



# Table des matières

---

<b>Les contributeurs</b>	17
<b>Avant-propos</b>	19
<b>Préface</b>	21
<b>Remerciements</b>	25
<b>Chapitre 1 • Climat moyen et cycle annuel</b>	27
1.1 Introduction	28
1.2 Pluviométrie et évaporation moyennes	33
1.3 Vapeur d'eau et couverture nageuse	42
1.4 Rayonnement, poussières, durée d'ensoleillement, végétation et eau du sol	46
1.5 Pression, température, humidité et vent en surface	53
1.6 Champs de vents, de masse et d'humidité en altitude	59
1.6.1 Une vision eulérienne de la circulation du vent et de la dynamique	59
1.6.2 Une vision lagrangienne de la circulation	69
1.7 Schémas résumant le système WAM entre janvier et juillet	71
Remerciements	75
Annexe : Acronymes	76
Références	77

<b>Chapitre 2 • Systèmes synoptiques</b>	83
2.1 Bases scientifiques	84
2.1.1 Introduction	84
2.1.2 Aspects synoptiques à l'échelle continentale	86
2.1.2.1 La dépression thermique saharienne	86
2.1.2.2 Le front inter-tropical (FIT) ou discontinuité inter-tropicale	89
2.1.2.3 Le jet d'est africain (JEA)	91
2.1.3 Les ondes d'est africaines	93
2.1.3.1 Contexte	93
2.1.3.2 Structure synoptique des AEW : observations, analyses et composites statistiques	93
2.1.3.3 Structure des ondes d'est africaines	102
2.1.3.4 La genèse des AEW	107
2.1.3.5 Dynamique et évolution des AEW	108
2.1.3.6 Relation avec la convection profonde	113
2.1.3.7 Transformations dans le sillage de l'écoulement	118
2.1.4 Les dépressions des moyennes latitudes et de la haute troposphère	119
2.1.5 Intrusions d'air sec extra-tropical	124
2.1.6 Les systèmes de la côte de Guinée	126
2.1.6.1 Les nuages et les pluies de la côte de Guinée	126
2.1.6.2 La petite saison sèche	129
2.1.7 Rétroactions des surfaces continentales à l'échelle synoptique	130
2.2 Méthodes opérationnelles et structures synoptiques canoniques	135
2.2.1 Champs synoptiques et principales implications	135
2.2.2 Cas d'étude d'ondes d'est et structure canonique	137
2.2.2.1 Un archétype d'onde d'est : le cas d'étude CS02 des 12-16 août 2012	137
2.2.2.2 Cas d'étude de déferlement d'une onde d'est	140
2.2.2.3 Transformations des ondes d'est au passage de la côte	143
2.2.2.4 Orages durant la saison sèche sur l'Afrique de l'Ouest	146
Remerciements	148
Annexe : Acronymes	148
Références	149
<b>Chapitre 3 • Convection profonde</b>	161
3.1 Bases scientifiques	162
3.1.1 Introduction	162
3.1.1.1 La convection est-elle différente sur l'Afrique ?	163

3.1.1.2	Interactions entre la convection et l'écoulement de grande échelle	166
3.1.1.3	Objectifs de ce chapitre	168
3.1.2	Processus et facteurs qui gouvernent la convection	169
3.1.2.1	Ascendances convectives	169
3.1.2.2	Subsidences, DCAPE et courants de densité	172
3.1.2.3	Cisaillement de vent	177
3.1.2.4	Discussion	179
3.1.3	Organisation de la convection profonde	181
3.1.3.1	Différents types d'organisation	181
3.1.3.2	Le schéma conceptuel de ligne de grains	184
3.1.3.3	Climatologie et classification des MCS	187
3.1.4	Cycle de vie et cycle diurne	190
3.1.4.1	Déclenchement	190
3.1.4.2	Le cycle diurne	200
3.1.4.3	Dissipation	201
3.2	Méthodes opérationnelles	202
3.2.1	Cycle de vie de la convection du 12 au 16 août 2012 (CS02)	203
3.2.1.1	MCS1	203
3.2.1.2	MCS2	205
3.2.1.3	MCS3	206
3.2.1.4	CS1	206
3.2.1.5	CS2	208
3.2.1.6	Suppression de la convection	208
3.2.2	Courant de densité du 27 septembre 2014 (CS14)	208
3.2.3	Prévision des zones d'initiation et de suppression des orages	211
3.2.3.1	Conditions synoptiques et stabilité	211
3.2.3.2	Historique de l'activité orageuse	216
3.2.3.3	Utilisation des modèles numériques de prévision pour prévoir le déclenchement de la convection	216
3.2.4	Prévision du type d'orage	217
3.2.4.1	Organisation, longévité, vitesse et direction de propagation	217
3.2.4.2	Phénomènes météorologiques associés	217
3.2.5	Prévision de la suppression de la convection	218
	Remerciements	219
	Annexe : Acronymes	220
	Références	220

<b>Chapitre 4 • Météorologie locale</b>	225
4.1 Bases scientifiques	226
4.1.1 Introduction	226
4.1.2 Bilan d'énergie de la surface et couche limite de surface atmosphérique	228
4.1.2.1 Principes de base du bilan d'énergie de la surface	228
4.1.2.2 Le vent dans la couche de surface	234
4.1.2.3 Le bilan énergétique de la surface des zones climatiques ouest-africaines	235
4.1.2.4 Variations du bilan d'énergie de la surface et de la température à la surface en réponse aux processus physiques	236
4.1.3 Le cycle diurne de la couche limite en Afrique de l'Ouest	242
4.1.3.1 La couche limite convective diurne	242
4.1.3.2 La couche limite nocturne	248
4.1.3.3 Formation du brouillard	254
4.1.3.4 La couche limite planétaire océanique	258
4.1.4 Vents locaux : variabilité méso-échelle et circulations	259
4.1.4.1 Structures cohérentes des vents : lignes de convergence et courants de densité	259
4.1.4.2 La brise de mer et la brise de terre	262
4.1.4.3 Vents induits par le relief	268
4.1.4.4 Vents locaux et convergences associées aux gradients d'humidité du sol et de végétation	270
4.1.4.5 Ondes piégées, mascarets et solitons	272
4.1.5 Distribution de la pluie convective à l'échelle locale	274
4.1.5.1 Cumulus congestus	275
4.1.5.2 Contrôles de la surface continentale sur la pluie : humidité du sol et végétation	275
4.1.6 Météorologie marine	278
4.2 Méthodes opérationnelles	279
4.2.1 Préviation des températures maximales et minimales (Tx, Tn)	279
4.2.1.1 Prévisions utilisant une approche statistique	281
4.2.1.2 Méthodes physiques s'appuyant sur l'utilisation des sondages	283
4.2.1.3 Utilisation des résultats des modèles de préviation	285
4.2.1.4 Processus physiques influençant les températures journalières	286
4.2.2 Visibilité	288

4.2.2.1	Principes de base de la prévision de la visibilité	288
4.2.2.2	Prévision du brouillard	290
4.2.3	Prévision du cisaillement de vent et de la turbulence	293
4.2.4	Prévision des brises de mer, de terre et de lac	295
4.2.5	Prévision marine	296
4.2.5.1	Les vents sur mer	296
4.2.5.2	Vagues océaniques	298
4.2.5.3	Visibilité en mer	299
4.2.6	Les services maritimes	300
4.2.6.1	Prévision et alertes	300
4.2.6.2	Routage des navires	300
	Remerciements	301
	Annexe : Acronymes	302
	Références	303
	<b>Chapitre 5 • Aérosols désertiques</b>	309
5.1	Bases scientifiques	310
5.1.1	Le cycle des aérosols désertiques	310
5.1.1.1	Émission	310
5.1.1.2	Transport	313
5.1.1.3	Dépôts sec et humide	314
5.1.2	Systèmes météorologiques	315
5.1.3	Climatologie	323
5.1.4	Interactions avec la météorologie et le climat	326
5.1.4.1	Effet radiatif direct	326
5.1.4.2	Impact sur la stabilité atmosphérique	327
5.1.4.3	Impact sur la microphysique nuageuse	329
5.1.4.4	Fertilisation des écosystèmes par les aérosols désertiques	330
5.2	Méthodes opérationnelles	330
5.2.1	Introduction et structure	330
5.2.2	Données	331
5.2.2.1	Données des stations de surface	331
5.2.2.2	Cartes de surface et en niveau de pression	332
5.2.2.3	Observations satellitaires	332
5.2.2.4	Prévisions de poussières par les modèles numériques	337
5.2.3	Conseils pratiques pour les prévisionnistes	341
5.2.3.1	Introduction	341

5.2.3.2	La prévision de la brume sèche d'harmattan HDH	341
5.2.3.3	Prévoir les tempêtes de poussières convectives	348
5.2.4	Exemples de cas d'étude en ligne	351
	Annexe : Acronymes	351
	Références	352
<b>Chapitre 6</b>	<b>• Prévision immédiate</b>	361
6.1	Bases scientifiques	362
6.1.1	Introduction	362
6.1.2	Le processus de prévision immédiate	364
6.1.2.1	Prévision de la convection	365
6.1.2.2	Les modèles conceptuels et la climatologie	366
6.1.2.3	Analyses de stabilité	370
6.1.2.4	Type d'orage	378
6.1.2.5	Extrapolation des orages existants	379
6.1.2.6	Prévision immédiate de la naissance et de l'évolution d'un orage	383
6.2	Méthodes opérationnelles de prévision immédiate de temps dangereux	391
6.2.1	Orages, grêle et crues éclair	392
6.2.2	Procédure pour la prévision immédiate des orages, de la grêle et des crues éclair	393
6.2.3	Cisaillement de vent	404
6.2.4	Procédure pour la prévision immédiate du cisaillement	408
6.2.5	Foudre	418
6.2.6	Procédure pour la prévision de foudre	420
	Annexe A : Acronymes	420
	Annexe B : Checklist pour améliorer la prévision immédiate opérationnelle	421
	Annexe C	423
	Annexe D : Sites internet contenant des supports de formation en lien avec la météorologie	424
	Références	424
<b>Chapitre 7</b>	<b>• Prévision à l'échelle intra-saisonnière</b>	431
7.1	Bases scientifiques	432
7.1.1	Introduction	432
7.1.2	Les données	433
7.1.2.1	Les précipitations	433
7.1.2.2	Les températures de surface de mer (SST)	435

7.1.2.3	Le rayonnement sortant de grande longueur d'onde	436
7.1.2.4	La température de brillance	437
7.1.2.5	Les réanalyses	437
7.1.3	Détection des modes principaux de variabilité sub-saisonnière de la convection	438
7.1.4	Ondes équatoriales couplées à la convection	440
7.1.4.1	Les ondes de Kelvin	442
7.1.4.2	Les ondes de Rossby équatoriales (ER)	447
7.1.4.3	Les ondes mixtes de Rossby-Gravité (MRG)	447
7.1.5	Autres signaux couplés à la convection et leurs liens avec les ondes équatoriales	450
7.1.5.1	Les signaux entre 10 et 25 jours	450
7.1.5.2	Les périodicités entre 25 et 90 jours et l'Oscillation Madden-Julian	454
7.1.6	Mécanismes pour les fréquences d'occurrence des séquences sèches et humides	460
7.1.7	La mise en place de la mousson	462
7.1.7.1	Détection	462
7.1.7.2	Mécanismes	463
7.1.7.3	Applications	465
7.1.7.4	Résumé et perspectives	467
7.2	Méthodes opérationnelles	468
7.2.1	Outils de prévisionniste	468
7.2.1.1	Prédiction de la MJO	468
7.2.1.2	Prévision des anomalies régionales	470
7.2.2	Recommandations pour une prévision opérationnelle	470
7.2.2.1	État de la MJO	470
7.2.2.2	Les produits de synthèse	475
7.2.2.3	Vérifications des prévisions	476
	Remerciements	478
	Annexe : Acronymes	478
	Références	479
	<b>Chapitre 8 • Prévision saisonnière</b>	487
8.1	Bases scientifiques	488
8.1.1	Introduction	488
8.1.2	Téléconnexions avec la SST	491
8.1.3	Prévisions statistiques	495
8.1.3.1	Méthodes	495

8.1.3.2	Représentation des prédicteurs ; prédicteurs en composantes principales orthogonales de la température de surface de la mer	503
8.1.3.3	Représentation des prédictands	505
8.1.3.4	Évaluation des méthodes statistiques	509
8.1.3.5	Performance sur la période 1996-2009	511
8.1.4	Prévisions des modèles dynamiques	512
8.1.4.1	Performance sur la période 1996-2009	513
8.1.4.2	Correction d'erreurs systématiques des modèles	514
8.1.4.3	Modèles futurs : potentiel pour améliorer les prévisions saisonnières	518
8.1.4.4	Prévisibilité à longue échéance	520
8.1.5	Prévisions combinées	521
8.1.5.1	Performance sur la période 1996-2009	523
8.1.6	Autres variables et autres saisons	524
8.1.6.1	Prévision du débit sortant du lac Volta	524
8.1.6.2	Prévision de la méningite à méningocoque pendant la saison sèche ouest-africaine	526
8.1.6.3	Mise en œuvre de la prévision saisonnière au Sénégal pour l'aide à l'agriculture	527
8.2	Méthodes opérationnelles	528
8.2.1	Sites web de prévision saisonnière internationaux : sources d'information	529
8.2.1.1	Site web de l'ensemble multi-modèles des centres pilotes de l'OMM	529
8.2.1.2	Vérification des prévisions à long terme	530
8.2.1.3	Site web du UK Met Office	530
8.2.1.4	Site web CEPMMT/EUROSIP	530
8.2.1.5	Site web de la NOAA/NCEP	530
8.2.1.6	Site web de prévision saisonnière de l'International Research Institute for Climate and Society (IRI)	531
8.2.1.7	Site web de l'African Center of Meteorological Application for Development (ACMAD)	531
8.2.2	Prévisions consensuelles	531
8.2.2.1	La démarche PRESAO	531
8.2.2.2	Évaluation des prévisions de la PRESAO sur 1998-2007	534
8.2.3	Logiciels et outils	534
8.2.3.1	Le Climate Predictability Tool (CPT)	534
8.2.3.2	La librairie de données de l'IRI	535

8.2.3.3	Le Climate Explorer du KNMI	535
8.2.3.4	Site web interactif de NOAA Earth System Research Laboratory	535
8.2.4	Autres sites web proposant des applications de prévisions	535
8.2.4.1	FEWS NET	535
8.2.4.2	AGRHYMET, Niger	535
8.2.5	Suggestions et recommandations	536
Annexe A : Acronymes		536
Annexe B : Analyse en composantes principales orthogonales (EOF)		537
Références		537
<b>Chapitre 9 • Télédétection</b>		543
9.1	Bases scientifiques	544
9.1.1	Le système d'observation satellitaire global	544
9.1.1.1	Géométrie orbitale	545
9.1.1.2	Avantages et limitations des satellites GEO et LEO	546
9.1.1.3	Géométrie de balayage et de visée	546
9.1.2	Bases scientifiques en télédétection	547
9.1.2.1	Spectre électromagnétique	547
9.1.2.2	Luminance et rayonnement d'un corps noir	548
9.1.2.3	Transfert radiatif	552
9.1.2.4	La réflectance	555
9.1.2.5	Télédétection passive et active	555
9.1.3	Les bandes spectrales ou canaux	557
9.1.3.1	Canaux visibles et IR	557
9.1.3.2	Les canaux micro-onde	560
9.1.4	Analyse multispectrale : produits de visualisation	560
9.1.4.1	Visualisation de canaux individuels	561
9.1.4.2	Différence ou rapport entre deux canaux	561
9.1.4.3	Extraction quantitative d'un paramètre	562
9.1.4.4	Les produits RGB	563
9.1.4.5	Produits combinés dits « sandwich »	574
9.1.5	Restitution de paramètres météorologiques à partir des mesures satellitaires	574
9.1.5.1	Vapeur d'eau	575
9.1.5.2	Structure verticale en température, humidité et vents	577
9.1.5.3	Les nuages	584
9.1.5.4	Les précipitations	587
9.1.5.5	Les poussières	590

9.1.5.6	Feux, fumée et brume	591
9.1.5.7	Les cendres volcaniques	594
9.1.5.8	Éclairs	595
9.1.5.9	Humidité de surface et végétation	596
9.1.5.10	Vents au-dessus des surfaces océaniques	597
9.1.6	Radars météorologiques	597
9.1.6.1	Principes de base du radar météorologique	597
9.1.6.2	Les produits sol et satellitaires des radars météorologiques	600
9.1.6.3	Profileurs de vent	603
9.2	Méthodes opérationnelles	603
9.2.1	Les plates-formes et les capteurs	604
9.2.1.1	Les satellites géostationnaires et les capteurs	604
9.2.1.2	Les satellites à orbite basse	606
9.2.1.3	Outils et produits d'analyse satellitaire opérationnelle	608
9.2.1.4	Outils d'analyse de radar opérationnel	608
9.2.2	Identification des éléments de grande échelle	608
9.2.2.1	FIT et ZCIT	608
9.2.2.2	Circulations intra-saisonniers : MJO, ondes équatoriales	609
9.2.2.3	Systèmes synoptiques	609
9.2.3	Analyse à méso-échelle et à l'échelle locale	611
9.2.3.1	Les circulations de méso-échelle	611
9.2.3.2	Systèmes convectifs de méso-échelle (MCS)	611
9.2.3.3	Les tempêtes de poussière et de sable	612
9.2.3.4	Cellules convectives, fronts de rafales, lignes de grains	613
9.2.4	Brouillard et stratus bas	613
9.2.5	Sondages satellitaires	613
9.2.6	Les vents	615
9.2.7	Les dangers pour l'aviation	615
9.2.8	Analyse marine	616
9.2.9	Sources de produits satellitaires	616
9.3	Cas d'étude, présentations et autres ressources	618
9.3.1	Analyse radar et satellitaire	618
9.3.1.1	Systèmes convectifs de méso-échelle et ondes d'est africaines	618
9.3.1.2	Cyclone tropical, mascaret et autres systèmes nuageux	621
9.3.2	Présentations	624
9.3.3	Éducation et formation	625

Annexe : Acronymes	626
Références	627
<b>Chapitre 10 • Prévion numérique du temps en Afrique</b>	629
10.1 Bases scientifiques	630
10.1.1 Introduction	630
10.1.2 Systèmes de PNT déterministes	633
10.1.2.1 Observations	634
10.1.2.2 Assimilation des données	640
10.1.2.3 Les modèles globaux et régionaux de PNT	644
10.1.2.4 Les modèles d'échelle convective	653
10.1.2.5 Les adaptations statistiques des sorties de modèles	654
10.1.3 La prévision d'ensemble et la prévisibilité de l'atmosphère	655
10.1.4 Résumé et capacités d'avenir	657
10.2 La PNT opérationnelle en Afrique	659
10.2.1 Capacité actuelle des prévisions déterministes de PNT	660
10.2.1.1 Précipitation et bilan d'humidité dans les modèles de PNT et les analyses	660
10.2.1.2 Température et humidité près de la surface	673
10.2.1.3 Flux de mousson de basse couche et dépression thermique saharienne	676
10.2.1.4 Le jet d'est africain	676
10.2.1.5 Ondes d'est africaines	680
10.2.2 Prévoir les intempéries violentes et l'incertitude des modèles	682
10.2.2.1 Prévisions d'ensemble à partir des prévisions déterministes	682
10.2.2.2 WMO Severe Weather Forecast Demonstration Project (SWFDP)	684
10.2.2.3 Modélisation à échelle convective (kilométrique)	687
Remerciements	690
Annexe : Acronymes	690
Références	691
<b>Chapitre 11 • Cartes synthétiques d'analyse et prévision sur l'Afrique de l'Ouest : WASA/F</b>	699
11.1 Introduction	700
11.2 Front inter-tropical, <i>Intertropical Discontinuity</i> , ou <i>Intertropical Boundary</i> au Ghana	704
11.2.1 Principales caractéristiques	704

11.2.2 Règles de tracé	704
11.2.3 Cas spécifiques	707
11.3 Dépression thermique saharienne ou <i>Heat Low</i> (HL)	707
11.3.1 Principales caractéristiques	707
11.3.2 Règles de tracé	708
11.4 Jet subtropical	711
11.5 Structures associées aux moyennes latitudes	713
11.6 Air sec en moyenne troposphère	714
11.6.1 Principales caractéristiques	714
11.6.2 Règles de tracé	714
11.7 Jet d'est tropical ( <i>Tropical Easterly Jet</i> , TEJ)	716
11.7.1 Principales caractéristiques	716
11.7.2 Règles de tracé	716
11.8 Jet d'est africain (JEA)	717
11.8.1 Principales caractéristiques	717
11.8.2 Règles de tracé	718
11.9 Ondes d'est africaines ( <i>African Easterly Waves</i> , AEW) et tourbillons cycloniques	720
11.9.1 Principales caractéristiques	720
11.9.2 Règles de tracé	720
11.10 La couche de mousson et le thalweg de mousson ( <i>Monsoon Trough</i> , MT)	726
11.10.1 Principales caractéristiques	726
11.10.2 Règles de tracé	727
11.11 Poussières et sable	732
11.12 Convection	732
11.12.1 Analyse de l'activité convective	732
11.12.2 Règles de prévision et diagnostics requis pour la convection	734
Annexe : Acronymes	741
Références	742
<b>Index</b>	743