin

## La fatigue

La fatigue peut être d'ordre physique, psychologique, ou les deux. Elle peut même apparaître en l'absence d'activité : la performance se dégrade au-delà de 8 heures d'activité, et d'une façon plus accentuée au-delà de 12 heures d'éveil. Les effets de la fatigue se cumulent avec ceux du rythme circadien.

## Le stress

Le stress est à l'origine un mécanisme d'**adaptation**. Il permet à l'être vivant de mobiliser de l'énergie afin de pouvoir **combattre** ou **fuir**. Le stress peut être déclenché par plusieurs facteurs : les agressions physiologiques, les situations ou compétences inadaptées, les changements dans le quotidien, l'anxiété (capacité à imaginer des risques à venir).

Le stress évolue par phase :

- Phase 1 : réaction d'**alarme** (libération d'adrénaline, augmentation des rythmes cardiaques, respiratoires et de la pression sanguine, ralentissement des fonctions non liées à la fuite ou à la défense)
-

Phase 2 : phase de **résistance** (le cortisol permet la transformation rapide des sucres en graisse)

•

Phase 3 : l'**épuisement** (les ressources énergétiques s'amenuisent, les toxines s'accumulent, l'épuisement peut mener jusqu'à la mort)

Le stress augmente les performances des activités physiques, mais a des effets nettement négatifs sur les fonctions faisant appel aux ressources mentales : la pensée devient réductrice, le comportement est hyperactif, il y a régression vers les acquis les plus anciens. Certains individus sous l'effet du stress deviennent agressifs, d'autres au contraire sont totalement passifs.

Afin de **limiter le stress**, le pilote doit : préparer ses vols, adapter la difficulté à ses compétences, s'entraîner régulièrement et ne pas voler en cas de problèmes physiques (fatigue, manque de sommeil), familiaux ou professionnels importants. Si, malgré tout, le pilote se retrouvait en **situation de stress**, il lui est conseillé de : contrôler sa respiration, faire simple, demander de l'aide (radio).

# La fiabilité humaine et les erreurs humaines

## La notion d'erreur

Les erreurs ne sont pas des anomalies de fonctionnement mental, mais une conséquence de nos capacités mentales et de notre intelligence.

Un élément très important est l'**effet** particulièrement **négatif** de la **pression du temps** sur la fiabilité humaine.

Paradoxalement, les erreurs ont un **effet positif sur la sécurité**, car elles augmentent les marges de sécurité et régulent le niveau d'attention et le degré de surveillance. A plus long terme, elles constituent une composante incontournable de l'apprentissage grâce à la mémorisation..

Il y a 3 grandes familles d'erreur :

- les **erreurs de routine** : elles concernent les séquences d'action effectuées très régulièrement. Il faut donc utiliser des check-lists en prenant son temps et en se concentrant sur ce que l'on fait
- les **erreurs de règle** : elles consistent soit à appliquer une procédure ou une solution inappropriée, soit à mal exécuter la bonne procédure
- les **erreurs de modèle** : elles consistent à utiliser un modèle inadéquate pour comprendre la situation ou résoudre une situation

## Erreur de représentation

Dans ce genre d'erreur, il y a non conformité globale, mais des points d'ancrage conformes à la réalité, perçus comme des anomalies et que le pilote cherche à réinterpréter.

## Prévention des erreurs

- contrôler le résultat des actions critiques
- utiliser les aides disponibles, en particulier les check-lists
- reconnaître ses erreurs et ajuster son comportement en conséquence
- préparer soigneusement ses vols
-

ne pas prendre de décision complexe sous une forte contrainte de temps

# **CIRCULATION**

# L'aérodrome : circuit, intégration

## Les pistes

La dénomination d'une piste se fait en donnant son orientation géographique. Exemple : piste Nord pour une piste orientée Sud–Nord avec décollage et atterrissage face Nord. La piste Sud est la même piste, mais utilisée dans l'autre sens, face Sud, pour le décollage et l'atterrissage.

On appelle **QFU**, la **direction magnétique d'une piste** donnée en dizaine de degrés **par rapport au Nord magnétique**. C'est toujours un groupe de 2 chiffres. Ainsi la piste 09 est orientée à 090 ° par rapport au Nord magnétique. Le QFU 27 correspond à l'orientation 270 face à l'ouest.

**Taxiways : voies de circulation au sol** repérés par des balises jaunes réservées aux aéronefs roulant pour rejoindre la piste ou l'aire de stationnement.

Certains grands aérodromes possèdent plusieurs pistes, souvent parallèles. Elles sont alors désignées par les lettres L (Left, gauche) et R (Right, droite) qui suivent le numéro de piste.

## Le nom des aérodromes

Les noms sont composés de 4 lettres. Les deux premières concernent la région et le pays.

Ex : L pour la région [OACI](#) Europe–Méditerranée, F pour la France.

Les 2 dernières désignent l'aérodrome.

Ex : LFPO pour Paris–Orly.

## L'aérodrome contrôlé

Sur un aérodrome contrôlé, le service de contrôle d'aérodrome est rendu par un fonctionnaire de l'Aviation Civile sur la **fréquence tour (TWR)**. Le contrôleur **espace les aéronefs** et fournit une **information de trafic**.

Sur **certain aérodrome importants**, les instructions de roulage du parking au point d'arrêt (limite au-delà de laquelle on pénètre sur la piste) ou de la piste au parking sont données sur la **fréquence sol**.

Sauf autorisation particulière, ce type d'aérodrome n'est **accessible qu'aux aéronefs pouvant établir la liaison radio** avec la tour de contrôle. En cas de **panne de radio** :

- le pilote a **déjà établi le contact** avec le contrôleur qui l'a autorisé à s'intégrer dans la circulation d'aérodrome : **continuer** selon les autorisations et suivre les **signaux lumineux** éventuels
- le pilote n'a **pas encore établi le contact** radio avec la tour de contrôle : **se dérouter** vers un aérodrome ne nécessitant pas de contact radio (sauf cas d'urgence)

## Les signaux lumineux

En vol :

## Les signaux au sol

|                      | Rouge                                                                          | Vert                          | Blanc                                                                 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Eclats               | Aérodrome dangereux.<br>N'atterrissez pas.                                     | Revenez pour atterrir         | Atterrissez immédiatement et dégagez l'aire d'atterrissage en service |
| Continu              | Cédez le passage à un autre aéronef et restez dans le circuit                  | Vous êtes autorisé à atterrir |                                                                       |
| Artifice à feu rouge | Quelques soient les instructions antérieures, n'atterrissez pas pour le moment |                               |                                                                       |

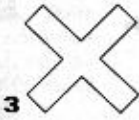
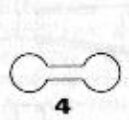
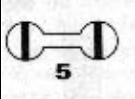
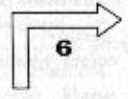
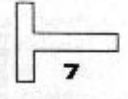
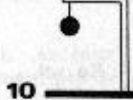
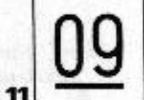
### Au sol :

|         | Rouge                                    | Vert                           | Blanc                                             |
|---------|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
| Eclats  | Dégagez l'aire d'atterrissage en service | Vous êtes autorisé à circuler  | Retournez à votre point de départ sur l'aérodrome |
| Continu | Arrêtez                                  | Vous êtes autorisés à décoller |                                                   |

L'avion **accuse réception** de ces signaux :

- de **jour** en balançant les ailes s'il est en vol (sauf en base ou en approche finale) et en remuant les ailerons ou la gouverne de direction s'il est au sol
- de **nuît** en éteignant et allumant deux fois les projecteurs d'atterrissage, ou à défauts ses feux de position

## Les signaux au sol

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>1. Interdiction d'atterrir</p> <p>2. Consignes particulières à l'atterrissage</p> <p>3. Surface ou piste inutilisables</p> <p>4. Pistes et chemins de roulement utilisables seulement</p> <p>5. Roulage possible hors des pistes</p> |
|                                                                                                                                                                             | <p>6. Tour de piste à droite</p> <p>7. Sens et direction du décollage et de l'atterrissage</p> <p>8. Utilisation de la même direction pour le décollage et l'atterrissage</p>                                                           |
|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                         |

|  |                                                                                                                                                                                                                            |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 9. Même signification que le T (no 7)<br>10. Vérifier la direction du décollage avec la tour de contrôle<br>11. Direction de décollage par rapport au Nord magnétique (QFU)<br>12. Contrôle d aérodrome et bureau de piste |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Le circuit d'aérodrome

### Le tour de piste du Robin DR 400 (source : Matplane)

Le circuit d'aérodrome comporte plusieurs parties :

- La montée initiale
- Le vent traversier
- Le vent arrière : le pilote adopte la configuration d approche à la vitesse et la puissance requise, train sorti verrouillé, volets d atterrissage réglés au premier cran ou à 20°
- L'étape de base : l avion amorce sa descente pour raccorder le plan de 5% à 500 pieds
- L'approche finale ou finale : le dernier virage est situé entre 1 et 1.60 nautique du seuil de l entrée de la piste. Au cours de la finale, l avion adopte la configuration d approche finale à la vitesse requise avec tous les volets braqués

Le circuit type se fait à gauche (**circuit main gauche**) afin d'offrir au pilote la meilleur visibilité.

## Le circuit par mauvais temps

A la suite d une détérioration météorologique, le circuit peut s effectuer à basse altitude afin de conserver le vol à vue et le contact avec l axe de la piste à l altitude minimale de 300 pieds.

En croisière lente, reconnaître l axe de la piste utilisée. En bout de piste, virer de 180° pour rejoindre la branche vent arrière en adaptant l écart latéral selon le plafond et la visibilité du moment.

Dans la branche vent arrière, sortir un cran de volet, ainsi que le train d atterrissage, ajuster la puissance requise.

Par le travers du point d atterrissage, et après avoir effectuer une courte ligne droite de 20 secondes de vol, amorcer un virage en descente comme pour raccorder par 180°, en adaptant et en corrigeant l inclinaison

pour rejoindre la très courte finale. Utiliser la puissance et descendre tous les volets avant d'atterrir.

En cas d'arrivée à l'inverse du QFU, virer de 90° du côté le plus dégagé, puis se placer en vent arrière.

## L'intégration dans les circuits d'aérodrome

### L'intégration sur un aérodrome contrôlé

Se conformer aux clairances du contrôleur.

### L'intégration sur un aérodrome non contrôlé

Sur ce type d'aérodrome, le service du contrôle n'est pas rendu.

### L'intégration sur un aérodrome pourvu d'un organisme AFIS ou OPD, et où la radio est obligatoire

Un agent AFIS (Aerodrome Flight Information Service, service d'information d'aérodrome) se trouve sur l'aérodrome. Il fournit par radio les **paramètres de l'aérodrome**, une **information globale de trafic** (dans la mesure où les aéronefs se sont fait connaître) et un **service d'alerte**. Il n'est là que pour informer, le pilote restant responsable de ses décisions.

Le pilote contacte l'AFIS sur la fréquence du terrain pour signaler son arrivée. L'agent l'informe alors de l'activité de la plate-forme et de la météo. Si aucun autre avion n'est dans le circuit, le pilote passe directement en **vent arrière**, en **étape de base** ou en **finale**. Si d'autres avions sont dans le circuit, le pilote s'intègre sans le gêner.

### L'intégration sur un aérodrome pourvu d'un organisme AFIS et où la radio n'est pas obligatoire

Le pilote peut s'intégrer en **vent arrière**, mais pas directement en base ou en finale.

Les avions équipés d'une radio doivent transmettre leur compte-rendu de position et leur intention (**auto-information**) sur la fréquence assignée à l'aérodrome trouvée sur la carte VAC (Visual Approach and landing Chart, carte d'approche à vue). En l'absence de fréquence particulière, l'auto-information se fait sur la fréquence **123.50 Mhz**.

### L'intégration sur les autres aérodromes (il n'a pas d'AFIS)

Le pilote **se présente à la verticale de l'aérodrome au-dessus du circuit le plus haut publié** (500 ft par exemple) pour examiner l'aérodrome (état, piste en service, trafic, direction de vent) et s'engager en vent arrière. En cas d'activité IFR, le pilote a l'obligation dans certains cas de leur céder le passage.

# La préparation du vol

## Les NOTAM (Notice to Air Men – messages aux navigants)

Les NOTAM sont des **messages** publiés par le service de l'Information Aéronautique. Ils informent de :

- l'état ou la modification d'une installation au sol
- la présence d'obstacles ou de dangers pour la navigation aérienne
- la modification d'un organisme de la circulation (changement de fréquence par exemple)
- la modification d'une procédure

Ils sont diffusés selon leur importance par NOTAM ou par suppléments à la documentation de base, dans les AIP et les cartes VAC et LAG.

La consultation des NOTAM constitue un acte de **sécurité** au même titre que la consultation de la météo ou le calcul des performances.

L'état des pistes (neige, verglas) est indiqué dans un NOTAM particulier : le SNOWTAM.

## Le plan de vol

Le plan de vol est un document rassemblant les informations fournies aux organismes de la circulation aérienne telles que le nombre de passager, le type d'aéronef ou son équipement de bord. En échange, ces organismes pourront remplir leur rôle d'**information**, de **contrôle** et, s'il y a lieu de service d'**alerte**.

Le plan de vol peut être enregistré par MINITEL, par téléphone ou à l'aide d'un **formulaire** à déposer au **bureau de piste** ou à l'**organisme de la circulation aérienne** présent sur l'aérodrome.

Il est **activé** lors du **premier contact radio** avec un organisme de la circulation aérienne. A l'**issue du vol**, il faut IMPERATIVEMENT **clôturer** le plan de vol sous peine de déclencher automatiquement les phases d'alerte.

En cas de modification en vol ou au sol, il faut prévenir l'organisme de la circulation aérienne avec lequel vous êtes en contact radio ou de la région dans laquelle vous évoluez (SIV, CIV) : c'est la **mise à jour du plan de vol**.

Un plan de vol déposé (ou enregistré) est noté **FPL**.

## Dans quel cas déposer un plan de vol ?

Le dépôt d'un plan de vol est **obligatoire** dans les cas suivants :

## Modalités du dépôt

- franchissement d'une frontière
- survol de l'eau ou de régions terrestres particulières précisées par voie d'information
- VFR de nuit, hors vol local
- vol en régime IFR

Il est **vivement recommandé** pour les vols prévus au-dessus du FL 115.

Il est **possible** de déposer un plan de vol dès que l'on le juge nécessaire : long trajet, mauvaise météo, etc.)

## Modalités du dépôt

Le plan de vol doit être déposé, si possible, **avant le départ**. Pour les vols en **VFR de nuit**, il doit être déposé au moins **30 minutes avant** l'heure estimée de départ (sauf pour les vols locaux ou le plan de vol n'est pas obligatoire).

## Validité du plan de vol

En VFR, le plan de vol est valide si vous débutez le roulage **dans l'heure** suivant les indications portées dans la case 13 ("heure"). Si ce délai ne peut pas être respecté, il faut impérativement déposer un **avis de retard** à l'organisme que vous aviez contacté sous peine de devoir déposer un nouveau plan de vol.

Si le **vol** est **annulé**, il faut aussi **annuler** le **plan de vol**.

## Activation et clôture du plan de vol

| Activation du plan de vol                  | Clôture du plan de vol | Organisme sur l'aérodrome de départ                   | Organisme sur l'aérodrome d'arrivée | Autre organisme de la circulation aérienne                             |
|--------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| +                                          |                        | Bureau de piste – terrains avec fréquence TWR ou AFIS |                                     |                                                                        |
| +                                          |                        | aucun                                                 |                                     | +<br>Ex : Centre d'Information de Vol ou l'aérodrome le plus approprié |
| +(automatique au moment de l'atterrissage) |                        |                                                       | TWR ou AFIS                         |                                                                        |
| +                                          |                        |                                                       |                                     | +                                                                      |

## Plan de vol réduit

|          |  |  |  |                                                                                                                        |
|----------|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (manuel) |  |  |  | Ex : Centre<br>d'Information de<br>Vol par radio ou<br>par téléphone (le<br>+ tôt possible<br>après<br>l'atterrissage) |
|----------|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Plan de vol réduit

Transmettre par radio des informations de vol revient à déposer un "plan de vol réduit". Ce plan de vol doit également être clôturé en demandant à **clôturer la fréquence**. Cette clôture devient effective par l'**autorisation du contrôle** à quitter la fréquence et son **collationnement** par l'aéronef.

# Le décollage

## La visite prévol et la mise en route

Lors de la visite prévol, le pilote se rends à l'avion en emportant les **documents obligatoires** :

- la fiche de pesée et de centrage
- la validité du certificat de navigabilité
- le certificat d'immatriculation
- le certificat de navigabilité
- la licence de station d'aéronef
- le certificat de limitation de nuisances

En plus il est conseillé d'emporter avec soi :

- l'attestation d'assurance
- une carte de crédit carburant

Le manuel de vol doit rester en permanence dans l'avion.

Le pilote sort l'avion du hangar et effectue sa visite prévol durant laquelle les différents éléments intérieurs et extérieurs de l'avion sont vérifiés. La visite prévol s'effectue en suivant un circuit autour de l'avion. Par exemple :

### **Cabine :**

Verrière ouverte  
Interrupteur batterie coupé  
Contact magnétos coupé  
Niveau d'essence vérifié  
Débattement des commandes sans bruits anormaux

### **Aile gauche :**

Volet : glissière propre  
Galets en place Aileron : débattement libre  
Antenne anémométrique propre et non obstruée (retirer le cache pitot).  
Vérification du niveau d'essence dans le réservoir de l'aile gauche  
Bouchon du réservoir en place et verrouillé

### **Train :**

Pneumatiques gonflés  
Pression correcte (1,4 bar)  
Amortisseur correct

### **Hélice :**

Propre et en bon état  
Cône : vis et fixation en place

### **Moteur :**

Niveau d'huile vérifié

## La check-list

S'assurer qu'aucun objet (chiffon, outils) n'ait été oublié sous le capot du moteur  
Capot moteur fermé et verrouillé

### **Aile droite :**

Aileron : débattement libre

Volet : glissière propre

Galets en place

### **Fuselage arrière droit :**

Retirer le cache-pitot de la prise statique

### **Empennage :**

Plan fixe et dérive vérifiés

### **Gouverne de profondeur et de direction :**

Débattement libre & articulations freinées

### **Antennes :**

En bon état

Une fois le pilote à bord de l'avion, il met le moteur en route et effectue la [check-list](#) après mise en route.

## La check-list

La check-list est l'ensemble des procédures à effectuer tout au cours du vol, du démarrage jusqu'au coupage du moteur.

Voici un exemple de check pour le DR400.

### VISITE PREVOL

Contact batterie..... ON

Jauge essence..... Vérifiée

Contact batterie..... OFF

Visite extérieure ..... Effectuée

### AVANT MISE EN ROUTE

Documents de bord..... A bord

Frein de parc.....Serré

Verrière .....Fermé, non verrouillée

Volets ..... Rentrés

Compensateur .....Décollage

Essence .....Ouvverte

Mélange .....Riche

Contacts magnétos ..... OFF, clef en place

Gaz.....Libre, sur réduit

Injections (moteur froid) .....1 à 2

Contact batterie..... ON

Anticollision ..... ON

### MISE EN ROUTE

Injections (moteur froid) .....4  
 Injections (moteur chaud) .....2  
 Gaz.....1 à 2 cm  
 Démarrage (Personne devant)..... Magnétos sur BOTH  
 Démarreur

#### APRES MISE EN ROUTE

Régime.....1100 t/mn  
 Pression d'huile..... Dans le vert (sinon couper après 30 secondes)  
 Pompe électrique .....Arrêt  
 Alternateur ON .....Débit vérifié  
 Ceintures.....Attachées  
 Verrière ..... Verrouillée  
 Réchauffage carburateur..... Réglé  
 Conservateur de cap..... Dégrossi  
 Radio essayée .....Fréquences  
 Heure départ ..... Relevée  
 Essai frein ..... Effectué

#### POINT FIXE

Freins .....Appliqués  
 Huile .....Pression + T° vert  
 Régime.....1700 t/mn  
 Magnétos ..... Sélectionnées (100 t/mn)  
 Dépression..... Vérifiée  
 Réchauffage carburateur..... Tiré (chute 50 t/mn)  
 Essai ralenti.....700/750 t/mn  
 Régime.....1000 à 1200 t/mn

#### AVANT DECOLLAGE

A Atterrisseur.....Freins appliqués  
 C Contacts magnétos ..... BOTH  
 Contact batterie .....ON  
 Commandes..... Libres, dans le bon sens  
 Ceintures ..... Attachées et serrées  
 Conservateur de cap ..... Recalé  
 H Huile .....Pression et T° vert  
 E Essence..... Ouverture  
 Mélange..... Riche  
 Autonomie ..... Suffisante  
 Pompe électrique ..... Marche  
 V Volets ..... 2ème cran puis 1er cran  
 E Extérieur ..... Verrière fermée, verrouillée  
 R Réglages ..... Altimètre QFE – QNH  
 Compensateur..... Décollage  
 Réchauffage carburateur ..... Froid  
 A Approche..... Libre  
 Atterrisseur ..... Freins desserrés

MONTEE Régime .....Plein  
 Gaz Vitesse..... 145 km/h

Mélange..... Riche

### CROISIERE

Régime ..... 2400 t/mn

Compensateur.....Régulé

Réchauffage carburateur .....Régulé

Pas de réglage richesse en dessous de 5000 ft

### APPROCHE

Mélange..... Riche

Réchauffage carburateur .....Tiré

Volets..... 1er cran

Vitesse..... 145 km/h

### FINALE

Mélange..... Riche

Réchauffage carburateur .....Tiré

Volets..... 2ème cran

Vitesse.....120 km/h+Vent effectif (kt)

### APRES ATTERRISSAGE

Volets..... Relevés

Phares ..... Eteints

Réchauffage carburateur ..... Froid

### ARRET MOTEUR

Frein de parc .....Serré

Radio .....Arrêt

Régime ..... 800 t/mn

Contacts magnétos .....Coupure vérifiée

Régime ..... 1200 t/mn

Mélange.....Etouffoir

Volets..... 2ème cran

Clés ..... Accrochées sur mallette avion

Anticollision..... OFF

Contact batterie ..... OFF

Heure d'arrivée..... Relevée

Horamètre ..... Relevé

## Le roulage

Si les abords sont dégagés, le pilote lâche les freins et roule. Il se déplace à la vitesse du "pas", regarde devant lui et sur les côtés. Pendant le roulage, il essaie les freins. Il reste bien au milieu du taxi-way, à cheval sur la ligne.

### Vérifications des instruments

Au cours du roulage le pilote doit effectuer des vérifications, il doit surtout vérifier le bon fonctionnement des instruments gyroscopiques et de navigation. Effectuer cette procédure dans un endroit bien dégagé :

## Utilisation des gouvernes

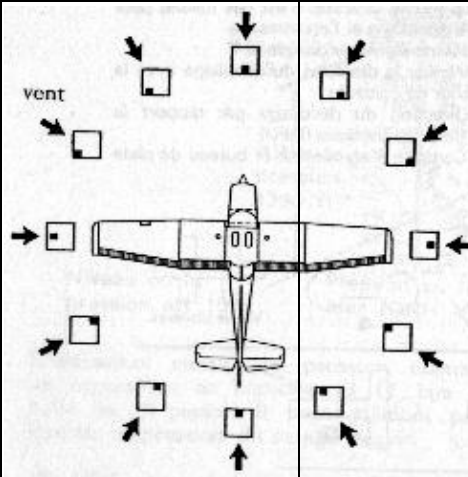
Lors d'un **virage à gauche** :

- l'aiguille vire à gauche
- la bille tourne à droite
- les caps diminuent
- les gisements augmentent
- l'horizon artificiel reste stable

Lors d'un **virage à droite** :

- l'aiguille vire à droite
- la bille tourne à gauche
- les caps augmentent
- les gisements diminuent
- l'horizon artificiel reste stable

## Utilisation des gouvernes

|                                                                                    |  |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | Vent nul ou de face                                                                                                                                                 | Vent de travers                                                                                                                                                        | Vent arrière                                                                                                                                                           | Dans les virage                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                        |
|                                                                                    |  | <p>Acte sur les gouvernes</p> <p>neutre.</p> <p>Pour virer, agir sur le manche ou le pied de commande.</p> <p>l'on veut virer avec de la douceur, on peut aider</p> | <p>Manche</p> <p>dans le secteur avant pour éviter un soulèvement par le plan fixe de l'aile et pour contrer l'effet de giroscopie et conserver l'axe de roulement</p> | <p>Manche</p> <p>dans le secteur avant pour éviter un soulèvement par le plan fixe de l'aile et pour contrer l'effet de giroscopie et conserver l'axe de roulement</p> | <p>Manche</p> <p>dans le secteur avant pour éviter un soulèvement par le plan fixe de l'aile et pour contrer l'effet de giroscopie et conserver l'axe de roulement</p> | <p>Manche</p> <p>dans le secteur avant pour éviter un soulèvement par le plan fixe de l'aile et pour contrer l'effet de giroscopie et conserver l'axe de roulement</p> |

## Point fixe, alignement sur la piste

|  |  |                                          |  |                                                               |
|--|--|------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------|
|  |  | d e<br>l a<br>taîné<br>d e s<br>ailerons |  | manche/volant<br>et<br>palonnier<br>sont<br><b>conjugués.</b> |
|--|--|------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------|

## Point fixe, alignement sur la piste

Le pilote se place ensuite sur l'aire de manoeuvres. Il met son frein de parking et marque le point fixe. Puis il effectue la [check-list](#) avant décollage, tout en surveillant que l'avion reste immobile. Dès que le pilote a fini, il demande l'autorisation à la tour de contrôle de s'aligner et de décoller. Il vérifie que la piste est libre et qu'il n'y a pas d'appareil en finale.

Le pilote s'aligne parfaitement sur la piste, le fuselage de l'avion bien dans l'axe. Une fois l'avion immobilisé, il :

- vérifie que le cap du compas magnétique indique l'orientation de la piste exemple : le compas doit indiquer 300° si la piste en service est la "30" (QFU)
- cale le gyrocompas sur le QFU exact, exemple : 304
- règle la maquette de l'horizon artificiel sur la barre d'horizon
- place les pieds en bas du plafonniers (freins libérés)
- vérifie la manche à air (donne la force et la direction du vent)
- vérifie qu'aucune lampe rouge n'est allumée dans la cabine
- déclenche le chronomètre
- met "plein gaz"

## Le décollage

**Distance de roulement au décollage** : distance séparant le lâcher des freins de l'endroit où les roues quittent le sol

**Distance de décollage** : distance séparant le lâcher des freins de l'endroit où la hauteur de l'avion est de 15 mètres (ou 50 ft). Cette distance est parfois appelée D15 : distance de franchissement des 15 mètres. La DF15 est calculée en fonction de :

- la masse au décollage
- du vent
- l'altitude
- la température
- l'état et la pente de la piste

Si la DF15 est supérieure à la piste : le décollage est impossible

Si la DF15 est inférieure ou égale à la piste : le décollage est possible

## Les phases du décollage

### L'alignement sur la piste

Il a lieu après les essais moteur et la [check-list](#) avant décollage. Il s'effectue à vitesse réduite en utilisant le minimum de piste.

### La mise en puissance

Tout en restant parfaitement aligné sur la ligne centrale, le pilote met les **gaz à fond** et sans brutalité. Il surveille les instruments moteur et vérifie qu'il a bien toute la puissance de décollage. Pendant la mise en puissance, l'avion n'a pas tendance à garder l'axe de piste. Il faut braquer la gouverne de direction par une **action sur le palonnier**. Dans le cas d'un biplace, le pilote étant assis à gauche, il faut faire attention à **l'erreur de parallaxe** (du du grec "para" qui signifie « à côté » et du grec "allaxai" qui signifie « changement » : une erreur de parallaxe, est une erreur commise par quelqu'un qui ne se place pas en face de la graduation d'un appareil de mesure.)

.

### La rotation

Une fois la vitesse de décollage atteinte, le pilote **cabre** en sollicitant la commande de profondeur vers l'arrière afin de prendre l'[assiette](#) intermédiaire. Il continue d'accélérer jusqu'à la vitesse de montée recommandée.

### La montée

Une fois la vitesse de montée atteinte, le pilote affiche l'[assiette](#) de montée. Il maintient bien son axe, tout en effectuant la [check-list](#) après décollage. Il ajuste correctement les gaz en montée.

### Comment réagir en cas de panne moteur après le décollage ?

Atterrir droit devant, manche vers l'avant pour retrouver la trajectoire de descente planée.

Eviter au mieux les obstacles, ne pas virer pour rejoindre la piste car l'altitude est trop faible. Sortir tous les volets à la demande, couper tout, cabine déverrouillée.

## Contrôle de la symétrie du vol

Lorsque l'écoulement de l'air autour de l'avion est parallèle au plan de symétrie de l'avion, le vol est symétrique. Dans le cas contraire, on dit que l'avion est en **dérapiage**. Il faut alors agir sur la gouverne de direction à l'aide du **palonnier** dans le sens indiqué par la **bille**.

## Le décollage par vent de travers

**Limitation vent de travers** : force du vent traversier (en noeud), au-delà de laquelle le pilote n'est pas assuré de pouvoir maintenir l'avion sur sa trajectoire pendant la phase de roulage au décollage ou à l'atterrissage. Elle est précisée dans le manuel de vol.

Pendant le roulage, il faut combattre l'effet de girouette (l'avion a tendance à pivoter face au vent) en maintenant le manche dans le côté du vent et en le ramenant dès que les ailerons gagnent en efficacité pour éviter de toucher l'aile avec le sol. L'axe est conservé à l'aide du palonnier en contrant l'effet de girouette.

L avion est décollé à une vitesse légèrement plus forte que la vitesse de décrochage normale. Quand l'avion quitte le sol, corriger la dérive pour maintenir l'avion sur l'axe de décollage en utilisant la piste comme repère visuel.

## Les performances et limitations au décollage

| Densité de l'air                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Température                                                                                                                                 | Altitude–pression                                                                                                                                                                                                            |                                                                                           |
| La densité de l'air donc la <b>puissance diminuent</b> avec l' <b>augmentation</b> de la <b>température</b>                                 | La densité de l'air donc la <b>puissance diminuent</b> avec l' <b>augmentation</b> de l' <b>altitude–pression</b> , consulter le manuel de l'avion (en moyenne : augmentation de la distance de décollage de 15 %/ 1 000 ft) |                                                                                           |
| Avion                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                           |
| Masse                                                                                                                                       | Volet                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                           |
| La vitesse de décollage, le temps, la longueur de la piste, donc la <b>distance de décollage augmentent avec</b> la <b>masse</b> de l'avion | Le <b>braquage des volets diminue</b> la <b>distance de décollage</b> mais <b>pénalise</b> au niveau du <b>franchissement des obstacles</b> (pente de montée plus faible), consulter le manuel de vol                        |                                                                                           |
| Piste                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                           |
| Pente                                                                                                                                       | Etat de surface                                                                                                                                                                                                              |                                                                                           |
| La pente de la piste a une influence sur l'accélération au décollage, donc sur la distance de décollage                                     | L'état de la piste influe sur l'accélération, donc sur la distance de décollage, consulter le manuel de vol                                                                                                                  |                                                                                           |
| Vent                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                           |
| composante de face                                                                                                                          | Composante arrière                                                                                                                                                                                                           | Composante de travers                                                                     |
| Le vent de face <b>diminue</b> la <b>distance de décollage</b> , de l'ordre de 20 % pour 5 kt de vent effectif (consulter le manuel de vol) | Le vent arrière <b>augmente</b> la <b>distance de décollage</b>                                                                                                                                                              | La <b>limitation vent arrière</b> est fixée pour chaque avion, consulter le manuel de vol |

Les paramètres qui influent sur les performances au décollage

## Les montées particulières associées au décollage

Pendant le décollage, la **vitesse de montée** (indiquée par l'anémomètre) doit être maintenue **constante** par un contrôle rigoureux de l'[assiette](#). La **vitesse verticale de montée** (indiquée par le variomètre), **dépend de plusieurs facteurs** (température, humidité, altitude pression et masse de l'avion).

### Montée normale

Elle correspond au **meilleur compromis** entre vitesse propre et vitesse verticale.

### Montée à Vz max

Elle correspond à la vitesse qui permet d'obtenir une **altitude donnée en un temps minimal** :

- vitesse de montée légèrement plus faible que la vitesse de montée normale
- adoption de la puissance maximum autorisée
- adoption de la configuration lisse, sauf cas particulier (manuel de vol)

### Montée à pente max

Elle permet de prendre **le plus d'altitude possible sur une distance donnée**. Elle permet le franchissement d'obstacle lors du décollage :

- vitesse indiquée beaucoup plus faible que la vitesse de montée normale
- adoption de la puissance maximale autorisée
- adoption de la configuration lisse, sauf cas particulier (manuel de vol)

Une fois l'obstacle passé, il est conseillé de reprendre la montée normale car ce type de montée diminue la visibilité vers l'avant et rend le refroidissement moteur moins efficace.

## La comparaison des performances de l'avion et des limitations au décollage

Pour déterminer si la distance de la piste (l'information se trouve sur les cartes d'aérodrome, éventuellement corrigée par des NOTAM) est supérieure à la distance de décollage de l'avion indiqué dans le manuel de vol :

- Se placer sur la colonne "passage des 15 mètres" en fonction de la température
-

## Le décollage court

Déterminer l'altitude du terrain sur la carte (convertir les ft en altitude–pression, c'est à dire l'altitude lue sur un altimètre calé à 1013,25 hPa)

- Déterminer la distance de franchissement des 15 mètres à l'altitude–pression par interpolation
- Prendre en compte l'état de la piste et le vent (selon les indications du manuel de vol)
- Arrondir par sécurité la valeur finale au multiple de 10 supérieur

## Le décollage court

On l'utilise pour décoller sur une piste à faible longueur et bordée d'obstacles. Pour décider du décollage possible, le pilote :

- Vérifie la longueur de la piste, son état, son revêtement, sa déclivité, puis la direction et la force du vent
- Effectue le devis du poids et le centrage (au besoin retirer de l'essence)
- Compare les distances au décollage avec passage des 15 mètres (manuel de l'avion) en fonction de la température et de l'altitude du terrain

Mettre plein gaz sur freins avec un cran de volet (10°). Libérer les freins, l'avion roule à la vitesse de décollage requise. Aider l'avion à décoller sans trop cabrer.

Dès que possible, prendre la vitesse du meilleur angle de montée (VX) jusqu'au passage des obstacles. A 300 pieds rentrer les volets. On peut ensuite adopter la vitesse du meilleur taux de montée (VY), vitesse un peu plus forte que celle du meilleur angle.

## Le décollage sur terrain mou

A partir d'un terrain détrempé, boueux ou enneigé, l'avion doit décoller dès que possible en s'arrachant de la traînée supplémentaire qui le retarde au sol.

- Aligné avec un cran de volet, mettre tous les gaz en souplesse mais rapidement, manche complètement en butée arrière, de façon à lever la roulette avant le plus tôt possible.
- L'avion accélérant, la portance se développe, libérant les roues de la friction au sol (favorisé par l'effet de sol)
- L'avion décolle aux grands angles, fortement cabré. Relâcher progressivement la pression, manche arrière, en évitant l'enfoncement mais en profitant encore de l'effet de sol pour accélérer vers la vitesse de montée requise

## Décollage derrière un avion de transport qui décolle

L'avion qui décolle produit des [tourbillons](#) à son point de rotation, il faut donc décoller **avant** ce point.

## Décollage derrière un avion de transport qui se pose

L avion qui se pose cesse de produire des [tourbillons marginaux](#) dès son atterrissage. Il faut donc **après** son point d impact.. Dans tous les cas, prendre un espacement de 3 minutes.

# Le vol en ligne droite

## Relation Puissance–Vitesse

|                         | Régime moteur | Vitesse  | Altitude |
|-------------------------|---------------|----------|----------|
| Manette des gaz poussée | Augmente      | Augmente | Augmente |
| Manette des gaz tirée   | Diminue       | Diminue  | Diminue  |

Pour conserver l'altitude, il faut modifier l'incidence de vol par une variation d'assiette de l'avion.

## Relation Pente de trajectoire – Vitesse

A puissance constante en vol horizontal, un changement de trajectoire dans le plan horizontal entraîne un changement de vitesse :

- En trajectoire *ascendante*, la vitesse *diminue*
- En trajectoire *descendante*, la vitesse *augmente*

## Comment modifier la vitesse en conservant le vol horizontal ?

La portance étant liée à la vitesse et à l'incidence, il faut **modifier l'assiette ou l'incidence** de l'avion et agir sur le **palonnier** pour conserver la bille au milieu (une modification de puissance et de vitesse influence la symétrie du vol).

## Comment maintenir l'altitude constante lors d'une variation de vitesse ?

- En cas de diminution de vitesse : l'assiette de l'avion est plus *cabrée*
- En cas de d'augmentation de vitesse : l'assiette de l'avion est plus *piquée*

## Le vol lent

Il se distingue par des commandes qui deviennent molles, la position du manche à cabrer, la vitesse faible, un signal sonore ou visuel, des vibrations dans la cellule (buffeting).

## La tenue de cap

Elle est essentielle dans le circuit, en navigation estimée et dans les prises de cap corrigées de la dérive.

Le pilote corrige constamment son cap en limitant l'angle d'inclinaison au nombre de degrés à virer. Par exemple : 10° d'écart = 10° d'inclinaison.

## La tenue d'altitude

Le pilote positionne la maquette/avion sur la barre d'horizon. Il contrôle constamment son assiette, l'altitude et la variomètre à 0.

## La tenue de la vitesse

Le pilote corrige d'abord l'altitude puis réajuste la puissance pour retrouver et stabiliser sa vitesse.

## Les turbulences de sillage

La **traînée induite** provient du fait qu'une aile ne possède pas un allongement infini. L'extrados est soumis à des forces de dépression et l'intrados à des forces de pression. Les différentes forces positives et négatives tendent à se compenser ce qui donne naissance à un courant tourbillonnaire qui affecte les bords marginaux de l'aile.

Sur l'extrados, les filets d'air convergent vers le plan de symétrie alors que sur l'intrados ils divergent vers les bords marginaux.

Leur rencontre donne naissance, tout le long du bord de fuite, à une nappe de tourbillons appelés **tourbillons libres**.

L'ensemble de ces tourbillons libres s'enroulent sur eux même dans un sens bien déterminé et donnent alors naissance aux **tourbillons marginaux**.

Ces tourbillons marginaux sont extrêmement dangereux pour les avions qui suivent, pouvant aller jusqu'à retourner un avion léger.

Ils sont d'autant plus forts que la portance est importante (gros porteur à faible vitesse).

Il faut voler au **même niveau** ou **plus haut** que l'avion de transport.

# Le vol en montée – palier – descente

Il se distingue par :

1. Une assiette de montée
2. Une puissance
3. Une vitesse
4. Une vitesse verticale ( $V_z$ ) positive

## Remarques

Il faut maintenir la **puissance** et la **vitesse**.

La vitesse de montée à afficher est assurée par une modification de la trajectoire, donc de l'assiette. La puissance est maintenue constante.

## Passage du palier à la montée

Le pilote adopte l'assiette de montée et affiche la puissance de montée dès le début de la rotation. Il règle ensuite les compensateurs (un compensateur est un volet mobile situé sur le gouvernail de profondeur. Il permet de diminuer l'effort longitudinal sur le manche). ATTENTION : Il faut régler les compensateurs une fois le vol stabilisé.

- Afficher la puissance requise
- Aligner la maquette/avion au-dessus de la barre de l'horizon artificiel
- Contrôler la vitesse et l'assiette constantes
- Régler le compensateur

## Le vol en croisière

Le pilote adopte progressivement l'assiette en fonction de l'augmentation de la vitesse. Dès que la vitesse de croisière est atteinte, il affiche la puissance requise et règle les compensateurs.

Le maintien de l'altitude est assuré par des variations de l'assiette qui entraînent momentanément des modifications de vitesse.

## Le vol en descente

Le pilote adopte l'assiette de descente selon la vitesse verticale ( $V_z$ ) recherchée. Il affiche la puissance en fonction de la vitesse indiquée requise, puis règle les compensateurs.

- Réduire et afficher la puissance requise
- Modifier l'assiette à la vitesse souhaitée, positionner la maquette/avion au-dessous de la barre d'horizon
- Contrôler l'assiette et la vitesse constantes
- Régler le compensateur

## La descente planée

Réchauffage carburateur tiré, le pilote réduit à fond les gaz en adaptant l'assiette palier jusqu'à la meilleure vitesse de planée. Puis, il prend l'assiette de descente pour conserver la vitesse et règle les compensateurs.

## Le passage de la descente au palier

Le pilote adopte l'assiette de palier pour la stabiliser sur l'altitude désirée, tout en affichant la puissance en fonction de la vitesse recherchée (carburateur poussé). Il règle enfin les compensateurs.

- Positionner la maquette/avion sur la barre d'horizon (une vingtaine de pieds avant d'atteindre l'altitude requise), inclinaison nulle
- Afficher simultanément la puissance de croisière
- Contrôler l'assiette, la vitesse, l'altitude
- Puis régler le compensateur

## Le passage de la descente à la montée

Le pilote adopte l'assiette de montée en affichant la puissance de montée dès le début de la rotation. Le pilote doit conserver la bille centrée et régler les compensateurs.

## L approche du décrochage

Pour s'approcher du décrochage, le pilote augmente doucement l'incidence avec le manche progressivement à cabrer à partir du vol en palier. Il maintient l'inclinaison et la symétrie nulle.

Pour sortir du décrochage, le pilote **retourne aux faibles incidences** manche vers l'avant à l'apparition des vibrations ou du signal sonore. Il maintient l'**inclinaison nulle** et la **bille centrée**, retourne à l'assiette palier et réajuste la puissance.

## Le passage de la croisière à l'approche

Le pilote :

- Réduit la puissance
- Conserve l'altitude
- Sort le train d'atterrissage aux vitesses requises et un cran de volets (ou 20°)
- Affiche la puissance requise

## Approche finale

A la vitesse normale d'approche, le pilote sort tous les volets et affiche la puissance correspondante pour conserver la vitesse prescrite.

## De l'approche vers la montée

Comme pour une approche interrompue, le pilote :

- Retrouve l'assiette de montée à pleine puissance
- Rentre le train, les volets au premier cran

## **De l'approche vers la croisière**

Le pilote met toute la puissance et maintient l'altitude en rentrant les volets.

### **La montée de meilleur angle (VX)**

Elle permet de franchir des obstacles en bout de piste au décollage. Elle consiste donc à atteindre une hauteur en parcourant une distance sol minimale

### **La montée de meilleur taux (VY)**

Elle permet d'atteindre le plus rapidement possible en un temps donné un niveau de vol ou de dégager rapidement un relief. Elle consiste donc à afficher la meilleure vitesse ascensionnelle.

# Les virages

## La mise en virage

Le pilote incline la portance avec les ailerons, et simultanément maintient la symétrie du vol à l'aide du palonnier dans le sens du virage. Il modifie l'assiette (la portance) et conserve l'altitude.

Dans le cas d'un virage standard (taux 1), le taux de virage utilisé est de trois degrés par seconde, soit 360° en deux minutes ou 30° en 10 secondes.

Le pilote affiche l'inclinaison de 15° sur l'échelle de roulis de l'horizon artificiel et vérifie le taux standard sur l'indicateur de virage.

## En virage

L'assiette varie avec l'inclinaison choisie pour équilibrer le nouveau poids (facteur de charge). La vitesse diminue, le pilote doit augmenter la puissance pour maintenir une vitesse constante en virage.

- Conserver le taux standard constant
- Contrôler la maquette/avion ajustée au-dessus de la barre d'horizon pour compenser la perte de portance
- Vérifier la vitesse, l'altitude, le variomètre, la puissance
- Régler le compensateur

## La sortie du virage

Le pilote annule l'inclinaison en coordonnant le manche et le palonnier pour conserver la symétrie du vol. Il met l'assiette à piquer pour conserver l'altitude, prévoit le secteur de sortie de virage pour se retrouver aligné sur un repère choisi ou sur un cap requis.

Utiliser la moitié de l'angle d'inclinaison comme écart prévisionnel dans la sortie de virage afin d'être précis.

- Annuler l'inclinaison et confondre la maquette/avion sur l'horizon artificiel de façon à retrouver la portance normale
- Contrôler le cap, l'altitude, la vitesse, la puissance
- Régler le compensateur

## La symétrie du virage

Un mauvais dosage sur le palonnier entraîne :

- Un vol **dérapé** si la bille se situe à l'extérieur
- Un vol **glissé** si la bille se situe à l'intérieur

Lors d'un virage correct, la bille est centrée.

## Le virage en montée

Il s'effectue à vitesse constante et à puissance maximale. Le pilote contrôle la vitesse et modifiant l'assiette. Il vole à faible inclinaison (environ 20°) pour conserver une meilleure vitesse ascensionnelle sans introduire trop de facteur de charge.

Des virages en montée ou en descente peuvent être effectués au taux de 500 pieds par minute.

## Le virage en descente

À la puissance requise, le pilote contrôle la vitesse verticale à l'aide du variomètre. Le facteur de charge introduit dans le virage entraîne une augmentation du taux de descente. Le pilote adapte l'assiette selon l'inclinaison choisie.

## Le virage serré

Il consiste à faire un demi-tour urgent pour éviter un obstacle. Il faut savoir en déceler l'inclinaison limite.

### La mise en virage (45° ou 60°)

Augmenter progressivement la puissance et le taux de virage jusqu'à ressentir les vibrations de décrochage. Noter la vitesse et l'inclinaison limite. Lorsque cette dernière est dépassée, la bille est en glissade. Elle est ramenée au centre par une diminution d'inclinaison.

### En virage

Contrôler l'assiette de l'avion, la vitesse, l'altimètre, éviter le virage engagé.

### La sortie de virage

Diminuer progressivement la puissance et l'inclinaison en sortant face au repère. Prévoir un secteur de sortie de virage au tiers de l'inclinaison. Modifier l'assiette à piquer pour conserver l'altitude.

## Le virage engagé

Il intervient à la suite d'une absence de contrôle du pilotage lors d'un virage serré ou au cours d'une forte turbulence. Il nécessite une action rapide.

### Avion engagé vers le haut

- Identifier l'altitude de l'avion pour éviter l'abattée, vérifier le repère capot et l'horizon artificiel
- Maintenir une inclinaison moyenne et afficher la puissance de croisière
- Puis revenir au vol horizontal, contrôler l'assiette pour stabiliser l'altitude et la retrouver avec le cap initial en adoptant la puissance requise

## **Avion engagé vers le bas**

- Identifier l'altitude et le mouvement de l'avion
- Réduire vite la puissance et retourner à l'inclinaison nulle
- Puis revenir au vol horizontal et prendre l'assiette et la puissance de montée pour retrouver l'altitude et le cap initial

# L'atterrissage

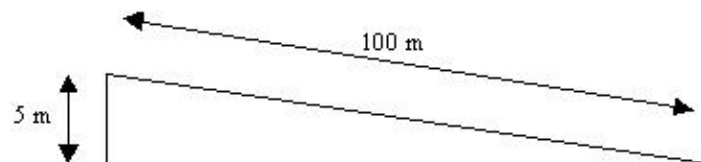
## L'approche finale

### La pente d'approche

C'est la phase de vol précédent l'atterrissage. Elle se caractérise par une **pente** (angle par rapport au sol en degré ou pourcentage) et une **trajectoire sol** dans l'axe de la piste.

La valeur moyenne retenue pour les pentes d'approche est de **3°**, soit **5%**. Cette valeur tient compte des performances moyennes des avions. Les aides à l'atterrissage, ILS et PAPI sont réglées pour cette moyenne.

#### Pente d'approche de 5 %



**Limite basse** : bonne perception de la piste, franchissement des obstacles avec une bonne marge de sécurité, nuisances sonores réduites au minimum.

**Limite haute** : déterminée par la pente d'approche, moteur à la puissance minimale tout en respectant la vitesse d'approche recommandée.

#### Relation degrés – Pourcentage

|                                  | Formule             | Exemple                      |
|----------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Degrés $\Rightarrow$ Pourcentage | Degrés * 10 / 6 = % | 3° * 10 / 6 = 5%             |
| Pourcentage $\Rightarrow$ Degrés | % * 6 / 10 = Degrés | 5% * 6 / 10 $\rightarrow$ 3° |

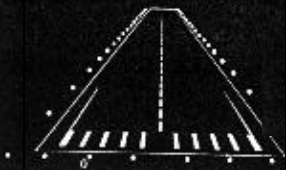
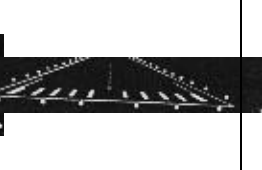
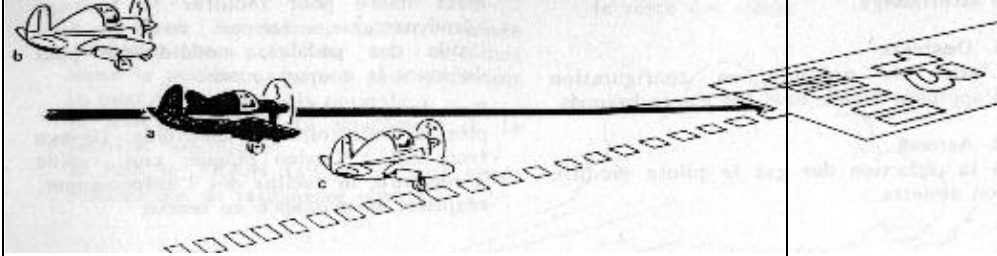
#### Relation Vitesse verticale – Vitesse sol

| Formule                                                                    | Exemple                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| $V_z \text{ (ft/min)} = \text{Vitesse Sol (en kt)} * \text{Pente (en \%)}$ | $V_z = 70 \text{ (Kt)} * 5\%$<br>$V_z = 350 \text{ ft/mn}$ |

#### Corrections sur la pente d'approche finale

| a. Dans le plan                                                                                   | b. Au dessus du plan                                                                           | c. Au dessous du plan                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conserver le plan à l'aide d'une vitesse correcte. En cas de vitesse faible ou forte, modifier la | L avion est trop haut. En cas de vitesse faible ou forte, modifier la <b>assiette</b> à piquer | L avion est trop bas. Cette configuration est à éviter absolument à cause des obstacles. En cas |

## L'atterrissage

|                                                                                            |                                                                                          |                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>puissance</b> et ajuster l'assiette pour éviter le passage dans un plan fort ou faible. | pour revenir dans le plan et réajuster la puissance pour maintenir la vitesse constante. | de vitesse faible ou forte, réajuster l'assiette à cabrer pour conserver le vol horizontal et la puissance pour modifier la vitesse. |
|           |        |                                                   |
|          |                                                                                          |                                                                                                                                      |

Dans les deux cas (b et c), il faut anticiper le retour sur la plan de descente, en reprenant une puissance et une [assiette](#) de descente adaptées.

## L'atterrissage

L'atterrissage consiste à amener l'avion en contact avec le sol et à l'arrêter sur une distance compatible avec la longueur de la piste. La vitesse air d'approche doit être la plus faible possible tout en gardant une marge de sécurité par rapport à la vitesse de décrochage. On diminue la vitesse sol d'approche en atterrissant toujours **face au vent**.

### La descente

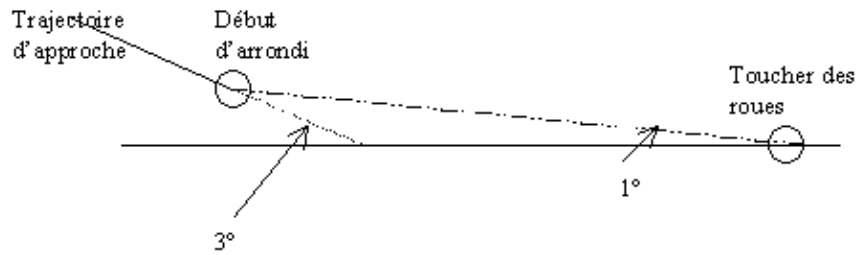
L'avion se présente en configuration d'approche finale, tous volets braqués.

### L'arrondi

C'est le moment où le pilote change la trajectoire d'approche, pour diminuer le taux de descente, par une variation d'[assiette à cabrer](#), tout en **réduisant** progressivement la **puissance**. La **vitesse** pour l'approche finale est généralement égale à **1.3 fois la vitesse de décrochage ( $V_{so}$ )**. Le **toucher des roues** a lieu entre **1.1 et 1.2 fois la  $V_{so}$** .

Le train atterrissage principal doit toucher le sol en premier. En général, l'[assiette](#) se situe entre  $+4^\circ$  et  $+5^\circ$ . Sur un plan de  $3^\circ$  en respectant la vitesse d'atterrissage et la technique de l'arrondi, la limitation d'un taux de chute inférieure à 600 ft/min n'est pas atteinte. Par contre, en cas d'**atterrissage dur**, il faut **faire examiner les structures de l'avion** avant d'entreprendre un nouveau vol.

## L'arrondi



L'arrondie est une variation de l'[assiette](#) à cabrer, accompagnée d'une diminution progressive et complète de la puissance

### Le dosage de l'arrondi

| Problèmes                                                                  | Conséquences et actions à entreprendre                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variation de l' <a href="#">assiette</a> trop lente                        | l'avion risque de toucher sur le train d'atterrissage et la roulette de nez                                                                                                                                                                                                                                    |
| Variation de l' <a href="#">assiette</a> trop rapide                       | l'avion risque de remonter $\Rightarrow$ bloquer la variation d' <a href="#">assiette</a> , ne surtout pas repousser le manche : risque de rupture de la roulette de nez suite à un atterrissage sur celle-ci                                                                                                  |
| Vitesse d'approche trop élevée                                             | la phase de décélération est plus longue ce qui allonge la distance d'atterrissage $\Rightarrow$ la variation d' <a href="#">assiette</a> doit être plus lente                                                                                                                                                 |
| Vitesse d'approche trop faible                                             | la phase de décélération est plus rapide ce qui diminue la distance d'atterrissage $\Rightarrow$ la variation d' <a href="#">assiette</a> doit être plus rapide (risque d'atterrissage dur)                                                                                                                    |
| Gradient de vent (variation de la vitesse du vent sur une distance donnée) | $V_i$ diminue, $V_z$ augmente $\Rightarrow$ variation d' <a href="#">assiette</a> à cabrer pour diminuer le taux de chute et augmentation de la puissance pour maintenir la vitesse, majorer la vitesse d'approche de : $K_{ve}$ (quantité de vitesse) :<br>$K_{ve} = (\text{vitesse du vent en kt} - 10) / 2$ |

## La remise des gaz

Le pilote doit être prêt à interrompre l'approche à tout moment (mauvaise présentation ou mauvais espacement).

Il se trouve alors à vitesse faible, traînée maximale et près du sol. Il doit afficher toute la puissance moteur pour retrouver la montée initiale, puis normale.

- Le pilote rentre les volets doucement à la position décollage

- Puis ils rentre le train après vérification du variomètre (il doit être positif)
- Il libère l'axe de la piste et se place parallèlement à celle-ci, visualise un trafic éventuel au-dessous et rentre le reste des volets à 300 pieds

## Le système lumineux d'indicateur de pente PAPI

PAPI signifie **Precision Approach Path Indicator : indicateur de plan d'approche de précision**. C'est un système lumineux situé aux abords de l'entrée de piste, basé sur des projecteurs rouges et blancs, utilisable de jour comme de nuit. Il indique au pilote la position de l'avion par rapport au plan d'approche idéal.

| Code lumineux              | Signification                    | Approche                                         |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| Feux blancs                | Vous êtes trop hauts (plan fort) | Trop longue, éventuellement approche interrompue |
| Feux blancs et feux rouges | Le plan est bon                  | Correcte                                         |
| Feux rouges                | Vous êtes trop bas (plan faible) | Trop courte. Danger !                            |

Le PAPI indique au pilote la position de l'avion par rapport au plan d'approche idéal

## La comparaison des performances de l'avion et des limitations à l'atterrissage

Pour déterminer si la distance de la piste (l'information se trouve sur les cartes d'aérodrome, éventuellement corrigée par des NOTAM) est supérieure à la distance d'atterrissage de l'avion indiqué dans le manuel de vol :

- se placer sur la colonne "passage des 15 mètres" en fonction de la température
- déterminer l'altitude du terrain sur la carte (convertir les ft en altitude-pression, c'est à dire l'altitude lue sur un altimètre calé à 1013,25 hPa)
- déterminer la distance de franchissement des 15 mètres à l'altitude-pression par interpolation

## L'atterrissage par vent de travers

### Corrections pendant le dernier virage

- Le **vent vient de l'intérieur du virage** : débiter le dernier virage plus tôt afin de ne pas dépasser l'axe et le poursuivre jusqu'à l'obtention de la correction de la dérive
- Le **vent vient de l'extérieur du virage** : débiter le virage plus tard et anticiper l'arrêt du virage pour appliquer la correction de la dérive

## Correction pendant l'approche finale

Le pilote va corriger le vent traversier (le vent traversier limite est indiqué dans le manuel de l'avion) en appliquant une **correction de la dérive** afin de maintenir une trajectoire rectiligne, matérialisé par l'axe de piste (il faut diminuer son amplitude à l'approche du sol car la force du vent diminue). Pour cela, il va :

- Corriger le vent traversier en appliquant une correction de la dérive afin de maintenir une trajectoire rectiligne, matérialisé par l'axe de piste (diminuer son amplitude à l'approche du sol car la force du vent diminue)
- Aligner le nez de l'avion avec l'axe de la piste au moment du toucher des roues
- Laisser l'avion avec la dérive au moment du toucher des roues
- Incliner légèrement l'avion durant l'arrondi

Par vent fort, une correction de dérive et une inclinaison plus faibles limitent le taux de chute de l'avion.

## L atterrissage court

Le pilote choisit un terrain et effectue un premier passage pour repérer le vent (force, direction), l'orientation de l'axe avec les obstacles d'entrée et la sortie de piste.

- Après un passage par la verticale, enchaînée par un circuit rectangulaire, dans la branche vent arrière et par le travers du point d'atterrissage choisi, s'éloigner et placer le point clé du virage selon le plafond à  $45^\circ$  de l'axe.
- Réduire les gaz au régime requis pour intercepter le plan d'approche, sortir tous les volets.
- Maintenir le plan en ajustant l'assiette, la puissance et la vitesse, sinon le rattraper :

Trop haut : Mettre l'assiette à piquer, réajuster la puissance

Trop bas : Mettre l'assiette à cabrer pour conserver le vol horizontal, modifier la puissance et régler la vitesse ( $1.2 * V_o$ ). De retour dans le plan, positionner l'assiette et la puissance. Au point d'impact choisi, anticiper la réduction du moteur selon les obstacles, atterrir en position cabrée sur les deux roues principales, puis sur les trois freins modérément.

## L atterrissage sur terrain mou

Effectuer un arrondi d'atterrissage court, tous les volets sortis, à une vitesse aussi basse que possible ( $1.1 * VSO$ ), mais contrôlable. Conserver la roulette de nez déjaugée en s'aidant au besoin de la puissance dans la décélération du roulage avec l'arrêt complet.

## L atterrissage forcé

Il peut être dû à une erreur de navigation, à un manque de carburant, à la tombée de la nuit. Il faut tout d'abord trouver d'abord un terrain de fortune.

### 1. Localiser la panne et choisir un terrain valable

Le terrain choisie doit être :

## 2. Choisir l'évolution pour raccorder la branche finale

- Assez long
- Dans le lit du vent
- Dégagé aux extrémités
- Accessible aux secours
- Avec une déclivité et un état du sol favorable : pré sans fossé, sans talu, avec herbe rasé (avion à train fixe) ou champ labouré (avion à train rentrant)

## 2. Choisir l'évolution pour raccorder la branche finale

Après le choix du terrain, effectuer un premier passage vertical pour repérer l'orientation de l'axe, sa longueur, sa déclivité, l'état du sol, les obstacles d'entrée et de sortie de piste.

Au deuxième passage, amorcer un circuit rectangulaire, dans la branche vent arrière, et poursuivre le circuit normal par le travers du point d'atterrissage.

Au point de virage, effectuer une nouvelle visée par l'avant et une extension de vent arrière, virer sur le nouveau repère au sol, en base éloignée sortir tous les volets.

S'aligner sur la branche dite longue finale, rester sur le bon plan en réglant la puissance nécessaire pour afficher avec précision la vitesse requise.

La vitesse d'approche est basse ( $1.2 * VSO$ ), l'avion vole aux grands angles d'incidence en second régime. Pour conserver l'approche dans le plan, le pilote modifie son assiette et règle sa puissance pour conserver la vitesse correcte.

## 3. Envoyer un message de détresse (3 fois mayday), transpondeur sur 7700

## 4. Conduite à tenir lors de la finale

Lors de la branche finale :

- Equipage et passagers sanglés
- Cabine, porte ou verrière ouverte
- Essence fermée
- Mélange sur étouffoir
- Magnétos coupées
- Contact ALT-BAT coupé

Effectuer l'arrondi assiette cabrée et réduire simultanément le moteur pour atterrir au point d'impact choisi et adapter le freinage.

## L'atterrissage volets rentrés

Utiliser une vitesse un peu plus forte ( $1.3 VS1$ ) et majorer la distance de roulage.

## L'atterrissage sans anémomètre

S'accrocher sur le plan de 5%, pré-afficher la puissance requise et adapter le taux de descente (VZ). Au besoin, mettre un peu plus de puissance par sécurité.

## L amerrissage

Amerrir parallèlement à la houle et maintenir un taux de descente de 300 ft/min, gilets de sauvetage gonflés après avoir évacué la cabine.

### Atterrissage derrière un avion de transport qui décolle

L avion qui décolle produit des [tourbillons](#) à son point de rotation, il faut donc atterrir **avant** ce point.

### Atterrissage derrière un avion de transport qui se pose

L avion qui se pose cesse de produire des [tourbillons marginaux](#) dès son atterrissage. Il faut donc se présenter **plus haut** et atterrir **après** son point d'impact. Dans tous les cas, prendre un espacement de 3 minutes.

# Les règles de l'air

Elles sont applicables aux aéronefs évoluant en conditions VMC.

## Prévention des abordages

Le commandant de bord est responsable de la prévention des abordages en VFR et en IFR en conditions VMC.

- Un **aéronef en vol** a toujours la **priorité** sur un **aéronef au sol**
- A l'**atterrissage**, l'aéronef le plus bas est prioritaire
- **Routes convergentes** : priorité à droite
- **Dépassement d'un aéronef** : par la droite
- **Rapprochement de face** : chaque aéronef effectue un changement de direction par la droite
- Au **abords d'un aérodrome** : un aéronef en vol a toujours la priorité sur un aéronef en vol
- **Priorité** des aéronefs (du moins prioritaire au plus prioritaire) : aéronefs, aéronefs remorquant d'autres aéronefs ou volant en formation, dirigeables, planeurs, ballons

La présence d'une **procédure de départ ou d'arrivée IFR** est signalée sur les cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1000 000 par un **symbole triangulaire** si l'aérodrome se trouve hors d'une zone contrôlée ou d'un espace réglementé.

La séparation des trafics IFR et VFR n'est assurée par les organismes de la circulation aérienne que dans les espaces où le trafic est dense. Dans d'autres espaces, la présence de trafic IFR dans les trajectoires de départ ou d'arrivée est indiquée par radio et parfois la seule information disponible est celle donnée par le pilote IFR lui-même. Il faut donc pouvoir localiser un avion évoluant en IFR et maintenir avec lui une séparation suffisante.

Le **départ** des vols **IFR** peut se faire dans toutes les directions. Il faut donc être très **vigilant** et **contacter les organismes de la circulation aérienne**. En l'absence d'organisme de la circulation aérienne, transmettre sa position et ses intentions en auto-information.

L'organisme de la circulation aérienne fournit des informations sur la position des aéronefs pour les **trajectoires IFR d'arrivée**. En l'absence d'organisme, les pilotes volant en IFR et IFR rendent compte de leur position par des messages d'auto-information.

## Hauteur minimum de survol pour les aéronefs motopropulseurs

| Survol de | Monomoteurs (ft) |
|-----------|------------------|
|-----------|------------------|

## Les règles de l'air

|                                                                                                                                                |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| sol, eau, obstacle matériel ou artificiel, individu,                                                                                           | 500  |
| installation industrielle, autoroutes                                                                                                          | 1000 |
| hôpital, centre de repos (couronne blanche sur fond rouge)                                                                                     | 1000 |
| agglomération dont la largeur moyenne ne dépasse pas 1200 m ou rassemblement de personnes ou d'animaux (plages, stades, réunions publiques...) | 1600 |
| ville dont la largeur moyenne est comprise entre 1200 et 3600 m, rassemblement de plus de 10 000 personnes                                     | 3300 |
| agglomération de plus de 3600 m sauf Paris, rassemblement de plus de 100 000 personnes                                                         | 5000 |
| Paris                                                                                                                                          | 6600 |

Les hauteurs minimales de survol

# L'interception en vol

La procédure d'interception en vol a lieu lorsque un aéronef se trouve dans une **situation irrégulière**.

L'aéronef intercepteur se rend près de l'aéronef intercepté et lui signifie par des **signaux** qu'il est intercepté : il se place légèrement au-dessus et en avant de l'intercepté, **balance les ailes** et fait **clignoter ses feux de position** à intervalle réguliers. L'intercepté balance alors son aéronef, fait clignoter ses feux de position à intervalle régulier et suit l'intercepteur. Puis l'intercepteur effectue une **manoeuvre brusque de dégagement** consistant en un virage de 90° en montée ou plus. Enfin, l'intercepté balance son aéronef. L'intercepteur peut éventuellement le contraindre à le suivre et à se poser sur un aéroport.

# Les organismes de la circulation aérienne

## Service du contrôle

Son rôle est de :

- prévenir les **abordages** (entre 2 aéronefs en vol ou au sol, l'évitement restant à la charge du commandant de bord) et les **collisions** (entre les aéronefs au sol et d'éventuels obstacles)
- régler et accélérer la circulation aérienne

Le service du contrôle donne aux usagers :

- des **clairances** (de l'anglais clearance, autorisation) : autorisations ou instructions données aux aéronefs par radio
- des **informations de trafic** dans les zones où la radio est obligatoire

## Service d'information de vol

Il délivre toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols : conditions météo, état de l'aérodrome et des installations radioélectriques, présence d'un aéronef sur la trajectoire, transmission de suggestion de manoeuvres pour éviter les abordages.

En vol, contacter le **Centre d'Information en Vol (CIV)** gérant la zone. Les noms et les fréquences des organismes à contacter (ex: Marseille SW Info) se trouvent dans la cartouche de la carte aéronautique 1/1000 000 et 1/500 000.

Les **organismes de contrôle d'approche** (situés dans les secteurs d'information de vol) assurent le service d'information de vol.

## ATIS (Automatic Terminal Information Service)

Message enregistré répété en permanence sur les aérodromes importants, contenant le dernier bulletin météo, la piste en service et l'état des installations de l'aérodrome s'il y a lieu.

- **ATIS/V** : aérodrome n'ayant pas de trafic VFR
- **ATIS/S** : l'ATIS n'a pas de protection, il n'est normalement utilisable que pour les aéronefs au sol. En vol, il n'y a pas de garantie de ne peut être perturbé par d'autres utilisateurs de la même fréquence.

## Service d'alerte

Le Centre de Coordination et de Sauvetage (**CCR**) de la FIR concernée rassemble les renseignements relatifs à l'aéronef en difficulté et transmet au **RCC** (Centre de Coordination et de Sauvetage). Ce dernier assure le service de recherche et de sauvetage (SAR).

## Les phases d'urgence

Le service d'alerte est fourni par tous les **organismes de la circulation aérienne** (organismes de contrôle ou d'information) :

- à tous les aéronefs ayant déposé un plan de vol
- aux aéronefs dont la présence est connue des organismes de la circulation aérienne

Le contact radio en vol avec les organismes de la circulation aérienne et l'établissement d'un plan de vol au départ sont des atouts majeurs de sécurité.

Si l'accident a lieu aux abords d'un aéroport, les organismes déclenchent le **plan de secours aéroport**.

## Les phases d'urgence

Elles sont destinées à **informer le centre de coordination et de sauvetage** des inquiétudes des organismes de la circulation aérienne sur le sort d'un aéronef. Les phases se nomment : incertitude (incerfa), alerte (alerfa), détresse (détresfa).

La non-côteure d'un plan de vol déclenche automatiquement les phases d'urgence.

# Division de l'espace aérien

## Les classes d'espace

|                                            | CLASSE A                 | CLASSE B                 | CLASSE C      | CLASSE D                                                                                               | CLASSE E                      | CLASSE F     | CLASSE G                                                                      |
|--------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Nom de l'espace                            | UTA (Upper Traffic Area) |                          |               | LTA (Lower Traffic Area)                                                                               |                               |              |                                                                               |
| Statut de l'espace                         | vol VFR interdit         | contrôlé                 | contrôlé      | contrôlé                                                                                               | contrôlé                      | non contrôlé | non contrôlé                                                                  |
| Espacements assurés par l'organisme au sol |                          | entre VFR/VFR et VFR/IFR | entre VFR/IFR | entre VFR spécial/IFR                                                                                  | entre VFR spécial/IFR         | NON          | NON                                                                           |
| Information de trafic                      |                          | NON                      | OUI VFR/VFR   | OUI IFR/VFR VFR/VFR                                                                                    | OUI VFR spécial               | NON          | NON                                                                           |
| Statut du vol                              |                          | contrôlé                 | contrôlé      | contrôlé                                                                                               | non contrôlé sauf VFR spécial | non contrôlé | non contrôlé                                                                  |
| Nécessité de clairances                    |                          | OUI                      | OUI           | OUI                                                                                                    | non sauf VFR spécial          | NON          | NON                                                                           |
| Obligation du contact radio                |                          | OUI                      | OUI           | OUI                                                                                                    | Non sauf VFR spécial          | NON          | NON                                                                           |
| Altitude                                   |                          |                          |               | au-dessus du plus élevé des 2 niveaux suivants : FL 115 ou 3000 ft ASFC (900 m) jusqu'au FL 195 inclus |                               |              | en dessous du FL 115 (en France) sauf pour les voies aériennes et les CTA/TMA |

## Vol contrôlé

Le pilote bénéficie soit de l'**espacement** soit de l'**information de trafic** concernant les autres vols contrôlés. En contrepartie, il doit obligatoirement contacter par radio l'organisme chargé du contrôle avant d'entrer dans l'espace et suivre les clairances données par le contrôle.

## Vol non contrôlé

Le pilote peut évoluer librement dans le respect des règles de l'air et des exigences propres à l'espace dans lequel il évolue. Il peut bénéficier de l'**information** de vol si elle existe. Par contre, ni l'espacement entre les aéronefs, ni l'information de trafic ne sont assurés.

## Vol sur la limite qui sépare deux espaces

Le vol se fait selon les conditions applicables à la classe qui vient en dernier sur l'ordre alphabétique : le pilote respecte les conditions de l'espace le **moins restrictif**.

## Partition de l'espace aérien

**Espace aérien inférieur** : part du sol et s'élève jusqu'au FL 195 inclus.

**Espace aérien supérieur** : son plancher est le FL 195 et il est illimité au-dessus.

## Partition de l'espace aérien inférieur

### Régions d'information de vol (FIR pour Flight Information Region)

Chaque FIR est munie d'un centre d'information de vol (CIV) ou de secteurs d'information de vol (SIV) qui fournissent le service d'information de vol aux aéronefs qui se trouvent dans la FIR.

### Les voies aériennes (AWY pour AIRWAY)

Couloirs empruntés par les vols IFR. Elles ont généralement une largeur de 10 NM (18,5 km). Leur axe est défini par des balises de radionavigation, leur plafond est le **FL 195** et leur plancher est variable.

Espaces aériens de classe **D**, au-dessus du plus élevé des 2 niveaux FL 115 ou 3000 ft ASFC et de classe **E** au dessus.

### Les régions de contrôle (CTA pour Control Traffic Area) et les régions de contrôle terminales (TMA pour TerMinal Control Area)

Espaces aériens contrôlés surplombant les aérodromes importants et de taille moyenne. Elles englobent les trajectoires IFR de départ, de transit, d'arrivée et d'attente.

Ce sont des espaces de classe A, B, C, D ou E. En France, la majorité sont de classe **D** et **E**. La TMA de Paris est de classe A : elle est interdite aux vols VFR.

Leur plancher se situe au minimum à 700 ft (200 m) au-dessus du sol, elles surplombent souvent des zones de contrôle (CTR). Leur plancher est variable.

La carte aéronautique n'est renseigné que jusqu'à 5000 ft AMSL ou 2000 ft ASFC).

### **Les zones de contrôle d'aérodrome (CTR pour Control Traffic Region)**

Espaces aériens directement en contact avec les aérodromes. Elles se situent souvent sous une TMA et sont destinées à englober les trajectoires de décollage et d'atterrissage et la circulation aérienne d'aérodrome.

En France, le plus souvent elles sont de classe **D** ou **E**.

Elles s'élèvent de la surface du sol jusqu'à un plafond qui ne dépasse pas en général 3000 ft (900 m) au-dessus du niveau de la mer ou 1000 ft (300 m) au-dessus du sol.

Leur limite horizontale et verticale se trouve dans les cartes aéronautique 1/500 000 et 1/1000 000 et dans les cartes d'approche à vue.

### **S/CTA, S/TMA, S/CTR**

Zones dites spécialisées (d'où le 'S' devant leur nom).

### **S/CTA, S/TMA, S/CTR**

Zones dites spécialisées (d'où le 'S' devant leur nom).

### **Les zones à statut particulier (R, D, P)**

**D** : zones dangereuses. Leur pénétration ne nécessite pas de clairance préalable mais présente un danger pour les aéronefs (informations dans le complément aux cartes aéronautiques).

**R** : zones réglementées. Leur pénétration est soumise à certaines conditions (contact radio, clairance, informations dans le Complément d'aide à la navigation). Leur pénétration peut être interdite pendant les heures d'activité.

**TSA** : zone de ségration temporaire et **CBA** : zone transfrontalière. Zones réglementées à gestion particulière, imperméables aux vols VFR pendant leur activité.

**P** : interdites (prohibited). Espaces fermés à la circulation aérienne générale.

Les limites horizontales et verticales et les noms de ces zones (D155, P63,...) se trouvent dans les cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1000 000.

Les organismes qui les gèrent, les fréquences à contacter et les heures (en heures UTC Universal Time) d'activité se trouvent dans le Complément aux cartes aéronautiques.

# Connaissance du trafic

## SIT (Secteur d'information du trafic)

Les organismes de la circulation aérienne fournissent des informations de trafic aux vols VFR et IFR.

## Aérodrome contrôlé

Les organismes de la circulation aérienne délivrent également des clairances dans le circuit d'aérodrome, en **ATZ** (zones de circulation d'aérodrome. Ce sont des zones réglementées établies autour d'un ou plusieurs aérodromes en vue de la protection de la circulation d'aérodrome et à l'intérieur desquelles ne peuvent pénétrer, sauf autorisation particulière, que les aéronefs à destination de l'un de ces aérodromes), en **CTR**, en **VFR spécial**.

Ils permettent la régulation du trafic et la prévention des abordages.

## Aérodrome non contrôlé

- AFIS s'ils existent
- auto-information entre pilotes dans les autres cas

# Les conditions VMC

|                                 | Espace aérien contrôlé                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                     | Espace aérien non contrôlé                                                                                          |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classe                          | A                                                                       | B                                                                                                                                                                                                                                                                    | C                                                                                                                                                                                                                          | D, E                                                                                                                                                | F, G                                                                                                                |
| Distance par rapport aux nuages | Sans objet. En cas de panne radio, appliquer les conditions de classe D | Hors des nuages. En cas de panne radio, appliquer les conditions de classe D                                                                                                                                                                                         | Horizontalement : 1500 m.<br><br>Verticalement : 300 m (1000 ft)                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                     | Horizontalement : 1500 m.<br><br>A et au-dessous de la surface S : hors des nuages et en vue de la surface du sol   |
| Visibilité en vol               |                                                                         | A et au-dessus du FL 100 ou 3050 m (10 000 ft) si l' <a href="#">altitude de transition</a> est supérieure à cette valeur : 8 km<br><br>Au-dessous du FL 100 ou 3050 m (10 000 ft) si l' <a href="#">altitude de transition</a> est supérieure à cette valeur : 5 km |                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                     | A et au-dessous de la surface S : la plus élevée des 2 valeurs : 1500 m ou distance parcourue en 30 secondes de vol |
| Limitation de vitesse           |                                                                         | Sans objet. En cas de panne radio, appliquer les conditions de classe D                                                                                                                                                                                              | Au dessous du FL 100 ou 3050 m (10 000 ft) si l' <a href="#">altitude de transition</a> est supérieure à cette valeur : vitesse indiquée <= 250 kt. Sauf IFR (En cas de panne radio, appliquer les conditions de classe D) | Au dessous du FL 100 ou 3050 m (10 000 ft) si l' <a href="#">altitude de transition</a> est supérieure à cette valeur : vitesse indiquée <= 250 kt. |                                                                                                                     |

## **Aérodromes IFR dotés d'espaces aériens contrôlés (CTR, TMA)**

Application des minima météorologiques identiques à ceux nécessaires au-dessus de la couche S.

**Dérogation (VFR spécial)** si les conditions VFR ne sont pas réunies avec :

- accord du contrôle
- conditions météo supérieures aux conditions définies sur cet aérodrome

**Prévention des abordages :** Séparation des trajectoires entre VFR et IFR et régulation par l'organisme de contrôle (accorde ou non le VFR spécial).

## **Aérodromes IFR non dotés d'espaces aériens contrôlés**

L'activité IFR possible est signalée sur les cartes VAC et sur les cartes 1/500 000e et 1/1000 000e.

**Prévention des abordages :** Prudence accrue aux abords de l'aérodromes

# Les cas particuliers du VFR

## Le VFR "spécial"

**Dérogation** permettant de voler à l'intérieur des zones de contrôle (CTR) dans des conditions météorologiques inférieures aux conditions de vol à vue ([VMC](#)). Avant de pénétrer dans une CTR, le pilote doit obtenir une **clairance** délivrée par la tour de contrôle ou par le centre de contrôle d'approche.

La clairance peut être délivrée :

- par décision d'un contrôleur aérien (visibilité au sol inférieur à 5 km ou plafond inférieur à 450 mètres)
- sur demande du commandant de bord

Les vols VFR spécial sont séparés des vols IFR et bénéficient d'une information de trafic. Ils peuvent comporter des obligations (suivre un itinéraire publié sur les cartes d'approche à vue).

Le pilote doit s'assurer que la visibilité n'est pas inférieure au minimum requis et que la base des nuages permet de respecter les contraintes de niveau éventuelles (sinon, c'est le niveau minimal prévu pour les vols VFR qui est applicable).

## Le VFR "ON TOP"

Vol VFR au-dessus d'une couche nuageuse, sans vue du sol. **L'avion doit être équipé d'un moyen de radionavigation (VOR ou ADF) et d'un moyen de radiocommunication (VHF).**

## Le vol en région montagneuse

### Situation météo

Exploiter les cartes des vents en altitude, les cartes TEMSI, les message TAF et METAR

### Préparation du trajet

Etudier en détail les reliefs traversés, choisir des repères significatifs (reliefs plutôt que fond des vallées), utiliser la carte au 1/500 000 dans le bon sens c'est à dire le nord vers le haut afin de ne pas confondre vallées et crêtes.

### Cheminement en région montagneuse

Les crêtes ou cols sont franchis en oblique et non pas perpendiculairement afin de pouvoir faire un demi-tour dans de bonnes conditions. Veiller à effectuer des lectures instrumentales fréquente, certains faux-plats pouvant entraîner une fausse idée de l'horizontale.

Plus la vitesse propre et l'inclinaison sont grands, plus l'espace nécessaire pour faire demi-tour sera important. Il peut être intéressant en vallée étroite de serrer son virage tout en diminuant sa vitesse propre, mais en veillant tout de même à ne pas décrocher : la vitesse de décrochage augmente avec l'inclinaison.

## Le survol de l'eau

Une heure de vol au-dessus de l'eau à 100 kt correspond à 3 heures de nage dans les meilleures conditions (pas de vent, pas de vague). Les équipements à emporter dépendent de l'éloignement par rapport à la côte :

| Distance                                                                           | Équipement à emporter au-delà de cette distance                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Distance maximale en plané (distance maximale que peut parcourir l'avion en plané) | un gilet par personne                                                                            |
| 50 NM de côte                                                                      | un gilet par personne                                                                            |
| 100 NM de la côte                                                                  | un émetteur radio étanche et autonome, un nombre de canots compatible avec le nombre de passager |

L'équipement à emporter dépend de l'éloignement par rapport à la côte

## Le survol des régions terrestres désignées

Ce sont des zones dans lesquelles les opérations de recherche et de sauvetage sont difficiles (il n'y en a pas en France métropolitaine). Elles figurent dans le Manuel d'Information Aéronautique. Elles peuvent faire l'objet d'exigences particulières (dépôt de plan de vol, suivi d'itinéraire particulier, contact radio).

## Le vol à haute altitude

| Altitude | Équipement                                                                                          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| > FL 125 | système d'inhalation et réserve suffisante pour le pilote pendant la durée du vol à ce niveau       |
| > FL 145 | système d'inhalation et réserve suffisante pour chaque occupant pendant la durée du vol à ce niveau |

L'équipement dépend de l'altitude

## Les transports de passagers

| Age            | exigence                                                                                      |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 ans         | siège individuel                                                                              |
| moins de 2 ans | tenu dans les bras de l'adulte qui l'accompagne ou dispositif agréé, pas de ceinture d'adulte |

## Le survol de l'eau

|                         |                                                                    |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 2 enfants de 2 à 12 ans | peuvent occuper le même siège et être attaché par la même ceinture |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|

Les exigences dépendent de l'âge des enfants

# Expression de la position verticale

## La hauteur

Elle exprime le niveau de l'avion **par rapport au sol**.

L'altimètre indique la **hauteur de l'avion par rapport à l'aérodrome** lorsqu'il est calé au calage **QFE** de l'aérodrome. La hauteur est exprimée sur les cartes par 3 sigles différents :

- **AGL** (Above Ground Level) : hauteur d'un obstacle isolé par rapport au sol
- **ASFC** (Above SurFaCe) : hauteur d'une limite d'espace aérien par rapport à une surface (terre ou eau)
- **AAL** (Above Aerodrome Level) : hauteur par rapport à un aérodrome

On exprime sa position verticale avec des valeurs de hauteur (calage QFE) lors du **décollage** au voisinage d'un aérodrome (distance verticale qui sépare les roues de l'avion de la piste d'atterrissage) ou de l'**atterrissage** (l'altimètre sera déjà calé pour l'atterrissage en cas d'avarie).

L'utilise quand on veut connaître la lors de l'**atterrissage** et lors du **décollage**. Pour obtenir la hauteur par rapport à un aérodrome, il faut que l'altimètre soit calé sur le calage QFE de cet aérodrome.

Lorsque le QFE d'un aérodrome est inférieur à 960 hPa (valeur minimum d'affichage de la plupart des altimètres), on cale l'altimètre au QNH.

## L'altitude (en dessous de la surface S)

L'altimètre indique l'**altitude de l'avion** lorsqu'il est calé au calage **QNH**. On la désigne par **AMSL** (Above Medium Sea Level) : au-dessus du niveau moyen de la mer. Sur les cartes aéronautiques un niveau non suivi d'un sigle est par convention une altitude AMSL.

## Le niveau de vol (FL pour Flight Level, au-dessus de la surface S, en espace aérien non contrôlé)

C'est le niveau de l'avion **par rapport à la surface isobare 1013,25 hPa**. Ils sont multiples de 500 ft. L'altimètre indique le niveau de vol de l'avion lorsqu'il est au calage **1013,25 hPa**. Il s'agit d'un calage-pression. Les niveaux de vol sont exprimés en prenant les centaines (ex : 7500 ft → FL 75).

## Niveaux utilisables

**En dessous de la surface S** : le choix de l'altitude est libre.

**Au dessus de la surface S** : le niveau (altitude ou niveau de vol) est dicté par la règle de la semi-circulaire.

## Règle de la semi-circulaire (vols VFR)

– Route magnétique suivie comprise entre **0 et 179°** : niveaux impairs + 500 ft.

Ex : route magnétique 085° :

## Niveaux de vol utilisables

- 3500 ft, 5500 ft, 7500 ft
- FL 35, FL 55, FL 75, etc.

– Route magnétique comprise entre **180 et 359°** : niveaux pairs + 500 ft.

Ex : route magnétique 270° :

- 2500 ft, 4500 ft, 6500 ft
- FL 45, FL 65, FL 85, etc.

## Niveaux de vol utilisables

Route magnétique suivie comprise entre **0 et 179°** : niveaux impairs

- + 5 en VFR : FL 35, 55, 75, ..., 175
- +0 en IFR

Route magnétique comprise entre **180 et 359°** : niveaux pairs

- + 5 en VFR : 45, 65, 85, 105, ..., 185
- +0 en IFR : FL 40, 50, 60, 70

## Expression de la position verticale dans les CTA, TMA et CTR

### L'altitude et le niveau de transition

Ce n'est pas la surface S qui sert de référence de changement de calage dans ces espaces, mais une **altitude de transition**. Cette altitude de transition vaut **5000 ft**, sauf pour certaines TMA où sa valeur est exprimée sur la **carte aéronautique au 1/1 000 000**. A cette altitude de transition est associé un **niveau de transition**, premier niveau de vol **IFR** (donc se terminant par 0) utilisable **au-dessus** de l'altitude de transition.

En **dessous** de l'altitude de transition, la position verticale est exprimée en **altitude** (calage QNH), **au-dessus**, en **niveaux de vol** (calage 1013,25 hPa).

**Le niveau de transition dépend du QNH et de la valeur de l'altitude de transition.** Dans un espace à forte densité de trafic, TMA ou CTR, il faut toujours connaître avec précision le niveau de transition en tenant compte du QNH indiqué par l'organisme de la circulation aérienne.

### La couche de de transition

L'espace compris entre l'[altitude de transition](#) et le [niveau de transition](#) s'appelle la couche de transition. **Il est interdit de voler en palier dans la couche de transition** (car des avions aux calages altimétriques différents cohabitent : 1.13,25 hPa pour les avions en montée et QNH pour ceux en descente).

Localiser la couche de transition revient à déterminer ses limites basses et hautes. La **limite basse** est l'[altitude de transition](#) (valeur inscrite sur la carte au 1/1 000 000 si elle est différente de 5000 ft). La **limite haute** est la valeur du niveau de vol le plus bas au-dessus de l'[altitude de transition](#).

Une fois les valeurs d'altitude et de [niveau de transition](#) connues, **éviter** soigneusement la [couche de transition](#), en volant au-dessus ou en dessous.

Déterminer le premier niveau de vol utilisable au-dessus de l'altitude de transition connaissant le QNH

### Déterminer le premier niveau de vol utilisable au-dessus de l'[altitude de transition](#) connaissant le QNH

Premier cas :  $1013,25 > \text{QNH}$

1. Sur l'altimètre,  $1 \text{ hPa} = 28 \text{ ft}$
2.  $1013,25 - \text{QNH} = A \text{ (hPa)}$
3. En pieds :  $B \text{ (ft)} = A * 28$
4. [Altitude de transition](#) (ft) =  $5000 + A$

Le [niveau de transition](#) est le premier niveau de vol se terminant par zéro au-dessus de cette [altitude de transition](#).

Deuxième cas :  $1013,25 < \text{QNH}$

1. Sur l'altimètre,  $1 \text{ hPa} = 28 \text{ ft}$
2.  $\text{QNH} - 1013,25 = A \text{ (hPa)}$
3. En pieds :  $B \text{ (ft)} = A * 28$
4. [Altitude de transition](#) (ft) =  $5000 - A$

Le [niveau de transition](#) est le premier niveau de vol se terminant par zéro au-dessus de cette [altitude de transition](#).

### Résumé : choix des altitudes et des niveaux de vol dans les CTA, TMA et CTR

| altitude de vol                                               | expression de la position verticale | calage altimétrique | choix de l'altitude de vol                            |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|
| sous la surface S                                             | altitude                            | QNH                 | libre                                                 |
| entre la surface S et la <a href="#">couche de transition</a> | altitude                            | QNH                 | règle semi-circulaire (car au-dessus de la surface S) |
| au-dessus de la <a href="#">couche de transition</a>          | niveaux de vol                      | 1013,25 hPa         | règle semi-circulaire                                 |

La règle qui s'applique dans les CTA, TMA et CTR est la même que celle qui s'applique dans les autres espaces

# La surface S

C'est une surface de référence, couramment utilisé en VFR. Elle est définie par la **plus élevée des 2 surfaces** :

**1000 ft** au-dessus de la surface du sol ou de l'eau (1000 ASFC : above surface)

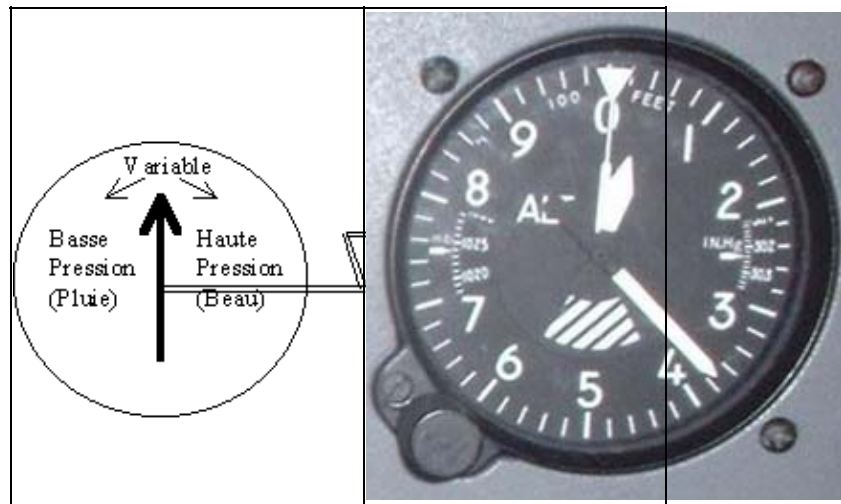
ou

**3000 ft** au calage **QNH** (3000 ft AMSL : above medium sea level)

# **INSTRUMENTS DE BORD**

# L'altimètre

## Principe



Une pression est égale à une **force sur une surface**. Avec l'altitude, la **pression**, mais aussi la **température** et l'**humidité** de l'air **diminuent**.

Un altimètre n'est qu'un **baromètre** : il enregistre la pression à l'extérieure de l'avion ([pression atmosphérique](#)) et la restitue sur un cadran gradué (généralement en pieds), en fonction de la décroissance de la pression avec l'altitude.

La [pression atmosphérique](#) diminuant avec l'altitude, une **capsule anéroïde** (capsule métallique, hermétique et déformable) enregistre la variation de pression, par **déformation**. Celle-ci est transmise à une aiguille qui se déplace devant un cadran gradué.

Chaque mesure de pression obtenue par l'altimètre est transformé en altitude, en utilisant une table de correspondance pression-altitude : la table de l'[atmosphère type](#) (**1 hPa = 28 ft**). Tous les altimètres d'avions sont munis d'une fenêtre où apparaît une échelle de pression. Elle est graduée en Hecto pascals (hPa). Le cadran, lui, est généralement gradué en pieds (ft).

La grande aiguille indique les *centaines* de pieds, la petite aiguille donne les *milliers* de pieds et le petit triangle extérieur affiche les *dix mille* pieds.

# L'altimètre

## Altitude – Hauteur – Niveau de vol

### L'altitude

L'altitude correspond à la **distance entre un objet en l'air et le niveau de la mer**. Cette distance est obtenue en calculant la variation de pression entre celle de l'endroit où se trouve l'avion et la pression au niveau de la mer en ce même point (QNH).

### La hauteur



La hauteur correspond à la **distance entre un objet en l'air et le sol**. Cette distance est calculée par la variation de pression entre celle où se trouve l'avion et celle au niveau du sol (QFE).

### Le niveau de vol

Le niveau de vol (FL pour Flight Level) correspond à l'**altitude** exprimée en centaines de pieds mais en prenant un **calage à la pression standard** c'est à dire **1013,25 hPa**.

## Les calages altimétriques

Le calage **QNH** indique la hauteur de l'aéronef au-dessus du niveau de la **mer**. L'aéronef étant au sol sur un aérodrome, l'altimètre indique l'altitude topographique du terrain.

Le calage **QFE** indique la hauteur de l'aéronef au-dessus d'un **aérodrome**. Au sol, l'aiguille indique 0

Le calage **QNE** indique une hauteur par rapport à la surface isobare **1013,25 hPa**

Le calage **1013,25** (ou calage standard ou calage en route) est une **pression de référence** utilisée pour assurer une séparation verticale entre les aéronefs. Il permet de lire sur l'altimètre une indication de **niveaux de vol** qui n'est ni une altitude mer, ni une hauteur, mais une altitude pression de vol par rapport à la référence isobarique 1013 hPa. Exemple : FL signifie niveau 30 soit 3 000 ft (ou 900m), l'altimètre étant calé à 1013 hPa.

## Altitude réelle

Altitude lue +  $(QNH - 1013) * 28$  si  $QNH > 1013$

Altitude lue +  $(1013 - QNH) * 28$  si  $QNH < 1013$

# L'anémomètre

## Principe



L'anémomètre indique une vitesse.

L'anémomètre retranche la [pression atmosphérique](#) à la [pression totale](#) afin d'obtenir la [pression dynamique](#), c'est un [manomètre différentiel](#).

Il obtient la [pression dynamique](#) à l'aide d'une capsule qui se déforme sous l'effet des 2 pressions. L'intérieur de la capsule est raccordée au [tube de Pitot](#) (capteur de [pression totale](#)) et l'extérieur, au capteur de [pression statique](#). La déformation de la capsule (due à la [pression totale](#)) est transmise à une aiguille qui se déplace devant le cadran de l'anémomètre où figurent des vitesses.

La vitesse obtenue est une vitesse **conventionnelle** (**V<sub>c</sub>**), c'est à dire qu'elle correspond à une densité de 1, une pression de 1013,25 hPa et une température de 15 °C. La [pression statique](#) n'étant pas toujours mesurée correctement, on fait une distinction entre la vitesse conventionnelle et la **vitesse indiquée** (**V<sub>i</sub>**). En aviation légère on confond ces 2 vitesses car leur valeur est très proche.

## Les différentes vitesses caractéristiques

### La vitesse indiquée (V<sub>i</sub> ou IAS Indicated air speed)

C'est la vitesse **lue directement** sur l'instrument. Elle n'est pas corrigée en fonction des variations de densité de l'atmosphère et de la température.

### La vitesse corrigée (CAS)

Elle est obtenue à partir de la V<sub>i</sub>, en tenant compte des erreurs de la sonde (défauts, fuites, position). Le [tube de pitot](#) étant souvent monté sur l'aile (bord d'attaque ou intrados), **plus l'avion sera cabré** (en vol cabré la sonde n'est plus dans l'axe du vent), plus la vitesse lue sera **erronée**.

### La vitesse propre ou vitesse vraie (V<sub>p</sub> ou TAS True air speed)

C'est une **vitesse corrigée**. Si les conditions du jour sont dites standard (15°C au niveau de la mer et pression de 1013 hPa), la vitesse propre est égal à la [vitesse sol](#). On peut obtenir la V<sub>p</sub> ou TAS par la lecture du tableau des performances du manuel de vol de l'avion utilisé. La V<sub>p</sub> correspond à la vitesse effective de

## La vitesse propre ou vitesse vraie (Vp ou TAS True air speed)

l'avion dans l'air et dépend :

**1/ de la vitesse indiquée de l'aéronef (Vi)**

**2/ de l'altitude de vol de l'aéronef (pressions)**

Comme la pression diminue, les frottement aussi et donc l'avion à moins de mal pour une puissance donnée d'avancer. Donc, au fur et à mesure que l'avion prend de l'altitude, la pression statique diminue : la vitesse indiquée Vi devient inférieure à la vitesse propre de l'avion. Formule :

**Majoration de 1% par tranche de 600 pieds d'altitude de la vitesse indiquée**

**3/ du calage de l'atmosphère standard (températures)**

a/ Calcul de la température *standard* en une altitude donnée :

$$T (^{\circ}\text{C}) = 15 - (\text{FL}/10 \times 2)$$

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| T : température en<br>°C | FL : niveau de<br>vol |
|--------------------------|-----------------------|

b/ Calcul de la température *réelle* en une altitude donnée

La température décroît de 2° par 1000 ft d'altitude (0.65°C par 100 m). On obtient la température réelle en effectuant un produit en croix :

$$\begin{array}{ccc} 2^{\circ}\text{C} & \longrightarrow & 1000 \text{ ft} \\ \text{température réelle} & \longrightarrow & \text{altitude de l'avion} \end{array}$$

$$\text{Température réelle} = (2 * \text{altitude}) / 1000$$

c/ Impact sur la Vp

On majore la Vi de **1% par tranche de 5°C** de plus de la température réelle (b/) par rapport à la température standard à l'altitude de l'avion (a/)

## La vitesse sol (Vs ou GS Ground speed)

La vitesse Sol Vs ou GS correspond à la TAS plus la vitesse du vent rencontré :

$$\text{Vi} + \text{correction altitude} \pm \text{correction température} = \text{Vp} \pm \text{correction vent} = \text{Vs}$$

Il existe un autre moyen de lire directement la GS, c'est avec une Radio-Balise VOR DME à condition de se diriger en plein sur elle.

## Exemple 1

### Exemple 1

Quel est la  $V_p$  d'un avion volant à 5000 ft dont la  $V_i$  est de 95kt lorsque la température au sol est de 23°C ?

$$V_p = V_i + \text{correction altitude} \pm \text{Correction température}$$

#### I/ Correction de température

|         | Température au sol     | Température standard à 5000 ft                        | Température réelle à 5000 ft                                                                               | Différence température réelle / température standard         | Impact sur la $V_p$                                               |
|---------|------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Formule | (fournie par l'énoncé) | $T (^{\circ}\text{C}) = 15 - (\text{FL}/10 \times 2)$ | Ecart : $(2 * \text{altitude}) / 1000$                                                                     | Température réelle(5000 ft) – température standard (5000 ft) | + 1% par tranche de 5°C                                           |
| Calcul  | 23°C                   | $15 - (5 \times 2) = 5^{\circ}\text{C}$               | $(2 * 5000) / 1000 = 10^{\circ}\text{C}$<br><br>Température réelle :<br><br>$23 - 10 = 13^{\circ}\text{C}$ | $13 - 5 = 7^{\circ}\text{C}$                                 | Impact : $7 / 5 = 1.5$<br><br>On rajoute environ 1,5% de la $V_i$ |

#### II/ Correction d'altitude

Formule : Majoration de 1% par tranche de 600 pieds d'altitude de la vitesse indiquée

Calcul de la perte de pression :  $5000 / 600 = 8\%$  (produit en croix)

Donc on rajoute 8% de la  $V_i$

#### III Calcul de la vitesse propre

On ajoute à la  $V_i$  :  $8 + 1.5 = 9.5\%$  arrondi à 10%

La vitesse propre de l'avion est donc de  $95 + 10\% = 104 \text{ kt}$

### Exemple 2

Calculer la  $V_p$  d'un avion volant à 6000 pieds avec une  $V_i$  de 150 Kts, et une température mesurée à 6000 pieds de 8°C

#### I Correction de température

|         | Température réelle à 6000 ft | Température standard à 6000 ft                        | Différence température réelle / température standard         | Impact sur la $V_p$     |
|---------|------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Formule | (fournie par l'énoncé)       | $T (^{\circ}\text{C}) = 15 - (\text{FL}/10 \times 2)$ | Température réelle(6000 ft) – température standard (6000 ft) | + 1% par tranche de 5°C |

### Exemple 3

|        |     |                                       |                           |                                                        |
|--------|-----|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|
| Calcul | 8°C | $15 - (6 \times 2) = 3^\circ\text{C}$ | $8 - 3 = 5^\circ\text{C}$ | Impact : $5 / 5 = 1$<br>On rajoute environ 1% de la Vi |
|--------|-----|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|

#### II Correction d'altitude

Formule : Majoration de 1% par tranche de 600 pieds d'altitude de la vitesse indiquée

Calcul de la perte de pression :  $6000 / 600 = 10\%$  (produit en croix)

$$V_p = 150 + 10\%$$

#### III Calcul de la vitesse propre

$$V_p = 150 + 10\% \text{ de } 150 + 1\% \text{ de } 150 \text{ donc : } 166.5 \text{ Kts}$$

On voit donc que la  $V_p$  est supérieure à la  $V_i$

### Exemple 3

Vous vous trouvez à 18000 ft, l'anémomètre indique 200 kts. Quelle est votre  $V_p$  ?

#### I Correction d'altitude

Formule : Majoration de 1% par tranche de 600 pieds d'altitude de la vitesse indiquée

Calcul de la perte de pression :  $18000 / 600 = 30\%$  (produit en croix)

#### II Calcul de la vitesse propre

$$V_p = 200 + 30\% = 260 \text{ kts}$$

### Exemple 4

Votre vitesse propre est de 260 kts. Vous volez au cap  $270^\circ$  et vous avez un *vent arrière* de 40 kts. Quelle est votre vitesse sol ?

#### Réponse

La vitesse sol correspond à la vitesse propre plus la vitesse du vent rencontré.

$$\text{Vitesse sol} = 260 + 40 = 300 \text{ kts par rapport au sol}$$

### Exemple 5

Votre vitesse propre est de 260 kts. Vous volez au cap  $270^\circ$  et vous avez un *vent de face* de 40 kts. Quelle est votre vitesse sol ?

#### Réponse

Vitesse sol =  $260 - 40 = 220$  kts par rapport au sol

## Domaine d'utilisation

Il faut retenir que l'avion ne peut impunément voler :

- trop lentement sous peine de décrochage
- trop vite sous peine de déformations ou ruptures

Des marges sont donc prévues pour ne pas s'approcher dangereusement des valeurs critiques (1.3 VS pour VS et VNO pour VNE).

**Arc vert** : zone d'utilisation normale limitée par la VS1 et la VNO

**Arc jaune** : zone interdite en atmosphère turbulente, limitée par la VNO et la VNE qui est indiquée par un trait rouge

**Arc blanc** : zone d'utilisation normale en configuration atterrissage entre la VS0 et la VFE

**VS1** : vitesse de décrochage en lisse (Velocity Stall 1)

**VS0** : vitesse de décrochage en configuration atterrissage à la masse maximale (Velocity Stall 0)

**VNO** : vitesse à ne pas dépasser en atmosphère agitée (Velocity Normal Operating)

**VNE** : zone qui ne doit jamais être atteinte dans la vie de l'avion (Velocity Never Exceed)

**VSO** : vitesse de décrochage volets et trains sortis (configuration atterrissage)

La VSO permet de calculer la vitesse d'approche en configuration atterrissage :  $1.3 * VSO$

**VFE** : vitesse maximale d'utilisation des volets (Velocity Flaps Extended)

**VLE** : vitesse maximale d'utilisation train sorti (Velocity Landing Gear Extended)

**VLO** : vitesse limite de manoeuvre du train d'atterrissage (Velocity Landing Gear Operating)

**VFO** : vitesse limite de manoeuvre des volets (Velocity Flaps Operating)

**1.3 VS** : vitesse d'approche communément préconisée ; la marge de 30%, par rapport à la VS configuration adoptée est reconnue suffisante pour conduire une approche où les évolutions seront raisonnables

**1.4 VS :** vitesse supérieure de 30 % à la vitesse de décrochage sous facteur de charge (en virage, tant que l'inclinaison est inférieure ou égale à  $37^\circ$ ) Remarque : cette inclinaison et cette marge sont les mêmes pour tous les avions)

## Le variomètre



Il mesure la **vitesse verticale** ( $V_z$ ) de l'avion en comparant deux pressions statiques. Une capsule non fermée est reliée à l'air extérieur. Le boîtier est relié également à l'extérieur, mais par un tube très fin (capillaire) qui laisse entrer l'air très lentement, donc avec un **retard** (environ 2 secondes) : les déformations de la capsule indiquent donc la différence de pression entre la pression à un instant et la pression à l'instant immédiatement précédent. Il faut donc contrôler la trajectoire dans le plan verticale à l'aide du variomètre **après avoir stabilisé l'avion.**

A la différence de l'altimètre, le variomètre n'indique que des variations de pressions. Si l'avion se remet en palier, Les pressions extérieures et intérieures s'équilibrent par l'intermédiaire du tube capillaire, et l'aiguille revient à zéro. C'est le but recherché puisque l'on ne veut que les indications dues à une montée ou une descente.

# Le compas

Le compas fonctionne comme une boussole grâce à un barreau aimanté qui prend la direction du Nord magnétique : il indique le **cap magnétique**. En conséquence, les directions indiquées par le compas sont toutes décalées de la valeur de l'angle compris entre le Nord vrai (Nord du méridien ou encore Nord géographique) et le Nord magnétique. Cet angle est appelé **déclinaison magnétique (D)**. Sa valeur varie avec le lieu géographique. Elle est dite Ouest lorsque le Nord magnétique est à l'Ouest du Nord vrai, ce qui est le cas sur l'ensemble de la France.

Le compas est formé d'une partie étanche remplie d'un liquide ingelable, dont le rôle consiste à amortir les oscillations de la rose. Cette dernière, constituant la partie mobile sur laquelle est fixé l'aimant, porte l'inscription des directions magnétiques marquées de 10 en 10 degrés de 0 à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre. Ainsi, l'indication 3 correspond à 30° et 33 signifie 330°.

Le compas donne des **indications erronées** en virage, lors de variations de vitesse et en atmosphère turbulente. C'est pourquoi un instrument complémentaire plus stable est utilisé : le [conservateur de cap](#) ou [directionnel](#).

# Le gyroscope

Tout corps rond, qui tourne sur lui-même est un gyroscope. Exemple : une toupie, la Terre. Le gyroscope doit avoir une **très grande vitesse de rotation** et une **masse** relativement importante afin d'être stable dans l'espace : lorsque la vitesse de rotation d'une toupie diminue, elle se met à tourner dans tous les sens et tombe sur le côté.

La principale qualité du gyroscope est sa **fixité dans l'espace** : son axe (23°27') reste fixe par rapport à son orbite. Il possède une deuxième propriété, la **précession** : lorsque l'on appuie sur l'axe du gyroscope en rotation, il ne part pas dans le sens de l'action, mais à 90° plus tard, il précessionne.

Le gyroscope est utilisé comme **repère angulaire**. Il est constitué d'un rotor tournant à grande vitesse autour d'un axe grâce à un moteur pneumatique ou électrique. Il est monté sur un support articulé qui lui permet de tourner et de réagir librement. L'ensemble extérieur peut bouger dans tous les sens, seul le gyroscope (partie intérieure) est fixe dans l'espace. On appelle **degré de liberté**, la possibilité de se mouvoir suivant un certain nombre d'axes de rotation. Si le gyroscope est à trois degrés de liberté, il est fixe dans l'espace et c'est l'avion tout entier qui tourne autour de lui.

Du fait des frottements, des accélérations et de la rotation de la Terre, il doit être **recalé régulièrement** sur une direction de référence.

On l'utilise pour trois instruments : l'[horizon artificiel](#) (trois degrés de liberté), l'[indicateur de virage](#) et le [conservateur de cap](#) ou directionnel (deux degrés de liberté).

# L'horizon artificiel



Cet instrument donne des indications d'[assiette](#) et d'**inclinaison**.

C'est un [gyroscope](#) à trois degrés de liberté. Il est constitué d'une couronne fixe, d'un tambour sur lequel figurent la ligne d'horizon, le ciel (bleu) et la terre (le plus souvent marron). Une maquette représente l'avion. Lors d'un mouvement de l'avion, l'ensemble avion-boîtier-maquette se déplace autour du tambour. La couronne supérieure comporte des graduations en degré (notamment à 30°, 60° et 90°) permettant de mesurer l'inclinaison de l'avion.

# La bille et l'aiguille



Ces deux instruments sont souvent réunis sur un même cadran.

## La bille (symétrie du vol)

Le système est constitué :

- d'une bille baignant dans un liquide amortisseur
- d'un tube incurvé qui contient la bille et son liquide
- d'un vase d'expansion qui permet la circulation du liquide en cas de dilatation

La bille renseigne sur la **symétrie du vol** : tant que l'aiguille reste centrée, le vol est symétrique (l'écoulement de l'air est symétrique par rapport à l'axe longitudinal de l'avion). Si la bille s'écarte de sa position centrale (dérapage) : il faut utiliser la gouverne de direction et pousser la pédale du palonnier du côté où s'écarte la bille.

## L'aiguille (indicateur de virage)

L'aiguille est associée à un gyromètre, composé d'un [gyroscope](#) à deux degrés de liberté. Elle indique :

- le **sens du virage** : si l'aiguille s'incline à droite, l'avion est en virage à droite et inversement à gauche
- le **taux du virage** : vitesse de défilement du repère capot, c'est la vitesse que l'on met pour effectuer un virage

Un virage est effectué au **taux standard** (ou taux 1) si l'avion effectue un virage de **360° en 120 secondes** (ou 180° en une minute), soit **3° par seconde**. Le taux 2 est un virage de 360° en une minute.

## Le conservateur de cap ou directionnel



Cet instrument donne une information de **cap**. Il fonctionne à l'aide d'un [gyroscope](#). Le cap est lu sur une rose des caps solidaire de l'axe du [gyroscope](#).

Il ne peut être employé seul pour s'orienter : Il faut le **recaler** régulièrement à l'aide des indications du [compas](#) (lorsque ses indications sont exploitables). En navigation, le recalage du conservateur de cap est inclus dans la procédure des vérifications systématiques en vol qui sont faites périodiquement et aux points tournants de chaque branche.

Au cours de la visite prévol, le pilote doit vérifier le bon état du conservateur de cap. Pendant le roulage, il doit s'assurer qu'il fonctionne bien et dans le bon sens : ***les caps augmentent vers la droite et diminuent vers la gauche.***

# Le VOR



## Fonctionnement

Le VOR est un **système de positionnement radioélectrique** assurant une navigation à courte et moyenne distance. Il sert à se positionner par rapport à une balise (QDR). On peut suivre un axe permettant de rejoindre ou au contraire de s'éloigner de la balise.

La **distance de réception** du VOR est dite **optique**, c'est à dire qu'aucun obstacle important ne doit s'élever entre l'émetteur et le récepteur. Sa portée dépend de l'altitude. Elle est donnée par la formule :

*Distance théorique de réception en NM :  $D(NM) = 1.23 * \text{racine carré (altitude de l'avion en ft)}$*

*$D = 1.23 * \text{racine carré } (H(t))$*

exemple : H = 30000 ft: portée théorique = 213 NM.

Le VOR utilise les fréquences **VHF** (Very High Frequency), d'où son nom : VHF Omnidirectionnal Range (alignement omnidirectionnel VHF), sa fréquence est de **108 à 117.95 Mhz**. L'appareillage de bord comprend un boîtier de commande et un instrument de lecture. L'instrument de lecture fournit une information de relèvement magnétique (le [QDR](#)) grâce aux signaux captés par le récepteur de bord. Rappelons que :

$$QDM = QDR \pm 180^\circ$$

*QDR : on s'éloigne de la station (FROM)*

*QDM : on se rapproche de la station (TO)*

## Principes

1. L'information QDM ou QDR fournie par le VOR est **indépendante du cap** de l'avion (contrairement à l'ADF)
2. Pour rejoindre une station, il faut impérativement avoir une **aiguille active** : l'aiguille ne doit **jamais** être **en butée** (la butée de l'aiguille signifie que le pilote se trouve à plus de 10° de l'axe, il peut donc être très loin de l'axe)

Pour rejoindre une station, l'**aiguille** est **directrice** si le **cap magnétique** est **cohérent** avec l'axe affiché sous l'index (QDM) : pour rejoindre une station sur le QDM 090°, il faut avoir un cap magnétique proche ou égal à 090° (suivant le vent)

## Les émetteurs VOR

Ils sont implantés sur les **aérodromes** ou aux **points clés des régions de contrôle**. On trouve sur les cartes au 1/500 000 OACI et sur la carte de radionavigation 1/1 000 000, l'emplacement des VOR ainsi que :

- leur emplacement
- leur indicatif
- leur fréquence
- une rose orientée suivant le Nord magnétique permettant la lecture directe des QDR

## Le récepteur

Le récepteur est composé de 3 parties : l'**antenne de réception** (de la forme d'un V horizontal, généralement fixée sur le fuselage de part et d'autre de la dérive), le **boîtier de bord** (permet la mise en marche du système, la sélection de la balise VOR et son identification) et un **indicateur** (un rond central fixe représente l'avion, une aiguille mobile représente la route sélectionnée, un bouton OBS – Omni Bearing Selector ou sélecteur de route permet de sélectionner le radial, un voyant mobile indique TO, FROM ou OFF).

A partir du boîtier de bord, mettre le poste en fonctionnement, **afficher la fréquence** de la station VOR choisie et **identifier l'indicatif morse** de la balise. Cette identification est très importante car l'absence d'indicatif signifie que l'émetteur VOR n'est plus surveillé, donc que le VOR est incertain c'est à dire dangereux.

## Alignement sur un axe

Dès la mise en fonctionnement en vol et si les conditions de réception sont correctes, le voyant OFF disparaît de l'indicateur pour laisser place au voyant TO ou FROM selon que l'on veut rejoindre (QDM) ou s'éloigner d'une station (QDR).

Pour **rejoindre une station**, afficher la fréquence de la balise, identifier son indicatif morse (3 lettres toutes les 30 secondes), tourner l'OBS pour avoir l'indication TO (QDM), continuer à tourner l'OBS afin de centrer l'aiguille, prendre le cap équivalent à l'axe sélectionné par un virage (pour avoir le sens du virage, prendre le plus court chemin entre le cap actuel et le QDM sélectionné). Attention, l'aiguille peut induire en erreur, il faut la bloquer au centre avec le cap adéquat.

Pour **s'éloigner d'une station**, agir de même en sélectionnant un **QDR** avec le bouton OBS, le voyant FROM apparaît, puis suivre l'aiguille.

Dans les 2 cas, si l'aiguille **dévie à droite** : corriger à droite, si elle **dévie à gauche** : corriger à gauche.

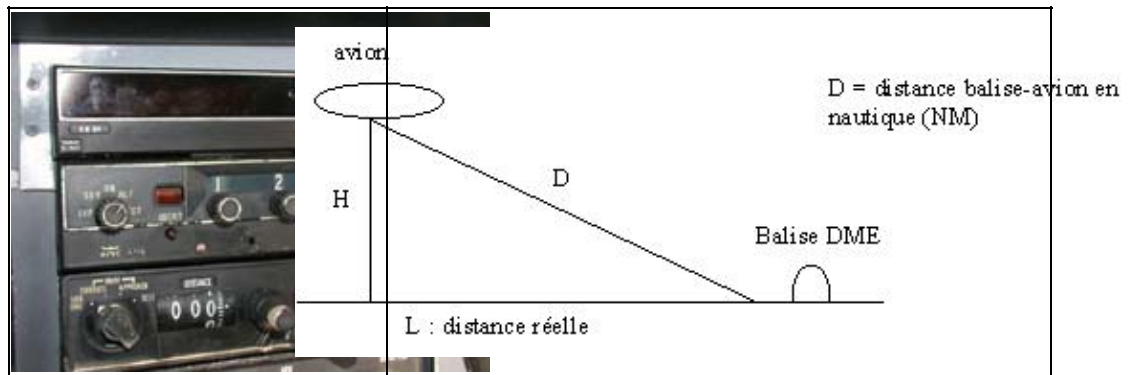
## Conduite à tenir en cas de non réception d'une station VOR

A l'**approche de la verticale**, l'aiguille devient instable, le voyant bascule en position OFF (cône d'incertitude, le récepteur ne peut plus différencier les radials qui sont pratiquement confondus) : **conserver le cap** (ne surtout pas chercher à dévier l'aiguille).

## Conduite à tenir en cas de non réception d'une station VOR

En cas de non-réception d'une station VOR (hors de portée car le pilote vole trop bas, VOR en maintenance donc pas d'indicatif, etc.), s'appuyer sur le cheminement et l'estime ou chercher un recevoir un **autre VOR**.

# Le DME (Distance Measuring Equipment)



Le DME est un appareil qui permet de mesurer la **distance oblique** en NM (milles marins) entre l'avion et une station au sol souvent co-implantée avec un VOR, un TACAN (tactical air navigation, VOR militaire) ou un ILS, ainsi que la **vitesse sol** de l'avion en noeuds et le **temps** pour rejoindre la station (TTS).

Sa précision est de l'ordre de 0.2 NM, sa portée est optique et ne dépasse pas les 200 NM. Il fonctionne dans la gamme UHF de 962 Mhz à 1 213 Mhz et sa précision est de l'ordre de 0.2 NM.

## Avantages

- le DME possède une bonne précision
- il est quasiment insensible aux perturbations atmosphériques

## Inconvénients

- La distance fournie est une distance oblique (donc ce n'est pas la distance réelle)
- Il se sature aux environs d'une centaine d'avion (les avions en plus ne reçoivent pas d'informations)

Au passage de la **verticale**, le DME indique la **hauteur de l'avion** et les indications de vitesse sol et de temps pour rejoindre la station ne sont pas valables.

La mesure de distance est effectuée par l'intermédiaire du temps de propagation mis par des impulsions pour un trajet aller-retour. L'émetteur de bord émet des impulsions d'interrogation. Le récepteur de bord capte les impulsions de réponse émises par le transpondeur au sol. Le temps mis entre l'envoi de l'impulsion d'interrogation et la réception de l'impulsion réponse est transformée en distance.

# Le HSI (Horizontal Situation Indicator)

Le HSI est un instrument fournissant :

- une référence de cap
- une indication d'écart latéral par rapport à un radial ou à l'axe d'un localizer
- une indication d'écart, dans le plan vertical, par rapport à un plan de descente (glide)
- une distance DME
- une vitesse sol
- la dérive

Le grand intérêt du HSI utilisé avec le VOR est que l'aiguille est toujours directionnelle.

# Le radiocompas ou ADF

Le radiocompas ou ADF, indique par l'intermédiaire de son aiguille, la **direction d'une station**. Cette position est indiquée par rapport à l'axe de l'avion. Le radiocompas fournit une information de gisement (GT).

Il existe 2 types d'émetteurs fonctionnant suivant le même principe, mais de puissance d'émission, donc de portée différente : le locator et le NDB. Ils fonctionnent dans la plage MF de 200 à 2000 kHz.

Sur la carte au 1/500 000e OACI et sur la carte de radionavigation au 1/1000 000e figurent pour chaque L/NDB :

- Son emplacement avec le symbole approprié
- Son indicatif
- Sa fréquence

## L (Locator)

Moyen radio d'atterrissage, de **portée réduite** (10 à 25 NM), la balise est utilisée comme moyen de percée en régime IFR (en IFR on confirme toujours le passage d'une balise Locator par un radial VOR. Au passage de la balise, on vérifie que l'aiguille VOR est centrée. En effet, de fausses verticales créées par des phénomènes électrostatiques ou par la présence de cumulonimbus sont possibles). Implanté à proximité de certains aérodromes. Son indicatif comporte souvent 2 lettres.

## NDB (Non Directional Beacon)

Moyen de radionavigation implanté le plus souvent en campagne aux points clés des régions de contrôle. Son indicatif comporte généralement 3 lettres. La **portée** de la balise est **très grande** (de l'ordre de 150 NM), elle peut donc servir de moyen de navigation en route.

# Avantages/inconvénients de l'ADF

## Les avantages

- Facile à utiliser
- Portée élevée
- Implantation aisée

## Les inconvénients

- Très sensible aux éléments météorologiques
- Inutilisable par temps d'orage
- Brouillages de nuit

## Utilisation du radiocompas

A bord, le pilote dispose d'un boîtier de commande et d'un cadran de lecture.

### Le boîtier de commande

Le boîtier de commande permet :

- d'**afficher la fréquence de la station** dont on veut connaître la position
- d'**identifier la station émettrice** par son code morse (position "IDENT")
- de **vérifier le bon fonctionnement de l'installation** (position "ANT" ou "TEST")

### Le cadran de lecture

Il est constitué par une rose graduée qui peut être :

- **fixe** : le pilote doit faire le calcul  $CM + GT$  pour savoir sur quel QDM ou QDR il se trouve par rapport à la balise
- **mobile manuellement** : le pilote tourne la molette pour faire coïncider sous le repère de l'instrument la valeur de son cap magnétique actuel, ainsi la pointe de l'aiguille indique directement le QDM et la queue de l'aiguille le QDR

### Fonctionnement

Il faut commencer par afficher la fréquence de la balise, puis vérifier son indicatif en code morse. Pour rejoindre une station, il suffit d'afficher la fréquence de la station que l'on veut rejoindre. La pointe de l'aiguille va se stabiliser en désignant la direction de la station.

La position de l'aiguille sur le cadran indique l'angle que fait l'axe de l'avion avec la direction de la station : le **gisement** (Gt), compté de 0 à 360°. Le pilote annule le gisement en **virant du côté de l'aiguille**.

Sans vent, en maintenant constant le cap qui donne un gisement nul, le pilote va passer à la verticale de la balise. Cette verticale est signalée par le basculement de l'aiguille de 180.

Avec du vent, la première chose à faire consiste à annuler le gisement en virant du côté de l'aiguille afin de se diriger vers la station. En maintenant constant le cap qui donne initialement un gisement nul, on attend de voir la tendance de l'aiguille. Si elle quitte franchement le gisement 0, c'est qu'elle indique la direction du vent (si l'aiguille part à droite, le vent vient de la droite).

Contrairement au VOR dont l'indication est indépendante du cap, 2 avions sur le même QDM mais ayant des **caps différents n'ont pas la même indication instrumentale**.

Lorsque les **cap augmentent** les **gisements diminuent** et lorsque les **cap diminuent** les **gisement augmentent**.

## Calcul du QDM à partir du gisement

$$\text{QDM} = \text{Cm} + \text{Gt}$$

(Cm : cap magnétique)

$$\text{QDR} = \text{QDM} \pm 180$$

## Limites d'utilisation du radiocompas

L'onde moyenne fréquence est **très sensible** aux **perturbations atmosphériques**. Par temps orageux, l'aiguille peut indiquer la direction d'un cumulonimbus au lieu d'indiquer la balise, la nuit, son indication peut également être douteuse : mieux vaut couper le récepteur.

La précision du radiocompas est de l'ordre de 5°.

# Le RMI (Radio Magnetic Indicator)

Le RMI est un **ADF sophistiqué**. Il est constitué d'un conservateur de cap (généralement recalé en permanence par une centrale de cap) et d'une information VOR et/ou ADF. On peut y lire directement le **cap**, le **QDM**, le **QDR** (indiqué par la queue de l'aiguille) et le **gisement**.

Le principe de fonctionnement est le même que celui de l'ADF. La centrale de cap, par l'intermédiaire d'un moteur électrique, fait tourner une rose mobile afin que soit positionnée sous l'index de l'instrument la valeur du cap magnétique réel (car recalé en permanence).

Si la centrale de cap est en panne :

- Le CM est faux
- - Le QDM (QDR) est faux
- - Le gisement est bon quelque soit le cap (l'information de gisement est indépendante de l'information de cap magnétique)

# Le gonio ou VDF (VHF Directional Finding)

Le gonio ou VDF est une **aide à la navigation** très simple d'utilisation.

Le pilote émet sur une fréquence du VDF et la direction d'émission est relevée par l'opérateur au sol. Le **relèvement** trouvé est retransmis au pilote sur la même fréquence sous la forme d'un QDM. Le QDM fourni peut servir simplement à confirmer la navigation, sans chercher à se diriger vers la station contactée.

## Procédure

- Afficher la fréquence du gonio (cartes d'atterrissage, "compléments à la carte radionavigation") sur le récepteur VHF
- Contacter la station en ajoutant au message habituel "[nom de la station gonio], pour un cap magnétique vers vous"
- Pour rejoindre la station, prendre le cap correspondant, corrigé de la dérive (si les QDM diminuent, diminuer le cap, s'ils augmentent, augmenter le cap)
- Répéter ensuite ces demandes de QDM pour apporter des corrections éventuelles
- Terminer par le message "[nom de la station gonio], terminé"

## Avantage

Ne nécessite pas de récepteur particulier, une VHF suffit.

## Inconvénients

- Moyen non autonome de portée optique VHF (tout obstacle entre l'émetteur et le récepteur gêne l'opération de relèvement)
- L'opérateur gonio ne peut prendre en compte qu'un nombre limité d'avions à la fois

# L'ILS (Instrument Landing System)



L'ILS est un système d'**aide à l'atterrissage aux instruments**. Il est constitué d'un émetteur au sol émettant deux faisceaux radioélectriques permettant de matérialiser l'axe de la piste et un plan de descente (en général le plan à 5%). Il fonctionne dans la gamme VHF 108 à 112 Mhz.

Les informations délivrées au pilote sont :

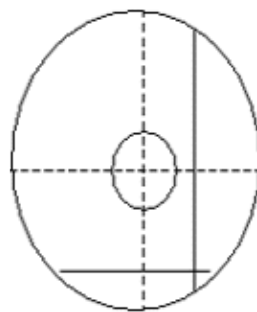
- Une information d'écart latéral par rapport à un plan vertical idéal (localiser)
- Une information d'écart vertical par rapport à un plan oblique (glide path)

Le boîtier de commande de l'ILS est semblable à celui du VOR.

## Fonctionnement

L'ILS est utilisable uniquement en phase d'approche/atterrissage.

Une aiguille verticale (**localizer**) et une aiguille horizontale (**glide**) donnent l'écart par rapport à l'axe de la piste et au plan de descente. Les aiguilles indiquent la direction à suivre (voir schéma). La déviation est de 2.5° de part et d'autre de l'axe.



Trop haut et à gauche

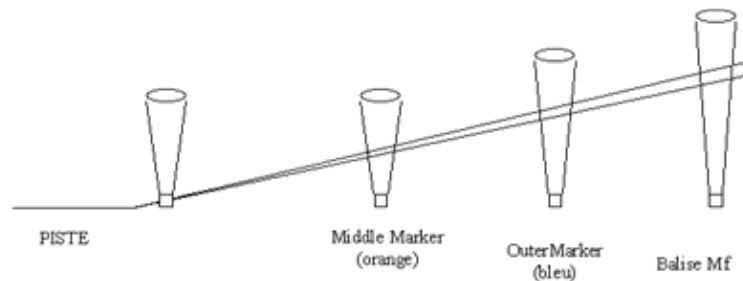
Le récepteur ILS

# Les markers

Les markers sont des **balises radioélectriques** qui émettent un faisceau très étroit. Ils constituent une **aide à la navigation** (petite et moyenne distance). Ils sont généralement placés sur l'axe d'approche finale, toutefois certains servent comme points de report en route (fan markers). Ils fonctionnent dans la gamme VHF 75 Mhz. Ces balises fournissent une information discontinue de distance par rapport au seuil de piste. Un ILS est presque toujours associé à des markers.

Il y a 3 markers associés à l'ILS :

- L'outer marker (balise extérieure)
- Le middle marker (balise médiane)
- L'inner marker (balise intérieure)



## Les balises markers

Lorsque l'avion passe dans ce faisceau, une lumière clignotante de couleur s'allume sur le tableau de bord et un signal sonore est émis :

- O Outer MARKER -- 2 traits/seconde
- M Middle MARKER -. 1 trait 1 point/seconde
- A Inner MARKER ..... 6 points/seconde

La couleur de la lampe et le signal sonore sont fonction de leur distance par rapport à la piste.

# Transpondeur

Si le transpondeur est en mode C avec report d'altitude, mettre sur **ALT code 7000** ou sur le code assigné.

Si le transpondeur est sans report d'altitude, l'utiliser sur demande des organismes de la circulation aérienne et mettre le code assigné.

En cas de **détresse** : code **7700**

En cas de **panne radio** : code **7600**

En cas de **détournement** : code **7500**

# Le GPS (Global Positioning System)



Le GPS est un **système de positionnement par satellite**. C'est un moyen de navigation permettant une couverture mondiale. L'information reçue est principalement une information de **position** sur le globe (X, Y, Z, latitude, longitude, altitude) et de **vitesse** (sur les 3 axes). Le système est constitué de 3 sous-systèmes appelés segments :

- le segment **spatial** (24 satellites répartis sur 3 plans d'orbite)
- le segment **sol** (des stations au sol assurent une poursuite passive des satellites, le chargement de certaines données, le suivi de l'état des satellites, le contrôle de la dérive éventuelle des satellites)
- le segment **mobile** (l'avion)

Chaque satellite fournit les informations permettant de :

- déterminer la **distance** entre le satellite et le récepteur (par mesure du temps de propagation du signal)
- connaître les **orbites** précises et l'**état** de chacun des satellites de la constellation

A partir de ces informations, le récepteur GPS peut calculer sa **position** et donner l'**heure**.

**Quatre satellites** sont nécessaires pour calculer 1 position en **3 dimensions** (latitude, longitude, altitude) avec précision. Lorsque 3 satellites seulement sont disponibles, la position peut être déterminée en introduisant manuellement l'altitude de l'aéronef. Le GPS fournit au pilote :

- la route à suivre
- la vitesse sol, la vitesse propre, le vent à l'altitude considérée
- la distance le séparant du way-point considéré
- l'heure d'arrivée au way-point considéré
- d'autres renseignements en fonction des options choisies (écart de route par exemple)

Le GPS ne peut pas se substituer aux équipements de radionavigation requis par la réglementation. **Il ne peut pas être utilisé comme moyen de navigation**. De plus, un **GPS portable** peut être à l'origine de

**perturbations** par rayonnement ou conduction électromagnétique sur le compas magnétique et les systèmes de radionavigation et de radiocommunication. Il peut également entraîner des problèmes sur l'alimentation électrique : s'il est connecté au réseau de bord de l'aéronef, des protections doivent être mises en place (fusible).

## Classes des GPS utilisables en VFR

**A** : équipement possédant la partie calcul de navigation en plus de la partie réception GPS et possédant la fonction RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring : système de détermination de l'intégrité du signal).

**B** : senseur GPS envoyant des informations vers un système de navigation intégré.

**C** : idem couplé à un pilote automatique ou à un directeur de vol.

**V (VFR)** : idem A mais sans la fonction RAIM.

## Utilisation

Classes **A, B, C** :

- vols VFR de jour sans contact visuel du sol ou de l'eau
- vols VFR de jour pour le survol de l'eau ou de régions terrestres inhabitées lorsqu'un équipement de radionavigation est requis
- vols VFR de nuit

Classe **V** :

- vols avec vue du sol, le pilote doit vérifier sa navigation par repérage visuel du sol pour s'assurer de la fiabilité de la position fournie par l'équipement (pas de fonction RAIM)
- vols VFR de jour et en vue du sol ou de l'eau (avec vérification de la navigation par repérage visuel)

## Base de données

Classes **A, B, C** :

Mise à jour régulière recommandée et systématique tous les 3 ans (passage de l'aéronef en laboratoire radio).

Classe **V** :

Base de donnée manuelle : risque d'erreurs lors de la saisie.

## L'ampèremètre

| Type d'ampèremètre | fonctionnement normal                                                                      | anomalie                                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| A zéro central     | l'aiguille se trouve à zéro, sensiblement du côté vert                                     | décharge de la batterie : l'aiguille part franchement dans le secteur rouge |
| A zéro décalé      | plus il y a utilisation de consommateurs électriques, plus l'aiguille dévie vers la droite | panne d'alternateur : l'aiguille reste sur zéro                             |

Deux types d'ampèremètres sont utilisés

# Le manomètre

Le manomètre est un instrument qui sert à mesurer la **pression des fluides**. On les utilise pour donner des informations sur la pression de l'huile moteur, la pression d'admission d'essence au niveau du carburateur et la dépression servant au fonctionnement des [gyroscopes](#).

# Le tachymètre

Le tachymètre (ou compte-tours) est un instrument qui indique la **vitesse de rotation du moteur**. Cette mesure permet d'éviter des survitesses au cours de certaines configurations de vol (voltige, descente, ...).

# METEOROLOGIE

[Définitions](#)

[Caractéristiques de l'atmosphère](#)

[L'atmosphère standard](#)

[Les masses d'air et le vent](#)

[Les perturbations et les fronts](#)

[Les nuages](#)

[Le dossier de vol](#)

[Messages d'observation ou de prévision](#)

[Les cartes](#)

[Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique](#)

[Météorologies locales](#)

[Où obtenir des informations météo](#)

# Définitions

## Plafond

Hauteur, au dessus du sol, de la couche nuageuse la plus basse, au dessous de 6000 mètres (environ 20 000 ft) et qui couvre plus de la moitié du ciel.

## Visibilité

Distance maximale jusqu'à laquelle il est possible d'identifier visuellement un objet.

## Isobares

Courbes joignant tous les points où s'exerce la même pression.

## Champ de pression

Est obtenu en traçant les différentes lignes isobares.

## Dépression

Une dépression est tout le contraire de l'anticyclone : c'est une zone de **basses pressions** (inférieures à 1013,25 hPa) favorables au développement de [nuages](#) stables (dont le développement vertical n'est pas très important) ou cumuliformes (aux développements verticaux considérables). (lettre D ou L).

## Thalweg

Axe des basses pressions.

## Anticyclone

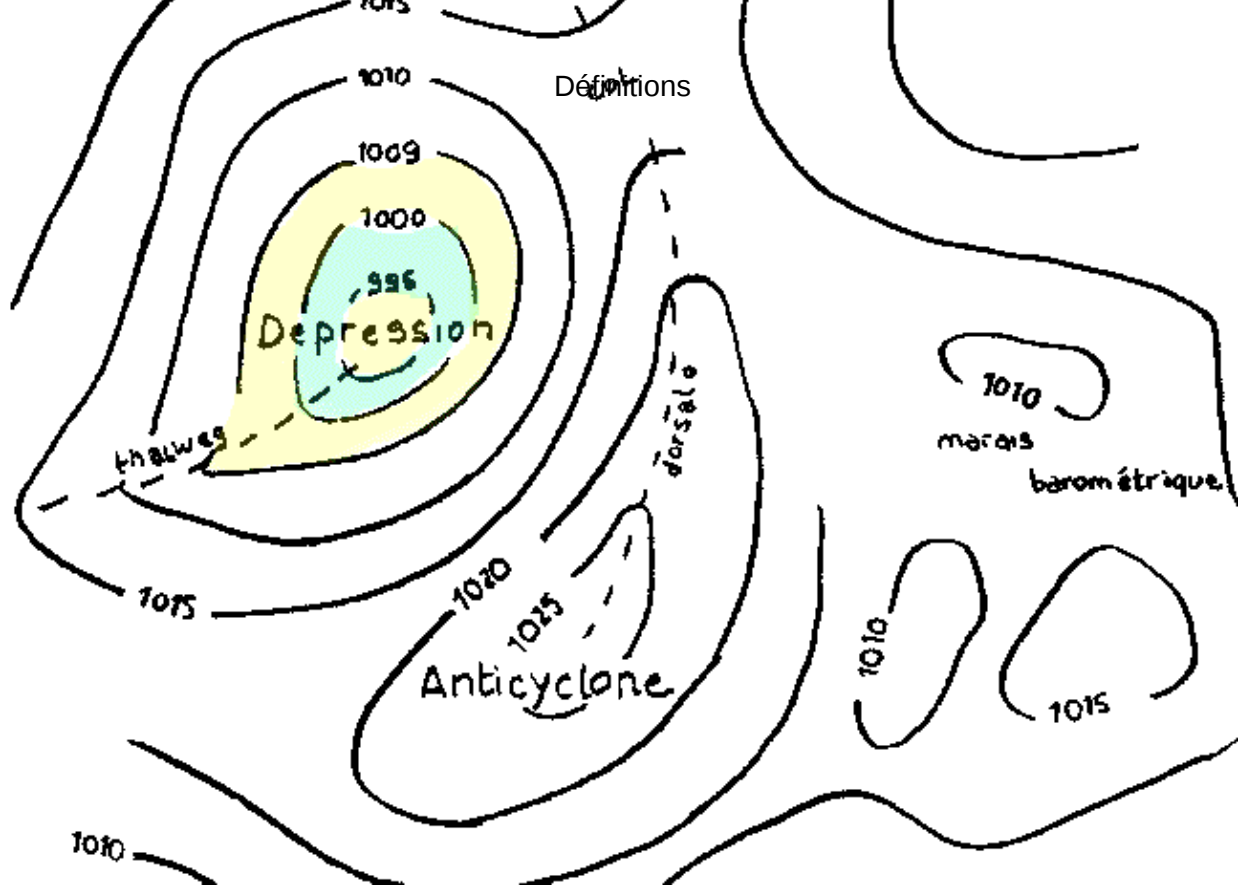
Comme son nom l'indique, c'est tout le contraire d'un cyclone ; c'est une zone de **hautes pressions** (supérieures à 1013,25 hPa) qui gêne voire empêche le développement de précipitations ou encore des [nuages](#) ; l'anticyclone est donc une zone calme, sans [vent](#) du fait que la pression ne varie presque pas (lettre A ou H).

## Dorsale

Axe des hautes pressions.

## Marais barométrique

Vaste étendue où la Patm varie très peu.



### **Isothermies**

Tranches où la température reste constante.

### **Inversions**

Tranches où la température augmente avec l'altitude.

# Caractéristiques de l'atmosphère

L'atmosphère terrestre (du grec atmos, vapeur) est la couche de gaz qui entoure notre planète. C'est un mélange de gaz et de vapeur d'eau, répartie en couches concentriques autour de la Terre (troposphère, stratosphère...). Elle est composée, par ordre d'importance, d'azote (78 %), d'oxygène (21 %), de dioxyde de carbone et d'argon (1 %), de gaz rares et de vapeur d'eau.

## La structure verticale de l'atmosphère

- **Troposphère** : 0 – 11 000 mètres, la majorité des avions civils évoluent dans cette couche, la température diminue jusqu'à  $-56^{\circ}\text{C}$
- **Tropopause** : limite entre la troposphère et la stratosphère, la température est stabilisée à  $-56^{\circ}\text{C}$
- **Stratosphère** : la température augmente jusqu'à  $0^{\circ}\text{C}$  environ, le Concorde évoluait dans cette couche en croisière

## Les paramètres de l'atmosphère

Les paramètres de l'atmosphère sont :

- La **température** : en  $^{\circ}\text{C}$ , K (Kelvin, unité internationale  $^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C}$ ) ou  $^{\circ}\text{F}$  (aux USA)
- La **Pression** : poids exercé par la masse de l'air situé au-dessus de la surface de mesure, exprimée en hPa
- La **Densité** : rapport entre la masse d'1 m<sup>3</sup> (pression, température donnée) et la masse d'1 m<sup>3</sup> d'air au niveau de la mer (1,225 kg à  $15^{\circ}\text{C}$ ), nombre sans dimension
- **Degré hygrométrique** : humidité relative de l'air

Ces paramètres varient rapidement avec l'altitude.

A  $0^{\circ}\text{C}$  (niveau géographique de la mer), on trouve une atmosphère sèche, sans [vent](#) ni mouvements verticaux.

## La pression atmosphérique

La pression exprime le poids de la colonne d'air située au-dessus de lieu de mesure. En météorologie aéronautique, les pressions sont données en **hectopascals (hPa)**. La valeur moyenne de la  $P_{\text{atm}}$  au niveau de la mer est de **1013 hPa**. Au fur et à mesure que l'on s'élève le long de la verticale, l'épaisseur de la colonne d'air diminue et son poids aussi.

## Variation avec l'altitude

| Altitude (ft) | Pression (hPa) |
|---------------|----------------|
| 0             | 1013           |
| 5000          | 850            |
| 10000         | 700            |
| 18300         | 500            |
| 33300         | 250            |

*Variation de la pression avec l'altitude*

## Variation au niveau de la mer

Au niveau de la mer, la  $P_{atm}$  est variable. Dans nos régions elle oscille entre **950 hPa** et **1050 hPa**.

## Vent et champs de pression

Ce sont les différences de pression qui créent les forces mettant l'air en mouvement. Plus les lignes isobares sont proches, plus les variations de pression sont grandes.

**Surface isobare** : points de l'atmosphère à la même pression

**Surface isotherme** : points à la même température

Lignes [isobares](#) serrées : vents forts.

Lignes [isobares](#) espacées : vents faibles.

En théorie : le vent se dirige des hautes pressions vers les basses pressions. Mais du fait de la rotation de la terre, les mouvements de l'air sont déviés vers la droite dans l'hémisphère nord. La direction du vent devient alors sensiblement parallèle aux [isobares](#).

Dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour des [anticyclones](#) et en sens inverse autour des [dépressions](#). Ce phénomène est inversé dans l'hémisphère sud.

Si l'on se place face au vent, nous avons les **basses pressions** à notre **droite** et les **hautes pressions** à notre **gauche**.

## La température

La température représente le **résultat d'un bilan énergétique** (rayonnement, conduction, convection, changements d'état de l'eau...).

Les variations journalières de température sont fonction de la quantité d'énergie reçue du soleil, et de la quantité d'énergie émise par la terre. Les [nuages](#) jouent un rôle d'écran et limitent grandement ces échanges.

## Variations diurnes

De **nu**it, en l'absence de [nuages](#) :

Abaisssement important de la température

De **jour**, en l'absence de [nuages](#) :

Elévation importante de la température

La température minimale est souvent obtenue juste après le lever du soleil.

## Variations diurnes

L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire au plan de l'elliptique (trajectoire décrite par la terre autour du soleil), il est incliné de 23°27'. De ce fait, au cours d'une même journée, un point de la surface terrestre n'est jamais "éclairé" de la même manière.

## Variations saisonnières

La quantité d'énergie reçue dépend de la période de l'année.

## Variations horizontales

| Altitude                                 | Température                           | Nom de la couche d'atmosphère |
|------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 0-35000                                  | diminue en moyenne de 2°C par 1000 ft | TROPOSPHERE                   |
| > 35000                                  | - 56 °C                               | STRATOSPHERE                  |
| Limite entre troposphère en stratosphère | variable                              | TROPOPAUSE                    |

## Les échanges thermiques

### La convection

Mouvement créé par l'air en contact avec le sol qui **s'échauffe** (d'autant plus que la température est élevée), sa densité diminue et il **s'élève**. Il est alors remplacé par de l'air plus froid qui s'échauffe à son tour. Le processus va s'organiser avec un mouvement ascendant en son centre et des courants descendants sur les bords. Les particules entraînées vers le haut se refroidissent et, si ce refroidissement est suffisant, il peut entraîner la condensation d'où l'apparition de [nuages](#) à compter de cette altitude. Le mouvement ascendant sera limité en altitude par une couche stable. C'est le sommet du [nuage](#).

## L'humidité

L'eau se retrouve dans l'atmosphère sous 3 états :

– **liquide** : pluie et gouttelettes composant les [nuages](#), brouillard, brume, etc.

## Stabilité, instabilité

- **solide** : grêle et cristaux composant les [nuages](#) et la neige
- **vapeur** : gaz invisible

C'est la **quantité de vapeur d'eau** contenue dans l'air qui représente l'humidité. Une [masse d'air](#) ne peut contenir qu'une quantité limite de vapeur d'eau en fonction de la température de l'air. Lorsque cette quantité maximale est atteinte, on dit que l'air est **saturé**.

La saturation peut s'obtenir de 2 façons :

- par **augmentation de la quantité de vapeur d'eau** : forte pluie ou passage d'une [masse d'air](#) sur une mer
- par **abaissement de la température** à pression constante (température à laquelle apparaît la saturation,  $T_d$  : **température du point de rosée**) ou par soulèvement d'une particule entraînant une diminution de la pression à laquelle elle est soumise, donc de la température (la température correspondante est appelée **température du point de condensation**).

La température du point de condensation est différente de celle du point de rosée.

## Stabilité, instabilité

L'air est très mauvais conducteur de la chaleur, les variations de température d'une particule d'**air non nuageux** qui se déplace ne sont dues qu'aux détentes ou compressions qu'elles subit dans son déplacement. Ces transformations sans échanges de chaleur avec l'extérieur sont appelées **transformations adiabatiques**.

Un particule d'**air nuageux** subissant un soulèvement se refroidira moins qu'une particule d'**air non nuageux** subissant la même transformation.

**Transformation adiabatique saturée** : une particule d'**air nuageux**, au cours d'un soulèvement, subit une détente, d'où un refroidissement (de 3°C par exemple), et la condensation d'une partie de la vapeur qu'elle contient, d'où un réchauffement (de 1.3°C par exemple). A l'état final, la particule sera refroidie de 1.7°C.

L'atmosphère est une succession de couches stables et instables.

### La stabilité

Une particule qui est soulevée subit un refroidissement adiabatique. On dit qu'il y a stabilité ou que la tranche d'air est stable si sa **nouvelle température** est **inférieure** à celle de l'air ambiant. La particule sera alors plus lourde et redescendra à sa position initiale. Une couche stable empêche le déplacement vertical des particules.

### L'instabilité

Une particule soulevée qui se retrouve dans un **air ambiant plus froid** qu'elle va continuer son ascension jusqu'à ce qu'elle rencontre un air ambiant à la même température ou plus chaud.

## La masse volumique de l'air

C'est la [masse d'air](#) contenue dans un volume d'un **mètre cube**. Conditionne les performances de l'avion, notamment les performances au décollage et à atterrissage (voir manuel de vol).

# L'atmosphère standard

L'atmosphère standard est un **modèle d'atmosphère théorique** dans lequel la température et la pression prennent des valeurs moyennes, en fonction de l'altitude. C'est une référence qui permet au pilote de se faire une idée de l'état de l'atmosphère en la comparant à l'atmosphère théorique.

| Altitude (ft) | Pression (hPa) | Température (°C) |
|---------------|----------------|------------------|
| 0             | 1013.25 hPa    | +15              |
| 37000         | 217            | -56.5            |

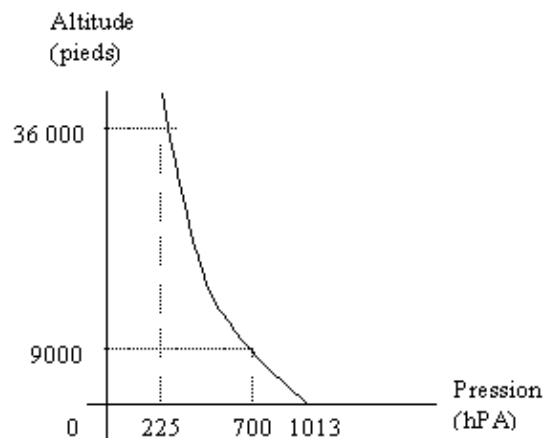
Au niveau de la mer, température : 15 °C, pression : 1013.25 hPa

## Température

On observe un abaissement continu de **2°/1000 ft** ou **6°5/1000 m** jusqu'à -56.5°C à 11000 m.

## Pression

On observe également un abais



La courbe de l'atmosphère standard

Une variation de pression de 1 hPa dans les basses couches de l'atmosphère, équivaut à une variation de 28 pieds d'altitude, alors que vers 30 000 pieds, 1 hPa correspond à 92 pieds de variation d'altitude.

# Les masses d'air et le vent

Le rayonnement solaire reçu sur la terre varie avec la latitude. De plus, les océans humidifient l'air alors que les continents ont tendance à l'assécher. La rotation de la terre engendre un déplacement des [masses d'air](#) vers l'est ou l'ouest selon leur latitude.

## Masse d'air

Portion étendue de l'[atmosphère](#) dont les propriétés physiques, et notamment la température et l'humidité, sont relativement homogènes et ne présentent donc que des différences faibles et continues dans l'horizontale. Elle peut s'étendre sur de vastes zones et sont généralement classées d'après :

- l'origine (masse d'air polaire, arctique, tropicale, ...)
- la nature de la surface sous-jacente (masse d'air maritime ou continentale)
- la stabilité hydrostatique (masse d'air stable ou instable).

## Vent

Mouvement de l'air par rapport à la surface terrestre. Sauf indication contraire, seule la composante horizontale est prise en considération. On le caractérise par la **direction d'où il souffle** (mesurée par une girouette), et par sa **force** ou sa **vitesse** (mesurée par un anémomètre en noeuds  $1 \text{ m/s} = 2 \text{ kt}$ ). Chaque bande de tissu de la manche à air représente **5 kt**.

En météorologie, la vitesse du vent communiquée est souvent une moyenne sur 1 minute (« sustained wind ») pour les mesures cycloniques notamment, sur 2 minutes pour le vent dit « aéronautique », sur 10 minutes pour le vent dit « synoptique ».

On peut compléter l'information sur la vitesse du vent en fournissant la valeur instantanée maximale durant la période considérée (rafale).



Représentation de la force et de la direction du vent

# Les perturbations et les fronts

## Perturbation

De façon générale, on désigne par perturbation tout phénomène météorologique engendrant une **dégradation du temps**. Sous les latitudes tempérées, est employé pour désigner l'ensemble front chaud, secteur chaud, front froid et éventuellement occlusion. On l'utilise aussi pour désigner la zone nuageuse associée à cet ensemble, voire même la zone nuageuse associée à un front froid isolé.

Les ondulations du front polaire évoluent dans le temps :

- **Stade 1** : l'air chaud (tropical) est généralement soulevé au-dessus de l'air froid (polaire); les masses d'air ont un mouvement de **rotation** dans le sens inverse des aiguilles d'une montre
- **Stade 2** : l'ondulation et la rotation des [masses d'air](#) s'amplifient; il y a création d'une **dépression**; on distingue le **front froid** (représentée par des triangles ou un trait bleu) de la perturbation dans lequel l'air froid se glisse sous l'air chaud et le soulève du **front chaud** (représentée par des demi-cercles ou un trait rouge) dans lequel l'air chaud pousse l'air froid situé devant lui, mais est soulevé en même temps (il est plus léger)
- **Stade 3** : l'air froid se déplace plus vite que l'air chaud, il va rattraper l'air chaud et le rejeter en altitude, c'est l'**occlusion** (représentée par l'alternance des 2 symboles précédents ou un trait violet); l'occlusion s'enroule souvent autour du centre dépressionnaire en formant un **vortex** (ou spirale)
- **Stade 4** : le secteur chaud (zone où l'air chaud est en contact avec le sol) occupe une surface de plus en plus petite : c'est la fin de la perturbation

## Front

Le front est une **surface de séparation entre deux masses d'air de caractéristiques thermiques (température, humidité) différentes**. Le front est généralement marqué par une zone nuageuse. Il existe deux grands types de fronts : le front chaud et le front froid.

Le *front chaud* est une limite de masse d'air précédemment froide, remplacée par de l'air chaud et plus humide. Le *front froid* est une limite de masse d'air précédemment chaude et remplacée par de l'air froid et plus sec.

Aux latitudes moyennes, deux masses d'air coexistent : une [masse d'air](#) d'origine **polaire**, sèche et froide et une [masse d'air](#) d'origine **tropicale**, humide et chaude. La limite entre ces deux masses d'air est appelée **front polaire**. Elle n'est pas rectiligne et subit des ondulations qui vont générer des perturbations sur l'Europe de l'Ouest.

Au passage d'une perturbation on observe :

-

## Les perturbations et les fronts

la **tête** : voile de cirrus envahissant progressivement le ciel, les [nuages](#) deviennent de plus en plus épais, la visibilité est bonne

- le **corps pluvieux** : le ciel est gris et bas avec des précipitations (mauvaise visibilité), la température est en hausse et la pression en baisse, il y a une légère rotation du [vent](#) au passage du front chaud
- le **secteur chaud** : il y a des [nuages](#) bas du type stratus ou du brouillard (hiver) avec de la bruine, la visibilité est médiocre
- un autre **corps pluvieux** : le ciel est gris et bas avec des précipitations (mauvaise visibilité), la température est en baisse et la pression en hausse, il y a rotation du [vent](#) au passage du front froid
- la **traîne** : elle est caractérisée par des [nuages](#) du type Cu et Cb bien séparés les uns des autres, accompagnés d'averses (pluie ou neige, bonne visibilité)

# Les nuages

La morphologie des nuages dépend principalement :

- de son **altitude** (entre 0 et 36 000 ft sous nos latitudes) : elle détermine sa température donc sa composition (gouttelettes d'eau, cristaux de glace ou les 2)
- de son **mode de formation** : en **atmosphère instable**, le nuage présentera des formes très nettes, sa dénomination comportera le mot **cumul** alors qu'en **atmosphère stable**, il aura une forme allongée, un aspect flou, des contours diffus, sa base sera souvent mal définie, sa dénomination comportera le mot **strat**.

Les courants ascendants sous le nuage ainsi que les courants descendants autour de lui peuvent provoquer une gêne.

| Préfixe       | description                                                                                                                                                                    |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cirro         | nuages constitués de cristaux de glace, leur base est approximativement située au-dessus de 6 km de hauteur                                                                    |
| Alto          | nuages constitués de cristaux de glace et de gouttelettes d'eau liquide (qui peuvent être à température négative : surfusion), leur base est située entre 2 et 6 km de hauteur |
| Nimbus        | nuages de grande épaisseur caractéristiques des précipitations et du mauvais temps, leur base est comprise entre 0 et 2 km                                                     |
| Pas de préfix | nuages constitués de gouttelettes d'eau, leur base est située entre le sol et 2 km de hauteur                                                                                  |

## Le prefix des nuages

| Terminaison | description                                                                                                                |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stratus     | forme soudée, étalée en couches superposées                                                                                |
| Cumulus     | forme isolée, non soudée, aspect choux fleur ou amas nuageux                                                               |
| Nimbus      | nuages de grande épaisseur caractéristiques des précipitations et du mauvais temps, leur base est comprise entre 0 et 2 km |

## La terminaison des nuages

| Nom du nuage             | Altitude (ft)       | Aspect                                   | Stabilité | pluie continue | neige continue | bruine continue | averse pluie | averse neige | grêle | grésil |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------------|-----------|----------------|----------------|-----------------|--------------|--------------|-------|--------|
| <b>AS</b><br>Altostratus | entre 6000 et 20000 | nappes, aspect uniforme ne laissant voir | stable    |                | +              | +               |              |              |       |        |

## Les nuages

|                           |                            |                                                                                                                                                                                |           |  |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--|---|---|---|---|---|---|
|                           |                            | que rarement le soleil                                                                                                                                                         |           |  |   |   |   |   |   |   |
| <b>NS</b><br>nimbostratus | grande extension verticale | base très sombre, souvent accompagné de SC St. Nuage typique de longues journées pluvieuses                                                                                    | stables   |  | + | + |   |   |   |   |
| <b>SC</b><br>stratus      | < 6000                     | bancs, nappes ou couches, gris ou blanchâtre, certaines parties plus épaisses ou plus sombres                                                                                  | stable    |  |   | + | + | + |   |   |
| <b>St</b><br>Stratus      | < 6000                     | souvent très bas, semblables à du brouillard ne reposant pas sur le sol, DANGEREUX                                                                                             | stables   |  |   |   | + |   |   |   |
| <b>Cu</b><br>Cumulus      | grande extension verticale | nuages séparés à contours bien délimités se développant verticalement en forme de choux-fleurs. Parties éclairées par le soleil : blanc éclatant, base : sombre et horizontale | instables |  |   |   |   | + | + | + |
| <b>Cb</b><br>cumulonimbus | grande extension verticale | forme de montagne ou d'énormes tours. Parties sup : forme d'enclume. Base : souvent doublée de                                                                                 |           |  |   |   | + | + | + | + |

## Les nuages

|                           |                     |                                                                                                                                                                                                                               |                      |  |   |   |  |  |  |  |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--|---|---|--|--|--|--|
|                           |                     | nuages bas et déchiquetés                                                                                                                                                                                                     |                      |  |   |   |  |  |  |  |
| <b>AC</b><br>Alto cumulus | entre 6000 et 20000 | Stables :<br>nappes, bancs ou couches grises ou blanches.<br>Eléments en forme de galets, lamelles ou rouleaux.<br>Instables :<br>bourgeonnements en forme de tours ou de flocons cumuliformes.<br>Ils sont alors pré-orageux | stables et instables |  | + | + |  |  |  |  |
| <b>Ci</b><br>cirrus       | > 20000             | filaments, épaisseur faible, ne cachent jamais le soleil complètement                                                                                                                                                         | stables              |  |   |   |  |  |  |  |
| <b>CC</b><br>cirrocumulus | > 20000             | bancs, nappes ou couches minces, sans ombres propres, composés de petits éléments en forme de granules, ides...                                                                                                               | instables            |  |   |   |  |  |  |  |
| <b>CS</b><br>Cirrostratus | > 20000             | voiles nuageux transparents et blanchâtres assez uniformes, créent fréquemment un phénomène de halo autour du soleil                                                                                                          |                      |  |   |   |  |  |  |  |

### Classification des nuages

# Le dossier de vol

C'est un dossier météo comprend :

- une carte TEMSI
- les cartes des vents à 950, 850 et 700 hPa
- les METAR et TAF des stations se trouvant sur l'itinéraire prévu
- les informations nécessaires à la compréhension des cartes et des messages

# Messages d'observation ou de prévision

## Le METAR

(Pour plus de détails, vous pouvez vous reporter au site [METAR Guide d'étude](#))

C'est un **message d'observation** (donc très fiable) rédigé automatiquement toutes les heures ou demi-heures.

## Messages avec conditions CAVOK

**CAVOK** : Ceiling and Visibility OK

- visibilité en surface égale ou supérieure à 10 km
- pas de [nuage](#) en dessous de 1500 m
- pas de cumulonimbus
- pas de précipitation / orage / brouillard mince / tempêtes de sable ou de poussière

S'il n'y a pas de [nuages](#), mais les conditions CAVOK ne sont pas remplies, on utilise l'abréviation **SKC**.

| Emplacement<br>OACI   | jour + heure<br>de<br>l'observation<br>en UTC<br>(heure du<br>méridien de<br>Greenwich) | Direction<br>d'où vient le<br><a href="#">vent</a> , vitesse             | CAVOK                        | température<br>de l'air,<br>température<br>du point de<br>rosée              | pression         |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| LFBO                  | 021200Z                                                                                 | 21002KT                                                                  | CAVOK                        | 12/10                                                                        | Q1013            |
| (Toulouse<br>Blagnac) | le 02 à 12<br>UTC                                                                       | <a href="#">vent</a> en<br>surface du<br>210°, de<br>vitesse 02<br>nœuds | ceiling and<br>visibility OK | température<br>de<br>l'air 12°C,<br>température<br>du point de<br>rosée 10°C | QNH 1 013<br>hPa |

## Messages sans conditions CAVOK

Si les conditions CAVOK ne sont pas remplies, on détaille chaque élément.

### Visibilité

En mètres. Si  $\geq 10$  km : 9999

ex. : 3500

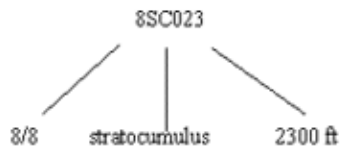
### Phénomènes caractéristiques (pluie / brouillard)

|    |                      |
|----|----------------------|
| FU | fumée                |
| BR | brume                |
| TS | orage (Thunderstorm) |
| FG | brouillard (Fog)     |
| RA | pluie (Rain)         |
| SN | neige (Snow)         |
| GR | grêle                |
| DZ | bruine (dizzle)      |

ex : 60 RA

### Nuages

- nébulosité en octas (1/8 de la voûte terrestre)
- type du [nuage](#)
- hauteur / sol en centaines de pieds



### Qualificatifs du phénomène

|    |                                 |
|----|---------------------------------|
| MI | mince                           |
| FZ | givrant                         |
| XX | violent                         |
| RE | récent, dans l'heure précédente |
| BC | bancs                           |
| SH | averse (Shower)                 |

ex : MIFG = brouillard mince

### RVR

Mesure de la visibilité horizontale de la piste à l'aide d'un transmissomètre : VFR non réalisable

## Tendances

Groupes de prévisions pour les 2 heures à venir décrivant des changements significatifs (visibilité, plafond, [vent](#), orage ou précipitation se congelant).

|       |                                                                           |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|
| NOSIG | aucun changement significatif prévu dans les 2 heures à venir             |
| GRADU | les changements prévus se produiront à une allure à peu près constante    |
| RAPID | le changement aura lieu dans la demi-heure                                |
| TEMPO | le/les changements auront lieu dans l'heure                               |
| INTER | changements fréquents mais brefs                                          |
| TEND  | utilisé quand les termes précédents ne sont pas applicables à l'évolution |

ex :

INTER 3000 -> visibilité

GRADU 8ST001 ->plafond

GRADU 2000 7ST010 ->visibilité et plafond

## Le TAF

C'est un **message de prévision** qui décrit le temps prévu sur l'**aérodrome** pour 9 heures (TAF court) ou 18 heures (TAF long). Il est disponible une heure avant l'heure de début de validité. Les codes utilisés sont pratiquement identiques aux codes utilisés dans le METAR, quelques différences existent cependant :

**PROB** (probabilité de voir les conditions se réaliser)

- 20 : risque modéré
- 30 : risque fort
- 40 : risque très fort

**SKC** ciel clair

**NSW** pas de temps significatif prévu

**NSC** pas de [nuages](#) en dessous de 1 500 m, ni de CB

**TEMPO** n'est pas accompagné d'une heure : se reporter au groupe horaire précédent

**NOSIG** n'est pas employé

## Le SPECI

C'est un message reprenant les règles de rédaction du METAR émis lors de **variations importantes** ([vent](#), visibilité, etc.). Il se termine par un groupe **Mx** (exemple : M1, aggravation de direction/vitesse moyenne du [vent](#)) pour une aggravation et **Bx** pour une amélioration.

|   |                                                   |
|---|---------------------------------------------------|
| X | phénomène                                         |
| 0 | vitesse maximale du <a href="#">vent</a>          |
| 1 | direction/vitesse moyenne du <a href="#">vent</a> |
| 2 | visibilité                                        |
| 3 | <a href="#">nuages</a> bas                        |
| 4 | précipitations                                    |
| 5 | non utilisé                                       |
| 6 | non utilisé                                       |
| 7 | tempête de poussière<br>chasse-neige              |
| 8 | orage                                             |
| 9 | grains ou trombe                                  |

## La tendance de prévision à l'atterrissage (TEND)

C'est un **message de prévision** qui est toujours précédé d'un METAR ou d'un SPECI.

|            |                                                                                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| NOSIG      | pas de changement significatif prévu dans les 2 heures à venir                        |
| BECMG      | les changements prévus se produiront à une allure régulière                           |
| BECMG AT X | les changements auront lieu dans moins d'une ½ heure (X : début de la période en UTC) |
| TEMPO      | les changements temporaires auront lieu dans moins d'une heure                        |
| FM...TL    | à partir de...jusqu'à (codes précédés de TEMPO ou de BECMG)                           |
| TEND       | est utilisé quand les termes précédents ne sont pas applicables à l'évolution         |

Les codes de tendance

## Le SIGMET

C'est un **avis de phénomène dangereux** rédigé par les services météorologiques spécialisés. Il comporte 4 parties :

- présentation du message, date et heures de validité, identification du centre rédacteur du message
- description du phénomène observé (OBS) ou prévu (FCST), voir le tableau
- déplacement (MOV) ou caractère stationnaire (STNR) du phénomène
- évolution du phénomène : augmentation de l'intensité (INTSF), diminution (WKN) ou absence de changement (NC)

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| BOSC TS  | orages obscurcis                        |
| EMBD TS  | orages noyés dans des couches nuageuses |
| FRQ TS   | orages fréquents                        |
| LSQ TS   | orages lignes de grains                 |
| HVY GR   | forte grêle                             |
| TC + nom | cyclone tropical                        |
| SEV TURB | turbulence forte                        |
| SEV ICE  | givrage fort                            |
| FZRA     | pluie se congelant                      |
| SEV MTW  | onde orographique forte                 |
| HVY DS   | tempête de poussière forte              |
| HVY SS   | tempête de sable forte                  |

Les codes SIGMET

# Les cartes

## La carte TEMSI

C'est une carte décrivant la **situation aéronautique**. Elle est tracé environ 6 heures avant sa validité et est valable pour une heure donnée. Il faut donc l'interpréter si l'heure de vol ne correspond pas à celle du TEMSI. Une carte TEMSI est diffusée toutes les 3 heures (06 UTC, 09 UTC, etc.). Les indications de niveaux sont données par rapport à la référence 1313,25 hPa et doivent être converties en altitude en fonction du QNH.

On trouve sur une carte TEMSI :

- date et heure de validité
- centre de pression (H : anticyclone, L : dépression)
- position des fronts en surface avec indication du déplacement
- indication des [nuages](#)
- turbulences en air clair (TAC)
- niveau de l'isotherme 0° et de l'isotherme -10°
- température et niveau de la tropopause

|              |                                                                                                      |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BKN          | morcelé (5 à 7 octas)                                                                                |
| CAT (ou TAC) | turbulence en air clair                                                                              |
| COT          | sur les côtes                                                                                        |
| EMBD         | <a href="#">nuages</a> d'orage noyés dans les couches de <a href="#">nuages</a> de genres différents |
| FRQ          | fréquent                                                                                             |
| LAN          | à l'intérieur des terres                                                                             |
| LOC          | localement                                                                                           |
| ISOL         | isolé                                                                                                |
| LYR          | en couches                                                                                           |

## La carte des vents et des températures prévus

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| MAR  | en mer                               |
| MON  | au-dessus des <a href="#">nuages</a> |
| MT   | montagne                             |
| OVC  | couvert (8 octas)                    |
| OCNL | occasionnellement                    |
| SCT  | épars (1 à octas)                    |
| SKC  | ciel clair                           |
| SLW  | lent(e)                              |
| STNR | stationnaire                         |
| VAL  | dans les vallées                     |

*Les abréviations utilisées sur la carte TEMSI*

## La carte des vents et des températures prévus

Ces cartes fournissent les **indications de [vents](#)** et de **températures** prévus à **différents niveaux de pression**. Il y a 4 cartes par jour, reçues environ 10 heures à l'avance dans les stations.

# Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique

## Le givrage

Formation d'un dépôt de glace sur certaines parties de l'avion. Il alourdit l'avion, altère l'écoulement aérodynamique, peut bloquer les gouvernes et étouffer le moteur par givrage du carburateur. Il y en existe de 3 formes :

## Le verglas

C'est le givrage **le plus dangereux**. Il est dû au phénomène de **surfusion** (les gouttes de pluie peuvent rester à l'état liquide tout en étant à une température négative).

## Le givre mou (ou givre opaque)

Il est constitué par une couche de glace opaque et friable. Les précipitations étant plus faible que dans le cas du verglas, des bulles d'air sont emprisonnées au cours de la congélation. Ce givrage ne se produit qu'en conditions de vol aux instruments.

## La gelée blanche

Elle est due au phénomène de **solidification** : lorsque l'avion passe d'une masse d'air à 0° à une atmosphère chaude et humide, la vapeur d'eau peut congeler. Ce type de givrage peut se produire lorsque l'avion reste au sol en hiver : il faut retirer tout dépôt de glace avant le départ.

## La turbulence

C'est la composante verticale des mouvements désordonnés de l'atmosphère. Ce phénomène a principalement deux origines :

### La turbulence thermique

Elle est due à l'échauffement des couches inférieures de l'atmosphère au contact du sol. Elle dépend de l'insolation, de la nature du sol et du degré d'instabilité de l'air.

Elle entraîne une diminution de la vitesse propre de l'avion et une imprécision d'indication fournie par les instruments de bord. Il faut donc voler au-dessus des cumulus et des thermiques purs. Dans le cas contraire : réduire la vitesse à celle précaunisée dans le manuel de vol et ne pas agir abusivement sur les commandes de vol.

### La turbulence dynamique

Elle est due à l'effet du vent sur le relief, c'est la **turbulence la plus dangereuse** pour un avion léger.

## Les orages

Les orages et la grêle sont associés au cumulonimbus (Cb) dont les manifestations sont :

- **vent** irrégulier et en rafale : attendre que le Cb se soit éloigné de l'aérodrome pour atterrir ou rejoindre un aérodrome de dégagement
- **grain** (**vent** violent) : 1ère manifestation de l'arrivée du Cb
- **turbulence** : la contourner sans s'en approcher
- **pluie** d'une extrême violence limitant la visibilité
- **grêle** : phénomène peu fréquent mais très dangereux, contourner systématiquement les noyaux orageux les plus actifs
- **foudre** : il est recommandé de stopper les moyens radio à proximité des orages

Il est impossible de passer au-dessus d'un cumulo-nimbus et passer en-dessous est très dangereux. Il faut le contourner à une distance raisonnable (10 NM) pour éviter de rencontrer de fortes turbulences.

## Les phénomènes réduisant la visibilité

La visibilité est la **distance maximale d'identification** d'un objet à l'oeil nu.

### Les précipitations

La **pluie** (RA) modérée ou forte (XXRA) peut réduire la visibilité jusqu'à 400 mètres. La **neige** faible (SN) réduit souvent la visibilité à 3 km et la neige forte à quelques mètres : le VFR est alors interdit.

La **bruine** ne réduit pas la visibilité mais est souvent associée à de la brume ou du brouillard.

### La brume (BR)

Elle est constituée de poussières diffusantes et de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. La visibilité est comprise entre 1 km (inclus) et 5 km (exclus). Le VFR peut être interdit dans certains cas. Il est recommandé de voler **au-dessus** de la brume.

### Le brouillard

La visibilité est inférieure à 1 km. Il existe plusieurs types de brouillards :

#### Le brouillard de rayonnement

C'est le brouillard le plus fréquent. Les conditions propices sont :

- **vent** faible
-

## Le brouillard

ciel dégagé

- forte humidité relative (température voisine du point de rosée)

Il est conseillé d'attendre d'avoir une différence de 3° entre la température et le point de rosée. Attention, il peut concerner une zone très étendue.

### Le brouillard d'advection

Conditions propices :

- [vent](#) faible et régulier
- arrivée d'une [masse d'air](#) chaude et humide sur un sol froid

La nappe de brouillard peut occuper plusieurs centaines de km et ne se dissipera qu'au passage du front froid. Cette situation peut bloquer le VFR pour une journée ou plus.

### Le brouillard de pente

Il se rencontre dans les régions montagneuses en toute saison. Il est due à une [masse d'air](#) humide se refroidissant en s'élevant le long d'une pente et pouvant atteindre la saturation.

### La brume sèche

Elle est due à un grand nombre de particules diffusante en suspension dans l'air. Elle se rencontre très peu en France.

### Le stratus (St)

C'est un [nuage](#) **très dangereux** pour l'aéronautique. On le rencontre dans la phase de dissipation de brouillard (généralement de rayonnement) par échauffement diurne. Les stratus liés à des perturbations empêchent totalement le VFR. Il faut absolument **renoncer à décoller ou ne pas poursuivre son vol par mauvaise visibilité et à basse hauteur**.

# Météorologies locales

## Action du relief sur le vent

Lorsqu'un [vent](#) souffle perpendiculairement à un relief, l'air est tout d'abord soulevé, créant une zone d'ascendance. Puis il redescend, le relief est alors le siège de **rabattants** très dangereux car ils peuvent plaquer l'avion contre la paroi.

### L'onde de ressaut

Un [vent](#) égal ou supérieur à 20 noeuds et perpendiculaire à une ligne de crête, une bordure de plateau ou une vallée encaissée peut déclencher un **système ondulatoire**. Dans ce système ondulatoire, la [masse d'air](#) est divisée en deux tranches distinctes :

- une tranche supérieure : la **couche ondulatoire** : l'écoulement de l'air est laminaire, la distance entre deux ondulations s'appelle la **longueur d'onde** et le sommet du mouvement ondulatoire l'**amplitude**
- une tranche inférieure : la **couche sous-ondulatoire turbulente**. L'air y est très turbulent et on y trouve des rotors, petits tourbillons sièges de fortes turbulences et pouvant rendre l'atterrissage dangereux

Le relief générateur de l'onde peut être coiffé d'un [nuage](#) "de chapeau" du genre strato-cumulus ou altostratus. L'écoulement sous-ondulatoire peut être le siège de [nuages de rotor](#) (cumulus ou strato-cumulus) à l'origine de fortes turbulences. L'écoulement ondulatoire peut, quant à lui, être le siège de [nuages lenticulaires](#) (altocumulus et cirro-cumulus ou altostratus et cirro-stratus en [atmosphère](#) stable).

## Action du soleil : les brises de pente et de vallée

Le jour, les versants exposés au soleil s'échauffent beaucoup plus vite que le fond de la vallée : c'est la **brise de pente montante**. La nuit, le phénomène s'inverse : les pentes élevées se refroidissent par rayonnement plus vite que le fond de la vallée. L'air froid s'écoule par gravité le long des pentes, c'est la **brise de pente descendante**.

## Les stratus et le relief

Une [masse d'air](#) humide soulevée par le relief se refroidit et se sature : il y a formation d'un **brouillard de pente** annoncé par des stratus. Il est dangereux de passer sous ces stratus.

## Les orages

Un soulèvement peut saturer certaines couches d'air et les rendre instables. Le relief peut créer des cumulonimbus ou des orages qui n'auraient pas eu lieu en plaine ou en augmenter la dureté et la violence. Le relief posant parfois des problèmes pour contourner les Cb, il faut éviter les massifs par temps orageux.

## La turbulence

Il faut choisir un niveau de vol suffisamment élevé pour éviter les zones où se situent des rabattants inconfortables et pouvant être dangereux (sous le [vent](#) de la montagne, le [vent](#) est turbulent).

## L'effet de Foehn

L'effet de foehn se produit essentiellement en région montagneuse. Il s'agit de conditions météorologiques particulières créées essentiellement par le [vent](#). La pente montagneuse exposée au [vent](#) bloque les [nuages](#). En montant, l'air atteint des zones de moindre pression et se refroidit (refroidissement adiabatique) en moyenne de 1° C tous les 100 mètres (quand il n'y a pas de [nuages](#)). Mais l'air arrivé en altitude contient encore de la vapeur d'eau. Le refroidissement élimine alors une partie de cette dernière, par formation de [nuages](#) et apparition de précipitations (pluie ou neige). En outre, la chaleur emmagasinée est libérée et réchauffe l'air. Le refroidissement adiabatique se trouve ainsi « freiné » de 0,5 °C en moyenne tous les 100 mètres. De l'autre côté de la montagne, le [vent](#) redescend le long de la pente en aval. Il s'échauffe alors plus rapidement puisque l'humidité s'est rapidement affaiblie. Plus l'air descend vers la plaine et plus il se réchauffe. De plus, les [nuages](#) s'étant disloqués, le ciel est généralement dégagé ou légèrement voilé. C'est alors que l'on trouve des différences de températures parfois énormes, avec parfois plus de 10° d'écart de part et d'autre de la montagne. Nous pouvons retenir que **le passage du relief assèche et réchauffe la [masse d'air](#)**.

## La météorologie côtière : brise de mer et brise de terre

Ces brises sont dues essentiellement à des **différences d'échauffement entre la terre et la mer**. Elles s'établissent dans les conditions suivantes :

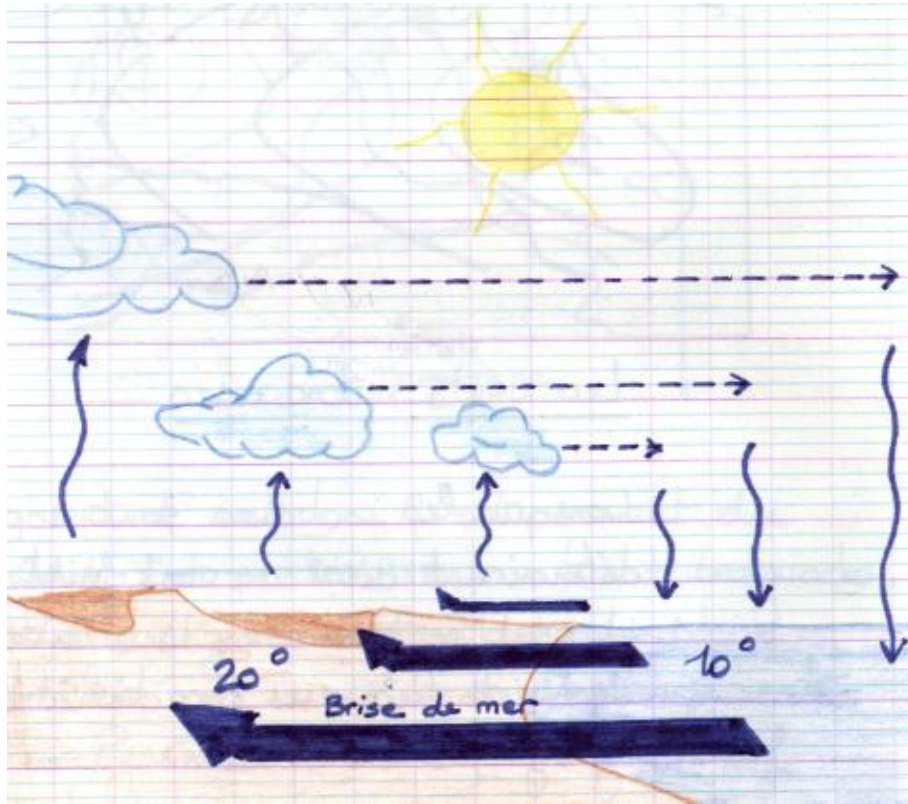
- sols continentaux secs
- ciel clair à peu nuageux
- situation générale calme

### La brise de mer

C'est un [vent](#) local de 10 à 15 noeuds, pratiquement perpendiculaire à la côte et dirigé **de la mer vers la terre**. Il apparaît le **jour** et atteint son intensité maximale l'après-midi. Pendant la journée, le sol s'échauffe plus rapidement que la mer. Ce contraste thermique crée un mouvement de convection et un courant allant de la mer vers la terre.

En **été**, la brise de mer peut entraîner vers la terre des plaques de brouillards denses formées au-dessus de la mer. Le brouillard, s'étendant jusqu'à une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres, se transforme en brume, stratus puis cumulus. Ce phénomène se dissipe lors d'un changement de régime du [vent](#), donc souvent le soir lors de l'établissement de la brise de terre.

## La brise de terre



## La brise de mer

### La brise de terre

C'est un vent local de 5 à 10 noeuds, pratiquement perpendiculaire à la côte et dirigé **de la terre vers la mer**. Il apparaît la **nuit**. La nuit, le sol se refroidit plus rapidement que la mer. Son rayonnement thermique est plus important, l'air froid s'écoule par gravité vers la mer.

### Les brouillards côtiers

Ils ont lieu en **hiver** quand le vent faible (5 kt) vient de la mer. On peut les assimiler à des brouillards d'advection. Ce vent amène de l'air doux et humide sur un sol froid. A l'opposé du brouillard de rayonnement, ce brouillard peut se former à tout moment de la journée.

# Où obtenir des informations météo

## Avant le vol

- station météo pour les aérodromes qui en sont dotés
- téléphone au centre météo de rattachement (voir carte VAL du terrain de départ)
- téléphone au répondeur automatique (durée de validité de 6 heures) ou télécopieur
- Minitel (durée de validité de 6 heures)
- interrogation d'un prévisionniste

## Pendant le vol

- information **VOLMET** (message en clair diffusant les METAR des principaux aérodromes) et **ATIS** (message enregistré en clair, radiodiffusé contenant des informations météorologiques d'aérodrome)
- contacter le centre d'information en vol ou éventuellement un autre organisme (TWR ou AFIS)

[Mesure d'audience et statistiques Classement des meilleurs sites, chat, sondage](#)

Où obtenir des informations météo

# GROUPE MOTOPROPULSEUR

On appelle groupe motopropulseur l'ensemble **moteur**–[hélice](#).

[Le système propulsif](#)

[Le moteur à piston](#)

[Les turbomachines](#)

[L'hélice](#)

[Les performances en croisière](#)

[Le turbo-compresseur](#)

[Les effets moteur](#)

[Les anomalies de fonctionnement](#)

[Les procédures d'urgence](#)

# Le système propulsif

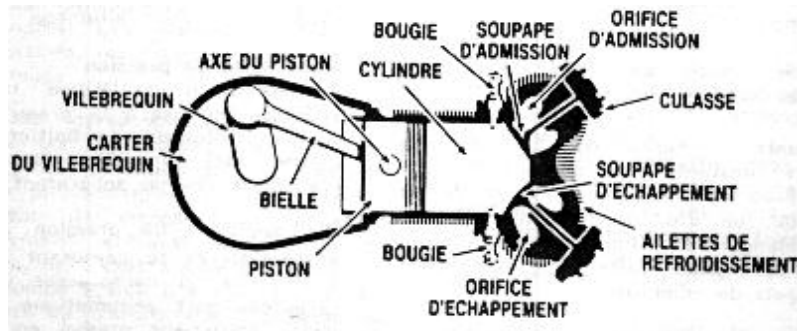
Le système propulsif est le dispositif permettant à l'aéronef d'**acquérir sa vitesse** et de **vaincre la [traînée aérodynamique](#)**. On distingue principalement :

- les propulseurs **directs**, produisant la poussée, opposée à la [traînée](#) Exemple : turboréacteurs, moteurs-fusées
- les propulseurs **indirects**, ils produisent la traction par un organe intermédiaire, l'[hélice](#). Celle-ci transforme l'énergie mécanique d'un moteur thermique en énergie propulsive. Les principaux moteurs thermiques sont les moteurs à pistons et les turbomachines

# Le moteur à piston

Ce type de moteur transforme un mouvement alternatif (le mouvement de va-et-vient des pistons) en mouvement rotatif (la rotation de l'arbre de sortie).

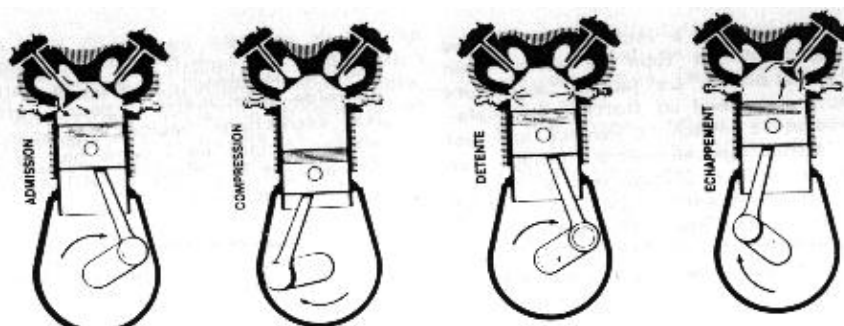
## Description



Il est composé :

- d'un **cylindre** doté d'ailettes et dont la partie supérieure est fermée par une pièce appelée **culasse**. La culasse est dotée de **soupapes** permettant l'admission des gaz frais et l'échappement des gaz de combustion, et d'un dispositif créant l'inflammation du mélange carburant/air : la **bougie**. Le cylindre est fixé dans sa partie basse à un bâti appelé **carter**
- d'un **piston**, doté de segments d'étanchéité, dont le déplacement est assuré par une **bielle**. Celle-ci est reliée par axe situé à sa partie inférieure, à une pièce animée d'un mouvement de rotation, appelée **vilebrequin**

## Fonctionnement



Le principe de fonctionnement des moteurs utilisés en aéronautique est dit : cycle à 4 temps :

- **Admission** : à partir de la position haute du piston, la soupape d'admission est ouverte, celle d'échappement est fermée; l'air frais précédemment mélangé au carburant est aspiré dans le cylindre. En fin d'admission, la soupape d'admission est fermée
-

**Compression** : le mélange gazeux est fortement comprimé

- **Combustion et détente** : juste avant que le piston n'atteigne sa position haute, le mélange est enflammé par une étincelle jaillissant à la bougie. La combustion du mélange libère son énergie et exerce une forte pression sur le piston qui redescend
- **Échappement** : la pression des gaz exercée sur la surface du piston crée une force qui à son tour produit un moment faisant tourner le vilebrequin. Lors du dernier demi-tour, la soupape d'échappement est ouverte, les gaz de combustion sont alors chassés à l'extérieur

Sur ce type de moteur, il n'y a qu'un temps produisant de l'énergie (explosion-détente) pour 2 tours de vilebrequin. La conduite du moteur s'effectue à l'aide de 4 commandes : **gaz, pas, richesse et réchauffage carburateur**.

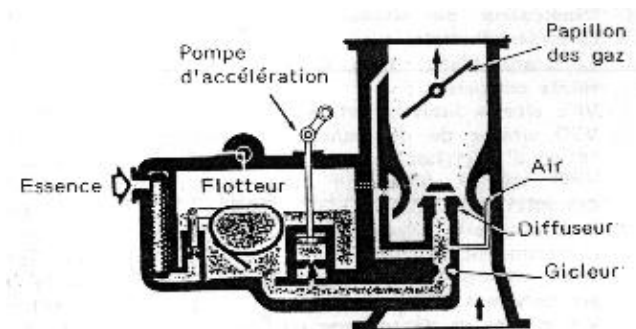
La **manette de richesse** permet de **modifier le rapport carburant/air élaboré par le [carburateur](#)**. En effet, la masse volumique de l'air diminuant avec l'altitude, il faut diminuer la quantité de carburant admise afin de maintenir le même rapport carburant/air (ou richesse). Cette manette **tirée** à fond vers soi coupe l'arrivée de carburant au moteur : c'est la position **étouffoir**. A l'inverse, cette manette **poussée** à fond occupe la position dite **plein riche**.

La **manette des gaz** agit sur le **volume du mélange aspiré**, donc sur la **puissance**.

## L'alimentation

- par gravité (l'essence parvient au [carburateur](#) par son propre poids)
- pompe mécanique entraînée par le moteur (doublée par sécurité d'une pompe électrique)

## Le carburateur



Sur les moteurs de puissance moyenne, le **mélange carburant/air** est élaboré par un ensemble appelé carburateur, dont le rôle est de **doser l'apport de carburant en fonction la quantité d'air admise dans les cylindres**. Celle-ci est fonction d'une **vanne "papillon"** qui est reliée mécaniquement à la commande principale du moteur, appelée **commande de gaz**.

## Le givrage du carburateur

Lorsque l'air externe est humide (proximité des nuages, brume, brouillard) et que la température extérieure est basse, la dépression générée dans le carburateur transforme l'eau contenue dans l'air en givre. Le dépôt de givre peut obturer les orifices d'admission de carburant entraînant l'arrêt du moteur.

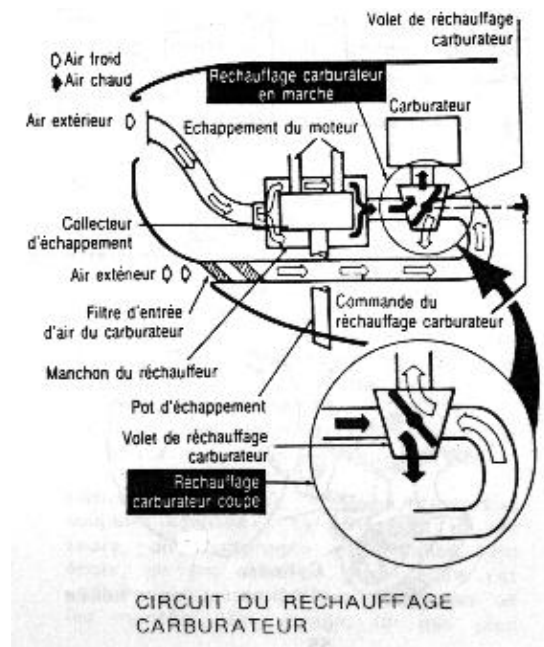
A vitesse constante, il est annoncé par une chute de la pression d'admission.

|                                              |                                 |
|----------------------------------------------|---------------------------------|
| <a href="#">hélice</a> à calage fixe :       | nombre de tours et PA diminuent |
| <a href="#">hélice</a> à vitesse constante : | PA diminue                      |

### Conditions propices :

- Température carburateur comprise entre 0 et  $-15^{\circ}\text{C}$ . Température la plus favorable :  $-5^{\circ}\text{C}$
- Atmosphère humide. Risque plus important dans les basses couches de l'atmosphère
- Risque plus important quand le moteur est utilisé à des puissances réduites

### Dispositif de réchauffage du carburateur



Afin d'éviter ce phénomène très dangereux, on utilise un volet, commandé par une manette appelée **dégivrage carburateur**. Cette manette agit en tout ou rien. L'air n'est plus admis directement au carburateur, il est **préalablement réchauffé** par circulation autour de l'échappement pour arriver au carburateur avec une augmentation de température d'environ  $50^{\circ}\text{C}$ . C'est un système **préventif**, son efficacité est très limitée lorsque le conduit est presque totalement obstrué.

L'efficacité du système est plus grande à pleine puissance.

**ATTENTION :** *il ne faut pas attendre qu'il soit trop tard pour mettre la commande du réchauffage carburateur sur "chaud" (la commande est de type "tout ou rien". Il faut réchauffer le carburateur dès que la température extérieure est inférieure à 10° et que l'humidité est visible.*

### Conséquences :

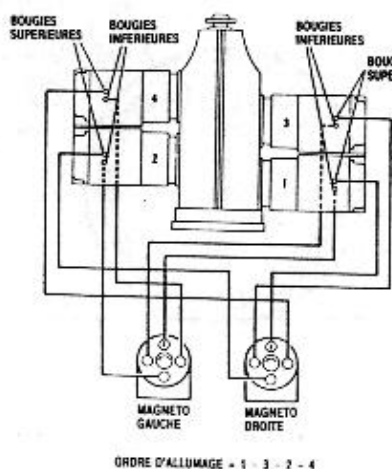
- Diminution de la puissance : ne pas l'utiliser lors du décollage !
- Augmentation de la richesse du mélange

### Utilisation de la commande de mélange

Le **mélange idéal** (théorique) est d' 1 gramme d'essence / 15 grammes d'air (mélange 1/15e). Un mélange **pauvre** favorise la surchauffe du moteur et les phénomènes de détonation, un mélange **riche** est favorable aux fortes puissances, mais entraîne une forte consommation et l'encrassement du moteur.

1. **Pas d'instrument de contrôle de la richesse** : maintenir la richesse maximale pour les phases de vol à forte puissance. Appauvrir le mélange en croisière. Hélice à calage fixe : appauvrir lentement le mélange jusqu'à obtenir une faible chute du régime de rotation; enrichir jusqu'à obtenir le meilleur régime de rotation; surveiller la température des cylindres et de l'huile. Hélice à calage variable : garder la richesse maximum sauf bruit anormal du moteur
2. **avion équipé d'un débitmètre** : les débits à afficher en fonction de la puissance délivrée par le moteur sont fixés par le Manuel de vol
3. **avion équipé d'un indicateur de température des gaz d'échappement EGT** (Exhaust Gaz Temperature) : rechercher la déviation maximale de l'aiguille (pic de température), placer l'index variable sur l'aiguille au pic de température, enrichir pour diminuer la température de 2 divisions

### L'allumage



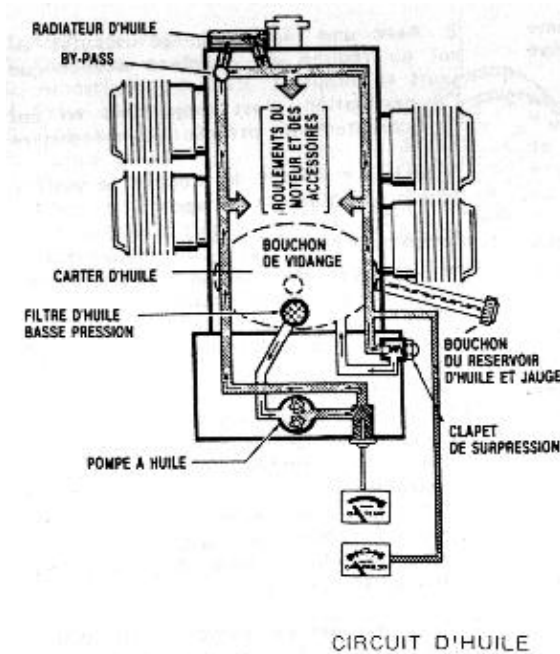
Il fournit une **étincelle** qui **déclenche la combustion du mélange carburant-air dans le cylindre**. Il est fourni par un **générateur électrique**, appelé **magnéto**, entraîné mécaniquement par le moteur. Son fonctionnement est donc **indépendant de la génération électrique de bord** (assurée par une batterie et un alternateur, comme sur une voiture). Par sécurité, l'allumage est double : chaque cylindre est doté de deux bougies, chacune d'elles étant alimentées séparément par sa magnéto.

Attention : *ce n'est pas la batterie qui alimente les bougies pour créer l'étincelle dans les cylindres, mais les magnéto.*

En cas de panne d'un des circuits d'allumage, il faut poser l'avion rapidement car un dépôt de suie peut apparaître sur la bougie et arrêter le moteur.

Lors de la **mise en oeuvre** de l'avion, il faut **vérifier** le bon **fonctionnement du circuit d'allumage** en vérifiant les magnétos une à une ainsi que leur circuit : placer le commutateur sur G puis D et vérifier que le régime moteur est correct. Ce dernier doit chuter (une seule bougie par cylindre) dans la mesure d'une valeur indiquée dans le manuel de vol. De plus, la différence entre les deux bougies ne doit pas être trop importante. **Tout fonctionnement défectueux doit entraîner l'annulation du vol tant que la cause n'a pas été déterminée et la réparation effectuée.**

## La lubrification



Elle a pour rôle principal d'établir un **film d'huile sur les pièces en mouvement**, afin d'en limiter l'usure et d'en assurer leur refroidissement. Il faut vérifier le niveau d'huile avant chaque vol. Deux catégories d'huiles sont utilisées : les huiles minérales et les huiles dispersantes (en cas de mélange entre les deux huiles, effectuer une vidange).

### Les huiles minérales

Elles sont obtenues par distillation fractionnées du pétrole brut. Elles sont utilisées généralement pour le **rodage** du moteur. Elles ont :

- une neutralité chimique
- une viscosité constante
- un point éclair élevé (température d'inflammation spontanée)

## Les huiles dispersantes (car sans résidus de combustion)

Ce sont des huiles minérales avec adjonction d'**additifs**. Elles sont recommandées pour les moteurs soumis à de gros écarts de température du milieu ambiant. Elles gardent une viscosité faible aux basses températures. Les additifs :

- augmentent la plage de température de fonctionnement
- facilitent le démarrage à froid
- améliorent la lubrification à froid
- ont des propriétés antifriction ( c'est pourquoi elles ne sont pas utilisées pour le rodage)

## Le grade

C'est l'indice qui caractérise les qualités de viscosité d'une huile. Le grade à utiliser augmente avec la température.

Les huiles multigrades sont utilisables en toute saison.

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| >15°C                   | grade 100 |
| 0<température<30°C      | grade 80  |
| -20°C<température<+20°C | grade 65  |

## Les circuits

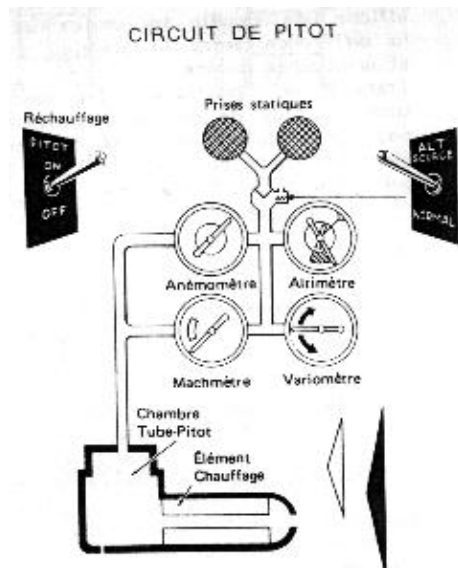
### Le circuit de dépression

Il fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement du **conservateur de cap** et de l'**horizon artificiel**.

### Le circuit anémométrique

Il fournit une [pression totale](#) et une [pression statique](#) aux instruments qui en ont besoin : anémomètre, variomètre, altimètre.

La [pression totale](#) représente la **vitesse d'un écoulement d'air**. Elle est mesurée à l'aide du tube de pitot.

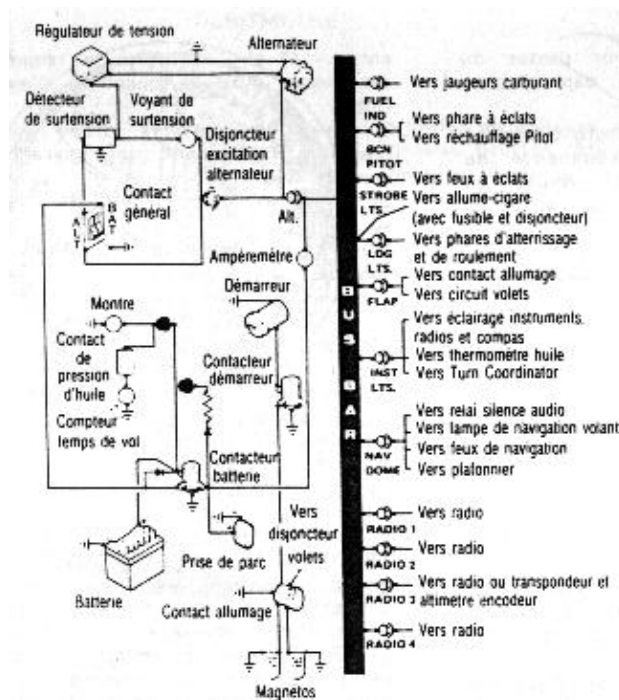


La pression statique représente la **pression d'un gaz au repos**. Exemple : la pression atmosphérique. Elle est mesurée à l'aide d'une prise de pression placée perpendiculairement à l'écoulement. La position de la sonde de pression statique induit une faible erreur de statique dans certaines phases de vol.

## Le circuit pneumatique

Les **instruments gyroscopiques** (conservateur de cap, horizon artificiel, indicateur de taux de virage, etc.) sont en général à génération pneumatique. L'**air ambiant** est **filtré** et **aspiré** par une pompe mécanique à dépression, puis **évacué** vers l'extérieur.

## Le circuit électrique



## Le circuit électrique

Le circuit électrique d'un avion est constitué de 3 groupes d'éléments :

### Les producteurs d'électricité

Ce sont la batterie et l'alternateur.

La **batterie** fournit le courant qui **alimente le circuit de démarrage** à la mise en route et les accessoires, instruments de bord et servitudes en cas de panne de l'alternateur. Elle alimente le démarreur électrique, les appareils radio, les feux de navigation, le phare d'atterrissage, certains instruments de bord. En cas de **panne** de batterie, le pilote peut demander un groupe auxiliaire de démarrage (groupe de parc) au service de maintenance ou à ce qu'on démarre l'[hélice](#) à la main.

L'alternateur alimente les instruments de bord, les servitudes (moteurs de volets, train d'atterrissage, pompe électrique de carburant, etc...) et recharge la batterie. Il n'alimente pas le circuit d'allumage des bougies. La panne d'alternateur n'a aucune influence sur le fonctionnement du moteur, mais les accessoires, instruments de bord et servitudes ne sont plus alimentés que par la batterie : il faut alors la ménager en coupant l'alimentation des moyens de radionavigation (VOR et ADF) et en vérifiant si les phares sont bien éteints.

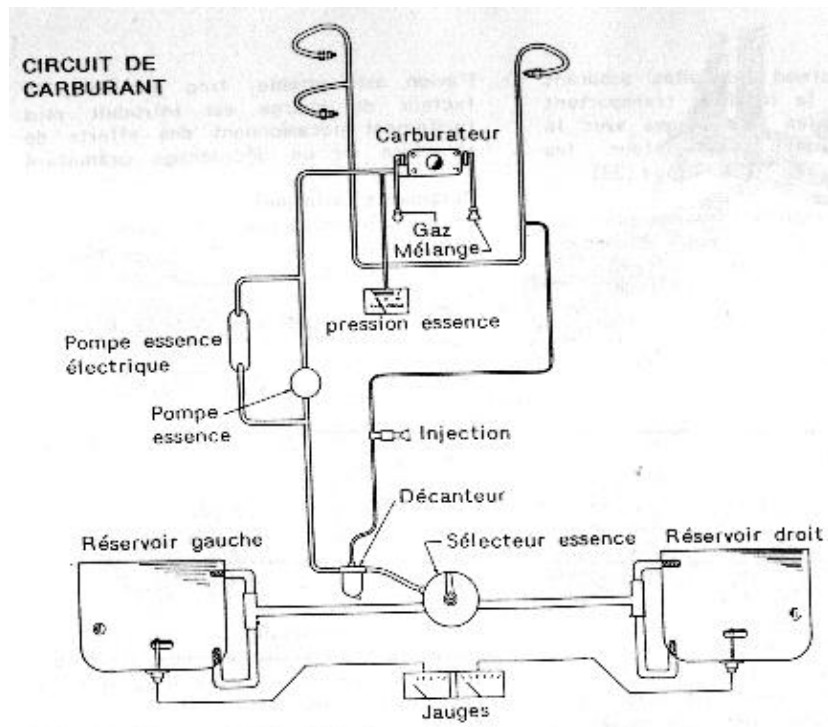
### Les consommateurs d'électricité

Le **plus gros consommateur d'électricité** est le **démarreur** qui nécessite un courant important, mais de courte durée. En cas de panne de la génération électrique, il est possible de sortir les volets par gravité ou à l'aide d'une manivelle.

### Les éléments qui relient les producteurs aux consommateurs

On trouve un ensemble de fils conducteurs, un régulateur de tension et un disjoncteur protégeant la batterie. Des fusibles et des disjoncteurs thermiques protègent les circuits d'un éventuel court-circuit pouvant conduire à l'incendie. On trouve également des instruments de contrôle de l'alternateur : l'ampèremètre (mesure l'intensité) et le voltmètre (mesure la tension), des voyants d'alarme et un contact général qui ouvre et ferme le circuit.

### Le circuit carburant



Le circuit carburant permet de transporter l'essence des réservoirs vers le moteur. Il comporte :

- un réservoir à carburant
- un robinet sélecteur de carburant
- un filtre à essence qui permet de rendre l'essence propre en la débarrassant de ses impuretés (poussières, débris métalliques, etc.)
- une pompe auxiliaire qui permet de maintenir constante la pression d'essence dans le circuit
- un clapet de surpression qui évite une pression d'essence trop forte dans le circuit situé après la pompe. En s'ouvrant, le clapet permet un retour en arrière de l'essence
- un [carburateur](#) qui assure le mélange correct air/essence
- un gicleur qui propulse des milliers de gouttelettes d'essence dans le venturi du [carburateur](#)

### Caractéristiques de l'essence

La **richesse** de l'essence est le pourcentage d'essence que l'on mélange à l'air.

Les essences d'aviation sont classées selon leur indice d'octane. Cet indice est utilisé pour quantifier leur pouvoir antidétonnant (c'est à dire leur capacité à ne pas se transformer en explosif à haute pression et haute température)

|         |               |
|---------|---------------|
| 80/87   | couleur rose  |
| 100 LL  | couleur bleue |
| 100/130 | couleur verte |

### Précautions à prendre lors de l'avitaillement

- ne jamais oublier de refermer le réservoir d'essence (si le pilote s'aperçoit de la perte du bouchon en vol, se poser dans les plus brefs délais)
- toujours vérifier que la tresse de mise à la terre est bien en place avant tout avitaillement (afin d'éviter une explosion, une étincelle pouvant se produire entre la cellule de l'avion et le bec)
- faire le plein du réservoir lorsque l'avion est rangé dans un hangar avec d'autres avions : un réservoir plein est moins dangereux qu'un réservoir vide (l'essence sous forme de vapeur peut se combiner avec l'oxygène de l'air et devenir extrêmement dangereuse)
- purger les réservoirs avant la première mise en route afin d'éliminer l'eau de condensation

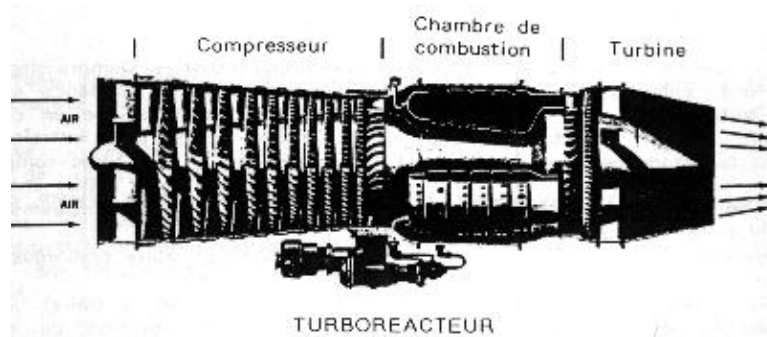
### Le refroidissement du moteur

En général, les moteurs d'avions sont refroidis par **air** à l'aide d'**ailettes** sur les parois des cylindres. Le **cône d'hélice** guide l'air vers l'intérieur du capotage moteur : en cas de perte en vol, il faut surveiller la température des cylindres (le refroidissement du moteur n'est plus assurécorrectement) et se poser dès que possible.

# Les turbomachines

On trouve dans cette catégorie les turboréacteurs, les turbopropulseurs et les turbomoteurs.

## Le turboréacteur



Un **compresseur** capte l'air externe par un conduit appelé entrée d'air. Il est entraîné mécaniquement par une **turbine**. En sortant du compresseur, l'air est admis dans une **chambre de combustion** où il est mélangé à du carburant, le **kérosène**, liquide pétrolier obtenu à partir du pétrole brut et enflammé afin de se trouver à haute pression et haute température. En traversant la **turbine** derrière la chambre de

combustion, une partie de l'énergie des gaz de combustion est transformée en énergie mécanique. Puis, les gaz sont dirigés vers le canal d'échappement, appelé **tuyère** où ils sont accélérés afin que la vitesse d'éjection soit supérieure à la vitesse d'entrées.

## Le turboréacteur simple flux

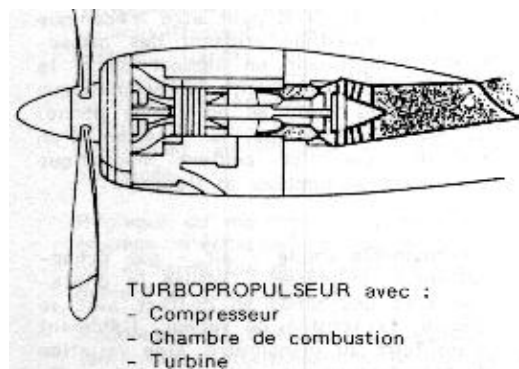
Le compresseur est constitué de **deux compresseurs** (le premier : BP basse pression et le deuxième : HP haute pression) montés **en série**, chacun étant entraîné par sa turbine.

Sur les réacteurs à **post-combustion**, une **chambre de combustion supplémentaire** est accolée à la sortie des turbines. Dans celle-ci, un nouvel apport de carburant, mélangé aux gaz de refroidissement issus de la chambre et des turbines du moteur principal, permet après inflammation d'augmenter le niveau énergétique des gaz. La vitesse d'éjection pour un même débit d'air est augmentée, la poussée augmente donc également.

## Le turboréacteur double flux

Ce type de moteur est traversé par **2 débits d'air**. Des **turbines supplémentaires** sont ajoutées afin d'entraîner un étage de compression appelé **fan** ou **soufflante** qui augmente faiblement la pression des gaz le traversant. Son diamètre étant très grand, son énergie (proportionnelle au débit) est élevée.

## Le turbopropulseur

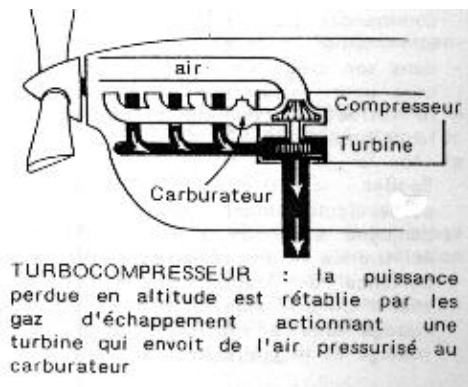


Sur ce type de moteur, les turbines basse pression prélèvent le maximum d'énergie thermique sur les gaz qui les traversent, qu'elles transforment en couple moteur afin d'entraîner une [hélice](#). Le turbopropulseur a un meilleur rapport puissance/poids que le moteur à piston. Exemple : le Transall et l'ATR 72 sont dotés de turbopropulseurs.

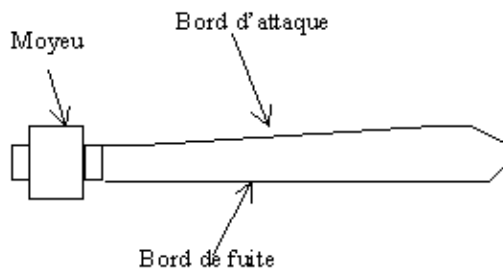
## Le turbomoteur

Il équipe les **hélicoptères**. Il permet l'entraînement d'un rotor de très grand diamètre, ainsi que le rotor anticouple.

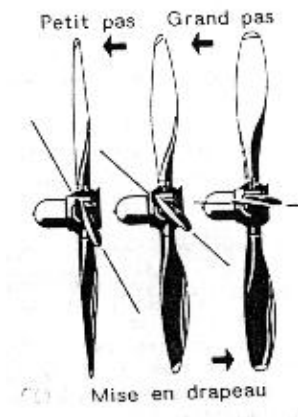
## Le turbocompresseur



# L'hélice



L'hélice est constituée d'un moyeu, assurant sa liaison rigide avec l'axe moteur, recevant à sa périphérie des pales. Chaque pale est une succession de profils aérodynamiques, dont l'épaisseur diminue du centre vers l'extrémité. Un élément de pale (profil), situé à un rayon  $r$ , décrit en 1 tour la circonférence  $2\pi r$ , et avance dans l'air de la distance  $p$  appelée **pas**.



**Angle de calage** : angle entre la corde de référence et le plan de rotation. Le **calage** de l'hélice est un **angle** alors que le **pas** est une **distance**.

Une hélice est caractérisée par son nombre de pales, son diamètre maximal, et son pas.

Sur un multimoteur, en cas de panne d'un moteur, l'hélice du moteur en panne génère une [traînée](#) excessive. Dans ce cas, les pales sont amenées dans le lit du vent relatif, leur calage est alors proche de  $90^\circ$  : cette position est appelée **drapeau**.

## Hélice à calage fixe

Le calage de ces hélices ne peut pas être modifié en vol. Elles sont **optimisées** pour une **vitesse** avion proche de la vitesse de **croisière**.

Il ne faut pas dépasser la vitesse de rotation figurée sur le compte-tours par un trait rouge : un sursrégime pourrait entraîner une détérioration du moteur ou une rupture de l'hélice.

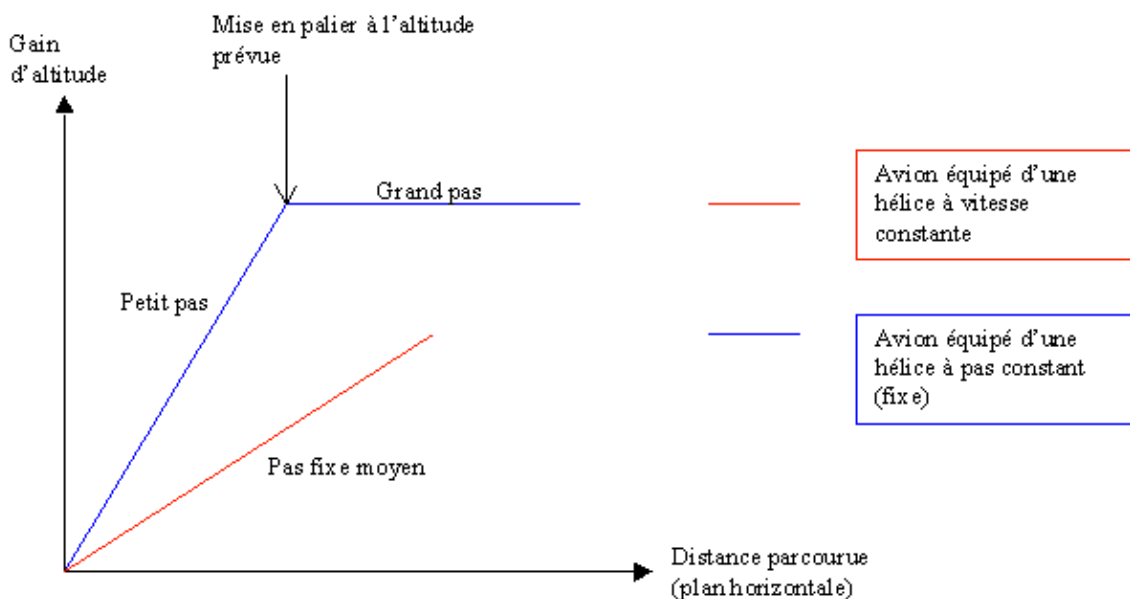
Ce type d'hélice n'est pas idéalement adapté au décollage, ni en croisière.

Le **régime du moteur** de l'avion qui en est équipé **augmente et diminue avec la vitesse** et la commande de puissance agit sur la vitesse de rotation du moteur.

## Hélice à calage variable ou à régime moteur constant

Avec ce type d'hélice, le pilote peut adapter le moteur et l'hélice à la phase de vol dans laquelle il se trouve. Un système automatique permet alors de maintenir le moteur à son régime de rotation optimal. Le **régime moteur** de l'avion équipé d'une hélice à calage variable **reste constant** même si la vitesse varie.

Le **régulateur** d'hélice évite au moteur des efforts importants, en particulier des surcouples ou des régimes excessifs. Il réduit sensiblement la consommation de carburant et assure une traction optimale de l'hélice.



L'avion équipé d'une hélice à pas variable est plus performant (en gain d'altitude et en distance parcourue)

## Utilisation de l'hélice à calage variable

Le pilote utilise deux commandes :

- **La commande de pas d'hélice** : le calage détermine la traînée de l'hélice, donc le couple résistant qu'elle oppose. Cette commande permet d'afficher un **régime de rotation**
- **La manette des gaz** : elle permet d'afficher une **pression d'admission**

Afin d'éviter le problème du surcouple, il faut toujours **augmenter le régime** avec la commande de pas **avant d'augmenter la pression d'admission**. Inversement, pour **diminuer la puissance**, il faut **d'abord** agir sur la **commande des gaz**, et ensuite sur la commande de régime.

Le **petit pas** est utilisé lorsque une **faible vitesse** et une **forte puissance** sont nécessaires (décollage, montée) et le **grand pas** lorsqu'une **vitesse élevée** et une **puissance moins importante** sont nécessaires (croisière).

# Les performances en croisière

Elles sont exprimées en **pourcentage de puissance**. Un pourcentage élevé augmente la vitesse et la consommation horaire mais réduit l'autonomie et la distance franchissable.

# Le turbo-compresseur

Certains moteurs d'avions sont équipés d'un compresseur qui permet d'envoyer dans les **pipes d'admission** une **quantité d'air toujours égale** (la pression d'admission dépend de la [pression atmosphérique](#) qui diminue avec l'altitude). Le plafond et la vitesse de croisière de l'avion peuvent ainsi être augmentés.

# Les effets moteur

Les effets moteur sont des effets secondaires qui font évoluer l'avion autour de son centre de gravité. Bien que les constructeurs tentent de les atténuer par construction, le pilote doit compenser ces défauts.

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Souffle hélicoidal               | A plein régime à vitesse faible (décollage), l'avion ne roule pas droit, il vire systématiquement à gauche. Ce virage est est dû au souffle hélicoïdal provoqué par l'hélice qui "pousse" sur le côté de la dérive. Pour contrer se souffle, il faut braquer la dérive vers la droite.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Couple gyroscopique              | <p>Effet du moteur qui provoque le virage à gauche quand la queue de l'avion se soulève et le virage à droite quand elle s'abaisse. Cet effet a surtout lieu quand l'avion est aux basses vitesses et à fort régime du moteur. C'est l'hélice qui constitue un gyroscope (quand on modifie la position de son axe, il réagit à 90° de sa position initiale et dans le sens de rotation).</p> <p>Tout ce qui a trait aux effets moteurs tient compte du sens de rotation de l'hélice, sens des aiguilles d'une montre (négatif ou rétrograde) vu de la place du pilote. Sur certains bimoteurs, les moteurs sont en tandem . Dans ce cas, tout en tournant dans le même sens et du fait de leur accouplement dos à dos, les effets s'annulent aussi.</p> <p>Il faut contrôler la tenue d axe à l aide du palonnier.</p> |
| Couple de renversement           | Couple de réaction opposée à la rotation de l'hélice et peu visible en roulis sur les avions légers.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Couple de tangage                | Lors de variation de régime, le couple de tangage à soit tendance à lever le nez de l'avion (on se rapproche du décrochage), soit à à baisser le nez (trajectoire dangereuse)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Traction dissymétrique des pales | La pale la plus basse de l hélice attaque l air sous un angle plus grand que celle du haut, ce qui entraîne une tendance de rotation en lacet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

# Les anomalies de fonctionnement

## L'huile

Deux instruments permettent de vérifier la bonne lubrification du moteur : les **indicateurs de pression** et de **température d'huile**.

### Chute de la pression d'huile

- La **température est restée constante** : il s'agit probablement d'une anomalie de fonctionnement de l'indicateur de pression
- La **température augmente rapidement** : **se dérouter** vers l'aérodrome le plus proche, s'il n'y a pas d'aérodrome à proximité, envisager un atterrissage en campagne. Un moteur qui n'est plus lubrifié risque de prendre feu

### Elévation anormale de la température

Si elle n'est pas associée à une chute de pression, il s'agit d'un **problème de refroidissement** (phénomène courant en été en cas de montée prolongée). **Se remettre en palier** quelques instants. Si ce phénomène apparaît en **croisière**, **enrichir le mélange** et **ouvrir les volets de capot** si l'avion en est équipé.

## Les anomalies dans le réseau électrique

En cas de **panne d'alternateur** il n'y a **pas d'incidence sur le fonctionnement du moteur**, mais les **accessoires et servitudes** (volets, moyens radio, éclairage) ne sont plus alimentés que par la batterie de bord. Il faut donc les **utiliser au minimum**. La VHF en émission est le moyen radio qui consomme le plus d'électricité.

## Les anomalies de fonctionnement du circuit de lubrification

Un **manomètre** mesure la pression dans le circuit en aval de la pompe à huile et un **thermomètre** mesure la température de l'huile.

En cas d'**augmentation** excessive de la **température d'huile** (à confirmer avec l'augmentation anormale de la température des cylindres), **réduire la puissance**, **ouvrir les volets de capot** si l'avion en est équipé et **interrompre le vol** dans les plus brefs délais. Si la température reprend une valeur normale, poursuivre le vol jusqu'à un terrain proche où l'avion sera examiné par un mécanicien.

En cas de **chute de la pression d'huile**, contrôler la **température d'huile**. Si elle est **normale**, il s'agit certainement d'un **problème d'affichage** de la pression d'huile (panne de manomètre, rupture du raccord, panne du capteur de pression). Si elle **augmente** anormalement, il s'agit bien d'une **panne du circuit d'huile**, il faut alors **se poser d'urgence**.

# Les procédures d'urgence

## Le feu moteur

Les **procédures incendie** figurent dans le **manuel de vol**. Elles doivent être connues parfaitement car le pilote dispose généralement d'un temps de réaction très bref.

### Au démarrage

1. Continuer d'enclencher le démarreur ou si le moteur démarre garder 1700 tr/mn
2. Pompe à injection verrouillée
3. Mélange sur étouffoir
4. Pleins gaz (pour consommer l'essence restant dans les canalisations)
5. Magnétos coupées
6. Freins de parking desserrés
7. Extincteur en action
8. Déplacer l'avion si le feu s'est propagé au sol

### En vol

1. Chauffage cabine fermée
2. Mélange sur étouffoir
3. Manette sur pleins gaz
4. Essence fermée
5. Magnétos coupées
6. Aérateurs ouverts

Ne pas redémarrer, atterrir d'urgence

### Le feu cabine

1. Contact ALT-BAT coupé
2. Chauffage et ventilation fermés
3. Contrôler le disjoncteur pour détecter le circuit défectueux
4. Extincteur de cabine utilisé
5. Ventilation cabine ouverte

### Le feu voilure

Couper tout et glisser du côté opposé au feu, atterrir avec volets à 0°.

## Les pannes moteur

### Au décollage

Gaz réduit, freiner et couper tout.

## **Après le décollage**

1. Contrôler l'avion et droit devant, ne pas faire demi-tour car la hauteur est insuffisante
2. Éviter au mieux les obstacles
3. Cabine ouverte, équipage sanglé
4. Utiliser tous les volets d'atterrissage et couper tout

## **En vol**

1. Rechercher la panne
2. Essence ouverte (réservoir + plein)
3. Mélange plein riche
4. Pompe à injections verrouillée
5. Magnétos 1 + 2
6. Démarreur si nécessaire ou meilleur plané et atterrir

## **Panne partielle de puissance en vol**

Raccorder la vent arrière et effectuer une prise de terrain par 180°.

## **Panne électrique d'alternateur**

1. Délester les circuits électriques pour économiser la batterie
2. Contact ALT-BAT coupé
3. Contact ALT-BAT branché

Si le voyant reste allumé, atterrir dès que possible sur un aérodrome ou économiser la batterie pour pouvoir communiquer avec la tour à destination.

# Navigation

[Trigonométrie](#)

[L'orientation](#)

[La navigation](#)

[Calcul du carburant](#)

[Les cartes d'aérodromes](#)

[Préparation et gestion de la navigation en vol](#)

[Outils nécessaires](#)

[La balise de détresse](#)

[Que faire si l'on est perdu ?](#)

Le terme navigation vient du latin *navigatio*, art de diriger un navire. La navigation est l'ensemble des techniques qui permettent de maîtriser les déplacements.

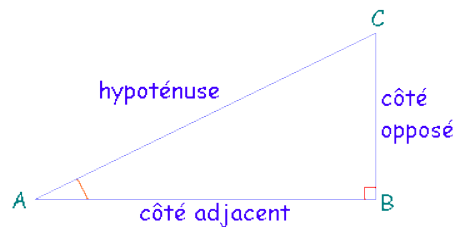
# Trigonométrie

Le mot «trigonométrie» vient du grec et signifie " mesure des triangles". C'est donc l'art de mesurer les angles.

La trigonométrie a été d'abord associée à l'**astronomie** : l'astronome grec **Hipparque** qui a vécu au IIe siècle avant JC a fondé la trigonométrie et a calculé les premières tables trigonométriques (calculs de sinus, cosinus et tangente d'un angle) dans le but de prédire des phénomènes astronomiques régulier. Il a mis au point une méthode pour mesurer le rapport des distances entre la Terre, la Lune et le Soleil. **Ptolémée** a complété les travaux d'Hipparque et a construit la célèbre table des cordes de demi degré en demi degré dans l'ouvrage l'*Almageste*. La trigonométrie est devenue une branche des **mathématiques** au XVIIe siècle.

Ses applications sont nombreuses : arpentage (mesure de la superficie des terres), topographie (relevé et description des lieux), sylviculture (hauteur des arbres par exemple), navigation, électricité (l'intensité du courant alternatif est exprimée à l'aide du sinus) et bien sûr aviation.

Soit le triangle ABC rectangle en B.



Relativement à l'angle A, nous avons :

$$\cos \hat{A} = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}} = \frac{AB}{AC}$$

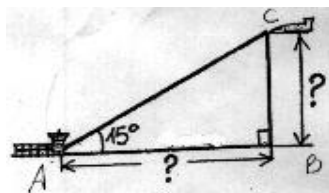
$$\sin \hat{A} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}} = \frac{BC}{AC}$$

$$\tan \hat{A} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{BC}{AB}$$

Le mot tangente vient du latin "tangere" qui signifie toucher. La tangente a été inventé par un égyptien au début du Xe siècle. C'est l'outil idéal pour mesurer des hauteurs (notamment les hauteurs de monuments)

## Exercice d'application

(niveau : classe de 3ème)



Un signal électromagnétique bref est émis par le radar de la tour de contrôle. Après l'écho sur l'avion, il revient au radar 0.000 3 seconde après son émission. La direction radar–avion fait un angle de 15° avec l'horizontale.

Sachant que le signal émis voyage à 300 000 km/s, calculer en Km l'altitude de l'avion et la distance horizontale qui le sépare du radar de contrôle.

**Réponse**

| Calcul de AC                                                                                                                                             | Calcul de l'altitude de BC                                                                                                                                                         | Calcul de la distance horizontale                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>La signal parcourt 300 000 km en 1 s</p> <p>300 000 * 0.0003 km en 0.0003s, soit 90 km</p> <p>Mais il effectue une aller-retour , donc AC = 45 km</p> | <p>ABC rectangle en B</p> <p><math>\sin \hat{A} = BC / AC</math></p> <p><math>\sin 15^\circ = BC / 45</math></p> <p><math>BC = 0.259 * 45 =</math><br/><b><i>11.654 km</i></b></p> | <p><math>\cos 15^\circ = AC / AB</math></p> <p><math>AC = 0.966 * 45 =</math> <b><i>43.467 km</i></b></p> |

# L'orientation

La Terre est une sphère légèrement aplatie aux pôles, de 40 000 km de circonférence. Son rayon est :

$$R = 40\,000 / (2 \cdot \pi) = 6\,367 \text{ km}$$

Elle tourne autour du soleil en 365,25 jours et sur elle-même en 24 heures.

## Coordonnées géographiques

**Petit cercle** : ligne d'intersection entre la Terre et un plan parallèle au plan de l'équateur (ou perpendiculaire à l'axe nord-sud) ne passant pas par son centre. Un parallèle est un petit cercle.

**Grand cercle** : ligne d'intersection entre la Terre et un plan passant par son centre (ex : équateur)

**Méridiens** : demi-grands cercles passant par les pôles. Méridien de référence : méridien de Greenwich

**Parallèles** : petits cercles parallèles à l'équateur. Ils ont le centre de la Terre pour centre. Parallèle de référence : l'équateur

Les coordonnées géographiques d'un point sont :

- la **latitude** L : distance qui sépare un point de l'équateur. Elle est mesurée par la longueur de l'arc de méridien passant par ce point ou par l'angle formé par le rayon terrestre passant par ce point et le plan de l'équateur. La latitude est mesurée en degrés et minutes sexagésimaux et est exprimée de 0 à 90° nord (N) ou sud (S)
- la **longitude** G : distance mesurée sur l'équateur entre le méridien de Greenwich et le méridien passant par ce point. Elle est mesurée par la longueur du plus petit arc d'équateur compris entre ces 2 méridiens. La longitude est mesurée en degrés et minutes sexagésimaux et est exprimée de 0 à 180° est (E) ou ouest (W)

Les coordonnées géographiques sont exprimées par 2 groupe de chiffres, le premier groupe de chiffre étant toujours la latitude. Ex : Paris 4851 N 0221 E.

# La navigation

## Principes de navigation

**Cap** : angle entre le nord et l'axe du fuselage. Il peut être **magnétique**, s'il est mesuré par rapport au nord magnétique ou **géographique**, s'il est mesuré par rapport au nord géographique.

**Déclinaison magnétique (Dm)** : angle formé entre la direction d'un point de la surface terrestre et le nord géographique ou nord vrai (Nv). Elle est comptée de 0 à 180° du nord vrai (Nv) vers le nord magnétique (Nm) et est dite "Est" si le nord magnétique est à l'est du nord vrai, et "Ouest" si le nord magnétique est à l'ouest du nord vrai. Elle varie avec le lieu et le temps (elle diminue de 10'/an, soit 1° tous les 6 ans)

*Déclinaison = différence en degrés entre le Nord géographique (Nv) et le Nord magnétique (Nm)*

## La route vraie (ou route géographique)

La **Route** est la trace au sol de la trajectoire de l'avion. Elle est définie par :

- une **distance** (départ-arrivée), mesurée à l'aide d'une règle graduée en NM et en reportant les distances le long du méridien à l'aide d'un crayon
- l'**angle formé avec le méridien** (càd le nord géographique ou nord vrai) : l'angle de route vraie ou route vraie (Rv), mesuré à l'aide d'un rapporteur (centre du rapporteur à l'intersection de la route avec un méridien, puis lire la route en prenant le méridien comme origine)

La déclinaison magnétique est par convention positive lorsqu'elle est "Est" et négative lorsqu'elle est "Ouest". Nous obtenons donc :

Avec une déclinaison magnétique Est (E) :

**Route vraie (Rv) = Route magnétique (Rm) + Déclinaison magnétique (Dm)**

**Route magnétique(Rm) = Route vraie (Rv) – Déclinaison magnétique (Dm)**

Avec une déclinaison magnétique Ouest (W) :

**Route vraie (Rv) = Route magnétique (Rm) – Déclinaison magnétique (Dm)**

**Route magnétique(Rm) = Route vraie (Rv) + Déclinaison magnétique (Dm)**

## La mesure du temps

**Vitesse propre (Vp)** : vitesse d'un avion par rapport à la masse d'air dans laquelle il se déplace

## Calcul du temps sans vent

**Vitesse indiquée** : vitesse donnée par l'anémomètre élaborée d'après les pressions dynamiques et statiques. Elle est égale à la vitesse propre de l'avion lorsque la pression statique est égale à 1013 hPa en atmosphère standard, donc au voisinage du sol.

La pression statique diminuant avec l'altitude, la **vitesse indiquée** devient **inférieure** à la **vitesse propre** à raison de 1% par 600 ft, soit **10% par 6 000 ft**.

## Calcul du temps sans vent

### Le facteur de base

C'est un **coefficient multiplicateur sans dimension** qui permet de calculer les caractéristiques aérodynamique d'un mobile. Le facteur de base varie en fonction de la vitesse de l'avion.

$$Fb = 60 / Vp$$

Fb : facteur de base      Vp : vitesse propre de l'avion par rapport à la masse d'air

### Exemple :

Vitesse propre de l'avion :  $Vp = 120 \text{ kt}$   
Facteur de base :  $Fb = 60 / 120 = 0.5$

### Le temps sans vent

Le temps sans vent (TSV) est le **temps que va mettre un avion** pour aller d'un point A vers un point B **sans vent**. Sa vitesse par rapport au sol (Vitesse sol, Vs) est égale à sa vitesse propre (Vp).

$$TSV = D * Fb$$

TSV : temps en minutes      D : distance entre deux points en milles nautiques (NM)      Fb : facteur de base

### Exemple :

Vitesse propre de l'avion :  $Vp = 100 \text{ kt}$   
Facteur de base :  $Fb = 60 / 100 = 0,6$   
Distance :  $D = 10 \text{ NM}$   
TSV : Temps sans vent =  $10 \times 0,6 = 6 \text{ mn}$

## Influence du vent

- **Vent effectif** (parallèle à la route): accélère ou freine le déplacement de l'avion par rapport au sol selon qu'il est arrière ou de face. S'il est connu avant le vol, veiller particulièrement aux limitations au décollage et à l'atterrissage, ainsi qu'aux prévisions d'emport de carburante lors de la préparation du voyage. **vitesse sol = vitesse propre +/- vent effectif** (+ : vent arrière, - : vent de face)

## La mesure des vitesse

**Vent traversier** (perpendiculaire à la route) : fait dériver l'avion. Il faut effectuer une correction de cap égale à la valeur de la dérive. **Le nez de l'avion doit toujours être du côté du vent.**

La **dérive** est l'écart entre la **route suivie** et le **cap**. Sa valeur est **proportionnelle** à la force du **vent traversier** et **inversement proportionnelle** à la **vitesse propre** de l'avion.

$$\text{Dérive (degrés)} = \text{intensité du vent (kt)} * \text{facteur de base}$$

## La mesure des vitesse

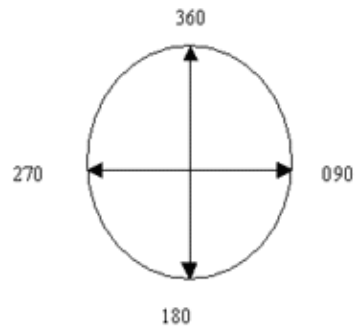
L'unité de vitesse est le mille nautique par heure nommé le noeud et noté **Kt**.

$$1 \text{ Kt} = 1 \text{ NM/heure} = 1\,852 \text{ m/heure}$$

## Les QDR et les QDM

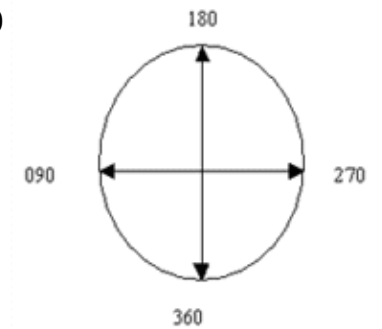
### QDR

En partant de la station (FROM).



### QDM

En allant à la station (TO)



$$\text{QDM} = \text{QDR} + 180^\circ$$

## Les radials

Les radials sont des **axes radioélectriques** qui sont repérés par leur mesure angulaire à partir du Nord magnétique. Ils sont générés par une balise radioélectrique. Une balise radioélectrique permet de définir 360

radials de 0° à 360°.

Le pilote veut suivre le radial 045, le vent est de 320° pour 20 kt, il estime sa dérive à 15° droite. Pour suivre la route magnétique 045, il doit prendre le cap  $045 - 15 = 030$ .

## Les méthodes de navigation

### Le cheminement

Le cheminement consiste à **suivre des lignes naturelles caractéristiques** bien visibles et reconnaissables (fleuves, autoroutes, côtes, voies ferrées importantes). Il faut toujours de placer **à droite du repère** (le pilote est assis à gauche).

### L'estime

L'estime consiste à **déterminer le cap à prendre** pour rejoindre un point caractéristique connaissant la position de départ ou à **déterminer la position de l'avion** connaissant son cap. Elle est utilisée lorsque le pilote veut joindre 2 points en utilisant la ligne droite.

En vol, le pilote **compare la dérive et le temps** mis pour parcourir la distance entre deux repère avec la dérive et le temps prévus (en fonction du vent ) lors de la préparation du vol et fait éventuellement une nouvelle estimation pour le tronçon suivant.

### Choix des repères

Les repères doivent être suffisamment distants les uns des autres (par exemple : distants de 8 à 10 minutes). Plus la visibilité est faible, plus les points de repères devront être proches.

| Région survolée           | Bons repères                                                          | Mauvais repères                                             |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Région fortement peuplée  | autoroutes, rivières, lacs                                            | routes                                                      |
| Plaine et région agricole | grande villes, routes importantes, voies ferrées, canaux, rivières    | petits villages, petits plans d'eau, lignes à haute tension |
| Région forestière         | lignes à haute tension, routes                                        | chemins forestiers, ruisseaux, petites rivières             |
| Région montagneuse        | villes, voies ferrées, cours d'eau, barrages, vallées, sommets élevés | repères en fond de vallée, paysage enneigé                  |

Le choix des repères dépend de la région survolée

# Calcul du carburant

| EMBARQUEMENT             |       |        |
|--------------------------|-------|--------|
| • Charge utile . . . . . | _____ | kgs    |
| • Moins poids :          |       |        |
| pilote, passagers        |       |        |
| bagages . . . . .        | _____ | kgs    |
| Kgs carburant            |       |        |
| (emport possible) .      | _____ | kgs    |
|                          | 0,72  | Litres |

| GESTION CARBURANT        |        |           |
|--------------------------|--------|-----------|
| Embarqué<br>(utilisable) | _____  | _____     |
|                          | litres | autonomie |
| 1. Route . . . . .       | _____  | _____     |
| 2. Réserve 30 min.       | _____  | _____     |
| 3. Dégagement . . .      | _____  | _____     |
| TOTAL . . . . .          | _____  | _____     |
|                          | litres | temps     |
| Reste . . . . .          | _____  | _____     |

**Quantité de carburant totale** : réserve de route + réserve finale + fonds de réservoirs + mise en route du moteur + roulage (5 à 10 litres) + intégration de l'aérodrome à l'arrivée. On peut ajouter une **réserve supplémentaire** en fonction de la météo, du relief ou des possibilités de ravitaillement.

**Quantité consommable** : quantité totale à bord – fonds de réservoirs (carburant non inutilisables).

| Type de vol | Réserve de route<br>(permet de faire face aux aléas météorologiques) | Réserve finale<br>(Marge permettant de prendre en compte l'attente éventuelle à destination) |             |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|             |                                                                      | VFR de jour                                                                                  | VFR de nuit |
| Tout vol    | quantité nécessaire pour atteindre la destination en                 | 20 minutes                                                                                   | 45 minutes  |

## Calcul du carburant

|                                                                            |                                                                                                          |            |                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                            | tenant compte des différents paramètres (météo, régime, altitude) ou quantité nécessaire sans vent + 10% |            |                                                                                                                                                            |
| Vol local                                                                  |                                                                                                          | 30 minutes | 45 minutes                                                                                                                                                 |
| Vol VFR de nuit à destination d'un aérodrome doté d'une télécommande (PCL) |                                                                                                          |            | Quantité nécessaire au dégagement vers un aérodrome doté d'un organisme de la circulation aérienne (sauf aéronefs dotés de 2 E/R émetteurs/récepteurs VHF) |
| Voisinage d'un site d'atterrissage                                         | 15 minutes                                                                                               |            |                                                                                                                                                            |
| Franchissement du seuil de la piste de l'aérodrome de destination          | 15 minutes                                                                                               |            |                                                                                                                                                            |

# Les cartes d'aérodromes

Elles peuvent comporter plusieurs volets selon l'importance du terrain. On peut trouver des :

- cartes générales indiquant les **cheminements d'arrivée**, de **départ** ou de **transit**, ainsi que **les fréquences radio** (aérodromes importants)
- **renseignements utiles** (possibilité de ravitaillement, horaires d'ouverture et de fermeture des organismes présents sur le terrain...)
- cartes des **taxiways** et **parkings**
- cartes d'**atterrissage** indiquant le sens des circuits et les caractéristiques de la piste

Ces cartes sont généralement présentées dans un manuel où les aérodromes sont classés par ordre alphabétique. Les cartes VAC sont éditées par le Service de l'Information Aéronautique (SIA).

## L'échelle d'une carte

*Echelle = distance sur la carte / distance sur la Terre*

Exemple : carte au 1/1 000 000e : 1 centimètre sur la carte représente 1 000 000 de centimètres (10 km). Une échelle 1/ 100 000e (1 km sur la Terre est représentée par 1 cm) est 10 fois plus grande que l'échelle 1/1 000 000e (1 km sur la Terre est représentée par 1 mm).

## L'unité de distance

$$1 \text{ NM} = 40\,000 / (360 * 60) = 1,852 \text{ km}$$

$$1 \text{ minute d'arc} = 1 \text{ NM}$$

## La carte au 1/500 000e OACI

- Elle comprend 7 feuilles
- 1 cm = 5 km (2,7 NM)
- Les méridiens et les parallèles sont tracés des demi-degrés en demi-degrés
- Le relief est représenté au moyen de différentes couleurs (appelées teintes hypsométriques)
- elle contient les constructions humaines, les diverses zones à statut particulier et certains espaces aériens contrôlés, la topographie, l'hydrographie, les détails divers

## **La carte radionavigation à vue au 1/1 000 000e SIA**

Elle fournit tous les renseignements indispensables sur les aides radioélectriques (VOR et NDB), les espaces aériens réglementés (rouge ou bleu : zones interdites/réglementées/dangereuses/réservées, vert : espaces aériens contrôlés). Elle comprend 5 feuilles : nord-ouest, nord-est, sud-est, sud-ouest, région parisienne. Echelle : 1 cm = 10 km (5,5 NM).

## **Le complément à la carte France Radionavigation à vue**

- Il fournit les limites verticales et les fréquences de radiocommunication utilisables des espaces contrôlés

# Préparation et gestion de la navigation en vol

## Préparation du vol

### Préparation à long terme

Lors de la préparation du vol, le pilote devra déterminer :

- la **route** la mieux adaptée (cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000 : zones réglementée, types d'espaces aériens traversés, moyens de radionavigation, caractéristiques du relief, aérodromes rencontrés)
- le **temps de vol** et les **heures limites** (départ et arrivée en fonction du lever et du coucher du soleil)
- les [conditions météorologiques](#)
- la quantité de **carburant** nécessaire
- l'**équipement nécessaire** (gilets de sauvetage, récepteur VOR, ADF ou [GPS](#) de la classe A pour du VFR on TOP)
- les [masses, centrages et performances](#) et vérifier que les performances de l'avion sont compatibles avec les exigences de la navigation (distances de décollage et atterrissage, pente de montée, vitesse en croisière)
- les conditions d'**embarquement du fret** : volume, poids, arrimage, centrage, réglementation sur l'emport de matières dangereuses...
- les conditions d'**embarquement des passagers** : âge, santé, confort

Le pilote devra veiller à posséder :

- les **documents du pilote** : identité, licence à jour, conditions particulières pour l'emport de passagers, carnet de vol
- les **documents de bord** : carnet de route (carnet sur lequel sont portés les heures de vol, les réparations, modifications, visites périodiques, les incidents et les pannes), certificat de navigabilité CDN, certificat d'immatriculation, certificat d'exploitation, radio et licence CEIRB, certificat de limitation de nuisances, fiche de pesée, manuel de vol
- l'**équipement du pilote** : cartes 1/500 000 et 1/1 000 000, règle, rapporteur, cartes d'aérodromes, **log de navigation** (ou journal de bord, voir juste après), planchette de vol, sacoche de vol, lunettes/lunettes de soleil, moyens de paiement

### Le journal de bord

Ce document contient les :

- **points de report**
- **distances**

- **temps sans vent**
- **routes magnétiques**
- **routes magnétiques**
- **fréquences** de radio-communication et de radionavigation

## **Préparation à court terme (juste avant le vol)**

Juste avant le vol, il s'agit pour le pilote de déterminer en s'aidant du dossier météorologique et des derniers [NOTAM](#) :

- le **temps estimé de vol** en fonction du vent
- l'**heure de départ limite** en fonction du coucher du soleil et du temps de vol
- la [quantité de carburant](#) à embarquer
- une **escale technique** éventuelle
- le dépôt d'un **plan de vol** éventuel

Le pilote doit également veiller au bon déroulement de l'**embarquement** : répartition des personnes, confort, enfants. Puis il doit :

- sortir l'avion ou le détacher
- purger les réservoirs
- dégivrer l'avion
- effectuer la visite prévol
- répartir les charges
- effectuer le ravitaillement (essence, huile)

## **Gestion du vol**

### **Gestion de la charge de travail**

Le pilote doit définir des priorités dans ses actions :

- **trajectoire** (cap et altitude)
- **navigation**
- **systèmes** (moyens radio, carburant, moteur, ...)

Le **circuit visuel** ne doit pas être négligé et la vigilance concernant l'**anticollision** doit être maintenue dans toutes les phases de vol.

### Organisation des différentes phases de vol

#### Départ

Le **briefing départ** permet de rappeler les points essentiels (QFU de décollage, 1er cap et 1ère altitude, estimée du 1er point de report, procédures en cas de problème au décollage). Il faut **noter l'heure de décollage** et noter l'heure de passage au point de report ainsi que les heures estimées de passage aux points suivants.

#### Croisière

Il faut **déterminer la vitesse** de l'avion le plus précisément possible car elle conditionne les estimées et le bilan carburant.

Le **temps** nécessaire pour aller d'un repère à un autre est mesuré à l'aide de la carte ou du DME.

L'**identification des points de report** se fait en recoupant plusieurs sources d'information :

- éléments de l'[estime](#)
- lecture de la carte
- moyens de radionavigation

#### Arrivée

Il est nécessaire d'obtenir des **informations météorologique** récente pour déterminer l'accessibilité de l'aérodrome de destination (bulletin ATIS, informations de l'organisme de la circulation aérienne, etc.).

Comme au départ, le pilote effectuera un **briefing arrivée** qui récapitulera les éléments de l'arrivée ( point de mise en descente, trajectoire d'approche, ...).

# Outils nécessaires

Les outils nécessaires à la navigation sont :

## La montre

- calcul des heures estimées de passage aux points de report
- calcul de l'heure d'arrivée à destination
- détermination de la vitesse de l'avion (mesure du temps pour parcourir une distance puis comparaison avec le temps prévu sans vent)

## Le rapporteur

- mesure des angles sur la carte (route = angle par rapport au Nord vrai)

## La règle

Les règles de petites tailles sont plus adaptées au cockpit des avions.

- permet le tracé des routes
- permet de mesurer les distances parcourues

## Le journal de bord

## Le crayon et la gomme

# La balise de détresse

L'emport d'une radiobalise de détresse fonctionnant automatiquement à l'impact (RBDA) est **obligatoire** sauf pour les :

- planeurs
- aéronefs volant sous CNRA
- aéronefs en vol local (25 NM maximum de l'aérodrome de rattachement)

Elle émet sur deux fréquences **121,500** et **243 Mhz**. Le signal peut être capté par un aéronef muni d'un système de repérage radiogoniométrique.

Il faut **vérifier avant et après chaque vol** que la balise de détresse de l'avion n'est **pas en position d'émission** en écoutant à l'aide de la radio de l'avion calé sur 121,500 Mhz.

## Que faire si l'on est perdu ?

1. Utiliser la goniomètre avec la VHF de bord et une station VDF. Transmettre pour QDM (cap magnétique pour rejoindre la station sans vent)
2. Utiliser une station radar, contacter l'information, afficher un code au transpondeur. Prendre de l'altitude seulement si la météo le permet, rejoindre un aéroport à partir de la nouvelle position
3. Faire le point à l'aide de 2 stations VOR
4. Effectuer un carré de recherche autour d'une ville non identifiée
5. Enfin, effectuer un atterrissage en campagne avant l'épuisement des réservoirs d'essence ou avant la tombée de la nuit

# **RADIOCOMMUNICATION**

## L'alphabet international et le code Morse

|   |          |       |
|---|----------|-------|
| A | Alpha    | .-    |
| B | Bravo    | -...  |
| C | Charlie  | -.-.  |
| D | Delta    | -..   |
| E | Echo     | .     |
| F | Foxtrot  | ..-.. |
| G | Golf     | --.   |
| H | Hotel    | ....  |
| I | India    | ..    |
| J | Juliet   | .---- |
| K | Kilo     | -.-   |
| L | Lima     | .-..  |
| M | Mike     | --    |
| N | November | -. .  |
| O | Oscar    | ----  |
| P | Papa     | .-.-. |
| Q | Quebec   | --.-  |
| R | Romeo    | .-.   |
| S | Sierra   | ...   |
| T | Tango    | -     |
| U | Uniform  | ..-   |
| V | Victor   | ...-  |
| W | Whisky   | .-.-  |
| X | X-ray    | -..-  |
| Y | Yankee   | -.--  |
| Z | Zulu     | --..  |

# Transmission des nombres

**1 seul chiffre** : s'énoncent comme ils se prononcent à l'exception du 1 qui se dit "unité".

**2 chiffres ou plus** : s'énoncent comme une série de chiffres séparés.

ex. : 973 neuf sept trois

Exception : routes aériennes – A25 : Ambre vingt-cinq

**virgule** : se dit "décimale", peut être omis si aucune confusion n'est possible

ex. : 118,300 unité unité huit décimale trois ou cent dix-huit trente – 131,475 unité trois unité décimale quatre sept cinq ou cent trente et un quarante-sept.

## Les expressions

|                          |              |                                                                                                  |
|--------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Affirme                  | idem         | oui                                                                                              |
| Approuvé                 | approved     | permission accordée                                                                              |
| Attendez                 | standby      | attendez que je vous rappelle                                                                    |
| Autorisé                 | cleared      | autorisé à poursuivre dans les conditions spécifiées                                             |
| Break break              | idem         | séparation entre messages transmis à des différents aéronefs dans un environnement très encombré |
| Collationnez             | read back    | répétez exactement ce que vous avez reçu                                                         |
| Confirmez                | confirm      | ai-je bien (ou avez-vous) bien reçu le message suivant                                           |
| Contactez                | contact      | établissez le contact radio avec...                                                              |
| Correction               | idem         | 1 erreur a été commise dans la transmission, le texte correct est...                             |
| Exact                    | correct      | c'est exact                                                                                      |
| Indiquez ou quel(le) est | say          | donnez-moi l'information suivante                                                                |
| Je demande               | request      | j'aimerais savoir ou je désire obtenir                                                           |
| J'écoute                 | go ahead     | transmettez votre message                                                                        |
| Je répète                | I say again  | je répète pour être plus clair ou pour insister                                                  |
| Négatif                  | negative     | non ou permission refusée ou cela n'est pas exact                                                |
| Parlez plus lentement    | speak slower | réduisez votre cadence d'élocution                                                               |
| Vérifiez                 | check        | examinez un système ou une procédure (en principe aucune réponse n'est attendue)                 |
| Rappelez                 | report       | faites un compte-rendu à l'endroit suivant...                                                    |
| Répétez                  | say again    | répétez votre dernière transmission (ou la partie spécifiée)                                     |
| Roger ou reçu            | roger        | j'ai entendu votre dernière transmission                                                         |
| Veillez                  | monitor      | écoutez sur – fréquence –                                                                        |
| Wilco                    | idem         | votre message a été compris et sera exécuté                                                      |

## L'echelle de lisibilité

1. illisible
2.  
lisible par instant
3.  
lisible difficilement
4.  
lisible
5.  
parfaitement lisible

# Composition d'un message radio

## Prise de contact

- appelé
- appelant (indicatif complet)
- bonjour

ex :

### AVION :

- La Rochelle Tour
- FOX BRAVO PAPA TANGO INDIA
- bonjour

### TOUR :

- FOX TANGO INDIA
- La Rochelle Tour
- bonjour

## Message

- appelé (facultatif s'il n'y a pas de risque de confusion)
- appelant (généralement indicatif abrégé en 3 lettres)
- type de l'avion
- provenance
- destination
- position
- demande ou information

ex :

### AVION :

## Réponse à un message

- FOX TANGO INDIA
- MORANE 893
- de la Roche-sur-Yon
- à Bordeaux-Mérignac
- actuellement à 3 min de November, 3000 pieds

### TOUR :

- FOX TANGO INDIA
- Pour information : trafic IFR à l'est de La Rochelle à 200 ft également. Je vous suggère un transit verticale aérodrome à 2000 ft. Rappellez verticale

## Réponse à un message

- réponse ou collationnement
- indicatif

ex :

### AVION :

- je transite par la verticale aérodrome à 2000 ft. Rappellerai verticale
- FOX TANGO INDIA

# L'ATIS

Fréquence spéciale affectée à la diffusion des dernières informations météo et consignes de piste. La diffusion est continue et les informations sont modifiées au moins toutes les heures.

A chaque nouvelle information est affectée une nouvelle lettre. Cette lettre est à préciser lors du premier contact avec l'aérodrome.

# Le mode Q

**QFE** : [pression atmosphérique](#) au sol

**QNH** : pression ramenée au niveau de la mer

**QGO** : aérodrome fermé pour raisons météo

**[QDM](#)** : route magnétique vers une station

**QFU** : orientation magnétique d'une piste

**[QDR](#)** : QDM + 180°

**QGP** : numéro d'ordre à l'atterrissage

# Les fréquences

Fréquence vol de montagne : 130.00

Fréquence club :123.5 (auto-information)

# Les messages d'urgence et de détresse

## L'urgence

On désigne sous ce terme toute situation où **des difficultés contraignent un aéronef à atterrir sans nécessiter de secours immédiat** (ratés dans le moteur, avaries dans la cellule, etc.). Les signaux utilisés pour transmettre un message d'urgence aux organismes de la circulation aérienne sont :

- allumage et extinction répétés des phares d'atterrissage
- allumage et extinction répétés des feux de position

L'urgence concerne également les situations dans lesquelles un pilote a un **message très urgent à transmettre** concernant la sécurité d'un véhicule (aéronef, navire ou autre) ou d'une personne. Le message est alors : **pan pan pan** ('panne') ou en morse : -..- -..- -..- (X X X).

## La détresse

C'est une situation dans laquelle il existe une **menace de danger grave et imminent** et un **secours immédiat est demandé** (feu moteur par exemple). Le message de détresse peut être transmis de différentes façons :

- en morse : ...---... (SOS)
- par radio : mayday mayday mayday
- à l'aide de fusées ou bombes émettant des feux rouges tirées l'une après l'autre à de courts intervalles
- à l'aide d'une fusée éclairante rouge à parachute

Contactez l'organisme de la circulation aérienne ou la fréquence **121.500 MHz** et affichez le code de détresse **7700** au transpondeur et déclenchez la radiobalise de détresse.

## Conduite à tenir en cas de panne radio

En circuit d'aérodrome, surveiller les signaux lumineux et suivre les instructions visuelles.

En transit, suivre les dernières consignes ou faire demi-tour et ne pas pénétrer dans la zone.

# REGLEMENTATION

[Définitions](#)

[JAA, JAR, FCL, ...](#)

[Services de la circulation aérienne](#)

[Organismes internationaux](#)

[Organisme national de tutelle de l'aviation civile](#)

[Les règles du vol à vue \(VFR\)](#)

[Qualifications accessibles aux pilotes privés](#)

[Réglementation du pilote privé](#)

[Renouvellement de la licence](#)

[Textes réglementaires](#)

[Réglementation du pilote privé](#)

[L'aptitude physique et mentale](#)

[Infractions et incidents aéronautiques](#)

# Définitions

**Brevet :** Titre acquis définitivement.

**Licence :** Titre limité dans le temps donnant le droit au titulaire d'un brevet d'exercer à bord d'un aéronef les fonctions correspondantes à ce brevet.

**Qualification :** Mention portée sur la licence et donnant droit à certains privilèges.

**Temps de vol :** Total du temps décompté depuis le moment où l'aéronef commence à se déplacer par ses propres moyens jusqu'au moment où il s'immobilise à la fin du vol.

**Commandant de bord :** Personne qui a la charge de la conduite et de la sécurité du vol.

# JAA, JAR, FCL, ...

**Union Européenne (UE)** : ensemble des états signataires du traité de Rome

**JAA** : association d'états européens qui se sont entendus pour harmoniser les règlements techniques et les procédures administratives en Aviation Civile

**JAR** : textes techniques élaborés par les différents groupes de travail constitués dans le cadre JAA. Ce sont des textes techniques sans valeur réglementaire au niveau international. Chaque pays membre s'engage à les appliquer et, pour ce faire, doit les introduire dans ses réglementations nationales avec les particularités liées aux problèmes généraux de droit propres à chacun

**JAR-FCL** : Nouvel ensemble de directives européennes sur la réglementation aérienne (Joint Aviation Rules), émises par la **JAA** (Joint Aviation Authority), et remplaçant les anciennes directives nationales.

**FCL** : ensemble des textes transposés dans notre réglementation française. Ce sont eux qui font maintenant référence et s'appliquent à tous ceux qui volent ou veulent le faire

# Services de la circulation aérienne

Leur rôle est :

- d'assurer la sécurité de la circulation des aéronefs en vol et au sol
- d'assurer l'écoulement rapide et régulier du trafic
- de fournir tous les renseignements utiles au déroulement d'un vol
- de déclancher la mise en oeuvre des moyens de recherche et de sauvetage

# Organismes internationaux

## Organisme mondial de l'aviation civile (OACI)

Créé en 1944, il regroupe la majorité des pays occidentaux. Son siège est à Montréal.

Il coordonne et harmonise à des fins de sécurité le développement et la vie de l'aéronautique civile. Elle édicte des normes et des "pratiques recommandées" reprises par les états membres. En cas de divergence qui pourraient mettre en cause la sécurité aérienne, les différences sont signalées dans l'AIP (Aeronautical Information Publication), document à la disposition des usagers.

## Organisation Européenne de l'Aviation Civile

- **JAA** Joint Aviation Authorities : entretien et exploitation des appareils, délivrance des licences
- organisme **eurocontrol** : harmonisation du trafic aérien, centralisation des redevances de route
- bureau européen de l'OACI
- commission européenne de l'aviation civile (CEAC)

# Organisme national de tutelle de l'aviation civile

## La Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)

Elle exerce la tutelle de l'Aviation Civile sous l'autorité du ministre des transports.

Elle produit la réglementation nationale en matière d'aviation civile et s'assure du respect des règles edictées.

En cas d'accident, les décisions (enquêtes, sanctions, etc.) sont prises par le ministre chargé des transports. Lorsqu'un pilote privé commet une infraction à la réglementation, c'est le Directeur de l'Aviation Civile de la région dans laquelle a eu lieu l'infraction qui demande l'application d'une éventuelle sanction, sur proposition de la commission régionale de discipline.

La DGAC délègue son autorité aux **Directions de l'Aviation Civile (DAC)** et **districts aéronautiques**. Les districts sont nombreux et permettent de ne pas avoir à se déplacer dans l'une des DAC ou à la DGAC.

## Les règles du vol à vue (VFR)

VFR pour Visual Flight Rules. Elles font intervenir des références extérieures (horizon, observation du sol) et ne nécessitent généralement pas un suivi par les organismes de la circulation aérienne.

La pratique du VFR nécessite des conditions météorologiques minimales qui s'expriment en visibilité et distances par rapport aux nuages : ce sont les conditions **VMC** (Visual Meteorological Conditions).

En conditions VMC, le pilote peut pratiquer le vol à vue (VFR), mais aussi, s'il est qualifié pour le faire, le vol aux instruments (IFR).

En conditions **IMC** (Instrument Meteorological Conditions), c'est à dire lorsque les conditions VMC ne sont pas réalisées, seuls le vol aux instruments (IFR) et le VFR spécial sont autorisés.

# Qualifications accessibles aux pilotes privés

Les qualifications de classe (A, B, C, D, E ou H) n'existent plus depuis la mise en application de la réglementation JAR-FCL. Quand il n'y a pas besoin de qualification de type on parle de **variantes** (variante train classique, variante train variable et train rentrant, etc.).

Les qualifications de classe existent toujours, mais sous des appellations différentes "monomoteur-monopilote", "bimoteur-monopilote", etc.

La licence est dorénavant valable en permanence, ce n'est plus elle que l'on renouvelle, mais les qualifications de classe.

## Qualifications de classe

monomoteur à piston SEP

motoplaneur TMG

avion d'un même constructeur avec motopropulseur SET

avion multimoteur à piston MEP

## Qualifications de type

avion monopilote, monomoteur à turbopropulseur ou turboréacteur SET et SEJ

avion monopilote, multimoteur MET et MEJ

avion multipilote MPA

## Hors qualification de classe ou de type

vol aux instruments IR

travail en équipage MCC

vol de nuit NIT

radiotéléphonie RT

## Qualifications nationales

remorquage de planeurs TOW

vol de virtuosité ACR

largage de parachutistes PAR

atterrissages en montagne MOU

## Liste des variantes

hélice à pas variable VP

train rentrant RU

turbocompresseur T

cabine pressurisée P

roue de queue TW

Les variantes ne nécessitent pas de prorogation. Par contre, pour voler un avion d'une de ces variantes, il faut avoir exécuté un vol sur cette variante durant les 24 mois précédents.

## Autorisation de voltige

- 1er cycle : figures élémentaires

- 2ème cycle : figures inversées

## **Qualification de radiotéléphonie internationale**

Elle est obligatoire pour les vols à destination de tout pays étranger non francophone (pour les pilotes professionnels). Pour voler à l'étranger en tant que pilote privé, il faut simplement savoir parler anglais, mais cette capacité n'est pas sanctionnée par un examen.

## **Qualification vol de nuit**

## **Qualification atterrissage en montagne**

Nécessaire pour atterrir ou décoller sur une altisurface.

## **Qualification vol aux instruments (IFR)**

Il faut effectuer un stage au sein d'une école homologuée par l'état.

## **Qualification instructeur pilote privé**

Il faut effectuer un stage dans un centre de formation aéronautique du SFACT.

# Réglementation du pilote privé

## Conditions pour se présenter à l'examen en vol de la licence PPL

- avoir 17 ans (16 ans pour voler seul)
- 45 h de vol en tant que pilote d'avion dont 5 h peuvent avoir été accomplies en simulation dans un organisme agréé
- 25 h en doubles commandes
  - dont au moins 10 h en solo supervisé
  - dont au moins 5 h sur ces 10 h sur la campagne dont un vol d'au moins 270 km au cours duquel le pilote se sera posé sur 2 aérodromes différents de celui de départ

La formation comprend une initiation au vol sans visibilité (réalisation d'un virage de 180°). Sur les 45 h de vol exigés, 5h peuvent être faites avec un instructeur sur un entraîneur au vol ou un simulateur agréé.

La licence PPL permet d'exercer les fonctions de commandant de bord ou de copilote de tout avion qui n'est pas exploité à titre onéreux.

## Les obligations du commandant de bord

Le commandant de bord doit respecter les **règles de l'air** (et vérifier leur application si un autre pilote est aux commandes) et être en possession des documents nécessaires. Il est responsable de la **conduite du vol et de l'aéronef** et de la **prévention des abordages** en toute circonstance.

## Les documents associés à l'avion et au pilote

- **manuel de vol** : recueil des caractéristiques et utilisations propres à chaque avion. Ce document, approuvé par la Direction Générale de l'Aviation Civile doit être en permanence à bord
- **consignes d'utilisation des équipements de secours**
- **documentation de vol** (carte de la région survolée, renseignements relatifs aux itinéraires et aux aérodromes prévus, aides à la radionavigation)
- **copie du formulaire du plan de vol** (si déposé)
- **licences et qualifications** du pilote
- **carnet de vol** (si l'autorisation de vol a été apposée par un instructeur)
- **autorisation technique** éventuelle du pilote
- **fiche de pesée et de centrage** : permet de connaître la masse et le centrage à vide de l'avion

Si l'atterrissage est prévu sur un aérodrome différent de l'aérodrome de départ :

- **certificat d'immatriculation** : carte grise de l'appareil. Sur ce document figure le nom du propriétaire de l'appareil, il prouve la nationalité de l'avion inscrit au registre national
- **certificat de navigabilité** (CDN) : atteste que l'aéronef est conforme aux normes de navigabilité de sa catégorie et qu'il est **apte au vol** : situation **V** (dans le cas contraire : situation R)). L'aptitude d'un aéronef fait l'objet de visites périodiques définies par le constructeur
- **certificat de limitation des nuisances**
- **licence de station d'aéronef** : permet l'utilisation des émetteurs radio à bord de l'avion
- **certificat d'exploitation de l'installation radioélectrique de bord** (CEIRB) : atteste la conformité de l'équipement radioélectrique de bord
- **carnet de route** : doit être rempli et signé par le commandant de bord à l'issue de chaque vol et son emport est **obligatoire** si l'atterrissage est prévu sur un **aérodrome extérieur**

# Renouvellement de la licence

## Validation

Pour être valide la licence doit être accompagnée d'un certificat médical et de la qualification de classe ou de type .  
Le certificat médical a une validité de deux ans pour les moins de 40 ans, d'un an pour les plus de 40 ans.  
La qualification de classe monopilote monomoteur à piston a une validité de deux ans à partir de la date de délivrance ou à partir de la date d'expiration initiale, si elle a été prorogée avant cette date d'expiration.

## Prorogation de la qualification de classe ou de type

Elle doit être effectuée ***avant la date d'expiration***. Elle nécessite :

- Soit un contrôle en vol par un examinateur FE dans les 3 mois précédant l'expiration,
- Soit d'avoir effectué 12 heures de vol, 12 décollages et 12 atterrissages dans les 12 mois précédant l'expiration et un vol d'entraînement d'une heure au moins avec un instructeur FI

## Renouvellement lorsque la qualification a expiré

Il faut repasser avec un examinateur FE l'épreuve d'aptitude de la qualification définie dans les JAR-FCL.

## A l'intérieur d'une même classe

Lorsque des avions comporteront des dispositifs spéciaux (train rentrant, hélice à pas variable, pressurisation, etc...), les instructeurs FI délivreront le complément d'instruction qu'ils jugeront nécessaire et le mentionneront eux-mêmes directement sur le carnet de vol du pilote.

# Textes réglementaires

La réglementation concernant l'Aviation Civile est contenue dans le **Journal Officiel**. Les circulaires expliquent les textes réglementaires mais n'ont pas de valeur réglementaire. Des ouvrages de synthèse regroupent les textes parus dans le J.O :

- code de l'Aviation Civile
- règlement de la circulation aérienne (RCA) et règlement du transport aérien (RTA)
- publications d'Informations Aéronautiques (AIP)
- atlas VAC (Visual Approach and landing Chart) : regroupe les cartes d'approche et d'atterrissage à vue
- atlas IAC (Instrument Approach Chart) : cartes d'approche aux instruments
- brochures complémentaires

# **L'aptitude physique et mentale**

## **Détermination de l'aptitude physique et mentale**

*Certificat d'aptitude de classe 1* : donne l'aptitude pilote de ligne. Est délivré par les Centres d'Expertise Médicale du Personnel Navigant (CEMPN).

*Certificat d'aptitude de classe 2* : certifie l'aptitude physique et mentale des pilotes privés. Est délivré par les médecins agréés et les CEMPN.

## **Conditions d'admission de l'aptitude physique et mentale**

L'aptitude médicale nécessite une condition physique et mentale correcte sans trouble ni pathologie grave (épilepsie, certaines affections cardiaques, certains diabètes, ...). La grossesse rend temporairement inapte.

En cas de perte de l'aptitude médicale et si la cause d'inaptitude ne s'éloigne pas trop des normes prévues par la réglementation, il est possible de faire une demande de dérogation auprès du Conseil Médical de l'Aéronautique Civile.

# Infractions et incidents aéronautiques

## Infractions aux règles de la circulation aérienne

Une infraction est un **non-respect de l'une des règles de la circulation aérienne**, en vol, au sol, lors des manoeuvres précédant le décollage ou succédant à l'atterrissage : négligence, imprudence, pénétration de zones réglementées sans clairance lorsqu'elle est exigée, vol à basse hauteur au-dessus des agglomérations, etc..

Les infractions sont constatées par la **Gendarmerie nationale**, la **DGAC** ou la **police aux frontières**.

Après constatation de l'infraction, le fonctionnaire ou l'agent de l'Aviation civile remplit un **procès-verbal d'infraction** et informe le pilote des motifs de l'infraction. Le pilote peut consigner ses explications sur le procès-verbal.

Lorsque l'infraction intervient juste après le départ, un message est envoyé à l'aérodrome d'arrivée et à l'exploitant de l'aéronef.

Le procès-verbal d'infraction est alors transmis au **Commandant d'aérodrome**, au **chef du district** et au **chef du Centre régional de la navigation aérienne**. Une **instruction** est menée et les autorités décident de classer le dossier ou de le transmettre à la commission régionale de discipline.

## La commission régionale de discipline

Elle est chargée des infractions commises par les navigants privés. Elle **étudie le dossier** et **se prononce sur une sanction éventuelle** ainsi que sur son importance. C'est le **Directeur de l'Aviation Civile** qui décide de l'**application** de la sanction.

Le pilote à l'origine de l'infraction est **informé** par le **rapporteur de la commission** des griefs retenus contre lui et est invité à prendre connaissance du dossier. Une **convocation** lui est adressée au moins 15 jours avant sa comparution devant la commission de discipline.

Le pilote peut se faire **assister** ou **représenter** par la **personne de son choix** (navigant, dirigeant de club, avocat, etc.).

## Les sanctions

La commission de discipline propose des **sanctions administratives** :

- avertissement
- retrait temporaire des licences ou qualifications attachées
- retrait définitif des licences ou qualifications attachées

En cas de **non-respect du code pénal** (infraction, délit, crime), le pilote encourt une peine prononcée par l'autorité judiciaire qui peut être :

-

une amende

- une peine d'emprisonnement
- les deux

## Incidents de la circulation aérienne

Il y a incident de la circulation aérienne si la sécurité d'un aéronef est mise en cause par :

- un autre aéronef
- les installations ou services de la circulation aérienne

### Sécurité mise en cause par un autre aéronef : procédure AIRPROX

Le pilote qui s'estime victime de ce type d'incident envoie le message suivant : "**Message initial AIRPROX**" (le message peut être envoyé après le premier atterrissage). Il informe l'organisme de la circulation aérienne des circonstances de l'accident, puis confirme l'incident par un **compte-rendu détaillé** dès l'atterrissage (compte rendu AIRPROX). Le formulaire peut être obtenu auprès du bureau de piste.

### Sécurité mise en cause par une installation ou un organisme de la circulation aérienne : "réclamation"

Après l'atterrissage le pilote rédige un compte rendu "RECLAMATION" dans lequel il indique les circonstances de l'incident et le dépose au bureau de piste.

# VOL DE NUIT

[La nuit aéronautique](#)

[Equipements de l'avion](#)

[Balisage des obstacles et des véhicules](#)

[Balisage d'un aérodrome](#)

[Météorologie nocturne](#)

[Aspects réglementaires du vol de nuit](#)

[Mise en oeuvre de l'avion](#)

[Navigation de nuit](#)

[Procédures d'urgence](#)

[Obtention de l'aptitude au vol de nuit](#)

[Décompte du temps de vol](#)

[La vision de nuit](#)

## La nuit aéronautique

En France métropolitaine, la nuit aéronautique débute à l'heure du **coucher de soleil plus 30 minutes** et se termine à l'heure du **lever du soleil moins 30 minutes**. Les heures de lever et de coucher du soleil sont données en temps légal ou en UTC (temps universel) : ajouter 1 heure en hiver et 2 heures en été pour convertir les heures UTC en heures légales.

# Equipements de l'avion

- des feux de navigation et anticollision
- 1 phare d'atterrissage
- 1 jeu de fusible de rechange
- 1 torche électrique
- 1 horizon artificiel
- 1 indicateur de virage ou 1 deuxième horizon artificiel
- 1 conservateur de cap
- 1 variomètre
- 1 émetteur-récepteur VHF 25 kHz
- 1 récepteur VOR ou ADF adapté à la route ou un GPS de classe A
- 1 altimètre sensible et ajustable gradué de 1000 ft/tour

# Balisage des obstacles et des véhicules

## Balisage des obstacles

Les obstacles pouvant présenter un danger pour la circulation aérienne au sol ou en vol sont balisés à l'aide de feux rouges d'intensité moyenne. Dans certains cas, des phares de danger émettent une série d'éclats rouges de forte intensité.

Les obstacles balisés situés au voisinage des aérodromes sont indiqués sur les cartes d'aérodrome.

## Balisage des véhicules

Feux à éclats de couleur

- **jaune** : véhicules de service
- **rouge** : véhicules de secours
- **bleu** : véhicules de police

# Balisage d'un aérodrome

## Repérage et identification des aérodromes

**Phares de rappel** : Installés généralement sur un point élevé proche de l'aérodrome. Peuvent être aperçus à plus de 60 km de l'aérodrome.

**Phares d'identification** : Portée plus réduite. Modulent une lettre de l'alphabet Morse.

Les caractéristiques de ces phares (emplacement, lettre Morse associée) se trouvent sur les cartes d'aérodrome et le Manuel d'Information Aéronautique (partie AGA4).

## Balisage des pistes

### Délimitation de piste

**Feux blancs** utilisés pour délimiter la piste de nuit ou de jour par mauvaise visibilité, classés en fonction de leur intensité lumineuse :

- balisage de bord de piste de haute intensité (HI) uni ou bidirectionnel (comprend un variateur d'intensité)
- balisage de bord de piste de basse intensité (BI) omnidirectionnel

### Feux de seuil de piste

Déterminent le début de la partie atterrissable de la piste.

Au moins **4 feux verts** (2 de part et d'autre de l'axe de la piste). Cette rangée de feux peut être complétée par des feux à éclats blancs.

La partie de la piste qui précède le seuil est balisée en rouge.

### Feux d'extrémité de piste

**Rouges** du côté de l'approche et **vert** de l'autre côté s'ils coïncident avec le seuil de la piste..

### Balisage de piste complémentaire

- balisage HI de l'axe de piste et des sorties de piste (feux encastrés)
- balisage axial des voies de circulation (feux verts encastrés )
- feux de zones d'impact sous la forme de plusieurs barrettes de feux blancs encastrés sur les 900 premiers mètres de la piste.

## Balisage des voies de circulation et des aires de parkings

Délimitées par des **feux blancs** ou par des pistes réfléchissantes.

Sur les aérodromes militaires, les taxiways sont délimitées par des feux bleus d'un côté et orange de l'autre.

## Aides lumineuses à l'approche

### Lignes d'approche

Destinées lors des approches aux instruments (IFR), à faciliter au pilote le passage des références instrumentales aux références visuelles. Ne sont pas d'une utilité fondamentale pour le pilote volant en VFR de nuit.

Sont constituées d'une **ligne de feux blancs** omnidirectionnels ou directifs située dans le prolongement de l'axe de piste sur une longueur de 500 à 900 m et complétées par au moins une barre de feux de même nature perpendiculaire à la ligne précédente et située à 300 m en amont du seuil.

### Autres aides lumineuses

Les Manches à air et les Té d'atterrissage sont souvent éclairés de nuit. Le PAPI et l'AVASIS sont une aide sérieuse en approche finale

# Météorologie nocturne

## Stratus et brouillards

Sont plus fréquents et plus difficiles à déceler.

Plus la différence entre la température de l'air et celle du point de rosée est faible, plus il y a de risques de brouillard.

## Orages

En l'absence de soleil il n'y a pas de mouvement convectif. Mais :

- certains cumulonimbus formés de jour par convection peuvent rester actifs jusqu'à minuit
- les cumulonimbus dont la formation est liée à la présence d'un front peuvent être actifs à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit

## La turbulence

Du fait de la disparition des mouvements convectifs, elle est plus faible la nuit que le jour. Seuls subsistent les mouvements liés aux orages ou à l'action du vent sur un relief.

## Passage dans une couche de nuages

- un "voile translucide" est lentement tiré devant et sous l'avion, les lumières deviennent se mettent à clignoter et disparaissent.
- diffusion plus importante du faisceau lumineux du phare d'atterrissage. Le faisceau n'est plus directionnel mais diffuse dans toutes les directions.
- > Couper les feux anti-collision et les feux à éclats (sources de fausses sensations) tant que les conditions de vol à vue ne sont pas retrouvées.
- > Effectuer un **180 °** au taux standard pour retrouver les conditions de vol à vue.

# Aspects réglementaires du VFR de nuit

## Conditions météorologiques minimales

**Vol local** : vol circulaire sans escale, effectué à l'intérieur d'une zone de contrôle (CTR) associée à l'aérodrome ou, en l'absence de zone de contrôle, à 12 kilomètres (6.5 milles marins) au plus de l'aérodrome.

**Vol de voyage** : tout vol autre qu'un vol local.

| Type du vol                                                                                                                                                                                                          | Visibilité                                                                                                                              | Hauteur de la base des nuages             | Météo                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
| Local<br><br>Vol circulaire sans escale effectué à l'intérieur d'une zone de contrôle (CTR) associée à l'aérodrome ou, en l'absence de zone de contrôle, à 12 kilomètres (6,5 milles marins) au plus de l'aérodrome. | supérieure ou égale à 5 km, conserver la vue de l'aérodrome                                                                             | égale ou supérieure à 1500 ft/sol (450 m) | —                                   |
| De voyage<br><br>Vol autre qu'un vol local.                                                                                                                                                                          | supérieure ou égale à 8 km entre les aéroports de départ, de destination et de dégagement éventuel; conserver la vue du sol ou de l'eau | égale ou supérieure à 1500 ft/sol (450 m) | pas de précipitation ou orage prévu |

### Conditions météorologiques minimales pour le VFR de nuit

## Dépôt du plan de vol

Il est **obligatoire** lorsque le vol se fait de **nuit** (coucher du soleil + 30 minutes) et qu'il n'est **pas local**. Il doit être déposé **au plus tard 30 minutes avant** l'heure prévue de départ ou **30 minutes avant la nuit aéronautique** si le vol débute de jour et se poursuit de nuit.

Un plan de vol n'est **pas exigé** dans les cas suivants (dans ce cas les éléments de vol sont communiqués par radio à l'organisme de la circulation aérienne concerné):

- vols locaux
- vols entre deux aérodromes pour lesquels le service du contrôle d'approche est assuré par le même organisme du contrôle de la circulation aérienne, dans les limites de l'espace aérien relevant de son

autorité

- vols entrepris de jour qui, pour des raisons imprévues, se terminent de nuit, si une liaison est établie de jour avec l'organisme de la circulation aérienne de l'aérodrome de destination ou de dégagement

## Aérodromes de départ et d'arrivée

Ils doivent obligatoirement **être agréés** pour le vol de nuit. Certains aérodromes agréés VFR de nuit ne sont accessibles qu'aux seuls pilotes autorisés. Les noms des pilotes ainsi que les règles particulières d'utilisation de l'aérodrome sont précisés dans une **consigne locale**.

## Emport de carburant

L'avion doit comporter la quantité de carburant nécessaire pour voler **45 minutes au régime de croisière économique**. Si l'aérodrome de destination doit être utilisé avec une télécommande de balisage, il faut prévoir en plus le carburant nécessaire pour rejoindre un aérodrome de dégagement doté d'un organisme de la circulation aérienne si le pilote n'a qu'un émetteur/récepteur VOR.

## Hauteur minimale de survol

La hauteur minimale de survol pour les **vols non locaux** est supérieure ou égale à 450 m (**1 500 ft**) au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon de **8 km** de part et d'autre de la route prévue au plan de vol. Cette hauteur est portée à 600 mètres (**2 000 ft**) dans les régions où le **relief** s'élève à une altitude de **plus** de 1 500 mètres (**5 000 pieds**).

Pour les **vols locaux**, sauf consignes locales particulières, la hauteur minimale est de 300 mètres (**1 000 pieds**) au-dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 8 kilomètres autour de la position estimée de l'aéronef.

Sur les itinéraires publiés, la hauteur minimale de vol est indiquée pour chaque tronçon par l'information aéronautique.

## Contact radio

Le contact ou la veille d'une fréquence radio peuvent être exigés dans les espaces aériens contrôlés et dans certains espaces réglementés.

En l'absence d'organisme de la circulation aérienne, des comptes rendus sont transmis en auto-information au voisinage des aérodromes : le pilote indique au premier appel d'un autre pilote sur la fréquence, sa position, son altitude et ses intentions.

Dans le cas des vols locaux, la veille de la fréquence de l'aérodrome doit être assurée en permanence.

## Balisage lumineux de l'avion

Il doit être allumé dès que l'avion circule sur l'**aire de manœuvre** (taxiway, piste) et tant qu'il évolue en dessous de **2 200 ft** (650 m). Il est **conseillé** de le laisser allumé pendant la **durée du vol**, sauf en cas de problème électrique.

# Mise en oeuvre de l'avion

## Visite prévol

- s'assurer du bon fonctionnement des dispositifs d'éclairage et de la présence à bord de fusibles de rechange
- Les vitres latérales et le pare-brise doivent être particulièrement propres

## Familiarisation avec la cabine

- connaître parfaitement la cabine et la position des divers instruments de façon à pouvoir les utiliser correctement en cas de panne d'éclairage

## Mise en route du moteur

- prendre de grandes précautions lors de la mise en route du moteur
- allumer les feux de position et les feux anticollision pour indiquer que le moteur va être mis en marche
- lorsqu'il est nécessaire d'économiser l'énergie électrique des batteries (grand froid par exemple), allumer une lampe torche pour signaler que le moteur va être mis en marche

## Roulage

- Les phares de roulage doivent rester éteints jusqu'au roulage effectif
- La vitesse de roulage doit être très faible (mauvaise visibilité)
- se renseigner sur les procédures de roulage lors de l'utilisation d'un aéroport de nuit qui n'est pas familier au pilote
- profiter du roulage pour vérifier le bon fonctionnement des instruments gyroscopiques (horizon artificiel, conservateur de cap, indicateur de virage)

## Décollage et montée initiale

- les phares d'atterrissage sont allumés juste avant le décollage
- utiliser les références instrumentales : vérifier l'[assiette](#) de montée (indiquée dans le manuel de vol) sur l'horizon artificiel, vérifier la montée à l'aide de l'altimètre et du variomètre, adapter l'[assiette](#) de façon à ce que la vitesse corresponde à celle qui est indiquée dans le manuel de vol de l'avion
- poursuivre la montée jusqu'à l'obtention d'une altitude de sécurité (500 ft en vol local, 2 000 ft en voyage, sauf cas particulier)

## Utilisation des voies aériennes et autres espaces aériens contrôlés ou réglementés

Les vols en VFR de nuit ne doivent **pas** être effectués à l'**intérieur des voies aériennes**. Dans les **espaces aérien contrôlés**, une **clairance** peut les obliger à suivre les **itinéraires spécifiques** au VFR de nuit. Ils peuvent également être **interdits** dans **certains espaces réglementés**.

## Approche et atterrissage

- si l'aérodrome est équipé d'un indicateur visuel de pente PAPI : l'approche ne pose pas de problème particulier. Dans le cas contraire : contrôler le plan de descente à l'aide de l'altimètre et du variomètre (viser un point situé au-delà du seuil de piste comme point d'impact)
- attention aux impressions visuelles dues à l'obscurité : pente d'approche trop faible (le pilote pense qu'il est trop haut sur le plan de descente), arrondi trop tôt (conséquence : atterrissage dur)

# Navigation de nuit

## La préparation

- les aérodromes rencontrés (départ, arrivée, déroutement) doivent être ouverts aux heures prévues par le plan de vol
- le trajet choisi doit être en conformité avec la réglementation relative au VFR de nuit

## Les documents à emporter

- carte au 1/500 000e
- cartes de radionavigation
- cartes d'aérodrome

## Les repères

- villes
- autoroutes
- routes importantes
- balisages lumineux
- phares de navigation

Si le ciel est éclairé par la lune :

- rivières
- montagnes

## Les aides radio

De nuit, on peut utiliser le VOR sans problème, mais utiliser le radiocompas avec prudence car il peut recevoir une onde réfléchie ou 2 stations émettant sur la même fréquence.

# Procédures d'urgence

## Panne d'éclairage

### Tableau de bord

- Eclairage de secours ou éclairage de cabine s'ils existent
- Sinon: lampe électrique autonome

### Phare d'atterrissage

- En courte finale, diminuer le taux de chute (2000 ft/min) en adoptant une [assiette](#) plus cabrée et en ajustant la puissance
- Pour le maintien d'une bonne trajectoire et l'évaluation de la hauteur, observer les rampes de délimitation des bords de pistes
- Ne réduire les gaz qu'au moment de l'impact, ne pas chercher à arrondir

## Panne radio

- Poursuivre le vol selon les indications notées sur le plan de vol
- Si l'aérodrome de destination bénéficie d'un service de contrôle, effectuer en dehors des trajectoires d'approche, 1 ou plusieurs 360°, phares allumés
- Exécuter les instructions données par le service de contrôle au moyen de signaux lumineux

## Panne de génération électrique

- Couper tous les équipements électriques non indispensables
- Se dérouter vers l'aérodrome le plus proche ouvert au trafic de nuit
- Surveiller le bon fonctionnement de l'alternateur ou de la génératrice à l'aide de l'ampèremètre

## Obtention de l'aptitude Au vol de nuit

Avec la licence PPL, l'accès au vol de nuit est largement facilité et n'est pas sanctionné par une épreuve pratique.

Néanmoins il faudra avoir suivi une formation d'au moins 5 heures de vol de nuit comprenant au minimum :

- 3 heures en double commande comportant au moins 1 heure de navigation en campagne
- 5 décollages et 5 atterrissages complets en solo

L'aptitude au vol de nuit sera alors mentionnée sur la licence.

## Décompte du temps de vol

Dans la colonne d'observation du carnet de vol :

"vol de nuit" si vol effectué totalement de nuit ou "dont... heures de nuit"

## La vision de nuit

La vision par faible luminosité est assurée par les **bâtonnets** situés dans la rétine. Ils sont spécialisés dans la vision des **mouvements** et des contrastes, mais ne permettent pas de discerner les couleurs et les détails fins. De plus, ils détectent principalement les éléments situés en **périphérie** et non au centre de la vision.

La vision de nuit est diminuée par l'alcool, le tabac et certains médicaments.

# MECANIQUE DU VOL

[Mathématiques](#)

[Physique](#)

[Les aéronefs](#)

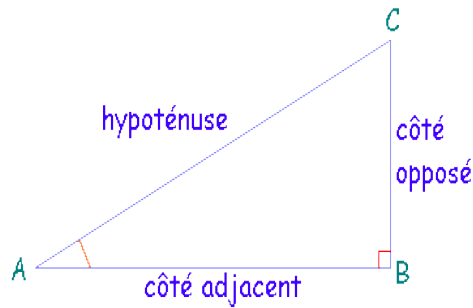
[Chargement et centrage](#)

[Description de l'avion](#)

[Les effets moteur](#)

[Les contraintes sur la cellule](#)

# Mathématiques



Nous allons prendre comme exemple l'angle A relatif au triangle ABC rectangle en B.

Tout triangle rectangle contient 1 angle droit qui fait  $90^\circ$  (ici  $B = 90^\circ$ ) et 2 angles complémentaires : leur somme fait  $180^\circ$  (somme des côtés d'un triangle)  $- 90^\circ$  (la valeur de l'angle droit), c'est à dire  $90^\circ$  (ici  $C + B = 90^\circ$ ).

Le côté opposé à l'angle droit s'appelle l'**hypoténuse** (AB).

Le côté **opposé** à un angle est le côté autre que l'hypoténuse, qui est opposé (en face de) à l'angle concerné.

Le côté **adjacent** à un angle est le côté, autre que l'hypoténuse, qui touche l'angle concerné.

$$\cos A = \text{côté adjacent} / \text{hypoténuse} = AB/AC$$

$$\sin A = \text{côté opposé} / \text{hypoténuse} = BC/AC$$

$$\tan A = \text{côté opposé} / \text{côté adjacent} = BC/AB$$

# Physique

Pour qu'un avion puisse voler correctement, il faut définir les différents points d'équilibre, et les modifier si nécessaire.

## La Masse

La masse représente une **quantité de matière**, elle se mesure en kilogrammes, grammes etc et **ne varie pas avec le lieu**. On emploie souvent à tort le terme poids dans le sens de masse (on devrait parler de la masse d'une personne et non de son poids).

## Le poids

La terre attire à elle tous les objets qui l'entourent : tout objet lâché au-dessus du sol est attiré par le centre de la terre. Elle exerce sur eux une force répartie, à distance, appelée poids de l'objet ou force de pesanteur ou encore force de gravité. Le poids d'un objet est donc la **force exercée par la terre sur cet objet**.

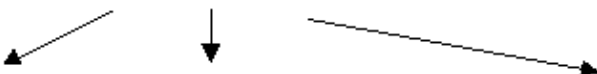
Newton a montré que "tous les corps s'attirent mutuellement, en raison directe de leur masse et en raison inverse du carré de leurs distances".

### Caractéristiques du poids

- direction : la verticale (direction d'un fil à plomb)
- sens : vers le bas
- point d'application : c'est le centre de gravité de l'objet, noté G
- intensité : on peut la mesurer avec un dynamomètre et la calculer à l'aide d'une formule (voir plus loin)

Comme toute force, on représentera le poids avec un vecteur. Par contre, le poids est une force et comme  $g$  dépend de l'altitude, **l'intensité du poids dépend du lieu !**

Le produit de sa masse ( $m$ ) par l'accélération de la pesanteur ( $g$ ) représente une force ( $P$ ) due à l'attraction terrestre.

$$P = m * g$$


Poids en Newton (N)   Masse en kilogrammes (kg)   Accélération de la pesanteur en newtons par kilogramme (N/kg).

Exemple : le poids d'un objet de masse 50 kg est  $P = 50 \times 10 = 500$  N (environ)

## Les forces

Pour déplacer un mobile (tout corps qui peut se mettre ou être mis en mouvement), il faut créer et lui

## Caractéristiques d'une force

appliquer une force.

Une force est donc "toute cause capable de provoquer ou de modifier un mouvement, ou de déformer un corps".

Il y a différents types de forces :

1. Forces de *contact* : il y a contact entre l'auteur et le receveur (interaction de 2 corps en tout point de leur surface de contact)
2. Forces *à distance* : il n'y a pas contact entre l'auteur et le receveur (interaction de 2 corps électrisés ou aimantés, forces de gravitation. En particulier, le poids d'un corps est la force d'attraction que la Terre exerce sur lui)
3. Forces *localisées* : elles s'exercent sur une petite zone du receveur
4. Forces *réparties* : elles s'exercent sur une grande zone du receveur

### Caractéristiques d'une force

Une force possède 4 caractéristiques :

- son **point d'application** : c'est l'endroit du receveur qui est soumis à la force
- sa **direction** : c'est la droite support de la force
- son **sens** : il faut le préciser parmi les 2 sens possibles existant sur une droite
- son **intensité** : elle se mesure en newtons (symbole : N ) à l'aide d'un dynamomètre : cet appareil est muni d'un ressort qui se déforme plus ou moins suivant l'intensité de la force

### Représentation d'une force par un vecteur-force

Toute force peut être représentée par un vecteur-force dont :

- l'**origine** est le point d'application de la force
- la **direction** est celle de la force
- le **sens** est celui de la force
- la **longueur** est proportionnelle à l'intensité de la force (il est alors nécessaire d'utiliser une échelle)

## Equilibre des forces

Un objet en mouvement subissant des **forces** dont la **somme** est **nulle** reste en équilibre : il y a équilibre quand il y a **immobilité ou maintien d'un mouvement**. Dans le cas d'un avion : sa trajectoire n'est pas déviée et sa vitesse n'est pas modifiée.

## Déséquilibre des forces

Pour tirer un objet imposant il faut commencer par tirer fort car l'inertie gêne la mise en mouvement. Mais une fois que le mouvement est lancé, l'inertie participe au mouvement. C'est pour cela qu'un objet lourd, qui a beaucoup d'inertie, met plus de temps à s'arrêter qu'un objet léger.

L'**inertie** est la tendance qu'ont les corps à préserver leur état de repos ou de mouvement. Plus la masse — donc l'inertie — d'un corps est importante, plus grande est la force à appliquer pour provoquer ou modifier son mouvement. Cette tendance est caractérisée par un paramètre : la masse d'inertie (ou inertielle), dont les mesures les plus précises montrent qu'elle est égale à la masse qui intervient dans la loi de la gravitation universelle, c'est-à-dire la masse gravitationnelle. L'égalité de ces deux masses est d'ailleurs un postulat de

base de la théorie de la relativité générale.)

## Le centre de gravité

La gravité exerce, sur chaque point d'un objet, une force dirigée vers le centre de la terre : un poids lâché à une certaine altitude prendra immédiatement la direction du centre de la terre.

Le point d'application du poids ( $mg$ ) est le centre de gravité : le centre de gravité d'un objet est le **point où s'applique le poids de l'objet**. Chaque objet a un centre de gravité. Son **emplacement** dépend de la **répartition des masses** au sein de l'objet : lorsqu'un passager se déplace dans un avion, le centre de gravité change de position. Le centre de gravité est positionné à l'endroit où la **somme des moments** est **nulle**.

Un équilibriste ou un gymnaste est en équilibre car il maintient son centre de gravité exactement au-dessus de son point d'appui. (la droite d'action du poids passe à l'intérieur de sa base d'appui). Pour stabiliser un corps, on répartit la masse de celui-ci vers le bas, afin que son centre de gravité soit le plus bas possible.

## Application en aéronautique

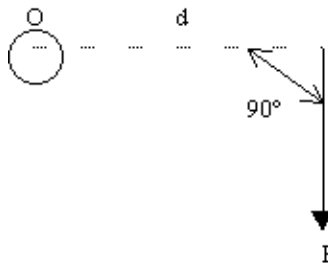
La position du centre de gravité est très importante, car le centrage va déterminer la stabilité en vol :

1. Sa position est primordiale dans la détermination de l'**équilibre** de l'avion (le centre de gravité se déplace vers l'avant ou vers l'arrière en fonction de la répartition du chargement de l'avion)
2. La **trajectoire** de l'avion est assimilée à celle de son centre de gravité (de la même façon qu'un couteau lancé aura la même trajectoire que celle de son centre de gravité)
3. Il est le **centre de rotation** de l'avion (un couteau lancé tourne autour de son centre de gravité)

Le centre de gravité doit impérativement se trouver **en avant du foyer** qui constitue la limite arrière du centrage.

## Les moments

Le mot moment vient du latin " movimentum " qui signifie " *mouvement* ".



Le moment de force est ce qu'il faut appliquer à un corps pour le mettre en rotation

Un objet qui peut tourner autour d'un axe fixe peut rester en équilibre s'il est soumis à des forces dont les effets se compensent.

Pour faire tourner l'objet, une **grande force** a plus d'effet qu'une petite force appliquée à la même distance de l'axe.

Pour faire tourner l'objet, une même force a davantage d'effet si elle est appliquée à une **plus grande distance** de l'axe.

Il y a création d'un moment lorsqu'une force  $F$  s'applique à une certaine distance de son point d'application  $O$  et qu'elle n'est pas alignée avec lui : le moment d'une force par rapport à un axe de rotation est le **produit** de la **force** exercée par la **distance minimale** séparant l'axe de rotation de l'axe de la force. Plus le moment d'une force est grand, plus la force est capable de mettre l'objet auquel elle s'applique en rotation.

L'équation du moment est :  $\vec{Mt}(O) = \vec{d} \cdot \vec{F}$

|                                              |                            |                                        |
|----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| <b>Mt(O)</b> : moment par rapport au point O | <b>F</b> : force appliquée | <b>d</b> : bras de levier (distance d) |
|----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|

L'unité du moment est le **Newton-mètre**.

Si on exerce deux moments tels que la somme des forces qui les crée est nulle, on dit qu'on a un **couple**.

## Application en aéronautique

En ce qui concerne les avions, il existe **trois axes** : axe de lacet, axe de tangage et axe de roulis. Ces trois axes sont concourants en un point unique : le **centre de gravité**. Le rôle des gouvernes est de provoquer des rotations autour de ces axes en faisant apparaître un moment.

Pour que le moment soit le plus efficace, le point d'application de la force doit être **le plus loin possible de l'axe de rotation** : la gouverne de tangage et la gouverne de direction sont placées en bout de queue, tandis que les ailerons sont situés en bout d'aile.

## Le centre de poussée

Le centre de poussée est le **point d'application de la portance** de l'aile. Sa position dépend de la forme de l'aile (sortie des ailerons par exemples) et de l'incidence.

## Le foyer

Le foyer est le point particulier où s'appliquent les **variations de portance** dues au pilotage ou à la **masse d'air**. Sa position est peu affectée par la vitesse ou la configuration. Le **centre de gravité** doit impérativement se trouver en avant du foyer qui constitue la limite arrière du **centrage**.

## Le facteur de charge

Le facteur de charge (ou  $G$ ) exprime le rapport du poids apparent (**portance** à un moment donné) sur le poids (**portance** en vol en palier). Soit  $P$  le vecteur poids et  $Pa$  le vecteur poids apparent, nous avons :

facteur de charge :  $n = ||Pa|| / ||P||$

## Equilibre de l'avion

Dans le cas d'un vol en ligne droite, les variations du facteur de charge pour le passager sont généralement imperceptibles. Par contre, dans un **virage en palier** (sans monter ni descendre) et à **vitesse constante**, le facteur de charge augmentera avec l'**inclinaison** du virage. Par exemple, une inclinaison de 60° correspond à un facteur de charge égal à 2G (autrement dit, on a l'impression de peser 2 fois son poids).

Dans le cas d'un changement rapide de trajectoire dans le plan vertical (ressource), le facteur de charge est d'autant plus important que la vitesse de l'avion est grande et que le rayon de courbure de la trajectoire est petit.

**La vitesse de décrochage augmente avec le facteur de charge.**

La plupart des avions légers peuvent supporter des facteurs de charge allant de +4 à -2. Les valeurs limites sont indiquées dans le manuel de vol.

Lorsque l'appareil pique, un afflux de sang dans le cerveau fait involontairement baisser les paupières : c'est le "voile rouge". Au contraire, lors du "voile noir", le sang ne peut plus circuler vers le haut du corps et irriguer le cerveau mais va s'accumuler dans les pieds.

## Equilibre de l'avion

En vol rectiligne horizontal stabilisé :

- La portance est égale au poids et la poussée (ou traction) est égale à la traînée
- La somme des moments des 4 forces par rapport à l'axe de tangage doit être nulle
- La portance doit passer par le centre de gravité (point d'application du poids)

L'équilibre de l'avion autour de l'axe de **tangage** est assuré par l'ensemble : **plan fixe horizontal** et **plan mobile de profondeur**.

## Stabilité de l'avion

### Position du centre de gravité par rapport au foyer

On appelle **marge statique** la distance entre le foyer et le centre de gravité.

Si le centre de gravité est en **arrière** du foyer, la variation de portance appliquée au foyer aura pour conséquence de faire diverger l'avion de sa position initiale : l'avion est en équilibre **instable**. S'il est en **avant**, la variation de portance appliquée au foyer crée un moment de rappel qui ramène l'avion dans sa position initiale : l'avion est en équilibre **stable**. Donc :

***Pour que l'avion soit stable, le centre de gravité doit se trouver en avant du foyer***

Un avion **instable** obligerait le pilote à corriger sans cesse les variations de trajectoire. A l'inverse, un avion **trop stable** aurait tendance à revenir rapidement à sa position d'équilibre, sa réaction serait très lente : il ne serait plus maniable.

La gouverne de profondeur équilibre les déplacements du centre de gravité.

## Le centrage avant/arrière

La limite **avant** de centrage est une limite de **maniabilité** : l'avion est stable mais difficile à manoeuvrer (la gouverne de profondeur a peu d'efficacité).

La limite **arrière** de centrage est une limite de **stabilité**.

# Les aéronefs

**Aéronef** : tout appareil capable d'évoluer dans l'air, quelque soit son mode de sustentation (création d'une force s'opposant au poids) et le moyen utilisé pour sa propulsion (avion, ULM, hélicoptère, ballons, etc.). On distingue :

- les **aérostats** (plus légers que l'air, la sustentation est assurée par l'emploi d'un gaz) : ballons libres ou captifs, dirigeables
- les **aérodynes** (plus lourds que l'air, la sustentation est assurée par une voilure) : avion, planeur, hélicoptère

## Le ballon

Il est composé d'une enveloppe en tissu contenant le gaz, sur laquelle sont cousues des suspentes, assurant la liaison avec la nacelle. Son principe ascensionnel est dû à la **différence de masse volumique entre l'air ambiant (frais) et l'air chaud** dont la masse volumique est plus faible. En prenant de l'altitude, l'air chaud du ballon se refroidit au contact de l'enveloppe(car la température extérieure diminue), et la force ascensionnelle diminue. Il faut alors réchauffer l'air contenue dans l'enveloppe à l'aide d'un brûleur à gaz.

Il ne peut se mouvoir que **verticalement**, son déplacement relatif au sol est dû à la force et à la direction du vent. Les pilotes sont appelés aérostats ou aérostats suivant que l'appareil est à usage militaire ou civil.

## Le dirigeable

C'est un aérostat capable de se diriger dans **toutes les directions**. Son enveloppe a la forme d'un cigare dont la partie arrière est dotée de plan fixes (**stabilisateurs**) sur lesquels s'articulent des plans mobiles jouant le rôle de gouvernails (**gouvernes**). On utilise l'**hélium**, plus lourd que l'hydrogène, mais inerte (donc ininflammable) et tout de même 7 fois plus léger que l'air.

## L'ULM (Ultra Léger Motorisé)

Il en existe de 2 sortes :

- l'ULM **3 axes** (la structure de l'aile est assurée par des tubes en alliage d'aluminium, et recouverte de toile synthétique, tendue par des lattes)
- l'ULM **pendulaire** (à aile delta de forme triangulaire)

## Le planeur

Le planeur doit utiliser un système annexe pour s'arracher du sol, par exemple un avion remorqueur. N'étant **pas motorisé**, le pilote est à la recherche continue de **courants ascendants**. Sa forme est caractérisée par son **allongement** (rapport de l'envergure à la largeur moyenne de l'aile).

## L'hélicoptère

Sur l'hélicoptère, le rotor est entraîné mécaniquement par le moteur et assure non seulement la sustentation mais aussi la propulsion. Le rotor de queue est appelé **rotor anticouple**. La cellule est dotée d'un train

sommaire appelé **patins** ou d'un train d'atterrissage classique. Un rotor d'hélicoptère autorise des vitesses de translation maximales d'environ 300 km/h, contre 700 km/h pour un avion.

# Chargement et centrage

Le centrage d'un avion est un compromis entre la **manoeuvrabilité**, l'**efficacité** du pilotage et la **stabilité** de l'avion (voir le chapitre [stabilité](#)).

**Centrer un avion** consiste à déterminer la position du [centre de gravité](#) et à vérifier qu'il se trouve dans les limites certifiées. Ces limites dépendent du nombre et de la masse des occupants, de la position et de la masse des bagages, du carburant ainsi que des autres chargements.

## Vérification du chargement et du centrage

Avant chaque vol il faut obligatoirement vérifier que :

- les **limites de masses** sont respectées (masse autorisée au décollage, à l'atterrissage, sans carburant) sous peine de dépasser les limites structurales de l'avion : pour cela il faut calculer la masse de l'avion
- l'avion est **chargé judicieusement**, de façon à ce que le [centre de gravité](#) se situe entre les limites avant et arrière de centrage : le poids doit être réparti correctement entre l'avant et l'arrière de l'appareil
- les performances de l'avion sont compatibles avec les aérodomes utilisés

Pour cela, le pilote dispose de la **fiche de pesée** (document devant obligatoirement figurer à bord de l'avion), du manuel de vol et du manuel d'utilisation.

La fiche de pesée contient la **masse** et le **centrage** de l'avion à **vide**, ainsi qu'une **méthode** pour calculer le centrage de l'avion.

## Méthode utilisant des calculs

Le pilote va remplir un tableau.

### La colonne des masses

| Avion type                |       |        | Votre avion |      |        |
|---------------------------|-------|--------|-------------|------|--------|
| Charge                    | Masse | Moment | Masse       | Bras | Moment |
| Masse à vide              | 515   | 394    |             |      |        |
| Essence 93 litres d. 0.72 | 67    | 72     |             |      |        |
| Pilote et passager        | 154   | 145    |             |      |        |
| Bagages                   | 22    | 36     |             |      |        |
| Masse Totale              | 758   | 647    |             |      |        |

Le pilote commence par remplir la colonne **masse** en premier.

**La masse à vide de l'avion équipé (MVE)** est la masse de l'avion équipé du matériel de sauvetage permanent, du lot de bord permanent (les pièces détachées), des quantités normales d'huile et de fluide vidangeable, autres que le carburant et l'essence non consommable.

## La colonne des bras de levier

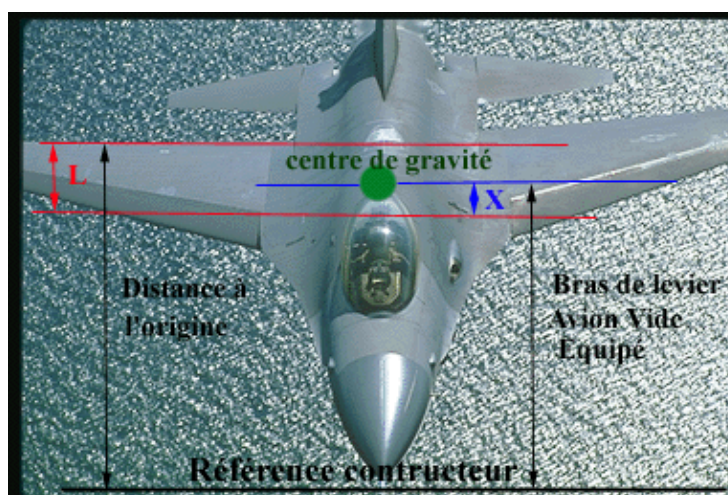
Il remplit ensuite la masse du *pilote*, celle du *passager avant* et celle du *passager arrière*, puis celle des *bagages* et celle de l'*essence* (dont la densité est égale à 0.72. Par exemple pour 100 litres :  $0.72 * 100 = 72$  kg).

Les réservoirs sont souvent situés dans les ailes.

Ainsi, le pilote peut savoir s'il ne dépasse pas la **masse maxi** autorisée par le constructeur.

## La colonne des bras de levier

Les bras de levier sont des distances données par le constructeur par rapport à une référence de l'avion. Cette **référence de centrage** est une ligne choisie par le constructeur. Elle peut être à une distance donnée du nez de l'avion, de la cloison "parez-feu" (cloison qui protège le pilote et les passagers en cas d'incendie) ou du [bord d'attaque](#).



Distance à l'origine, référence constructeur, bras de levier Avion Vide Equipé

On trouve les bras de levier dans le manuel de vol (attention les bras de levier changent en fonction des types d'aéronef).

## La colonne des [moments](#)

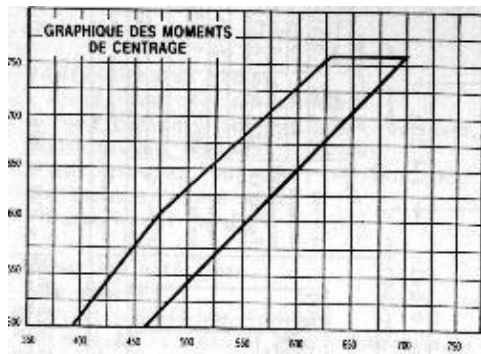
Enfin le pilote calcule les [moments](#) en multipliant les masses par les bras de levier.

| Elements                                                | Masse (Kg) | Bras de levier (mètres) | <a href="#">Moment</a> (mètres.Kg) |
|---------------------------------------------------------|------------|-------------------------|------------------------------------|
| Avion vide équipé (voir fiche de pesée)                 |            | *                       | =                                  |
| Essence                                                 |            | *                       | =                                  |
| Pilote seul à bord ou Pilote et passager en place avant |            | *                       | =                                  |
| Passagers place arrière                                 |            | *                       | =                                  |

## Conclusion

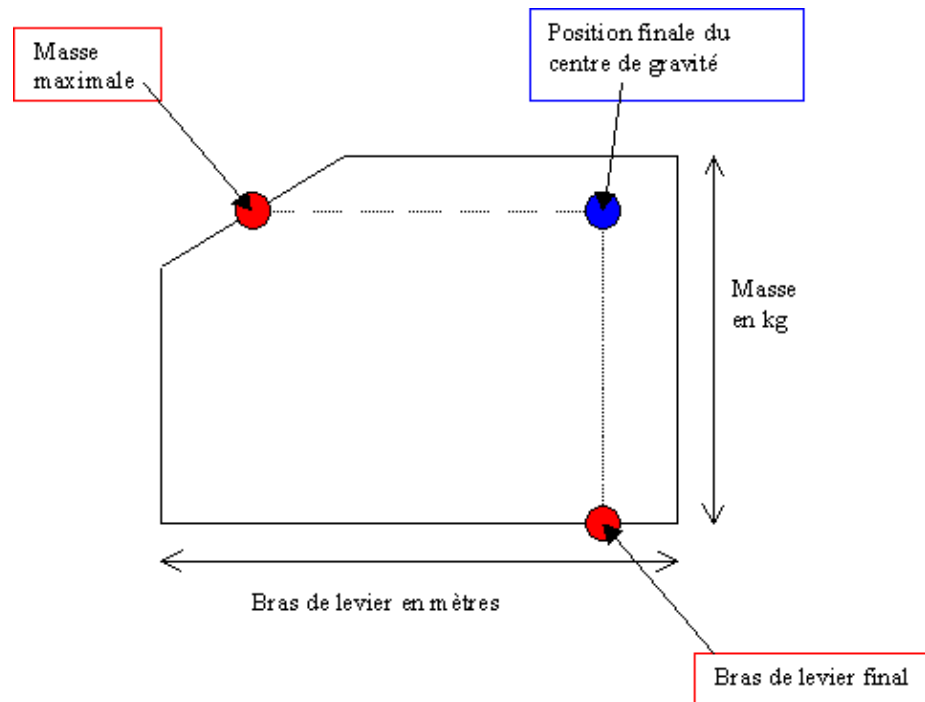
|                 |                     |   |                                                                              |                          |  |
|-----------------|---------------------|---|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--|
| Bagages (soute) |                     | * |                                                                              | =                        |  |
|                 |                     | * |                                                                              | =                        |  |
| <u>TOTAL :</u>  | →<br>(masse totale) |   | somme des moments /<br>somme des masses<br><br>= <b>bras de levier final</b> | ←<br>(somme des moments) |  |

## Conclusion



Pour déterminer le centrage on divise le total des moments par le total des masses. On obtient un bras de levier final. On peut ensuite reporter ce chiffre sur un abaque (graphique) et voir si le centrage se trouve dans l'enveloppe de centrage autorisé. Le graphique est appelé *Domaine de Vol* ou *Limites de centrage*.

Il faut veiller impérativement à ce que le centre de gravité soit situé à l'intérieur du cadre noir du graphique !



Le graphique de centrage

## Méthode graphique

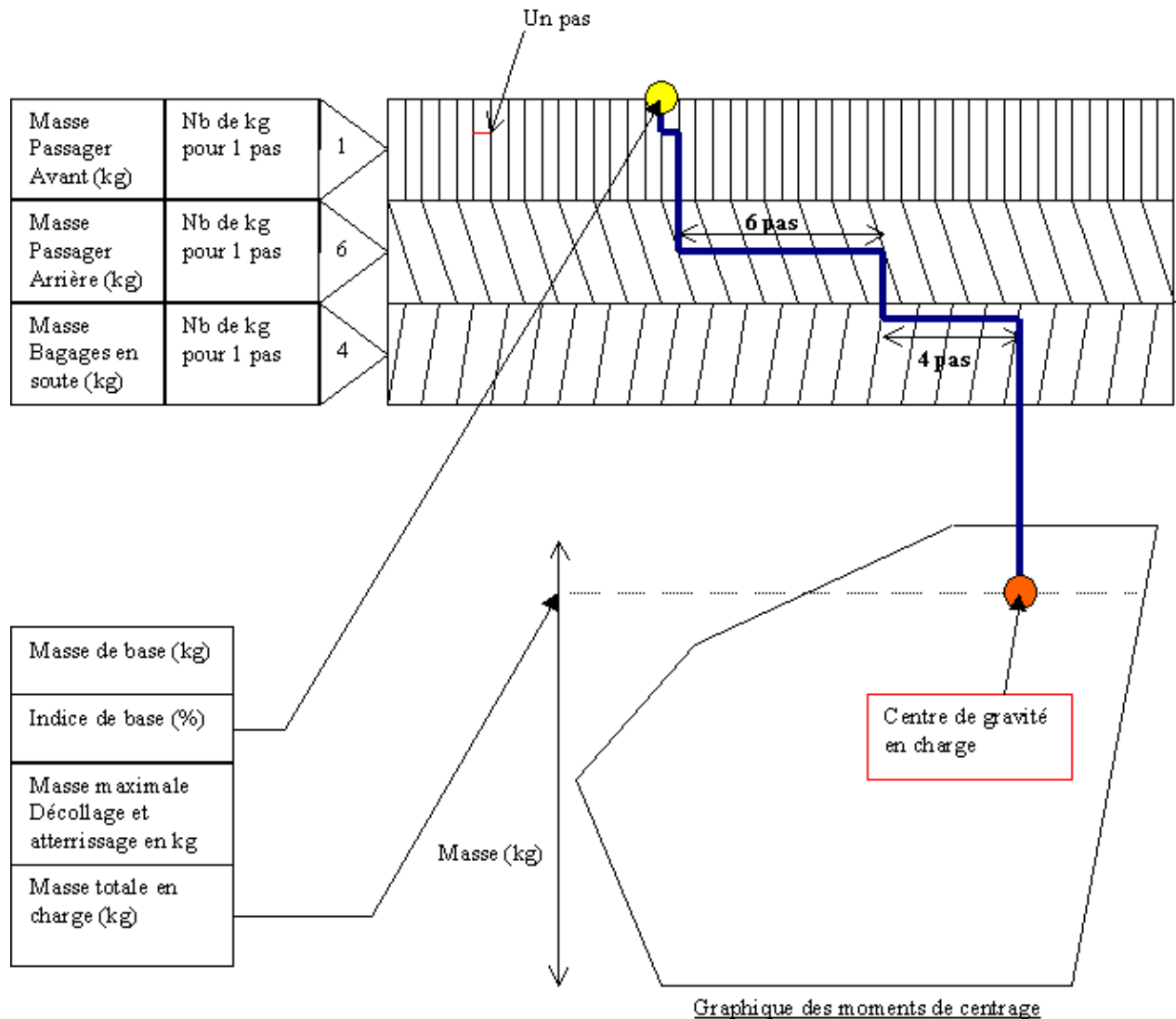
Cette deuxième méthode est plus simple et plus pratique car elle utilise peu de calculs.

Le pilote doit suivre sur une grille, dans un ordre précis, une trajectoire à travers des "échelles" horizontales. Ces échelles horizontales correspondent à chaque zone de chargement dans l'avion : passager avant, bagages, etc.

**Masse de base** : c'est la masse à vide de l'avion équipé (M.V.E) augmentée de la masse du pilote.

**Indice de base** : c'est un pourcentage obtenu par l'équation

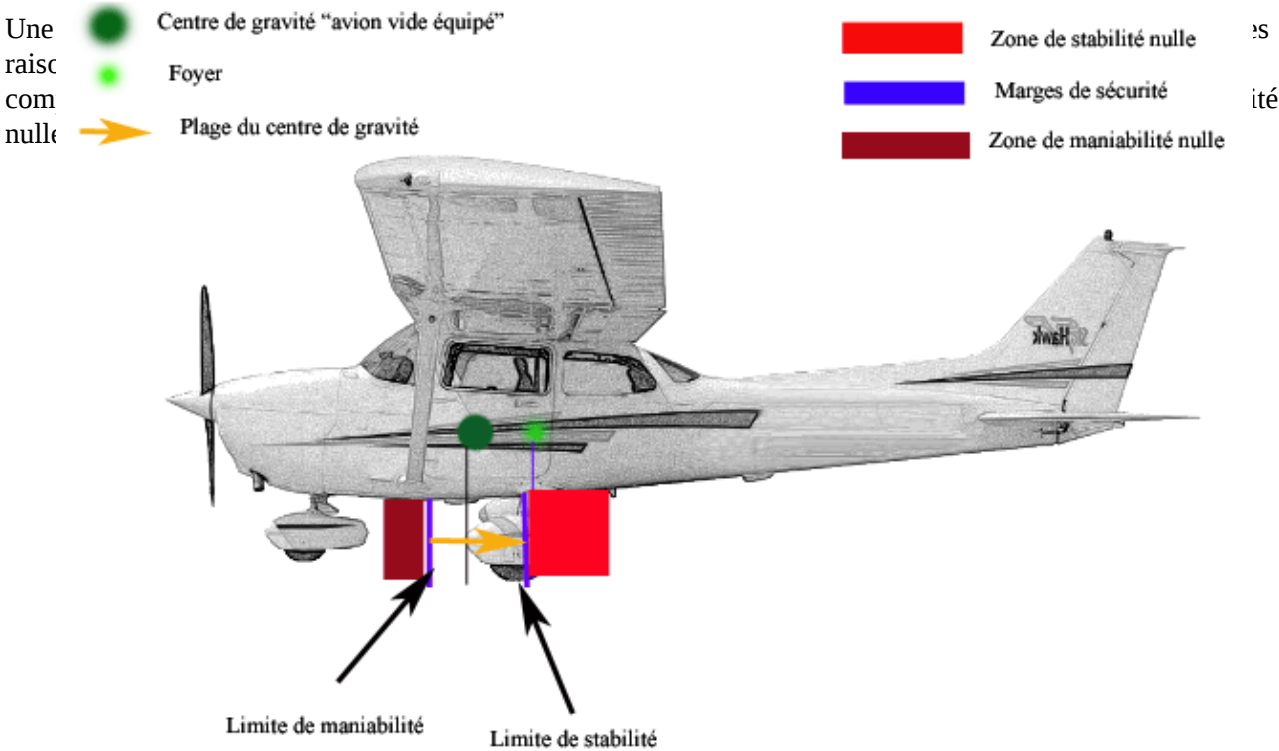
$$X / L = 100 * (\text{Bras de levier} - \text{Origine de la Corde}) / \text{Longueur de la Corde}$$



La méthode de calcul de centrage graphique

**Les limites du centrage**

On appelle **marge statique** la position du centre de gravité par rapport au foyer.



Les limites du centrage

|                                        | zone avant de la plage | zone arrière de la plage |
|----------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| <u>stabilité</u>                       | augmente               | diminue                  |
| manœuvrabilité                         | diminue                | augmente                 |
| braquage <u>gouverne de profondeur</u> | plus important         | moins important          |
| <u>traînée</u>                         | augmente               | diminue                  |

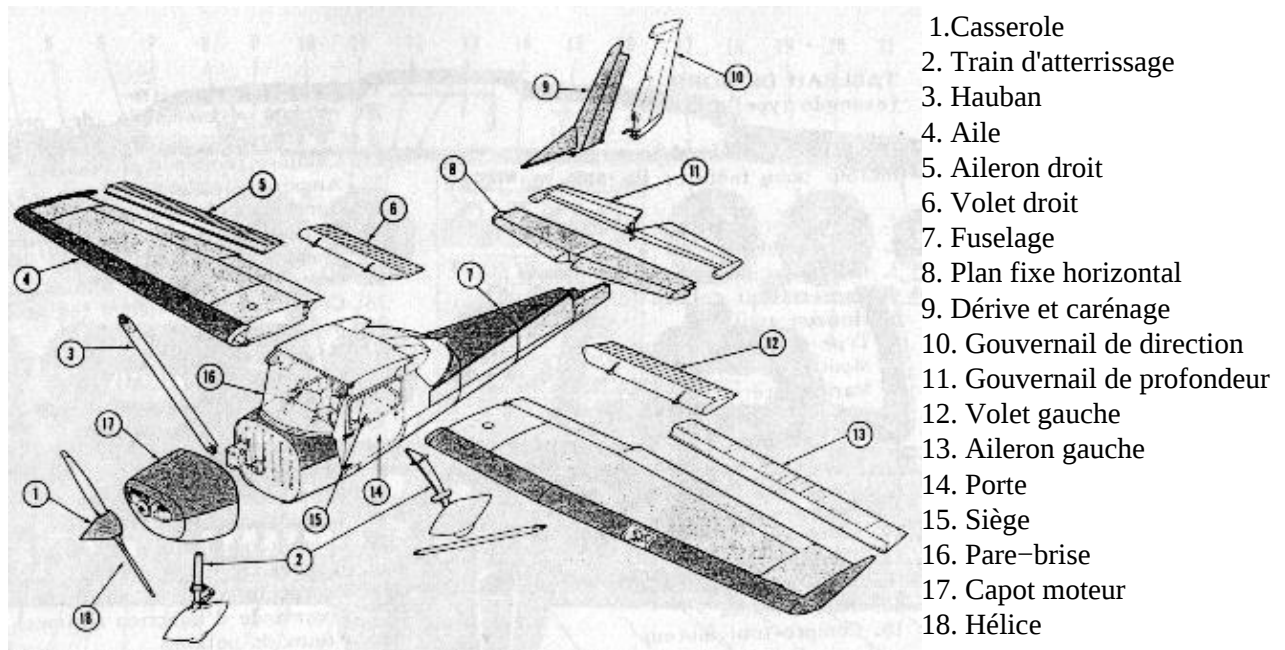
Que faire si le calcul de masse et centrage montre que la masse maximale de l'avion est trop importante ?

|              |          |         |
|--------------|----------|---------|
| consommation | augmente | diminue |
|--------------|----------|---------|

### **Que faire si le calcul de masse et centrage montre que la masse maximale de l'avion est trop importante ?**

Dans ce cas il faut **diminuer** la **répartition** (déplacer les passagers...) ou la **masse** des **charges à embarquer** (bagages, ...) ou décider d'une **escale technique** en route en partant avec moins de carburant.

# Description de l'avion



## La cellule

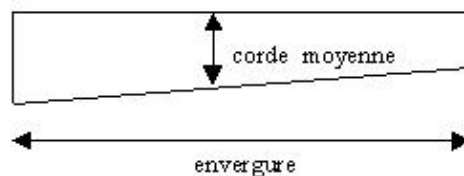
La cellule est constituée de la voilure, du fuselage, du train d'atterrissage, de l'empennage horizontal et de la dérive.

## La voilure

Elle est constituée des deux ailes qui contiennent les réservoirs de carburant et génère une force aérodynamique portante qui permet la sustentation de l'avion.



Aile rectangulaire



Aile trapézoïdale

**Bord d'attaque** : bord avant de l'aile

**Bord de fuite** : bord arrière de l'aile

**Emplanture** : partie de l'aile qui assure la jonction avec le fuselage

**Saumon** : forme profilée située à l'extrémité de l'aile

**Pennes** (en anglais : **winglet**) : dispositifs de bout d'aile destinée à réduire la [trainée](#) induite

**Envergure** : distance séparant les deux extrémités d'ailes

**Corde** : droite qui joint le bord d'attaque au bord de fuite

**Corde moyenne** : corde de référence

**Longueur de la corde moyenne** : largeur de l'aile

**Allongement** : envergure / longueur de la corde moyenne

Les planeurs ont des voilures à fort allongement alors que les avions de voltige ont des voilure à faible allongement.

**Dièdre** : angle formé par le longeron de l'aile avec le plan de l'horizontal lorsque l'avion est à inclinaison nulle. Il est positif si l'extrémité de l'aile est plus haute que l'horizontale, et négatif dans le cas contraire. L'A-10 possède des bouts d'ailes à dièdre négatif conçus pour réduire la résistance induite par les flux d'air au contact du bord d'attaque.

**Karman** : profil aérodynamique situé au niveau de l'emplanture de l'aile et destiné à optimiser l'écoulement de l'aile.

Le squelette de la voilure est constitué de **longerons** et de **nervures**. Les longerons assurent la rigidité de la voilure et supportent les nervures. L'espace entre les nervures est souvent utilisé pour loger les réservoirs de carburant (diminution de l'effort de flexion à l'emplanture de l'aile).

Les **matériaux** utilisés sont soit le **métal**, le **bois** et la **toile** ou les **matériaux composites** (fibre de verre ou de carbone, Kevlar, résines synthétiques).

Selon la position de l'emplanture de l'aile, l'avion est dit :

- à ailes hautes
- - à ailes médianes (avion de voltige)
- - à ailes basses

Pour accéder au poste de pilotage sur un avion à aile haute, il faut monter sur la partie de l'aile recouverte d'un revêtement antidérapant.

L'aile peut prendre plusieurs formes : rectangulaire (Avion léger type Robin DR 400), en flèche (avion de ligne) ou DELTA (Mirage 2000).

### Les profils supercritiques

Le profil des ailes qui équipent les avions de ligne modernes (famille Airbus) est supercritique. La vitesse des avions de ligne (de l'ordre de Mach 0.8) est relativement proche de la vitesse du son (Mach 1). Les filets d'air subissent une accélération autour d'un profil en particulier sur l'extrados de l'aile.

Cette accélération donne naissance, sur les **profils classiques**, à des zones où la vitesse d'écoulement est localement supersonique (Mach supérieur à 1). Cette zone d'écoulement supersonique génère une onde de choc qui s'accompagne d'une importante dégradation des performances de l'avion.

Sur les **profils supercritiques**, le nombre de Mach local maximal à l'extrados est atteint rapidement, et reste sensiblement stationnaire lorsque le Mach général augmente. L'intensité du choc de recompression (à l'arrière de l'onde de choc la vitesse redevient subsonique) reste ainsi limitée.

Ce type de profil, en plus de ces avantages aérodynamiques, permet de disposer d'une épaisseur relative plus importante, permettant d'**accroître la capacité en carburant** dans la voilure.

La forme du profil supercritique est caractérisé par :

- une zone plate à l'extrados
- l'intrados arrière est "creusé" et à une courbure inverse dans toute la partie avant

### Le fuselage

Le fuselage a une structure de caisson dont la rigidité est assurée par des **couples** et des **raidisseurs**. Les matériaux utilisés sont les mêmes que pour l'aile. Pour un avion de ligne, le fuselage comprend : la cabine, les soutes et le poste de pilotage. Sa forme dépend de la mission de l'aéronef et de son mode de construction : circulaire, elliptique, carré ou hybride.

### Les empennages

Leur rôle consiste à **stabiliser l'avion sur sa trajectoire**.

Ils se composent le plus souvent d'un empennage vertical (la **dérive**) et d'un empennage horizontal (**plan horizontal**). Ils sont généralement situés à l'arrière du fuselage, mais dans certains cas, l'empennage horizontal est placé à l'**avant** de l'appareil : c'est l'**empennage canard**. Il existe 3 types d'empennages :

- cruciformes
- en T
- en V

Quelques exemples d'empennages sur les avions de combat : le F-15 comporte une queue à 2 dérives qui lui apporte une meilleure stabilité en vol en ligne droite que celle que lui apporterait une seule dérive verticale de

## Le train d'atterrissage

surface comparable, le A-10 bénéficie également d'un double empennage vertical qui lui permet de rester en vol, même si l'une des dérives et/ou l'une des gouvernes sont détruites.

Sur les ailes et les empennages se trouvent des plans mobiles qui servent à diriger l'avion dans les 3 dimensions (**gouvernes et aérofreins**), et à modifier la forme de l'aile pour améliorer ses performances lors de l'atterrissage et du décollage (**becs et volets**).

### Le train d'atterrissage

Le rôle du train d'atterrissage est de permettre les **déplacements de l'avion au sol** et d'**amortir les chocs** subis lors de l'atterrissage. il existe 2 types de trains : le **train tricycle** (1 atterrisseur principal et une roulette de nez) et le **train classique** (1 atterrisseur principal et 1 roulette de queue). L'orientation de la roulette (de queue ou de nez) se fait à l'aide des palonniers.

**Voie** : distance séparant les roues du train principal

**Empattement** : distance entre les axes du train auxiliaire et du train principal

Pour pouvoir **atterrir** sur l'**eau** ou sur la **neige**, le pilote doit posséder :

- une qualification de classe relative aux hydravions
- une qualification particulière prévue par la réglementation française

### Les freins

Les freins sont disposés sur le train principal. il faut s'assurer de **ne pas avoir les pieds sur les freins** (lorsqu'ils sont situés sur le palonnier) avant l'**atterrissage** sur une piste bitumée (sous peine d'éclater un pneu lors du contact avec le sol) ou lors du **décollage** (pour ne pas dégrader les performances de l'appareil).

Chaque roue du train principal est doté d'un système "**à friction**" permettant de diminuer rapidement la vitesse de rotation de la roue, tout en évacuant les calories dégagées par ce frottement important. Généralement, chaque roue du train principal dispose d'un circuit de freinage indépendant.

Un **frein de parc** permet l'immobilisation de l'avion.

Si la piste est humide, il faut freiner de manière progressive, afin de ne pas provoquer d'hydroplanage.

### L'amortisseur

Différents types d'**amortisseurs** permettent d'absorber les chocs et les efforts dus au décollage ou à l'atterrissage :

- oléopneumatiques : 2 fluides (liquide, gaz) sont utilisés; lors de l'impact, l'association compression des gaz et freinage de l'écoulement de l'huile permet d'absorber l'énergie
- mécanique

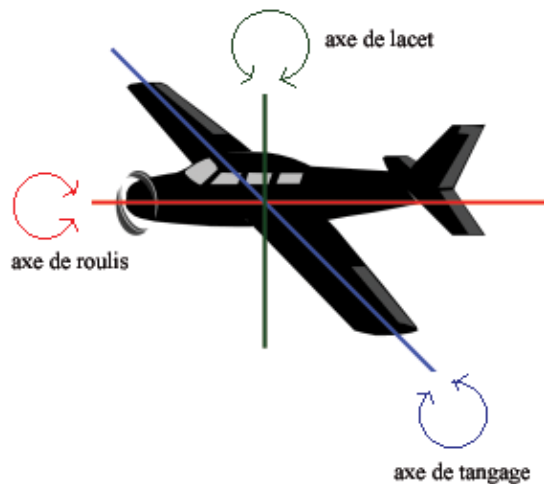
- par flexion du train principal

## Les commandes de vol

Le plus souvent le pilote occupe la partie de gauche. Le **manche** (déplacement d'avant en arrière) commande la **gouverne de profondeur** à l'aide de câbles ou de systèmes de biellettes et de tubes. Il commande également les **ailerons** (mouvement vers la gauche ou la droite). Les **palonniers** commandent la **gouverne de direction**. Ils permettent de contrôler l'avion au sol et d'effectuer un contrôle autour de l'axe en lacet en vol.

## Les gouvernes

Ce sont les surfaces mobiles commandées par les commandes de vol : la gouverne de profondeur, les ailerons, la gouverne de direction. Les gouvernes provoquent la courbure du profil, générant ainsi une force aérodynamique qui crée un moment par rapport à un des 3 axes (tangage, roulis, lacet).



Les 3 axes passent par le centre de gravité de l'avion

### La gouverne de profondeur : le tangage

L'axe de tangage passe d'une extrémité d'aile à l'autre. La rotation autour de l'axe est obtenue par une action sur la commande de profondeur.

Lorsque le **manche** est poussé vers l'**avant**, la gouverne de profondeur **s'abaisse**. Le plan horizontal voit alors sa portance augmenter, celle-ci créant un moment de tangage faisant baisser le nez de l'appareil (**à piquer**). Inversement, tiré en **arrière**, le manche provoque la rotation vers le haut de la gouverne, ce qui génère un moment de tangage **à cabrer**. La gouverne de profondeur joue donc sur l'assiette.

### Les ailerons : le roulis

L'axe de roulis passe du nez à la queue de l'avion. La rotation autour de l'axe est obtenue par une action sur la commande de gauchissement (**manche** à gauche ou à droite).

La portance augmente du côté de l'aileron baissé et diminue du côté de l'aileron levé : l'avion s'incline du côté du manche. En jouant sur l'inclinaison, les ailerons induisent une inclinaison de la portance, et provoque

le virage.

## La gouverne de direction : le lacet

L'axe de lacet est perpendiculaire aux 2 autres, entre par la tête du pilote et sort par son siège. La rotation autour de cet axe est obtenue par une action sur le **palonnier**. Il permet de **maintenir le plan de symétrie de l'avion dans le vent relatif**. La gouverne de direction se déplace dans le sens où le palonnier est poussé.

Lorsque les filets d'air autour du fuselage ne sont pas symétriques, il y a **dérapiage**. Le dérapage est l'angle formé par l'axe longitudinal de l'avion et par le vent relatif. A faible vitesse il peut être dangereux. Le dérapage d'un avion ayant un dièdre positif entraîne un roulis.

## Les effets secondaires des gouvernes

### Le lacet inverse

En vol lent, l'**aileron** qui s'**abaisse** dans une mise en virage **augmente** sa **portance** et sa **traînée**, provoquant un mouvement autour de l'axe de lacet. Pour le corriger, il faut agir sur le **palonnier** afin d'annuler la dissymétrie du vol.

### Le roulis induit

L'**aile extérieure au virage** a une **portance plus grande** que l'aile intérieure, créant un mouvement de roulis. Pour le corriger, il faut contrer l'augmentation d'inclinaison avec les **ailerons**.

### L'effet de girouette

Dans un **roulage** ou un **décollage** par **vent traversier**, les surfaces latérales sont frappées et l'avion tend à s'**orienter** dans le **lit du vent** ce qui nécessite une correction à l'aide du **palonnier**.

## Utilisation des gouvernes lors du roulage

- **Vent nul ou de face** : les gouvernes restent au neutre. Pour virer, agir sur le palonnier du côté où le pilote veut virer avec le manche/volant dans le sens opposé pour s'aider de la **traînée** des ailerons
- **Vent de travers** : mettre le manche/volant dans le vent pour éviter le soulèvement de l'aile et palonnier contraire pour contrer l'effet de girouette et conserver l'axe de roulement
- **Vent arrière** : manche/volant secteur avant pour éviter un soulèvement par le plan fixe
- **Dans les virages** : manche/volant dans le vent s'il est plein travers ou à 45° de face. Secteur vent de face, les commandes sont croisées, secteur vent arrière, manche/volant et palonnier sont conjugués

## Les compensateurs

Il existe des compensateurs de **profondeur** (agir dans le même sens que l'effort produit sur le manche), et sur certains types d'avions, des compensateurs de **direction** (ex: Beech 90) et d'**ailerons** (ex: CP140 AURORA ).

Ces systèmes ont pour but d'annuler les efforts de longue durée produits sur les commandes.

## L'assiette

L'assiette est l'**angle** que fait l'**axe du fuselage** avec l'**horizontale**. Visuellement, pour le pilote, l'assiette pourra être estimée en évaluant l'espace compris entre le repère capot et la ligne d'horizon. Lorsque le repère capot se déplace vers le **haut**, l'assiette de l'avion **varie à cabrer**. Ce mouvement s'obtient par une action sur le manche vers l'**arrière**. Inversement, lorsque le repère capot se déplace vers le **bas**, l'assiette de l'avion **varie à piquer**. Ce mouvement s'obtient par une action sur le manche vers l'**avant**.

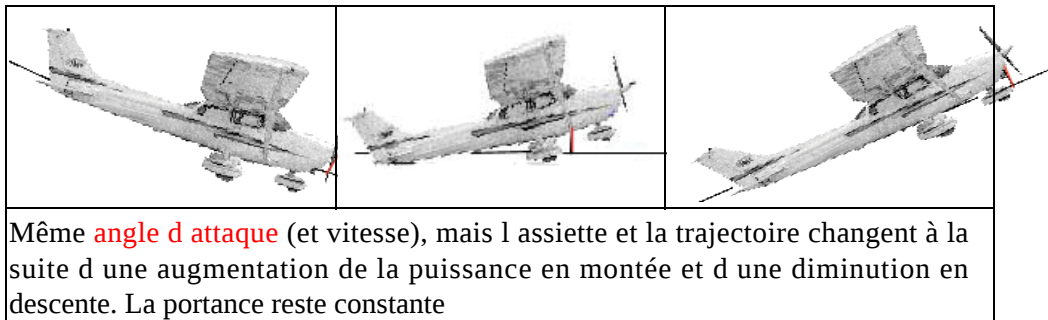
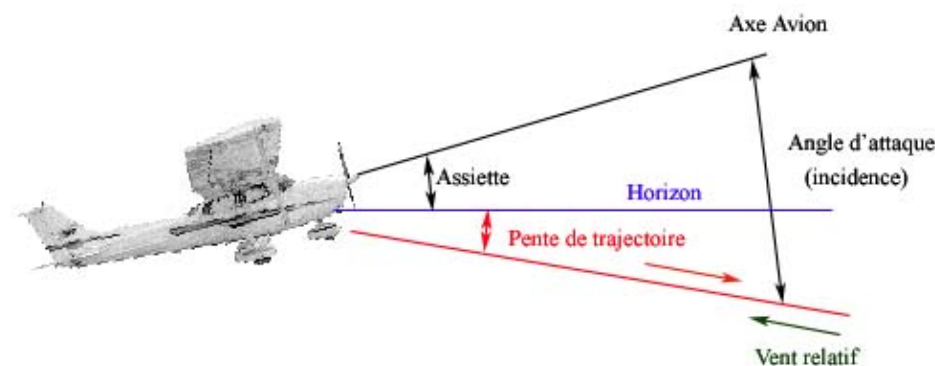
## L'angle d'attaque (ou angle d'incidence)

C'est l'angle formé entre l'axe longitudinal de l'avion et sa trajectoire. En vol horizontal, l'assiette correspond à l'angle d'attaque.

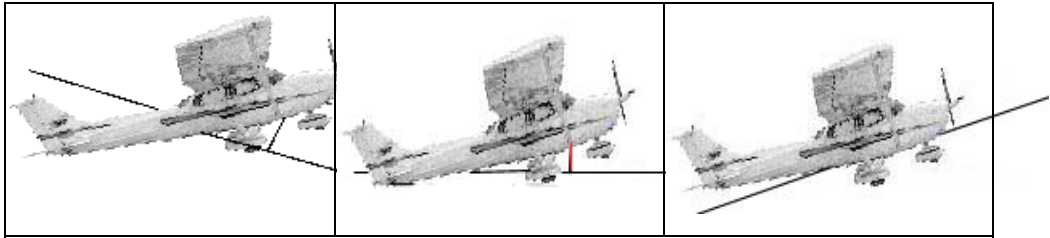
$$\text{Angle d'attaque} = \text{Assiette} + \text{Pente de trajectoire}$$

## La pente de trajectoire

C'est l'angle formé entre l'horizontale et la trajectoire opposée au vent relatif. Pour la modifier et conserver la vitesse constante, il faut accompagner le changement d'assiette d'une variation de puissance. Elle peut être ascendante ou descendante.



## L'assiette



Même [assiette](#), mais l'angle d'attaque change dans la montée rapide, l'incidence est plus faible après l'augmentation de puissance, et plus forte dans la diminution de puissance en descente vol lent.

# Les effets moteur

## Le couple cabreur ou piqueur

A vitesse stabilisée, une **augmentation de la puissance** tend à faire **cabrer** l'avion, alors qu'une **diminution de la puissance** tend à faire **piquer** l'avion. Pour contrer cet effet, il faut **agir sur la gouverne de profondeur**.

## Le souffle hélicoïdal

L'**écoulement de l'air** dans le sillage de l'hélice est **hélicoïdal**. Cet effet est d'autant plus important que le régime est fort et la vitesse faible (lors du décollage par exemple). Il a pour conséquence de modifier l'orientation du plan de symétrie. Les constructeurs résolvent le problème en croisière en effectuant un léger **désaxage** du moteur et de la dérive. Aux autres vitesses et puissances, il faut agir sur la **gouverne de direction** pour maintenir le vol symétrique.

# Les contraintes sur la cellule

La cellule est plus particulièrement la voilure sont soumis à des efforts de **torsion**, de **flexion**, de **traction** et de **compression** en fonction des différentes phases de vol. De plus, le **vieillessement** ("fatigue") diminue la résistance des matériaux.

## Limite élastique – rupture

Les matériaux comme le métal ou le bois se déforme suivant l'intensité de l'effort subi :

- le matériau se déforme puis reprend sa forme initiale à la fin de l'effort, la déformation est **élastique**
- le matériau se déforme mais ne reprend pas sa forme initiale, la déformation est **permanente**
- le matériau se déforme puis se casse, c'est la **rupture**

En aéronautique, **seule la déformation élastique est tolérée**. On trouve les vitesses limites en fonction de la configuration de l'avion et les facteurs de charge limites dans le **manuel de vol**, dans la section "Limitations".

## Vieillessement – fatigue des matériaux

Un matériau soumis à des **contraintes répétées casse**, même si ces contraintes sont en dessous de la contrainte amenant à la rupture : les matériaux ont une durée de vie limitée. C'est pourquoi les constituants des avions doivent être vérifiés lors de la visite d'entretien périodique.

## Efforts subis

### Au roulage

C'est le **train d'atterrissage** qui supporte principalement les efforts dus au décollage (ils sont dirigés vers l'arrière pendant le freinage et vers la droite ou la gauche pendant les virages). Afin de ne pas dépasser son domaine d'utilisation, il faut :

- éviter les freinages saccadés et brutaux
- éviter de tourner avec une vitesse trop importante et un rayon de virage faible

Au décollage, le pneu d'un avion de ligne accélère de 0 à 360 km/h en moins d'une minute. A l'atterrissage, il passe de 0 à 290 km/h en une seconde. Un pneu d'Airbus A320 a une masse de 75 kg, mais supporte 18 tonnes. D'où une déformation importante : l'écrasement atteint 32 à 35 % de la hauteur du flanc, contre 18 % sur un pneu de voiture.

Durant les phases d'approche et de décollage, la température du pneu passe de  $-50^{\circ}\text{C}$  dans le puit du train

## En évolution

d'atterrissage à +100°C, voire 150°C sur la couronne. On gonfle un pneu d'avion à une pression de 15 bars contre 2 à 3 bars sur une voiture.

## En évolution

Cette fois c'est la **voilure** qui supporte les efforts. En **virage** ou en ressource, la charge sur la voilure augmente avec le facteur de charge (la charge peut tripler en cas de ressource brutale), un pilotage doux s'impose si l'avion n'est plus très jeune. Il faut également veiller à ne pas lui imposer d'efforts trop importants en dépassant pas la **VNO** (Velocity Normal Operating, vitesse en conditions normales) en atmosphère turbulente et la **VRA** en air agité.

## En descente

Il faut veiller à ne pas dépasser la **VNE** (Velocity Never Exceed, vitesse à ne jamais dépasser).

## A l'atterrissage

Il ne faut pas se poser de manière trop **brutal**, avec une vitesse verticale de plus de 600 ft/min ("se poser dur"). Dans le cas contraire, il faut **prévenir le personnel chargé de l'entretien de l'avion**. Dans le cas d'un train tricycle, il faut veiller à **ne pas se poser sur la roulette de nez** mais sur la train principal en cabrant légèrement l'avion (c'est l'arrondi).

# Devenir Pilote privé

Les deux brevets permettent le vol VFR (Visual Flight Rules), c'est à dire le vol par +/- bonnes conditions météorologiques. Le brevet est obtenu, dans les deux cas, après avoir suivi une instruction au sol et en vol et satisfait à un examen théorique (de type QCM) et à une épreuve en vol.

Le coût d'une formation de pilote privé est directement lié à l'appareil utilisé et à la région. Le coût moyen de l'heure de vol en France est de l'ordre de 90 €. En retenant le minimum réglementaire exigé pour une formation de pilote privé complète, soit 45 heures, le prix varie de 3800 à 4500 auquel il faut ajouter l'inscription en aéroclub et un minimum de matériel (documentation aéro., casque etc.).

## Conditions d'obtention

|                                         | <b>Brevet de base</b><br>(brevet franco-français)                                                                                                                                                         | <b>PPL</b><br>(Privat Pilot Licence, ou brevet de Pilote Privé)                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Age minimum                             | 15 ans                                                                                                                                                                                                    | 17 ans                                                                                                                                                                                                        |
| Atterrissages/décollages                | 20 atterrissages                                                                                                                                                                                          | Trois décollages et trois atterrissages complets seul à bord sur un aérodrome contrôlé                                                                                                                        |
| Heures en double commande (instruction) | 6                                                                                                                                                                                                         | 25<br>(45 heures de vol en tout)                                                                                                                                                                              |
| Heures en solo                          | 4                                                                                                                                                                                                         | 5 heures minimum de vol en campagne en solo dont un vol d'au moins 270 km (150NM) en campagne au cours duquel deux atterrissages complets seront effectués sur deux aérodromes différents de celui de départ. |
| Condition médicale                      | Visite médicale devant un médecin agréé valable 2 ans pour les moins de 40 ans, et un an pour les plus de 40 ans                                                                                          |                                                                                                                                                                                                               |
| Examen théorique                        | 100 à 200 questions sous forme de Q.C.M.<br><br>Matières : réglementation, connaissances générales de l'aéronef, mécanique de vol, performances en vol et préparation du vol, navigation, météorologie et | Q.C.M avec au moins 90 % de réponses justes. Le certificat est valable deux ans.                                                                                                                              |

## Privilèges accordés par le brevet

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | <p>procédures opérationnelles, performances humaines et ses limites, communication.</p> <p>Réussite : 75% minimum des points alloués à chaque épreuve.</p> <p>Certificat valable 2 ans.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Examen en vol | <p>De préférence sur avion monomoteur comportant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– une VHF</li> <li>– un VQR ou un ADF</li> <li>– un horizon artificiel</li> <li>– un conservateur de cap</li> <li>– un altimètre sensible (1 tour/10000ft)</li> </ul> <p>Interrogation orale (connaissances opérationnelles).</p> <p>L'examineur est un pilote inspecteur ou examinateur désigné par le chef du District. L'épreuve de navigation doit durer au minimum 60 mn sur un parcours désigné par l'examineur.</p> | <p>Sur avion monomoteur ou sur planeur à dispositif d'envol incorporé. Interrogation orale (connaissances opérationnelles).</p> <p>L'examineur est l'instructeur qui a formé le candidat ou dirigé sa formation ou qui l'a conduite à son terme. Examineur désigné par l'administration. Le vol dure au moins 40 minutes.</p> |

## Privilèges accordés par le brevet

| <i>Brevet de Base</i>                                                                                                                                                    | <i>PPL</i>                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Le Brevet de Base autorise les vols :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• en tant que commandant de bord seul à bord</li> <li>• sans rémunération</li> </ul> | <p>Le PPL autorise les vols :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• en tant que commandant de bord avec passagers ou fret</li> <li>• sans rémunération</li> </ul> |

## Extensions possibles

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• sur avion ou planeur à dispositif d'envol incorporé du type de celui utilisé pour l'examen en vol</li> <li>• dans un rayon de 30 km autour de l'aérodrome de départ</li> <li>• hors espaces contrôlés ou réglementés</li> <li>• au dessus du territoire national.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• sur tout avion ou planeur à dispositif d'envol incorporé, dont il possède la qualification de classe ou de type dans les espaces aériens où le français est utilisé</li> <li>• partout en France et à l'étranger (sous réserve d'obtention d'une habilitation "Anglais Aéronautique")</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Extensions possibles

| <i>Brevet de base</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <i>PPL</i>                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>A court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nouveau type d'appareil</li> <li>– accès à un aérodrome situé en espace aérien contrôlé ou réglementé</li> <li>– emport d'un passager sous réserve que le pilote remplisse les conditions suivantes : âgé de plus de 16 ans, plus de 20 heures de vol seul à bord, 5 heures de vol seul dans les deux derniers mois.</li> </ul> <p>A plus long terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vol VFR contact avec atterrissage sur un aérodrome autre que celui du décollage</li> <li>– Utilisation d'aérodrome à caractéristiques spéciales</li> <li>– Utilisation d'altisurfaces spécifiées</li> <li>– Vol local de nuit</li> <li>– Voltige</li> <li>– Remorquage de planeurs</li> <li>– Largage de parachutistes</li> <li>– transport de plusieurs passagers</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– voltige</li> <li>– remorquage de planeurs</li> <li>– largage de parachutistes</li> <li>– qualification montagne</li> <li>– vol de nuit</li> <li>– vol aux instruments.</li> </ul> |

## Renouvellement de la licence

| <i>Brevet de base</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <i>PPL</i>                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Visite médicale valide et :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 10 heures de vol comme Commandant de bord sur avion ou planeur à dispositif d'envol incorporé dans les douze derniers mois ou</li> <li>– 5 heures de vol comme Commandant de bord dans les six derniers mois (pilote âgé de plus de 40 ans) ou</li> <li>– test en vol devant un instructeur habilité</li> </ul> <p>Validité de la licence :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– moins de 40 ans : 2 ans</li> <li>– plus de 40 ans : 1 an</li> </ul> | <p>Renouvellement automatique sous réserve d'avoir passé une visite médicale (valable 2 ans pour les pilotes de moins de 40 ans) et d'un contrôle avec instructeur valable 2 ans quel que soit l'âge du pilote.</p> |

# Devenir Pilote de ligne

L'Anglais est une condition sine qua non pour exercer le métier de pilote de ligne..

Il y a plusieurs possibilités pour devenir pilote de ligne :

## Les filières gratuites

On trouve l'Ecole Nationale de l'Aviation Civile ([ENAC](#)) et la sélection Cadets d'[Air France](#). Toutes deux recrutent sur concours au niveau minimum Math Sup ou Bac S +2 à +5 années d'études supérieures scientifiques. La formation est gratuite (les Cadets Air France sont même rémunérés durant leur formation).

L'ENAC n'assure pas un travail en fin de formation (au pilote de trouver sa compagnie) tandis qu'Air France assure une place de copilote chez eux en fin de formation.

## Les filières autodidactes

Cette filière est moins connue du public, on l'appelle la filière "aéro-club".

La formation est payante et longue (elle peut durer de 2 à 10 ans voir plus selon les moyens financiers disponibles). Le pilote passe successivement les différentes licences (pilote privé, pilote professionnel, vol aux instruments, travail en équipage, etc...) tout en accumulant des heures de vol. Cette filière demande donc de gros sacrifices et ne débouche pas automatiquement sur un emploi.

## L'expatriation

Aux Etats-Unis, la licence coûte beaucoup moins cher. Malheureusement, il est impossible de travailler là-bas à moins d'être détenteur d'une "green card" (permis de travail). Il faut donc encore une fois s'expatrier vers un pays reconnaissant les licences FAA (américaines). C'est le cas d'un très grand nombres d'états (excepté les pays européens). Il y a également la filière Canadienne qui se rapproche de celle américaine et qui permet peut-être avec plus de facilité de rester travailler sur place ensuite.

# Devenir pilote militaire

## Filière accessible par concours Maths SUP/SPE

Elle est valable aussi bien pour l'[Armée de l'Air](#) (Concours de l'Ecole de l'Air) que pour l'[Aéronavale](#) (Concours de l'Ecole Navale).

## Filière accessible après le bac

### Le concours de l'[Armée de l'Air](#) (Elève Officier du Personnel Navigant)

Il comprend :

- Un examen psychotechnique
- Une épreuve sur simulateur d'évaluation d'aptitude au pilotage
- Des épreuves sportives (course, saut en hauteur, lancer de poids, grimper, natation)
- Une épreuve d'anglais sous forme de questionnaire à choix multiple (150 questions)
- Des entretiens destinés à estimer la motivation, l'aptitude et les capacités du candidat à s'adapter aux fonctions d'officier et au métier de pilote militaire

Les candidats sont ensuite convoqués pour la visite médicale dans un CEMPN (Centre d'Expertise Médicale du Personnel Navigant). La visite médicale est la même que celle des navigants professionnels civils avec des minimums supérieurs au niveau de la vue et de l'ouïe ainsi qu'une radiographie du dos pour vérifier l'aptitude au siège éjectable.

Après la réussite aux épreuves de présélection, la sélection se poursuit par une sélection au vol sur entraîneur de vol et une sélection en vol. Le candidat reçoit parallèlement une instruction militaire de base, une formation militaire de l'officier, une instruction professionnelle théorique du personnel navigant et il effectue un stage d'anglais et un stage de parachutisme. A l'issue de cette sélection, s'il est reconnu apte, il intégrera le cursus de pilote militaire de l'Armée de l'Air.

### Le concours de la [Marine](#) (Elève Officier Pilote de l'Aéronautique Navale)

Le candidat passe d'abord un test de culture (maths, électricité, physique chimie, orthographe, grammaire, anglais et littérature) de niveau 3ème à bac, voir bac + 3. Les notes de français, littérature et anglais ne sont pas éliminatoires.

Puis il passe un entretien de motivation avec un militaire du BICM (Bureau d'Information sur les Carrières de la Marine Nationale). Si ses résultats sont jugés satisfaisants, il passe alors des tests psychotechniques, d'anglais, sportifs, sur simulateur et des entretiens.

# Piloter avec un handicap

Seul le handicap des membre inférieurs peut donner accès à un statut d'Elève, puis de breveté. Aucun autre handicap ne permet actuellement d'obtenir le Brevet de Pilotage.

Pour être élève, il suffit de passer une visite médicale comme toute personne valide chez un médecin agréé Aéronautique. La visite aboutira à un refus, et le futur élève devra faire une demande de dérogation adressée au Conseil Médical Supérieur de l'Aviation Civile. A la demande du conseil, le Pilote Inspecteur devra constater que le futur élève monte et descend seul de l'appareil spécialement équipé de commandes manuelles.

Après dérogation de la visite médicale, les pilotes deviennent élèves standards et ne sont plus considérés comme handicapés.

## Liens

[HandyFlying](#) est un club ayant des activités orientées handicap moteur dans les Alpes Maritimes, les Bouches- du- Rhône, le Var et le Rhône. L'association permet de découvrir l'espace aérien, ou d'apprendre à piloter sur un avion spécialement équipé de commandes manuelles afin d'obtenir le brevet de pilote.

[L'aéroclub Paul Louis Weiller Association Aérienne d'Handicapés Physiques \(AAHP\)](#) basée aux Mureaux (Yvelines) a pour but de "promouvoir le pilotage d'avions pour les personnes handicapées en France".

[Le Cercle Vélivole Raymond Schalow \(CVRS\) de Vétheuil](#) (Val d'Oise) a pour but de promouvoir le pilotage de planeurs pour les personnes handicapées en France.

[Handivol](#), à Caen (Calvados) propose des vols d'initiation et une préparation au brevet de pilote. La [liste de diffusion des pilotes francophones](#) propose notamment une [liste d'aéroclubs pour personnes handicapées](#).

Enfin, [Aviation Sans Frontières](#) propose, parmi ses nombreuses oeuvres humanitaires, de faire découvrir l'aéronautique aux personnes handicapées ("Les ailes du sourire").

L'[association Européenne des Pilotes Handicapés Visuels "Les Mirauds Volants"](#) propose aux adultes aveugles ou amblyopes d'accéder au pilotage des avions, planeurs et autres aéronefs.



# Aérodynamique

[L'aile](#)

[Le tube de Venturi](#)

[Le tube de Pitot et de Prandtl](#)

[Portance et traînée](#)

[La finesse](#)

[La résultante aérodynamique](#)

[La polaire](#)

[Le diagramme des puissances](#)

[Etude des trajectoires dans le plan horizontal](#)

[Le décrochage et l'hypersustentation](#)

[Les dispositifs hyposustentateurs](#)

[Relation entre la vitesse et l'incidence](#)

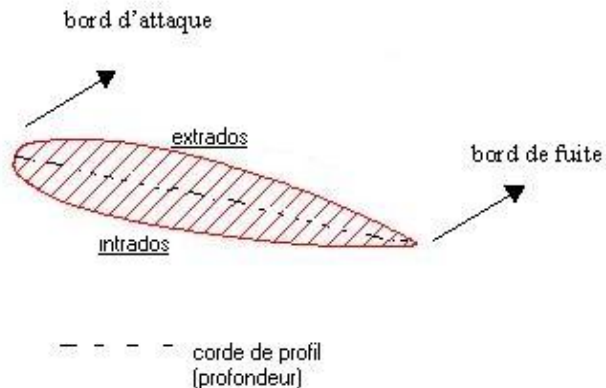
[Relation entre la vitesse et la trajectoire](#)

L'aérodynamique est l'étude des phénomènes qui se créent autour d'un aéronef en déplacement dans l'air.

# L'aile

La partie avant de l'aile s'appelle le **bord d'attaque** (c'est la partie de l'aile qui reçoit le vent relatif), la partie arrière s'appelle le **bord de fuite**.

L'**intrados** est la surface inférieure de l'aile et l'**extrados** est la surface supérieure de l'aile. C'est la surface la plus bombée.



L'**envergure** est l'encombrement d'un avion ou d'une aile d'avion, mesuré perpendiculairement à l'axe de vol.

La **corde de profil** (ou profondeur) est la distance comprise entre le bord d'attaque et le bord de fuite.

La **surface S** est une surface de référence qui tient aussi compte de la partie de l'aile cachée par le fuselage.

La **surface alaire** exclut les surfaces des gouvernes de profondeur car celles-ci ne portent pas, elles stabilisent.

L'**allongement** ( $\lambda$ ) est le rapport de l'envergure d'une aile d'avion à sa profondeur. En augmentant l'allongement d'une aile on améliore ses qualités aérodynamiques à faible vitesse. Sur les meilleurs planeurs, l'allongement dépasse 20. En revanche, on peut se limiter à un allongement inférieur à 3 sur un appareil supersonique dont la maniabilité à faible vitesse est de ce fait compromise.

$$\lambda = \frac{\text{Envergure}}{\text{profondeur moyenne}}$$
$$\lambda = \frac{\text{Envergure}^2}{S}$$

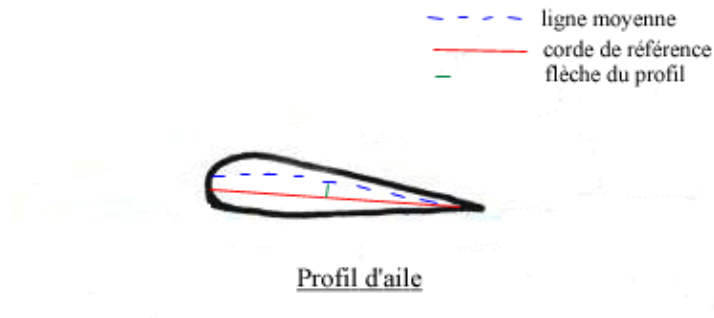
La **flèche** est l'angle compris entre une ligne de référence (le bord d'attaque) et la perpendiculaire au plan de symétrie de l'avion.

## L'incidence

Le **dièdre** est l'angle formé par le plan moyen de chaque aile et le plan moyen des ailes.

La **ligne moyenne** est la courbe (en pointillés) qui joint le bord d'attaque au bord de fuite. Tous ces points se trouvent à égale distance de l'intrados et de l'extrados.

La **flèche du profil** est l'écart maximal entre la ligne moyenne et la corde de référence.



## L'incidence

L'incidence est l'**angle** formé entre l'**aile** et le **vent relatif** (positif, nul ou négatif)..

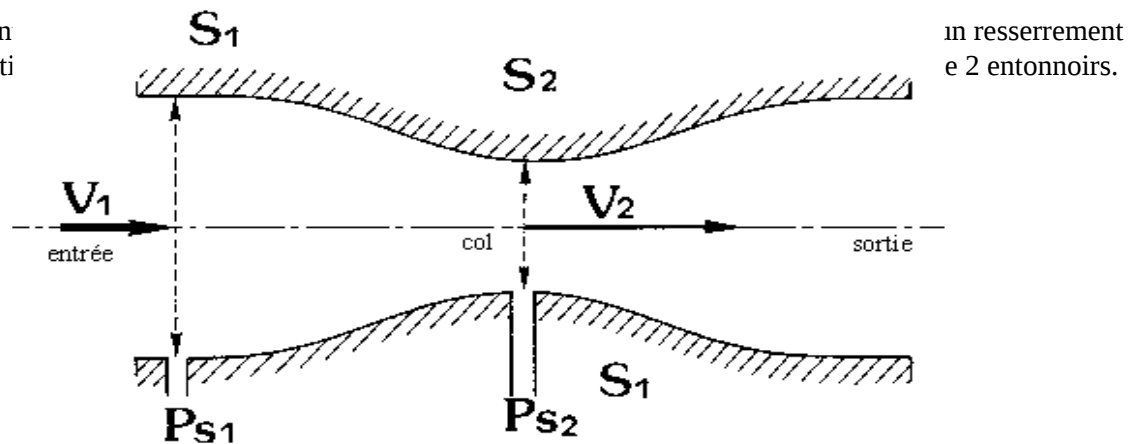
**corde du profil** : droite joignant le [bord d'attaque](#) et le bord de fuite.

L'incidence est donc l'angle formé par la corde de profil et la direction du vent relatif.

La résultante aérodynamique est d'autant plus grande, que l'**incidence** est importante.

# Le tube de Venturi

Le tube de Venturi interne. On l'utilise



Tube de Venturi : au rétrécissement du tube, la vitesse augmente et la pression diminue

La quantité d'air qui passe à l'entrée du tube est identique à celle qui passe au col (passage le plus étroit) et à la sortie : le **débit de l'air est constant**. Seules les vitesses sont différentes : il se produit une accélération des particules d'air au rétrécissement du tube, jusqu'au passage du col. Puis, la vitesse du vent diminue et retrouve, à la sortie, sa vitesse d'origine.

Un fluide qui passe dans un tel tuyau voit sa pression baisser par le fait de franchir le resserrement, en même temps que sa vitesse s'accroît. En clair, cela signifie que si la **section du tube décroît**, la **vitesse** des filets d'air doit alors nécessairement **augmenter**. Quand la vitesse du fluide augmente, sa **pression diminue**.

En résumé :

| section du tube                    | S1 (entrée) | S2 (col) | S3 (sortie) |
|------------------------------------|-------------|----------|-------------|
| vitesse du vent                    |             | Maxi     |             |
| <a href="#">pression statique</a>  |             | Mini     |             |
| <a href="#">pression dynamique</a> |             | Maxi     |             |
| <a href="#">pression totale</a>    | CONSTANTE   |          |             |

## Définitions et formules

### La pression atmosphérique

La pression atmosphérique est la **pression exercée par l'air qui entoure la terre**. Elle varie selon le moment considéré, la température, la latitude et surtout l'altitude. Elle équivaut à environ 76 cm de Hg au niveau de la mer. 1 atmosphère = 1 bar = 760 mm Hg = 1 kgf / cm<sup>2</sup>. La pression atmosphérique est mesurée à l'aide des

## La pression statique

baromètres. Elle permet, en partie, de prévoir le temps. Une chute importante de la pression sur le baromètre de bord annonce l'arrivée d'une dépression souvent génératrice de coup de vent.

## La pression statique

La pression statique est la **pression de l'air au repos**. Elle est égale à la **pression atmosphérique** et est indépendante de la vitesse. Elle se mesure à l'aide d'un baromètre.

## La pression dynamique

La pression dynamique représente la **pression exercée par des particules en mouvement** (ex : le vent). Elle est proportionnelle à la vitesse de l'air et à sa masse spécifique.

$$Pd = Pt - Ps$$

$$Pd = \frac{1}{2} \rho V^2$$

$\rho$  = densité de l'air (masse volumique)

V : vitesse de l'écoulement de l'air

## La pression totale

C'est l'addition de la pression dynamique et de la pression statique :

$$Pt = Pd + Ps = \text{constante}$$

$$\frac{1}{2} \rho V^2 + Ps = \text{constante}$$

## Le débit

**Débit d'un fluide (liquide ou gaz) s'écoulant dans une canalisation** : quantité de ce fluide qui traverse une section droite de l'écoulement pendant l'unité de temps. La quantité peut s'exprimer soit par le volume, soit par la masse (ou le poids)

**Débit volumique** : volume de fluide écoulé dans l'unité de temps. Il se mesure en mètre cubes par heure ou en litres par seconde

**Loi de conservation du débit volumique** : il ne peut pas y avoir accumulation de liquide en un point quelconque du circuit : le débit a donc une valeur constante à travers toute section droite du tuyau, d'où :

$$S1.V1 = S2.V2 = \text{constante}$$

## Applications

Les applications technologiques sont nombreuses : dans le carburateur des automobiles, par exemple, le carburant pénètre à l'état de vapeur à hauteur du resserrement, aspiré par la faiblesse de la pression de l'air qui a emprunté le tuyau. En aviation, ce système convergent-divergent se retrouve au niveau des ailes, entrées d'air, aubes des réacteurs, hélices, turbo-refroidisseurs (boite qui permet d'avoir une bonne température en

cabine).

## Une petite expérience

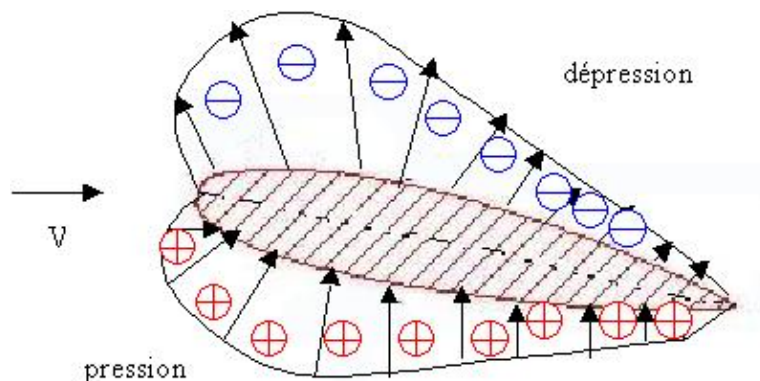
Prenez une feuille de papier. Tenez un de ces bords proche de votre bouche et laissez le côté opposé tomber. Soufflez maintenant sur la partie supérieure de la feuille : elle se soulève !

La feuille représente l'aile et vous avez créé le vent relatif.

## Explication

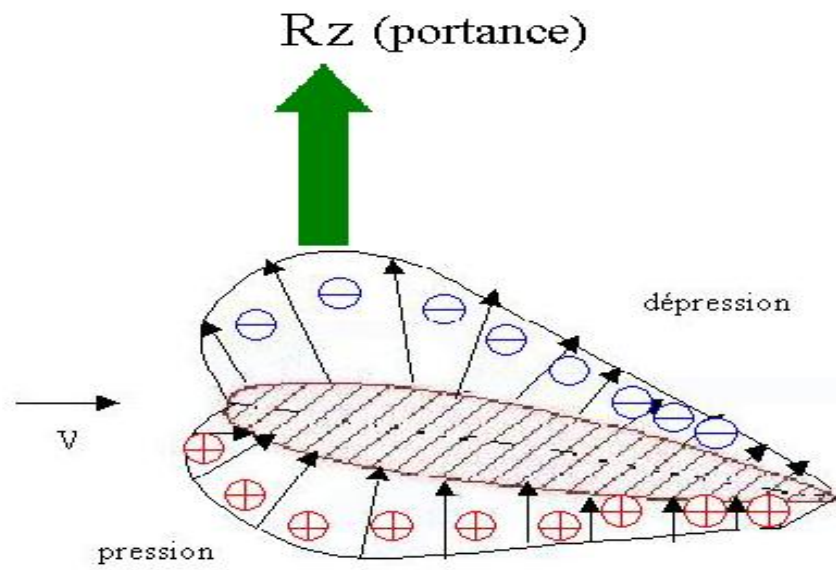
Les filets d'air parcourant la courbure supérieure de la feuille créent une dépression qui aspire la feuille vers le haut. Une aile se comporte donc comme un convergent-divergent (tube de Venturi) :

- les filets d'air supérieurs et éloignés ne sont pas perturbés par la voilure, ils forment la partie supérieure du convergent-divergent
- les filets d'air proches de la voilure épousent celle-ci, et forment avec elle la partie basse du convergent-divergent



les filets d'air à l'extrados augmentent de vitesse suite à la courbure, il se crée donc une dépression : l'aile est aspirée vers le haut

Contrairement à une idée répandue, ce n'est pas la (sur)pression de l'intrados qui soulève et fait voler l'avion : **70 % de la portance est fournie par la dépression de l'extrados.**



L'ensemble "dépression" de l'extrados et "surpression" de l'intrados forme la [portance](#)  $R_z$

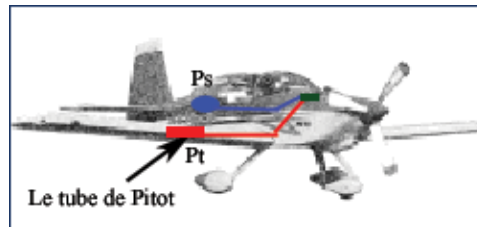
# Le tube de Pitot et de Prandtl

Ce tube doit son nom au physicien français **Henri Pitot**, qui l'inventa en 1732. Il permet la mesure de la **vitesse** d'un courant dans un tube horizontal. En introduisant un obstacle solide en un point donné de l'écoulement, on peut mesurer la pression du fluide en ce point. Elle est égale à la pression qui régnerait dans le tube en l'absence d'obstacle plus une quantité liée à la vitesse de l'écoulement. En faisant la différence des deux pressions, on obtient la valeur de cette vitesse.

Deux sondes mesurent la [pression totale](#) et la [pression statique](#). La sonde mesurant la [pression totale](#) se trouve à l'extérieur de l'aéronef et son entrée est orientée dans l'axe de l'appareil face au vent relatif. Celle mesurant la [pression statique](#) est située sur le côté et est insensible à la vitesse.

On obtient alors la [pression dynamique](#) par la formule :

$$\text{Pression dynamique} = \text{Pression totale} - \text{Pression statique}$$



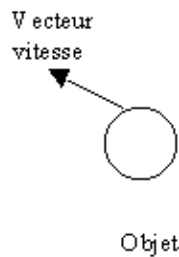
Le tube de Pitot

Plus tard, un physicien allemand du nom de **Prandtl** (1875 – 1953) a mis au point une sonde spécifique pour le domaine aéronautique. Les capteurs de pressions (totale et statique) sont regroupés dans une même sonde.

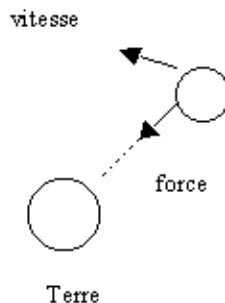
# Portance et traînée

## Dans l'espace

Soit un objet qui se déplace dans l'espace dans une direction et à une vitesse donnée. Ces 2 paramètres peuvent être représentés par son **vecteur vitesse**. Le rôle du vecteur vitesse est donc d'indiquer la vitesse et la direction du déplacement d'un objet en vol.



Selon Isaac Newton, cet objet continuera à se déplacer à cette même vitesse jusqu'à ce qu'il soit soumis à l'action d'une force supplémentaire. Une force appliquée perpendiculairement à son axe de déplacement ne modifiera pas sa vitesse, mais rapprochera la direction de l'objet de celle de la force appliquée.



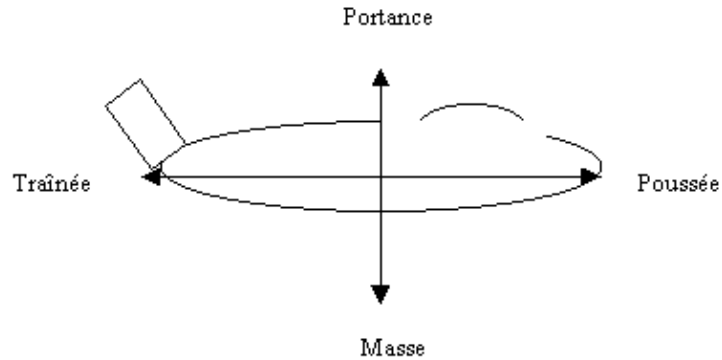
Par exemple, un satellite qui tourne autour de la Terre sera toujours attiré vers elle, mais ne s'écrasera jamais au sol.

## Application à l'aéronautique

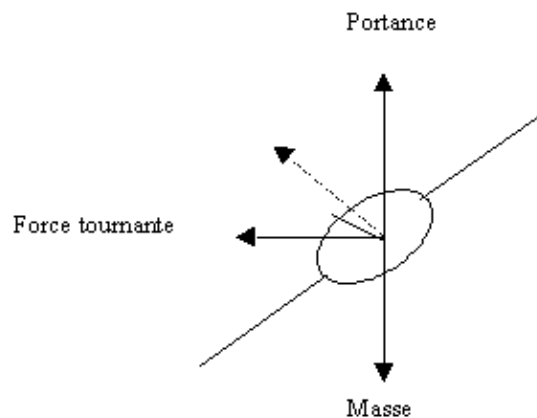
Imaginons maintenant que cet objet ne se trouve pas dans l'atmosphère, à 10000 pieds d'altitude. Il subit la pesanteur. En outre, son déplacement dans l'air occasionne une résistance, ou **traînée**.

Ces 2 forces (pesanteur et résistance de l'air ou **traînée**) se combinent pour ralentir l'objet et le faire tomber vers le sol. Si l'objet est un avion, cette tendance est contrecarrée grâce au moteur qui fournit une poussée capable de corriger les effets de la résistance de l'air. Grâce à la force de sustentation (la **portance**) des ailes, l'avion s'oppose à l'attraction terrestre ou pesanteur : la portance ( $R_z$ ) s'oppose au poids ( $mg$ ), le vol devient possible.

## Portance et traînée



Comme pour les satellites, seule une force perpendiculaire à l'axe cinétique d'un avion peut modifier sa direction. Vu de l'arrière, l'avion exécutera alors un virage sans changement d'altitude en s'inclinant latéralement d'un côté en augmentant la portance verticale compensant sa masse. Mais la portance horizontale, qui elle n'est pas compensée, fait virer l'avion.



Tout objet qui se trouve dans un écoulement d'air subit une force contraire à sa propre direction, créée par la résistance de l'air ou traînée. La portance introduit une traînée supplémentaire qui vient s'additionner à la traînée du profil normale. Cela signifie qu'un avion en **virage** a besoin de **davantage de poussée** pour maintenir sa vitesse. Un avion classique fonctionne en **abaissant** son **empennage** dont la portance provoque alors un **cabrage** de l'avion. L'aile prend ainsi un angle d'incidence plus important et acquiert suffisamment de portance pour effectuer un virage sans perte d'altitude.

Certains avions, sont munis d'ailes montées à l'avant appelées **canards** et qui pivotent pour relever le nez de l'avion. Sur le Rockwell B-1B par exemple, les plans "canards" situés de chaque côté du nez sont reliés électriquement au système de gouvernes. Ils reçoivent des instructions des accéléromètres fixés à l'avant du fuselage et bougent automatiquement pour contrer les turbulences à basse altitude. Sur le Rafale, les ailerons mobiles s'inclinent automatiquement de 20 degrés vers le haut pour procurer une meilleure portance à l'atterrissage.

## Formules

### Portance

Force qui porte l'avion.

$$\vec{R_z} = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z$$

| $\frac{1}{2}$ | Coefficient constant                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\rho$        | Masse volumique de l'air            | <p>Varie en fonction de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la température de l'air</li> <li>• la <a href="#">pression atmosphérique</a></li> <li>• l'altitude</li> <li>• etc.</li> </ul> <p>Valeur moyenne : 1.225 gr par litre d'air en basse altitude pour une pression de 1.013,25 hPa et à une température de 15°C. Plus on monte, plus la pression diminue, ainsi que <math>\rho</math>.</p> |
| S             | Surface portante de l'air           | Surface portante. La portance est proportionnelle à la surface de l'aile de l'avion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $V^2$         | Carré de la vitesse du vent relatif | La portance est proportionnelle au carré de la vitesse : plus on va vite, plus la portance est forte.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $C_z$         | Coefficient de portance             | <p>A régime moteur constant, il dépend de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'angle d'incidence de l'aile</li> <li>• la forme du profil</li> <li>• l'état de surface</li> <li>• la forme et l'allongement de l'aile</li> </ul> <p>A régime moteur constant, si on diminue l'incidence, la portance diminue et on monte. Inversement, si on augmente</p>                                            |

## Traînée

|  |  |                                                |
|--|--|------------------------------------------------|
|  |  | l'incidence, la portance augmente et on monte. |
|--|--|------------------------------------------------|

### Les facteurs influençant la portance

La valeur de la portance est fonction également de la forme du profil : la meilleure portance est obtenue sur un profil creux et épais. De plus, un bon état de surface permet au vent relatif de mieux "glisser" autour de l'aile, donc d'obtenir une meilleure portance.

Lorsque l'angle d'incidence devient trop important (15 à 18°), l'avion décroche.

## Traînée

Force qui s'oppose à l'avancement d'un mobile par suite de la résistance de l'air.

$$\vec{R_x} = \frac{1}{2} \rho S V^2 \vec{C_x}$$

| $\frac{1}{2}$  | Coefficient constant                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\rho$         | Masse volumique de l'air            | <p>Varie en fonction de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la température de l'air</li> <li>• la <u>pression atmosphérique</u></li> <li>• l'altitude</li> <li>• etc.</li> </ul> <p>Valeur moyenne : 1.225 gr par litre d'air en basse altitude pour une pression de 1.013,25 hPa et à une température de 15°C. Plus on monte, plus la pression diminue, ainsi que <math>\rho</math>.</p> |
| S              | Surface portante de l'air           | Surface portante. La traînée est proportionnelle à la surface de l'aile de l'avion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| V <sup>2</sup> | Carré de la vitesse du vent relatif | La traînée est proportionnelle au carré de la vitesse : plus on va vite, plus la traînée est forte.                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| C <sub>x</sub> | Coefficient de traînée              | <p>A régime moteur constant, il dépend de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'angle d'incidence de l'aile</li> <li>• la forme du profil</li> <li>• l'état de surface</li> </ul>                                                                                                                                                                                                           |

## Traînée

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>• la forme et l'allongement de l'aile</li></ul> <p>A régime moteur constant, si on diminue l'incidence, la traînée diminue et on monte.<br/>Inversement, si on augmente l'incidence, la traînée augmente et on monte.</p> |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Les facteurs influençant la traînée

La traînée de l'aile est proportionnelle à son incidence : plus l'incidence est forte, plus la traînée est importante, il faut donc ajouter de la puissance moteur pour maintenir une altitude constante.

Il existe 3 traînées :

- la **traînée de forme**, elle dépend de la surface de l'avion
- la **traînée de frottement**, elle dépend de l'état de surface de l'avion
- la **traînée induite**, elle est générée par la différence de pression entre l'intrados et l'extrados : l'air en surpression du dessous de l'aile passe au-dessus, créant une rotation des filets d'air. Il s'ensuit une rotation des filets d'air au niveau des bords de fuite et aux extrémités de chaque aile. Des tourbillons se forment alors : *tourbillons libres* aux bords de fuite et *tourbillons marginaux* aux extrémités des ailes

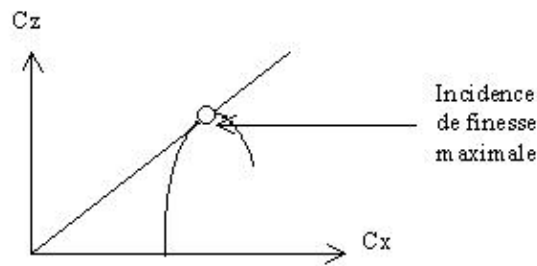
La somme de ces traînées forme la **traînée totale**.

# La finesse

La finesse permet de **quantifier les performances aérodynamique** d'un avion. La finesse est égale au rapport [Portance](#) / [traînée](#).

$$f = \text{Distance (D)} / \text{Hauteur (H)} = \text{Portance} / \text{Traînée} = R_z / R_x = C_z / C_x$$

Pour un même avion, le  $C_z$  et le  $C_x$  varient en fonction de l'incidence. La finesse connaît une valeur maximum que l'on appelle **finesse max** pour une certaine valeur de l'incidence. C'est à l'incidence de finesse maximale que l'aile a les meilleures performances aérodynamiques : on utilisera la vitesse que donnera  $C_z / C_x$  max (finesse maximum) pour rejoindre, par exemple, une zone d'atterrissage éloignée en cas de panne moteur. On peut lire cette valeur sur la polaire en prenant la **tangente** à la courbe :



L'incidence de finesse maximale

Les avions légers les plus courants ont une finesse maximale égale à **8 ou 12** : ils peuvent franchir en plané une distance égale à 8 ou 12 fois leur hauteur.

## Finesse d'un planeur

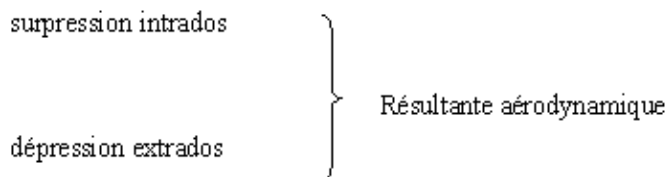
La finesse est la caractéristique principale d'un planeur. Elle s'exprime en chiffre et représente le quotient de la **distance parcourue par rapport à la hauteur perdue**. Elle indique donc l'**angle de piqué que doit adopter le planeur pour avoir une trajectoire rectiligne à vitesse constante**.

Un Airbus (moteurs coupés), plane à 16 de finesse, c'est à dire qu'il peut parcourir 16 kilomètres à une altitude de départ de 1 000 mètres.

Les planeurs modernes ont aujourd'hui une finesse autour des 40 contre 25 avant-guerre. Ce résultat a pu être obtenu grâce à l'augmentation de l'envergure des planeurs (jusqu'à 26.40 m, supérieure au Boeing 737) et de l'allongement (profondeur moyenne de l'aile sur la longueur : l'aile doit être longue, étroite et mince pour que le planeur soit performant. Les meilleurs planeurs de compétition ont une finesse qui peut dépasser 60 !

# La résultante aérodynamique

La **pression varie dans le sens inverse de la vitesse** : plus le fluide accélère, plus la pression du fluide diminue. Or, l'**extrados** de l'aile est contraint à un **parcours plus long**, donc à une **plus grande vitesse** : il règne une **pression plus faible** sur l'extrados. Au contraire, sur l'**intrados**, la **vitesse** d'écoulement de l'air est **ralentie** et la **pression** légèrement **plus élevée**. La dépression sur l'extrados et la pression sur l'intrados engendrent une force portante sur l'aile, dirigée vers le haut et légèrement vers l'arrière : la résultante aérodynamique.



La résultante aérodynamique peut être décomposée en 2 forces :

- elle a un effet porteur, entraînant l'avion vers le haut : la **portance**  $R_z$ , perpendiculaire au vent relatif (donc pas toujours verticale) permet la sustentation
- elle tend à s'opposer au déplacement de l'avion dans l'écoulement : la **traînée**  $R_x$ , parallèle au vent relatif s'oppose au déplacement

A l'**extrémité de l'aile** vont apparaître des phénomènes particuliers : la surpression de l'intrados a tendance à aller combler la dépression d'extrados en contournant l'extrémité de la voilure.

Pour une aile de profil classique, la surpression qui règne sous l'intrados fournit 25 % de la force de sustentation. Les 75 % restants sont dus à la dépression qui intéresse l'intrados. C'est pourquoi on entend souvent dire qu'une aile est davantage "aspirée" vers le haut qu'elle n'est "portée".

Comme l'avion avance, le mouvement de rotation ainsi amorcé crée un tourbillon à chaque extrémité d'aile, que l'on appelle **tourbillon marginal**.

En bout d'aile, le tourbillon appelé **tourbillon marginal** a deux **conséquences** :

- la **traînée induite** : conséquence directe du tourbillon, **traînée supplémentaire** à la traînée propre du profil, elle est proportionnelle au carré de la **portance** et inversement proportionnelle à l'allongement, les **winglets** (petites surfaces en extrémité de voilure) sur les avions de ligne permettent d'exploiter ce flux d'air parasite
- le **tourbillon de sillage** : vortex en bout d'aile, tourbillon qui s'enroule sur lui-même, phénomène dangereux. Les 2 tourbillons marginaux sont contrarotatifs (ils tournent en sens inverses) et peuvent se faire sentir jusqu'à une distance assez importante derrière l'avion, il représentent donc un **danger** important pour les avions qui y pénètrent. La force de ces tourbillons dépendant de la **portance**, donc de la masse de l'avion, on respecte une distance suffisante entre les gros porteurs et les avions plus légers

## Facteurs modifiant la résultante aérodynamique

### Les paramètres subis

- La **masse volumique de l'air** : elle diminue quand l'altitude ou la température augmente
- La **forme de l'aile** : la résultante aérodynamique est proportionnelle à la surface alaire S (surface totale de la voilure, y compris celle qui traverse le fuselage)
- L'**allongement** (rapport de l'envergure de l'aile, c-à-d la longueur mesurée d'une extrémité de l'aile à l'autre, sur la longueur de la corde moyenne, c-à-d la distance séparant le [bord d'attaque](#) du bord de fuite) : l'augmentation de l'allongement entraîne une diminution de la [traînée](#) parasite induite par la [portance](#) (la [traînée](#) induite)
- L'**état de surface de la cellule** : si elle est rugueuse ou comporte des déformations (vieillessement) ou un dépôt d'eau ou de glace, la [traînée](#) sera plus forte

### Les paramètres pilotés

- La **vitesse** : la résultante aérodynamique est proportionnelle au carré de la vitesse
- L'**incidence** : quand l'angle augmente, l'intensité de la résultante aérodynamique passe par un maximum pour un angle d'incidence de 15 à 18°, puis décroît brusquement → l'aile décroche

# La polaire

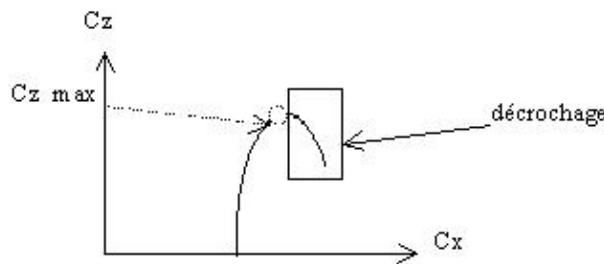
La **polaire** un **graphique** représentant l'évolution de **Cz** et **Cx** avec l'**incidence**. Elle indique les caractéristiques de la voilure et permet de la comparer avec d'autres. Le but recherché étant d'obtenir le maximum de portance pour le minimum de traînée.

En abscisse on trouve les **Cx**, et en ordonnées les **Cz**.

**Cz** : aptitude de l'aile à transformer en portance les pressions exercées sur elle par les filets d'air qui la contournent, reflète l'aptitude de l'avion se maintenir en l'air malgré son poids – coefficient caractéristique de la portance

**Cx** : coefficient de défaut résiduel, générateur de traînée – coefficient caractéristique de la **traînée**

Pour que l'avion vole, on cherche à assurer sa sustentation : le **Cz** doit être tel que la portance compense le poids. On cherche également à minimiser les défauts générateurs de traînée, donc à rendre **Cx** le plus faible possible.



la polaire indique une valeur limite de l'incidence pour laquelle le Cz est maximum

On constate que **Cz augmente avec l'incidence jusqu'à un maximum**, puis **décroît** : la valeur de la portance chute, elle ne peut plus compenser le poids de l'avion : l'avion **décroche**. En général, l'avion décroche toujours à la même incidence.

**Attention : le décrochage est dû à une incidence trop forte et non à une certaine vitesse !**

# Le diagramme des puissances

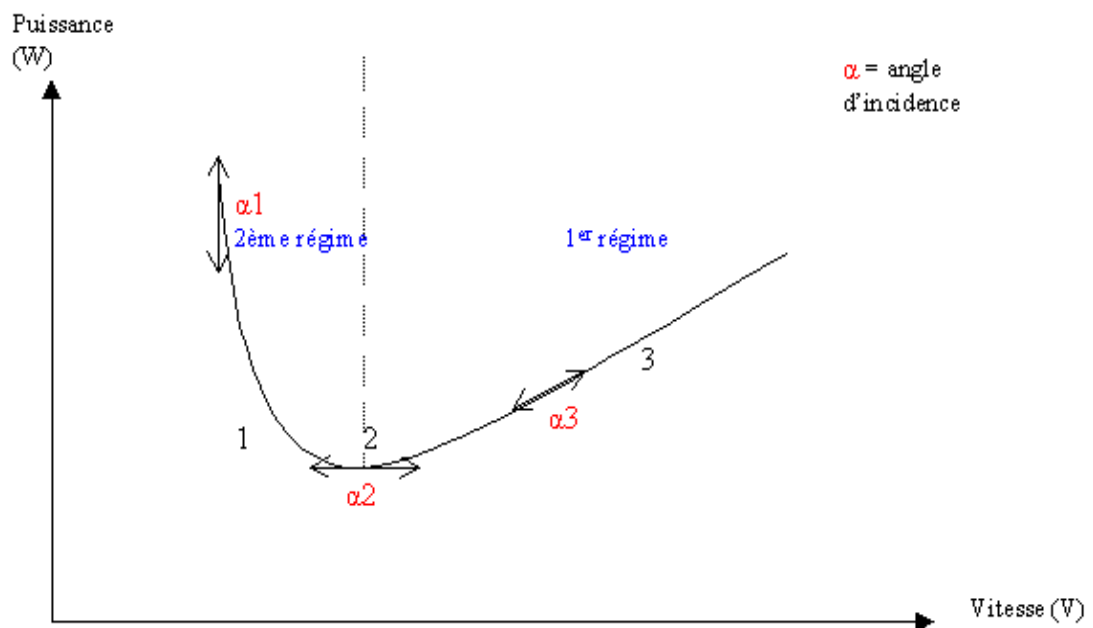
Pour que le vol rectiligne en palier soit possible, les forces opposées (**Trainée**  $R_x$  et **traction**  $T$ ) doivent être égales. Autrement dit, la puissance due à la traction (**Puissance utile**  $W_u$ , développée par le moteur) doit être égale à la puissance nécessaire au vol ( $W_n$ , imposée par la **trainée**).

La puissance est une force multipliée par une vitesse. La puissance nécessaire au vol ( $W_n$ ) est égale à la **trainée** ( $R_x$ ) multipliée par la vitesse ( $V$ ) :

$$W_n = R_x \cdot V$$

$$R_x = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$$

$$W_n = \frac{1}{2} \rho S V^3 C_x$$



Courbe de puissance nécessaire au vol ( $W_n$ )

**1** La vitesse est faible, l'incidence est forte, il faut de la puissance pour vaincre la **trainée** due à l'incidence

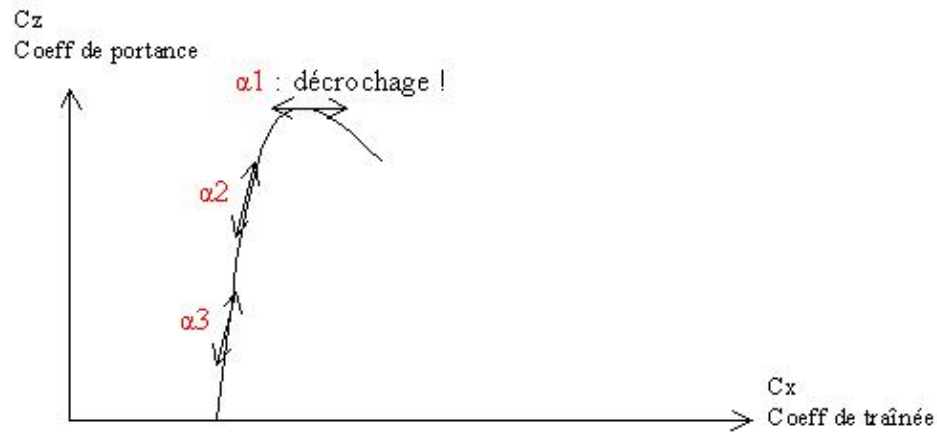
**2** L'incidence et la vitesse sont moyennes, il suffit d'une faible puissance pour voler

**3** La vitesse est forte et l'incidence est faible, il faut de la puissance pour vaincre la **trainée** due à la vitesse

## Le diagramme des puissances

- $\alpha_1$**  : incidence de décrochage     **$\alpha_2$**  : correspond à la  $W_n$  minimum. C'est le point le plus bas de la courbe, ainsi que la séparation des 2 régimes de vol. Ce point correspond également à la consommation minimum de carburant, donc à l'autonomie maximum de vol.
- $\alpha_3$**  : Meilleur rapport  $W_n/V$  et meilleur rapport  $C_z/C_x$ . C'est la finesse max qui correspond à la traction min, à la consommation kilométrique min et au rayon d'action max.

Comparons les points caractéristiques de la courbe de puissance avec ceux de la polaire :



**$\alpha_2$**  : incidence où la puissance est minimum, l'autonomie est maximum,  $C_x^2 / C_z^2$  est mini. Cette incidence correspond au plafond de propulsion

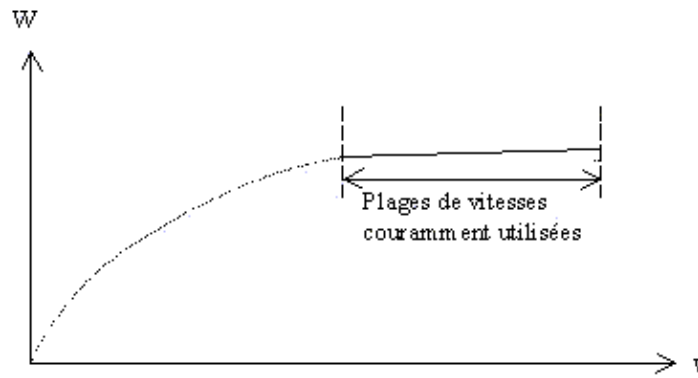
**$\alpha_3$**  : incidence correspondant à la finesse max, au rayon d'action max, à la traction mini et au  $C_z / C_x$  max

Nous allons maintenant étudier la **courbe de puissance utile ( $W_u$ )**, c'est à dire la puissance que délivre le moteur.

$T_u$  : force de traction de l'hélice mue par le moteur

$$W_u = T_u \cdot V$$

## Le diagramme des puissances



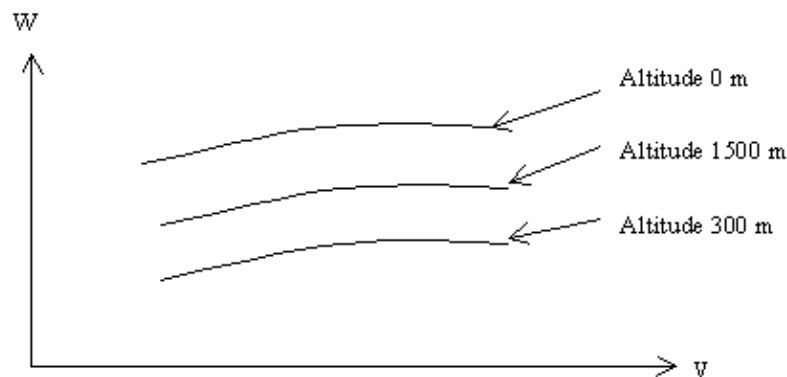
### Courbe de puissance utile en fonction de la vitesse

Dans les plages de vitesses couramment utilisées, la puissance utile ( $W_u$ ) max du moteur est quasiment identique. La différence de puissance dépend du rendement de l'hélice qui est meilleur à des vitesses plus élevées.

La puissance utile ( $w_u$ ) max délivrée par le moteur varie en fonction de :

- l'*altitude* : plus elle est élevée, plus le moteur s'essouffle
- la *chaleur* : plus il fait chaud et plus le moteur s'essouffle

La puissance utile ( $W_u$ ) est mini. pour  $C_x^2/C_z$  mini. (rappel :  $C_x$  = coefficient de [traînée](#),  $C_z$  = coefficient de [portance](#)).



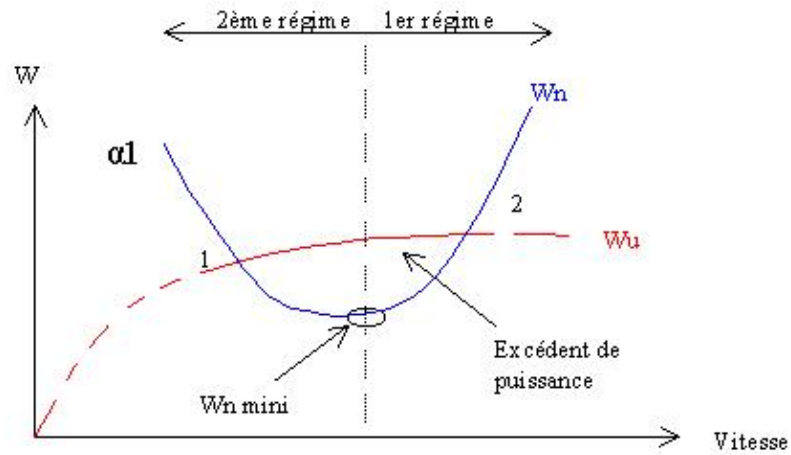
### Courbe de puissance utile ( $W_n$ ) en fonction de l'altitude

Par conséquent, **attention aux décollages sur les terrains situés en altitude et par forte chaleur !**

Il faut toujours avoir une *puissance disponible supérieure à la puissance nécessaire* :  $W_u > W_n$  à la vitesse considérée.

*Superposons les courbes de puissance utile ( $W_u$ ) et de puissance nécessaire au vol ( $W_n$ ) :*

## Le diagramme des puissances



Superposition des courbes  $W_n$  et  $W_u$  (le point de  $W_n$  mini sépare le 1er et le 2ème régime)

| Régime                  | Incidence de la vitesse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Conclusion                                                                                                                                                                |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 <sup>ème</sup> régime | <p>A partir du point 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• si la <i>vitesse diminue</i> : le pilote n'a plus d'excédent de puissance pour accélérer, la vitesse rejoint la vitesse de décrochage (<math>\alpha_1</math>)</li> <li>• Si la <i>vitesse augmente</i> : l'excédent de puissance va accélérer l'avion vers le point 2</li> </ul> | Le 2 <sup>ème</sup> régime est <i>instable et dangereux</i> , surtout à incidence forte et à puissance moteur max. (cas du décollage sur les avions de faible puissance). |
| 1 <sup>er</sup> régime  | Que la vitesse augmente ou diminue, l'excédent ou le manque de puissance ramène le pilote en 2                                                                                                                                                                                                                                                       | Le 1 <sup>ère</sup> régime est <i>stable</i> .                                                                                                                            |

Etudions maintenant la **vitesse verticale** ( $V_z$ ) :

## Le diagramme des puissances

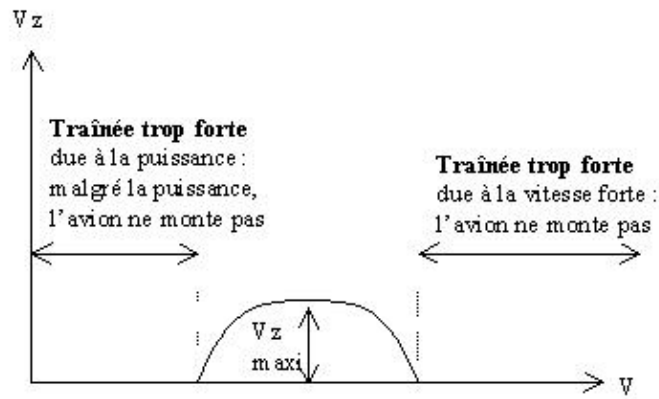
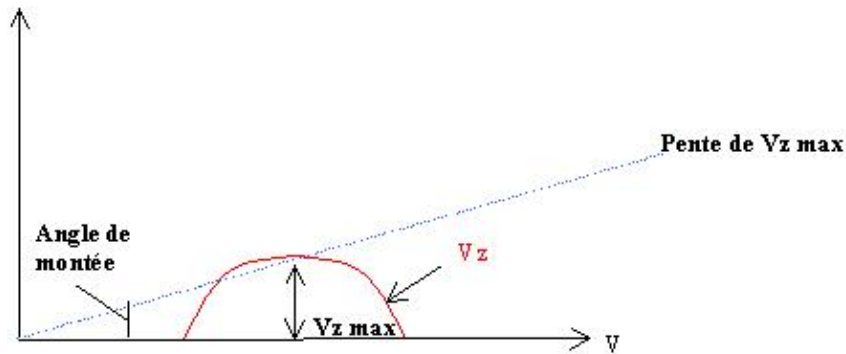


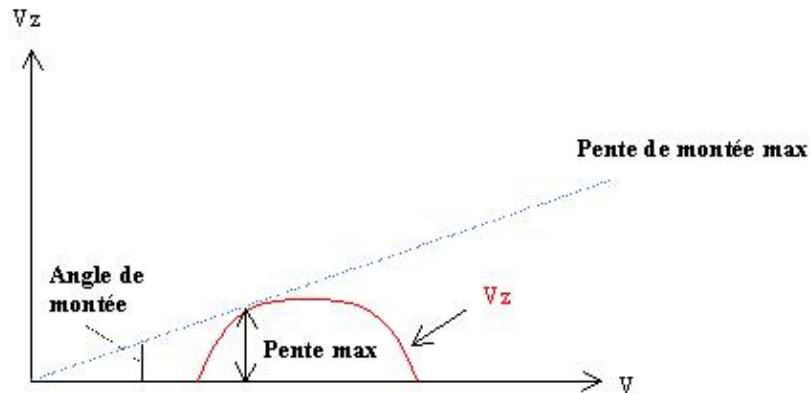
Diagramme des  $V_z$

La configuration de  **$V_z \text{ max}$**  est utilisée pour atteindre un niveau de vol très rapidement (après le décollage par exemple). L'excédent de puissance est max. La vitesse est importante, donc la pente de montée n'est pas optimum.



Configuration de  $V_z \text{ max}$

La configuration de **pente max** est utilisée pour passer au-dessus des obstacles situés en bout de piste. L'excédent de puissance n'est pas maximum, mais comme la vitesse est faible, la pente est forte. Attention : le pilote est alors au **2ème régime**.



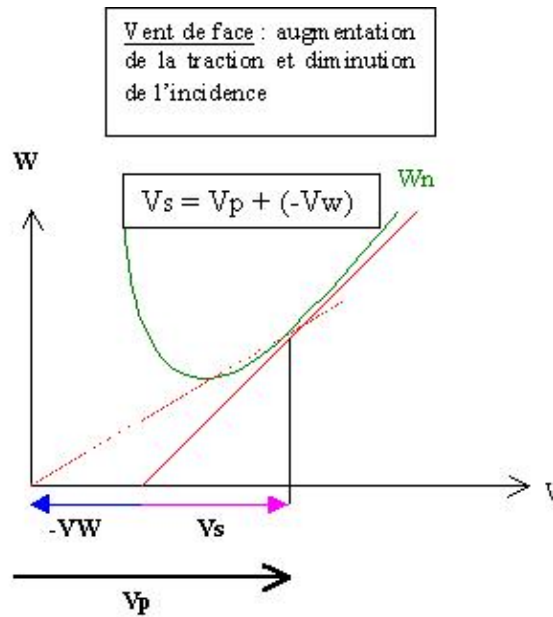
Configuration de pente max

***Que se passe-t-il lorsqu'il y a du vent ?***

Il faut alors tenir compte du fait que : la **vitesse au sol** de l'avion est **différente de sa vitesse propre** !

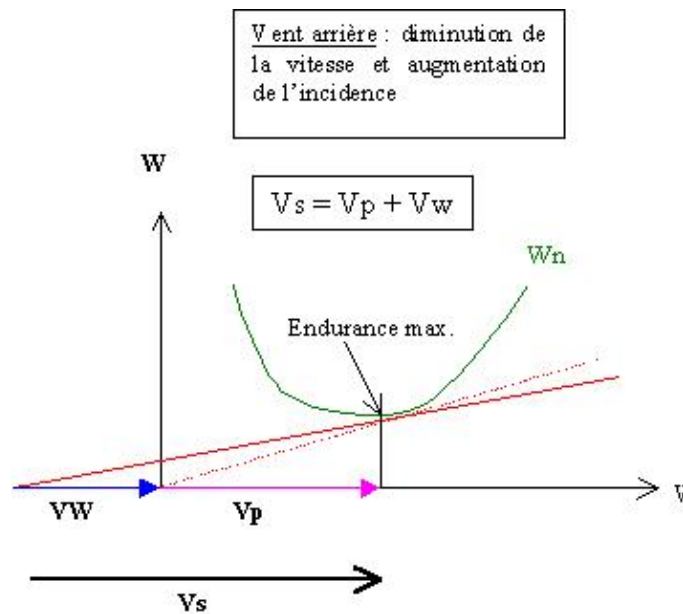
Pour rechercher le meilleur rayon d'action :

- par vent de face : augmenter sa vitesse



Courbe de Wn, par vent de face (-VW : effet du vent de face)

- par vent de dos : diminuer sa vitesse sans quelle soit inférieure à la vitesse de l'endurance max (vu du sol, l'avion va plus vite avec un vent dans le dos)



Courbe de  $W_n$  par vent arrière ( $V_w$  : effet du vent arrière)

## Etude des trajectoires dans le plan vertical

### Le vol en palier

Quatre forces agissent sur l'avion et sont appliquées en son centre de gravité en vol stabilisé :

- le poids, **P**
- la traction, **T**
- la traînée **R<sub>x</sub>**
- la portance **R<sub>z</sub>**

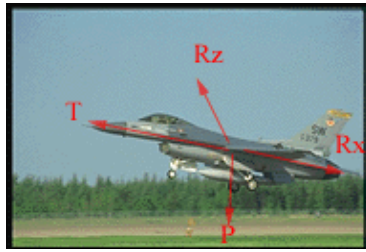
(La traînée **R<sub>x</sub>** et la portance **R<sub>z</sub>** forment la résultante aérodynamique **R<sub>a</sub>**).



Le vol en palier

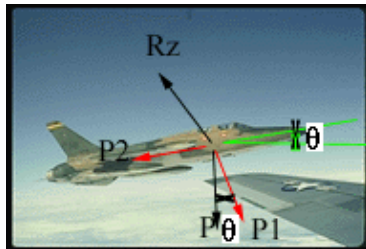
### Le vol en montée

Nous retrouvons nos quatre forces, mais elles ont des directions différentes selon l'angle de pente, sauf le poids (**P**) qui reste dirigé vers le centre de la terre : **P** n'est donc plus aligné avec **R<sub>z</sub>**. (Rappel :  $P = mg$ ).



Le vol en montée

Le **poids** a deux composantes : **P1** (opposée et égale à  $R_z$ ) et **P2**.



Les 2 composantes du poids : P1 et P2 ( $\theta$  : angle de pente)

A l'aide de la trigonométrie (voir le chapitre [mathématiques](#)), nous pouvons déduire que :

(cos : cosinus, sin : sinus;  $\cos/\sin \theta$  : cos/sin de la pente de montée)

$$\cos \theta = P1/P$$

$$P1 = P \cdot \cos \theta$$

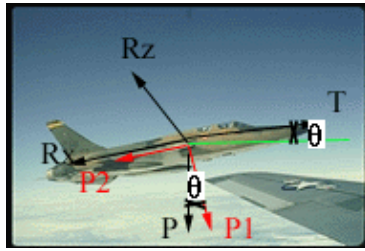
$$R_z = P \cdot \cos \theta : \text{c'est la } \underline{\text{portance}}$$

$$\sin \theta = P2/P$$

$$P2 = P \cdot \sin \theta$$

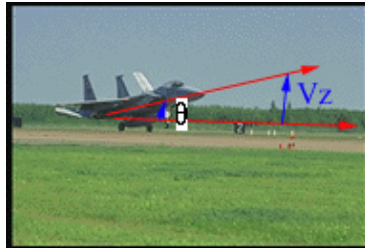
En montée, la traction (T) doit donc supporter  $R_x$  et la composante P2 du poids : ( $T = P2 = P \cdot \sin \theta$ )

## Le vol en descente



## Les forces qui s'appliquent sur l'avion en montée

Etudions maintenant la *vitesse ascensionnelle*  $V_z$  :



$V_z$  : vitesse ascensionnelle

$$\sin \theta = V_z / V$$

$$V_z = V \cdot \sin \theta$$

L'angle de pente  $\theta$  étant faible, on peut remplacer " $\sin \theta$ " par  $\theta$  en pourcentage. La formule devient :

$$V_z = V * \theta$$

$V_z$  : vitesse verticale en  
pied/minute

$V$  : vitesse de l'avion en Kt

$\theta$  : pente en %

### Equation de la traction (T) :

$$T = R_x + P \cdot \sin \theta$$

$$T = 1/2 \rho S V^2 C_x + mg \cdot \sin \theta$$

### Equation de la sustentation :

$$R_z = P_l = P \cdot \cos \theta$$

$$R_z = mg \cdot \cos \theta = 1/2 \rho S V^2 C_z$$

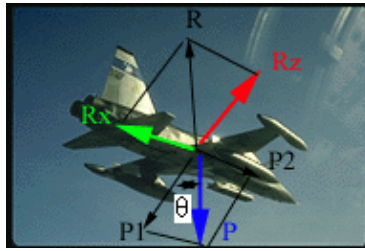
### Formule des puissances :

$$V_z = (W_u - W_n) / mg$$

## Le vol en descente

Une des composantes du poids s'ajoute à la traction. On peut **maintenir la puissance** affichée (augmentation de la vitesse) **ou réduire la puissance** (vitesse maintenue constante).

## Le vol en descente



### Le vol en descente

**P2**, nuisible dans la montée car s'opposant à la traction, **participe à la descente**. Nous avons toujours :

$$P2 = P.\sin \theta = mg.\sin \theta$$

$$mg.\sin \theta = Rx = 1/2 \rho S V^2 Cx$$

La **descente à Vz mini.** est obtenue en affichant une incidence ( $\alpha$ ) correspondant à **Cx<sup>2</sup> / Cz mini.**

La **finesse max.** (Cz / Cx max) correspond à **θ mini.**

# Etude des trajectoires dans le plan horizontal

## Le virage

En inclinant l'avion, on crée une force déviatrice qui amène l'avion vers l'intérieur du virage. **L'aileron baissé traîne plus que l'aileron levé.** Pour éviter le dérapage il faut avoir une action simultanée sur les ailerons et la gouverne de direction. L'action simultanée sur plusieurs commandes s'appelle la **conjugaison**.



Le virage

## Relation entre le rayon de virage et la vitesse

Pour une même inclinaison :

- une grande vitesse entraîne un grand rayon de virage
- une faible vitesse entraîne un petit rayon de virage

## Relation entre le rayon de virage et l'inclinaison

Pour une même vitesse :

- une grande inclinaison entraîne un petit rayon de virage
- une faible inclinaison entraîne grand rayon de virage

## Virage en palier à puissance constante

Dans un virage en palier à puissance constante : la vitesse diminue.

## Virage en palier à vitesse constante

Dans un virage en palier à vitesse constante : augmenter la puissance.

# Le décrochage et l'hypersustentation

## Le décrochage

Une **aile** crée la force de sustentation en forçant vers le bas le flot d'air qu'elle coupe, ce qui par réaction la soulève. Le **profil** de l'aile et son **angle d'incidence** sont conçus pour créer et accentuer cet effet ascensionnel. Plus l'angle d'incidence est important, plus la force de sustentation, ou portance sera importante. Cependant, si l'angle devient trop important (15 à 18°), l'air ne peut plus passer du bord d'attaque de l'aile vers le bord de fuite. Arrivée à ce stade, l'aile subit un **décrochage**. Une aile décrochée n'offre que très peu de portance.

La vitesse de décrochage en configuration lisse (càd becs et volets rentrés) est appelée **VSO**.

## Les indices permettant de détecter l'approche du décrochage

- **gouvernes molles** (perte d'efficacité)
- **buffeting** (vibrations dues à l'apparition d'un écoulement tourbillonnaire sur l'aile)
- **avertisseur de décrochage** (petite palette mécanique située sur le bord d'attaque de l'aile, elle est soulevée par le vent relatif lorsque l'angle d'incidence atteint une valeur proche de l'incidence de décrochage (5 à 10 kt avant le décrochage)

## Les manifestations du décrochage

Le décrochage se manifeste par une **abattée** plus ou moins importante selon le type de l'avion.

## Les facteurs influant la vitesse de décrochage

- la **masse de l'avion** : une augmentation de la masse entraîne une augmentation de la vitesse de décrochage
- le facteur de charge : comme pour la masse, toute augmentation de n augmentera la vitesse de décrochage

## Conduite à tenir à l'approche du décrochage

Objectif : revenir aux petits angles d'incidence et minimiser la perte d'altitude. Pour cela, il faut **mettre plein gaz et adopter une assiette voisine de l'assiette de croisière**.

## L'hypersustentation

### Les dispositifs hypersustentateurs

Les dispositifs hypersustentateurs permettent d'avoir une portance ou une traînée plus importante, par exemple au moment du décollage ou de l'atterrissage. Au cours de ces phases, l'effet d'une **diminution de vitesse** peut être compensé par :

- une augmentation de l'incidence

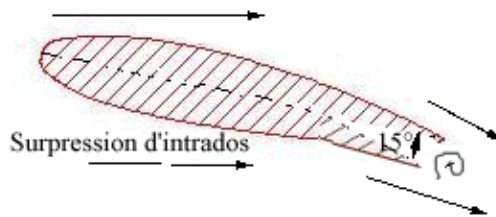
## Le volet d'intrados

- une augmentation de la surface alaire
- une augmentation de la courbure

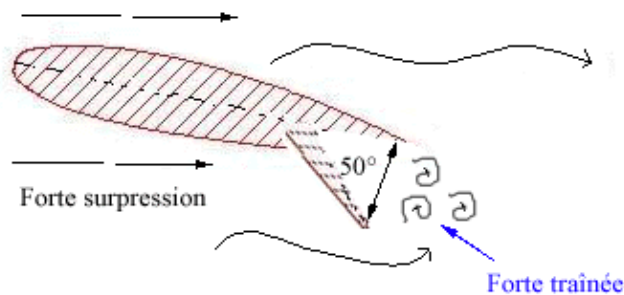
C'est sur les 2 derniers éléments que l'on va pouvoir agir en ajoutant des volets de bord de fuite ou des becs de [bord d'attaque](#).

### Le volet d'intrados

Dans ce système, **seule la partie située à l'intrados de l'aile est braquée**. Le volet augmente la courbure (jusqu'à  $15^\circ$ ) et agit sur la surpression de l'intrados en améliorant le  $C_z$  maximum (hypersustentateur).

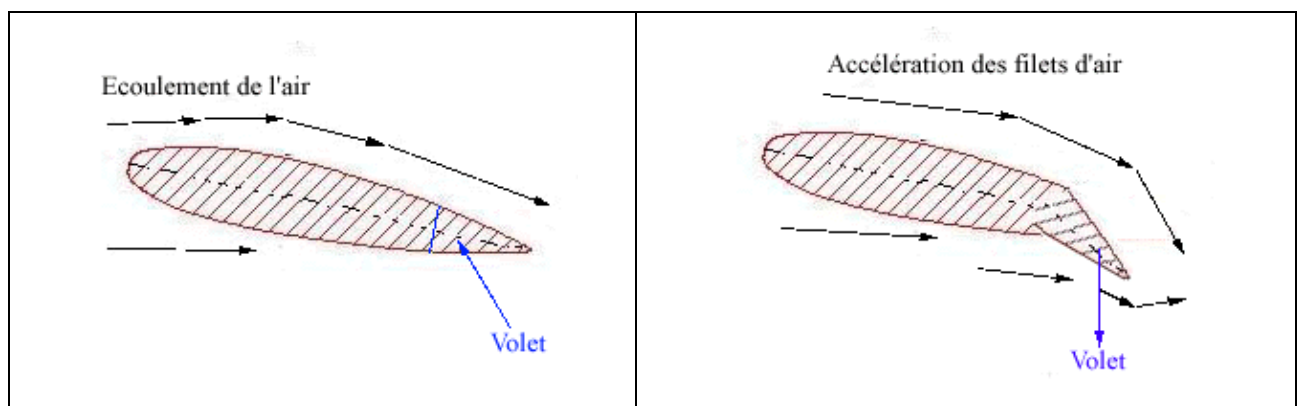


Mais, il crée une [trainée](#) très importante s'il est sorti aux environs de  $50^\circ$  (hyposustentateur).



### Le volet de courbure

Dans ce système, toute la partie arrière de l'aile se braque vers le bas : le dispositif est installé sur le bord de fuite. Il permet de changer le profil de l'aile en augmentant sa [portance](#) ou sa [trainée](#).



Profil de l'aile volet rentré : configuration lisse

Profil creux, volet sorti

En créant une courbure, ce volet entraîne une accélération de l'air à l'extrados, permettant ainsi de garder une **excellente portance** à basse vitesse.

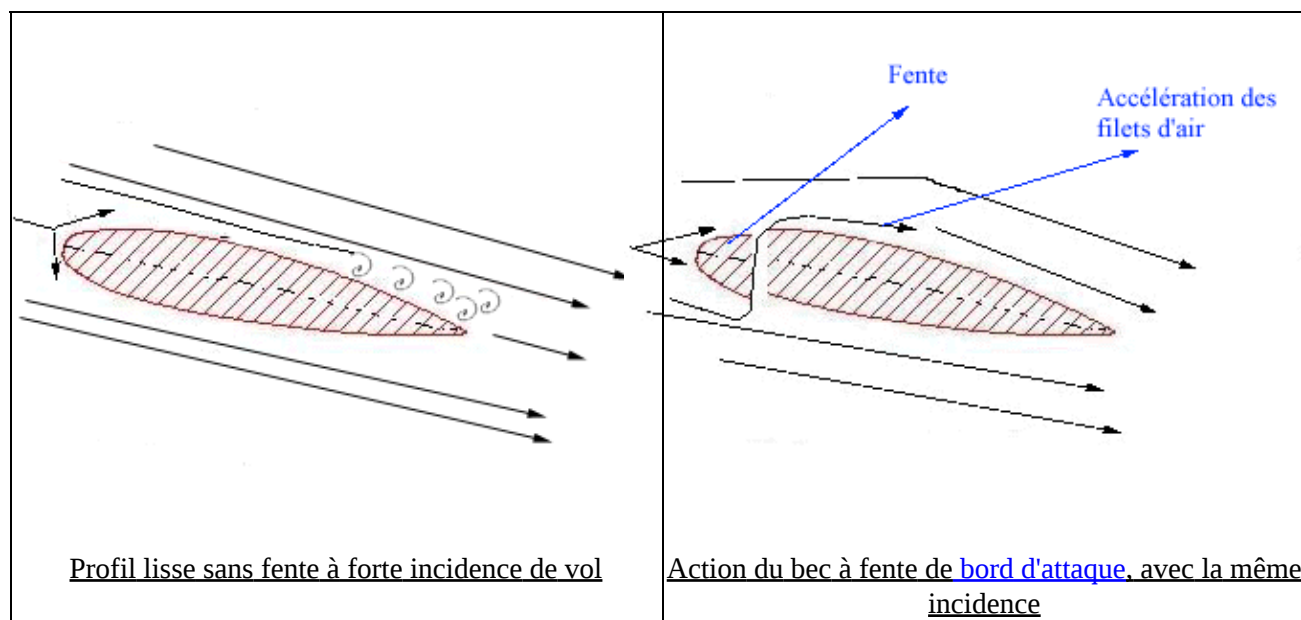
La position des volets dépend de la phase de vol : ils sont rentrés en croisière, au décollage le pilote sort un cran de volet (15° environ) et à l'atterrissage, il sort tous les volets (environ 40°) afin d'augmenter la **traînée**.

## Le volet Fowler

Il allie l'augmentation de surface et l'augmentation de courbure. Il est constitué d'une surface qui recule pour augmenter la surface de l'aile et qui bascule pour augmenter la courbure. Il est constitué d'une surface qui recule pour augmenter la surface de l'air et qui bascule pour augmenter la courbure.

## Le bec de **bord d'attaque**

Il consiste en un **aménagement d'une fente au bord d'attaque** de l'aile. Cette fente permet une communication et une accélération des particules d'air qui recollent à l'extrados (effet de Venturi).



L'**incidence de décrochage** peut ainsi être **retardée** jusqu'à un angle de 16 ou 20 degrés.

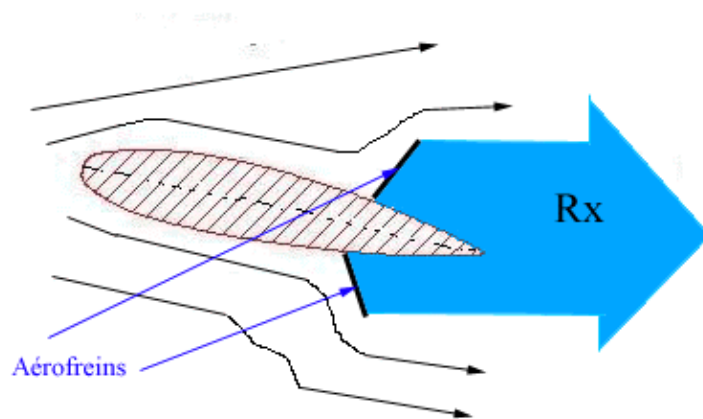
L'utilisation de cette fente est intéressante lors de vols aux **grands angles**, mais elle constitue un handicap à vitesse normal, en engendrant une **traînée** trop importante : certains dispositifs sont à déploiement automatique (les bords de **bord d'attaque** sont rentrés ou sortis automatiquement en fonction de l'incidence).

# Les dispositifs hyposustentateurs

## Les aérofreins

Les aérofreins permettent de **diminuer la prise de vitesse** lors d'une descente avec un angle fort.

Une fois les aérofreins déployés, l'air passe librement à travers les plaques, permettant ainsi de conserver un écoulement correct à l'extrados et à l'intrados. La portance est donc conservée. Par contre, l'air qui se heurte violemment à la partie pleine des aérofreins, forme une traînée à l'arrière.



En se heurtant à la partie pleine des aérofreins, l'air forme une traînée à l'arrière

# Relation entre la vitesse et l'incidence

## Vol en palier

|  | Vitesse      | Incidence    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
|                                                                                   | constante    | nulle        |
|                                                                                   | diminution   | augmentation |
|                                                                                   | augmentation | diminution   |

Relation entre vitesse et incidence (vol en palier, [portance](#) constante et égale au poids)

## Vol en montée ou en descente

|  | Vitesse      | Variation d' <a href="#">assiette</a> |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------|
|                                                                                    | diminution   | à cabrer                              |
|                                                                                    | augmentation | à piquer                              |
|                                                                                    |              |                                       |

Relation entre vitesse et variation d'[assiette](#) (vol en montée ou en descente à pente constante)

## Relation entre la vitesse et la trajectoire

| Pente de la trajectoire | Vitesse  |
|-------------------------|----------|
| descente                | augmente |
| montée                  | diminue  |

Relation entre pente de la trajectoire et vitesse pour une même puissance

visiteurs depuis le  
20/01/2003

# formules utilisées en aéronautique

## Unités

| Nom                                 | Définition                                                                                                                                                                                       | Formule / Exemple                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cheval Vapeur                       | Cette unité de puissance, introduite par James Watt alors qu'il travaillait dans une mine de charbon, correspond au travail que peut fournir un cheval en une minute.                            | $1 \text{ Cv} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW}$<br>(W : Watt, unité SI pour la puissance)                                                                                                                                         |
| Mille Nautique (NM, Nautical Mille) | Le NM correspond à une minute (un soixantième de degré) d'arc à l'équateur terrestre.                                                                                                            | $1 \text{ NM} = 1852 \text{ m}$<br>a/ $\text{NM} = \text{km} / 2 + 10\%$<br>ex : $150 \text{ km} / 2 = 75 + 7.5 = 82.5 \text{ NM}$<br>b/ $\text{km} = \text{NM} * 2 - 10\%$<br>ex : $92 \text{ NM} * 2 = 184 - 18 = 166 \text{ km}$ |
| Masse volumique                     | Rapport de la masse du corps par le volume occupé par celui-ci.<br><br>La masse volumique de l'air est d'environ 1,204 kilogramme par mètre cube pris à 20° C sous une pression d'une atmosphère | $\rho = m / v$ en $\text{kg.m}^{-3}$<br>$\text{kg.m}^{-3}$ : kilogramme par mètre cube                                                                                                                                              |
| Pression                            | La pression est la force appliquée à une surface ou répartie sur celle-ci.                                                                                                                       | $P = F / S$<br>P : pression en $\text{N/m}^2$ ( 1 Pa = 1 $\text{N/m}^2$ )<br>F : force en Newton<br>S : surface en $\text{m}^2$<br>La pression est souvent exprimée en bar ( 1 bar = $10^5$ Pa)                                     |
| Température                         | La température représente le degré d'agitation des particules                                                                                                                                    | $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15.$                                                                                                                                                                                         |

## Aérodynamique

| Nom                 | Définition                                                                 | Formule / Exemple                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Résistance de l'air | Forces de frottements                                                      | $R = K \rho V^2 S$<br>R résistance de l'air (Newton)<br>K coefficient qui tient compte de la forme du corps et de son état de surface<br>$\rho$ masse volumique de l'air ( $\text{kg.m}^{-3}$ )<br>V vitesse ( $\text{m.s}^{-1}$ )<br>S surface alaire ( $\text{m}^2$ ) |
| Traînée             | Résistance à l'avancement                                                  | $\vec{R}_x = \frac{1}{2} \rho S V^2 \vec{C}_x$<br>$\rho$ masse volumique de l'air ( $\text{kg m}^{-3}$ )<br>V vitesse de l'avion ( $\text{ms}^{-1}$ )<br>S superficie de la voilure ( $\text{m}^2$ )<br>$C_x$ coefficient sans unité appelée coefficient de traînée     |
| Portance            | Composante verticale de la résistance aérodynamique                        | $\vec{R}_z = \frac{1}{2} \rho S V^2 \vec{C}_z$<br>$\rho$ masse volumique de l'air ( $\text{kg m}^{-3}$ )<br>V vitesse de l'avion ( $\text{ms}^{-1}$ )<br>S superficie de la voilure ( $\text{m}^2$ )<br>$C_z$ coefficient sans unité appelé coefficient de portance     |
| Finesse             | Distance que peut parcourir une aile en fonction de son altitude de départ | Portance / Traînée ou $C_z / C_x$                                                                                                                                                                                                                                       |

## Mécanique du vol

| Nom               | Définition                                                                                                                                                             | Formule / Exemple                                                    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Facteur de charge | Rapport du poids apparent sur le poids.<br><br>Plus le virage est prononcé et plus le facteur de charge augmente. A $45^\circ$ d'inclinaison, le facteur de charge est | $n = 1 / \cos$ inclinaison<br><br>Ex : lors d'un virage à $60^\circ$ |

|               |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | égal à 1,4 et la vitesse de décrochage est majorée de 19%. A 60° d'inclinaison le facteur de charge est égal à 2 et la vitesse de décrochage est majorée de 40% | $n = 1/\cos(60)$<br>$n = 1/(1/2) = 2$<br>d'où $n = 2G$                                                                                                                |
| Charge alaire | La charge alaire est le rapport ou Poids de l'avion/Surface alaire, si la portance est égale au poids de l'avion comme dans le cas du vol horizontal            | Portance / Surface alaire ou<br><br>Poids de l'avion (Newton) / Surface alaire (m²)<br><br>surface alaire : surface de la projection horizontale du contour des ailes |

## Navigation

| Nom              | Définition / Formule                                                                                                                 |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Route vraie (Rv) | Route vraie mesurée sur la carte par rapport au nord vrai<br><br>$Rv = Rm + Dm$<br><br>$Rv = Cv \text{ (cap vrai) } + \text{dérive}$ |
| Route magnétique | Route magnétique = Route vraie Déclinaison magnétique<br><br>$Rm = Rv - D$                                                           |
| Temps sans vent  | $TSV = \text{distance} \times Fb$<br><br>$Fb$ : facteur de base                                                                      |
| Temps avec vent  | Temps avec vent = distance x Fb ( $Fb = 60/Vs$ )                                                                                     |
| Facteur de base  | $Fb = 60 / Vp$                                                                                                                       |
| Dérive maxi      | Force du vent x Fb                                                                                                                   |
| a                | angle au vent (angle que fait la route, et non pas le cap, avec le vent)                                                             |
| Vent de travers  | Force du vent x Sin a                                                                                                                |
| Vent effectif    | Force du vent x Cos a                                                                                                                |
| Cap vrai (Cv)    | Cap vrai par rapport au nord vrai ou nord géographique                                                                               |

## Navigation

|                            |                                                |
|----------------------------|------------------------------------------------|
|                            | $R_m = \text{Route magnétique } (R_v - D)$     |
| Déclinaison magnétique (D) | Est /Ouest, +/- variation magnétique terrestre |
| Cap magnétique (Cm)        | $C_v - D$                                      |

[Mesure d'audience et statistiques](#)

[Classement des meilleurs sites, chat, sondage](#)