

Gérard Pujol
Nicolas Kestens

FORMATION AU **TÉLÉPILOTAGE DE DRONES**

**LES NOTIONS CLÉS,
LA RÉGLEMENTATION,
DES QCM POUR S'ENTRAÎNER**

Le tout-en-un pour préparer votre examen théorique

DUNOD

Direction artistique : Nicolas Wiel
Conception graphique de la couverture : Pierre André Gualino
Illustration de couverture : Nano Calvo – Alamy

© Dunod, 2021
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-083046-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

CHAPITRE 1 – LA MÉTÉOROLOGIE	3
1 L'atmosphère	3
1.1 La composition de l'atmosphère	3
1.2 Le découpage de l'atmosphère	4
1.3 La température de l'air	6
1.4 Les échanges thermiques dans l'atmosphère	7
1.5 La pression	11
1.6 Les cartes de pression	13
1.7 L'atmosphère standard	14
1.8 La masse volumique de l'atmosphère	16
2 L'altimétrie	17
2.1 Quel est le lien entre altimétrie et baromètre ?	17
2.2 Que mesure-t-on ?	17
3 L'humidité de l'air : mesure et rôle	18
3.1 L'humidité absolue	19
3.2 L'humidité relative	19
3.3 Le point de rosée	19
4 Le vent	20
4.1 Les mesures du vent	20
4.2 L'origine du vent : le champ de pression	21
4.3 Les vents régionaux	23
4.4 Les brises	23
5 L'aérologie de basse couche	24
5.1 La couche limite	24
5.2 Les dangers invisibles	24
6 Les nuages	26
6.1 Comment se forment les nuages ?	26
6.2 Classification des nuages et répartition verticale	26
6.3 Comment se déclenchent les précipitations ?	27
6.4 Les nuages dangereux	27
6.5 La nébulosité en octas	29
7 Circulation atmosphérique, fronts et perturbations	29
7.1 La circulation générale	29

7.2 Les masses d'air	30
7.3 Le front et la surface frontale.....	30
7.4 La formation d'une perturbation	30
7.5 Front chaud, front froid et occlusion.....	31
7.6 Les dangers liés aux fronts.....	32
7.7 La carte d'une perturbation	33
QCM	34

CHAPITRE 2 – LA MÉCANIQUE DU VOL

1 Les différents types de drones.....	39
2 La mécanique des fluides.....	40
2.1 Le tube de courant	40
2.2 Le principe de Bernoulli.....	40
2.3 Pressions statique et dynamique	41
3 Le vol des drones à voilure fixe	42
3.1 Le comportement aérodynamique d'une aile	42
3.2 L'écoulement de l'air autour d'un profil.....	42
3.3 La résultante aérodynamique.....	44
3.4 La portance R_z et la traînée R_x	44
3.5 La polaire : un outil pour analyser le bilan aérodynamique.....	45
3.6 La finesse	46
4 Les lois de la mécanique du vol	47
4.1 Le référentiel galiléen et la première loi de Newton.....	47
4.2 Le vol dynamique des drones à voilure fixe.....	48
4.3 Le facteur de charge.....	51
5 Le vol dynamique des drones à voilure tournante.....	52
5.1 Le vol statique d'un drone quadrirotor (quadricoptère)	52
5.2 Le déplacement horizontal rectiligne à vitesse constante	52
5.3 Montée ou descente verticale à vitesse constante	53
5.4 La montée inclinée à vitesse constante	53
5.5 Le comportement en virage et en ressource.....	53
5.6 Le vol dynamique des drones de type « dirigeable »	54
6 Les hélices et les rotors	55
6.1 Le rôle des moteurs.....	55
6.2 Qu'est-ce qu'une hélice ?	56
6.3 Qu'est-ce qu'un rotor ?	58
6.4 La conversion du couple moteur en poussée	59
7 La masse et le centrage d'un drone.....	60
7.1 La masse et le centrage	60
7.2 La masse et le centrage des drones à voilure fixe	60
7.3 La masse et le centrage des drones à voilure tournante.....	64
QCM	66

CHAPITRE 3 – LA NAVIGATION

71

1 Se repérer sur le globe terrestre	71
2 Les cartes	72
2.1 Comment sont réalisées les cartes planes d'une sphère ?	72
2.2 Les différentes cartes	72
2.3 L'utilisation des cartes	74
3 La mesure du temps	76
3.1 Le mouvement de la Terre dans le système solaire	76
3.2 Mesurer le temps	76
3.3 Notion de jour et de nuit pour piloter à vue	77
4 Les mesures et unités employées	78
4.1 Latitude et longitude : des raisons historiques.....	78
4.2 Des miles nautiques pour les distances	78
4.3 Des nœuds pour les vitesses	79
4.4 Des pieds pour les altitudes.....	79
5 Magnétisme et compas : s'orienter sur le globe terrestre	79
5.1 Le pôle Nord géographique ou Nord vrai (N_v) et le cap	79
5.2 Le compas	80
5.3 Le pôle Nord magnétique (N_m)	80
5.4 La déclinaison magnétique (D_m)	80
5.5 La déviation du compas	81
6 Orientation et cap de l'appareil.....	82
6.1 Le cap	82
6.2 La route.....	82
6.3 Gestion en vol : correction d'une déviation de route.....	83
6.4 Le triangle des vitesses.....	83
7 La navigation à l'estime.....	84
7.1 Les bases de la navigation à l'estime	84
7.2 L'erreur systématique	85
7.3 Je suis perdu, je fais quoi ?	85
7.4 Et avec un drone ?	86
8 Les ondes électromagnétiques.....	86
8.1 Nature et propagation des ondes.....	86
8.2 Longueur d'onde et fréquence.....	87
8.3 Les problèmes d'émission et de réception.....	88
9 Le système GPS	89
9.1 Présentation.....	89
9.2 L'obtention d'un point GPS	90
9.3 Les différents systèmes de positionnement par satellite.....	90
9.4 La navigation utilisant un GPS	90
10 Calculs de distance	91
10.1 Utilisation des coordonnées angulaires (lat et long).....	91

10.2 Exercices	93
10.3 Calculs et conversions	95
QCM	96

———— CHAPITRE 4 – LA RÉGLEMENTATION AÉRONAUTIQUE ———— 101

1 Les organismes mondiaux, européens et français	101
1.1 Au niveau mondial : naissance de l'OACI et de l'IATA	101
1.2 Au niveau européen : l'EASA	102
1.3 La DGAC	102
1.4 Du niveau international au niveau national : l'entonnoir	103
2 Sécurité, sûreté : quelles différences ?	103
2.1 La sécurité	103
2.2 La sûreté	103
2.3 Les organismes d'enquête sur la sécurité	103
3 Les règles de l'air	104
3.1 La proximité entre aéronefs	104
3.2 La priorité entre aéronefs	104
3.3 En Europe, les règles « SERA »	105
3.4 La hauteur minimale de vol en aviation habitée	105
4 Circulation aérienne et règles de vol	106
4.1 Typologie de la circulation aérienne	106
4.2 Les règles de vol	106
4.3 Responsabilité et autorité du commandant de bord	106
5 Services et organismes de la circulation aérienne	106
5.1 La terminologie	106
5.2 Le service de contrôle	107
5.3 Le service d'information de vol (SIV)	107
5.4 Le service d'alerte	108
6 L'organisation des espaces aériens	108
6.1 Les grandes régions de navigation aérienne (GRNA)	108
6.2 Les régions d'information de vol	109
6.3 Les portions d'espaces aériens contrôlées	109
6.4 Les classes d'espaces aériens	110
7 Une nouvelle définition de l'espace aérien	111
8 Conclusion	113
QCM	114

———— CHAPITRE 5 – LA CONNAISSANCE TECHNIQUE DES DRONES ———— 117

1 Le drone	117
2 Le système électrique des drones	118
2.1 Le courant électrique et la tension	118
2.2 Les lois de l'électricité	119

2.3 La puissance et l'énergie électrique	122
3 Les batteries.....	124
3.1 Technologie des batteries et critères de choix	124
3.2 Les batteries Li-Po.....	125
3.3 Les associations de modules Li-Po	125
3.4 Les caractéristiques complètes d'un accumulateur Li-Po	126
3.5 Entretenir ses batteries.....	127
4 Le moteur électrique.....	128
4.1 Principe général de fonctionnement	128
4.2 Le moteur électrique classique avec balais, dit « <i>brushed</i> ».....	129
4.3 Le moteur électrique sans balais, dit « <i>brushless</i> »	129
5 Le servomoteur et l'hélice.....	131
5.1 Le servomoteur	131
5.2 L'hélice	132
6 Les instruments de bord d'un drone	132
6.1 L'IMU ou « <i>Inertial Measurement Unit</i> »	132
6.2 Au fait, qu'est-ce qu'un capteur ?	133
6.3 Quelques instruments munis de capteurs	134
6.4 Et les instruments gyroscopiques ?.....	136
6.5 Bilan	137
7 Le système de pilotage	137
7.1 Les trois modes de pilotage principaux.....	137
7.2 Les conséquences d'une réversion de mode.....	138
7.3 D'autres fonctionnalités sophistiquées.....	138
8 Première leçon de pilotage.....	139
8.1 Les trois axes et les gouvernes d'un drone type avion	139
8.2 Les trois axes et les gouvernes d'un drone de type multicoptère....	141
8.3 Les effets induits : exemple du lacet inverse des drones avion	143
9 L'entretien d'un drone	144
9.1 Les efforts appliqués sur la structure	144
9.2 L'importance de l'entretien	144
QCM	145

CHAPITRE 6 – LA RÉGLEMENTATION SPÉCIFIQUE AUX DRONES 149

1 Cadre réglementaire, textes et dates	149
1.1 Acteurs et développement de la réglementation	149
1.2 Sites internet et guides à consulter impérativement.....	150
2 La réglementation française	151
2.1 Le principe fondateur.....	151
2.2 La période de transition	151
2.3 Les textes fondateurs	151
3 La réglementation européenne	152
3.1 Le fondement de la réglementation européenne	152

3.2	Les changements introduits par la réglementation européenne.....	153
3.3	Pour mieux comprendre.....	154
3.4	Les classes de drones identifiées par un marquage « CE ».....	157
3.5	Aperçu des trois catégories d'exploitation.....	158
3.6	Différencier propriétaire, exploitant et télépilote.....	159
4	La catégorie d'exploitation « ouverte ».....	159
4.1	La sous-catégorie A1.....	160
4.2	La sous-catégorie A2.....	161
4.3	La sous-catégorie A3.....	163
4.4	Le vol dans un autre État membre.....	164
4.5	L'enregistrement en catégorie ouverte.....	165
4.6	Dispositif de signalement électronique et lumineux, et identification directe à distance en catégorie ouverte.....	165
4.7	L'enregistrement de votre drone en catégorie ouverte.....	167
4.8	La notice d'information standardisée.....	167
4.9	Résumé de la catégorie ouverte.....	167
5	La catégorie d'exploitation « spécifique ».....	168
5.1	Option 1 : réaliser une étude complète des risques (méthode SORA).....	169
5.2	Option 2 : la déclaration selon un scénario standard.....	174
5.3	Option 3 : utiliser une analyse de risque prédéfinie (PDRA).....	178
5.4	Option 4 : demander la délivrance d'un LUC.....	180
5.5	L'enregistrement d'exploitant d'UAS en catégorie spécifique.....	180
5.6	L'enregistrement du drone en catégorie spécifique.....	180
5.7	Dispositif de signalement électronique et lumineux, et identification directe à distance en catégorie spécifique.....	180
5.8	Le manuel d'exploitation.....	181
5.9	La déclaration d'activité d'exploitant en catégorie spécifique.....	181
5.10	Le bilan annuel d'activité.....	182
5.11	Zone minimale d'exclusion des tiers/zone contrôlée.....	182
5.12	La catégorie spécifique en résumé.....	184
6	Les conditions particulières de vol.....	184
6.1	Le vol à proximité des aérodromes.....	184
6.2	Le vol à plus de 120 mètres de hauteur.....	189
6.3	Le vol au sein d'espaces aériens à statut particulier.....	190
6.4	Le vol dans une zone d'entraînement militaire.....	191
6.5	Le survol des obstacles artificiels.....	191
6.6	Le vol de nuit.....	191
6.7	Le vol au sein d'une zone peuplée.....	192
6.8	Les prises de vues.....	192
7	La catégorie d'exploitation « certifiée ».....	193
8	Responsabilités et assurances.....	193
8.1	Des responsabilités différentes selon les rôles.....	193
8.2	Les assurances.....	194

9 La protection de la vie privée	195
9.1 Espace public et espace privé	195
9.2 Le droit à la vie privée	195
9.3 Ce qui me concerne en tant que télépilote	196
10 Le cas particulier de l'aéromodélisme	196
10.1 L'aéromodélisme	196
10.2 L'intégration par la réglementation européenne	196
10.3 Qu'est-ce qu'un aéromodèle ?	197
10.4 Qu'est-ce qu'une association d'aéromodélisme ?	197
10.5 Critères pour entrer dans le champ de l'aéromodélisme	197
10.6 Les prises de vue en aéromodélisme	198
10.7 L'enregistrement des drones en aéromodélisme	198
10.8 Autres règles et dispositions	198
11 Cas pratiques simples pour le loisir	199
11.1 Mon drone pèse moins de 250 g : sous-catégorie A1	200
11.2 Mon drone pèse plus de 250 g mais moins de 900 g : sous-catégorie A1	200
11.3 Mon drone pèse plus de 900 g mais moins de 4 kg : sous-catégorie A2	200
11.4 Mon drone pèse plus de 4 kg mais moins de 25 kg : sous-catégorie A3	201
11.5 Le cas particulier de l'aéromodélisme	201
11.6 Et si je souhaite faire plus avec mon drone ?	202
12 Les documents à présenter en cas de contrôle	202
13 Exemples d'incidents et accidents	202
13.1 Incident grave d'un A320 Air France le 19 février 2016	202
13.2 Incident grave d'un DJI Inspire 2 le 14 juillet 2019	203
13.3 Incident grave d'un drone en Belgique	203
13.4 Un drone tombe sur le toit d'une maison en Angleterre	203
14 Pour aller plus loin : drones et aviation habitée	204
QCM	205

CHAPITRE 7 – LA PRÉPARATION ET LA GESTION DU VOL 209

1 Les bases de la communication radiotéléphonique	209
1.1 Le code Morse et l'alphabet aéronautique	209
1.2 L'échelle de lisibilité radiotéléphonique	211
1.3 Le code Q	211
1.4 Hauteur, altitude et niveau de vol	212
2 L'information aéronautique	213
2.1 Le système intégré d'information aéronautique IAIP	214
2.2 AIP et AIC : des informations permanentes	214
2.3 Consulter l'AIP	214
2.4 Les zones à statut particulier	215

2.5 Le cycle AIRAC : mise à jour de l'information permanente	217
2.6 NOTAM et SUP AIP : les informations temporaires	217
3 Les messages météorologiques	220
3.1 METAR et TAF : les messages météorologiques d'aérodrome	220
3.2 Le message d'alerte météorologique SIGMET	221
3.3 Les abréviations des messages météorologiques à retenir.....	221
4 Les cartes météorologiques.....	222
4.1 Les cartes TEMSI pour le temps significatif	222
4.2 Les cartes WINTEN pour les vents et les températures.....	224
5 Les cartes de navigation.....	225
5.1 La carte des restrictions pour les drones de loisir.....	225
5.2 La carte de vol à vue, OACI VFR.....	226
5.3 Les cartes d'approche à vue des aérodromes, cartes VAC	226
6 La préparation d'un vol par drone	226
6.1 Drone et zone de vol : par où dois-je commencer ?	226
6.2 Les exigences réglementaires essentielles	227
6.3 Le dossier météorologique.....	228
6.4 Déclarations, autorisations, dérogations, notifications	228
6.5 Le jour J	228
6.6 Briefing et débriefing	229
6.7 Quelques acronymes utiles.....	230
6.8 Des plateformes qui vous facilitent la tâche !	230
7 La gestion du vol.....	231
7.1 De l'importance de l'entretien et des procédures adaptées.....	231
7.2 Procédure vs. <i>check-list</i>	232
QCM	234

CHAPITRE 8 – LES FACTEURS HUMAINS 237

1 Les concepts de base	237
1.1 Les facteurs humains dans l'aviation.....	237
1.2 Devenir un télépilote compétent.....	237
2 Physiologie et psychologie	238
2.1 La vision chez l'homme.....	238
2.2 Les effets des médicaments et de l'alcool	241
2.3 Le stress.....	242
2.4 Fatigue, sommeil et rythme circadien.....	244
3 Connaissances, compétences, expériences.....	246
4 La prise de décision	247
5 Rapporter une situation et principe du <i>closed loop</i>	248
5.1 Communiquer efficacement sur une situation.....	248
5.2 Le <i>closed loop</i> ou boucle fermée	249
6 La mémoire	250

6.1 La mémoire à long terme	250
6.2 La mémoire à court terme	250
6.3 La mémoire de travail	251
7 Conscience d'une situation et désorientation visuelle	251
7.1 La conscience d'une situation	251
7.2 La désorientation visuelle	251
8 Évitement et gestion des erreurs	252
8.1 Qu'est-ce qu'une erreur ?	252
8.2 Comment éviter nos erreurs ?	253
9 Compte-rendu d'événement et retour d'expérience	253
9.1 Le compte-rendu d'événement	253
9.2 Le retour d'expérience	255
10 Le principe de culture juste	256
QCM	258
Solutions	261
Crédits iconographiques	267
Acronymes	269
Index	271

Introduction

Depuis l'entrée en vigueur de la réglementation européenne le 1^{er} janvier 2021, l'utilisation de drones civils est soumise à un ensemble de règles identiques au sein de tous les États membres de l'Union européenne, notamment en ce qui concerne les formations et examens théoriques et pratiques des pilotes à distance. Néanmoins, en France, certaines dispositions nationales demeurent applicables pendant une période de transition qui court jusqu'en 2023.

En plus de vous apporter les éléments de connaissances essentiels dans divers domaines (météorologie, mécanique du vol, navigation, réglementation aéronautique, préparation du vol et facteurs humains), cet ouvrage se veut une aide à la compréhension de la nouvelle réglementation européenne. En outre, il vous permettra d'enrichir vos connaissances en complément de vos futures formations (obligatoires ou non) et de vous préparer aux examens disponibles à ce jour et à ceux à venir.

Pour vous aider, vous trouverez en page suivante un tableau synthétique qui reprend les différentes formations et examens réglementaires. Bonne lecture !

Titre/intitulé		Utilité	Partie théorique	Partie pratique
Formation loisir		Piloter un drone > 800 g : - en « équivalent catégorie ouverte » pendant la période de transition ; - en aéromodélisme , dans certains cas.	Plateforme « FoxAlphaTango » : Formation e-learning + examen en ligne (40 QCM)	Formation pratique <i>conseillée</i> Obligatoire pour aéromodèle de catégorie B
	Brevet d'Aptitude à Distance (BAPD)			
	Formation et examen A1/A3	Piloter en sous-catégories A1 et A3 (catégorie ouverte)	Plateforme « Formation catégorie ouverte » : Formation e-learning + examen en ligne (40 QCM)	Formation pratique <i>conseillée</i>
	Formation et examen A2	Piloter en sous-catégorie A2 (catégorie ouverte)	Examen en centre d'examen DGAC (30 QCM) <i>Formation théorique conseillée</i>	Auto-formation pratique obligatoire
Pas d'intitulé (titre qui se compose du CATT et des documents relatifs à la formation pratique basique)		Équivalence valable 5 ans du BAPD (conditions de prorogation à définir) Piloter un drone selon les scénarios standards nationaux (intérêt pour les télépilotes actifs avant 2021)	Examen en centre d'examen DGAC (60 QCM) = délivrance du Certificat d'Aptitude Théorique de Télépilote (CATT) <i>Formation théorique conseillée</i>	Formation « pratique basique » obligatoire = délivrance d'une attestation de formation + livret de progression
Certificat d'Aptitude Théorique de Pilote à Distance (CATPD)		Piloter selon les scénarios standards européens (STS)	Examen en centre d'examen DGAC (40 QCM) <i>Formation théorique conseillée</i>	Formation et examen pratique obligatoires
Autres titres (autres cas)		Piloter un drone dans d'autres cas (PDRA , analyse SORA , LUC)	À définir par le demandeur et à proposer à la DGAC dans le cadre de la demande d'autorisation d'exploitation	