

TABLE DES MATIÈRES

PHASE 1

CONNAISSANCE DES AÉRONEFS 11

L'AÉRONEF	13
Introduction.....	13
L'aérostaf.....	13

LE SYSTÈME DE DRONE..... 14

LE CIRCUIT ÉLECTRIQUE..... 15

Le courant électrique.....	15
Le circuit électrique.....	15
Le générateur.....	15
Le conducteur.....	15
La résistance.....	15
Le récepteur.....	15
La loi d'Ohm.....	15
La puissance électrique.....	15

CIRCUITS EN SÉRIE CIRCUITS EN PARALLÈLE..... 16

Circuits en série.....	16
Circuits en parallèle.....	16

CONSTITUTION DES BATTERIES..... 17

Description.....	17
Risques.....	17
Caractéristiques.....	17
Équilibrage.....	17
BMS.....	17

DÉCHARGE ET CHARGE DES BATTERIES..... 18

Capacité.....	18
Capacité de décharge.....	18
Conditions d'utilisation.....	18

COMMENT DIMENSIONNER LA CHAÎNE DE PROPULSION?..... 20

Le problème.....	20
Le circuit électrique.....	20
La recherche de compromis.....	20

PRESSION ATMOSPHÉRIQUE ET ALTITUDE..... 21

L'atmosphère en équilibre.....	21
Le nivellement barométrique.....	21

LA CHAÎNE DE MESURE ALTIMÉTRIQUE..... 22

Une mesure hybride.....	22
Le capteur barométrique.....	22

LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE..... 23

Introduction.....	23
Le phénomène.....	23
Le WMM.....	23

LE MAGNÉTOMÈTRE : FONCTIONNEMENT..... 24

Le principe.....	24
La technologie.....	24

LE MAGNÉTOMÈTRE : ERREURS DE MESURE..... 25

L'influence de la latitude.....	25
Les erreurs de mesure.....	25
Hard Iron Effect Soft Iron Effect.....	25
Autres erreurs de mesure.....	25

LE GYROMÈTRE : FONCTIONNEMENT..... 26

Définition.....	26
Le gyromètre FOG.....	26
La technologie MEMS.....	26

LE GYROMÈTRE : PRÉCISION..... 27

Gyromètres FOG.....	27
Gyromètres MEMS.....	27

L'ACCÉLÉROMÈTRE..... 28

L'accélération.....	28
Un peu de théorie.....	28
L'accéléromètre du drone.....	28

DISPOSITIFS DE LIMITATION D'ESPACE : LES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES..... 29

Limitation de hauteur.....	29
Limitation horizontale.....	29

DISPOSITIFS DE LIMITATION D'ESPACE..... 30

Contrôle de la hauteur.....	30
Limitation verticale.....	30
Limitation horizontale.....	30
Exigences communes.....	30

PILOTAGE DU DRONE MULTIROTOR..... 32

Introduction.....	32
Pilotage de base.....	32

PILOTAGE DU DRONE À VOILURE FIXE..... 33

Introduction.....	33
Pilotage de base.....	33

LES ASSERVISSEMENTS..... 34

Introduction.....	34
L'asservissement.....	34

L'ASSERVISSEMENT EN ATTITUDE..... 35

Introduction.....	35
Principe de fonctionnement.....	35

L'ASSERVISSEMENT EN POSITION..... 36

Introduction.....	36
Le contrôle de la trajectoire.....	36
Le schéma de fonctionnement.....	36
Fonctionnement.....	36

DISPOSITIF DE PROTECTION DES TIERS..... 38

L'objectif.....	38
Dispositif et fonctionnement.....	38

DISPOSITIF DE RETOUR VIDÉO..... 39

L'exigence réglementaire.....	39
L'objectif opérationnel.....	39
Solutions et limitations.....	39

LES HÉLICES ET LES ROTORS..... 40

Introduction.....	40
Description.....	40
Vitesse et sens de rotation.....	40
Principe de fonctionnement.....	40

LE MOTEUR..... 41

Description.....	41
Fonctionnement.....	41
Caractéristiques techniques.....	41

LE CONTRÔLEUR ESC..... 42

L'objectif.....	42
Fonctionnement.....	42

LA TRANSMISSION DE DONNÉES..... 43

Introduction.....	43
La fréquence.....	43
La modulation.....	43
L'amplification.....	43
L'antenne.....	43

La propagation.....	43
La réception	43
La démodulation.....	43
Le protocole.....	43
LE GNSS.....	48
Présentation	48
Le principe	48
Les phénomènes influents	48
La précision.....	48
L'intégrité.....	48
La disponibilité	48

PHASE 2

PRINCIPES DU VOL 49

DES ÉCOULEMENTS DIVERS	51
Un champ d'observation.....	51
Les tourbillons	51
TOUT EST RELATIF.....	52
L'observation.....	52
La vitesse-air et le vent relatif	52
FORCES DE PRESSION ET FORCES DE VISCOSITÉ.....	53
Le principe	53
Les forces aérodynamiques	53
LES LOIS DE CONSERVATION.....	54
Lignes de courant et tubes de courant.....	54
Les lois de conservation.....	54
LA LOI DE BERNOULLI.....	55
La conservation du débit massique.....	55
La loi de Bernoulli.....	55
L'EFFET MAGNUS.....	56
Un cylindre dans le vent relatif.....	56
Un cylindre tournant.....	56
Un cylindre tournant dans le vent relatif.....	56
L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UN PROFIL EN ALLONGEMENT INFINI	57
L'expérience.....	57
L'écoulement résultant.....	57
L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UN PROFIL D'AILE.....	58
L'expérience.....	58
L'écoulement 3D et la solution 2D.....	58
L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UN ÉLÉMENT DE PALE.....	59
L'expérience.....	59
L'écoulement 3D et la solution 2D.....	59
LES FORCES AÉRODYNAMIQUES ÉLÉMENTAIRES.....	60
Portance effective et traînée de profil	60
Portance et traînée	60
LE VOL DE L'AÉRONEF À VOILURE FIXE.....	61
La portance et la traînée de l'aile.....	61
La portance et la traînée de l'aéronef.....	61
LE VOL DE L'AÉRONEF À VOILURE TOURNANTE.....	62
La portance rotor.....	62
L'équilibre du vol stationnaire.....	62
LA THÉORIE DE FROUDE.....	63
La théorie de Froude.....	63
La puissance	63
LA POSITION ET L'ATTITUDE.....	64
Introduction.....	64
La position.....	64
L'attitude	64
CONTRÔLE DU DRONE À VOILURE FIXE.....	65
L'objectif.....	65

Les commandes.....	65
CONTRÔLE DU DRONE À VOILURE TOURNANTE	66
L'objectif.....	66
Les commandes.....	66
LE VOL RECTILIGNE STABILISÉ.....	67
Les principes de la dynamique.....	67
LA PUISSANCE NÉCESSAIRE AU VOL RECTILIGNE EN PALIER STABILISÉ.....	68
Le phénomène.....	68
LA PLAGE DE VITESSES UTILISABLES.....	69
LA MONTÉE STABILISÉE.....	70
Un point de vue énergétique.....	70
LA DESCENTE STABILISÉE	71
Un point de vue énergétique.....	71
LE VIRAGE.....	72
Un point de vue dynamique.....	72
L'ÉQUILIBRE, LA STABILITÉ, LA MANIABILITÉ	73
L'équilibre des forces	73
La stabilité et la maniabilité	73
LES LIMITES DE CENTRAGE	74
Le drone à voilure fixe	74
Le drone à voilure tournante.....	74
LA LIMITATION DE MASSE.....	75
Le phénomène.....	75
LE DEVIS DE MASSE ET DE CENTRAGE.....	76

PHASE 3

MÉTÉOROLOGIE 77

L'ATMOSPHÈRE.....	79
L'environnement météorologique	79
La machine thermodynamique.....	79
Composition chimique de l'air	79
Les nuages	79
Les précipitations.....	79
LES ÉCHANGES DE CHALEUR	80
Les échanges d'énergie	80
Le rayonnement.....	80
La convection.....	80
La conduction	80
Les changements d'état de l'eau.....	80
LA TEMPÉRATURE.....	81
La température	81
Variation de la température	81
LA PRESSION.....	82
La pression	82
La pression atmosphérique et l'altitude.....	82
La pression atmosphérique et les conditions météorologiques.....	82
Le champ de pression.....	82
PRESSION, TEMPÉRATURE ET MASSE VOLUMIQUE DE L'AIR..	83
La masse volumique de l'air.....	83
Lois de Mariotte et de Gay-Lussac	83
L'équation d'état des gaz parfaits	83
Applications pratiques.....	83
LA DIVERSITÉ DE L'ATMOSPHÈRE	84
Introduction.....	84
L'atmosphère type	84
L'ALTITUDE-PRESSION ET L'ALTITUDE-DENSITÉ.....	85
Définitions.....	85
Exemples	85

LA DENSITÉ DE L'AIR ET LES PERFORMANCES.....	86	LA CARTE WITEM.....	106
Introduction.....	86	CODES MÉTÉOROLOGIQUES	107
La sustentation.....	86		
La puissance nécessaire.....	86		
La propulsion.....	86		
L'ALTIMÈTRE BAROMÉTRIQUE	87	PHASE 4	
Altitude et hauteur.....	87	RÉGLEMENTATION	109
L'altimètre barométrique.....	87		
LE QFE, LE QNH, LE NIVEAU DE VOL	88	LE CADRE RÉGLEMENTAIRE	111
Les trois calages.....	88	Introduction.....	111
Le QFE.....	88	La hiérarchie des normes.....	111
Le QNH.....	88	L'OACI.....	112
Le calage standard.....	88	La Convention de Chicago.....	112
LES FORCES ET LE MOUVEMENT DE L'AIR.....	89	Souveraineté.....	112
Le mouvement de l'air.....	89	Territoire.....	112
Le vent en météorologie.....	89	L'organisation de l'OACI.....	112
LES VENTS MODÈLES	90	Les normes et les pratiques recommandées.....	112
Le vent géostrophique.....	90	LE DROIT ET LE CITOYEN	113
Le vent à basse hauteur.....	90	Les sources du droit.....	113
LA BRISE.....	91	La réglementation aéronautique.....	113
Définition.....	91	Exemples.....	113
Le phénomène.....	91	Les autorités.....	113
LA TURBULENCE DE FROTTEMENT	92	Où consulter la réglementation?.....	113
Les phénomènes.....	92	L'AÉRONEF ET LA RÉGLEMENTATION	114
Précautions.....	92	Les aéronefs.....	114
LA TURBULENCE DE RELIEF	93	La navigabilité.....	114
Le phénomène.....	93	Le contexte d'utilisation.....	114
Précautions.....	93	Le cadre réglementaire français.....	114
LA STABILITÉ, L'INSTABILITÉ DE L'ATMOSPHÈRE	94	LA NAVIGABILITÉ EN AÉROMODÉLISME	115
Le phénomène.....	94	Conditions générales.....	115
Le critère de la stabilité.....	94	Catégories d'aéromodèles.....	115
LA TURBULENCE CONVECTIVE.....	95	Navigabilité de l'aéromodèle catégorie A.....	115
Le phénomène.....	95	Navigabilité de l'aéromodèle catégorie B.....	115
Les conséquences opérationnelles.....	95	Fréquences radio.....	115
LES NUAGES	96	Batteries au lithium.....	115
La formation des nuages.....	96	LE MAINTIEN EN ÉTAT DE NAVIGABILITÉ DE L'AÉROMODÈLE ..	116
Classification des nuages.....	96	L'objectif.....	116
LES PRÉCIPITATIONS.....	97	L'utilisateur.....	116
Le phénomène.....	97	L'attestation annuelle en catégorie B.....	116
Les types de précipitation.....	97	Révision de l'autorisation de vol en catégorie B.....	116
L'ORAGE.....	98	LA NAVIGABILITÉ EN EXPÉRIMENTATION	117
Le phénomène.....	98	L'expérimentation.....	117
Les conséquences opérationnelles.....	98	Le laissez-passer.....	117
LA BRUME ET LE BROUILLARD	99	Délivrance du laissez-passer.....	117
Définitions.....	99	LA NAVIGABILITÉ EN ACTIVITÉS PARTICULIÈRES.....	118
Le brouillard de rayonnement.....	99	Les scénarios opérationnels.....	118
Le brouillard d'advection.....	99	L'attestation de conception.....	118
Le brouillard de pente.....	99	Les documents de base.....	118
Les conséquences opérationnelles.....	99	Les conditions spécifiques.....	118
MASSES D'AIR ET PERTURBATIONS	100	Le marquage des aéronefs.....	118
Les masses d'air.....	100	Masses maximales autorisées.....	118
Les perturbations.....	100	Activités interdites.....	118
LES PERTURBATIONS DU FRONT POLAIRE	101	LES CONDITIONS TECHNIQUES DE CONCEPTION.....	119
Le phénomène.....	101	Introduction.....	119
Les nuages associés.....	101	Bandes de fréquence.....	119
Conséquences opérationnelles.....	101	Aérostat.....	119
L'INFORMATION MÉTÉOROLOGIQUE	102	Aéronef captif.....	119
LE METAR	103	Aéronef non captif.....	119
LE TAF.....	104	Scénario S2.....	119
LA CARTE TEMSI.....	105	Scénario S3.....	119
		Scénario S4.....	119
		LE MAINTIEN EN ÉTAT DE NAVIGABILITÉ EN ACTIVITÉS	
		PARTICULIÈRES	120
		Rappel.....	120

Entretien.....	120	Règles de base	134
Consignes de sécurité.....	120	Priorités entre aéronefs de même type.....	134
Modifications, réparations conformes.....	120	LES RÈGLES DE L'AIR : HAUTEUR DE VOL.....	135
Modifications nécessitant une révision de l'attestation de conception.....	120	Hauteur minimale en aviation habitée.....	135
Déclaration périodique d'aptitude au vol.....	120	Hauteur de vol pour les drones	135
LE TÉLÉPILOTE.....	121	RESTRICTIONS SPATIALES ET HORAIRES	136
Introduction.....	121	Interdictions et restrictions.....	136
La responsabilité du télépilote.....	121	Activités nécessitant une déclaration ou une notification préalable.....	136
Le télépilote d'un aéromodèle.....	121	Restriction de visibilité	136
Le télépilote en activités particulières.....	121	Activités permanentes.....	136
L'EXPLOITANT	122	RESTRICTIONS DE VOL À PROXIMITÉ DES AÉRODROMES....	137
Un rôle majeur.....	122	L'objectif opérationnel.....	137
Les obligations de l'exploitant.....	122	Les règles à observer.....	137
Le MAP.....	122	PRÉPARATION DU VOL EN ACTIVITÉ PARTICULIÈRE : LE RÔLE DE L'EXPLOITANT.....	138
Déclaration d'activité.....	122	Introduction.....	138
Renouvellement de la déclaration.....	122	Vérifications préalables	138
Bilan annuel d'activités.....	122	Documents nécessaires.....	138
LA DÉMARCHE DE SÉCURITÉ.....	123	Volume maximal de vol.....	138
L'objectif.....	123	Protection des tiers au sol.....	138
Notification des événements.....	123	Personnes autorisées.....	138
Compte rendu d'événement.....	123	PRÉPARATION DU VOL EN ACTIVITÉ PARTICULIÈRE : LE RÔLE DU TÉLÉPILOTE	139
Système d'analyse et de suivi.....	123	Introduction.....	139
Bilan annuel d'activité.....	123	La météorologie.....	139
LA RÉGLEMENTATION DE LA CIRCULATION AÉRIENNE	124	Réserves d'énergie.....	139
Les règles de l'air	124	Vérifications de sécurité.....	139
Les sources de la réglementation.....	124	CONDUITE DU VOL EN ACTIVITÉ PARTICULIÈRE.....	140
L'information aéronautique	124	Le pilotage.....	140
SERVICES ET ORGANISMES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE 125		Limites d'utilisation.....	140
L'annexe 11.....	125	Utilisation de l'espace aérien.....	140
Les trois services ATS.....	125	Procédure AIRPROX.....	140
Le service du contrôle de la circulation aérienne.....	125	LE RESPECT D'AUTRUI.....	141
Le service d'information de vol.....	125	Introduction.....	141
Le service d'alerte.....	125	Prises de vues.....	141
Les organismes ATS.....	125	Vie privée.....	141
Les organismes du contrôle de la circulation aérienne.....	125	Le droit du propriétaire.....	141
Les centres d'information de vol.....	125	Responsabilité civile.....	141
Les bureaux de piste.....	125	Responsabilité pénale.....	141
Les organismes AFIS.....	125	DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES	142
LES RÈGLES DE L'AIR : DOMAINE D'APPLICATION	126	PHASE 5	
Du droit international au droit national.....	126	NAVIGATION	147
Conformité aux règles de l'air.....	126	LA TERRE ET L'ELLIPSOÏDE DE RÉFÉRENCE.....	149
Le commandant de bord.....	126	L'ellipsoïde de référence.....	149
Usage de substances nocives.....	126	Les coordonnées géographiques.....	149
L'ESPACE AÉRIEN.....	127	LES COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES	150
L'espace aérien.....	127	Méridien et parallèle	150
Les classes d'espace.....	127	Coordonnées géographiques.....	150
Les régions d'information de vol.....	127	LE TEMPS.....	151
L'espace aérien contrôlé.....	127	Le temps.....	151
Les zones P, R, D.....	127	Les références de temps.....	151
L'ESPACE AÉRIEN EN FRANCE	128	Le temps UTC.....	151
L'AÉRODROME : PRÉSENTATION	129	Le temps civil local LMT.....	151
L'aérodrome.....	129	L'heure légale.....	151
Le balisage.....	129	LE LEVER ET LE COUCHER DU SOLEIL	152
L'AÉRODROME : DÉFINITIONS	130	La Terre dans le système solaire.....	152
Définitions et abréviations.....	130	Mouvement apparent du Soleil.....	152
LES SIGNAUX LUMINEUX POUR LA CIRCULATION D'AÉRODROME	131	Les équinoxes et les solstices.....	152
LES SIGNAUX VISUELS AU SOL	132	Le lever et le coucher de Soleil.....	152
LA PHRASÉOLOGIE	133	La nuit aéronautique.....	152
La bonne pratique.....	133		
LES RÈGLES DE L'AIR : PRÉVENTION DES ABORDAGES	134		
Négligence ou imprudence dans la conduite des aéronefs.....	134		
Proximité.....	134		

LE NORD	153
L'orientation	153
Le nord	153
Déclinaison, déviation, variation.....	153
LE CAP, LA ROUTE, LA DÉRIVE	154
Le cap	154
La route	154
La dérive	154
L'ORTHODROMIE ET LA LOXODROMIE	155
Introduction	155
L'orthodromie.....	155
La loxodromie.....	155
Petites distances	155
Unités de distance.....	155
MESURE DES ROUTES ET DES DISTANCES	156
Introduction.....	156
La mesure de la route.....	156
La mesure de la distance	156
LA PROJECTION	157
La carte	157
L'échelle	157
Projection conforme.....	157
LA CARTE LAMBERT	158
La projection.....	158
UTILISATION DE LA CARTE	159
Les coordonnées d'un point	159
Mesure de la route	159
Mesure de la distance	159
LE CHEMINEMENT	160
L'ESTIME	161
Le principe	161
Le triangle des vitesses.....	161
L'ESTIME EN PRATIQUE	162
Vent effectif et vent traversier	162
La méthode	162
LA NAVIGATION PAR SATELLITES	163
Présentation	163
Fonctions de base.....	163
Calculateur de navigation.....	163
LES CARTES AÉRONAUTIQUES	164
L'objectif opérationnel.....	164
Les types de carte	164
Les informations utiles	164
La carte au 1/500000e.....	164
LA CARTE VAC	166
 PHASE 6	
PROCÉDURES OPÉRATIONNELLES 169	
LA PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS	171
LA NAVIGABILITÉ	172
LE DOSSIER D'UTILISATION	173
LE MAP	174
LE DOSSIER DE SÉCURITÉ	175
L'objectif.....	175
La démarche	175
LE VOL ET LA MÉTÉOROLOGIE	176
Introduction	176
L'altitude-densité	176
La turbulence.....	176
Le vent	176

Les nuages, la brume et le brouillard	176
Les précipitations.....	176
L'orage.....	176
LA PROTECTION DES TIERS AU SOL	177
LE VOL EN IMMERSION ET LE VOL ASSISTÉ PAR UNE CAMÉRA .	178
Définitions.....	178
Le vol en immersion	178
Le vol assisté par une caméra.....	178
LES PROCÉDURES D'URGENCE	179
Introduction	179
La réduction du risque	179
Le dossier d'utilisation	179
Les procédures d'urgence.....	179
PRÉPARATION DU VOL	180
RÉALISATION DU VOL	181
LE RETOUR D'EXPÉRIENCE	182
Introduction	182
La réglementation	182

PHASE 7

PERFORMANCES HUMAINES 183

LA VISION	185
Définition	185
Anatomie	185
L'acuité visuelle.....	185
L'HYGIÈNE DE VIE	186
Le capital santé	186
L'alcool	186
Les médicaments.....	186
L'ATTENTION ET LA VIGILANCE	187
L'attention.....	187
La charge de travail.....	187
La vigilance.....	187
Gérer ses ressources mentales.....	187
LA PERCEPTION	188
Introduction	188
Le proprioceptif.....	188
L'extéroceptif.....	188
Nos sens	188
La sélectivité	188
LA COMPRÉHENSION ET LA MÉMOIRE	189
Comprendre pour piloter	189
Les mémoires	189
LA PRISE DE DÉCISION	190
Prise de décision et jugement	190
Influences et risques liés à la décision	190
Calculer les risques	190
Les stratégies de décision	190
Conclusion	190
LES ERREURS	191
La notion d'erreur	191
Les erreurs de routine	191
Les erreurs de règle	191
Les erreurs de modèle	191
Les erreurs de représentation.....	191
ÉVITEMENT ET GESTION DES ERREURS	192
La prise de conscience.....	192
La pression du temps.....	192
Conclusion	192
LE SOMMEIL	193

Les phases du sommeil 193
Le besoin en sommeil..... 193
Le rythme circadien..... 193

GÉRER LA FATIGUE ET LE STRESS 194

La fatigue..... 194
Éviter la fatigue 194
Le stress 194
Que faire face au stress ? 194

PHASE 8

PRÉPARATION ET SUIVI DU VOL 195

PRÉPARATION DU VOL 197

SUIVI DU VOL 198

INDEX 199

TABLE DES FIGURES 201
