

Renforcement des
systèmes et services
hydrométéorologiques et
d'alerte précoce en

Tunisie

FEUILLE DE
ROUTE



GRUPE DE LA BANQUE MONDIALE



GFDRR

Global Facility for Disaster Reduction and Recovery
Administered by the World Bank

Renforcement des
systèmes et services
hydrométéorologiques et
d'alerte précoce en

Tunisie

FEUILLE DE ROUTE

© 2022 Banque internationale pour la reconstruction et le développement / La Banque mondiale
1818, rue H N.-O.
Washington D.C. 20433
Téléphone : 202-473-1000
Internet : www.banquemondiale.org

Cet ouvrage a été établi par les services de la Banque mondiale avec la contribution de collaborateurs extérieurs. Les observations, interprétations et opinions qui y sont exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de la Banque mondiale, de son Conseil des Administrateurs ou des pays que ceux-ci représentent.

La Banque mondiale ne garantit pas l'exactitude des données figurant dans cet ouvrage. Les frontières, les couleurs, les dénominations et autres informations figurant sur les cartes du présent ouvrage n'impliquent de la part de la Banque mondiale aucun jugement quant au statut juridique d'un territoire quelconque et ne signifient nullement que l'institution reconnaît ou accepte ces frontières.

Droits et autorisations

Le contenu de cette publication fait l'objet d'un dépôt légal. La Banque mondiale encourageant la diffusion de ses études, cet ouvrage peut être reproduit, en tout ou partie, à des fins non commerciales dès lors que la source est expressément mentionnée.

Toute demande d'information sur les droits et licences, y compris les droits dérivés, doit être adressée à : World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA ; télécopie : +1 202-522-2625 ; adresse électronique : pubrights@worldbank.org.

Attribution : Veuillez citer le rapport comme suit : Banque mondiale, 2022. Renforcement des systèmes et services hydrométéorologiques et d'alerte précoce en Tunisie – Feuille de route. Washington, DC : Banque mondiale.

Traductions : Si vous créez une traduction de ce travail, veuillez ajouter l'avertissement suivant avec l'attribution : Cette traduction n'a pas été créée par la Banque mondiale et ne doit pas être considérée comme une traduction officielle de la Banque mondiale. La Banque mondiale ne peut être tenue responsable de tout contenu ou erreur dans cette traduction.

Photo de couverture : ©Shane Morris | Dreamstime.com
Conception : ULTRA Designs, Inc.
Copyediting : KCMB/Cécile Jannotin

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	vii
ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS.....	viii
RÉSUMÉ ANALYTIQUE	1
1 // PRÉSENTATION DE LA FEUILLE DE ROUTE ; GÉOGRAPHIE, CLIMAT ET HYDROLOGIE DE LA TUNISIE, ET CARACTÉRISTIQUES ASSOCIÉES	8
1.1. Présentation de la feuille de route	8
1.2. Géographie	9
1.3. Météorologie.....	10
1.4. Hydrologie, ressources en eau et infrastructures connexes	12
2 // ALÉAS ET RISQUES MÉTÉOROLOGIQUES, CLIMATIQUES ET HYDROLOGIQUES	15
3 // IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DES ALÉAS ET CATASTROPHES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES.....	18
4 // ÉVALUATION DES BESOINS DES UTILISATEURS EN MATIÈRE D'INFORMATIONS ET DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES, CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES	22
5 // ANALYSE INSTITUTIONNELLE ET ORGANISATIONNELLE DES PRESTATAIRES DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES	25
5.1 Institut national de la météorologie	26
5.1.1 <i>Bref historique et situation institutionnelle actuelle</i>	26
5.1.2 <i>Ressources humaines</i>	28
5.1.3 <i>Budget</i>	29
5.1.4 <i>Accords, conventions et mémorandums d'entente nationaux et internationaux</i>	30
5.2 Ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche.....	31
5.2.1 <i>Bureau de la planification et des équilibres hydrauliques</i>	32
5.2.2 <i>Direction générale des ressources en eau</i>	33
5.2.3 <i>Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques</i>	33
5.3 Aspects transfrontaliers.....	33
6 // ÉVALUATION TECHNIQUE APPROFONDIE DES PRESTATAIRES DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES : ÉTAT DES LIEUX	34
6.1 Méthodologie	34
6.2 Systèmes de prestation.....	37

6.2.1	<i>Système de services météorologiques destinés au public</i>	38
6.2.2	<i>Système de services de gestion de l'eau et de prévision des inondations</i>	39
6.2.3	<i>Système de services de gestion des catastrophes</i>	41
6.2.4	<i>Système de services météorologiques destinés à la navigation aérienne</i>	42
6.2.5	<i>Système de services météorologiques destinés à l'agriculture</i>	44
6.2.6	<i>Système de services météorologiques destinés à la marine</i>	45
6.2.7	<i>Système de services climatiques</i>	46
6.2.8	<i>Services météorologiques destinés au secteur du tourisme</i>	47
6.2.9	<i>Services météorologiques destinés au secteur de l'énergie</i>	48
6.2.10	<i>Services météorologiques destinés au secteur de la santé</i>	48
6.2.11	<i>Prestations commerciales</i>	48
6.3	Systèmes de production	48
6.3.1	<i>Systèmes d'observation et de surveillance</i>	48
6.3.2	<i>Systèmes de modélisation</i>	54
6.4	Systèmes d'appui	56
6.4.1	<i>Systèmes TIC : systèmes de télécommunication (échange de données et systèmes de distribution et de transmission)</i>	56
6.4.2	<i>Systèmes de management de la qualité</i>	56
6.4.3	<i>Dispositifs de développement technologique</i>	57
6.5	Renforcement des capacités	57
6.5.1	<i>Activités de renforcement des capacités</i>	57
6.5.2	<i>Collaboration avec le milieu universitaire</i>	57
6.6	Sismologie	57
6.7	Récapitulatif de la situation des systèmes hydrométéorologiques	58
7	// MODERNISATION DES SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES ET DES SERVICES D'ALERTE PRÉCOCE	59
7.1	<i>La chaîne de valeur hydrométéorologique (cartographie institutionnelle)</i>	59
7.2	<i>Partenaires de développement, de coopération et bailleurs de fonds</i>	62
7.3	<i>Feuille de route pour la modernisation des services météorologiques, climatologiques et hydrologiques et des systèmes d'alerte précoce</i>	62
7.3.1	<i>Trois axes de modernisation</i>	62
7.3.2	<i>Phases de la feuille de route</i>	63
7.2.2	<i>Phase II : actions à moyen terme (2 ans qui s'ajoutent aux délais de la phase I)</i>	73
7.2.3	<i>Phase III : Actions à long terme (2 ans qui s'ajoutent aux délais des phases I et II)</i>	78
8	// AVANTAGES SOCIO-ÉCONOMIQUES GÉNÉRÉS PAR L'AMÉLIORATION DES SERVICES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES ET DES SYSTÈMES D'ALERTE PRÉCOCE	82
8.1	<i>Approche conservatrice</i>	83
8.2	<i>Avantages générés par la réduction des pertes dues aux catastrophes</i>	83
8.3	<i>Analyse des avantages</i>	83
8.3.1	<i>Avantages générés par la réduction des pertes dues aux catastrophes</i>	83
8.3.2	<i>Avantages générés par l'augmentation de la production</i>	84
8.3.3	<i>Avantages annuels totaux</i>	84

8.4 Analyse coûts-avantages.....	85
8.5 Récapitulatif de l'analyse des avantages socio-économiques	87
9 // CONCLUSIONS ET FUTURES VOIES DE RÉFLEXION	89
ANNEXE 1. THÈMES DE FORMATION RETENUS PAR LES PRESTATAIRES DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES	91
ANNEXE 2 : PROJETS CLÔTURÉS ET EN COURS	97
ANNEXE 3. MODÈLE DE PROGRESSION DE LA PRESTATION DE SERVICES	103
ANNEXE 4. MODÈLE DE PROGRESSION DE L'OBSERVATION ET LES TÉLÉCOMMUNICATIONS.....	105
ANNEXE 5. MODÈLE DE PROGRESSION DE LA PRÉVISION ET LA MODÉLISATION	106
ANNEXE 6. MODÈLE DE PROGRESSION DES SERVICES CLIMATIQUES.....	107
ANNEXE 7. MODÈLE DE PROGRESSION DES SERVICES HYDROLOGIQUES	108
BIBLIOGRAPHIE.....	109

Liste des tables

Tableau 4.1 Types de services requis par les utilisateurs/secteurs	24
Tableau 4.2 Types de produits requis par les utilisateurs/secteurs	24
Tableau 5.1 Personnel de l'INM	28
Tableau 5.2 Salaires moyens du personnel de l'INM (en dinars tunisiens)	29
Tableau 5.3 Recettes de l'INM pour 2016-2019 (en dinars tunisiens).....	29
Tableau 5.4 Dépenses de l'INM pour 2016-2019 (en dinars tunisiens).....	30
Tableau 5.5 Programmes de coopération internationale, conventions et mémorandums d'entente	30
Tableau 5.6 Conventions et mémorandums d'ententes conclus au niveau national	31
Tableau 7.1 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase I	67
Tableau 7.2 Effectifs supplémentaires et coûts nécessaires à la mise en œuvre de la phase I	73
Tableau 7.3 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase II	74
Tableau 7.4 Effectifs supplémentaires et coûts nécessaires à la mise en œuvre de la phase II	78
Tableau 7.5 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase III	79
Tableau 7.6 Effectifs supplémentaires et coûts nécessaires à la mise en œuvre de la phase III	81

Tableau 8.1 Avantages annuels générés par la modernisation des services hydrométéorologiques (USD, millions).....	85
Tableau 8.2 Évaluation des trois phases de la modernisation	85
Tableau 8.3 Résultats de l'analyse coûts-avantages de la phase I	86
Tableau 8.4 Résultats de l'analyse coûts-avantages de la phase II	86
Tableau 8.5 Résultats de l'analyse coûts-avantages de la phase III	86
Tableau 8.6 Résultats de l'analyse coûts-avantages : avantages réalistes et 30 % de dépassement des coûts	86

Liste des figures

Figure 0.1 Représentation d'un SMHN conçu comme un système de systèmes	6
Figure 1.1 Carte altimétrique et des grands ensembles géographiques	9
Figure 1.2 Carte des principaux bassins versants	10
Figure 1.3 Carte de classification des climats selon Köppen	11
Figure 1.4 Carte de la pluviométrie annuelle (1/10 mm) et gradient structuré par la latitude, le relief et la distance à la mer	12
Figure 2.1 Nombre d'aléas hydrométéorologiques (1957-2018)	16
Figure 3.1 Mortalité et pertes économiques (2011-2018).....	19
Figure 3.2 Évolution des menaces urbaines à Tunis	20
Figure 3.3 Répercussions des inondations survenues à Nabeul – Dégâts et pertes par secteur (en dollars)	21
Figure 5.1 Organigramme organisationnel de l'Institut national de la météorologie (INM).....	27
Figure 6.1 Le SMHN ou le système de systèmes [en vert – les systèmes de prestation, en bleu – les systèmes de production, en marron – les systèmes d'appui – renforcement des capacités].....	35
Figure 6.2 Le « système de systèmes » type d'un SMHN	36
Figure 6.3 « Système de systèmes » Concept de prévisions opérationnelles d'inondations par un service hydrologique national	37
Figure 6.4 Capture d'écran de la page d'accueil du nouveau site de l'INM	38
Figure 6.5 Capture d'écran de la page d'accueil du site SINEAU	40
Figure 6.6 Captures d'écran des produits et services gérés par la DGRE	40
Figure 6.7 Situation journalière des barrages gérés par la DGBGTH.....	40
Figure 6.8 Exemple de carte de vigilance météorologique et d'informations connexes.....	41
Figure 6.9 Organisations fonctionnelles en charge des services météorologiques destinés à la navigation aérienne	43
Figure 6.10 a) Zones de haute mer : Nord de la Tunisie – Est de la Tunisie – golfe de Gabès et b) Serrat – golfe de Tunis – golfe de Hammamet – Chebba – Jerba	45
Figure 6.11 Exemple d'un produit météorologique régional élaboré par l'INM	47
Figure 6.12 Capture d'écran de la prévision météo plage.....	47
Figure 6.13 Réseau d'observation météorologique de surface de l'INM	49
Figure 6.14 Stations de mesure des précipitations de l'INM	49
Figure 6.15 Stations de mesures télétransmises de la DGRE	50
Figure 6.16 Proposition d'un réseau de radars en bande C pour l'INM	52
Figure 6.17 Rapports journaliers et mensuels	53
Figure 6.18 Exemple de produit du modèle ARPEGE-France	54
Figure 6.19 Certificat ISO délivré à l'INM	57
Figure 6.20 Réseau sismique	58
Figure 7.2 Étapes constitutives d'un processus de modernisation d'un SMHN.....	61
Figure 7.1 Chaîne de valeur des services hydrométéorologiques (cartographie des prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie).....	61
Figure 8.1 Flux économiques et financiers annuels des investissements de la phase III, avec avantages « réalistes » et taux d'actualisation de 5 %.....	87

REMERCIEMENTS

Ce rapport a été préparé par le pôle mondial d'expertise en Développement social, urbain et rural, et Résilience (GSURR) de la région Moyen-Orient et Afrique du Nord (MENA) du Groupe de la Banque mondiale. Il propose des pistes pour renforcer les systèmes et services hydrométéorologiques (Hydromet) et d'alerte précoce du pays et pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Le rapport s'appuie sur une évaluation technique et un inventaire détaillé des besoins et des capacités des prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie (c'est-à-dire l'Institut national de la météorologie [INM], et les directions compétentes du ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche [MARHP], à savoir la Direction générale des ressources en eau [DGRE] et la Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques [DGBGTH]) qui établissent des prévisions et des alertes météorologiques, climatiques et hydrologiques. Les administrations publiques chargées de services consultatifs dans les domaines de la météorologie, du climat, de l'hydrologie, de la gestion des catastrophes et de l'agriculture auprès des utilisateurs sont des acteurs clés d'Hydromet. Les plus importantes sont l'Office national de la protection civile (ONPC), le ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche (MARHP) et ses directions, le ministère de l'Équipement (ME) et ses directions, ainsi que diverses municipalités en Tunisie.

Ce rapport identifie les lacunes à combler et les défis à relever au niveau de la production et de la fourniture d'informations et de services météorologiques, climatiques et hydrologiques. Il propose une stratégie visant à améliorer la capacité institutionnelle du pays pour lui permettre de sauver des vies, de renforcer les moyens de subsistance

et de soutenir le développement social et économique du pays. Les auteurs ont mené des consultations auprès de plusieurs institutions et administrations publiques (dont plusieurs sont mentionnées ci-dessus) ainsi qu'auprès de partenaires de développement et de bailleurs de fonds. Ce rapport est le fruit de la collaboration entre le gouvernement tunisien et la Banque mondiale.

Les auteurs souhaitent remercier les administrations, les ministères et les organisations nationales, ainsi que les partenaires de développement et les bailleurs de fonds, pour leur soutien et les informations fournies, leur appui au rapport et la disponibilité dont ils ont fait preuve lors de son évaluation.

Les auteurs tiennent tout particulièrement à remercier les collègues de la Banque mondiale suivants pour avoir revu et amélioré la version précédente de la feuille de route : Oscar Ishizawa Escudero, spécialiste principal en gestion des risques de catastrophe, Vladimir Tsirkunov, Spécialiste Principal, Alix Roumagnac, consultant en hydrologie, Cyril Gourraud, consultant, Lara Loussert, consultante, Pol Nadal Cros, consultant, et Ghizlane Aqariden, consultante.

Cette feuille de route a été rédigée par Alice Soares, spécialiste technique principale en météorologie ; Christophe Cuddenec, spécialiste technique principale en hydrologie ; Karima Ben Bih, spécialiste principale en gestion des risques et chef d'équipe ; et Ryoji Takahashi, spécialiste principal en gestion des risques et chef d'équipe.

Enfin, l'équipe remercie la Facilité mondiale pour la prévention des catastrophes et le relèvement (GFDRR) pour son soutien financier.

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

AFD	Agence française de développement
ALADIN	Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational
AMCOMET	Conférence ministérielle africaine sur la météorologie
AMDAR	Relais de données météorologiques d'avion
APAL	Agence de protection et d'aménagement du littoral
APCM	Comité permanent arabe sur la météorologie
AROME	Applications of Research to Operations at Mesoscale
ARPEGE	Action de recherche petite échelle grande échelle
BAfD	Banque africaine de développement
BMS	Bulletin météorologique spécial
BPA	Bureau de protection aéronautique
BPEH	Bureau de la planification et des équilibres hydrauliques
CCR-NA	Centre climatique régional pour la région de l'Afrique du Nord
CEPMMT	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme
CISC	Conseil intergouvernemental des services climatologiques
CMA	Centre météorologique d'aérodrome
CNCT	Centre national de cartographie et de télédétection
CNSC	Cadre national pour les services climatologiques
CONOP	Concept d'opérations
CRDA	Commissariats régionaux au développement agricole
CREST	Modèle couplé routage et stockage des excédents
CVM	Centre de veille météorologique
DGACTA	Direction générale de l'aménagement et de la conservation des terres agricoles
DGBGTH	Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques
DGGREE	Direction générale du génie rural et de l'exploitation des eaux
DHU	Direction générale de l'hydraulique urbaine
DGRE	Direction générale des ressources en eau
DTTA	Aéroport Tunis Carthage
ECMWF	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme
ENPC	École nationale de la protection civile
EUMETSAT	Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques
EURO-CORDEX	Expérience de réduction d'échelle coordonnée — Domaine européen
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FIR	Région d'information de vol

GAW	Programme de veille atmosphérique mondiale
GFDRR	Facilité mondiale pour la prévention des catastrophes et le relèvement
GIZ	Agence allemande de coopération internationale
GPP	Partenariat mondial pour la préparation aux catastrophes
GSM	Système global pour les Communications mobiles
GSURR	Pôle mondial d'expertise en Développement social, urbain et rural, et Résilience
HTBM	Hydrométéorologie en Tunisie : le bassin de la Medjerda
IFS	Système de prévision intégré
INDC	Contributions prévues déterminées au niveau national
INM	Institut national de la météorologie
IPE	Indice de prévision extrême
IRI	Institut international de recherche pour le climat et la société
ISO	Organisation internationale de normalisation
JICA	Agence japonaise de coopération internationale
KfW	Banque allemande de développement
MARHP	Ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche
ME	Ministère de l'Environnement
MEH	Ministère de l'Équipement et de l'Habitat
MedCOF	Forum sur l'évolution probable du climat dans la région méditerranéenne
MENA	Moyen-Orient et Afrique du Nord
METAR	Rapport aérien du terminal météorologique
MSG	Meteosat de deuxième génération
NCEP	Centre national de prévision environnementale
OACA	Office de l'aviation civile et des aéroports
OACI	Organisation de l'aviation civile et internationale
ODD	Objectifs de développement durable
OHP	Ordinateur Haute Performance
OMM	Organisation météorologique mondiale
ONAGRI	Observatoire national de l'agriculture
ONAS	Office national de l'assainissement
ONPC	Office national de la protection civile
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
PAC	Protocole d'alerte commun
PAM	Perte annuelle moyenne
PIB	Produit intérieur brut
PNT	Prévision numérique du temps
PMP	Perte maximale probable
PNT	Prévisions numériques du temps
PNUD	Programme de développement des Nations Unies
POS	Procédures d'utilisation normalisées
SADT	Système d'assimilation des données terrestres
SASS	Système aquifère du Sahara septentrional

SCAC	Service consultatif pour l'agriculture et le climat
SHN	Service hydrologique national
SIG	Système d'information géographique
SIGMET	Informations météorologiques importantes
SINEAU	Système d'information national sur l'eau
SMA	Station météorologique d'aérodrome
SMHN	Services météorologiques et hydrologiques nationaux
SMP	Services météorologiques destinés au public
SMQ	Système de management de la qualité
SMS	Service de messages courts
SMT	Système mondial de télécommunications
SONEDE	Société nationale d'exploitation et de distribution des eaux
SPE	Système de prévision d'ensemble
SPECI	Bulletin météorologique spécial pour l'aviation
SYCOHTRAC	Système de collecte des mesures hydrologiques en temps-réel pour l'annonce des crues
SYGREAU	Système de gestion des ressources en eau
TIC	Technologies de l'information et de la communication



© Tomo Jesevicnik | Dreamstime.com

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Introduction

La Tunisie est extrêmement vulnérable aux aléas naturels. Les aléas hydrométéorologiques — inondations quel qu'en soit la forme, sécheresses, chaleurs extrêmes et vagues caniculaires, et élévation du niveau de la mer — menacent directement la vie des populations et affectent leurs moyens de subsistance, en dégradant et endommageant les infrastructures, les biens et les terres, et en nuisant au développement économique. Les phénomènes à l'origine de ces risques — le changement climatique, la croissance démographique, les modifications de l'utilisation des sols et des modes d'urbanisation — augmentent le nombre de personnes qui y sont exposées, notamment dans les zones côtières de faible altitude où sont concentrés les grandes villes et les grands pôles économiques. La Tunisie dépend fortement d'une agriculture sensible au climat et la majeure partie de la population et des activités économiques (à l'instar du tourisme et des industries manufacturières exportatrices) se trouve dans les zones côtières urbaines sujettes aux inondations. Bien que la Tunisie se soit depuis longtemps adaptée à la variabilité météorologique, climatologique et hydrologique et aux événements extrêmes, elle doit encore relever d'importants défis pour renforcer la gestion des risques de catastrophes.

La population de la Tunisie estimée aujourd'hui à 11,7 millions d'habitants (67 % vivant dans les zones côtières) devrait atteindre 13,8 millions de personnes d'ici 2050 (73 % dans les zones côtières). Les conflits et autres troubles sociaux ont aggravé une situation marquée par l'insuffisance de systèmes et services développés. Il devient impératif de renforcer les services hydrométéorologiques du pays sensible aux aléas météorologiques et climatiques. Les événements météorologiques extrêmes entraînent pertes économiques, insécurité alimentaire ou malnutrition, et déplacements de populations en particulier chez les plus vulnérables.

Les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) jouent un rôle important dans la prestation de services hydrométéorologiques et des systèmes d'alerte précoce et leur adaptation aux besoins des différents utilisateurs. Compte tenu des effets actuels et potentiels des aléas hydrométéorologiques, la Tunisie, à l'instar d'autres pays de la région Afrique du Nord et Moyen-Orient (MENA), doit se doter de systèmes d'information hydrométéorologiques de qualité, capables d'assurer la protection des populations, de l'économie et des acquis du développement. Le pays doit investir pour renforcer ses capacités et améliorer ses systèmes d'alerte précoce multirisques et ses services hydrométéorologiques afin de limiter les pertes susceptibles d'être causées par les aléas hydrométéorologiques, de faciliter l'adaptation au changement climatique et d'accompagner le développement dans les différents secteurs économiques. Il est nécessaire d'améliorer les Services météorologiques et hydrologiques nationaux pour renforcer la résilience et le développement. Ces mesures permettront notamment d'améliorer la gestion des risques de catastrophes, la gestion des ressources en eau, et profiteront aux secteurs de l'agriculture, du transport, de l'énergie, de la santé, de l'infrastructure, des travaux publics et du tourisme.

Les premières discussions entamées au lendemain des inondations du 21 septembre 2018 ont amené les autorités tunisiennes à demander à la Banque mondiale une assistance technique pour améliorer les services hydrométéorologiques et les systèmes d'alerte précoce. Les activités hydrométéorologiques sont liées aux efforts déployés en matière de gestion des risques de catastrophes et aux activités subséquentes en cours dans le pays.

Effets socio-économiques des risques hydrométéorologiques

La Tunisie est très vulnérable aux risques naturels et au changement climatique, dont les effets se font sentir dans

des secteurs clés de l'économie. Il ressort des conclusions préliminaires d'un profil national de risque de catastrophe réalisé par la Banque mondiale que les inondations entraînent une perte annuelle moyenne (PAM) de 40 millions de dollars (soit 0,1 % du PIB de la Tunisie en 2018), tandis que la perte maximale probable (PMP) due aux tremblements de terre sur une période de retour de 250 ans est estimée à 882 millions de dollars (soit 2,2 % du PIB de la Tunisie en 2018). Les pertes subies entre 2011 et 2018 en raison d'inondations, de sécheresses et d'incendies ont été évaluées à 541,3 millions de dollars, et on estime que les inondations et les tremblements de terre sont responsables de 94 % des décès liés aux catastrophes naturelles.

Services fournis

Les prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie doivent avoir la capacité de répondre aux besoins des utilisateurs et notamment i) de produire, gérer, traduire et communiquer des données et des informations hydrométriques opportunes, précises et exploitables aux parties prenantes et aux utilisateurs finaux ; ii) d'aider ces derniers à accéder, interpréter et utiliser les données et les informations générées ; iii) de contribuer à la diffusion des alertes pour la sécurité publique et économique et d'y répondre ; iv) d'accompagner la planification et la prise de décision pour des investissements rentables dans le développement national résilient au climat ; et v) de faire un usage optimal des investissements réalisés par les décideurs et les partenaires de développement.

Les services météorologiques publics de l'Institut national de la météorologie (INM) donnent lieu à des prestations fiables, et les bulletins sont publiés en français, en arabe et en anglais. L'INM établit au minimum deux fois par jour des prévisions météorologiques pour la Tunisie pour la journée en cours et les trois suivantes. Il émet également des prévisions à moyenne échéance de 3 jours à 6 jours, ainsi que des prévisions saisonnières. Ces dernières sont disponibles sur son nouveau site web (<https://www.meteo.tn/>) lancé en français et en anglais en mai 2020. L'INM est très présent dans les médias (TV et Radio), sur son site Internet et sur les réseaux sociaux (Facebook et Twitter).

L'INM, en coordination avec l'Office national de la protection civile (ONPC), le Bureau de la planification et des équilibres hydrauliques (BPEH), la Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques (DGBGTH) et le ministère de l'Environnement (ME), a élaboré une carte de vigilance météorologique (« Carte de vigilance ») qui informe les populations et les décideurs des phénomènes météorologiques dangereux en Tunisie, en mettant en évi-

dence les effets/dommages possibles et les mesures d'autoprotection correspondantes à adopter (comportement).

L'INM fournit des produits agrométéorologiques au secteur agricole. Les services météorologiques aéronautiques sont la principale responsabilité de l'INM, qui est certifié ISO 9001:2015. Des prévisions et des avertissements météorologiques maritimes sont diffusés chaque jour pour la haute mer et les zones côtières, et des prévisions des conditions météorologiques et des vents pour les plages sont établies, notamment pour soutenir le tourisme. Des produits de services climatiques sont élaborés et mis à disposition sur le site Internet de l'INM. L'institut joue un rôle de premier plan pour la surveillance du climat au sein du Centre climatique régional pour la région de l'Afrique du Nord (CCR-NA). Il fournit des produits aux secteurs socio-économiques suivants : le tourisme, l'énergie et la santé. Il n'existe pas, en dehors des réseaux sociaux, de mécanisme formel permettant de recueillir les commentaires des parties prenantes.

Les prévisions hydrologiques sont fournies par a) la DGBGTH pour le système de gestion du contrôle des barrages et le risque d'inondation, sur la base de modélisations hydrologiques et hydrauliques bien établies, soutenues par les partenaires de développement (l'Agence japonaise de coopération internationale [JICA], la Banque allemande de développement [KfW], et l'Agence coréenne de coopération internationale [KOICA]) ; et par b) la Direction générale des ressources en eau (DGRE) en ce qui concerne la prévision des crues et inondations dans les bassins versants pilotes en Tunisie, à partir de retours d'information sur le terrain. Bien que la DGRE dispose d'un personnel hautement qualifié et expérimenté, celui-ci n'est pas suffisant pour assurer le fonctionnement de ces modèles et émettre des prévisions des crues en temps réel. On estime également que les informations hydrologiques, les observations et la modélisation sont insuffisantes en amont de certains barrages pour permettre une gestion parfaite (notamment les barrages stratégiques de Sidi Salem, Bouheurtma, Mellègue, Barbara, Sidi Barrak et Sejnene).

Le système de collecte des données hydrologiques en temps réel pour l'annonce des crues (SYCOHTRAC) et sa plateforme ont été lancés au cours des deux dernières années dans le cadre du programme d'appui à la gestion intégrée des ressources en eau (AGIRE) soutenu par l'Agence allemande de coopération internationale (GIZ), avec comme priorités la visualisation des séries temporelles et des caractéristiques géographiques, les formats d'échange, les procédures de mise à jour automatique et

la gestion des droits. Le Système d'information national sur l'eau (SINEAU) a été développé, avec l'appui de partenaires de développement (GIZ, KfW et Banque africaine de développement [BAFD]), pour le traitement automatique des données nécessaires à une meilleure gestion des ressources en eau du pays, d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Le portail SINEAU s'appuie sur le système de gestion des ressources en eau, SYGREAU et sur le lancement du SYCOHTRAC, qui sont gérés par la DGRE ; il reçoit également des données d'autres directions du ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche (MARHP), en liaison avec le portail général ministériel de l'Observatoire national de l'agriculture (ONAGRI), et des données pluviométriques de l'INM. Chaque année, le BPEH, avec l'appui de la DGRE, de la DGBGTH et d'autres directions, prépare le rapport national intitulé 'Revue sectorielle de l'eau', et des études utiles en cas d'inondations et de sécheresses.

La vigilance hydrologique actuelle s'appuie sur le système de télémétrie géré par la DGRE, dans lequel ont été déterminés, d'après l'expérience, un niveau d'alerte et un niveau de débordement. Lorsque le niveau d'eau atteint le seuil d'alerte, un message SMS automatique invite au déclenchement des mesures de lutte contre les inondations. De même, le volume d'entrée à chaque barrage, dans des conditions de crue, est estimé par la DGBGTH. Chaque site de barrage calcule séparément le débit sortant, à partir des informations fournies par la DGBGTH.

Le ministère de l'Environnement, avec l'appui du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), de KfW et d'Expertise France, met en place des systèmes d'alerte précoce avec l'ONPC dans 3 communes (Ain Draham, Jendouba-Bou Salem et Tataouine) caractérisées par des contextes très différents (Nord-Ouest forestier montagneux subhumide, amont du bassin de l'oued Medjerda, et le sud aride, respectivement). Des centres de gestion des risques sont en cours de création, ainsi que des stations météorologiques (avec l'appui de l'INM, qui devrait en assurer la gestion).

Cette feuille de route se sert d'une série de modèles de progression permettant de mesurer les capacités des prestataires de services météorologiques et hydrologiques dans plusieurs domaines clés : prestation de services, observation et télécommunication, et modélisation et prévision. Le modèle de prestation de services s'inspire de celui développé par l'Organisation météorologique mondiale (OMM 2014) ; les autres modèles ont été développés par la Banque mondiale à partir de celui élaboré pour la prestation de services. Tous évaluent les perfor-

mances des prestataires de services météorologiques et hydrologiques sur une échelle de 1 à 5 (application à venir à application avancée).

D'après le modèle de progression de la prestation de services de la stratégie de l'OMM (OMM 2014), le niveau actuel de prestation de services météorologiques de l'INM se situe entre le niveau 3 (application en cours) et le niveau 4 (application réalisée). La capacité de l'INM doit atteindre le niveau 5 (application avancée) pour garantir que ses services répondent aux besoins des utilisateurs. La troisième phase d'investissement proposée dans cette feuille de route devrait permettre d'y parvenir. La capacité actuelle des services hydrologiques se situe entre le niveau 2 (application lancée) et le niveau 3 (application en cours) selon le modèle de progression des services hydrologiques. La capacité des services hydrologiques doit atteindre le niveau 4 (application réalisée) d'ici la fin de la phase III pour fournir des services à un niveau développé. Les trois phases sont décrites plus en détail ci-dessous.

Réseaux d'observation

La Tunisie a besoin d'un réseau météorologique et hydrologique national bien conçu, correspondant aux besoins des utilisateurs.

Le réseau d'observation de surface de l'INM tel qu'il existe actuellement est constitué de 28 stations synoptiques (12 stations synoptiques aéronautiques et 16 stations synoptiques non aéronautiques), 12 stations agrométéorologiques, 24 stations climatologiques, 2 stations portuaires, qui nécessitent une mise à niveau. L'INM gère également l'exploitation d'un réseau secondaire constitué de 90 stations pluviométriques conventionnelles et bénévoles pour la mesure des quantités de pluie sur l'ensemble du territoire tunisien. L'institut partage les données de 28 stations sur le Système mondial de télécommunication (SMT) de l'OMM. Il dispose d'un modeste laboratoire d'étalonnage qui nécessite une mise à niveau. Il existe deux stations aérologiques opérationnelles : à Tunis-Carthage et à Touzer. Il n'y a pas de systèmes de suivi de la foudre, de lidar et de GAW, ni de programme AMDAR.

L'INM utilise les produits de télédétection par satellite Meteosat de deuxième génération (MSG), qui doivent être mis à niveau vers la troisième génération. Il n'exploite pas de réseau de radars météorologiques. Cependant, dans le cadre du projet HTBM « pour l'hydrométéorologie en Tunisie : le bassin de la Medjerda », le gouvernement français a fait don à la Tunisie d'un radar météorologique en bande X permet-

tant de fournir des mesures des précipitations afin de gérer les ressources en eau et d'évaluer les risques hydrologiques.

Le réseau pluviométrique de la DGRE compte 64 stations automatiques et 712 stations journalières manuelles réparties sur l'ensemble du pays. Par ailleurs, la Tunisie dispose d'un réseau d'observation hydrométrique qui a été développé principalement au cours des trois dernières décennies ; les plus anciennes de ces stations datent de 1898. Ce réseau comprend actuellement 53 stations de mesures hydrométriques.

La DGBGTH dispose de 6 stations de télémessure à distance et 37 stations hydrologiques manuelles (qui mesurent l'évaporation, la pluviométrie, plan d'eau pour les apports, et d'autres paramètres) sur son réseau de barrages. Les stations de mesure sont principalement constituées de piézomètres. Or, ces derniers sont particulièrement vulnérables aux effacements des ouvrages hydrauliques lors des crues et à la sédimentation qui en découle.

Depuis 2008, l'INM gère un réseau sismique de 16 stations implantées grâce à des fonds publics, et de 3 autres stations financées par des partenaires de développement. Il est nécessaire d'installer des stations en mer.

Les capacités actuelles d'observation et de télécommunication se situent au niveau 2 (application lancée) du modèle de progression. Ces capacités devraient passer au niveau 5 (application avancée) pour permettre de fournir des services et de soutenir les systèmes de prévision au niveau 5 (application avancée) à l'issue de la phase III proposée.

Infrastructure de modélisation et de prévision

Le principal modèle de prévision météorologique globale de l'INM est le modèle français ARPEGE-France à résolution horizontale de 0,5° et 0,1° et réception via MESSIR-Comm (mis en place par Corobor), et utilisant le système de visualisation SYNERGIE (2008) (proposé par Météo France international [MFI]), qui est obsolète. L'INM a accès aux produits graphiques de l'IFS (Système de prévision intégré, 9 km déterministe et 18 km probabiliste) du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT), grâce à un site web protégé par un mot de passe et envisage d'obtenir un accès complet aux données numériques du CEPMMT dans le cadre d'un contrat de licence. L'INM utilise principalement le système de prévision d'ensemble (SPE) du CEPMMT, y compris l'indice de prévision extrême pour les prévisions de temps violent.

Un nouveau HPC (24 noeuds) a été acheté et livré à l'INM en août 2019 avec une capacité de calcul estimé à 38 Tflops. Depuis, l'INM exécute le modèle AROME à une résolution horizontale de 2,5 km et 60 niveaux verticaux ; et à 1,3 km. Les prochaines étapes comprennent l'assimilation de données.

Pour les prévisions saisonnières, l'INM utilise « ARPEGE-CLIMAT » couplé au modèle océanographique « NEMO », tous deux alimentés par les données d'observation et de réanalyse du CEPMMT et du laboratoire MERCATOR, respectivement. L'INM, chargé de l'étude du changement climatique, a procédé à une évaluation du climat futur en s'appuyant sur des scénarios du projet EURO-CORDEX.

Certaines expériences de modélisation hydrologique ont été réalisées par des universitaires ou des experts dans le cadre de projets soutenus par des partenaires de développement. En particulier, dans le cadre de a) la lutte contre les inondations dans la rivière Medjerda — zone amont (soutenu par KfW ; et mis en œuvre par la DGBGTH) ; et b) la gestion intégrée du bassin et la lutte contre les inondations dans la rivière Medjerda — zone aval (soutenu par JICA ; et mis en œuvre par la DGBGTH). Plus récemment, la DGRE a utilisé MIKE pour la prévision des crues.

Bien que le risque de tsunami soit faible, les conséquences d'un tel événement pour le pays seraient considérables. Il est donc nécessaire de renforcer les capacités de surveillance et de modélisation des tsunamis de l'INM.

Les capacités de modélisation et de prévision se situent au niveau 2 (application lancée) pour l'hydrologie et au niveau 3 (application en cours) pour la météorologie sur l'échelle du modèle de progression pour la modélisation et la prévision. La capacité des systèmes de prévision doit être portée au niveau 4 (application réalisée) pour fournir des services à un niveau 5 (application avancée) ce qui permettrait de remplir les fonctions énoncées pour la phase III de la feuille de route.

Difficultés supplémentaires

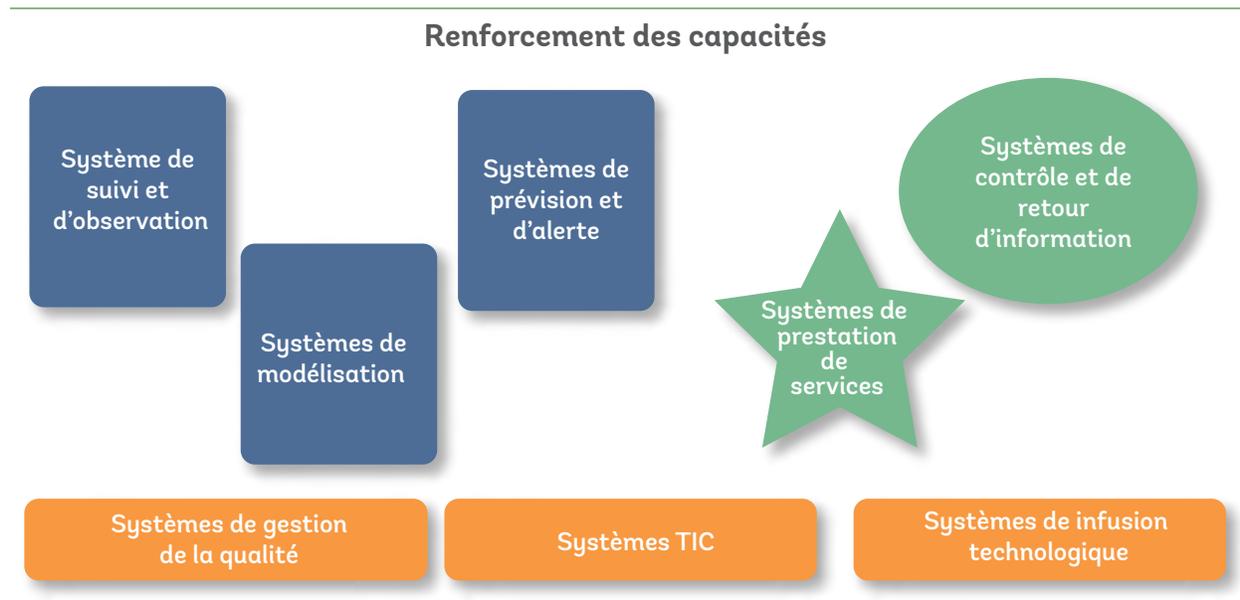
La principale difficulté à laquelle sont confrontés les prestataires de services météorologiques et hydrologiques tient au fait que le gouvernement tunisien ne prend probablement pas pleinement mesure du rôle des services météorologiques et hydrologiques pour la sécurité publique et pour le développement économique sensible au temps, au climat et à l'hydrologie. Les prestataires de services météorologiques et hydrologiques doivent justifier l'investissement de fonds publics pour soutenir leur infrastructure

de base, leurs opérations et le développement de leurs services afin d'être compétitifs et d'utiliser au mieux les ressources publiques limitées. Toutefois, ils doivent d'abord être en mesure de fournir des services satisfaisants pour les utilisateurs s'ils souhaitent leur en démontrer les avantages, ce qui leur est difficile en l'état actuel des choses, à moins de disposer de suffisamment de personnel, d'une meilleure infrastructure de surveillance, de prévision et de technologies de l'information et de communication (TIC) et d'une capacité de prestation de services satisfaisante.

Proposition de modernisation des services hydrométéorologiques et des services d'alerte précoce

Un service météorologique et hydrologique national (SMHN) est généralement constitué d'un « système de systèmes » complexe, aligné sur la chaîne de valeur, comme le montre la **figure 0.1**. Cette illustration générique d'un système de systèmes météorologiques, climatiques et hydrologiques peut être utilisée pour déterminer l'état de tout SMHN et pour visualiser les investissements nécessaires dans chaque système, composant par composant, afin d'atteindre un niveau d'amélioration particulier. La complexité de chaque système varie en fonction de la dimension, du niveau de développement et des ressources de chaque SMHN. Mais les éléments constitutifs du système sont interdépendants. La prise en compte des exigences des utilisateurs est essentielle pour la conception et la mise en œuvre de l'ensemble du système. Il est indispensable de disposer d'un personnel aux capacités suffisantes pour comprendre et faire fonctionner ce système. Cette feuille de route applique une méthode de système de systèmes pour parvenir aux trois phases de modernisation des prestataires de services météorologiques et hydrologiques.

Un programme de modernisation substantiel pour tout SMHN doit inclure trois composantes, à savoir i) l'amélioration du système de prestation de services ; ii) le renforcement institutionnel et le développement des capacités ; et iii) la modernisation des infrastructures d'observation, de TIC et de prévision (Rogers et Tsirkunov 2013). Cette feuille de route respecte ce principe. Les activités proposées visent à renforcer la base institutionnelle des prestataires de services météorologiques et hydrologiques : développer les capacités du personnel ; moderniser les techniques utilisées pour l'observation, les TIC, la gestion des données et l'infrastructure, les installations et les procédures de prévision hydrométéorologiques ; et, surtout, améliorer la prestation de services et d'informations hydrométéorologiques et d'alerte précoce à la population et aux secteurs les plus vulnérables aux conditions météorologiques, climatiques et

FIGURE 0.1 Représentation d'un SMHN conçu comme un système de systèmes

Source : Rogers et al. 2019.

hydrologique — principalement l'agriculture, le transport, l'énergie, la gestion des ressources en eau et le tourisme.

Cette feuille de route présente trois phases (chacune s'appuyant sur la précédente) destinées à moderniser les prestataires de services météorologiques et hydrologiques, ainsi que le soutien à l'ONPC pour l'amélioration des services d'alerte précoce. Le niveau de complexité et les ressources requises sont différents pour chaque phase, comme indiqué ci-dessous.

Phase I : activités immédiates à court terme. Cette phase prévoit des investissements destinés à soutenir des activités hautement prioritaires visant à améliorer les services publics de base en introduisant de nouvelles technologies dans les institutions concernées et en renforçant les capacités et les compétences du personnel par de la formation (à court terme : durée de deux à trois ans). La mise en œuvre de cette phase nécessite de recruter 14 personnes supplémentaires un financement de 20,5 millions de dollars. Le coût annuel de fonctionnement est estimé à 1,03 million de dollars.

Phase II : activités à moyen terme. Cette phase prévoit des investissements destinés à améliorer modestement la capacité en services météorologiques, climatiques et hydrologiques adaptés aux besoins de service public des communautés d'utilisateurs les plus importantes, notamment en ce qui concerne la gestion des catastrophes, les transports, l'agriculture et la gestion des ressources en

eau (moyen terme : durée de deux ans au-delà de la phase I). Cette phase doit être mise en œuvre après la phase I et nécessite un financement supplémentaire de 16,65 millions de dollars, le recrutement de 11 employés. Le coût de fonctionnement est estimé à 1,86 million de dollars par an (après la mise en œuvre des phases I et II).

Phase III : activités à long terme. Cette phase prévoit des investissements visant à doter les institutions concernées des capacités nécessaires pour fournir des données, des prévisions et des services d'alerte adaptés pour la sécurité du public, ainsi qu'un soutien au développement des secteurs socio-économiques les plus importants (long terme : durée de deux ans au-delà des phases I et II). Cette phase doit être mise en œuvre à la suite des phases I et II. Elle nécessite un financement supplémentaire de 5,4 millions de dollars et le recrutement de 6 personnes supplémentaires. Le coût de fonctionnement est estimé à 2,13 millions de dollars par an (après la mise en œuvre des phases I, II et III).

Les deux premières phases renforcent la capacité des institutions concernées à remplir leur rôle de service public. La troisième phase offre la possibilité de s'appuyer sur la capacité des services publics de météorologie, de climatologie et d'hydrologie à fournir des services supplémentaires adaptés, seuls ou en partenariat avec d'autres institutions.

Deux conditions principales devront être remplies pour atteindre les résultats prévus pour la phase III : i) le pays

doit pouvoir orienter les ressources disponibles des projets existants pour soutenir les activités visant à moderniser l'infrastructure d'observation, de TIC et de prévision des prestataires de services météorologiques et hydrologiques et à améliorer la prestation de services ; et ii) les services publics doivent être en mesure d'accroître de manière substantielle les effectifs en recrutant 31 spécialistes et techniciens formés, et allouer des ressources financières supplémentaires à l'exploitation de ces systèmes modernisés.

L'élaboration d'un concept d'opérations est essentielle pour la planification et la mise en œuvre détaillées de chaque phase.

Avantages socio-économiques de l'amélioration des services hydrométéorologiques et des services d'alerte précoce

Il est désormais courant pour les prestataires de services hydrométéorologiques d'entreprendre une analyse coûts-avantages afin de sécuriser et d'optimiser l'utilisation des investissements. Ces analyses ont toutes démontré que les avantages des services hydrométéorologiques

sont nettement supérieurs aux coûts d'investissement et d'exploitation nécessaires pour les moderniser, les produire et les fournir.

Pour optimiser la rentabilité de l'investissement, la modernisation des services météorologiques et hydrologiques doit se concentrer sur la prestation de services en utilisant tous les mécanismes et canaux permettant d'atteindre les utilisateurs finaux, et sur la garantie que les utilisateurs peuvent utiliser ces services de manière productive.

Les évaluations récentes ont utilisé différentes méthodologies, comme il est décrit dans *Valuing Weather and Climate : Economic Assessment of Meteorological and Hydrological Services* (OMM et al 2015). Il s'agit notamment de méthodes affinées, sectorielles et d'analyses comparatives. L'analyse coûts-avantages montre que les trois phases d'investissement proposées sont économiquement efficaces, ce qui signifie qu'elles produiront des avantages socio-économiques supérieurs à leurs coûts. Dans tous les cas, les avantages générés à long terme sont supérieurs aux coûts.



© Emran Omar | iStock.com

1 PRÉSENTATION DE LA FEUILLE DE ROUTE ; GÉOGRAPHIE, CLIMAT ET HYDROLOGIE DE LA TUNISIE, ET CARACTÉRISTIQUES ASSOCIÉES

1.1. Présentation de la feuille de route

Ce travail analytique repose sur un diagnostic des capacités, des lacunes et des défis auxquels sont confrontés les services météorologiques et hydrologiques en Tunisie, responsables de la fourniture de produits et services météorologiques, climatiques et hydrologiques (hydrométéorologiques). Il propose un cadre stratégique technique pour l'amélioration des systèmes et services hydrométéorologiques et d'alerte précoce (SAP) au bénéfice de la population tunisienne via la sauvegarde de leurs vies, de leurs biens et moyens de subsistance, ainsi que la protection des investissements économiques. Ce cadre stratégique a pour finalité de soutenir les autorités publiques tunisiennes dans leur processus de prise de décision.

Cette feuille de route est composée de neuf chapitres. La géographie, les risques météorologiques, climatiques et hydrologiques affectant la Tunisie, ainsi que leurs impacts socio-économiques sur le peuple tunisien, sont présentés dans les chapitres un à trois. L'évaluation des besoins des utilisateurs en matière d'information hydrométéorologique est présentée dans le chapitre quatre.

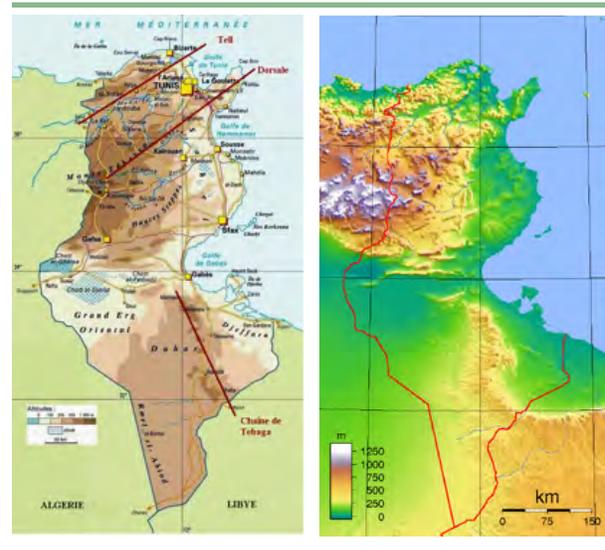
Un aperçu de la structure institutionnelle et organisationnelle des prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie est fourni au chapitre cinq, et une analyse technique approfondie de l'état des lieux de ces services est développée au chapitre six. Le chapitre sept aborde la modernisation de l'hydrométéorologie et des SAP, et propose une feuille de route en trois phases successives de développement conçues pour transformer les prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie en entités techniquement modernes et solides, capables de remplir leurs mandats de service public. Une analyse des avantages socio-économiques de ces investissements de modernisation est fournie au chapitre huit. Les conclusions et les grandes lignes de la démarche à suivre sont présentées au chapitre neuf, suivi de plusieurs annexes fournissant des détails complémentaires. Tout au long du document, le terme «Service» en majuscule désigne l'institution, tandis que le terme «service» en minuscule désigne l'opération de collecte et de fourniture de l'information. Par ailleurs, le terme «météorologie» fait référence aux aspects liés à la météorologie et au climat.

1.2. Géographie

La Tunisie se situe au nord du continent africain, en bordure du désert du Sahara, à l'extrémité orientale des chaînes montagneuses maghrébines, et sur la rive sud de la mer Méditerranée. D'une superficie de 162 155 km² le pays s'étire sur un axe Nord/Sud, et se situe dans une zone de transition entre le climat méditerranéen subhumide et le climat saharien aride, avec un fort gradient hydro-climatique Nord/Sud, des régimes pluviométrique et d'évapotranspiration, et donc des conditions hydrologiques. Cette organisation climatique selon l'axe Nord/Sud est sous-structurée par l'influence des reliefs et de la mer, une influence elle-même saisonnière et sujette à des événements extrêmes (Slimani et al., 2007 ; Baccour et al., 2012).

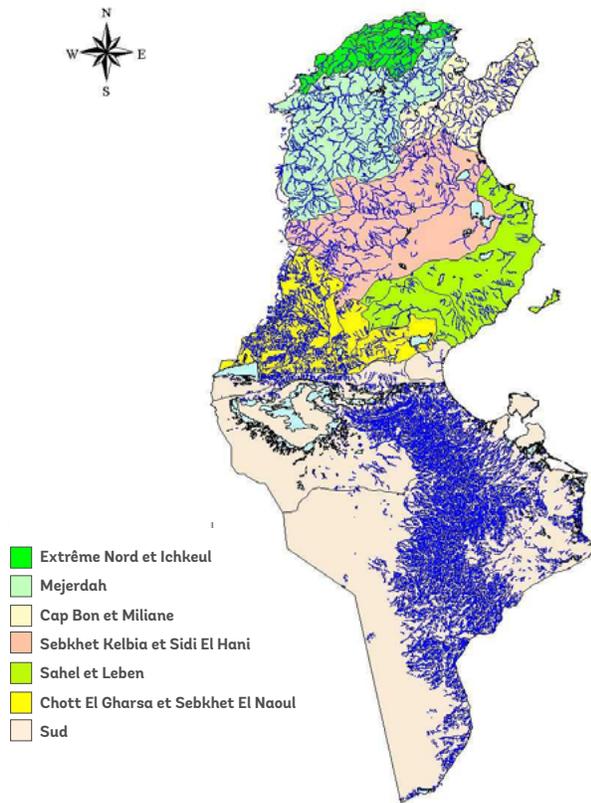
C'est ce gradient latitudinal général assorti des hétérogénéités microclimatiques, et de la variabilité temporelle interannuelle, saisonnière ou événementielle, ainsi que les caractéristiques pédo-géologiques et orographiques qui déterminent l'organisation de la plupart des éléments de la géographie physique, écologique, agricole et humaine (figure 1.1) et de l'hydrologie et, par conséquent, des risques qui leur sont inhérents.

FIGURE 1.1 Carte altimétrique et des grands ensembles géographiques



Source : Slimani et al. (2007).

Le territoire tunisien coïncide avec la terminaison orientale de l'Atlas (figure 1.2), ce qui se traduit par plusieurs crêtes et groupes orographiques selon des alignements (Sud—)Ouest/(Nord—)Est, avec, au milieu, des systèmes de drainage qui s'écoulent d'Ouest en Est jusqu'aux domaines sédimentaires côtiers. Les eaux coulent alors vers la mer Méditerranée, finissent dans des zones humides endoréiques (lacs, lagunes, sebkhas, chotts) ou s'infiltrent dans les réservoirs sédimentaires et karstiques souterrains le long des vallées et plaines côtières (Merla, 2015 ; Camacho et al., 2015). De petits systèmes de drainage côtiers sont par ailleurs organisés localement, avec des pentes abruptes lorsque les montagnes sont proches de la mer, et parfois selon d'autres orientations (notamment le long de la côte nord du pays, au Cap Bon et à Djerba).

FIGURE 1.2 Carte des principaux bassins versants

Source : DGRE (2009)

Les montagnes du Tell, au nord du pays, étalent leurs pics et plateaux le long de la frontière avec l'Algérie et finissent en discontinu vers l'Est. Là s'inscrivent le système lacustre tidal d'Ichkeul, classé au patrimoine de l'humanité par l'UNESCO, le bassin de la Medjerda dont la partie amont est transfrontalière avec l'Algérie et le bassin d'oued Miliane.

La dorsale Sud-Ouest/Nord-Est constitue une frontière naturelle entre le nord et le centre du pays, culmine près de la frontière avec l'Algérie (Mont Chaambi, 1544 m) et s'étend vers la péninsule du Cap Bon en mer Méditerranée. Entre la chaîne de la dorsale au nord et la chaîne de Gafsa, le centre du pays se compose de hautes plaines steppiques à l'Ouest et d'importants systèmes de drainage qui convergent vers les vastes plaines de l'Est. Les principaux bassins versants, du nord au sud sont : oued Nebhana, oued Merguelli et oued Zeroud qui convergent vers la vaste plaine de Kairouan, et sont désormais équipés de barrages (Bouzaiane et Laforgue, 1986 ; Leduc et al., 2007).

La bande côtière du centre du pays se compose de basses plaines steppiques, avec des dépressions locales, des sebkhas et des systèmes sédimentaires d'eau souterraine.

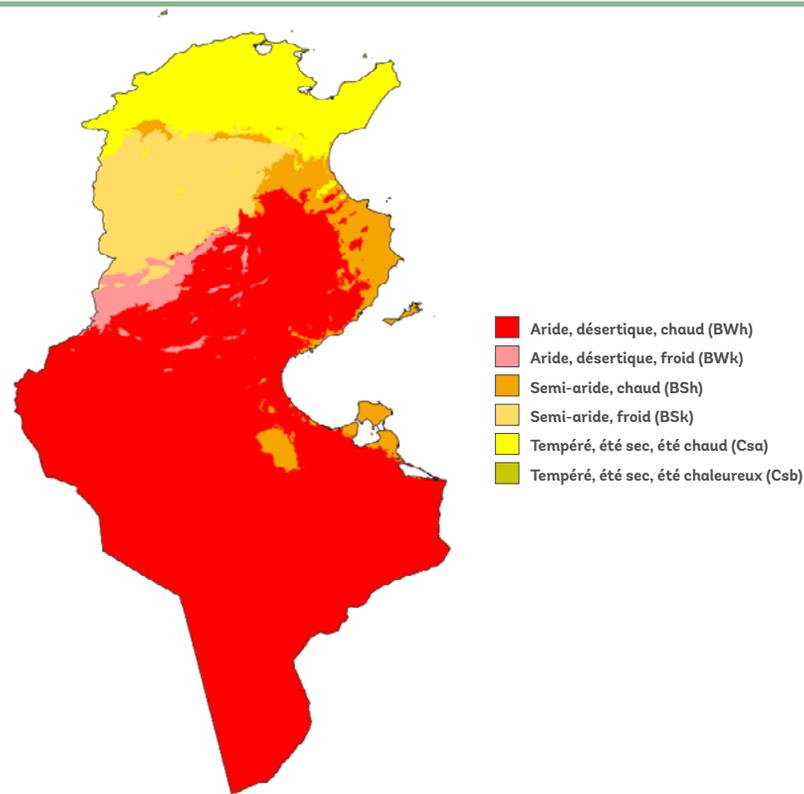
Au sud, la Tunisie affiche une topographie hétérogène et de transition vers le désert du Sahara. À l'Ouest, les crêtes isolées Ouest-Est dominent les Chotts, de grandes dépressions endoréiques à évaporites. Vers l'Est, le grand plateau du Dahar et la corniche Matmata s'étendent jusqu'à la plaine côtière de Jeffara et son système d'eau souterrain transfrontalier avec la Libye. Le sud, majoritairement désertique et inhabitable, abrite le système aquifère du Sahara septentrional.

1.3 Météorologie

La Tunisie est traversée par des masses d'air de différentes provenances et à forte saisonnalité. Les perturbations venant de l'Atlantique, notamment en hiver, apportent plus ou moins d'humidité de l'Ouest, selon la trajectoire suivie au-dessus de l'Afrique du Nord et des montagnes de l'Atlas et, par conséquent, produisent des précipitations orographiques, notamment sur le nord du pays (Slimani et al., 2007 ; Feki et al., 2012 ; Feki et al., 2017).

En été et pendant les saisons intermédiaires, l'air chaud qui arrive du sud tropical réchauffe l'atmosphère au-dessus du bassin méditerranéen. Les mouvements locaux des masses d'air au-dessus de ce bassin sont essentiellement déterminés par les dépressions au-dessus du golfe de Gênes, des Baléares, du golfe de Syrte et du golfe de Gabès, associées aux centres de haute pression environnants. Dans certains cas, ces mouvements facilitent la circulation de l'air chaud et l'évaporation au-dessus de la mer, et l'humidité revient à la surface sous forme de précipitations, notamment en provenance de l'Est, connu pour être exposé à différentes influences orographiques. Il est fréquent que ces dynamiques se combinent au processus convectif, augmentant la variabilité en termes d'intensité pluviométrique, d'organisations spatio-temporelles et de fréquence.

Au nord, le climat de la Tunisie est plutôt méditerranéen, caractérisé par des hivers doux (autour de 20 °C), une pluviométrie modérée (jusqu'à 700 mm/an dans les régions côtières) et des étés chauds et secs (avec des températures pouvant dépasser 40 °C en juillet et août). Au sud, le climat est désertique, et les étés extrêmement chauds (les températures avoisinent les 45 °C), des hivers doux pendant la journée (les nuits sont particulièrement froides dans le désert) et une pluviométrie annuelle très faible (inférieure à 10 mm/an) (figure 1.3).

FIGURE 1.3 Carte de classification des climats selon Köppen

Source : Beck et al., 2018. DOI: 10.1038/sdata/sdata.2018.214

L'ensemble de ces conditions climatiques historiques, permet de dégager les tendances (sur les dernières décennies) et les projections suivantes (ESCWA et al. 2017):

- Le XXe siècle a été marqué par une augmentation du nombre de journées de fortes chaleurs et une hausse de la température annuelle moyenne de près de 1,4 °C. La température annuelle moyenne devrait continuer de croître d'ici 2050, avec la formation d'une zone sensible au niveau de la frontière avec l'Algérie où le changement de température locale estivale peut aller jusqu'à +5,3 °C. Ce même horizon temporel verra le nombre moyen annuel de journées chaudes augmenter (plus particulièrement en juillet, août et septembre), les vagues de chaleur se rallonger et le nombre annuel de journées fraîches diminuer (augmentation du nombre de nuits chaudes).
- Au cours des dernières décennies, la Tunisie a enregistré une baisse significative des quantités de pluies collectées en hiver et au début du printemps. Les relevés des observations effectuées entre 1997 et 2008

indiquent plus de 330 jours secs par an (pluviométrie inférieure à 1 mm). Depuis 1950, on a constaté une diminution de 5 % de la pluviométrie annuelle par décennie au nord du pays, alors que les fortes pluies, elles, sont devenues plus fréquentes. À l'horizon 2050, on s'attend à une plus grande réduction de la pluviométrie et à une augmentation de la fréquence des pluies torrentielles, notamment au nord. On en sait un peu moins sur la pluviométrie au sud.

- Près des deux tiers des régions du pays sont semi-arides et exposées à des sécheresses fréquentes. Depuis 1907, le pays a connu plus de 25 années sèches, les plus importantes ont été enregistrées entre 1999 et 2002. Des températures de plus en plus élevées associées à une pluviométrie déclinante auront probablement pour effet de réduire les ressources en eau d'ici à 2050. Les projections montrent une tendance sèche dans toute la région, notamment au long de la côte méditerranéenne, en raison des diminutions des pluies estivales. L'Afrique du Nord (y compris la Tunisie) est particulièrement exposée aux inondations

qui devraient devenir de plus en plus fréquentes, de plus en plus intenses et de plus en plus longues. Les sécheresses sont plus fréquentes l'été que l'hiver.

- Chaque année depuis 1992, le niveau de la mer Méditerranée augmente de 3,1 mm en moyenne, même si des relevés plus anciens révèlent une importante variabilité locale. Le niveau de la mer pourrait s'élever de 3 cm à 61 cm d'ici à 2050 en fonction de l'expansion thermique et de la salinité des eaux. Compte tenu des particularités des zones côtières, 1 % à 3 % des terres seraient affectées par une augmentation d'un mètre du niveau de la mer.

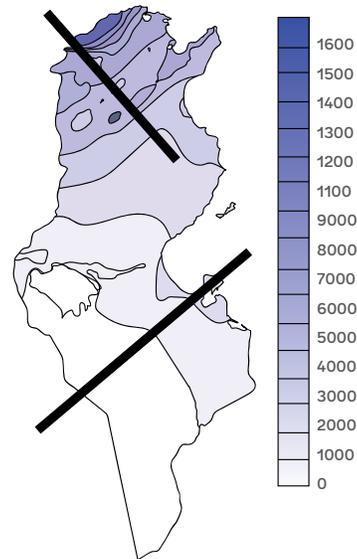
Le changement climatique est au premier rang des priorités politiques et économiques du pays. La Tunisie est le quatrième pays arabe à avoir publié ses Contributions prévues déterminées au niveau national (Intended Nationally Determined Contributions — INDC) pour une réduction des émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, il est permis de penser que le caractère limité des ressources énergétiques nationales favorisera le développement des sources d'énergie renouvelables et rendra leur utilisation plus efficace, conformément à la nouvelle stratégie pour l'emploi visant à réduire le chômage des jeunes. La Tunisie est également le premier pays de la région Afrique du Nord et Moyen-Orient (MENA) à reconnaître le changement climatique dans sa nouvelle Constitution : « l'État garantit le droit à un environnement sain et équilibré et la participation à la sécurité du climat ». Le ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche (MARHP), en coordination avec le ministère de l'Environnement (ME) et avec le soutien de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) a entamé, en 2018, la préparation du deuxième chapitre du Plan national d'adaptation, relatif à la sécurité alimentaire, en appliquant l'approche nexus (BPEH, 2019).

1.4 Hydrologie, ressources en eau et infrastructures connexes

La moyenne des précipitations en Tunisie est de 230 mm/an (soit un volume d'eau total de 36 milliards de m³) et caractérisée par une grande hétérogénéité : 36 % de ce volume est concentré sur 3 % du territoire dans l'extrême nord et 6 % sur 62 % du territoire au sud (**figure 1.4**).

Le bilan hydro-climatique global entre précipitations et évapotranspiration, la grande variabilité saisonnière et interannuelle des processus et leurs signatures statistiques,

FIGURE 1.4 Carte de la pluviométrie annuelle (1/10 mm) et gradient structuré par la latitude, le relief et la distance à la mer



Source: Slimani et al. 2007

la fréquence des épisodes de pluies torrentielles, l'hétérogénéité des états de surface du sol et des conditions pédo-géologiques du partitionnement des pluies entrantes donnent lieu à un ruissellement éphémère et à d'importants retours vers l'atmosphère.

Pendant les épisodes de pluies intenses, les organisations spatio-temporelles et la trajectoire des précipitations au-dessus des bassins versants, combinées à la répartition de la hauteur pluviométrique en termes d'intensité, exercent une grande influence sur les dynamiques hydro-météorologiques des processus de génération du ruissellement et leur convergence vers l'exutoire et, par là même, sur la forme et les caractéristiques temporelles de la crue (Cudennec et al., 2005 ; Chargui et al., 2009 ; Aouissi et al., 2018). Cependant, ces caractéristiques pluviométriques sont souvent peu observées, car relevant d'échelles spatiales et temporelles inférieures à la densité des réseaux d'observation. L'évaluation des changements récemment survenus au niveau des caractéristiques pluviométriques et hydrologiques et de leur répartition spatiale au-dessus des bassins versants révèle des modèles complexes avec des changements mineurs, voire aucun (Chargui et al., 2013 ; Cudennec et al., 2016 ; Chargui et al., 2018).

Les événements de pluie intense qui s'abattent sur les bassins versants relativement petits et montagneux en amont provoquent des crues éclairs, souvent avec une dynamique spatio-temporelle complexe de la relation pluie-débit. Certaines crues donnent lieu à des inondations fluviales le long des oueds ou au niveau des plaines en aval. D'autres permettent de recharger la nappe d'eau souterraine dans les zones frappées — essentiellement vers les grandes vallées et plaines — ou génèrent des flux soudains vers les lacs côtiers, les lagunes, les sebkhas et les chotts. Les pluies torrentielles qui frappent la côte peuvent être encore plus dangereuses quand elles sont alimentées par l'humidité marine, renforcées par la dynamique convective et combinées à l'orographie côtière, et provoquer des inondations soudaines. Du point de vue hydrogéologique, la recharge dépend fortement des crues soudaines, ce qui implique également une forte dépendance à la variabilité interannuelle et aux événements extrêmes (Leduc et al., 2007). Le même raisonnement s'applique à toute mobilisation de ressource par voie de stockage.

De l'Antiquité à nos jours, de nombreuses techniques ont été utilisées pour la collecte, le stockage et la distribution de l'eau à des fins agricoles et domestiques, en recourant, le plus souvent, à des structures topographiques et hydrauliques, associées à une gestion des sols et des cultures : il s'agit en particulier de canaux et digues de diversion pour irrigation par épandage (mgouds), de murs de pierre sèche ou de terre construits dans les talwegs (jessours), de terrasses et cordons de pierre sèche ou de terre érigés sur les versants (tabias), de canaux souterrains (qanat), de citernes, d'aqueducs, de réseaux de distribution dans les oasis, etc. (Ben Mechlia et al., 2004). Ces techniques se sont révélées être efficaces en ce qui concerne la résistance à la variabilité et le renforcement de la résilience à échelle fine : des versants aux petits périmètres et bassins versants, et des agriculteurs aux communautés, notamment grâce aux mécanismes de régulation collective (Romagny et al., 2006 ; 2007).

Entre la fin des années 1970 et le début des années 1980, une stratégie nationale de gestion des ressources en eau a été mise au point pour accompagner le développement du pays, en accordant une plus grande priorité au renforcement de la mobilisation des ressources en eau verte et bleue, au développement des ressources en eau non conventionnelles et à la protection de l'environnement. Le développement intensif des techniques de conservation de l'eau et du sol a permis d'accroître la disponibilité de l'eau verte, grâce à une politique mixte qui consiste à la fois à valoriser les techniques traditionnelles et à tirer pro-

fit des technologies modernes. On estime que le potentiel de mobilisation des eaux bleues de surface a atteint un taux de 92 %, soit près de 2 500 millions de m³/an, grâce aux ouvrages hydrauliques (grands barrages, barrages et lacs collinaires), sachant que l'efficacité de la mobilisation est très variable d'une année à l'autre et est généralement hétérogène dans le pays (BPEH, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). L'utilisation des ressources en eaux souterraines a été particulièrement encouragée au cours des dernières décennies, tant pour l'usage domestique que pour l'irrigation, et représente aujourd'hui 63 % des ressources exploitées (ESCWA, 2019). Une infrastructure d'interconnexion Nord-Sud a été développée et est en cours de renforcement pour faciliter la mutualisation le long du gradient hydro-climatique et, par là même, la robustesse et la résilience à l'échelle nationale.

La protection contre les inondations en Tunisie repose sur un savoir-faire qui remonte au moins aux opérations de protection de la ville de Kairouan au moment de l'installation des Arabes au Moyen Âge (Boularès, 2015). De nombreux travaux hydrauliques ont été réalisés au cours des dernières décennies autour et au sein même des villes (Tunis et Gabès en sont des exemples emblématiques) (Oueslati, 1999 ; ONAS, 2020). Des digues ont également été installées le long de certains segments d'oueds. C'est notamment le cas le long de la Medjerda, où de nouveaux travaux sont en cours.

Ces dynamiques ont soutenu le développement socio-économique du pays au cours des dernières décennies et ont suivi une évolution parallèle. Les spécialistes connaissent bien les défis à relever et disposent d'une expertise dans la gestion des ressources en eau et des infrastructures. Toutefois, le partage de données entre parties prenantes accuse un certain retard (ESCWA, 2019).

Le système, dans son ensemble, reste vulnérable aux événements météorologiques de forte intensité et imprévisibles. Plusieurs autres problèmes ont fait surface, liés notamment aux conflits entre objectifs, régions et acteurs qui compliquent l'établissement des compromis nécessaires. Certaines de ces questions ont été à l'origine de la Révolution de 2011 (en particulier entre les régions montagneuses de l'intérieur du pays et les villes touristiques et de grande consommation en aval, tant pour le volume d'eau consommée que pour l'empreinte eau des différents types de cultures) ; la surexploitation des ressources en eau souterraine et les problèmes liés à leur durabilité (le taux d'exploitation a été estimé autour de 117 % en 2018) (BPEH, 2019) ; le vieillissement des infrastructures (y compris l'envasement) ; la perturbation de l'équilibre sédimen-

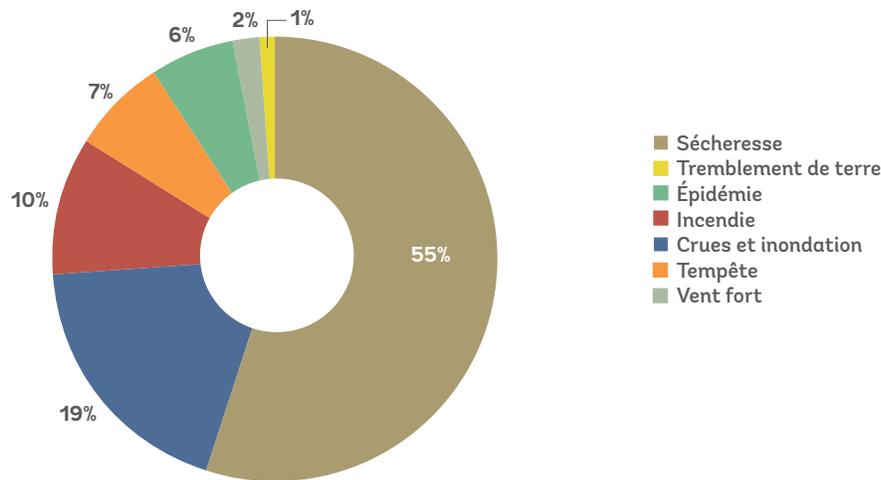
taire des hydrosystèmes et les changements induits au niveau de la géométrie et de l'hydraulique. Ces constats et les ouvrages de références internationaux (Dixon et al., 2020 ; Perera et al., 2019 ; OMM/GFCS, 2014 ; Banque mondiale, GFDRR, 2018) concordent sur la nécessité de moderniser les services hydrométéorologiques et hydro-climatiques concernés.

La Tunisie a mené deux études stratégiques (Eau 2000, Eau 2030) sur les priorités du secteur de l'eau au niveau

national (ESCWA, 2019). La stratégie Eau 2050, qui est en préparation dans le cadre d'un processus participatif sous la coordination du MARHP (voir chapitre 4), s'inscrit dans le cadre plus large de l'Agenda 2030 et des objectifs de développement durable (ODD) (République Tunisienne, 2019).

2 ALÉAS ET RISQUES MÉTÉOROLOGIQUES, CLIMATIQUES ET HYDROLOGIQUES

La Tunisie est une région sujette aux catastrophes et particulièrement exposée à des risques hydrométéorologiques divers, à l'instar des inondations, sécheresses, séismes, feux de forêts, tempêtes de neige et de sable, grands vents, vagues de froid et épisodes caniculaires (**figure 2.1**). Le pays est exposé à des températures et des précipitations extrêmes plus fréquentes et plus sévères en raison du changement climatique. Ces éléments induisent différents aléas météorologiques, climatiques et hydrologiques, pouvant mener à des catastrophes hydrométéorologiques. De tels événements se sont multipliés en Tunisie au cours de la dernière décennie.

FIGURE 2.1 Nombre d'aléas hydrométéorologiques (1957-2018)

Source : Banque mondiale (2020)

Les archives ont permis de retracer les événements majeurs survenus dans le pays depuis le Moyen-Âge et la construction des bassins de drainage de la ville de Kairouan, même si la reconstruction paléohydrologique reste, à ce jour, limitée. Les documents administratifs, articles de presse, publications scientifiques, entre autres, recèlent de nombreuses informations sur les événements hydrométéorologiques récents. Ces événements (voir description ci-après) témoignent de la variabilité des aléas hydrométéorologiques en Tunisie. Cela renvoie à la variabilité spatiale, temporelle et fréquentielle ; et à l'hétérogénéité des variables, systèmes et processus naturels en jeu ; sous forçage de variables imbriquées d'ordres climatique, géographique et hydraulique.

L'événement synoptique extrêmement sévère de l'automne 1969 est un repère (Boudhraâ et al., 2015) dans la mesure où il a touché une grande partie du pays, a frappé la Tunisie avant qu'elle ne se dote des principales infrastructures hydrauliques dont elle dispose de nos jours, et a été extrêmement sévère sur le plan des processus hydrométéorologiques et des retombées (542 morts, 70 540 maisons détruites et 340 000 sans-abris). En septembre, 10 jours de pluies cumulées (400 mm) ont été enregistrés par l'INM dans certaines régions. En octobre, 30 jours de pluies cumulées ont été enregistrés (500 mm) sur de grandes zones, avec des intensités allant jusqu'à 80 mm/jour. Certaines observations hydrométriques directes ont été menées, notamment dans le bassin d'oued Zeroud. Le 27 septembre, le débit a atteint 1910 L/s.km²,

ce qui, pour un bassin de 8,950 km², est un record en Afrique du Nord.

La Medjerda présente un écoulement permanent ce qui, à l'exception, du Nil, est rare en Afrique du Nord, et confère à ce bassin un caractère stratégique pour les établissements humains et l'agriculture, et ce depuis l'Antiquité. La mise en place d'infrastructures hydrauliques modernes (barrages, digues) destinées à des utilisations locales et distantes (interconnexion des barrages), servant parfois plusieurs objectifs (barrage Sidi Salem), a modifié le fonctionnement hydrologique (sédimentaire) ainsi que la vulnérabilité aux aléas des dernières décennies et la forte interdépendance amont-aval. Compte tenu du régime pluviométrique (et neigeux en amont) et de l'organisation géographique-hydrographique, on constate essentiellement des crues lentes en amont et en provenance des affluents nord, en hiver, et des crues rapides en provenance des affluents sud, au printemps et en automne (Rodier et al., 1981 ; Coopération financière Germano-Tunisienne, République tunisienne, 2016). Les **crues de la Medjerda**, induites par ses différents affluents, présentent différentes formes d'hydrogramme selon les dynamiques spatio-temporelles des pluies, ce qui complique la gestion opérationnelle.

L'inondation la plus catastrophique de l'histoire moderne du pays est survenue entre le 27 et le 31 mars 1973, avec un débit maximal de près de 3 000 m³/s sur l'axe principal

de l'oued. Depuis, plusieurs crues importantes ont eu lieu, notamment en janvier 2003 (800 m³/s de débit maximal).

Entre le 16 et le 20 janvier 1990, de **fortes pluies** (plus de 500 mm sur 5 jours consécutifs), phénomène plutôt rare pour le mois de janvier en Tunisie, ont provoqué des inondations étendues dans le centre et le sud du pays. Le volume de sédiments qui a transité par l'oued El H'tab (Tunisie centrale) à sa sortie de Djebel Kharroub (Khanguet Ezgazia) a été estimé à 355,010 m³ pour un bassin versant de 2 200 km² (A. HAMZA, 1993), ce qui représente une dégradation spécifique d'environ 161 m³/km² (1,61 m³/ha).

Les fortes pluies et inondations localisées sur les villes côtières et à l'intérieur du pays font l'objet d'examen particulièrement approfondis ; il convient en effet d'y appréhender les aléas selon des organisations et échelles spatio-temporelles plus précises, et de s'intéresser à la façon dont ces régions sont confrontées à des vulnérabilités particulières. Des pluies intenses se sont abattues sur le golfe de Gabès et Matmata les 10, 11 et 12 novembre 2017. Le 11 novembre, des pics de 191 mm et de 185 mm ont été enregistrés respectivement à Zarrat et à Toujène, ce qui équivaut à une période de retour de 150 à 200 ans. Les oueds qui descendent vers les montagnes du golfe de Gabès (plus particulièrement l'oued Jir et l'oued Beni Zelten) et vers la plaine de la Jeffara ont été marqués par de fortes crues au débit difficilement quantifiable, estimé à 350 m³/s. L'érosion et les changements géomorphologiques ont été sévères, ainsi que les dégâts aux infrastructures.

Le « Grand Tunis » est, lui aussi, souvent frappé par des épisodes pluvieux intenses localisés et est de plus en plus vulnérable à ce type d'aléas, notamment parce que la vieille ville est en grande partie enclavée dans l'étroite plaine au pied du relief face au golfe de Tunis. L'ancien système de drainage est désormais insuffisant, la ville se développe à présent vers les périphéries en hauteur (ce qui augmente le taux d'imperméabilisation et la genèse du ruissellement) et dans les zones basses au-delà de la première couronne de relief (ce qui accentue la vulnérabilité au niveau du deuxième périmètre urbain). Les 16, 17 et 24 septembre 2003 ont été marqués par un épisode de pluies intenses localisées sur le « Grand Tunis », avec 194 mm enregistrés le 17 septembre à Tunis-Carthage, un niveau jamais atteint depuis 1950 (le record précédent était de 133,5 mm le 3 novembre 1975). Ces pluies ont provoqué des inondations généralisées dans toute la région de Tunis. Depuis, d'autres pluies intenses sont tombées et ont provoqué des inondations dans quelques quartiers,

notamment le 13 octobre 2007 et le 10 septembre 2019 (MARHP, 2019).

Le samedi 22 septembre 2018, des **crues éclairs** ont frappé le gouvernorat de Nabeul, dans la région du Cap Bon et causé la mort de 6 personnes et d'importants dégâts à l'infrastructure urbaine (DGRE, 2018 ; République tunisienne et al., 2018). Des niveaux pluviométriques records ont été enregistrés à Beni Khaled (297 mm), à Soliman (244 mm), à Bouargoub (205 mm) et à Nabeul (197 mm), sur un large secteur de collines en amont de la ville de Nabeul, située sur la plaine côtière. Les débordements des oueds courts, le ruissellement direct venant de l'amont, et le ruissellement urbain local ont donné lieu à des inondations dépassant 1,70 mètre par endroits. L'analyse effectuée après la catastrophe a révélé que des implantations dans les vallées des oueds avaient exacerbé la vulnérabilité et le risque de ruissellement, que des chemins préférentiels d'écoulement avaient été négligés, et que certains équipements et infrastructures hydrauliques locaux étaient insuffisants et mal entretenus. L'analyse a plus particulièrement confirmé l'éventualité d'épisodes de pluie-débit extrêmes localisés, renforcés par certaines circonstances météorologiques et océaniques, une géomorphologie côtière particulière et la vulnérabilité de la dynamique urbaine sur les côtes.

La Tunisie a connu plusieurs grandes **sécheresses** tout au long du XX^e siècle (Mouelhi et Laatiri, 2014 ; OSS, 2013). Le phénomène, récurrent dans le pays, ne frappe pas avec la même fréquence d'une décennie à l'autre. Les années 1950 et les années 1970, par exemple, se sont démarquées par la faible occurrence d'années sèches. Les années 1920, 1940, 1960 et 1980, en revanche, ont été marquées par des sécheresses pluriannuelles, avec de grandes extensions spatiales et un déficit pluviométrique important (Hénia, 2001). Les épisodes de sécheresse enregistrés au cours des années 1940 ont été les plus sévères de ce siècle. Certaines stations ont connu six à huit années sèches d'affilée. Pendant quatre années consécutives (de 1944-45 à 1947-48), l'isohyète 400 mm s'est maintenu au nord de la moyenne et basse vallée de la Medjerda, c'est-à-dire à plus de 150 km au nord de sa position moyenne, au sud de la dorsale. Au cours des années 1980, les années à pluviométrie inférieure à la moyenne l'ont emporté sur les années pluvieuses. La fin de la décennie (1987-88 à 1988-89) a été marquée par une grande sécheresse avec un déficit pluviométrique intense qui a affecté l'ensemble du pays. Ces événements ont grandement affecté les secteurs socio-économique et environnemental, de l'agriculture à la santé. Une invasion de criquets a eu lieu en mars 1988, après deux années sèches consécutives.



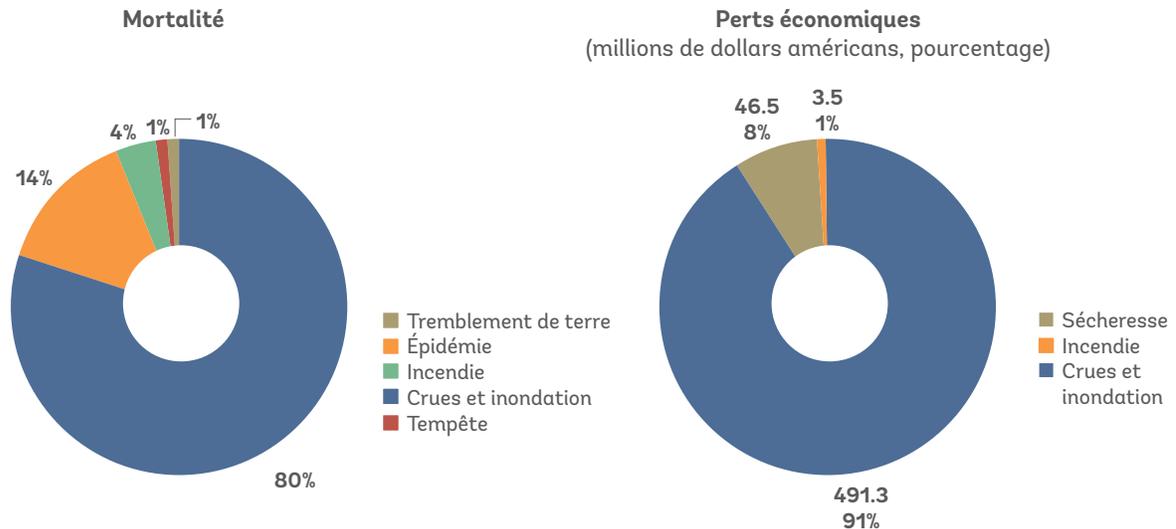
3 IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DES ALÉAS ET CATASTROPHES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES

La Tunisie est particulièrement vulnérable aux aléas naturels et au changement climatique dont les effets sont susceptibles de se faire sentir au niveau des secteurs clés de l'économie. Selon les résultats préliminaires du profil de risque de catastrophes réalisé par la Banque mondiale, les pertes annuelles moyennes (PAM)¹ dues aux inondations sont estimées à 40 millions de dollars (soit 0,1 % du PIB de 2018) et les pertes maximales probables (PMP)² induites par les tremblements de terre sur une période de retour de 250 ans à 881 millions de dollars (soit 2,2 % du PIB de 2018)³. Les pertes enregistrées entre 2011 et 2018 à la suite d'inondations, de sécheresses et d'incendies ont été estimées à près de 541,3 millions de dollars, et on estime que les inondations et les tremblements de terre sont responsables de 94 % des décès liés aux catastrophes naturelles (figure 3.1).

¹ La perte annuelle moyenne (PAM) correspond à la perte prévue pour chaque année, ramenée à une moyenne pluriannuelle

² La perte maximale probable (PMP) correspond à la valeur de la perte pour une certaine fréquence annuelle de dépassement, par exemple : une probabilité annuelle ou une période de retour

³ À titre de comparaison, une étude menée par la Banque mondiale au Maroc a estimé la perte annuelle moyenne due aux inondations à près de 433 millions de dollars et celle due aux tremblements de terre à 88 millions de dollars. Voir Groupe de la Banque mondiale, 2013. Renforcement de la résilience du Maroc : apports pour une stratégie de gestion intégrée des risques

FIGURE 3.1 Mortalité et pertes économiques (2011-2018)

Source : Banque mondiale (2020)

Entre 2011 et 2018, le pays a subi plus de 2 550 incendies qui ont ravagé près 34 000 hectares de forêts. Le tremblement de terre le plus dévastateur de tout le XXe siècle s'est produit en 1957 à Jendouba, avec une magnitude de 5,6 sur l'échelle Richter, causant 13 morts et l'effondrement de plusieurs bâtiments (ME 2018).

L'économie tunisienne est légèrement plus diversifiée que celles des autres pays du Maghreb, ses secteurs clés sont : l'agriculture, l'industrie, l'industrie minière et le tourisme. Le changement climatique devrait avoir des effets directs notables sur au moins deux de ces secteurs, à savoir l'agriculture et le tourisme (et les services qui leur sont associés).

L'agriculture tunisienne est principalement pluviale et, par conséquent, fortement vulnérable à la variabilité pluviométrique, aux longues sécheresses et aux hausses de températures (Verner, 2013). Le secteur agricole contribue à hauteur de 11-12 % au PIB, génère près de 6 % des recettes d'exportation et emploie 16 % de la population active (Revolve et GIZ, 2013 ; Van der Gaast, 2018). Les sécheresses causées par la variabilité et le changement climatique devraient affecter plus particulièrement les cultures céréalières pluviales du fait d'une réduction de 30 % de la superficie des terres agricoles et d'une baisse de la production de certaines cultures comme le blé et l'orge (SNC, 2013 ; Verner, 2013). Le changement climatique devrait avoir des répercussions sur les produits agricoles destinés à l'exportation. La Tunisie est un grand

producteur et exportateur d'huile d'olive (en 2018, le pays a été classé cinquième au monde) et de dattes (24 % des échanges mondiaux) (Ben Ahmed Zaag, 2017 ; Jacobs and Klooster, 2012). Actuellement, près de 40 % des terres cultivées sont consacrées à la culture des olives (Van der Gaast, 2018). Le changement climatique devrait entraîner une baisse de 50 % de la production d'olives, et une diminution de la surface des terres consacrées à leur culture de 42 % dans la partie sud du pays (Revolve et GIZ, 2013). Des tendances similaires devraient être observées pour d'autres cultures, en raison de la hausse des températures et de la diminution de la pluviosité induites par le changement climatique. L'effet combiné de l'augmentation des prix des produits alimentaires et de la baisse des rendements au niveau local engendrera, à son tour, une réduction de la croissance économique. Les projections prévoient également une réduction moyenne des revenus des exploitations agricoles de 2 % à 7 % par an sur trente ans (2000-2030). Les ménages agricoles ne seront pas les seuls à subir les effets du changement climatique. Les ménages ruraux non agricoles et les ménages urbains pâtiront, eux aussi, de l'augmentation des prix des produits alimentaires induite par le changement climatique (Banque mondiale, 2018).

La côte tunisienne abrite les deux tiers de la population totale du pays et plus de 70 % des activités économiques, notamment le tourisme et une grande partie de l'agriculture irriguée. La montée du niveau de la mer prévue à l'horizon 2100 (voir chapitre 1) aura un effet direct sur

5 % de la population, ainsi que sur les ressources en eau, les écosystèmes naturels, l'infrastructure côtière, l'agriculture (réduction de 10 % des surfaces irriguées Banque mondiale, 2018) et le tourisme. Au vu de l'importance du tourisme côtier, il n'est pas exclu qu'une telle élévation ait un impact disproportionné sur l'économie. Des conditions hydroclimatiques de plus en plus extrêmes — notamment les inondations, les sécheresses, les vagues de chaleur et les vents violents, combinées à la diminution de la disponibilité des ressources en eau et à la hausse de leurs coûts — pourraient nuire de manière substantielle au tourisme sur le littoral. Le changement climatique (**figure 3.2**) va également exacerber la pression exercée sur les ressources en eau, devant répondre à la demande des populations urbaines en perpétuel essor et à celle des secteurs agricoles, industriel et touristique.

Les crues éclaircies survenues en septembre 2018 à Nabeul ont entraîné la mort de 6 personnes. L'Évaluation rapide des besoins — réalisée par le gouvernement tunisien en partenariat avec la Banque mondiale, les Nations-Unies et l'Union européenne — a permis d'estimer les besoins de relèvement à près de 100 millions de dollars. Pour l'essentiel, ces besoins concernent les secteurs les plus sérieusement touchés par les inondations, à savoir le transport, l'agriculture et l'habitat (**figure 3.3**). La catastrophe de Nabeul a permis d'attirer l'attention sur la forte exposition de la Tunisie aux catastrophes et sur les effets croissants du changement climatique.

Il convient de noter que si les circonstances avaient été légèrement différentes de celles des événements décrits

FIGURE 3.2 Évolution des menaces urbaines à Tunis

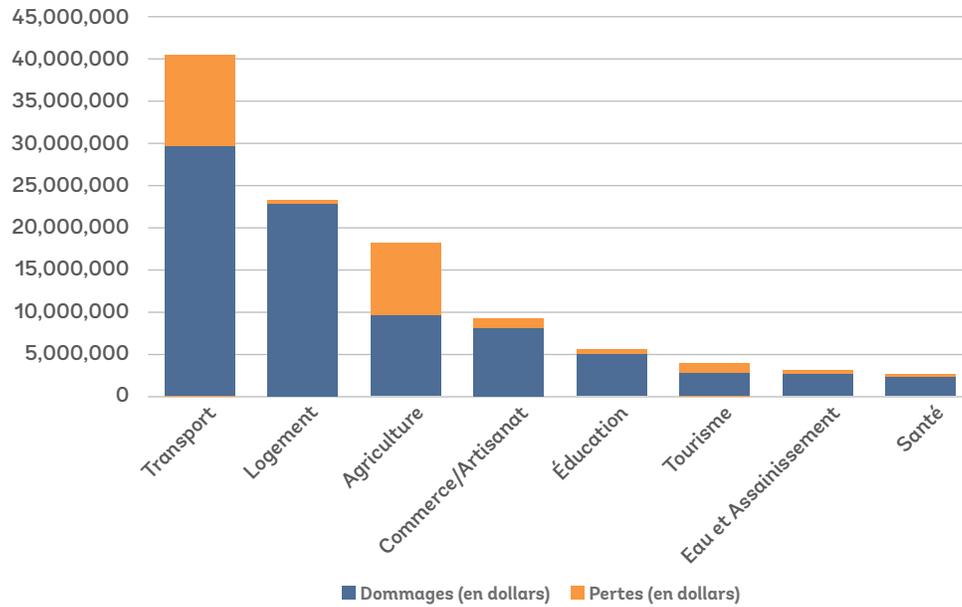
Menaces urbaines Horizon temporel	Tunis	
	Actuel	2030
Sismicité/instabilité des sols	Modérée	Élevée
Tsunami/submersion marine	Modérée	Élevée
Érosion côtière	Élevée	Très élevée
Inondations	Élevée	Très élevée
Raréfaction des ressources en eau	Modérée	Faible

■ Très élevée
 ■ Élevée
 ■ Modérée
 ■ Faible

Source : Banque mondiale et CMI, 2011

au chapitre 2, les conséquences auraient pu être différentes, voire plus graves. Si les inondations de Nabeul avaient eu lieu en semaine, les victimes auraient pu être nombreuses dans les 57 écoles touchées. Si elles s'étaient étendues jusqu'à la zone touristique de Hammamet, cela aurait posé un important problème marketing au secteur touristique, stratégique pour l'économie du pays et déjà mis à mal. Si les inondations survenues à Tunis en 2003 ou 2019 avaient touché plusieurs points critiques de la capitale, et donc du pays, comme, le siège de l'INM lui-même (y compris les centres informatiques et de prévision situés au rez-de-chaussée du bâtiment) — la gestion de la crise aurait été beaucoup plus difficile.

FIGURE 3.3 Répercussions des inondations survenues à Nabeul – Dégâts et pertes par secteur (en dollars)



Source : évaluation rapide des besoins réalisée par le gouvernement tunisien en partenariat avec la Banque mondiale, les Nations-Unies et l'Union européenne.



© 3D Sculptor | Shutterstock.com

4

ÉVALUATION DES BESOINS DES UTILISATEURS EN MATIÈRE D'INFORMATIONS ET DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES, CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

Les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) sont des entités du service public mandatées pour fournir des informations et des services d'alerte météorologiques (temps et climat) et hydrologiques, certains pouvant être payants, comme pour l'INM en Tunisie.

L'efficacité de la fourniture d'informations, de prévisions et d'alertes météorologiques, climatologiques et hydrologiques est déterminée par la manière dont ces services répondent aux besoins des utilisateurs. L'impératif d'efficacité exige une connaissance approfondie de ce dont les utilisateurs ont réellement besoin pour éclairer leurs processus décisionnels. Une consultation a été menée auprès de plusieurs parties prenantes concernant leurs utilisations et leurs exigences en matière de produits et de services dans le cadre de la préparation de cette feuille de route consacrée aux prestataires de services météorologiques et hydrologiques. Il s'agit, notamment, de l'Office national de la protection civile (ONPC), du ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche (MARHP) et des directions relevant de sa tutelle, du ministère de l'Équipement et des directions relevant de sa tutelle et du ministère de l'Environnement (ME). De nombreux autres acteurs devraient par ailleurs bénéficier des informations et des services météorologiques et hydrologiques.

Des échanges approfondis avec les responsables des entités susmentionnées ont mis en évidence les produits et informations dont les parties prenantes peuvent avoir besoin : prévisions météorologiques, projections de changement climatique, prévisions des crues, de sécheresses et de glissements de terrain, et alertes précoces hydrométéorologiques. Les parties prenantes ont également demandé des informations sur les incidences que pourraient avoir ces aléas, afin de mieux informer et alerter le public. Ces informations doivent être fournies à diverses résolutions temporelles, allant des prévisions les plus immédiates (0 à 6 heures) pour les inondations soudaines et saisonnières, aux prévisions à plus long terme, pour les activités de planification et de préparation, notamment liées à la gestion des ressources en eau et au secteur agricole. Les parties prenantes ont également souligné l'importance de mettre à disposition des alertes spécifiques pour les sites les plus touchés par ces risques.

L'ONPC et le ME sont conscients de l'importance que revêtent les informations hydrométéorologiques pour atténuer les effets des catastrophes naturelles. Compte tenu de la nécessité de combiner les données et informations provenant de différents ministères, l'ONPC a reconnu l'importance d'établir des protocoles d'échange suivant des

normes nationales qui permettraient d'harmoniser les données provenant de différents systèmes d'information géographique (SIG). Les outils disponibles pour l'évaluation des risques doivent être renforcés par des données en temps réel provenant de divers services. Il est également nécessaire d'activer un lien automatique d'accès aux données des différents prestataires de services météorologiques et hydrologiques. L'ONPC et le ME ont fait état d'autres demandes plus spécifiques, comme :

- a) l'automatisation des échanges d'informations météorologiques et hydrologiques entre agences et l'organisation des informations entre les niveaux national et local (municipal) ;
- b) la formation des effectifs de l'ONPC pour l'interprétation de ces informations et le renforcement des capacités de l'école nationale de la protection civile (ENPC) ;
- c) la mise en place d'un système national d'alerte précoce au sein de l'ONPC et la réunion des contributions des différentes institutions au sein d'une seule et même plateforme ;
- d) l'information et la sensibilisation du public ;
- e) l'aménagement territorial et urbain, tenant compte des informations hydrométéorologiques et du changement climatique.

Pour l'heure, l'ONPC ne dispose d'aucun centre des opérations capable d'appuyer la gestion intégrée des risques de catastrophe. Il convient donc de procéder à une révision du cadre réglementaire associé.

Les activités du MARHP impliquent la mise en place d'échanges des principales données d'observations météorologiques (plus particulièrement pluviométriques) et produits/prévisions de modèles (exécutés à l'échelle locale, régionale ou globale et à des temporalités différentes), notamment pour la prévision des inondations et la gestion des ressources en eau.

Bien que d'autres secteurs socio-économiques n'aient pas été associés aux consultations, le tableau 4.1 donne un aperçu des besoins ventilés par secteurs d'activité, en ce qui concerne le type d'information et de service et compte tenu des caractéristiques et conditions propres au pays.

TABLEAU 4.1 Types de services requis par les utilisateurs/secteurs

Secteur	Pluie/Neige	Température	Vents (vitesse/direction)	Humidité	Nébulosité	Visibilité	Orages	Hauteurs des vagues	Niveau d'eau	Débits	Crues/Inondations
Gestion des catastrophes	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓
Transport	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Agriculture et production alimentaire	✓	✓		✓			✓				
Gestion des ressources en eau	✓		✓	✓			✓		✓	✓	✓
Énergie	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	
Pêche	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
Forêts	✓	✓	✓	✓							
Santé	✓	✓					✓				✓
Médias	✓	✓					✓				✓
Tourisme	✓	✓	✓		✓		✓	✓			✓

Les temporalités de diffusion des informations et de mise à disposition des services diffèrent d'un secteur utilisateur à l'autre. Le tableau 4.2 donne un aperçu des fréquences de mise à jour requises selon les secteurs utilisateurs, compte tenu des caractéristiques et conditions propres au pays.

TABLEAU 4.2 Types de produits requis par les utilisateurs/secteurs

Secteur	Temps réel	Horaire	Quotidien	Hebdomadaire	Mensuel	Saisonnier	Plus long
Gestion des catastrophes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Transport	✓	✓	✓	✓			
Agriculture et production alimentaire			✓	✓	✓	✓	✓
Gestion des ressources en eau	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Énergie		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pêche		✓	✓	✓			
Forêts	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Santé			✓	✓	✓	✓	
Médias	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tourisme	✓	✓	✓	✓			



© banjongseed324 | iStock.com

5

ANALYSE INSTITUTIONNELLE ET ORGANISATIONNELLE DES PRESTATAIRES DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

En Tunisie, les services météorologiques sont exclusivement fournis par l'Institut national de la météorologie (INM). L'offre de services climatologiques et hydrologiques, quant à elle, est fragmentée : de nombreuses activités liées à la gestion des ressources en eau relèvent du ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche (MARHP) et des directions/institutions relevant de son autorité. Les questions d'ordre environnemental, notamment l'assainissement urbain, sont du ressort du ministère de l'Environnement. Le ministère de la Santé publique est responsable du contrôle de la qualité de l'eau et le ministère de l'Équipement de la gestion des inondations dans les zones urbaines.

Cette section met l'accent sur les prestataires de services météorologiques, climatologiques et hydrologiques. L'analyse institutionnelle et organisationnelle porte donc essentiellement, sur l'INM et les directions compétentes qui relèvent du MARHP, notamment la Direction générale des ressources en eau (DGRE), la Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques (DGBGTH). Certains autres bureaux et directions ont mis en place, en coordination avec les prestataires de services hydrologiques et météorologiques susmentionnés, des stations d'observation pour des projets pilotes de systèmes d'alerte précoce dans les zones vulnérables ou en association à des projets spécifiques. C'est notamment le cas de la surveillance de certains lacs collinaires et de la réflexion d'un observatoire territorial par la Direction générale de l'aménagement et de la conservation des terres agricoles (DGAETA).

5.1 Institut national de la météorologie

5.1.1 Bref historique et situation institutionnelle actuelle

Si le premier service météorologique a été créé en 1885 à Tunis-Manoubia, les premières activités dans ce domaine remontent à 1873, année au cours de laquelle la première observation météorologique a été effectuée. Depuis sa création, l'Institut national de la météorologie a connu de multiples réformes et changé plusieurs fois de statuts. La Loi 200910 du 16 février 2009, portant création de l'INM, confère à ce dernier la qualité d'établissement public à caractère non administratif, soumis à la tutelle du ministère du Transport.

La mission, les attributions et l'organisation de l'INM sont décrites à l'Article 2 du décret 2009-10 du 16 février 2009, comme suit :

- a) la satisfaction des besoins généraux d'ordre météorologique, géophysique et climatologique intéressant les différents secteurs de l'économie du pays et notamment l'assistance météorologique à la navigation aérienne, à la navigation maritime, à l'agriculture et au tourisme ;
- b) la conception de programmes et politiques visant au développement des secteurs de la météorologie, de la géophysique et de la climatologie en profitant des progrès technologiques et scientifiques ;
- c) la contribution à la mise en place de facteurs de durabilité du développement par la participation aux programmes consacrés aux domaines de la protection de l'environnement, de la conservation de la nature et de la promotion de la qualité de la vie ;

- d) la contribution à la protection des personnes et des biens contre les risques causés par les calamités naturelles et industrielles et à l'atténuation de leurs effets négatifs en coordination avec les différents organismes intéressés ;
- e) la coordination technique dans le domaine de sa compétence de toutes les activités présentant des aspects météorologiques et géophysiques ;
- f) la gestion et la maintenance de la base des données météorologiques et géophysiques ;
- g) l'élaboration d'études techniques et économiques relevant de sa compétence ;
- h) l'exécution des recherches fondamentales et appliquées pour le développement de la science météorologique, de la climatologie et de la géophysique ;
- i) la mise en œuvre des accords internationaux souscrits par la Tunisie en matière de météorologie et de géophysique ; et
- j) la fourniture de certains services payants, faisant partie de sa mission, dont la liste et les tarifs sont fixés par arrêté du ministre du Transport.

Depuis, l'INM a mis en place une politique commerciale et orienté ses services de façon à proposer à ses clients et partenaires plusieurs produits et services dans les domaines de la météorologie, du climat et de la sismologie. L'accomplissement des attributions incombant à l'INM repose sur deux principaux domaines :

La météorologie, qui constitue l'épine dorsale des activités de l'INM et à laquelle est consacrée la majeure partie des équipements de l'institut. La météorologie couvre les activités liées :

- a) à l'observation, au stockage, à l'échange et au traitement des données météorologiques ;
- b) aux prévisions météorologiques ; et
- c) à la climatologie, à la météorologie appliquée et à la recherche.

La géophysique et l'astronomie qui ont été intégrées aux activités de l'INM essentiellement aux fins d'utilisation des données au niveau national. Elles couvrent les activités liées :

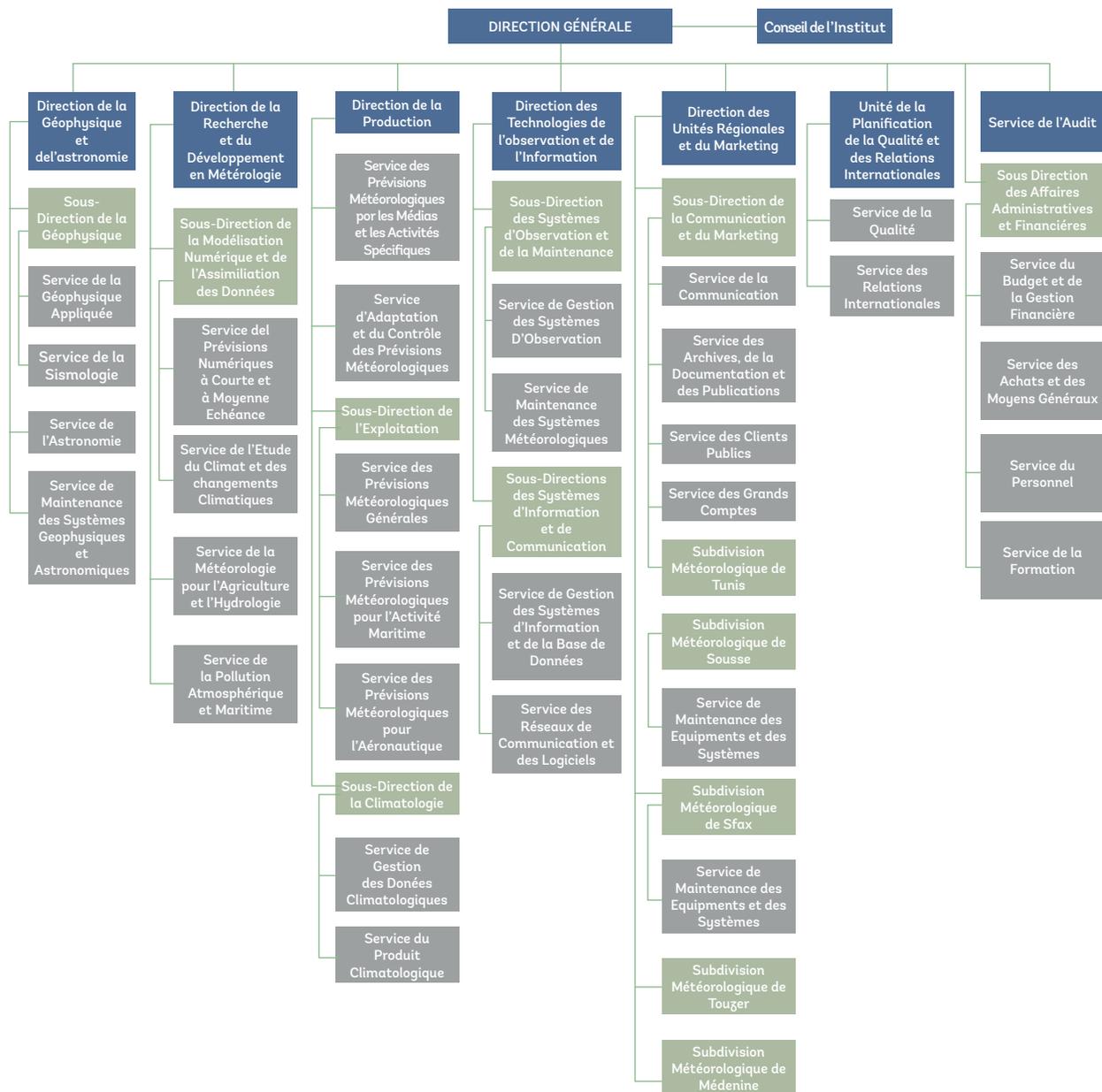
- a) à la mesure et au suivi de l'activité sismique et aux études géophysiques appliquées ;
- b) à l'observation du croissant lunaire et à l'élaboration du calendrier lunaire à des fins religieuses ;
- c) à la détermination des dates des éclipses solaires et lunaires et à l'élaboration des éphémérides ; et

d) à la mesure et au traitement des différents types de radiations solaires.

La **figure 5.1** présente l'organigramme organisationnel actuel de l'INM. L'INM est dirigé par un directeur général assisté d'un conseil. On y recense quatre (4) départements opérationnels et techniques, trois (3) départements en

charge de l'administration et des ressources humaines et financières, de la planification et des relations internationales, de la communication et du marketing et six (6) sous-divisions régionales : Tunis, Jendouba, Sousse, Sfax, Touzer et Médenine. Ensemble, ces départements sont chargés de : a) mettre en œuvre les directives dictées par l'administration centrale, b) fournir l'assistance météoro-

FIGURE 5.1 Organigramme organisationnel de l'Institut national de la météorologie (INM)



Source : avec l'autorisation de l'INM

logique nécessaire à la navigation aérienne et maritime, c) contribuer à l'étude des facteurs météorologiques et de leurs effets sur le développement économique à l'échelle régionale et d) gérer les activités des stations météorologiques de l'institut. L'INM connaît actuellement une réorganisation interne visant à faciliter la fourniture de services fondés sur les besoins des utilisateurs. Le nouvel organigramme organisationnel et la note justificative qui l'accompagne ont été soumis au ministère du Transport pour avis.

L'INM dispose d'un plan stratégique pour la période 2015-2020 et travaille à l'élaboration d'un nouveau plan pour 2021-2025. L'établissement et la mise en œuvre de cette stratégie et de ce plan d'action ont permis à l'INM de s'acquitter plus efficacement de ses fonctions. Les huit principaux axes du plan stratégique pour 2015-2020 sont :

1. garantir le meilleur service possible à la navigation aérienne et anticiper les évolutions réglementaires ;
2. contribuer à la sécurité des personnes et des biens face aux catastrophes naturelles et industrielles ;
3. renforcer l'expertise et mettre à jour les ressources techniques dans les domaines clés ;

4. développer la culture managériale, moderniser la gestion (administrative, financière et des ressources humaines) et adapter l'organisation, notamment en renforçant la présence dans les régions ;
5. développer les capacités d'innovation, par le renforcement des activités de recherche et de développement ;
6. développer la coopération institutionnelle et les projets internationaux et faire preuve de proactivité en matière de mobilisation des ressources ;
7. améliorer la qualité de service et l'orientation client et développer les activités commerciales, en visant des niveaux comparables à ceux d'autres agences météorologiques nationales ; et
8. accroître la visibilité de l'INM et faciliter l'accès aux services.

5.1.2 Ressources humaines

En décembre 2019, l'INM employait 314 personnes (244 hommes et 70 femmes), dont 61 ingénieurs (titulaires d'un Bac +4/+5/+8), 184 techniciens supérieurs (titulaires d'un Bac/Bac+2/Bac+3/Bac+4), 4 informaticiens (titulaires d'un Bac/Bac+2), 24 gestionnaires/comptables (titulaires d'un Bac/Bac+2/Bac+4) et 41 techniciens d'exécution (titulaires du baccalauréat). La liste du personnel de l'INM figure au **tableau 5.1**.

TABLEAU 5.1 Personnel de l'INM

Grade	Niveau d'instruction	2016		2017		2018		2019	
Ingénieurs	Bac +4/+5/+8	47	25	46	24	45	22	40	21
Techniciens supérieurs	Bac/Bac+2/Bac+3/Bac+4	149	30	158	28	152	26	156	28
Informaticiens	Bac/Bac+2	4	6	3	4	2	3	2	2
Gestionnaires/Comptables	Bac/Bac+2/Bac+4	9	16	8	16	10	14	10	14
Techniciens d'exécution	Bac	50	9	45	8	38	7	36	5
TOTAL (hommes/femmes)		259	86	260	80	247	72	244	70
GRAND TOTAL		345		340		319		314	
Taux d'encadrement		42 %		42 %		43 %		43 %	

Source : avec l'autorisation de l'INM

Le nombre d'employés de l'INM a légèrement diminué. Le **tableau 5.2** donne le montant des salaires moyens du personnel de l'INM, par mois et par an. L'INM a estimé nécessaire de renforcer les capacités de ses effectifs en poste dans les domaines suivants : la recherche et le

développement en météorologie, la gestion, la production (prévisions météorologiques et services climatologiques), les observations, les TIC, le marketing, la géophysique et l'astronomie. L'**annexe 1** énumère les thèmes de formation, le nombre d'employés concernés et les priorités.

TABLEAU 5.2 Salaires moyens du personnel de l'INM (en dinars tunisiens)

Grade	Salaire mensuel	Salaire annuel
Ingénieur météo	2 607	38 326
Ingénieur Informaticien	2 607	38 326
Analyste (informatique)	2 422	35 612
Technicien	1 844	27 701

Source : avec l'autorisation de l'INM

5.1.3 Budget

Les principales sources de financement de l'INM proviennent du budget de l'État, des activités commerciales et du recouvrement des coûts (p. ex. fourniture de services météorologiques à la navigation aérienne). En 2019, le budget total de l'INM était de 20 585 000 dinars tunisiens (environ 7,2 millions de dollars). Le budget annuel de l'INM est financé à 77 % par les recettes des redevances, dont la

majeure partie provient des services à l'industrie aéronautique. Le **tableau 5.3** présente la ventilation des postes du budget de l'INM pour 2016-2019. Les données disponibles montrent qu'alors que le budget total de l'INM augmente, le financement public alloué à la rémunération du personnel diminue. En 2019, le budget en capital de l'État a significativement augmenté (1,4 million de dinars tunisiens, soit près de 490 000 dollars).

TABLEAU 5.3 Recettes de l'INM pour 2016-2019 (en dinars tunisiens)

Sources de financement	2016	2017	2018	2019
Financement public (subvention de l'État au titre de rémunération du personnel)	3 000 000	1 920 000	2 800 000	2 400 000
Recettes tirées des services rendus au secteur de l'aviation	5 745 544	10 000 492	13 074 376	14 650 000
Recettes tirées des services météorologiques et climatiques rendus aux utilisateurs de secteurs autres que celui de l'aviation	712 846	702 000	766 319	784 000
Autres recettes (diverses)	52 261	189 000	349 600	442 000
Contribution du budget de l'État (au titre du budget d'investissement)	1 350 000	650 000	900 000	2 309 000
TOTAL	10 860 651	13 461 492	17 890 295	20 585 000

Source : avec l'autorisation de l'INM

Le budget global attribué par l'État à l'INM est inférieur à celui fixé par les normes internationales. Dans la plupart des pays développés, les allocations publiques allouées aux agences météorologiques nationales pour les salaires, l'exploitation et la maintenance et les investissements en capital sont supérieures à 0,01 % du PIB. Par rapport au PIB enregistré par la Tunisie en 2019, cela correspond à des allocations publiques de près de 4 millions de dollars (environ 11,4 millions de dinars tunisiens) pour la seule météorologie. Dans les faits les allocations publiques de l'État n'ont pas dépassé 4,7 millions de dinars tunisiens pour la même année. Par ailleurs, les recettes de l'INM sont fortement dépendantes des services fournis au secteur de l'aviation, à un taux beaucoup plus élevé que celui d'autres agences météorologiques nationales similaires. L'intégration de la

Tunisie dans l'initiative Ciel unique européen depuis 2017 a accentué le risque de voir diminuer les revenus tirés des services rendus par l'INM au secteur de l'aviation, et a donc justifié la nécessité de mettre en place des systèmes de management de la qualité (SMQ) actualisés et une certification ISO des services météorologiques offerts à la navigation aérienne. Sachant que la plupart des secteurs socio-économiques qui contribuent au PIB du pays sont tributaires de la météorologie et du climat, l'État gagnerait à réviser à la hausse le budget réservé à l'INM, par rapport au PIB. Le **tableau 5.4** présente une ventilation des postes de dépenses de l'INM pour 2016-2019. On remarque une fluctuation à la hausse des dépenses sur les quatre dernières années, plus particulièrement en 2019, en raison des augmentations des salaires et des investissements.

TABLEAU 5.4 Dépenses de l'INM pour 2016-2019 (en dinars tunisiens)

La nature de la dépense	2016	2017	2018	2019
Rémunération du personnel	6 500 000	8 369 000	8 750 000	10 572 000
Dépenses de fonctionnement	2 786 258	2 647 656	2 672 727	2 466 000
Dépenses d'intervention	84 933	309 214	350 000	298 000
Dépenses associées à l'investissement	1 089 000	381 600	625 000	2 156 000
TOTAL	10 460 191	11 707 470	12 397 727	15 492 000

Source : avec l'autorisation de l'INM

5.1.4 Accords, conventions et mémorandums d'entente nationaux et internationaux

La Tunisie est membre de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) depuis 1957. Le directeur général de l'INM agit en qualité de Représentant permanent de la Tunisie auprès de l'OMM et prend part aux sessions du Congrès météorologique mondial, de l'Association régionale I (Afrique), du Conseil intergouvernemental des services climatologiques (CISC) et de la Conférence ministérielle africaine sur la météorologie (AMCOMET). Le personnel de l'INM participe activement aux commissions techniques de l'OMM et au Forum sur l'évolution probable du climat dans la région méditerranéenne (MedCOF), ainsi qu'aux sessions de l'Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (EUMETSAT) et à celles du

Comité permanent arabe sur la météorologie (APCM) et de ses sous-groupes de travail.

L'INM participe également à de nombreux programmes de coopération internationale, conventions et mémorandums d'entente, comme ceux listés au **tableau 5.5**. Un programme institutionnel de renforcement des capacités techniques de l'INM a été mis en œuvre en 2015 dans le cadre d'un jumelage entre la Tunisie et la France avec le soutien de la Commission européenne. Ce programme a permis de mettre l'accent sur la collaboration technique dans les domaines de l'observation, des systèmes d'information, de la production, de la formation et du développement de services commerciaux destinés au secteur de l'aviation.

TABLEAU 5.5 Programmes de coopération internationale, conventions et mémorandums d'entente

Programmes de coopération/Conventions/Mémorandums d'entente	Domaines de coopération	Date d'entrée en vigueur	Nature de l'accord
Accord-cadre de partenariat entre Météo-France et l'INM	Coopération scientifique et technique dans le domaine de la météorologie et du climat	Janvier 2009	Accord-cadre
Consortium ACCORD (A Consortium for Convection-scale modeling Research and Development)	Coopération multilatérale	2020	Convention
Météo-Maroc	Coopération scientifique et technique dans le domaine de la météorologie et du climat	Octobre 2017	Mémorandum d'entente
Mauritanie	Coopération scientifique et technique dans le domaine de la météorologie et du climat	Juin 2012	Convention
Jordanie	Coopération scientifique et technique dans le domaine de la météorologie et du climat	17 juillet 2019	Mémorandum d'entente

Source : avec l'autorisation de l'INM

Le **tableau 5.6** reprend les conventions et mémorandums d'entente conclus avec les partenaires au niveau national.

TABLEAU 5.6 Conventions et mémorandums d'ententes conclus au niveau national

Institution	Nature des services/ conventions	Domaine d'activité	Date d'entrée en vigueur
Office de l'aviation civile et des aéroports	Services météorologiques destinés à la navigation aérienne	Transport aérien	17 juin 2003
Chaîne de télévision nationale	Bulletins télévisés	Communication et information	27 juin 2002 et actualisée le 26 août 2009
Radio nationale	Bulletins radiophoniques	Communication et information	27 juin 2002 et actualisée le 11 avril 2012
Radio IFM	Bulletins radiophoniques	Communication et information	15 novembre 2016
Radio Mosaïque FM	Bulletins radiophoniques	Communication et information	1er février 2012
Société TPS (Tyna Petroleum Service)	Assistance météorologique	énergie	30 mai 2009
Société SEREPT (Société de recherches et d'exploitation des pétroles en Tunisie)	Assistance météorologique	énergie	10 août 1979 et actualisée le 15 décembre 2009
ENI Tunisie BV	Assistance météorologique	énergie	1er janvier 2015
Tunisie Télécom	Bulletins météorologiques	Communication et information	7 mars 2019
Société GETWIRELESS	Bulletins météorologiques	Communication et information	5 juin 2005
Société Ciment de Carthage	Relevés sismiques	Sécurité	1er juillet 2017
INGC (Institut national des grandes cultures)	Prévisions météorologiques et données climatologiques	Agriculture	20 mai 2010
DGRE (Direction générale des ressources en eau)	Données pluviométriques	Hydrologie	2018
MARHP (ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche)	Prévisions météorologiques et données climatologiques	Agriculture, hydrologie, pêche et recherche	Février 2020

Source : avec l'autorisation de l'INM

5.2 Ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche

Le ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche (MARHP) est le principal responsable de la gestion du domaine public, de la mobilisation et du développement des ressources en eau, des projets de gestion de l'eau, des prélèvements agricoles et de l'allocation des ressources en eau aux utilisations domestiques et autres. La structure organisationnelle du MARHP a été établie par le décret 2001-419 du 13 février 2001, complétée par Directions générales par le décret 2001-420 du 19 fé-

vrier 2001, et modifiée par le décret 2011-1560 du 5 septembre 2011. Les directions du MARHP suivantes jouent un rôle important dans le domaine de la gestion des ressources en eau et des questions hydrométéorologiques :

- la Direction générale des ressources en eau (DGRE) ;
- la Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques (DGBGTH) ; et
- le Bureau de la planification et des équilibres hydrauliques (BPEH).

Pour d'autres aspects connexes, il s'agit de :

- › la Direction générale de l'aménagement et de la conservation des terres agricoles (DGAETA) ;
- › la Direction générale du génie rural et de l'exploitation des eaux (DGGREE) ;
- › la Société nationale d'exploitation et de distribution des eaux (SONEDE) ; et
- › la Société d'exploitation du canal et des adductions des eaux du Nord (SECADENORD).

À l'échelle régionale, le MARHP est représenté par les Commissariats régionaux au développement agricole (CRDA), présents dans 24 gouvernorats. Aux côtés du MARHP et de ses sous-directions, différentes agences se partagent la gouvernance du secteur de l'eau, à l'instar de la Société nationale d'exploitation et de distribution des eaux (SONEDE) en charge de l'eau potable et l'Office national de l'assainissement (ONAS) (WGS, 2016).

Cette organisation sectorielle et nationale/régionale joue un rôle majeur dans la gestion des calamités, en particulier les crues, selon le cadrage transversal interministériel fourni par :

- › la loi 91-39 du 8 juin 1991 relative à la lutte contre les calamités, à leur prévention et à l'organisation des secours ;
- › le décret 93-942 du 26 avril 1993, fixant les modalités d'élaboration et d'application du plan national et des plans régionaux relatifs à la lutte contre les calamités, à leur prévention et l'organisation des secours ;
- › et plusieurs autres textes juridiques en particulier dans le Code de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, le Code des eaux et le Code forestier.

5.2.1 Bureau de la planification et des équilibres hydrauliques

Le Bureau de la planification et des équilibres hydrauliques (BPEH) est la Direction générale rattachée au Cabinet ministériel, chargée de la coordination des divers acteurs intervenant dans le système de l'eau, de la planification de la mobilisation des ressources hydrauliques, de l'allocation de l'eau aux différents utilisateurs et du contrôle du fonctionnement du système dans son ensemble. Le BPEH relève du MARHP et est chargé de (OCDE, 2014):

- › planifier la mobilisation des ressources en eau conventionnelles et le développement des ressources en eau non conventionnelles en vue de satisfaire, à moyen et à long terme, les besoins croissants des différents secteurs consommateurs d'eau ;

- › programmer annuellement l'allocation des ressources en eau aux différents utilisateurs en vue de valoriser ces ressources ;
- › assurer le suivi permanent du déploiement de la filière hydraulique notamment dans les situations exceptionnelles telles que les périodes d'inondations ou de sécheresse, ou lors d'éventuelles défaillances dans les installations de production et de distribution d'eau ; et
- › assurer la coordination entre les établissements producteurs et distributeurs de ressources hydrauliques dans le domaine hydraulique.

Le BPEH est organisé en trois cellules (décret 2011-1560), respectivement chargées de :

- › la planification prospective en eau ;
- › la programmation hydraulique annuelle ;
- › le suivi de la gestion de la filière hydraulique.

Actuellement, le BPEH prépare la « Stratégie Eau 2050 ». L'État tunisien a reçu une subvention d'un million d'euros pour élaborer une vision et une stratégie nationale à même de garantir la gestion appropriée des ressources en eau du pays à l'horizon 2050 et de renforcer la sécurité hydrique. L'objectif de ce projet triennal est de contribuer au développement socio-économique, en assurant la disponibilité et l'accès aux ressources en eau à l'horizon 2050, et ce de manière efficiente, équitable et durable. Le projet entend également assurer la planification dynamique des ressources en eau d'ici à 2050, à la lumière d'une vision et d'une stratégie structurées, intégrées et participatives. Pour y parvenir, le projet prévoit de respecter les étapes intermédiaires suivantes :

- a) définir une vision sur le long terme (horizon 2050), tenant compte du diagnostic de la situation du secteur de l'eau et des études prospectives sous-sectorielles ;
- b) se référer à cette vision pour formuler une stratégie, définir des objectifs et s'entendre sur la façon de les réaliser ; et
- c) définir les termes de référence nécessaires à la traduction de la stratégie développée en objectifs concrets et à la détermination des activités et moyens associés.

Les principaux axes de la stratégie « Eau 2050 » sont :

- › la conception du cadre opérationnel de l'étude ;
- › la formulation de la vision et de la stratégie « Eau 2050 » ;
- › la définition des termes de référence des plans directeurs et des plans d'action ; et
- › la gestion du projet.

Le projet doit aider les autorités à prendre des décisions éclairées en matière d'investissement et de projets dans le pays (BAfD, 2022).

5.2.2 Direction générale des ressources en eau

La Direction générale des ressources en eau (DGRE) est chargée de :

- › la mise au point des principes et méthodes propres à la gestion et à l'exploitation des ressources en eau en équilibrant l'offre et la demande ;
- › l'élaboration des plans de mobilisation pour l'exploitation des eaux de surface et des eaux souterraines dans les zones rurales et urbaines du pays ;
- › la promotion des activités de recherche et d'expérimentation concernant les ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles en vue d'assurer une réponse durable à la demande actuelle et future ;
- › la gestion des réseaux de mesure et d'observation existants et de l'installation d'autres réseaux, selon les besoins d'évaluation quantitative et qualitative de l'eau des différentes ressources en eau du pays (rivières, nappes souterraines) ; et
- › l'élaboration des études de base et appliquées pour l'évaluation et l'établissement des bilans généraux des ressources en eau.

Concrètement, la DGRE intervient au début de la gestion intra- et interministérielle des ressources et des calamités liées à l'eau en milieu naturel et rural.

5.2.3 Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques

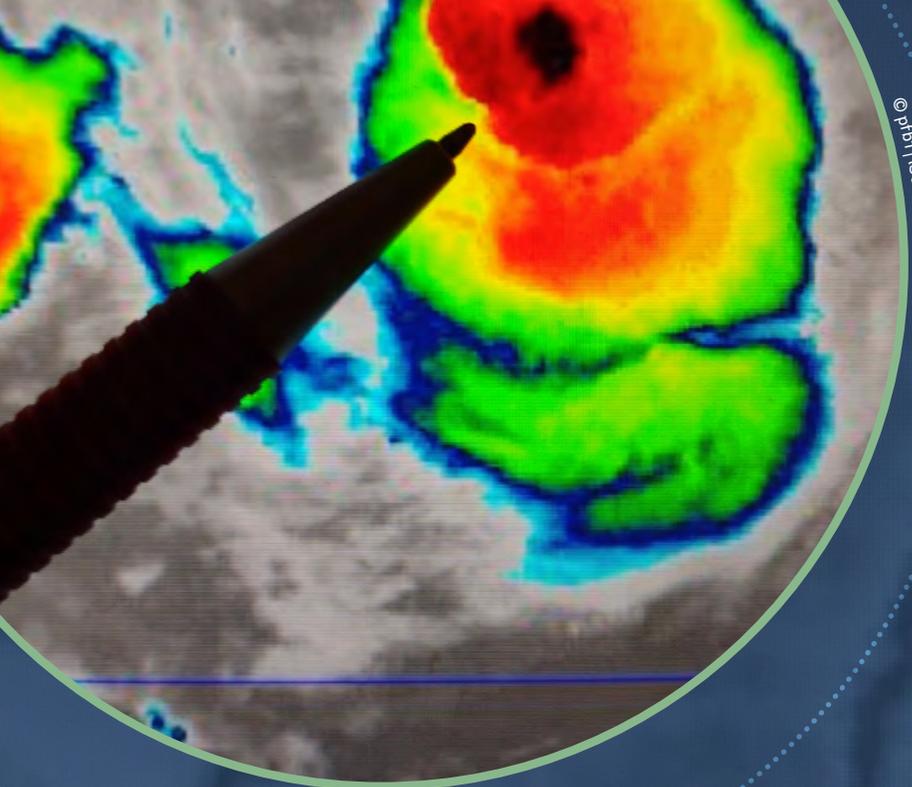
La Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques (DGBGTH) est chargée de :

- › l'élaboration des études hydrauliques ;
- › l'élaboration des études de maîtrise des eaux de surface ;
- › l'élaboration des études de mobilisation des eaux ;
- › l'élaboration des études de grands ouvrages hydrauliques (grands barrages, barrage collinaire, ouvrages de transfert d'eau, canaux) et de la supervision de leur construction ;
- › le contrôle et la maintenance des barrages ; et
- › la réalisation des travaux de drainage et des ouvrages hydrauliques d'exploitation, de transfert et de protection des zones rurales et agricoles.

5.3 Aspects transfrontaliers

Les aspects transfrontaliers de la gestion des eaux de surface concernent essentiellement le bassin de la haute vallée de la Medjerda. Un comité technique conjoint, dirigé par les Premiers ministres tunisien et algérien, se réunit depuis 1985 et un comité de suivi a été mis en place en 1991. En ce qui concerne les ressources en eaux souterraines partagées, l'Algérie, la Libye et la Tunisie ont signé en 2006 une convention de concertation sur la gestion concertée du Système aquifère du Sahara septentrional (SASS). La Tunisie est en outre, comme tous les autres pays du Maghreb, membre de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), une organisation intergouvernementale internationale basée à Tunis depuis 2000 chargée principalement de faciliter les partenariats visant à relever les défis associés à la gestion des ressources en eau partagées⁴.

⁴ Observatoire du Sahara et du Sahel : <http://www.oss-online.org/fr>



© pfb | iStock.com

6

ÉVALUATION TECHNIQUE APPROFONDIE DES PRESTATAIRES DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES : ÉTAT DES LIEUX

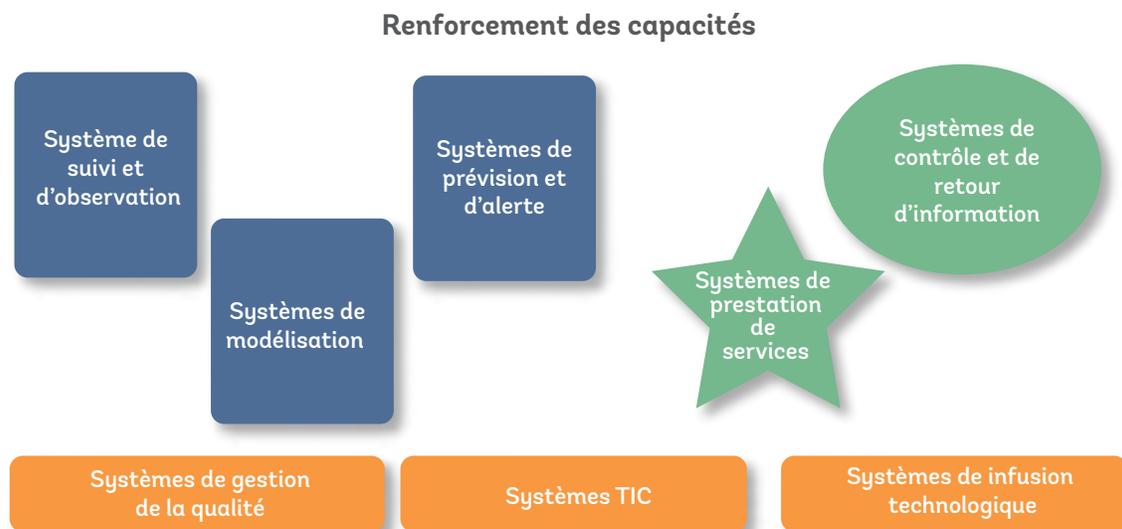
6.1 Méthodologie

La modernisation des prestataires de services météorologiques et hydrologiques est un travail à la fois complexe et coûteux. De tels efforts nécessitent une approche structurée, étalée dans le temps et inscrite dans une stratégie solide qui reflète les exigences et les besoins de toutes les parties prenantes et des utilisateurs.

Les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) se présentent généralement sous forme de « système de systèmes » et se scindent en trois catégories : systèmes de prestation, systèmes de production et systèmes d'appui — chacun bénéficiant d'activités de renforcement des capacités (**figure 6.1**). C'est ce qu'on appelle la « chaîne de valeur hydrométéorologique » (GFDRR, 2020 ; OMM et al., 2015). La référence à cette illustration générique de « système des systèmes » météorologique, climatologique et hydrologique permet d'analyser la situation de nombreux SMHN et de réfléchir aux investissements

nécessaires au niveau de chaque composante de chaque système pour atteindre un niveau d'amélioration donné. La complexité de chaque système et des sous-systèmes qui le composent varie selon la taille et le niveau de développement du SMHN et des ressources dont il dispose, même si les éléments constitutifs de tout « système de systèmes » sont interdépendants. En Tunisie, la répartition des responsabilités complique la situation : les services météorologiques relèvent de la responsabilité de l'INM et les services hydrologiques du MARHP (DGRE, DGBGTH, DGAFTA et BPEH).

FIGURE 6.1 Le SMHN ou le système de systèmes [en vert — les systèmes de prestation, en bleu — les systèmes de production, en marron — les systèmes d'appui — renforcement des capacités].



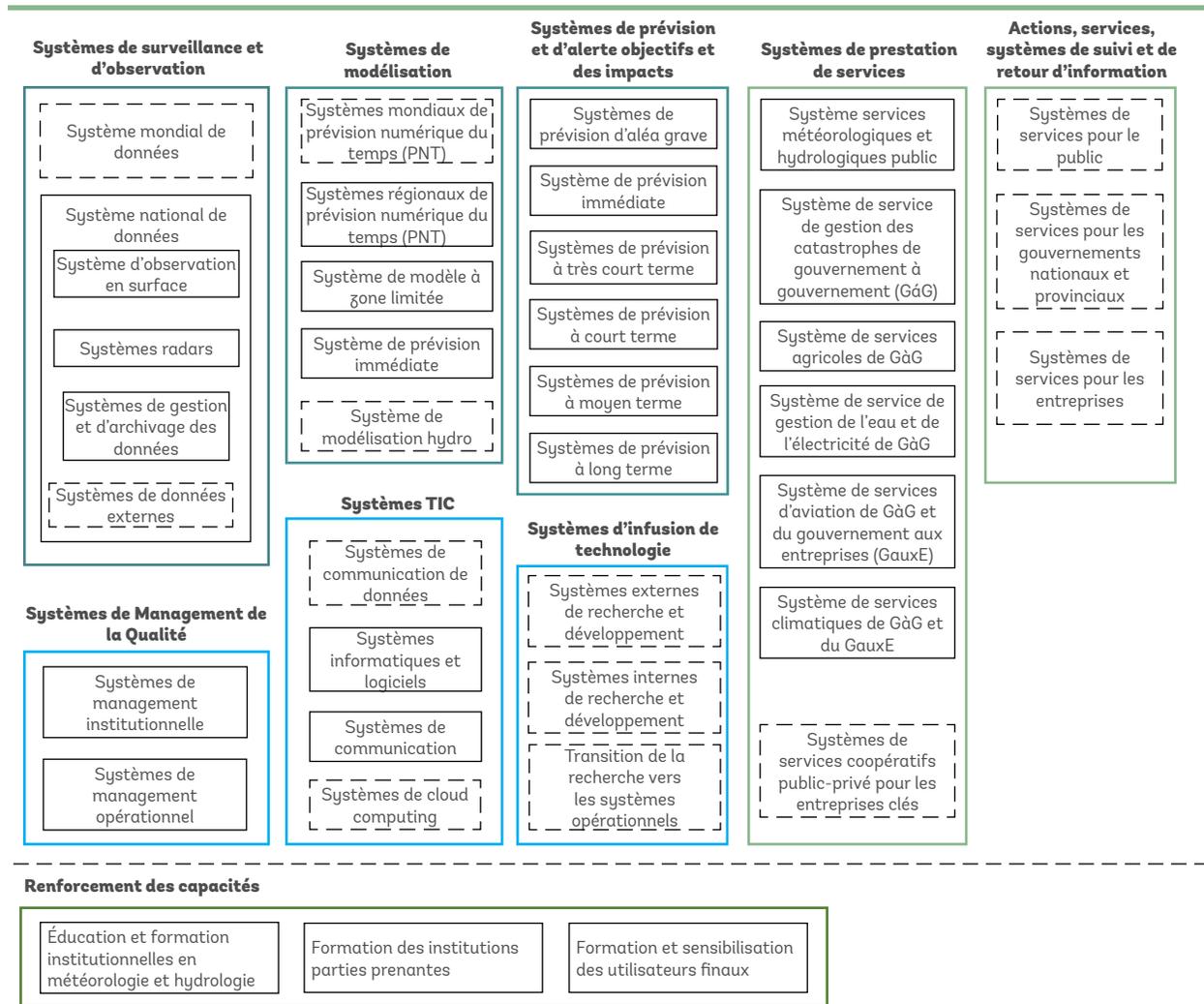
Source : Rogers et al. (2019)

La première étape vers l'élaboration d'un plan structuré et à long terme de modernisation des services hydrométéorologiques consiste à étudier et à analyser les systèmes qui composent les institutions concernées. Les **figures 6.2** et **6.3** illustrent, respectivement, le « système de systèmes » des SMHN (à l'instar de l'INM) et le « système de systèmes » du Service hydrologique national (SHN) chargé de la production des prévisions d'inondations, avec la mise en place de systèmes de production et de prestation, leur renforcement par un système de TIC, de management de la qualité et de renforcement des capacités. Le « système de systèmes », tel qu'il apparaît à la **figure 6.3** est exécuté/opéré par différentes directions relevant du MARHP. Les lignes continues à l'intérieur des cases correspondent aux sous-systèmes internes. Les lignes discontinues sont uti-

lisées pour renseigner sur les sous-systèmes externes ou les combinaisons de sous-systèmes internes et externes.

Les différences, quoique subtiles, qui existent entre un SMHN (lorsque les services météorologiques et hydrologiques relèvent de la responsabilité d'une seule agence) et un SHN chargé de prévoir les inondations résident dans l'accès aux données d'observation et aux capacités de modélisation nécessaires au bon séquençement/à la bonne utilisation en cascade des entrées, sans risque de rupture au niveau de la chaîne de valeur hydrométéorologique (voir chapitre 7). Dans la plupart des pays où les responsabilités inhérentes aux prévisions météorologiques et des inondations relèvent de différentes entités (à l'instar de la Tunisie), il est important de garantir l'échange des

FIGURE 6.2 Le « système de systèmes » type d'un SMHN



Source : David Rogers et al. (2019)

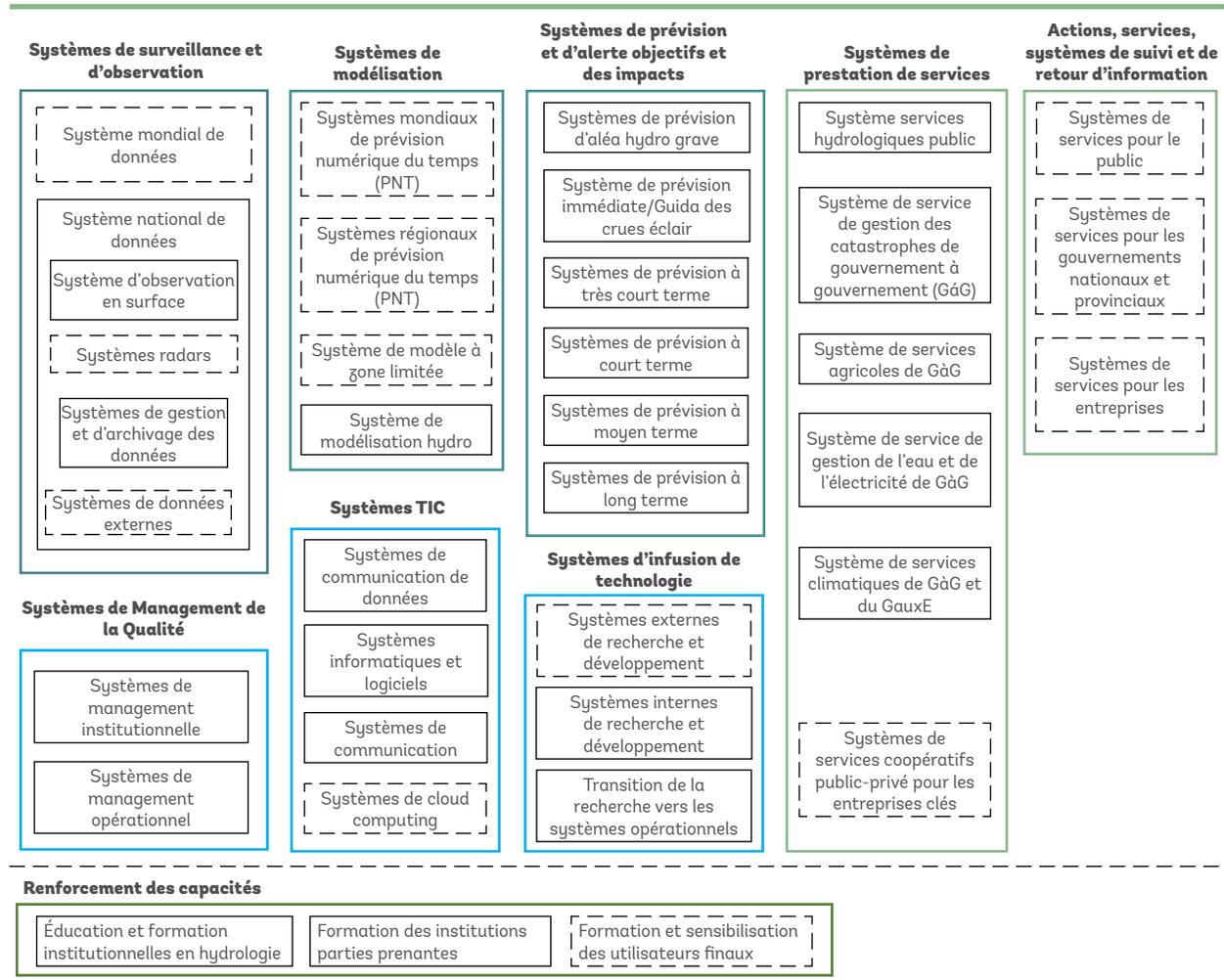
[en vert — les systèmes de prestation, en bleu — les systèmes de production, en marron — les systèmes d'appui — renforcement des capacités].

données d'observation les plus importantes et des résultats des modélisations (exécutées à l'échelle locale, régionale ou globale), notamment en matière de prévision des inondations. Ces différences sont illustrées aux **figures 6.2** et **6.3** par des lignes continues et discontinues. Dans de nombreux autres pays, les prestataires de services météorologiques et hydrologiques collaborent étroitement les uns avec les autres pour produire des prévisions et alertes d'inondations. C'est pourquoi il serait judicieux d'encourager les formations croisées des ingénieurs météorologues et hydrologues, les uns investissant le champ de compétence des autres. Les accords d'échange de données actuellement en vigueur en Tunisie sont développés à

la section 6.3 et la modernisation des services hydrométéorologiques, au chapitre 7.

La première condition déterminante du bon fonctionnement des services hydrométéorologiques est la disponibilité d'un personnel capable d'assimiler et de faire fonctionner un système donné. Dans ce chapitre, la feuille de route se référera à l'approche du « système de systèmes » pour tenter de décrire, dans le détail, la situation des prestataires de services météorologiques et hydrologiques, et de définir les trois phases nécessaires à leur modernisation.

FIGURE 6.3 « Système de systèmes » Concept de prévisions opérationnelles d'inondations par un service hydrologique national



Source : David Rogers et al. (2019)

Remarque : G2G = gouvernement à gouvernement, G2B = gouvernement à entreprises.

[en vert — les systèmes de prestation, en bleu — les systèmes de production, en marron — les systèmes d'appui — renforcement des capacités].

6.2 Systèmes de prestation

Les SMNH doivent démontrer leur valeur et leur rentabilité tout en offrant des produits et services de qualité et d'une grande utilité pour obtenir davantage de ressources publiques limitées (OMM, 2014). L'efficacité des SMHN fait l'objet d'un examen constant de la part des décideurs et du public qui veulent s'assurer qu'ils répondent aux normes de prestation de services de la société. La meilleure des prévisions, aussi opportune soit-elle, n'aura que peu d'effet si elle n'est pas suivie des effets escomptés. L'utilité de l'information météorologique, climatologique et hydrologique dépend donc de l'aptitude de cette information à produire

un effet positif sur les résultats économiques et sociétaux (OMM 2015). Lorsque les informations disponibles ne sont pas exploitées à bon escient, il convient de les valoriser en perfectionnant les prévisions, en renforçant la communication et en affinant le processus décisionnel.

Une prestation de services est donc considérée comme efficace lorsqu'elle offre des produits et des services utiles aux utilisateurs. C'est pourquoi il est important de maîtriser la chaîne de valeur des utilisateurs, de mieux connaître leurs besoins, de tenter de comprendre les décisions qu'ils prennent, et d'analyser la manière dont les informations météorologiques, climatologiques et hy-

drologiques sont exploitées pour atténuer les risques et produire des avantages, aussi bien pour des groupes d'utilisateurs spécifiques que pour la société dans son ensemble. Ces informations permettent aux prestataires de services d'être mieux à même de concevoir, de produire et de fournir des services utiles, pertinents et adaptés. Les SMHN doivent être en mesure d'estimer la valeur des informations qu'ils fournissent à la société et de procéder, assidûment, à l'évaluation et à l'amélioration de leurs services. L'approche collaborative permet à chaque intervenant dans le processus — prestataires, utilisateurs et partenaires — de mieux comprendre les besoins en services. Cette section propose une description détaillée des services fournis par l'INM et le MARHP (DGRE, DGBGTH, DGACTA et BPEH).

6.2.1 Système de services météorologiques destinés au public

Le service des prévisions de l'INM travaille 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an, et compte trois équipes de cinq (5) prévisionnistes chacune : deux équipes de jour travaillant 6 heures chacune et une équipe de nuit durant 12 heures. Les autres tâches du service des prévisions (généralement à caractère managérial) sont effectuées pendant la journée par deux (2) autres membres du personnel.

La prestation de services météorologiques destinés au public (SMP) est estimée satisfaisante et les bulletins sont émis en arabe, en français et en anglais. Au moins deux fois par jour (à 7 heures et à 17 heures, heure locale), l'INM établit des prévisions météorologiques (temps, nébulosité, précipitations, températures maximales et minimales et vents) pour l'ensemble du territoire tunisien, pour la journée en cours (des prévisions détaillées pour la matinée, l'après-midi et le soir) et les trois jours à venir (des prévisions détaillées pour la matinée, l'après-midi et le soir à J+1 et des prévisions sur 24 heures à J+2 et J+3). Les prévisions sont publiées sur le nouveau site web de l'INM (<https://www.meteo.tn/>), entré en service le 4 mai 2020, en langues française et anglaise (figure 6.4). L'INM émet également des prévisions à moyen terme à J+3 à J+6 et est très présent dans les médias (télévisions et radios, avec lesquelles l'INM entretient des relations de longue date régies par des conventions et mémorandums d'entente. Voir chapitre 5), ainsi que sur Internet et dans les réseaux sociaux (Facebook et Twitter), qui sont de plus en plus utilisés par le public pour consulter les services météorologiques. Le site de l'INM permet à la communauté des utilisateurs d'accéder aux prévisions météorologiques et de vent à trois jours pour un certain nombre de villes, ainsi qu'à d'autres prévisions spécifiques (marines, cli-

FIGURE 6.4 Capture d'écran de la page d'accueil du nouveau site de l'INM



Source : Site web de l'INM

matologiques, aéronautiques, etc. Plus de détails dans les sections suivantes). Une [application météorologique](#) est opérationnelle sur Android juste un mois suite au lancement du site web. La page Facebook de l'INM regorge d'informations météorologiques et propose, périodiquement, des commentaires sur le temps qu'il fait. L'INM dis-

pose également d'un système automatisé de messagerie qui permet au public de contacter les prévisionnistes par téléphone. Ces derniers sont particulièrement sollicités lorsque les conditions météorologiques sont difficiles. La sous-direction des systèmes d'information et de la communication de l'INM envoie des SMS à tous les abonnés, qu'il s'agisse d'entités publiques, d'opérateurs privés ou de particuliers. Outre les contenus régulièrement diffusés dans les médias, des reporters de télévisions publiques et privées se rendent parfois dans le service des prévisions de l'INM pour réaliser des interviews avec les prévisionnistes et les diffuser sur leurs chaînes respectives.

Des activités de sensibilisation et d'éducation du public sont régulièrement organisées par l'INM. Malgré le nombre de commentaires et retours d'expériences reçus l'INM via les réseaux sociaux, il n'existe aucun mécanisme ou programme d'enquête pour évaluer la satisfaction des utilisateurs. L'INM interprète les prévisions ou les convertit en formats applicables aux processus décisionnels quotidiens, et fournit des informations sur les éventuelles retombées de ces aléas (voir section 6.2.3).

Au-delà de la surveillance et des prévisions météorologiques (temps et climat), l'INM s'intéresse à tout ce qui se rapporte à la qualité de l'air, notamment la prévision des tempêtes de sable. D'autres prévisions (marines, aéronautiques, etc.) sont détaillées aux sections suivantes.

L'INM respecte les dispositions relatives aux compétences établies par l'OMM, qui spécifient les exigences en matière de formation du personnel météorologique, notamment en ce qui concerne les services météorologiques destinés au public.

6.2.2 Système de services de gestion de l'eau et de prévision des inondations

Un Service hydrologique national (SHN) est une institution qui fournit aux décideurs les informations nécessaires sur le cycle de l'eau (ou hydrologique), ainsi que sur la situation et les tendances futures des ressources en eau dans le pays. Ce service met plus particulièrement l'accent sur l'évaluation des ressources en eau, en surveillant les sécheresses et en établissant des prévisions et des alertes en cas d'inondations. Dans plusieurs pays, les fonctions du SHN sont réparties entre plusieurs entités en charge de l'eau. C'est le cas en Tunisie, comme explicité au chapitre 5 : la plupart des activités inhérentes à la gestion des ressources en eau relèvent du ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche (MARHP) et des directions/institutions placées sous sa tutelle (essentiellement la DGRE et la DGBGTH). La gestion des inon-

datations dans les zones urbaines relève de la Direction de l'hydraulique urbaine (DHU) sous l'autorité du ministère de l'Équipement.

De leur côté, la DGRE et la DGBGTH assurent les fonctions de surveillance, de modélisation, de prévision, de recherche et de mise au point de méthodologies hydrologiques, et travaillent à la production d'informations destinées à des usages divers. Ces informations sont quotidiennement publiées par la DGBGTH sur les deux plateformes de l'onagri (onagri.nat.tn & agridata.tn) et quotidiennement envoyées directement par emails aux décideurs et partenaires concernés.

Les prévisions hydrologiques sont assurées par : a) la DGBGTH, chargée du système de gestion et de contrôle des barrages et des risques d'inondations, en s'appuyant sur des initiatives de modélisation hydraulique et hydrologique soutenues par des partenaires de développement (JICA, Agence coréenne de coopération internationale (KOIKA), et KFW) (voir section 6.3.2 pour plus de détails sur les fonctions de modélisation hydrologique en vigueur et à la section 7.2 pour en savoir plus sur les initiatives des partenaires de développement) ; et b) la DGRE, responsable de la prévision des inondations dans les bassins versants pilotes, en élaborant sur des rapports d'expertise (voir section 6.3.1 pour plus d'informations sur les capacités de modélisation). Le personnel de la DGRE, quoique qualifié et expérimenté, n'est pas suffisamment nombreux pour assurer l'exécution des modèles et l'émission de prévisions en temps réel. On estime par ailleurs que les informations, observations et modélisations, hydrologiques sont insuffisantes en amont de certains barrages pour en permettre une gestion parfaite (en particulier les barrages stratégiques de Sidi Salem, Bouheurtma, Mellègue, Barbara, Sidi Barrak et Sejnene).

Le Système de collecte de mesures hydrologiques en temps réel pour l'annonce de crues (SYCOHTRAC) et sa plateforme ont été lancés au cours des deux dernières années dans le cadre du programme d'appui à la gestion intégrée des ressources en eau (AGIRE) soutenu par l'Agence allemande de coopération internationale (GIZ) avec comme priorités la visualisation des séries temporelles et des représentations géographiques, les formats d'échange, les procédures de mise à jour automatique et la gestion des droits.

Un système pilote de télémétrie pour les 6 barrages stratégiques (Sidi Salem, Bouheurtma, Mellègue, Barbara, Sidi Barrak et Sejnene) a été mis en place dans le cadre du même projet (AGIRE) avec la GIZ, il est actuellement

dans sa phase finale de test. Ce projet est composé d'équipement et matériels de collecte, d'acquisition et de transmission des données hydrologiques, de matériels et équipement d'analyse et de traitement, et de plateforme web de visualisation et publication des rapports journaliers sur la situation hydraulique des barrages.

Le Système national d'information national sur l'eau (SINEAU) a été développé, avec l'appui de partenaires de développement (GIZ, KfW et Banque africaine de développement [BAFD]), pour le traitement automatique des données nécessaires à une meilleure gestion des ressources en eau, d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Le portail SINEAU s'appuie sur le système de gestion des ressources en eau, SYGREAU et sur le lancement du SYCOHTRAC qui sont gérés par la DGRE et la plateforme de télémétrie barrage gérés par la DGBGTH; il reçoit également des données d'autres directions du MARHP en liaison avec le portail ministériel général de l'Observatoire national de l'agriculture (ONAGRI), et des données pluviométriques de l'INM. La **figure 6.5** est une capture d'écran de la page d'accueil du SINEAU et la **figure 6.6** montre certains des produits et services gérés par la DGRE et la **figure 6.7** montre la situation journalière des barrages gérés par la DGBGTH disponibles sur le portail. Pour les inondations, se référer à la vigilance hydrologique traitée à la section 6.2.3.

FIGURE 6.5 Capture d'écran de la page d'accueil du site SINEAU



Source : site du SINEAU

FIGURE 6.6 Captures d'écran des produits et services gérés par la DGRE

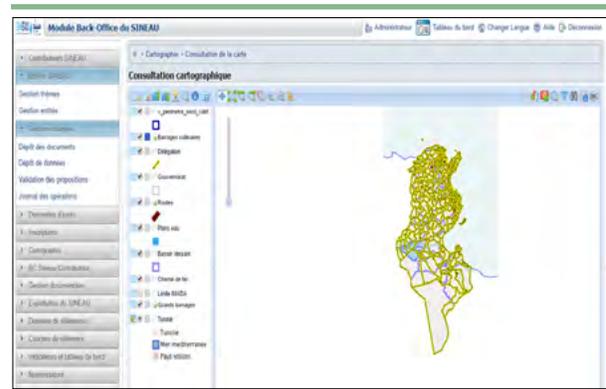
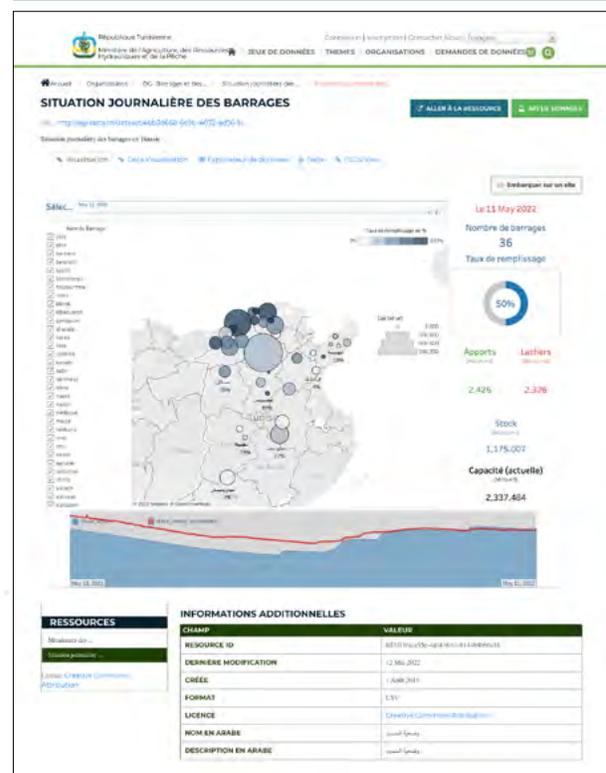


FIGURE 6.7 Situation journalière des barrages gérés par la DGBGTH



Chaque année, le BPEH, avec l'appui de la DGRE, de la DGBGTH et d'autres directions, prépare le rapport national sur le secteur de l'eau et, des études utiles en cas d'inondations et de sécheresses.

6.2.3 Système de services de gestion des catastrophes

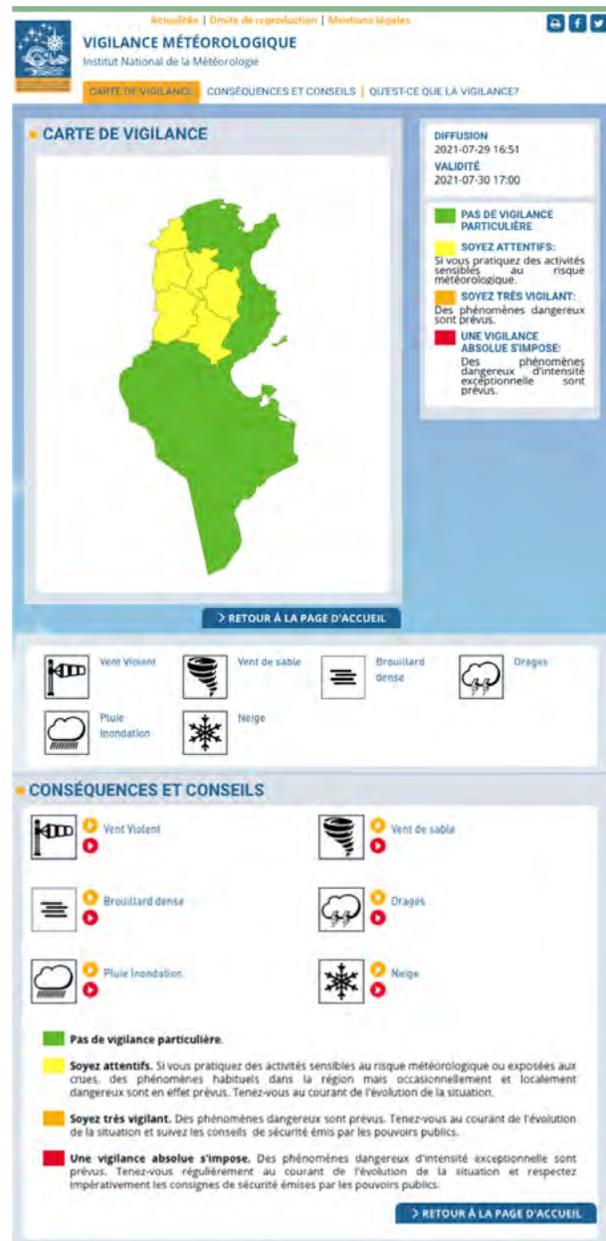
L'INM travaille, en coordination avec l'ONPC, le BPEH, la DGBGTH et le ministère de l'Environnement, à la mise en œuvre d'un projet de carte de vigilance météorologique (« Carte de vigilance ») conçue pour informer le public et les autorités sur les aléas des phénomènes climato-logiques (vents forts, pluies, averses orageuses, vagues de froid ou de chaleur, neige, brouillard et tempêtes de sable), souligner les éventuelles conséquences et dégâts susceptibles de se produire et sensibiliser aux mesures d'autoprotection à adopter (mesures comportementales). La Carte de vigilance s'adresse également aux autorités sanitaires et aux services de la sécurité civile qui, à leur tour, se chargent d'alerter et de mobiliser les équipes d'intervention, les professionnels de la santé et toute autre structure concernée.

La Carte de vigilance est actualisée deux fois par jour, au moins : à 7 heures et à 17 heures, heure locale. Elle met en évidence les menaces susceptibles de s'abattre sur un ou plusieurs gouvernorats au cours des 24 heures à venir. Quatre couleurs sont associées à quatre niveaux de vigilance, suivant des seuils d'alerte bien établis. Le gouvernorat prend la couleur verte, jaune, orange, ou rouge, selon sa situation météorologique et le niveau de vigilance qu'elle implique. La carte est actualisée si un changement majeur survient. La zone concernée est colorée en orange si le phénomène en question présente un danger élevé et en rouge s'il est très élevé. Les cartes de vigilance météorologique sont disponibles sur le site de l'INM (<https://www.meteo.tn/fr/vigilance-meteorologique>). La **figure 6.8** montre un exemple de carte de vigilance météorologique avec les informations relatives au gouvernorat concerné et les conseils connexes. L'INM collabore avec la DGRE pour étendre le système de vigilance aux crues et inondations et développer « Vigilance Crues — VigiCrues », en s'appuyant également sur le développement continu de SYCOHTRAC.

La vigilance hydrologique actuelle est basée sur un système de télémétrie géré par la DGRE, et présente des niveaux d'alerte et de débordement établis à partir de retours d'expériences. Lorsque le niveau d'eau atteint le seuil d'alerte, un message SMS automatique invite au déclenchement de certaines décisions et mesures de lutte contre les inondations. De la même manière, la DGBGTH estime le volume entrant au niveau de chaque barrage en régime de crue. Ces sites calculent alors le débit à lâcher, en tenant compte des informations de la DGBGTH.

La DHU qui relève du ministère de l'Équipement est responsable de la planification, du contrôle et du suivi des études

FIGURE 6.8 Exemple de carte de vigilance météorologique et d'informations connexes



Source : site de l'INM

sur la protection des villes contre les inondations. L'appui de la Banque mondiale a permis d'élaborer les termes de référence pour la mise en œuvre d'une stratégie d'atténuation des risques d'inondation en milieu urbain. Les éléments de cette stratégie ont été identifiés, notamment en ce qui concerne le développement et l'aménagement du territoire en fonction des informations hydrométéo-

rologiques et des considérations liées au changement climatique. Il s'agit notamment de la mise en place d'un système d'observation des inondations dans les villes, de l'identification des niveaux estimés dangereux et de l'amélioration des temps d'exécution des alertes. Pour l'heure, la DHU ne dispose pas des capacités et moyens suffisants pour surveiller, comme il se doit, les niveaux d'eau dans les villes. Bien qu'elle n'ait pas pris part à la phase test de la Carte de vigilance, la DHU peut néanmoins se servir de ces informations et est vivement encouragée à participer aux étapes ultérieures du projet.

Le ministère de l'Environnement, avec l'appui du PNUD, de KfW et d'Expertise France, met en place des systèmes d'alerte précoce en collaboration avec l'ONPC dans 3 communes (Aïn Draham, Jendouba-Bou Salem et Tataouine) caractérisées par des contextes très différents (les montagnes subhumides forestières du Nord-Ouest, la partie amont de la Medjerda et le sud aride, respectivement). Des centres de gestion des crises et des stations météorologiques ont été mis en place (avec l'appui de l'INM, qui devrait en assurer la gestion).

Le système d'alerte précoce (Coopération financière Germano-tunisienne et al., 2016) installé à Bou Salem met l'accent sur les inondations pouvant survenir au niveau de la Medjerda et de ses principaux affluents et les gains attendus au niveau de la prévision des crues qui se produisent au niveau du grand barrage de Sidi Salem sont de 36 à 48 heures pour le système hydrographique Medjerda-Mellègue et de 12 heures pour le sous-bassin de Tessa. Son objectif, pour le moins ambitieux, couvre les différents aspects de la collecte, de la transmission et de la gestion des données, ainsi que les 46 stations pluviométriques, les 15 stations hydrométriques, la télé-réception et l'assimilation. Il est également prévu de procéder au développement d'outils de modélisation hydrométéorologique (de type MIKE), en prévision des changements géométriques et hydrauliques pouvant être induits par les travaux de protection contre les inondations en cours. Il en est de même pour la structuration des capacités du centre de prévision des inondations relevant de la DGRE et de la DGBGTH, la mise au point de dispositifs de gestion des crises (un centre de gestion des crises lors des inondations à Bou Salem ou à Jendouba) et le déploiement d'un poste de commandement mobile appuyé par des données et des équipements de visualisation de cartes et étendu au dernier kilomètre par un mécanisme global d'alerte et d'information. Au-delà de l'attention portée au bassin supérieur de la Medjerda en amont du barrage de Sidi Salem, ce système d'alerte précoce hydrométéorologique devrait produire une valeur générique pour l'ensemble du

pays et permettre une meilleure adaptation aux différents contextes le long du gradient Nord-Sud.

L'ONPC, qui travaille aux côtés de l'INM sur le projet de carte de vigilance, ne dispose, pour l'heure d'aucun centre d'opérations (niveau national) à même d'appuyer la gestion intégrée des risques de catastrophe. Le cadre réglementaire qui lui est associé doit faire l'objet d'une révision. Malgré les nombreuses initiatives portant sur les composantes du système d'alerte précoce, il n'existe pas de plateforme nationale dédiée au système d'alerte précoce qui puisse rassembler les contributions des différentes institutions.

S'il faut reconnaître la qualité de la collaboration établie entre l'ONPC, l'INM, la DRE, la DGBGTH et la DHU, il convient de rappeler qu'il n'existe pas de procédures opérationnelles normalisées officielles pour régir l'échange d'informations entre ces différents organismes et leur organisation au niveau national et local (municipal). Par ailleurs, il importe d'intégrer le renforcement des capacités au cursus d'enseignement de l'ENPC et de proposer des sessions de formation au personnel.

La Tunisie a mis en œuvre le Protocole d'alerte commun (PAC) qui permet à l'INM (agence chargée des aléas météorologiques, tremblements de terre et tsunamis) et à la DGRE (agence chargée des crues/inondations) d'émettre des alertes et avertissements sans avoir à se soucier des modalités de la diffusion finale par les autorités de gestion des catastrophes, ces alertes et avertissements étant édités dans des formats communs. L'autre grand défi à relever se rapporte à la sensibilisation du public et à la diffusion des informations.

6.2.4 Système de services météorologiques destinés à la navigation aérienne

L'assistance météorologique à la navigation aérienne vise à contribuer à la sécurité, à la régularité et à l'efficacité de la navigation aérienne internationale. Cet objectif est atteint en donnant aux utilisateurs (opérateurs, membres d'équipage, organismes des services de la circulation aérienne, organismes des services de recherche et de sauvetage, direction des aéroports et autres organismes impliqués dans la gestion et le développement de la navigation aérienne internationale) tous les renseignements météorologiques nécessaires à l'accomplissement de leurs fonctions respectives.

En Tunisie, les services météorologiques destinés à la navigation aérienne sont assurés conformément aux dispositions et références réglementaires suivantes :

- Décision du ministère du Transport n° 9 du 18 janvier 2019 relative à la désignation de l'administration météorologique chargée de la fourniture de l'assistance météorologique à la navigation aérienne internationale dans la région d'information de vol TUNIS.
- Décision du ministre du transport n° 67 du 11 février 2017 relative à l'assistance météorologique à la navigation aérienne. L'INM est le prestataire attribué de services météorologiques en Tunisie.
- Mémoire d'accord signé entre l'INM et l'Office de l'aviation civile et des aéroports (OACA) et ses annexes.

Ces références réglementaires ont été établies conformément aux dispositions du Règlement technique de l'OMM (n° 49) et à celles de l'Annexe 3 de la Convention de Chicago ayant porté création de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Les missions sont assurées par un certain nombre d'organisations fonctionnelles, comme il est précisé dans la **figure 6.9**.

L'assistance météorologique à la navigation aérienne en Tunisie est assurée par les organismes suivants :

1. le centre de veille météorologique (CVM) ;
2. le centre météorologique d'aérodrome (CMA) central, soutenu par des bureaux de protection aéronautique (BPA) installés dans chaque aéroport ; et
3. les stations météorologiques d'aérodrome (SMA).

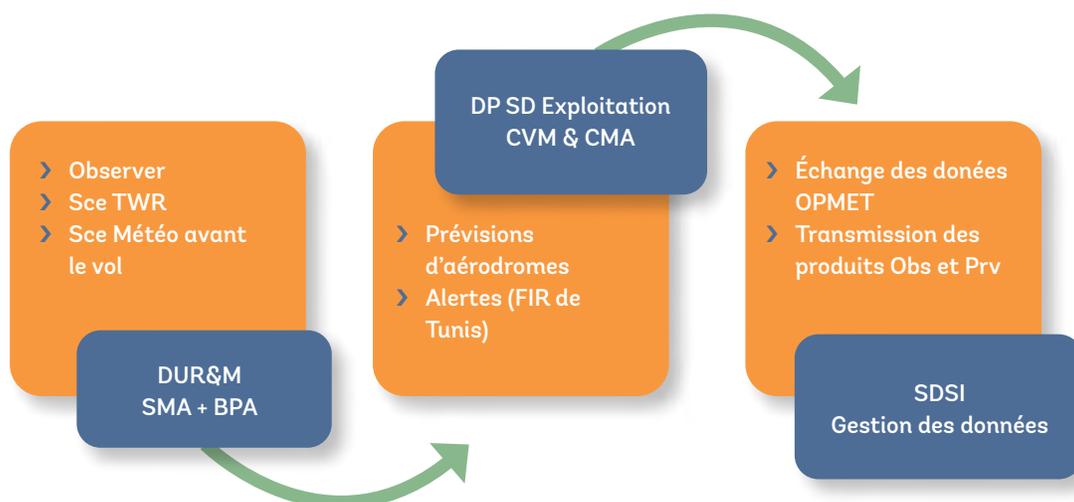
La Tunisie compte un seul centre de veille météorologique rattaché à la seule région d'information de vol (FIR), celle de Tunis. Les fonctions de ce centre sont assurées par le service des prévisions aéronautiques de la sous-direction d'exploitation qui relève de la direction de production de l'INM.

En Tunisie, les aéroports n'ont pas de CMA sur site, mais un BPA et sont tous rattachés à un seul CMA chargé de fournir l'assistance météorologique nécessaire pour répondre aux besoins de la navigation aérienne internationale sur chaque aéroport. Ce CMA porte l'indicatif OACI de l'aéroport de Tunis Carthage « DTTA » et est hébergé par le service des prévisions aéronautiques. Le CMA et le BPA se partagent les attributions relatives aux besoins des utilisateurs. Dans chaque aéroport, l'INM dispose d'un BPA placé sous l'autorité de l'unité régionale à laquelle il appartient et collaborant avec le CMA de rattachement.

L'INM dispose d'un certain nombre de stations météorologiques aéronautiques. Ces stations effectuent des observations régulières, horaires ou semi-horaires. Aux stations météorologiques d'aérodrome (SMA), les observations régulières sont complétées par des observations spéciales chaque fois que se manifestent des changements spécifiques concernant le vent de surface, la visibilité, la portée visuelle de piste, le temps présent et les nuages.

Les messages aéronautiques produits et publiés par l'INM sont : le soutien déterminé aux opérations pour le

FIGURE 6.9 Organisations fonctionnelles en charge des services météorologiques destinés à la navigation aérienne



Source : avec l'autorisation de l'INM

message d'observation météorologique régulière pour l'aviation (ORS METAR), les messages d'observation météorologique spéciale (SPECI), les prévisions d'aérodrome (TAF) et les messages SIGMET (Informations météorologiques significatives), conformément aux normes internationales en vigueur.

L'INM reçoit les données météorologiques opérationnelles OPMET et les produits du Système mondial de prévisions de zone (WAFS), de manière opérationnelle. Il utilise également une version actualisée de MESSIR-Aéro, prise en charge par Corobor, pour les informations données aux pilotes. Il faut donc un script pour l'édition automatique et la correction des bulletins aéronautiques, car toute erreur, aussi minime soit-elle, peut bloquer l'émission.

L'INM propose à la navigation aérienne des services météorologiques à prix coûtant. Le détail des recettes tirées de ces services est indiqué au chapitre 5. Un système de management de la qualité est également mis en place conformément aux normes internationales. L'assistance météorologique à la navigation aérienne de l'INM est certifiée ISO 9001:2015 par l'Organisation internationale de normalisation (ISO). De plus amples informations sont fournies à la section 6.4.2.

6.2.5 Système de services météorologiques destinés à l'agriculture

L'INM produit des données agrométéorologiques, des informations, des prévisions et des avertissements pour soutenir : a) l'agriculture et l'élevage, b) la planification et la gestion de l'irrigation, et c) la lutte contre les maladies et les catastrophes naturelles (sécheresses, gelées, grêle, feux de forêt, etc.). Un bulletin météorologique spécial, accompagné de messages d'alerte, est produit et communiqué au MARHP et à l'ensemble des acteurs du secteur agricole, chaque fois qu'une détérioration des conditions météorologiques est prévue. L'INM produit et publie toute une série de produits météorologiques standards pour le secteur de l'agriculture, à savoir :

- Les bulletins météorologiques pour l'agriculture (réguliers). Il s'agit de bulletins décennaires agrométéorologiques présentant plusieurs paramètres (26) bruts et synthétisés comme, l'évaporation, l'humidité, le cumul des pluies, les températures, l'évapotranspiration et les bilans hydriques. Des récapitulatifs mensuels sont joints à ces bulletins à la fin de chaque mois.
- Les bulletins décennaires pluviométriques, présentant : a) les cumuls décennaires, mensuels, annuels, les quan-

tités de pluies enregistrées dans 42 stations, et à partir du 1er septembre b) le nombre de jours de pluie, c) les normales mensuelles et d) les rapports à la normale. Des récapitulatifs mensuels sont joints à ces bulletins à la fin de chaque mois.

- Les bulletins agrométéorologiques quotidiens, contenant : a) l'évolution de la situation météorologique de la journée en cours et du lendemain et b) les prévisions des températures maximales et minimales, des précipitations et de l'humidité pour le lendemain (pour 26 villes).
- D'autres bulletins météorologiques spéciaux sont préparés par l'INM à la demande, accompagnés d'informations spécifiques à chaque client. Les données météorologiques sont également fournies à la demande.

La Direction générale de l'aménagement et de la conservation des terres agricoles (DGACTA) assure le suivi du bilan hydrique au niveau de certains sites spécifiques retenus pour leurs caractéristiques hydrométéorologiques et du sol et leurs systèmes de culture. Elle assure également le suivi des dynamiques de stockage de l'eau, grâce aux mesures pluviométriques et limnimétriques effectuées au niveau des barrages collinaires de la crête dorsale, pour appuyer et sécuriser l'irrigation locale. La DGACTA, avec l'appui de GIZ, réfléchit au développement d'un observatoire territorial chargé de coordonner la collecte de données sur les dynamiques agricoles et ce qui les favorise (climat, environnement, socioéconomie, etc.), de structurer et d'organiser les données-informations-connaissances et, in fine, d'appuyer les processus décisionnels et la coopération entre parties prenantes⁵.

Les sécheresses peuvent être causées par une série de processus hydrométéorologiques qui inhibent les précipitations ou limitent la disponibilité des eaux de surface ou souterraines, créant des conditions nettement plus sèches que la normale ou limitant la disponibilité de l'humidité à un niveau potentiellement préjudiciable. Alors que l'INM veille au suivi et à la prévision des périodes de sécheresse météorologique, les sécheresses hydrologiques, elles, sont suivies et étudiées par la DGRE, et les impacts agricoles sont gérés par les directions générales en charge des productions végétales. Les indices et indicateurs permettent d'identifier le degré d'intensité, l'extension spatiale, le début et la fin de ces conditions. La DGRE, qui surveille les différents aspects du cycle hydrologique, a participé, dans le cadre d'un récent projet, au calcul de ces indices et indicateurs et élabore des cartes de sécheresse, dont l'utilité pour la prise de décision est encore limitée.

⁵ Élaboration du projet d'observatoire territorial de GRN en Tunisie. Notes conceptuelles.

6.2.6 Système de services météorologiques destinés à la marine

L'INM exploite le modèle MFWAM et offre aux usagers de la mer une variété de produits et de services météorologiques préétablis et normalisés, suivant la demande du client/usager. Il s'agit, notamment, de :

» Bulletins de météo marine pour le large (figure 6.10a) :

- » Contenu des bulletins du matin (07 heures UTC) :
 - Avis de coup de vent ou de tempête (le cas échéant).
 - Évolution générale de la situation.
 - Prévision pour la journée et la nuit.
 - Aperçu pour les 24 heures à venir.
- » Contenu des bulletins du soir (16 heures UTC) :
 - Avis de coup de vent ou de tempête (le cas échéant).
 - Évolution générale de la situation.
 - Prévision pour la nuit et le lendemain.
 - Aperçu pour les 24 heures à venir.

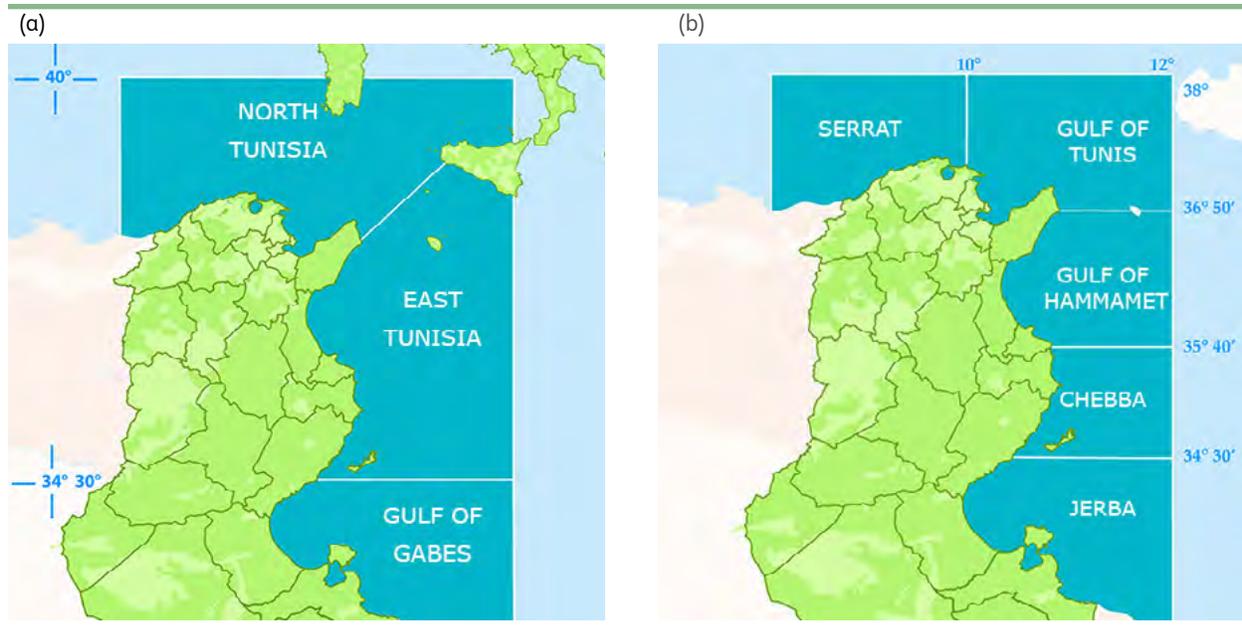
» Bulletins de météo marine pour les côtes (figure 6.10b) :

- » Contenu des bulletins du matin (04 heures 30 UTC) :
 - Avis de grand frais, de coup de vent ou de tempête (le cas échéant).
 - Évolution générale de la situation.
 - Prévision pour la journée et la nuit.
 - Aperçu pour les 24 heures à venir.
- » Contenu des bulletins du soir (16 heures UTC ainsi qu'un bulletin côte à 04H00 du matin (le bulletin côtes est élaboré 3 fois par jour)) :

- Avis de grand frais, de coup de vent ou de tempête (le cas échéant).
- Évolution générale de la situation.
- Prévision pour la nuit et le lendemain.
- Aperçu pour les 24 heures à venir.
- » Bulletin météorologique spécial (BMS) : il s'agit d'un message d'alerte émis à n'importe quel moment pour annoncer une détérioration des conditions météorologiques.
 - Les BMS brouillard : émis lorsque la visibilité est inférieure à 1000 mètres.
 - Les BMS marées et vents : émis pour la journée en cours et le lendemain.

L'INM, qui dispose d'un réseau d'observation sur la côte, ne possède pas de bouées océanographiques, pourtant utiles au suivi des conditions météorologiques et maritimes, ainsi qu'à la vérification et à l'amélioration des prévisions maritimes. L'Agence de protection et d'aménagement du littoral (APAL), avec l'appui du PNUD, a procédé à l'installation de deux bouées à vagues dont les données peuvent être de grande utilité à l'INM. Le ministère de la Défense, et notamment le Centre national de cartographie et de télédétection (CNCT), dispose également d'informations pouvant être utiles pour la gestion des conditions littorales.

FIGURE 6.10 a) Zones de haute mer : Nord de la Tunisie — Est de la Tunisie — golfe de Gabès et b) Serrat — golfe de Tunis — golfe de Hammamet — Chebba — Jerba



Source : avec l'autorisation de l'INM

Un projet de suivi et de prévision de la pollution marine est mis en œuvre, dans le cadre du programme de coopération tuniso-italien de coopération pour la protection de l'environnement et l'adaptation au changement climatique avec un financement de l'Union européenne. Ce projet porte également sur la modélisation des dérives des nappes d'hydrocarbures et devrait durer 30 mois.

6.2.7 Système de services climatiques

La topographie naturelle de la Tunisie induit de grandes variations spatiales en températures et précipitations, ce qui montre combien il est nécessaire de développer et d'améliorer les services météorologiques pour différents types d'utilisateurs. Bien que les premiers relevés météorologiques remontent à 1873, le besoin d'informations climatologiques plus consistantes reste fort, notamment pour la planification dans des domaines comme l'agriculture, la gestion des ressources en eau et la gestion des catastrophes, ainsi que pour l'évaluation des variations et des changements météorologiques. Si toutes les données observationnelles recueillies depuis 1950 ont été numérisées, celles qui ont été collectées depuis le XIXe siècle et jusqu'en 1950 sont encore en format papier. Certaines études sur le changement climatique ont été menées en référence aux données des 50 dernières années et des rapports ont pu être produits en conséquence.

Les normales climatologiques correspondent aux moyennes des variables calculées à partir des relevés de trois décennies, notamment les températures (moyennes, minimales et maximales) et les précipitations. L'INM procède à l'élaboration des normales climatologiques une fois tous les 10 ans, les premières remontant à 1950. Les normales climatologiques mensuelles les plus récentes concernant les températures et précipitations pour de nombreuses stations ont été calculées, et publiées sur le site de l'INM (1982-2010). Un Atlas climatique a également été élaboré et doit être actualisé. Cet Atlas contient des informations sur la géographie de la Tunisie, des cartes montrant les moyennes annuelles, saisonnières et mensuelles des paramètres climatologiques, des histogrammes de fréquences de différents paramètres climatologiques, des graphiques de variations mensuelles et interannuelles, des diagrammes de taux journaliers et des tableaux d'extrêmes avec les dates correspondantes. La DGRE travaille également à l'élaboration d'un Atlas hydrologique et à la mise en place de services hydrométéorologiques appropriés au suivi et à l'adaptation au changement climatique. Il serait judicieux que tous ces efforts convergent.

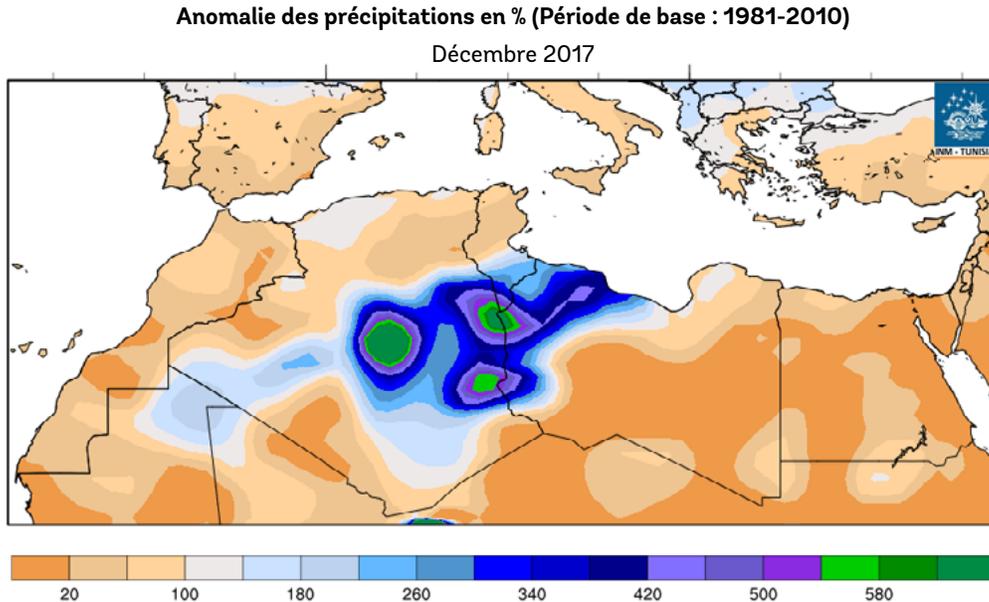
Les prévisions saisonnières renseignent sur les principales tendances des mois à venir, compte tenu de quelques paramètres climatologiques, comme les températures et les

précipitations (plus chaud/plus froid, plus sec/plus humide que d'habitude). La production de prévisions saisonnières implique que l'INM ramène les résultats des modèles numériques régionaux et globaux à une échelle nationale. L'INM participe au Forum sur l'évolution probable du climat dans la région méditerranéenne (MedCOF) qui propose des produits de prévisions climatologiques en temps réel, consensuels et adaptés au client (prévisions probabilistes des moyennes pluviométriques saisonnières, températures de l'air en surface et autres paramètres climatologiques pertinents pour la région) afin d'atténuer les risques météorologiques et promouvoir le développement durable pour les saisons à venir dans les secteurs socio-économiques clés de la région.

Les membres du Centre climatique régional pour l'Afrique du Nord (CCR-NA) sont le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye et l'Égypte. Le centre a pour mission d'aider ses membres à fournir de meilleurs produits et services météorologiques et de renforcer leurs capacités à satisfaire les besoins nationaux en informations météorologiques. Le CCR-NA est organisé en réseau et chaque pays veille à l'exécution de fonctions spécifiques pour l'ensemble de la région. Pour sa part, l'INM assure la fonction de surveillance météorologique. La **figure 6.11** est un exemple de produit élaboré par l'INM dans le cadre de son mandat régional.

L'INM contribue efficacement et directement à l'étude du changement climatique et aide à la prise de décision pour limiter ses impacts. Dans le cadre de son mandat, l'INM s'intéresse à la production de projections climatologiques à haute résolution des cumuls de précipitations, des températures et des indicateurs de phénomènes climatologiques extrêmes sur la Tunisie aux différents horizons (2030, 2050 et 2100). Conscient du rôle central que jouent les services climatologiques et l'accès aux données dans la réussite des politiques d'adaptation, l'INM a produit des projections climatologiques à haute résolution en utilisant l'ensemble de modèles d'EUROCORDEX. Cette base de données climatologiques constitue une source d'information cruciale et offre des perspectives d'applications multiples pour accompagner l'action publique et privée dans le domaine de l'adaptation.

Ces projections sont basées sur les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Groupe GIEC) et sur la base des grandes avancées scientifiques en matière de modélisation dynamique du climat. L'INM après l'élaboration des projections, et avec l'appui de l'AFD, a développé un portail web pour la mise à disposition de données climatologiques à différentes parties prenantes et utilisateurs potentiel de l'information. L'objectif

FIGURE 6.11 Exemple d'un produit météorologique régional élaboré par l'INM

Source de données: produit GPCP de première estimation

Centre climatique régional d'Afrique du Nord
Institut National de Météorologie Tunisie

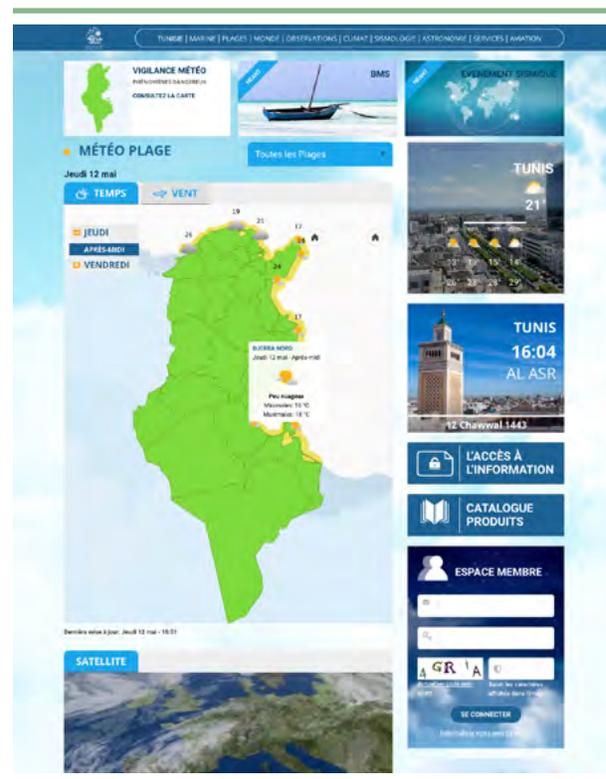
Source : avec l'autorisation de l'INM

était de faciliter l'accès direct des utilisateurs aux données climatiques produites pour renforcer la position de l'INM sur les services climatiques et de plus de visibilité aux produits de l'Institut à l'échelle nationale et internationale (<http://www.climat-c.tn>).

6.2.8 Services météorologiques destinés au secteur du tourisme

L'INM offre aux usagers du secteur du tourisme (professionnels et grand public) une variété de produits et de services météorologiques, préétablis ou variables, selon le besoin du client/usager. Les produits et services météorologiques standards destinés au secteur du tourisme sont :

- Les bulletins météorologiques pour le tourisme (réguliers) – Il s'agit de bulletins donnant la météo du jour en Tunisie et dans certaines villes étrangères. Les paramètres donnés pour chaque ville sont : a) le phénomène dominant, b) la température de l'air, c) le vent et d) d'autres observations particulières. Il y a aussi la prévision météo plage pour les plages plus fréquentées en Tunisie (**Figure 6.12**).
- Les bulletins météorologiques spéciaux (sur demande) – Il s'agit de bulletins d'assistance météorologique pour un événement (soirée, compétition, sortie, etc.). Leur contenu est défini en accord avec le client.
- Les données météorologiques à la demande.

FIGURE 6.12 Capture d'écran de la prévision météo plage

6.2.9 Services météorologiques destinés au secteur de l'énergie

L'INM offre aux usagers du secteur industriel (professionnels et grand public) une variété de produits et services météorologiques, préétablis ou variables, suivant le besoin du client/usager. Les produits et services météorologiques standards destinés au secteur industriel sont :

- Des bulletins météorologiques pour l'énergie (réguliers)
 - Il s'agit : a) de prévisions valables pour la journée, la nuit et le lendemain et b) de prévisions quantitatives pour 13 stations météorologiques concernant : i) la température minimale prévue pour les 24 heures à venir (de 9 h 00 à 9 h 00), ii) la température maximale prévue pour la journée en cours, iii) la température maximale pour la journée du lendemain, l'état du ciel exprimé en octas pour la journée en cours (0 pour ciel entièrement dégagé, 1 à 2 pour ciel peu nuageux, 3 à 4 pour ciel nuageux, 5 à 6 pour ciel très nuageux, 7 à 8 pour ciel couvert et Ø pour ciel invisible) — La valeur donnée correspond à une moyenne sur la journée, le vent maximal (la vitesse maximale prévue (en km/h) et la direction pour les 24 heures à venir (de 9 h de la journée en question à 9 h du lendemain).
- Des bulletins météorologiques spéciaux (à la demande)
 - Il s'agit de bulletins d'assistance météorologique particulière. Leur contenu est défini en accord avec le client.
- Données météorologiques à la demande.

6.2.10 Services météorologiques destinés au secteur de la santé

Dans le cadre du programme tuniso-italien de coopération pour la protection de l'environnement et l'adaptation au changement climatique et avec le soutien financier de l'Union européenne, l'INM travaille à la mise en œuvre du projet NETTUNIT qui prévoit l'établissement d'une plateforme opérationnelle basée sur les alertes météorologiques, les alertes à la pollution marine et les alertes sur la qualité de l'air. Cette plateforme s'adresse principalement aux services de protection civile et de santé de base, ainsi qu'à tous ceux concernant une intervention tuniso-italienne dans une logique de coordination des efforts.

Le projet NETTUNIT devrait permettre de répondre à la menace croissante qui pèse sur l'environnement, notamment au niveau de la pollution marine et atmosphérique. Il importe de mobiliser des connaissances novatrices et d'adopter une approche multidisciplinaire permettant de trouver des solutions communes pour faire face à cette menace environnementale.

6.2.11 Prestations commerciales

L'INM propose à certains clients/utilisateurs une série de produits payants. Le catalogue des produits et services de l'INM est disponible sur le site de l'institut à l'adresse suivante : <https://www.meteo.tn/fr/catalog-website>. Le décret n° 2011-89 du 11 janvier 2011 fixe les redevances perçues par l'INM au titre de ses prestations.

6.3 Systèmes de production

6.3.1 Systèmes d'observation et de surveillance

Les observations météorologiques et hydrologiques constituent la première étape pour produire des prévisions météorologiques et d'inondations suffisamment anticipées, ainsi que pour fournir des données de référence pour la gestion des ressources en eau, la surveillance et la prévision des sécheresses et la détermination des tendances climatiques sur le long terme. Les stations d'observation enregistrent, selon leurs objectifs, les températures, les précipitations, la pression, l'humidité, l'évaporation, la vitesse du vent, le rayonnement solaire, les paramètres du régime hydrologique (niveaux d'eau, déversements et réservoirs de stockage) et les paramètres agrométéorologiques (température et humidité du sol). Les systèmes de surveillance et d'observation englobent les stations d'observation et les systèmes de gestion des données (transmission des données, réseaux de télécommunications, traitement et sauvegarde des données).

6.3.1.1 Système mondial de données

L'INM peut accéder aux données observationnelles mondiales grâce au Système mondial de télécommunications (SMT). Il a également accès aux données satellitaires du système EUMETCast de EUMETSAT (Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques).

6.3.1.2 Système national de données de surface Réseau d'observations météorologiques de surface

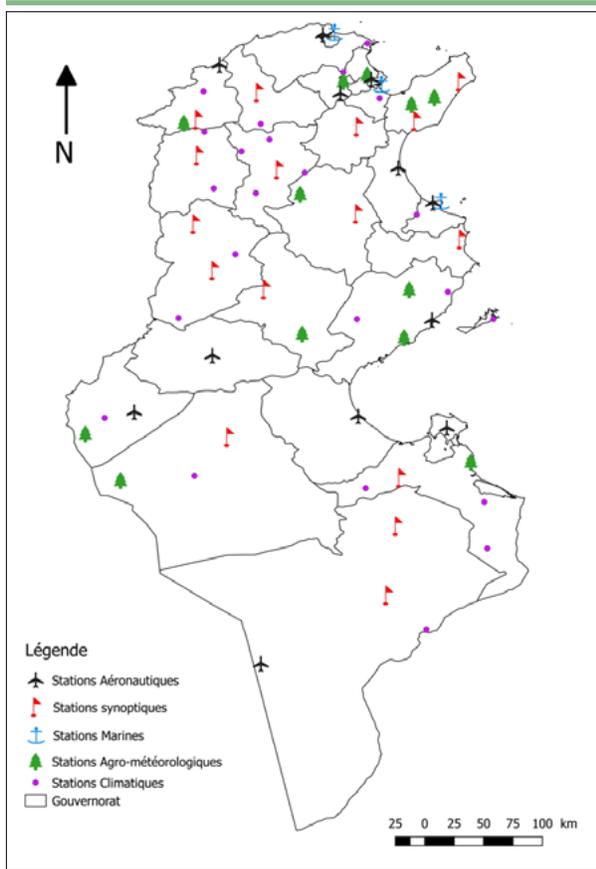
Les observations météorologiques sont au cœur des activités de l'INM et servent, en premier lieu, à l'élaboration des produits de prévisions météorologiques générales, marines, aéronautiques, climatologiques et numériques. Pour s'acquitter de sa mission, l'INM dispose d'un réseau d'observation qui couvre l'ensemble du territoire et assure, selon la nature de la station météorologique impliquée, la mesure des différents paramètres météorologiques [température de l'air, humidité, vent [direction et vitesse], pression, visibilité, hauteur du plafond nuageux, etc.].

En Tunisie, les relevés pluviométriques remontent à plus d'un siècle. La plus ancienne station météorologique du pays a été créée en 1873 à Tunis-Manoubia et les ob-

servations sont effectuées manuellement depuis cette époque. En 1997 et 1998, l'INM a entamé une opération de modernisation de son réseau d'observation de surface, abandonnant les stations conventionnelles au profit de stations automatiques. Le réseau d'observation n'a subi aucun autre changement depuis 1997, à l'exception de l'installation, à des fins d'obligation nationale, d'autres stations comme celle de l'aéroport d'Enfidha, de la modernisation de quelques systèmes d'observation au niveau de certains aéroports ou de la désinstallation, l'exploitation partielle, voire l'abandon d'un certain nombre de stations en raison de l'indisponibilité des pièces de rechange ou pour d'autres types de problèmes. L'INM qui exploitait 124 stations automatiques en 1997-1998, n'en exploite plus que 66 aujourd'hui (figure 6.13) qui sont réparties de la manière suivante :

- un réseau de 28 stations synoptiques (12 aéronautiques et 16 non-aéronautiques), où les observations sont effectuées minute par minute ;

FIGURE 6.13 Réseau d'observation météorologique de surface de l'INM



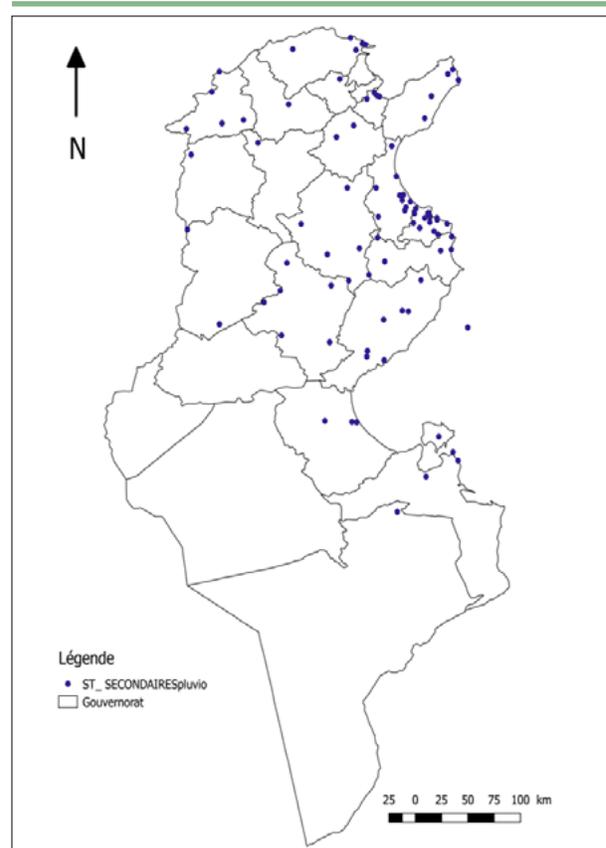
Source : avec l'autorisation de l'INM

- un réseau de 12 stations agrométéorologiques, où les observations sont effectuées toutes les heures ;
- un réseau météorologique de 24 stations météorologiques, où les observations sont effectuées toutes les heures ; et
- un réseau de 2 stations météorologiques portuaires.

Il est à noter que le cycle de vie des observations météorologiques de surface est de 15 ans et que, pendant les cinq dernières années, le nombre des interventions de maintenance augmente et devient, de ce fait, plus coûteux. Il devient donc urgent de moderniser le réseau des observations météorologiques de surface de l'INM. À cette fin, l'institut a réalisé une étude exploratoire pour optimiser et moderniser son réseau d'observations météorologiques de surface et obtenu les fonds publics nécessaires à cette fin.

Par ailleurs, l'INM exploite un réseau secondaire de 90 stations bénévoles et conventionnelles de mesures des précipitations qui quantifient les pluies qui tombent sur l'ensemble du territoire, tous les jours à 7 heures, heure locale (figure 6.14).

FIGURE 6.14 Stations de mesure des précipitations de l'INM



Source : avec l'autorisation de l'INM

Toutes les données d'observation de l'INM sont conformes aux formats internationaux standards de l'OMM. L'INM assure le partage des données provenant de 28 stations via le Système mondial de télécommunications (SMT) de l'OMM. Compte tenu des modifications apportées au réseau, les métadonnées deviennent essentielles pour assurer l'homogénéité des séries temporelles utilisées dans les études climatologiques. Les métadonnées sont les informations qui décrivent les données. En substance, elles répondent aux questions : qui, quoi, quand, où, pourquoi et comment. L'INM n'est pas doté de registre de métadonnées au format approprié et facilement utilisable et devrait, par conséquent, tirer profit de la mise en place d'un catalogue de métadonnées.

Le laboratoire de calibrage de l'INM dispose d'équipements de mesure et de capteurs conformes aux normes internationales. Toutefois, il reste peu développé et sa modernisation devient plus que nécessaire.

Réseau d'observations hydrologiques de surface

La DGRE dispose d'un réseau pluviométrique composé de 64 stations automatiques et 712 stations journalières manuelles, implantées dans tout le pays. Le réseau d'observations hydrométriques, quant à lui, a principalement été développé au cours des trente dernières années, même si l'implantation de sa plus ancienne station remonte à 1898. Aujourd'hui, ce réseau compte 53 stations de mesures hydrométriques.

La surveillance des eaux souterraines est actuellement assurée par 3 015 dispositifs implantés dans 2 209 puits de surface, 712 piézomètres et 94 sites de forage. Le réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface est composé de 874 points d'observation, comprenant 578 puits de surface et 296 puits de forage.

La DGBGTH dispose de 6 stations de télémesure à distance et 37 stations hydrologiques (qui mesurent l'évaporation, la pluviométrie, plan d'eau pour les apports, et d'autres paramètres) au niveau de son réseau de barrages. Les stations de mesure sont essentiellement composées de piézomètres à jauges, particulièrement vulnérables aux effacements des ouvrages hydrauliques lors des crues et à la sédimentation qui en découle.

Les données pluviométriques, hydrologiques et hydrogéologiques permettent de dresser l'inventaire de ressources en eau du pays et fournissent des informations précieuses pour la planification de ces ressources aux niveaux local, régional et national.

Échange de données pluviométriques

Chaque jour, l'INM et la DGRE procèdent à l'échange de leurs données pluviométriques journalières respectives, observées à 7 heures (heure locale), partout en Tunisie. L'échange se fait au niveau des 6 sous-divisions météorologiques régionales de l'INM et des Commissariats régionaux de développement agricole (CRDA) des régions concernées, à savoir :

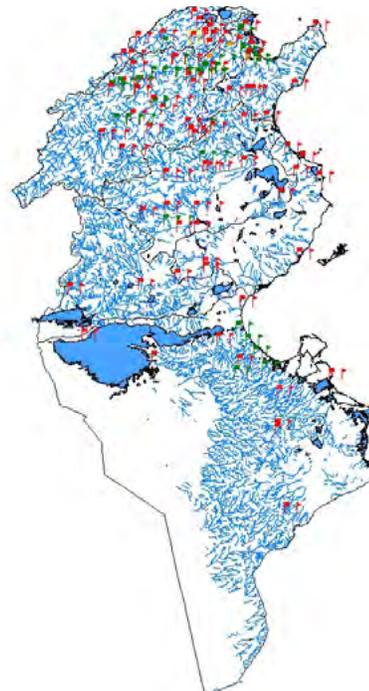
- les 26 principales stations synoptiques du réseau météorologique de l'INM ; et
- les 200 stations d'observation pluviométrique de la DGRE implantées dans tout le pays.

Au niveau de la vallée de la Medjerda, cet échange implique :

- les 4 principales stations synoptiques du réseau météorologique de l'INM (Jendouba, Béja, Le Kef et Siliana) ; et
- les 100 stations d'observation pluviométrique des CRDA de Jendouba, de Béja, du Kef et de Siliana.

Une fois l'échange effectué, chaque institution établit la carte pluviométrique journalière répondant à ses propres besoins. Mais les données pluviométriques de la DGRE

FIGURE 6.15 Stations de mesures télétransmises de la DGRE



Source : avec l'autorisation de la DGRE

n'étant pas conformes au format standard international de l'OMM, leur utilisation par l'INM reste limitée. C'est pourquoi il importe d'accélérer la standardisation des données pluviométriques de la DGRE.

L'échange de données avec l'Algérie aux fins de surveillance hydrométéorologique et de services d'alerte précoce est fortement recommandé.

6.3.1.3 Système en altitude

Les observations en altitude sont les observations terrestres les plus déterminantes pour l'amélioration des prévisions. La Tunisie compte deux stations fonctionnelles d'observations en altitude : celle de Tunis-Carthage et celle de Touzer. Les recommandations de l'OMM préconisent aux SMHN d'exploiter des stations d'observation des températures, de l'humidité et des profils horizontaux des vents, avec une résolution verticale supérieure ou égale à 100 mètres et une résolution horizontale de 500 km au plus, et ce deux fois par jour au moins. Sachant que la Libye et l'Algérie ne disposent d'aucune station d'observation en altitude, il serait judicieux d'envisager l'implantation d'une troisième station à Remada.

6.3.1.4 Système de suivi de la foudre

L'INM qui, pour l'heure, ne dispose d'aucun système de suivi de la foudre réfléchit aux avantages que cela peut avoir au niveau des aéroports.

6.3.1.5 Système Lidar

Pour l'heure, l'INM n'exploite aucun système Lidar, mais est conscient des avantages que cela peut avoir au niveau des aéroports.

6.3.1.6 Système GAW

Pour l'heure, l'INM n'exploite aucun système GAW pour surveiller la qualité de l'air.

6.3.1.7 Programme AMDAR

Pour l'heure, l'INM n'exploite aucun système AMDAR pour réaliser des observations par avion.

6.3.1.8 Système radar

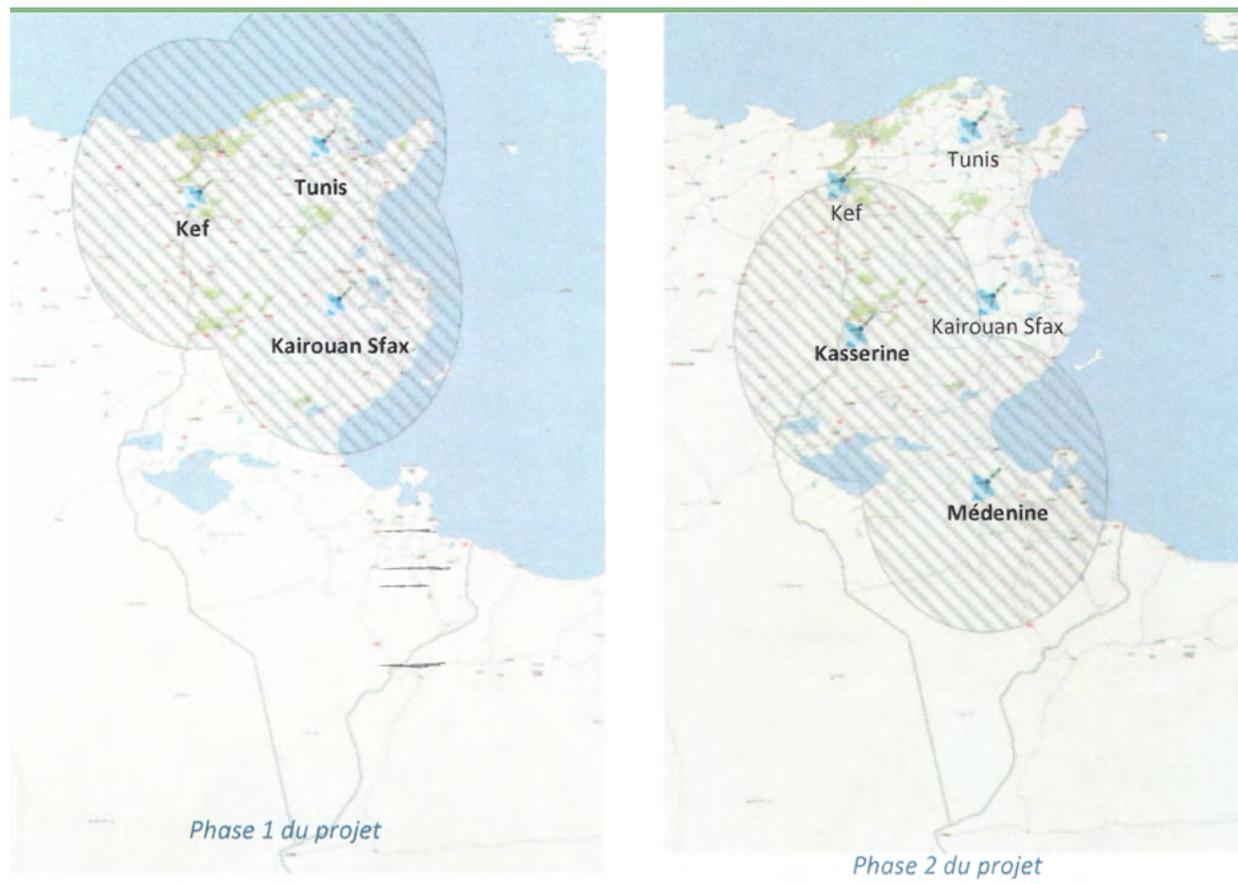
Au cours des cinquante dernières années, le radar météorologique a connu de grandes avancées et joué un rôle de plus en plus important, couvrant un large éventail d'applications météorologiques, climatologiques et hydrologiques. Il convient de rappeler que le radar météorologique est capable de détecter les dangers associés aux orages locaux violents accompagnés de grêle, de vents violents et de pluies torrentielles. Aujourd'hui, les radars météorologiques permettent d'améliorer la sécurité aérienne et de renforcer l'efficacité opérationnelle de l'ensemble du secteur

du transport aérien, tout en contribuant à la production d'alertes agricoles et d'avertissements d'inondations par la surveillance de l'intensité pluviométrique. Les radars sont également utilisés pour la planification des activités récréatives et autres événements sensibles aux conditions météorologiques. Les mesures radar contribuent à l'amélioration de notre compréhension de l'atmosphère et aident à obtenir de meilleures prévisions météorologiques sur différentes échelles spatiales et temporelles. Toutes ces avancées ont été rendues possibles grâce aux améliorations progressives des équipements radar, du traitement des signaux, des algorithmes automatisés et des écrans d'affichage.

Ces dernières années, les prévisions immédiates et à court terme se sont beaucoup améliorées, notamment grâce au développement des systèmes d'observation intégrés qui combinent les données provenant des radars météorologiques à celles générées par d'autres instruments de manière à produire une image plus complète des conditions atmosphériques.

En 1992, la Tunisie s'est dotée de son premier radar météorologique qu'elle a d'abord installé au siège de l'INM avant de le déplacer, en 1998, à Sidi Zid (50 km de Tunis, 740 mètres au-dessus du niveau de la mer). Ce radar n'est plus en service et est devenu obsolète (le cycle de vie d'un radar avoisine les 20 ans, s'il est correctement entretenu). Entre 2008 et 2011, l'INM a réalisé une étude de faisabilité, avec le soutien du groupe RHEA-CONCEPT, pour l'installation d'un réseau de radars en bande S ; et plus récemment (en 2019), a préparé une autre étude sur la base de plusieurs visites sur le terrain. Cette dernière version propose un projet en 2 phases pour la mise en place d'un réseau de cinq (5) radars en bande C sur l'ensemble de territoire : l'installation de 3 radars lors de la première phase de 2020 à 2022 sur le nord et une partie du centre du pays (Tunis, le Kef et Kairouan) et l'installation de 2 autres, pendant la seconde phase de 2023 à 2025, sur le reste du territoire (par exemple à l'ouest et au sud : Kasserine et Médenine) — **figure 6.16**.

Les longueurs d'ondes électromagnétiques communément utilisées pour les applications radar météorologiques sont de trois types : bande S (10 cm), bande C (5 cm) et bande X (3 cm). Les longueurs d'onde les plus courtes sont généralement celles qui détectent les particules les plus fines (de la bruine), mais ce type de signal électromagnétique est facilement absorbé (ou atténué) par l'eau contenue dans l'atmosphère. L'atténuation de la bande X est très prononcée et n'est par conséquent utilisée que sur de courtes distances. Le radar en bande C peut, lui aussi, être exposé à de sérieuses atténuations lors des forts orages, même

FIGURE 6.16 Proposition d'un réseau de radars en bande C pour l'INM

Source : avec l'autorisation de l'INM

si ces occurrences sont moins fréquentes avec la bande C comparativement à la bande X. Dans la bande S, le signal électromagnétique n'est pas affecté par l'atténuation. C'est ce qui rend cette longueur d'onde plus appropriée au suivi des orages violents.

La France a fait don à la Tunisie d'un radar météorologique à bande X, dans le cadre du projet HTBM « Hydrométéorologie en Tunisie : le bassin de la Medjerda », pour mesurer les précipitations pour la gestion des ressources en eau et des risques hydrologiques. L'emplacement de ce radar a été choisi et le radar a été installé dans la région de Nebeur (à quelques Km du barrage Mellegue). Le radar est actuellement en phase de test d'exploitation de ses données télétransmises, même si son utilisation à des fins météorologiques restera limitée.

6.3.1.9 Utilisation de produits de télédétection

L'INM dispose d'une station de réception des produits de télédétection du satellite Météosat de deuxième génération (MDG). Les images et données produites par la sta-

tion (en 12 canaux toutes les quinze minutes) fournissent des informations sur l'atmosphère, les nuages, les températures à la surface de la terre et de la mer. La résolution d'un kilomètre du canal haute résolution visible (HRV) permet aux prévisionnistes de détecter et d'anticiper les phénomènes météorologiques les plus dangereux. EUMETSAT recommande de passer à la troisième génération de stations de réception MDG.

6.3.1.10 Systèmes de gestion des données et d'archivage : systèmes de collecte des données, systèmes qualité, stockage, archivage et échange de données

Systèmes météorologiques

Le stockage des données dans la base de données météorologiques et leur ingestion au niveau de la station de travail des prévisionnistes (appelée SYNERGIE, prise en charge par Météo-France international [MFI]), se fait en l'absence de collecte en temps réel, de transmission, de stockage, d'archivage des données d'observation. De

ce fait, les observateurs des stations synoptiques remplissent manuellement les journaux d'observation et les rapports journaliers qui contiennent les données horaires, les tableaux climatiques mensuels des données quotidiennes (toutes les 3 heures) et les moyennes et totaux mensuels (figure 6.17). Le contrôle qualité et l'assurance qualité des données de ces stations sont effectués manuellement au siège de l'INM, ce qui entrave la transmission des données. Il s'avère donc urgent de s'atteler à la modernisation du réseau d'observation, parallèlement à la transmission des données en mode 3G/GPRS.

Les observations météorologiques de l'INM remontent à 1873. Une fois les données recueillies et validées (contrôle et assurance qualité), elles sont traitées et stockées. Les données collectées depuis 1950 ont toutes été numérisées. L'INM, qui utilisait une base de données ORACLE SQL Plus, prépare la migration de ses données vers une autre base de données récemment acquise : MESSIR-Clim (version 2018, prise en charge par Corobor). Pour l'heure, les données des 27 stations météorologiques d'aérodrome (SMA) sont automatiquement acheminées vers la base de données MESSIR-Clim où sont effectués le contrôle qualité et l'assurance qualité. Toutefois, la migration des

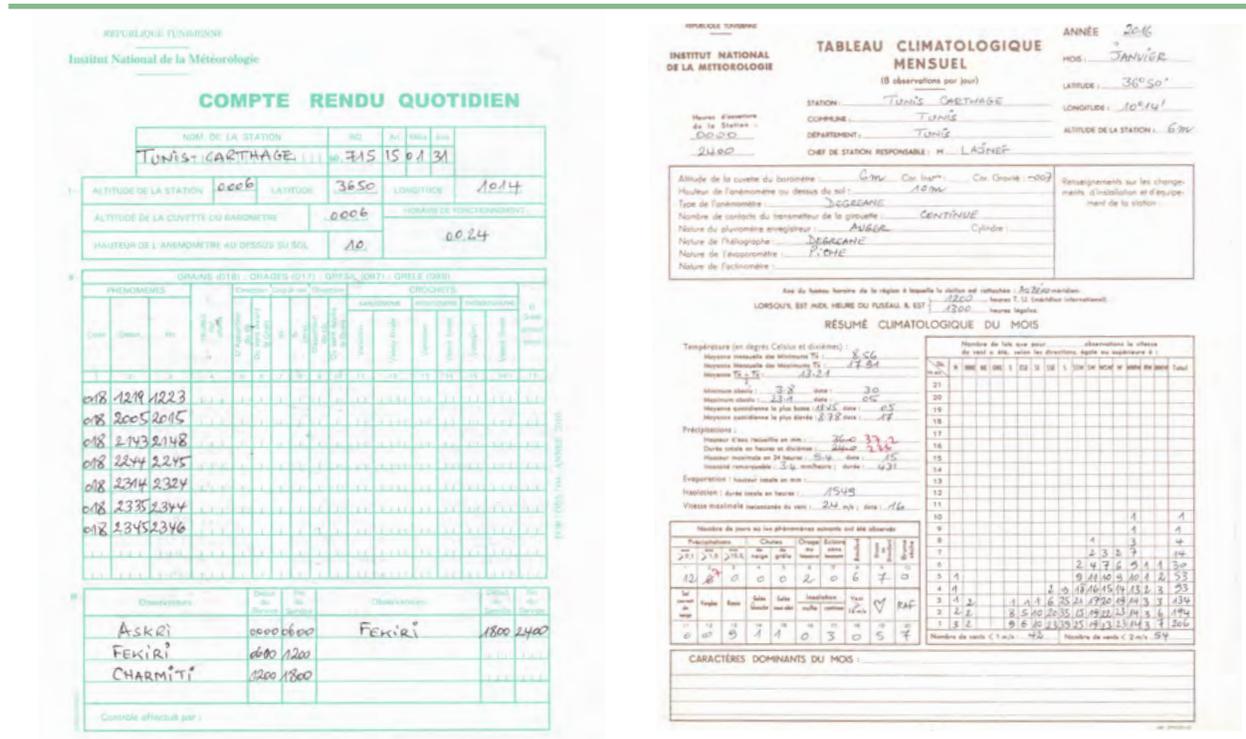
données de l'ancienne base de données vers MESSIR-Clim présente encore un certain nombre de difficultés, dues à des erreurs de script.

Systèmes hydrologiques

La DGRE dispose d'un important réseau hydrométrique. Les données sont recueillies en temps réel et à intervalle régulier, sur site ou à distance, grâce au réseau GSM DATA. Le logiciel utilisé pour la collecte et le traitement des données est HYDRAS3 (logiciel OTT). Les données sont discrétisées par périodes de 15 minutes.

Il y a 37 stations de la DGBGTH qui ne sont ni automatisées ni télétransmises. Les données sont transmises manuellement, quotidiennement à l'ONAGRI pour renseignement de la plateforme www.agridata.tn et onagri.nat.tn. La DGBGTH a également 6 stations de télémessure à distance pour les barrages de Sidi Salem, Bouheurtma, Mellègue, Barabara, Sidi Barrak et Sejnene, vers une base de données propre à la DGBGTH. Les formats doivent être compatibles avec ceux de la DGRE afin de faciliter l'intégration des données au niveau des bases de données SINEAU et SYCOHTRAC.

FIGURE 6.17 Rapports journaliers et mensuels



Source : avec l'autorisation de l'INM

6.3.2 Systèmes de modélisation

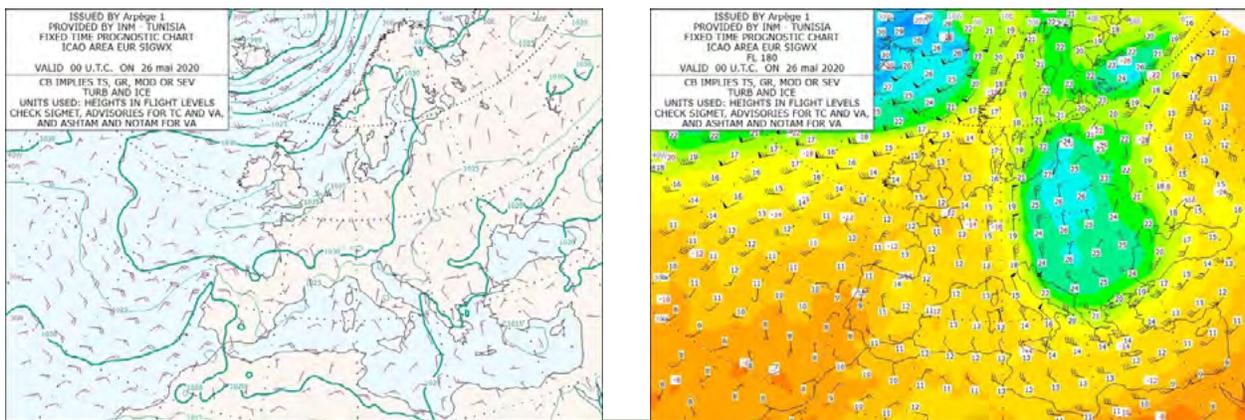
6.3.2.1 Modèles météorologiques

Systèmes PNT globaux et régionaux

Le principal modèle de prévisions météorologiques mondiales utilisé par l'INM est ARPEGE-France (**figure 6.18**), à résolution horizontale de 0,5° et de 0,1°, et réception via MESSIR-Comm (Corobor) et affiché sur le système de visualisation SYNERGIE (2008), aujourd'hui obsolète. L'INM,

qui dispose d'un accès protégé aux produits graphiques du système de prévision intégré du CEPMMT (Système de prévision intégré, 9 km déterministe et 18 km probabiliste), envisage d'obtenir un accès complet dans le cadre d'un contrat de licence ou d'une adhésion en tant que pays coopérant. L'INM utilise le Système de prévision d'ensemble (SPE) du CEPMMT, et notamment l'indice de prévision extrême (IPE) pour les phénomènes météorologiques dangereux.

FIGURE 6.18 Exemple de produit du modèle ARPEGE-France



Source : avec l'autorisation de l'INM

Modèles météorologiques à aire limitée

L'INM a été membre du Consortium ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational) depuis 2001. En septembre 2001, une première version pré-opérationnelle du modèle ALADIN adaptée à la Tunisie a été installée sur les ordinateurs de Météo-France à Toulouse et un extrait par domaine est envoyé chaque jour par Internet à Tunis. Un processus objectif de vérification des résultats a été mis en place à l'INM pour aider les prévisionnistes à comprendre les forces et les faiblesses du modèle appliqué à la Tunisie, et des adaptations statistiques ont été entreprises pour le calibrer sur la Tunisie.

En 2002, l'INM a fait l'acquisition de son premier ordinateur haute performance (OHP) et commencé à exécuter ALADIN-Tunisie localement. Pendant plusieurs années, l'INM a réussi à exécuter ce modèle avec une résolution horizontale de 7,5 km et 20 niveaux verticaux. En outre, des expériences ont été menées, en collaboration avec Météo-France, pour l'exécution du modèle AROME avec une résolution horizontale de 2,5 km et 60 niveaux verticaux. Il est prévu, à l'avenir, d'exécuter AROME avec une résolution horizontale de 1,3 km. En août 2019, l'INM a réceptionné un nouvel OHP (24 nœuds) qui, une fois confi-

guré, a permis la migration des modèles. ALADIN-Tunisie et AROME sont exécutés sur le nouvel OHP depuis février 2020 et les prochaines étapes consistent à réussir l'assimilation des données.

Pour les prévisions saisonnières, l'INM exécute un modèle atmosphérique dynamique pour produire des prévisions mensuelles de températures et de précipitations pour les trois mois à venir. Le modèle atmosphérique « ARPEGE-CLIMAT » est couplé à un modèle océanographique, « NEMO », les deux étant alimentés par des données d'observation et de réanalyse du CEPMMT et du laboratoire MERCATOR.

L'INM, qui est l'institut chargé de l'étude du climat, travaille également sur l'évaluation des conditions climatiques futures, suivant les scénarios du projet EURO-CORDEX. Une sélection de 14 modèles climatiques régionaux a été faite sur la base de deux paramètres, la température et les pluies, avec les horizons temporels suivants :

- 2050 : la période considérée est 2021-2050.
- 2100 : la période considérée est 2070-2099

Les projections de température et de cumul des précipitations ont été élaborées pour deux scénarios d'émissions (le scénario moyen RCP4.5 et le scénario pessimiste RCP8.5). La résolution spatiale des modèles est de 12,5 km.

6.3.2.2 Modèles hydrologiques

Des expériences de modélisation hydrologique ont été réalisées par un certain nombre d'universitaires et d'experts dans le cadre de projets appuyés par les partenaires de développement. Il s'agit, plus particulièrement, des projets a) de contrôle des inondations dans le bassin de la Medjerda — zone amont (projet appuyé par KfW et mis en œuvre par la DGBGTH) et b) de gestion intégrée du bassin, en mettant l'accent sur le contrôle des inondations dans le bassin de la Medjerda — zone aval (projet appuyé par JICA et mis en œuvre par la DGBGTH).

Dans le projet appuyé par JICA, il est recommandé d'avoir recours au logiciel GESRESISL, un modèle hydrologique pour la simulation en temps différé des inondations dans la région de Sidi Salem. Le modèle couvre 45 sous-bassins versants, 16 barrages et 47 biefs et s'articule autour de trois modules standards : i) un module hydrologique qui traite de la transformation pluie-débit sur une distribution de bassins versants, ii) un module de propagation qui traite de la propagation et de la combinaison des débits dans le réseau hydrographique et iii) un module de gestion des réservoirs qui intègre les barrages-réservoirs, les courbes hauteur-surface-volume, les déversoirs et les instructions de gestion.

De son côté, KfW appuie les efforts de modélisation déployés par la DGBGTH et les activités de formation en prévision des inondations avec le modèle MIKE.

Le Centre national de cartographie et de télédétection (CNCT), en collaboration avec d'autres partenaires relevant du ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche avait prévu d'installer le modèle hydrologique CREST (modèle couplé routage et stockage des excédents) à la DGRE afin de prévoir les crues en temps réel, dans le cadre du projet SADT (Système d'assimilation des données terrestres), qui a pris fin en 2015 et dont l'objectif était d'estimer le débit en amont du barrage de Sidi Salem. Ce modèle pouvait être alimenté par les données librement disponibles sur Internet, via le satellite LANDSAT 8. Les données satellitaires deviennent toutefois coûteuses pour être utilisables à une résolution acceptable à un niveau opérationnel. Il pourrait être envisagé, ultérieurement, de créer des synergies entre CREST et AROME, afin que les résultats d'AROME servent à l'initialisation du modèle hydrologique.

Actuellement et depuis peu, la DGRE utilise MIKE pour la prévision des inondations.

6.3.2.3 Systèmes de prévision et d'alerte

Systèmes de prévision météorologique sur le très court à court termes

Pour produire des prévisions météorologiques, l'INM accède aux données via le système MFI SYNERGIE (principal outil) et se sert des produits du CEPMMT via un site sécurisé et protégé par mot de passe. Deux fois par jour, des prévisions météorologiques (à J+3) sont communiquées en langage clair, grâce au système de prévision à court terme de l'INM. Chaque jour, le travail de prévision consiste à examiner l'imagerie de EUMETSAT, à analyser les données du SMT (tracées par le système SYNERGIE) et les résultats des modèles à l'échelle mondiale et locale. La vérification et l'adaptation statistique des résultats du modèle à la Tunisie sont exécutées quotidiennement.

La Tunisie, sans être membre de EUMETSAT, jouit du statut d'État coopérant et peut, à ce titre, accéder aux produits EUMETSAT. Les produits de prévision immédiate du Centre d'applications satellitaires de EUMETSAT sont utilisés dans leur version globale, en dehors de toute contextualisation propre à la Tunisie.

Systèmes de prévision météorologique sur les moyens et long termes

L'INM propose des prévisions à court et à moyen termes (J+3 à J+6), tenant compte des résultats des modèles régionaux et mondiaux.

L'élaboration des bulletins de prévision saisonnière fait référence au modèle exécuté à l'INM, ainsi qu'aux produits d'autres centres de prévisions météorologiques, comme l'IRI (Institut international de recherche sur le climat et la société), le NCEP (Centre national de prévision environnementale) ou encore le CEPMMT (Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme).

Systèmes de prévision hydrologique

La fiabilité des prévisions hydrologiques dépend de la fourchette de données météorologiques sous forme d'estimations quantifiées des températures et des précipitations observées et prévues, du point de rosée, de la vitesse et de la direction du vent, du rayonnement solaire, des niveaux d'eau et des débits dans les cours d'eau. Il est également important de pouvoir disposer de prévisions météorologiques à différentes échelles temporelles. Souvent, ces données et produits sont fournis aux prévisionnistes hydrologiques, à titre secondaire et sous forme d'entrées à la modélisation hydrologique, compte non tenu des formats

requis, des échéances et des modalités de prestation. Tel est le cas en Tunisie. En conditions de crue, la DGRE et la DGBGTH travaillent ensemble à l'élaboration d'un hydrogramme prévu qui sert à anticiper les arrivées d'eau au niveau de chaque barrage compte tenu des débits enregistrés aux stations implantées en amont du cours de l'oued. Tant au niveau central que régional, ces deux directions du MARHP possèdent les compétences scientifiques et le savoir-faire nécessaires pour convertir les retours d'expériences en corpus de règles pour l'anticipation et la gestion des inondations, y compris les niveaux critiques des crues, les seuils d'alertes et le temps moyen de propagation des crues entre deux points. L'hydrogramme empirique de prévision permet d'estimer, plus particulièrement, les flux entrants à chaque barrage. Grâce aux investissements engagés par les partenaires de développement (JICA et KfW), les capacités de modélisation de la DGBGTH, pour la gestion des barrages, se sont nettement améliorées au cours des dernières années. Le renforcement des capacités de modélisation de la DGRE, pour la gestion du bassin de la Medjerda, est encore en phase pilote.

6.4 Systèmes d'appui

6.4.1 Systèmes TIC : systèmes de télécommunication (échange de données et systèmes de distribution et de transmission)

Systèmes météorologiques

Pour l'heure, le système de collecte et d'observation des données en temps réel de l'INM reste limité aux messages d'observation synoptique. L'étude exploratoire menée à des fins d'optimisation du réseau d'observation a permis de prendre conscience des différentes contraintes rencontrées au niveau des modes de collecte et de transmission des données en vigueur. Le réseau d'observation, dans sa version actuelle, repose sur des méthodes de collecte de données devenues obsolètes sur le plan technologique.

Le diagnostic de l'état du réseau d'observation de surface, effectué dans le cadre de cette étude, montre que la transmission des données horaires ou tri-horaires (sous forme de METAR, SYNOP, SPECI...) correspond à 42 % de l'ensemble du réseau d'observation (28 stations sur un total de 66). Ce mode de transmission couvre la majorité des stations synoptiques classées aéronautiques ou synoptiques.

Le reste du réseau (58 %) repose sur des technologies de collecte et de concentration de données obsolètes :

- 8 % des stations utilisent le réseau téléphonique et les lignes PSTN (CATRA) pour l'acquisition à distance des données et leur transfert à l'INM. Les modems du réseau CATRA ne sont plus commercialisés.
- 50 % des stations nécessitent un déplacement sur site pour collecter les données météorologiques sur des cartes magnétiques PCMCIA pour la base de données. Les cartes magnétiques PCMCIA ne sont plus commercialisées.

La connexion au Système mondial de télécommunications de l'OMM (MESSIR-Com, pris en charge par Corobor) est obsolète (version 2003) et nécessite d'être mise à jour.

Systèmes hydrologiques

Les données hydrologiques de la DGRE sont collectées en temps réel, directement sur le terrain ou à distance par le réseau GSM DATA. Le mode de collecte a récemment évolué et se fait désormais par GPRS. Comme les données recueillies doivent être renvoyées à d'autres utilisateurs, il est nécessaire de mettre en place un système de transmission de sauvegarde.

Sauf pour les 6 stations de télémessure à distance, les autres (37) stations de la DGBGTH ne sont ni automatiques ni télétransmises. Le transfert des données de ces stations manuelles vers Tunis se fait via un opérateur, par téléphone, tous les matins en période normale, et à la demande en conditions de crue. Ces stations n'étant pas automatiques, il est nécessaire d'installer des capteurs et un système de transmission de données opérationnelles en temps réel. Les spécifications doivent être compatibles avec celles en vigueur au sein de la DGRE, afin de faciliter l'intégration de l'ensemble des données dans les bases de données SYGREAU et SYCOHTRAC.

6.4.2 Systèmes de management de la qualité

Un Système de management de la qualité (SMQ) désigne l'ensemble des structures, procédures, processus organisationnels et ressources nécessaires au développement et à la bonne gestion d'une prestation de produits et services (OMM 2013).

L'INM adhère aux principes de management de la qualité concernant la prestation de services au secteur de l'aviation, conformément aux exigences de l'OACI. L'institut est d'ailleurs certifié pour la deuxième fois ISO 9001 (Version 2015) dans le domaine de l'assistance météorologique à la navigation aérienne (**figure 6.19**). Tous les processus sont documentés. En outre, la certification ISO doit être régulièrement mise à jour et l'INM aurait intérêt à étendre le SMQ à l'ensemble des services qu'il propose.

FIGURE 6.19 Certificat ISO délivré à l'INM



Source : avec l'autorisation de l'INM

6.4.3 Dispositifs de développement technologique

L'INM dispose d'un important département de recherche et développement qui appuie l'exploitation et le développement de nouvelles méthodologies et aide à répondre aux problématiques météorologiques spécifiques à la Tunisie. Les thématiques traitées tournent, entre autres, autour :

- de l'amélioration de la prévision numérique du temps (PNT) avec assimilation de données ;
- des prévisions saisonnières et des projections sur le changement climatique ; et
- de la collaboration avec la DGRE pour la modélisation hydrométéorologique.

6.5 Renforcement des capacités

6.5.1 Activités de renforcement des capacités

Les activités de formation et de renforcement des capacités, et la coopération avec d'autres membres de l'OMM sont indispensables à la pérennité des efforts de modernisation des services hydrométéorologiques en Tunisie. L'efficacité des prestataires de services météorologiques et hydrologiques dépend du renforcement continu des capacités et des possibilités offertes au personnel existant et

nouvellement recruté d'acquérir de nouvelles compétences. Le renforcement des capacités est à la base de tout SMHN.

La sensibilisation des parties prenantes et des organismes partenaires concernés par les produits et services hydrométéorologiques est, elle aussi, de première importance. Il est également recommandé de sensibiliser la population, afin de l'aider à mieux comprendre les prévisions et décoder les alertes, notamment quand il s'agit d'inondations, qui constituent l'événement hydrométéorologique le plus menaçant en Tunisie. Les populations sont ainsi mieux informées et préparées à faire face aux inondations et à tout autre risque naturel pouvant survenir. La sensibilisation des utilisateurs peut se faire au moyen d'ateliers, de dépliants, de publications, de vidéos et de contenus pédagogiques publiés sur le site. L'INM entretient de bonnes relations avec les médias et est très impliqué dans la sensibilisation du public, et organise notamment des visites dans les écoles.

6.5.2 Collaboration avec le milieu universitaire

Les universités contribuent de manière très active à constituer une réserve de spécialistes en hydrométéorologie dans le pays. Un grand nombre de protocoles d'accord sont ainsi régulièrement conclus avec les universités dans cette optique. L'INM et le MARHP mettent à profit les résultats des activités de recherche menées dans le domaine météorologique et hydrologique, qui relèvent de la responsabilité de différentes institutions universitaires.

Compte tenu de l'importance de ces contributions et de la valeur qu'elles peuvent avoir pour les services de l'INM et du MARHP, il est recommandé d'instaurer des relations de collaboration étroite avec le milieu universitaire, de promouvoir l'échange d'idées, d'informations et de données scientifiques et de faciliter la mise en application et l'opérationnalisation des résultats des recherches.

6.6 Sismologie

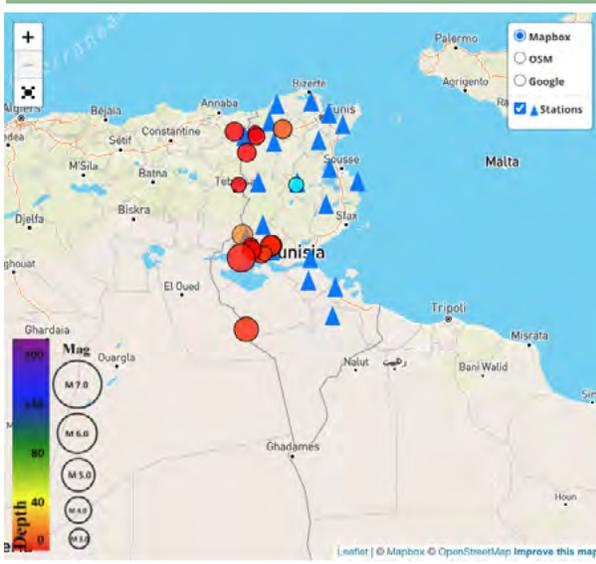
Depuis 2008, l'INM assure la gestion d'un réseau sismique composé de 16 stations implantées grâce à des fonds publics et de 3 autres financées par des partenaires de développement (figure 6.20). Il est également très important d'envisager l'installation de stations sismiques en mer.

L'INM travaille aux côtés du ministère de l'Équipement pour élaborer les spécifications techniques des équipements et outils nécessaires à la prévention des conséquences sismiques sur les habitations.

Bien que la Tunisie se trouve dans une zone peu exposée aux tsunamis, on ne peut toutefois ignorer ce danger..

Si un tsunami venait à se produire, les conséquences seraient importantes pour le pays. C'est pourquoi il est urgent que la Tunisie renforce ses capacités en matière de modélisation et de gestion des tsunamis.

FIGURE 6.20 Réseau sismique



Source : avec l'autorisation de l'INM

6.7 Récapitulatif de la situation des systèmes hydrométéorologiques

La **figure 6.1** illustre le concept de « système de systèmes » qui définit la structure et le fonctionnement de tout SMHN moderne. Les **figures 6.2** et **6.3** présentent les différents éléments constituant les sous-systèmes de chaque système. L'analyse de la situation du « système de systèmes » des prestataires de services météorologiques et hydrologiques, et de sa capacité à produire et à fournir des produits et services météorologiques et hydrologiques, a permis d'estimer les capacités approximatives de chaque système principal à l'aide d'une série de modèles dynamiques — pour la prestation de services météorologiques (OMM, 2014), pour la modélisation et la prévision, pour les systèmes d'observation et de télécommunication et pour les services hydrologiques. Les modèles dynamiques utilisent une échelle de 1 à 5 (application à venir, application lancée, application en cours, application réalisée et application avancée)⁶.

Les capacités de **prestation de services météorologique** de l'INM sont évaluées entre le niveau 3 (application en cours) et le niveau 4 (application réalisée). Pour que l'INM

puisse offrir des services à même de répondre aux besoins des utilisateurs, ses capacités doivent atteindre le niveau 5 (application avancée) à la fin de la phase III (voir chapitre 7). Cette évolution placera la Tunisie au même niveau que plusieurs autres pays européens qui disposent de services hydrométéorologiques développés et d'une culture de services d'alerte précoce bien établie.

Les capacités de **prévision et de modélisation météorologiques** de l'INM sont au niveau 3 (application en cours) du modèle dynamique de prévision et de modélisation. Les capacités du système de prévision doivent évoluer vers le niveau 4 (application réalisée) pour fournir des services et des fonctions conformes aux objectifs de la phase III proposés par cette feuille de route. Cette évolution placera la Tunisie au même niveau que plusieurs autres pays européens. Les capacités du système de prévision ne devraient pas atteindre le niveau 5 (application avancée) à la fin de la phase III, car il n'est pas prévu que l'INM exécute des systèmes de prévision d'ensemble et des prévisions météorologiques numériques à l'échelle globale. En revanche, l'INM devrait disposer de tels systèmes au niveau régional et national. Les capacités **d'observation et de télécommunication** sont actuellement au niveau 2 (application lancée) du modèle dynamique d'observation et de télécommunication. Les capacités du système d'observation doivent évoluer vers le niveau 5 (application avancée) à la fin de la phase III pour offrir des services d'appui aux prévisions à un niveau d'application avancée. Il convient de noter que ces améliorations ne dépendent pas nécessairement de l'extension du réseau d'observation, mais de l'amélioration de la qualité des données, de l'accessibilité, de la durabilité, de l'utilisation, ainsi que des capacités techniques et financières d'exploitation et de maintenance. De telles améliorations devraient placer la Tunisie au même niveau que plusieurs pays européens.

Les capacités des **services hydrologiques** se situent entre le niveau 2 (application lancée) et le niveau 3 (application en cours) du modèle dynamique des services hydrologiques. Les capacités des services hydrologiques doivent évoluer vers le niveau 4 (application réalisée) à la fin de la phase III pour offrir des services à un niveau d'application avancée. Il importe de noter que ces améliorations ne dépendent pas nécessairement de l'extension du réseau d'observation, mais aussi de l'amélioration de la qualité des données, de l'accessibilité, de la durabilité, de l'utilisation, ainsi que des capacités techniques et financières d'exploitation et de maintenance, et des capacités de modélisation. De telles améliorations devraient placer la Tunisie au même niveau que plusieurs pays européens.

⁶ Plus de détails aux annexes 3-5.



© stockcam | iStock.com

7 MODERNISATION DES SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES ET DES SERVICES D'ALERTE PRÉCOCE

7.1 La chaîne de valeur hydrométéorologique (cartographie institutionnelle)

Les services d'alerte précoce dépendent fortement de la qualité de la planification et de l'organisation des Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN). Le but premier de tout SMHN est la production et la diffusion d'alertes destinées aux zones et populations dans le périmètre concerné (que les fonctions soient réparties entre plusieurs institutions ou centralisées au sein d'une seule). Les SMHN travaillent en étroite collaboration avec les organisations gouvernementales compétentes pour proposer des services de prévision et d'alerte axés sur les effets des aléas, à partir des données disponibles sur les niveaux de vulnérabilité et d'exposition. Il est nécessaire de sensibiliser le public et de former les autorités chargées de la gestion des urgences sur les éventuelles conséquences des événements hydrométéorologiques sévères, afin de leur permettre de prendre toutes les mesures protectrices nécessaires.

Quel que soit le pays concerné, la modernisation des SMHN est une opération complexe, coûteuse et de longue haleine. Citons deux exemples : la modernisation du service météorologique national des États-Unis et la modernisation de l'Agence météorologique du Japon qui, toutes deux, ont duré plusieurs années et coûté des centaines de millions de dollars (Rogers et Tsirkunov, 2013 ; Banque mondiale, 2017). La modernisation des services hydrométéorologiques de la Slovaquie, pays présentant une superficie huit fois inférieure à celle de la Tunisie, mais un PIB légèrement supérieur à cette dernière, a été achevée en 2015 pour 33 millions de dollars (ASE, 2015). Il serait judicieux — avant de proposer toute activité de modernisation à la Tunisie — de procéder à une brève description des principaux éléments qui assurent l'efficacité de tout SMHN. Le fonctionnement d'un SMHN repose sur les observations, le recueil et le traitement des données, les télécommunications, la préparation des prévisions, les alertes, les avis météorologiques, ainsi que sur la diffusion aux utilisateurs des prévisions et autres informations spécialisées par les médias et d'autres canaux. Ces fonctions sont assurées en s'appuyant sur plusieurs réseaux, centres et plateformes à différentes échelles — mondiale, régionale et nationale — qui, ensemble, forment l'organisation étroitement interconnectée de l'hydrométéorologie mondiale (Banque mondiale, 2018).

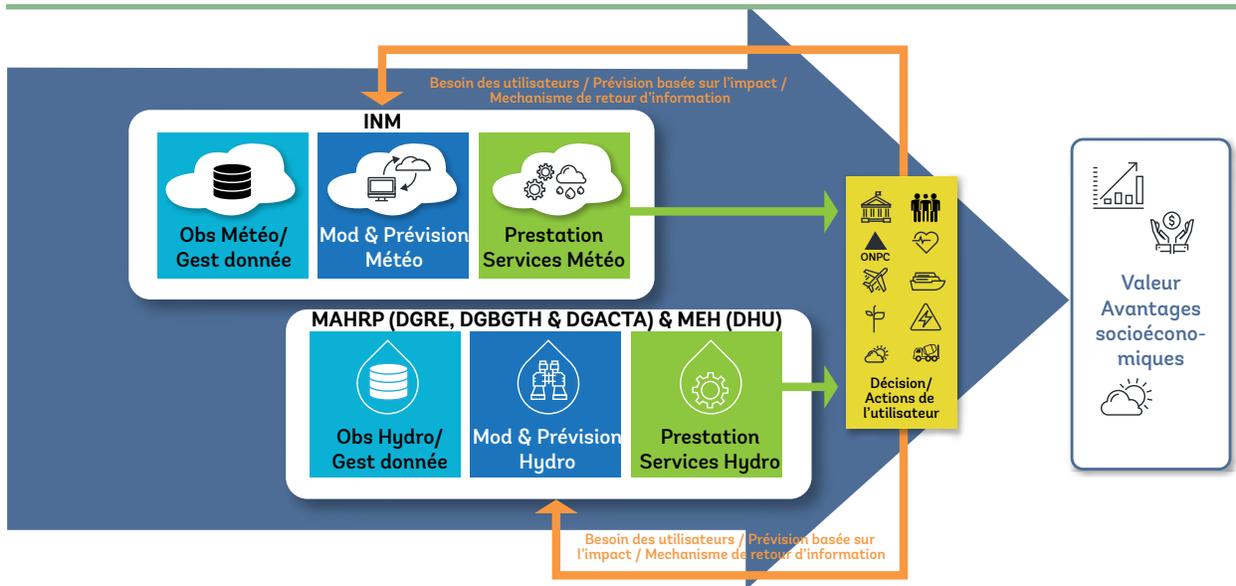
La valeur des produits et services proposés par les SMHN est déterminée par la manière dont les bénéficiaires auxquels ils sont destinés les utilisent. La création de valeur peut être illustrée par une chaîne de valeur hydrométéorologique reliant la production et la prestation de services aux décisions des utilisateurs, et aux résultats et valeurs découlant de ces décisions (OMM et al. 2015). Une valeur potentielle est ajoutée au niveau de chaque maillon à mesure que les utilisateurs reçoivent les services et les intègrent ou en tiennent compte dans leurs décisions. Le processus de valeur ajoutée consiste à adapter les services à des applications et à des décisions plus spécialisées (rendre l'information plus pertinente) ou à étendre la portée d'un produit d'information à des audiences toujours plus vastes (public, décideurs et clients). Dans un SMHN moderne et performant, les maillons qui composent la chaîne de valeur sont suffisamment solides pour offrir davantage de valeur à la société dans son ensemble. Un maillon qui rompt, à un endroit ou à un autre de la chaîne de valeur, se traduit par la production d'une valeur sous-optimale pour la société (Banque mondiale, 2018).

En Tunisie, la prestation des services météorologiques et hydrologiques ne dépend pas d'une seule institution. Par conséquent, une forte collaboration entre les différents prestataires de services météorologiques et hydrologiques est plus que nécessaire. La **figure 7.1** décrit la chaîne de valeur des services hydrométéorologiques comme la combinaison de la chaîne de valeur météorologique (temps et climat) et de la chaîne de valeur hydrologique. Elle met en lumière les interdépendances qui existent entre les différents éléments qui composent chacune de ces chaînes et propose une cartographie des institutions impliquées. Plus particulièrement, la **figure 7.1** montre que lorsque les responsabilités inhérentes aux prévisions météorologiques et aux inondations incombent à différentes institutions (comme c'est le cas en Tunisie), l'échange des données d'observation météorologiques doit être assuré, notamment pour la prévision des inondations. De même, il est important de disposer de prévisions météorologiques basées sur des modèles exécutés à l'échelle globale, régionale et locale pour alimenter les modèles de prévision des inondations. Par conséquent, outre les mémorandums d'entente entre les institutions concernées, il est nécessaire d'établir des protocoles et des procédures opérationnelles standards pour organiser l'échange de données et d'informations, et garantir leur disponibilité en temps opportun et de manière unifiée et utile. Aussi, il serait judicieux d'encourager les formations croisées des ingénieurs météorologues et hydrologues, les uns investissant le champ de compétence des autres.

La modernisation des SMHN ne peut pas être menée de manière fragmentée et doit être mise en œuvre selon une approche progressive étalée sur un certain nombre d'années, dans la mesure où le plan initial tient compte de chaque élément de chaque système (voir la section 5.1 et la **figure 5.2**), ainsi que du niveau d'amélioration requis. Un concept d'opérations (CONOPS)⁷ est un outil performant dont les SMHN peuvent se servir pour maximiser les bénéfices que la société peut tirer des investissements réalisés dans la transformation de leur organisation, moyennant une utilisation plus optimale des ressources. Ce document rend compte aussi bien du système en place que de l'objectif et des caractéristiques du système cible (modernisé) et de la façon dont ce dernier sera utilisé et exploité compte tenu des points de vue des différentes parties prenantes. Le CONOPS fournit des informations pertinentes pour la conception, l'acquisition, la mise en œuvre, le fonctionnement, la maintenance et le remplacement du système et a pour finalité d'accompagner l'évolution de SMHN entièrement intégrés, modernes et fonctionnels, à

⁷ Les grandes lignes du CONOPS sont proposées dans « Weathering the Change », Groupe de la Banque mondiale/GFDRR 2019.

FIGURE 7.1 Chaîne de valeur des services hydrométéorologiques (cartographie des prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie)



même d'offrir aux utilisateurs et aux différentes parties prenantes le niveau de services exigé.

Il est important que le processus de mise en œuvre soit de nature transformationnelle et qu'il permette aux SMHN d'offrir les produits et services attendus par les parties prenantes (Roger et al. 2019). Cela porte notamment sur les nouvelles technologies d'observation et d'enregistrement, la validation et l'archivage des données, ainsi que sur les outils modernes de modélisation, de prévision, de diffusion et de communication sur les produits et services (Banque mondiale, 2018) — les systèmes de production. Les nouveaux mécanismes innovants de collecte et de diffusion doivent être pensés comme faisant partie des systèmes de prestation de services. Il est indispensable de mettre en place des systèmes d'appui améliorés (TIC comprises) pour assurer le bon fonctionnement des systèmes de production et de prestation de services. Certes, l'innovation technologique constante donne lieu à un environnement d'affaires très évolutif. Toutefois, aucun investissement technologique ne peut pallier le déficit en compétences humaines, ce qui rappelle combien la formation continue du personnel est essentielle. Par conséquent, il est indispensable de procéder à l'évaluation des besoins et d'élaborer un plan de développement des capacités, englobant des activités de formation/de renforcement des capacités pour mettre en œuvre un système de systèmes modernisé. La **figure 7.2** propose un schéma des étapes constitutives d'un processus de modernisation.

FIGURE 7.2 Étapes constitutives d'un processus de modernisation d'un SMHN



Pour être optimale, la conception du réseau d'observation et des systèmes de modélisation, de prévision et de prestation de services doit s'inscrire dans un processus permanent qui tient compte des besoins des utilisateurs. Pour les réseaux d'observation, la mise en place de nouvelles stations peut se faire en parallèle de la mise hors service des stations existantes en fonction des priorités du programme et des allocations budgétaires. Par ailleurs, il est indispensable de disposer d'un catalogue de métadonnées pour garantir l'homogénéisation des jeux de données utilisées pour les services climatologiques. Il est très difficile de choisir la meilleure technologie de transmission de données possible en un point donné. Les technologies disponibles sont nombreuses et pour chaque combinaison, il existe de multiples produits et vendeurs. Plusieurs autres facteurs doivent être pris en compte par les opérateurs du réseau, comme la fiabilité, la précision des notifications, le coût, les exigences liées à l'exploitation et à la maintenance, la durabilité et les spécifications propres à chaque site. La gestion des données assure le stockage, la validation, l'analyse et la diffusion de vastes quantités de données et établit leur validité en apportant la preuve de leur conformité au SMQ (Banque mondiale, 2018).

Les avantages socio-économiques liés à la modernisation des SMHN devraient se traduire par l'amélioration de la gestion des risques et de la prise de décisions concernant les catastrophes hydrométéorologiques et le développement économique. Cela vaut particulièrement pour les inondations et les sécheresses, et les répercussions qu'elles peuvent avoir sur les populations vulnérables. L'amélioration des prévisions et des alertes précoces liées aux dangers hydrométéorologiques contribue à renforcer la résilience des communautés et des secteurs à risque (Banque mondiale, 2018). Se référer au chapitre 8 pour plus d'informations sur les avantages socio-économiques.

7.2 Partenaires de développement, de coopération et bailleurs de fonds

Hormis les investissements publics en capital, plusieurs bailleurs de fonds et partenaires de développement ont contribué au lancement de nombreux projets visant à renforcer les systèmes d'alerte précoce et les services hydrométéorologiques en Tunisie (ou à la réalisation de certains objectifs). Dix-huit projets sont listés à l'annexe II, compte tenu des informations fournies par les bailleurs de fonds et par les partenaires de développement. Douze de ces dix-huit projets sont en cours, les autres ont été parachevés. Ces projets s'attèlent principalement aux

aspects hydrologiques et aux systèmes d'alerte précoce hydrométéorologiques.

Partant de l'idée que les objectifs de ces projets sont atteints, des activités de renforcement des capacités ont été proposées aux bénéficiaires. En l'absence d'une véritable stratégie nationale d'amélioration des services d'alerte précoce et des services hydrométéorologiques, la mauvaise coordination entre les bailleurs de fonds et les agences bénéficiaires a donné lieu à une approche fragmentée et à un système incohérent où les différentes composantes sont peu connectées entre elles. Il est également crucial que chaque activité planifiée s'appuie sur les activités et réalisations des projets en cours, tels qu'ils sont inscrits dans un plan national d'ensemble. Tout nouveau projet visant la modernisation des prestataires de services météorologiques et hydrologiques doit pouvoir tirer profit de la consolidation des résultats des activités qui l'ont précédé et coordonner les activités qu'il propose avec les autres initiatives en cours.

7.3 Feuille de route pour la modernisation des services météorologiques, climatologiques et hydrologiques et des systèmes d'alerte précoce

7.3.1 Trois axes de modernisation

Considérant que tout changement culturel amorcé au sein d'une institution est un travail de longue haleine (Rogers et Tsirkunov, 2013), cette feuille de route entend mettre en place un engagement sur le plus long terme pour la modernisation hydrométéorologique. Le projet résultant est appelé à établir des assises solides susceptibles d'être développées au fil du temps. Par ailleurs, il est important que les autorités publiques comprennent le rôle que les prestataires de services météorologiques et hydrologiques jouent dans de nombreux domaines de développement du pays.

Les expériences récentes de la Banque mondiale dans les projets hydrométéorologiques et dans le renforcement des compétences et des capacités des SMHN des pays clients ont mis en évidence les avantages à tirer d'une approche structurée basée sur trois principaux axes de travail (piliers), notamment : i) le renforcement institutionnel et des capacités, ii) la modernisation des observations, des TIC et de l'infrastructure de prévision et iii) l'amélioration des systèmes de prestation de services (Rogers et Tsirkunov, 2013). C'est d'ailleurs l'approche la plus prisée par les clients, puisqu'elle promet la réalisation de résultats tangibles grâce à sa méthodologie de planification pour ce

genre de projets. Les activités proposées dans les sections suivantes traduisent ces principes et visent à renforcer la base institutionnelle des prestataires de services météorologiques et hydrologiques.

7.3.2 Phases de la feuille de route

La feuille de route relative aux services hydrométéorologiques et services d'alerte précoce tunisiens soulève un certain nombre de questions :

- Dans quelle mesure la stratégie à long terme des différentes institutions concernées concorde-t-elle avec les attentes des autorités et du public ?
- Quels sont les besoins futurs des utilisateurs en matière de données et d'informations ?
- Comment faire en sorte que les institutions concernées disposent des outils nécessaires pour répondre aux attentes des autorités et du public ?
- Comment élaborer un plan d'action qui tire parti des investissements dans la modernisation des prestataires de services météorologiques et hydrologiques pour leur permettre de fournir des services publics et payants durables, rentables et de qualité, partout en Tunisie ?

Ces considérations ont contribué à façonner les phases de développement proposées par la feuille de route, en tenant compte des activités à entreprendre pour faire des institutions concernées des prestataires de services météorologiques et hydrologiques techniquement modernes et solides, et pour atténuer l'écart entre les prestations actuelles et le niveau de service nécessaire pour leur permettre de s'acquitter pleinement de leurs fonctions de service public. Chaque phase s'appuie sur la précédente pour contribuer à l'objectif global de modernisation. Autrement dit, la phase II présuppose la réalisation des objectifs de la phase I et s'appuie dessus, et la phase III présuppose la réalisation des objectifs des phases I et II et s'appuie dessus.

De par sa nature progressive, cette approche contribue de façon quelque peu différente et graduellement exhaustive à la mise en place d'un système à même de produire et de fournir : i) des alertes en temps opportun sur les événements météorologiques extrêmes et dangereux et leurs éventuelles retombées et ii) des prévisions indispensables aux opérations en cours et à la planification dans les secteurs économiques sensibles aux conditions météorologiques et au climat, tels que la gestion des risques de catastrophe, les transports, l'agriculture, la gestion des ressources en eau, le changement climatique et l'environnement, la santé, le tourisme, l'énergie et l'éducation. Chaque phase propose trois niveaux de scénario : minimum, optimum et idéal. Si des ressources sont dégagées

pour entreprendre une partie de la modernisation dans le cadre d'un module autonome, par exemple, jusqu'à la phase II, alors cette dernière comprendra les activités décrites au titre du scénario idéal de la phase I. De façon similaire, si des ressources sont dégagées pour entreprendre la modernisation jusqu'à la phase III, cette dernière comprendra les activités décrites au titre du scénario idéal de chacune des phases I et II. En outre, des priorités (de 1 à 3, 1 étant la priorité la plus élevée) ont été fixées pour chaque phase, afin de donner une idée du délai nécessaire pour atteindre les objectifs.

Phase I : activités immédiates et à court terme. La phase I prévoit la réalisation des investissements nécessaires à l'appui des activités hautement prioritaires visant à améliorer les services publics de base, notamment par l'introduction de nouvelles technologies abordables au sein des institutions concernées et par la formation des effectifs pour en renforcer les compétences et les capacités (immédiat à court terme : deux à trois ans).

Phase II : activités à moyen terme. La phase II prévoit la réalisation d'investissements visant à introduire des améliorations mineures au niveau des capacités des institutions impliquées dans la prestation des services météorologiques, climatologiques et hydrologiques qui répondent aux besoins de service public des principales communautés d'utilisateurs, notamment la gestion des catastrophes, les transports, l'agriculture et la gestion des ressources en eau (moyen terme : deux ans qui s'ajoutent aux délais de la phase I).

Phase III : activités à long terme. La phase III prévoit la réalisation d'investissements visant à doter les institutions concernées de capacités pour la fourniture de données, de prévisions et de services d'alerte adaptés aux besoins, pour la sécurité publique et pour soutenir le développement des secteurs socio-économiques les plus importants (long terme : deux ans qui s'ajoutent aux délais des phases I et II).

Les deux premières phases entendent renforcer les capacités des institutions concernées pour leur permettre de s'acquitter de leurs missions de service public. La troisième phase vise à renforcer les capacités des SMHN publics pour leur permettre de proposer d'autres services personnalisés, séparément ou en partenariat avec d'autres institutions.

Les phases et activités prévues pour moderniser les services hydrométéorologiques et les systèmes d'alerte précoce examinés dans cette feuille de route sont le fruit de

discussions approfondies avec le personnel de différentes divisions et sections de l'INM, du MARHP (BPEH, DGRE, DGBGTH), du MEH de la DHU, du ME, de l'ONPC, des partenaires de développement et des bailleurs de fonds. Les échanges ont mis en évidence les écarts qui existent entre les exigences de la communauté des utilisateurs, d'une part et la capacité des institutions concernées à y répondre, d'autre part. Les phases proposées ici ont pour objectif d'orienter la transformation de l'INM, du MARHP (essentiellement de la DGRE et de la DGBGTH) et du ME/ de la DHU en organisations capables de répondre aux besoins, conformément à des normes de prestation de produits et de services de haut niveau, d'assurer leurs missions de service public et de satisfaire les utilisateurs. Les activités proposées prévoient également de renforcer les relations que ces institutions entretiennent avec l'ONPC.

Les institutions concernées doivent s'employer à convaincre les autorités de l'importance de l'accès aux outils et technologies modernes — pour l'observation, le traitement des données, l'infrastructure de prévision et de prestation de services et de conseils aux utilisateurs. Elles doivent également plaider rigoureusement en faveur des avantages économiques et sociaux que de tels services sont censés apporter (l'atténuation des dégâts potentiels des inondations et autres aléas).

Les institutions concernées doivent démontrer la nécessité d'améliorer leur fonctionnement et, ce faisant, justifier les fonds publics investis dans le renforcement de leurs infrastructures et services de base, afin de pouvoir bénéficier de davantage de ressources publiques limitées et de les utiliser de manière optimale. Ils doivent néanmoins d'abord être en mesure de fournir des services qui satisfont les utilisateurs afin de démontrer les avantages qu'ils offrent à ces derniers : une tâche dont elles ne peuvent s'acquitter sans moderniser leurs infrastructures de prévision, leurs TIC, leurs capacités de services, et sans assurer le couplage de la surveillance météorologique et hydrologique à la modélisation des prévisions.

Cette feuille de route et son approche progressive offrent aux institutions concernées une base méthodologique leur permettant de déterminer les priorités stratégiques et prospectives visant à améliorer leurs capacités de prestation de services, compte tenu des ressources financières et humaines disponibles (et potentielles). Les enjeux à venir renvoient aux effets du changement climatique et l'exacerbation conséquente des aléas naturels, ainsi qu'à l'émergence de nouvelles technologies et à l'évolution économique du pays.

Compte tenu des besoins des utilisateurs, il importe d'articuler la modernisation des institutions concernées autour de trois axes principaux : i) l'amélioration de la prestation de services, ii) la modernisation des infrastructures d'observation, des systèmes de gestion des données et des prévisions et iii) le renforcement institutionnel et des capacités.

Les trois phases de la modernisation des institutions concernées sont détaillées ci-après.

7.3.2.1 Phase I : Actions à court terme (2 à 3 ans)

Cette phase prévoit la mise en œuvre d'activités hautement prioritaires nécessaires à l'acquisition des capacités essentielles à l'amélioration des services météorologiques, climatologiques et hydrologiques, axées sur l'amélioration des services publics de base et le renforcement des capacités des institutions concernées, par l'utilisation des outils et technologies disponibles et accessibles, l'introduction de nouvelles technologies abordables et la modernisation de l'infrastructure essentielle.

Les activités prévues au titre de cette phase sont les plus urgentes et leurs résultats devraient apporter des améliorations considérables au niveau de chaque composante du système hydrométéorologique (surveillance, prévision, TIC, prestation de services, etc.). La mise en œuvre de cette phase devrait durer deux à trois ans.

Le renforcement des capacités institutionnelles implique le déploiement des moyens suivants :

1. L'élaboration d'un concept d'opérations (CONOPS) (David et al., 2019) pour guider le processus de conception d'un réseau composite optimum d'observation hydrométéorologique à l'échelle nationale, ainsi que les processus de modélisation, de prévision et de prestation de services.
2. L'élaboration de protocoles et de procédures opérationnelles standardisées organisant l'échange de données entre institutions compétentes impliquées dans la gestion des ressources en eau (la première phase a été consacrée à la vallée de la Medjerda et il est prévu d'en étendre la portée au niveau national) et l'implication de l'APAL pour les questions de météorologie marine.
3. Le maintien à jour de la mise en œuvre des Systèmes de management de la qualité et de la certification ISO.
4. Le développement et le lancement d'un programme de formation et de renforcement des capacités couvrant tous les aspects des SMHN (gestion institutionnelle, observation, modélisation, prévision, TIC, exploitation et maintenance et prestation de services, y compris

les systèmes d'alerte précoce), la formation des parties prenantes, l'étude des possibilités de « jumelage » avec d'autres SMHN, et la collaboration avec les universités pour des programmes de stages et de bourses.

5. L'élaboration d'un plan d'action visant à rentabiliser l'investissement dans la modernisation des institutions concernées et à proposer des services publics et payants durables, rentables et de qualité, partout en Tunisie.

La modernisation des systèmes de surveillance, de modélisation et de prévision liés au temps, au climat et à l'eau implique le déploiement des moyens suivants :

1. La mise en place et le renforcement d'une approche collaborative pour la surveillance, la modélisation, la prévision et la prestation de services aux principaux acteurs gouvernementaux et l'harmonisation des processus, procédures et fonctions de prévision impliquant l'ensemble des institutions concernées.
2. La conversion de l'intégralité des données au format standard (compatible OMM) nécessaire au fonctionnement d'un système national intégré, répondant aux besoins des institutions météorologiques et hydrologiques et aux exigences en matière d'amélioration de l'échange de données entre elles.
3. L'application d'un système d'assurance et de contrôle de la qualité en temps quasi réel aux observations météorologiques et hydrologiques.
4. La modernisation des réseaux d'observation météorologique et hydrologique (y compris le raccordement topographique des stations existantes) et des services de télécommunications connexes, et la mise en place de réseaux optimisés, avec métadonnées connexes.
5. L'acquisition et l'installation de trois radars météorologiques à bande C.
6. La réception et l'installation du radar hydrométéorologique à bande X offert par la France.
7. L'accès à et l'utilisation des données et produits des prévisions numériques du temps/système de prévision d'ensemble (PNT/SPE) des centres les plus avancés, et l'achat de licences (exemple : CEPMMT).
8. L'achèvement de la migration des modèles météorologiques existants exécutés localement vers le nouvel Ordinateur haute performance (OHP).
9. La conduite d'une vérification objective des produits et données des SPE/PNT, leur confrontation à leurs observations, et le post-traitement et le calibrage des prévisions, partout dans le pays.

10. L'exploration des techniques d'assimilation des données dans les PNT pour l'amélioration des prévisions météorologiques et la réalisation de recherches pour perfectionner le paramétrage microphysique des modèles exécutés localement.
11. La promotion de l'utilisation des produits de télé-détection pour la prévision météorologique immédiate et à très court terme, et de services hydrologiques, par la modernisation de la station de réception satellitaire et le recours à de nouveaux outils.
12. La mise en œuvre d'un système de prévision immédiate et de guidage des crues éclairés.
13. La mise en œuvre du sauvetage de données climatologiques et la migration des données historiques et en temps réel vers les bases de données climatologiques pour le développement et la prestation de services climatologiques.
14. La promotion des études climatologiques existantes.
15. Le développement continu des capacités et compétences de modélisation hydrologique, en mettant d'abord l'accent sur le bassin de la Medjerda.
16. L'acquisition de logiciels (licences de modélisation météorologique et hydrologique, modernisation des outils de visualisation et de manipulation des produits et données par les prévisionnistes) et d'équipements informatiques et de communication, selon les besoins.

Le renforcement de la prestation de services implique le déploiement des moyens suivants :

1. L'élaboration et la mise en œuvre d'une stratégie nationale de prestation de services inspirée de la stratégie de prestation de services de l'OMM et de son plan de mise en œuvre (OMM, 2014) et du Cadre national pour les services climatologiques (CNSC), conformément aux directives de l'OMM⁸. La stratégie et le cadre de l'OMM définissent les étapes et les éléments constitutifs du processus continu de développement et de prestation de services, et accompagnent les SMHN tout au long des étapes d'évaluation, de conception des services requis et de leur prestation aux secteurs utilisateurs. Cela suppose une étroite collaboration avec les secteurs, comme la gestion des risques de catastrophe, le transport, l'agriculture, la gestion des ressources en eau, le changement climatique et l'environnement, la santé, le tourisme, l'énergie et l'éducation.
2. Le renforcement de la collaboration entre les institutions compétentes pour la gestion des catastrophes, en particulier en mettant en place/en renforçant les protocoles et les procédures d'exploitation et de par-

⁸ <https://gfcs.wmo.int/>

- tage standardisées entre l'INM, le MARHP (DGRE, DGBGTH, DGAETA et BPEH), le MEH (DHU) et l'ONPC pour l'échange d'informations et de données, la réalisation d'exercices conjoints, la prestation de systèmes informatiques miroirs et de moyens de vidéoconférence pour l'affichage des informations météorologiques et hydrologiques devant être visualisées par le prévisionniste, et l'affectation d'un ingénieur météorologue au bureau de gestion des catastrophes relevant de l'ONPC lors des phénomènes hydrométéorologiques sévères, en vue d'améliorer les services d'alerte précoce.
3. La mise en œuvre de la stratégie nationale de prestation de services et l'élaboration d'un Concept d'opérations (CONOP) pour le développement de procédures opérationnelles standardisées inhérentes à l'exploitation des équipements existants et nouveaux, l'examen de la production des prévisions et des améliorations qu'il faut leur apporter, et la prestation de services aux fins météorologiques et hydrologiques.
 4. La mise en place d'un groupe technique hydrométéorologique multipartite chargé de développer et d'améliorer les différents services, de renforcer la coordination entre prestataires, de consolider l'interaction avec les utilisateurs et de déterminer les modes de réponse.
 5. La poursuite du développement de sites et de portails web, en faisant davantage appel aux médias sociaux et en multipliant les voies de diffusion pour une meilleure prestation des services météorologiques, climatologiques et hydrologiques.
 6. La poursuite des efforts de développement de la « Carte de vigilance » et du Système de collecte de mesures hydrologiques en temps réel pour l'annonce de crues (SYCOHTRAC) et la création de synergies entre les deux, comme première étape vers la vigilance crues et inondations (VigiCrue).

Le **tableau 7.1** présente les estimations des coûts des activités prévues au titre de la phase I, les institutions concernées et les indications au sujet des scénarios (minimum, optimum, idéal).

TABLEAU 7.1 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase I

Activités de la phase I	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Renforcement des capacités institutionnelles					
Services consultatifs pour a) l'évaluation des systèmes existants et la conception d'un réseau d'observation national composite optimal, des processus de prévision et de prestation de services (intégration des systèmes) ; b) l'élaboration d'un concept d'opérations (CONOPS) au niveau national ; c) le soutien à la mise en œuvre des activités de la phase I, y compris les spécifications techniques et la supervision des installations ; et d) l'amélioration du cadre juridique et réglementaire des opérations, de la coordination et de la planification interdépartementales, y compris l'élaboration de procédures opérationnelles standards et de protocoles d'échange de données.	1000	INM, MARHP (BPEH, DGRE, DGBGTH), MEH (DHU), ONPC, APAL	Minimum	1	
Services consultatifs pour la mise en place des nouveaux plans stratégiques pour 2021-2025 des différentes institutions (celles dont les plans stratégiques sont arrivés à terme en 2020)	200	INM, MARHP (BPEH, DGRE, DGBGTH et DGAFTA), MEH (DHU), ONPC	Minimum	1	Les institutions concernées doivent aligner leurs plans stratégiques individuels sur l'approche stratégique nationale présentée dans cette feuille de route. Cette activité devrait être soutenue par le budget de leur gouvernement respectif.
Services consultatifs pour le maintien à jour de la mise en œuvre des Systèmes de management de la qualité (SMQ) et de la certification ISO au sein de l'INM	50	INM	Minimum	1	

TABLEAU 7.1 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase I (cont.)

Activités de la phase I	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Services consultatifs, formation comprise, pour le développement et la mise en œuvre d'un programme de formation et de renforcement des capacités au titre de la phase I	1000	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH), MEH (DHU), ONPC	Minimum	1	Le montant alloué à chaque institution doit être en adéquation avec l'importance et les activités de cette phase.
Acquisition de matériel pour l'amélioration des relations opérationnelles entre une direction générale et une autre et entre les directions générales et l'ONPC (matériel de vidéoconférences, etc.)	500	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH), DHU, ONPC	Optimum	2	
Services consultatifs pour le développement d'une stratégie de prestation de services et d'un Cadre national pour les services climatologiques (CNSC)	150	INM	Optimum	2	
Services consultatifs pour l'étude de la possibilité d'introduction de nouveaux modèles économiques durables, y compris les partenariats entre secteur public et secteur privé	100	INM	Optimum	2	
Sous-total	3000				
Modernisation des systèmes de surveillance, de modélisation et de prévision des conditions météorologiques et des inondations					
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'extension et la modernisation du réseau météorologique de surface et des systèmes de communication qui lui sont connexes et la création d'un réseau climatologique de référence, métadonnées comprises	1000	INM	Minimum	1	Cette activité a déjà été lancée pour les stations qui ne sont pas situées dans les aéroports. Elle est soutenue par des fonds gouvernementaux. Pour le fonctionnement et l'entretien, on pourrait étudier la possibilité d'inclure ce réseau dans le Réseau mondial d'observation de base (GBON) de l'OMM/Mécanisme de financement des observations systématiques (SOFF).

TABLEAU 7.1 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase I (cont.)

Activités de la phase I	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Services consultatifs pour a) la mise en œuvre d'un système d'assurance qualité/ de contrôle qualité des données météorologiques en temps réel et de conversion de l'intégralité des données météorologiques au format standard (compatible OMM) nécessaire au fonctionnement d'un système intégré ; et b) l'automatisation des processus opérationnels	200	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH pour les données pluviométriques)	Minimum	1	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour le raccordement topographique, l'extension et la modernisation du réseau hydrologique (y compris dans les zones urbaines) et des systèmes de communication qui lui sont connexes	1 000	MARHP (DGRE), MEH (DHU)	Minimum	1	
Services consultatifs pour la mise en œuvre d'un système d'assurance qualité/de contrôle qualité des données hydrologiques en temps réel et de conversion de l'intégralité des données hydrologiques au format standard (compatible OMM) nécessaire au fonctionnement d'un système intégré	100	MARHP (DGRE et DGBGTH), MEH (DHU)	Minimum	1	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour la modernisation de la station de réception satellitaire et la migration vers la 3e génération de satellites européens Meteosat d'EUMETSAT (MTG)	1500	INM	Minimum	1	

TABLEAU 7.1 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase I (cont.)

Activités de la phase I	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour la modernisation de la collecte et de la transmission des données (y compris la modernisation du Système mondial de télécommunications du système d'information de l'OMM [SIO/SMT], la transmission 3G/GPRS) et l'échange/transmission de données entre l'INM, le MARHP et le ME (lignes dédiées)	1700	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH), MEH (DHU)	Minimum	2	Pour l'INM, cette activité a déjà été initiée en association avec la mise à niveau des stations. Elle est soutenue par des fonds gouvernementaux.
L'achat des équipements informatiques et de communication pour l'acquisition, le stockage (temps réel et archivage), le traitement et la visualisation des données (serveurs et stations de travail), outils rédactionnels, équipements de sauvegarde des données, y compris pour la numérisation, l'archivage et le stockage des données, postes de travail des prévisionnistes	1000	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH)	Minimum	1	
Services consultatifs pour la migration de l'intégralité des données vers la base de données climatologiques	100	INM	Minimum	3	
Achat de la licence CEPMMT sur 3 ans	150	INM	Minimum	1	
Services consultatifs pour l'utilisation des données SPE/PNT du CEPMMT dans les processus de prévision opérationnelle	150	INM	Minimum	2	
Services consultatifs pour les modèles de réduction d'échelle (AROME), de résolution augmentée, d'assimilation de données et d'amélioration de la microphysique	500	INM	Minimum	1	

TABLEAU 7.1 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase I (cont.)

Activités de la phase I	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Services consultatifs pour la mise en œuvre d'un système de prévision immédiate et d'un système de guidage des crues éclairés	200	INM	Minimum	1	
Services consultatifs pour la poursuite du développement des capacités de modélisation hydrologique (en mettant d'abord l'accent sur la Medjerda)	400	MARHP (DGRE et DGBGTH)	Minimum	1	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'installation de 3 radars à bande C	6 000	INM	Optimum		
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour la modernisation de l'Informatique à haute performance (IHP) (ressources à partager avec le MARHP [DGRE] pour la prévision des inondations)	1500	INM	Optimum	2	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'extension et la modernisation du réseau sismique et des systèmes de télécommunications qui lui sont connexes	1200	INM	Optimum	1	
Sous-total	13700				
Renforcement de la prestation de services					
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour le développement du Protocole d'alerte commun (PAC) et l'amélioration des mécanismes de diffusion à l'ensemble des communautés (dernier kilomètre), par le recours aux applications mobiles (alertes, sécurité alimentaire et agrométéorologique), aux radios FM, aux SMS et aux services en ligne (établissement de partenariats avec les opérateurs de téléphonie mobile)	800	INM, MARHP (DGRE), MEH (DHU), ONPC	Minimum	1	

TABLEAU 7.1 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase I (cont.)

Activités de la phase I	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Services consultatifs pour la poursuite du développement de sites et portails web, y compris la « Carte de vigilance » et le Système de collecte de mesures hydrologiques en temps réel pour l'annonce de crues (SYCOHTRAC) et la création de synergies entre les deux, comme première étape vers la vigilance crues et inondations (VigiCrue).	500	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	2	
Services consultatifs pour la poursuite du développement d'un système de surveillance et de prévision des inondations	400	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	1	
Services consultatifs pour le développement et la mise en œuvre de mécanismes d'évaluation des capacités de prévision et de satisfaction des utilisateurs (« indice de satisfaction de l'utilisateur »)	300	INM, MARHP (DGRE), ONPC	Minimum	2	
Services consultatifs pour la mise en œuvre d'une plateforme de services d'alerte précoce	1000	ONPC	Minimum	1	
Services consultatifs pour la mise en œuvre d'une stratégie de prestation de service et d'un Cadre national pour les services climatologiques (CNSC)	300	INM	Optimum	1	
Sous-total	3 300				
Grand-total	20 000				

Le **tableau 7.2** fait apparaître la nécessité d'augmenter le nombre d'employés pour atteindre les objectifs fixés dans cette phase. Le financement supplémentaire nécessaire à la mise en œuvre de cette phase est estimé à 511728 dollars par an, compte tenu du coût salarial mensuel moyen par personne (voir chapitre 5) et de la nécessité de recruter 14 personnes pour renforcer le personnel en place des prestataires de services météorologiques et hydrologiques. On ignore pour l'instant où seront recrutés

ces nouveaux collaborateurs. Il est possible que certains spécialistes soient recrutés dans des universités, et que d'autres soient issus d'agences gouvernementales ou du secteur privé. Les activités pour cette phase devraient contribuer à renforcer les capacités des prestataires de services météorologiques et hydrologiques et leur permettre de s'acquitter pleinement de leurs fonctions de service public de base.

TABLEAU 7.2 Effectifs supplémentaires et coûts nécessaires à la mise en œuvre de la phase I

Position	Phase I	Nombre de postes supplémentaires	Coûts en personnel (USD/an)	Coûts totaux (USD) sur 3 ans
1	Ingénieurs météo	4	13 232	158 784
2	Ingénieurs informaticiens (pour la météo)	2	13 232	79 392
3	Techniciens en météorologie	2	9 564	57 384
4	Hydrologues	3	13 232	119 088
5	Ingénieurs informaticiens (pour l'hydrologie)	1	13 232	39 696
6	Techniciens en hydrologie	2	9 564	57 384
	Total	14		511 728

Le coût des activités prévues pour la phase I est estimé à 20,5 millions de dollars. Cette phase devrait avoir pour principal résultat le renforcement des capacités institutionnelles et du personnel, l'amélioration de la prestation des services météorologiques et hydrologiques, le renforcement des capacités d'observation et de prévision, et la consolidation des compétences en matière de TIC. La **prestation de services météorologiques et hydrologiques** devrait atteindre le niveau 4 grâce à l'application des modèles dynamiques aux différentes composantes des systèmes de prestation de services météorologiques et hydrologiques. (application réalisée). La **modélisation météorologique et les capacités de prévision** devraient atteindre le niveau 3 (application en cours), les capacités d'**observation météorologique et les télécommunications**, le niveau 3 (application en cours) et les **services hydrologiques** le niveau 3 (application en cours).

7.2.2 Phase II : actions à moyen terme (2 ans qui s'ajoutent aux délais de la phase I)

Cette phase intermédiaire d'investissement entend améliorer les capacités de prestation de services météorologiques, climatologiques et hydrologiques pour répondre aux besoins des principaux utilisateurs de services publics (gestion des catastrophes, transport, agriculture et gestion des ressources en eau) et de quelques autres utilisateurs du secteur privé. Comme cela a été expliqué plus haut, la phase II s'appuie sur la phase I et ne peut être mise en œuvre de façon autonome.

Les activités prévues dans le cadre de cette phase doivent donc permettre d'apporter des améliorations significatives à chaque composante du système hydrométéorologique (surveillance, prévision, TIC, prestations de services, etc.). La mise en œuvre de cette phase doit durer deux ans.

Le renforcement des capacités institutionnelles implique le déploiement des moyens suivants :

1. Le développement et le lancement d'un programme de formation et de renforcement des capacités couvrant tous les aspects des SMHN (gestion institutionnelle, observation, modélisation, prévision, TIC, exploitation et maintenance et prestation de services, y compris les systèmes d'alerte précoce), la formation des parties prenantes, l'étude des possibilités de « jumelage » avec d'autres SMHN et la collaboration avec les universités pour des programmes de stages et de bourses.

La modernisation des systèmes de surveillance, de modélisation et de prévision liés au temps, au climat et à l'eau implique le déploiement des moyens suivants :

1. L'amélioration du réseau d'observation de surface dans les aéroports.
2. L'extension du réseau agrométéorologique.
3. L'acquisition et l'installation de deux radars météorologiques supplémentaires.
4. L'accès à et l'utilisation des données et produits des prévisions numériques du temps/système de prévision d'ensemble (PNT/SPE) des centres les plus avancés et l'achat de licences (exemple : CEPMMT).
5. Le couplage de modèles météorologiques et de modèles hydrologiques dans la prévision des inondations (en mettant d'abord l'accent sur le bassin de la Medjerda).
6. L'exécution à l'échelle locale de modèles de prévision de la qualité de l'air et de prévisions maritimes.
7. La poursuite des activités de recherche et de développement dans le domaine des prévisions numériques du temps, l'examen de la possibilité d'exécuter des sys-

- tèmes de prévision d'ensemble à l'échelle locale et le développement de prévisions spécifiques à chaque site.
8. Le maintien à jour de la mise en œuvre du service SYGREAU
 9. L'acquisition d'équipements informatiques et de communication pour le système centralisé, selon les besoins.
 10. La mise en place/le renforcement d'un laboratoire de calibrage.

Le renforcement des capacités institutionnelles implique le déploiement des moyens suivants :

1. La génération de prévisions axées sur les effets des aléas et d'alertes axées sur les risques.
2. L'élaboration de cartes de risques.

3. La mise en place d'une salle d'opérations conjointes, et d'une plateforme d'accès à toutes les informations générées par les composantes du service d'alerte précoce.
4. Le développement de produits personnalisés destinés aux secteurs socio-économiques clés.
5. La mise en œuvre du Service consultatif pour l'agriculture et le climat (SCAC).
6. L'extension de la « Carte de vigilance » pour intégrer la vigilance crues et inondations (VigiCrue).
7. La modernisation de l'Atlas climatique (aspects météorologiques et hydrologiques)

Le **tableau 7.3** donne une estimation des coûts des activités prévues au titre de la phase II, les institutions concernées et les scénarios envisagés (minimum, optimum, idéal).

TABLEAU 7.3 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase II

Activités de la phase II	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Renforcement des capacités institutionnelles					
Services consultatifs, formation comprise, pour le développement et la mise en œuvre d'un programme de formation et de développement des capacités au titre de la phase II	1000	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH), MEH (DHU), ONPC	Minimum		Le montant alloué à chaque institution doit être en adéquation avec l'importance et les activités de cette phase.
Sous-total	1000				
Modernisation des systèmes de surveillance, de modélisation et de prévision des conditions météorologiques et des inondations					
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour la modernisation du réseau d'observation de l'atmosphère en surface et des systèmes de télécommunication connexes dans les aéroports, y compris les métadonnées	1500	INM	Minimum	1	On pourrait étudier la possibilité d'inclure ce réseau dans le cadre du Réseau mondial d'observation de base (GBON) de l'OMM/du Mécanisme de financement des observations systématiques (SOFF).

TABLEAU 7.3 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase II (cont.)

Activités de la phase II	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'extension et la modernisation du réseau agrométéorologique et des systèmes de communication qui lui sont connexes, métadonnées comprises	500	INM et MARHP (DGAFTA)	Minimum	1	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'installation de 2 radars à bande C	4 000	INM	Minimum	2	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — et services consultatifs pour l'établissement de systèmes centralisés et automatisés de traitement des données (serveurs, logiciels, etc.)	1500	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	2	
Achat de la licence CEPMMT sur 2 ans	100	INM	Minimum	1	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour la mise en place/le renforcement d'un laboratoire de calibrage.	300	INM	Minimum	1	
Services consultatifs pour le maintien à jour de la mise en œuvre de SYGREAU	200	MARHP (DGRE)	Minimum	1	
Services consultatifs pour le couplage de modèles météorologiques et de modèles hydrologiques dans la prévision des inondations (en mettant d'abord l'accent sur la Medjerda)	500	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH)	Minimum	1	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'installation du réseau LIDAR (détection et localisation par la lumière) et des systèmes de télécommunication connexes, métadonnées comprises	1000	INM	Optimum	3	

TABLEAU 7.3 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase II (cont.)

Activités de la phase II	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'installation du réseau GAW (veille de l'atmosphère du globe) et des systèmes de télécommunication connexes, métadonnées comprises	500	INM	Optimum	3	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour la mise en œuvre d'un programme AMDAR (retransmission des données météorologiques d'aéronefs)	300	INM	Optimum	2	
Services consultatifs pour la recherche et le développement dans le domaine des prévisions numériques du temps, l'examen de la possibilité d'exécuter des systèmes de prévision d'ensemble à l'échelle locale et le développement de prévisions spécifiques à chaque site	500	INM	Optimum	3	
Services consultatifs pour l'exécution à l'échelle locale de modèles de prévision de la qualité de l'air et de prévisions maritimes	300	INM	Optimum	3	
Services consultatifs pour l'exécution de modèles de risques sismiques et de tsunamis	300	INM	Optimum	2	
Sous-total	11500				
Renforcement de la prestation de services					
Services consultatifs pour la génération de prévisions axées sur les effets des aléas et d'alertes axées sur les risques	1000	INM, MARHP (DGRE), ONPC	Minimum	2	
Services consultatifs pour l'élaboration de cartes de risques	300	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	2	
Services consultatifs pour le développement de produits personnalisés destinés aux secteurs économiques clés	500	INM	Minimum	2	

TABLEAU 7.3 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase II (cont.)

Activités de la phase II	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	Priorités (de 1 à 3, 1 étant la plus élevée)	Commentaires
Services consultatifs pour la mise en œuvre du Service consultatif pour l'agriculture et le climat (SCAC)	400	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	2	
Services consultatifs pour l'extension de la « Carte de vigilance » pour intégrer la vigilance inondations (VigiCrue)	700	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	3	
Services consultatifs pour la modernisation de l'Atlas climatique	200	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	2	
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour la mise en place d'une salle d'opérations conjointes	750	INM, MARHP (DGRE), MEH (DHU), ONPC	Optimum	3	
Sous-total	3 850				
Grand-total	16 350				

Le **tableau 7.4** fait apparaître la nécessité d'augmenter le nombre d'employés pour atteindre les objectifs fixés dans cette phase. Le financement supplémentaire nécessaire à la mise en œuvre de cette phase est estimé à 269 096 dollars par an compte tenu du coût salarial mensuel moyen par personne (voir chapitre 5) et de la nécessité de recruter 11 personnes pour renforcer le personnel en place des prestataires de services météorologiques et hydrologiques. On ignore pour l'instant où seront recrutés

ces nouveaux collaborateurs. Il est possible que certains spécialistes soient recrutés dans des universités, et que d'autres soient issus d'agences gouvernementales ou du secteur privé.

Les activités proposées pour cette phase devraient renforcer les capacités des prestataires de services météorologiques et hydrologiques et leur permettre de s'acquitter pleinement de leurs fonctions de service public de base.

TABLEAU 7.4 Effectifs supplémentaires et coûts nécessaires à la mise en œuvre de la phase II

Position	Phase II	Nombre de postes supplémentaires	Coûts en personnel (USD/an)	Coûts totaux (USD) sur 2 ans
1	Ingénieurs météo	3	13 232	79 392
2	Ingénieurs informaticiens (pour la météo)	2	13 232	52 928
3	Techniciens en météorologie	2	9 564	38 256
4	Hydrologues	2	13 232	52 928
5	Ingénieurs informaticiens (pour l'hydrologie)	1	13 232	26 464
6	Techniciens en hydrologie	1	9 564	19 128
	Total	11		269 096

Le coût des activités prévues pour la phase II est estimé à 16,65 millions de dollars, ce qui porte le coût total des phases I et II à près de 37,15 millions de dollars. Cette phase devrait avoir pour principal résultat le renforcement des capacités institutionnelles et du personnel, l'amélioration de la prestation de services météorologiques et hydrologiques, le perfectionnement des capacités d'observation et de prévision et la consolidation des compétences en TIC. Le niveau de **prestation de services météorologiques** devrait évoluer vers le niveau 4 (application réalisée) et 5 (application avancée) grâce à l'application de modèles dynamiques aux différentes composantes des systèmes de prestation de services de services météorologiques et hydrologiques. La **modélisation météorologique et les capacités de prévision** devraient se situer entre le niveau 3 (application en cours) et le niveau 4 (application réalisée), les capacités d'**observation météorologique et les télécommunications** devraient passer au niveau 4 (application réalisée) et les **services hydrologiques** devraient se situer entre le niveau 3 (application en cours) et le niveau 4 (application réalisée).

7.2.3 Phase III : Actions à long terme (2 ans qui s'ajoutent aux délais des phases I et II)

Cette phase d'investissement avancé entend améliorer les capacités de prestation de services météorologiques, climatologiques et hydrologiques pour mieux répondre aux besoins des utilisateurs de services publics et du secteur privé. Comme indiqué plus haut, la phase III s'appuie sur les réalisations des phases I et II et ne peut être mise en œuvre de façon autonome.

Les activités prévues au titre de cette phase devraient apporter des améliorations significatives à chaque composante du système hydrométéorologique (surveillance,

prévision, TIC, prestation de services, etc.). La mise en œuvre de cette phase devrait durer deux ans.

Le renforcement des capacités institutionnelles implique le déploiement des moyens suivants :

1. Le développement et le lancement d'un programme de formation et de renforcement des capacités couvrant tous les aspects des SMHN (gestion institutionnelle, observation, modélisation, prévision, TIC, exploitation et maintenance et prestation de services, y compris les systèmes d'alerte précoce), la formation des parties prenantes, l'étude des possibilités de « jumelage » avec d'autres SMHN et la collaboration avec les universités pour des programmes de stages et de bourses.

La modernisation des systèmes de surveillance, de modélisation et de prévision liés au temps, au climat et à l'eau implique le déploiement des moyens suivants :

1. L'acquisition et l'installation d'un réseau de suivi de la foudre.
2. L'accès à et l'utilisation des données et produits des prévisions numériques du temps/système de prévision d'ensemble (PNT/SPE) des centres les plus avancés et l'achat de licences (exemple : CEPMMT).
3. La poursuite des activités de recherche et de développement dans le domaine des prévisions numériques du temps, l'examen de la possibilité d'exécuter de systèmes de prévision d'ensemble à l'échelle locale et le développement de prévisions spécifiques à chaque site.
4. Le couplage de modèles météorologiques et de modèles hydrologiques dans la prévision des inondations (pour d'autres bassins versants).

Le renforcement de la prestation de services implique le déploiement des moyens suivants :

1. L'élaboration de cartes de risques
2. Le développement de produits personnalisés destinés à d'autres secteurs socio-économiques.
3. L'extension de « Carte de vigilance » pour intégrer la vigilance maritime (VigiMarine).

4. L'élaboration de matériel de sensibilisation.

Le **tableau 7.5** donne une estimation des coûts des activités prévues au titre de la phase III, les institutions concernées et les scénarios envisagés (minimum, optimum, idéal).

TABLEAU 7.5 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase III

Activités de la phase III	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	
Renforcement des capacités institutionnelles				
Services consultatifs, formation comprise, pour le développement et la mise en œuvre d'un programme de formation et de développement des capacités au titre de la phase III	1000	INM, MARHP (DGRE et DGBGTH), MEH (DHU), ONPC	Minimum	1
Sous-total	1000			
Modernisation des systèmes de surveillance, de modélisation et de prévision des conditions météorologiques et des inondations				
Acquisition de matériel — formation et services connexes compris — pour l'installation d'un réseau de suivi de la foudre et des systèmes de communication qui lui sont connexes, métadonnées comprises	800	INM	Minimum	3
Acquisition de la licence CEPMMT sur 2 ans	100	INM	Minimum	1
Services consultatifs pour le couplage de modèles météorologiques et de modèles hydrologiques dans la prévision des inondations (pour d'autres bassins versants)	1000	MARHP (DGRE et DGBGTH)	Minimum	1
Services consultatifs pour la poursuite des activités de recherche et de développement dans le domaine des prévisions numériques du temps/ système de prévision d'ensemble	500	INM	Optimum	3

TABLEAU 7.5 Activités, estimations des coûts, institutions concernées et scénarios (minimum, optimum, idéal) inhérents à la mise en œuvre de la phase III (cont.)

Activités de la phase III	Estimations des coûts (USD, milliers)	Institutions concernées	Scénarios (Minimum, optimum et idéal)	
Sous-total	2 400			
Renforcement de la prestation de services				
Services consultatifs pour l'élaboration de cartes de risques	300	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	1
Services consultatifs pour le développement de produits personnalisés destinés à d'autres secteurs socio-économiques	500	INM	Minimum	2
Services consultatifs pour l'extension de la « Carte de vigilance » pour intégrer la vigilance maritime (VigiMarine)	700	INM, MARHP (DGRE)	Minimum	1
Services consultatifs pour l'élaboration de matériel de sensibilisation	300	INM, MARHP (DGRE), MEH (DHU), ONPC	Optimum	2
Sous-total	1 800			
Grand-total	5 200			

Le **tableau 7.6** fait apparaître la nécessité d'augmenter le nombre d'employés pour atteindre les objectifs fixés dans cette phase. Le financement supplémentaire nécessaire à la mise en œuvre de cette phase est estimé à 158 784 dollars par an, compte tenu du coût salarial mensuel moyen par personne (voir chapitre 5) et de la nécessité de recruter 6 personnes pour renforcer le personnel en place des prestataires de services météorologiques et hydrologiques. On ignore pour l'instant où seront recrutés ces nouveaux col-

laborateurs. Il est possible que certains spécialistes soient recrutés dans des universités, et que d'autres soient issus d'agences gouvernementales ou du secteur privé.

Les activités pour cette phase devraient contribuer à renforcer les capacités des prestataires de services météorologiques et hydrologiques et leur permettre de s'acquitter pleinement de leurs fonctions de service public de base.

TABLEAU 7.6 Effectifs supplémentaires et coûts nécessaires à la mise en œuvre de la phase III

Position	Phase III	Nombre de postes supplémentaires	Coûts en personnel (USD/an)	Coûts totaux (USD) sur 2 ans
1	Ingénieurs météo	2	13 232	52 928
2	Ingénieurs informaticiens (pour la météo)	1	13 232	26 464
3	Techniciens en météorologie	-	9 564	-
4	Hydrologues	2	13 232	52 928
5	Ingénieurs informaticiens (pour l'hydrologie)	1	13 232	26 464
6	Techniciens en hydrologie	-	9 564	-
	Total	6		158 784

Le coût des activités prévues pour la phase III est estimé à 5,4 millions de dollars, ce qui porte le coût total des phases I, II et III à 42,55 millions de dollars. Cette phase devrait avoir pour principal résultat le renforcement des capacités institutionnelles et du personnel, l'amélioration de la prestation de services météorologiques et hydrologiques, l'amélioration des capacités d'observation et de prévisions et des compétences en TIC. La **prestation de services météorologiques** devrait atteindre le niveau 5

(application avancée) grâce à l'application de modèles dynamiques aux différentes composantes des systèmes de prestation de services météorologiques et hydrologiques. La modélisation météorologique et les capacités de prévision devraient atteindre le niveau 4 (application réalisée), les capacités d'**observation météorologique et les télécommunications**, le niveau 5 (application avancée) et les **services hydrologiques** le niveau 4 (application réalisée).



© Getanidikus | Dreamstime.com

8

AVANTAGES SOCIO-ÉCONOMIQUES GÉNÉRÉS PAR L'AMÉLIORATION DES SERVICES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES ET DES SYSTÈMES D'ALERTE PRÉCOCE

Il est nécessaire de prouver les avantages socio-économiques attendus d'un éventuel investissement public par rapport aux coûts encourus pour en justifier la réalisation. L'OMM, qui a travaillé sur la manière d'appliquer l'analyse coûts-avantages à la modernisation des services hydrométéorologiques (OMM, 2015), a exposé les différentes méthodologies utilisées pour quantifier les avantages et les coûts inhérents aux services et informations météorologiques, climatiques et hydrologiques (et donne un aperçu des difficultés rencontrées). Selon cette étude globale, chaque dollar investi dans les services d'hydrométéorologie et d'alerte précoce permettrait de générer au moins 3 dollars en avantages socio-économiques (taux de retour sur investissement de 3:1), et souvent bien plus. L'analyse coûts-avantages indique que les trois phases d'investissement proposées sont économiquement efficaces, ce qui signifie qu'elles produiront des avantages socio-économiques supérieurs à leurs coûts à un ration de 5,5:1.

8.1 Approche conservatrice

L'analyse coûts-avantage appliquée à la gestion des risques de catastrophes et climatiques est souvent compromise par le manque de données et d'informations. Les nombreuses complexités et incertitudes inhérentes à la quantification des risques de catastrophe sont aggravées par le changement climatique (IPCC, 2012). L'analyse coûts-avantages est souvent contestée parce qu'elle se rapporte à des cas intangibles et qu'elle spéculé sur des impacts futurs, notamment quand il s'agit d'événements extrêmes (Banque mondiale, 2018). Par conséquent, renforcer la confiance et la robustesse d'une analyse coûts-avantages, notamment quand elle est appliquée aux services hydrométéorologiques, exige d'adopter une approche transparente et conservatrice (Kull, Mechler et Hochrainer 2013). Les hypothèses et les analyses qui les étayent sont décrites plus loin dans ce chapitre. Lorsqu'une série d'éléments d'analyse potentiels est générée, il est de coutume de ne retenir que les valeurs les plus « conservatrices », ce qui veut dire que sur ensemble d'avantages, on ne tiendra compte que de celui qui a le moins de valeur. Cette approche permet de calculer la valeur actuelle nette et le ratio avantages/coûts, soit le seuil minimum de l'efficacité économique attendue. Il est très probable qu'en réalité, l'efficacité économique réalisée soit supérieure à ce qui est indiqué ici.

Les trois principales hypothèses conservatrices retenues aux fins de la présente étude sont précisées ci-après :

1. L'analyse ne tient pas compte de la croissance démographique et du développement futurs qui bénéficieront de la protection générée par l'investissement en question. L'économie considérée est celle qui correspond aux dernières données disponibles de la Banque mondiale sur le PIB.
2. Il ne sera tenu compte que de la réduction des effets directs et à court terme induits par les processus météorologiques et climatiques. Les effets indirects et à long terme (sur la santé, par exemple) ne seront pas pris en considération.
3. Le risque de catastrophe est basé sur les expériences passées et, de ce fait, ne tient pas compte des effets potentiels du changement climatique.

Comme indiqué ci-avant, ces hypothèses concourent à l'établissement d'une estimation conservatrice de l'efficacité économique des investissements.

8.2 Avantages générés par la réduction des pertes dues aux catastrophes

Compte tenu de la nature stochastique des catastrophes, il est de pratique courante de déterminer les pertes annuelles moyennes dues aux catastrophes au titre de l'analyse coûts-avantages appliquée à la gestion des risques de catastrophe (Kull, Mechler et Hochrainer 2013). Cela implique de calculer la moyenne de toutes les pertes potentielles dans le temps et de quantifier la charge économique attendue par an. Lorsque les données disponibles sont suffisantes, les pertes annuelles moyennes sont calculées comme l'aire sous la courbe de fréquence des pertes, un indicateur couramment utilisé pour fournir des informations sur la probabilité de dépasser toutes les pertes potentielles possibles par an (par exemple, des crues/inondations annuelles à des crues/inondations sur une période de retour de 100 ou 200 ans).

La Tunisie fait partie des pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure. Elle compte 11,6 millions d'habitants et son produit intérieur brut (PIB) s'élève à 39,87 milliards de dollars (2018). Selon les résultats préliminaires d'un profil national de risque de catastrophe réalisé par la Banque mondiale, on estime que les inondations induisent une perte annuelle moyenne (PAM) de 42,3 millions de dollars (soit 0,11 % du PIB de la Tunisie en 2019).

8.3 Analyse des avantages

8.3.1 Avantages générés par la réduction des pertes dues aux catastrophes

Selon Subbiah, Bildan et Narasimhan (2009), la réduction des dommages qui peut être obtenue par la mise en œuvre de systèmes d'alerte précoce varie de 5 % à 90 %, en fonction des biens à risque et du délai d'exécution. Bien que la mise en œuvre de systèmes d'alerte précoce permette généralement de réduire les pertes économiques de 20 % en moyenne, les expériences contextuelles montrent qu'il est plus prudent de se référer à des fourchettes plus conservatrices allant de 5 % à 10 %. Tel a été le cas en Géorgie : 5 % (Banque mondiale, 2018) ; en Russie : 8,5 % (Banque mondiale, 2005) ; et dans le sud-est de l'Europe : 10 % (Banque mondiale, 2008). Compte tenu de l'approche conservatrice retenue ici, il sera fait référence à la limite inférieure de la fourchette, soit 5 %. La modernisation des systèmes d'alerte et de prévision devrait permettre d'économiser 2,12 millions de dollars sur un total de 42,3 millions de dollars de dommages annuels dus aux inondations.

Compte tenu du peu de données disponibles, et conformément aux recommandations d'Hallegatte (2012),

l'approche de l'analyse comparative est utilisée pour confronter les résultats au PIB du pays. Selon Hallegatte la mise en place de systèmes d'alerte précoce modernes et efficaces permet en moyenne de réduire les dommages matériels engendrés par les catastrophes de 0,003 % à 0,017 % du PIB. Il ressort donc de cette étude que les avantages potentiels de la mise en œuvre des systèmes d'alerte précoce correspondent à la différence entre le niveau de protection assuré par les systèmes déjà en place dans le pays et la réduction des dommages physiques que la mise à niveau de ces mêmes systèmes entraînerait. La méthode d'analyse comparative classe la Tunisie comme un pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure doté d'un système est relativement peu développé. Ainsi, selon les estimations, la Tunisie ne bénéficie, à ce jour, que de 20 % des avantages de la réduction des dommages potentiels générés par les systèmes d'alerte hydrométéorologique précoce. Les avantages potentiels correspondraient alors à la différence entre réduction des pertes potentielles — de 0,003 % à 0,017 % du PIB, en supposant que la Tunisie corresponde à la référence mondiale — et réduction des pertes réelles, qui dans ce cas, pourrait se situer à 20 % de cette même valeur. Dans le cas de la Tunisie, les résultats laissent supposer une réduction moyenne de perte annuelle de 1,4 million de dollars.

La méthode de l'analyse comparative montre que les estimations des avantages annuels de la réduction des dommages causés par les crues/inondations sont du même ordre de grandeur que la valeur inférieure. Compte tenu de certaines disparités — qui tiennent probablement au fait que la Tunisie est moins exposée aux aléas hydrométéorologiques que la plupart des pays — il devient envisageable d'appliquer une analyse de sensibilité pour identifier l'incidence que pourrait avoir une réduction d'avantages sur le bilan économique général.

8.3.2 Avantages générés par l'augmentation de la production

La modernisation des systèmes hydrométéorologiques devrait non seulement réduire les pertes dues aux catastrophes, mais aussi augmenter considérablement la productivité économique. Compte tenu du manque d'informations, la méthode de l'analyse comparative a été privilégiée pour estimer les avantages que pourrait présenter la modernisation des services hydrométéorologiques en Tunisie pour la productivité économique.

Selon Hallegatte (2012), près de 25 % du PIB mondial sont générés par des secteurs sensibles aux conditions météorologiques et climatiques, comme l'agriculture, le secteur énergétique et minier, la construction et le transport. La modernisation des systèmes hydrométéorologiques et d'alerte peut aider ces secteurs de bien des façons, qu'il s'agisse de produire et d'émettre des alertes immédiates et des avis saisonniers ou de contribuer à la conception des infrastructures et l'aménagement du territoire. Une analyse comparative prudente montre que la modernisation des prévisions accroît de 0,1 % à 1 % la valeur des secteurs sensibles aux conditions météorologiques et climatiques, ce qui équivaut à des gains de près de 0,025 % à 0,25 % du PIB mondial.

En Tunisie, les secteurs sensibles aux conditions météorologiques et climatiques représentent près de 50 % de l'économie : l'agriculture, le transport, l'énergie, le bâtiment et le tourisme. Il est probable que ce pourcentage soit plus élevé puisque de nombreux autres domaines, pour lesquels on ne dispose pas de données, sont tout aussi sensibles au temps et au climat. L'application de la méthode de l'analyse comparative de Hallegatte (2012) fait ressortir des avantages annuels en production de l'ordre de 20 à 200 millions de dollars par an. L'analyse retiendra l'extrémité inférieure de la fourchette (20 millions de dollars) afin d'éviter les doublons et de rester cohérente avec l'approche conservatrice. Toutefois, étant donné la fréquence des inondations et des sécheresses, ce chiffre est jugé extrêmement prudent.

8.3.3 Avantages annuels totaux

Le tableau 8.1 récapitule les avantages générés par l'amélioration des services hydrométéorologiques tels qu'ils sont mis en lumière par la présente analyse, ainsi que les limites des valeurs utilisées pour l'analyse de sensibilité. La valeur maximale de la réduction des pertes dues aux crues/inondations présuppose une réduction des pertes annuelles de 20 %.

TABLEAU 8.1 Avantages annuels générés par la modernisation des services hydrométéorologiques (USD, millions)

Avantage	Valeur minimale	Valeur « réaliste »	Valeur maximale
Réduction des pertes dues aux catastrophes	0,93	2,12	8,5
Amélioration de la productivité	20	20	80
Total	20,93	22,12	88,5

8.4 Analyse coûts-avantages

Les trois phases d'investissement décrites au chapitre 7, malgré leur coût, devraient permettre aux prestataires de services météorologiques et hydrologiques de progresser vers des niveaux supérieurs. Le principe retenu est que seule une modernisation intégrale permettra de diminuer les pertes d'environ 5 % grâce à la mise en place de systèmes d'alerte précoce. Il s'agit bien là d'un chiffre conservateur. Il est supposé que des investissements plus modestes vont produire moins d'avantages

potentiels qu'un investissement dans une modernisation intégrale : 4,4 % de réduction de pertes pour une modernisation partielle (phase II) et 2,4 % de réduction pour une modernisation qui ne porterait que sur les composantes les plus prioritaires du système (phase I) (**tableau 8.2**). Les avantages relatifs à la réduction des dommages causés par les catastrophes et à l'augmentation de la production devraient augmenter de façon linéaire au terme de la première année du programme, jusqu'à atteindre leur plein potentiel à la fin de l'année suivant sa clôture.

TABLEAU 8.2 Évaluation des trois phases de la modernisation

Phases	Coût total (cumulé)	Durée	Période d'effets	Réduction de pertes
	(USD, millions)	(années)	(années)	(%)
I	20,50	3	20	2,4
II	37,15	5	20	4,4
III	42,55	7	20	5

La comparaison des coûts et des avantages du programme dans le temps met en évidence la valeur relative des investissements prévus. Certes, l'analyse coûts-avantages contribue utilement à orienter les décisions d'investissement grâce aux indicateurs qu'elle propose, mais cela ne doit pas être l'unique facteur à prendre en considération.

Bien que la période de mise en œuvre varie entre trois et sept ans, cette analyse estime que les effets du projet s'étendent sur une vingtaine d'années, compte tenu du cycle de vie des infrastructures (équipements météorologiques et hydrologiques). Les décaissements devraient être répartis uniformément sur les différentes phases du projet. Les coûts d'exploitation et de maintenance supplémentaires imputables à la modernisation devraient croître de façon linéaire à mesure que les investissements cumulatifs sont réalisés, jusqu'à atteindre un maximum constant un an après la fin de la phase III. Les avantages relatifs à la réduction des dommages causés par les ca-

tastrophes et à l'amélioration de la production devraient, eux aussi, augmenter de façon linéaire et commencer à se faire sentir à partir de la deuxième année jusqu'à atteindre un maximum constant au terme de l'année suivant la clôture de la phase III.

L'analyse coûts-avantages recourt au taux d'actualisation pour restituer les préférences sociétales entre consommation présente et consommation future par voie d'épargne. Un taux d'actualisation nul est synonyme d'indifférence. Un taux d'actualisation de 15 % indique une forte préférence pour la dépense immédiate. Cette analyse se réfère à un taux d'actualisation de 5 %, ce qui veut dire que les coûts et avantages futurs sont relativement importants, comparativement à la situation présente (en rapport avec la problématique du changement climatique). L'analyse de sensibilité, quant à elle, se réfère à des taux d'actualisation de 0 % à 15 %. Les **tableaux 8.3 à 8.5** illustrent les ré-

sultats de l'analyse pour les indicateurs coûts-avantages suivants :

› **Valeur actuelle nette** : soit la valeur actuelle des avantages moins la valeur actuelle des coûts. Si la valeur

actuelle nette est supérieure à 0, l'investissement est estimé être efficace économiquement.

› **Ratio avantages/coûts** : soit le rapport de la valeur actuelle des avantages à la valeur actuelle des coûts. Si le ratio avantages/coûts est supérieur à 1, l'investissement est estimé économiquement efficace.

TABLEAU 8.3 Résultats de l'analyse coûts-avantages de la phase I

Taux d'actualisation	Valeur actuelle nette (USD, millions)				Ratio avantages/coûts			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Avantages minimums	162	96	62	43	5,2	4,2	3,6	3,1
Avantages « réalistes »	173	103	66	46	5,5	4,5	3,8	3,3
Avantages maximums	811	500	338	246	21,8	18,0	15,1	13,0

TABLEAU 8.4 Résultats de l'analyse coûts-avantages de la phase II

Taux d'actualisation	Valeur actuelle nette (USD, millions)				Ratio avantages/coûts			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Avantages minimums	262	147	89	57	4,8	3,9	3,3	2,8
Avantages « réalistes »	281	158	96	62	5,1	4,2	3,5	3,0
Avantages maximums	1330	781	501	346	20,4	16,6	13,8	11,8

TABLEAU 8.5 Résultats de l'analyse coûts-avantages de la phase III

Taux d'actualisation	Valeur actuelle nette (USD, millions)				Ratio avantages/coûts			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Avantages minimums	287	158	95	60	4,7	3,8	3,2	2,7
Avantages « réalistes »	308	171	102	66	5,0	4,1	3,4	2,9
Avantages maximums	1464	850	538	367	19,9	16,2	13,5	11,6

Pour vérifier plus précisément la sensibilité de l'analyse, l'hypothèse des avantages réalistes a été vérifiée pour

des coûts 30 % plus élevés que prévu, et ce pour les trois phases. Les résultats sont donnés au **tableau 8.6**.

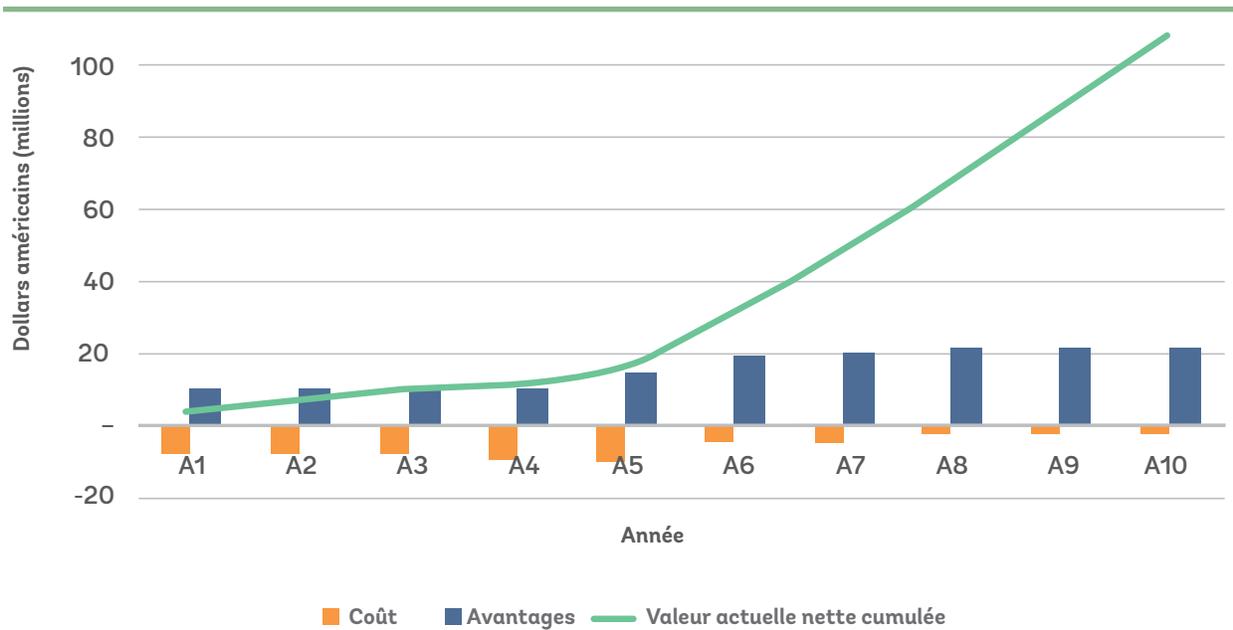
TABLEAU 8.6 Résultats de l'analyse coûts-avantages : avantages réalistes et 30 % de dépassement des coûts

Taux d'actualisation	Valeur actuelle nette (USD, millions)				Ratio avantages/coûts			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Phase I	162	94	59	40	4,2	3,5	2,9	2,5
Phase II	261	143	84	53	3,9	3,2	2,7	2,3
Phase III	285	154	89	55	3,8	3,1	2,6	2,2

La figure 8.1 illustre l'importance de la disponibilité des ressources budgétaires à long terme. Elle montre les flux de trésorerie de la phase III pour les dix premières années, en supposant des avantages « réalistes » et un taux d'actualisation de 5 %. La première année de l'investissement se traduit par une réduction presque constante de la valeur actuelle nette, mais avec l'intensification des investissements (à partir de la cinquième année), la valeur

actuelle nette devient élevée, malgré l'augmentation des coûts d'exploitation et de maintenance. Une fois le programme finalisé (année 7), les coûts et avantages annuels demeurent constants et la valeur actuelle nette cumulative continue d'augmenter d'année en année. Les coûts d'exploitation et de maintenance, relativement modestes, tirent profit des investissements de la phase III pour générer des avantages significatifs à plus long terme.

FIGURE 8.1 Flux économiques et financiers annuels des investissements de la phase III, avec avantages « réalistes » et taux d'actualisation de 5 %



8.5 Récapitulatif de l'analyse des avantages socio-économiques

L'analyse coûts-avantages confirme l'efficacité économique des trois phases d'investissement, c'est-à-dire leur capacité à générer des avantages socio-économiques supérieurs aux coûts induits. Les avantages générés sont, dans tous les cas, nettement supérieurs aux coûts. Dans le plus pessimiste des scénarios, où l'on suppose des avantages réalistes et des dépassements de coûts de 30 %, les ratios avantages/coûts de toutes les phases d'investissement sont supérieurs à 2,2. Pour ce qui est des hypothèses les plus réalistes, les ratios avantages/coûts de toutes les phases se situent entre 2,9 et 5,0.

Les résultats de la présente analyse sont considérés comme étant plutôt robustes, au vu de l'approche et des hypothèses très conservatrices retenues. Selon Hallegatte

et al. (2017), un accès universel aux systèmes d'alerte précoce contribuerait à multiplier par deux les avantages générés par une réduction des pertes matérielles, en réduisant également les pertes de « bien-être ». En raison de leur intangibilité, les avantages sociaux — par exemple, la contribution à la réduction de la pauvreté — n'ont pas été inclus dans l'analyse, ce qui suggère à nouveau que les avantages générés par les investissements proposés sont probablement largement sous-estimés. Le fait de sauver des vies, principal avantage d'un système d'alerte précoce, n'est pas non plus pris en compte. Cet aspect a été délibérément omis pour des considérations éthiques qui contestent l'attribution d'une valeur économique aux vies humaines, même au titre d'approches dites « neutres », comme celle de la « valeur statistique d'une vie humaine ». Cette omission renforce le caractère conservateur de l'analyse.

La valeur actuelle nette et le ratio avantages/coûts des investissements proposés augmentent à mesure que les effets hydrométéorologiques augmentent. Les avantages des systèmes d'alerte précoce ne sont limités par aucun seuil : les systèmes d'alerte précoce contribuent à réduire les conséquences des inondations, qu'elles aient une période de retour de 25 ou 50 ans (tandis que les digues ou autres mesures structurelles peuvent voir leurs seuils de conception dépassés).

Les systèmes d'alerte précoce continuent de générer des avantages à mesure que la population tunisienne augmente et que la productivité économique s'accroît. Les développements et investissements futurs profiteront également de l'amélioration des prévisions et des systèmes d'alerte précoce, contrairement (à nouveau) aux ouvrages structurels de contrôle des inondations, comme avec la construction de nouvelles digues pour la protection

des nouvelles extensions. L'absence de prise en compte de ces deux facteurs (changement climatique et croissance démographique/économique) confirme, une fois de plus, la sous-estimation des avantages réels du programme.

Bien que les trois phases d'investissement soient économiquement efficaces (à savoir une valeur actuelle nette supérieure à 0 et un ratio avantages/coûts supérieur à 1), l'analyse montre que la phase III est plus efficace que la phase II, qui est elle-même plus efficace que la phase I. Aussi, les phases II et III procurent à la Tunisie des avantages absolus nettement supérieurs. Ces investissements de haut niveau — relativement peu coûteux et économiquement efficaces participent à la protection de la vie et des biens de la population et au développement économique et à la résilience. Ils devraient, de ce fait, faire l'objet d'un financement prioritaire.



© stockcam | Stock.com

9

CONCLUSIONS ET FUTURES VOIES DE RÉFLEXION

Les étapes stratégiques nécessaires pour moderniser les produits et services hydrométéorologiques en Tunisie sont principalement déterminées par les besoins de la communauté des utilisateurs. Il ressort de discussions approfondies avec la direction et le personnel technique de l'Institut national de la météorologie et du ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche/de la Direction générale des ressources en eau et de la Direction générale des barrages et des grands travaux hydrauliques (principaux prestataires de services hydrométéorologiques) et les principales parties prenantes (c'est-à-dire le ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche/le Bureau de la planification et des équilibres hydrauliques, le ministère de l'équipement/la Direction générale de l'hydraulique urbaine, le ministère des Affaires locales et de l'Environnement, l'Office national de la protection civile, ainsi que les partenaires de développement et les bailleurs de fonds) s'occupant des questions les plus urgentes pour le pays, telles que la gestion et la réponse aux urgences, la gestion de l'eau, l'agriculture et l'environnement, que ces besoins ne sont pas entièrement satisfaits. Les prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie ont pris du retard, faute de ressources, dans l'accès aux technologies et outils les plus récents pour surveiller les conditions météorologiques et climatiques et produire des prévisions, et dans le respect des meilleures pratiques et normes pour fournir des services.

Les parties prenantes ont clairement indiqué la nécessité de moderniser l'infrastructure des prestataires de services météorologiques et hydrologiques en Tunisie afin de produire des services adaptés à leurs besoins. Cela implique la mise en place de systèmes d'observation et de surveillance actualisés, de systèmes de gestion des données, d'un système de prévision capable de produire des prévisions à toutes les échelles (des prévisions immédiates et à très court terme aux prévisions à long terme/saisonnnières) ainsi que des prévisions basées sur les effets des aléas, des services hydrologiques et des prévisions de crues, d'un système TIC capable de transmettre, de traiter et de stocker les données des différentes composantes des réseaux d'observation de manière harmonisée et efficace, et de systèmes de prestation de services efficaces.

Il existe un intérêt mutuel potentiel à une collaboration plus étroite entre l'INM et le MARHP/la DGRE et la DGBGTH, et le MEH la DHU. Les facteurs cités ci-dessus expliquent que l'évaluation et la modernisation de ces prestataires de services météorologiques et hydrologiques aient été le principal objectif de cette feuille de route. Cette dernière propose trois phases (chacune s'appuyant sur la précédente) pour les moderniser, ainsi que le soutien à l'ONPC pour améliorer les services d'alerte précoce. Le niveau de complexité et les ressources requises sont différents pour chaque phase, comme indiqué ci-dessous.

Phase I : activités immédiates à court terme. Cette phase prévoit des investissements pour soutenir les activités hautement prioritaires visant à améliorer les services publics de base en introduisant de nouvelles technologies dans les institutions concernées et en formant leur personnel afin de renforcer leurs capacités et leurs compétences (immédiat à court terme : durée de deux à trois ans). La mise en œuvre de cette phase nécessite le recrutement de 14 personnes supplémentaires. Le coût d'investissement de cette phase est estimé à 20,5 millions de dollars, et le coût annuel de fonctionnement est de 1,03 million de dollars.

Phase II : activités à moyen terme. Cette phase réalise des investissements pour améliorer modestement la capacité à fournir des services météorologiques, climatiques et hydrologiques qui répondent aux besoins de service public des communautés d'utilisateurs les plus importantes, notamment la gestion des catastrophes, les transports, l'agriculture et la gestion des ressources en eau (moyen terme : durée de deux ans en plus de la phase I). La mise en œuvre de cette phase doit suivre celle de la phase I et devrait coûter 16,65 millions de dollars supplémentaires. La mise en œuvre de la phase II nécessite de recruter 11 employés supplémentaires et présente un coût de fonctionnement de 1,86 million de dollars par an (après la mise en œuvre des phases I et II).

Phase III : activités à long terme. Cette phase prévoit des investissements visant à doter les institutions concernées des capacités nécessaires pour fournir des données, des prévisions et des services d'alerte adaptés à la sécurité du public, ainsi qu'un soutien au développement des secteurs socio-économiques les plus importants (long terme : durée de deux ans au-delà des phases I et II). La mise en œuvre de cette phase doit suivre les phases I et II et devrait coûter 5,4 millions de dollars supplémentaires. La mise en œuvre de la phase III nécessite de recruter 6 employés supplémentaires et un coût de fonctionnement de 2,13 millions de dollars par an (après la mise en œuvre des phases I, II et III).

L'analyse coûts-avantages indique que les trois phases d'investissement proposées sont économiquement efficaces, ce qui signifie qu'elles produiront des avantages socio-économiques supérieurs à leurs coûts (5,5:1). Dans tous les cas, les avantages générés à long terme sont supérieurs aux coûts.

Pour atteindre les résultats de la phase III, deux conditions principales devront être remplies : i) le gouvernement doit être en mesure de diriger les ressources disponibles des projets existants pour soutenir les activités visant à moderniser les infrastructures d'observation, de TIC et de prévision des prestataires de services météorologiques et hydrologiques et à améliorer la prestation de services ; et ii) le gouvernement doit être en mesure d'augmenter de manière significative leur personnel en recrutant 31 spécialistes et techniciens formés, et doit allouer des ressources financières supplémentaires pour exploiter leurs systèmes modernisés.

L'élaboration d'un concept d'opérations est essentielle pour la planification et la mise en œuvre détaillées de chaque phase.

ANNEXE 1. THÈMES DE FORMATION RETENUS PAR LES PRESTATAIRES DE SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

Programme d'assistance technique de la Banque mondiale

Appui au renforcement des capacités/Thèmes de formation proposés par l'INM (Priorité élevée)

Direction	Thème de formation	Objectif	Population cible	Nombre de participants
Recherche et développement en météorologie	Pollution atmosphérique	Renforcement des capacités en matière de modélisation de la dispersion atmosphérique dans le cadre du projet NETTUNIT	Ingénieurs de l'équipe du projet NETTUNIT	3
	Pollution maritime	Renforcement des capacités en matière de modélisation de la dérive d'hydrocarbures en mer dans le cadre du projet NETTUNIT	Ingénieurs de l'équipe du projet NETTUNIT	3
	Prévision numérique du temps : Assimilation des données	Renforcement des capacités dans le domaine de l'assimilation des données (EUMETSAT DATA et algorithmes). Mise en service d'une chaîne d'assimilation des données à l'INM pour améliorer la prévision du temps	Ingénieurs PNT	2
	Exploitation des données et produits des satellites météorologiques	Estimation à partir des données satellites, notamment la pluie, l'humidité du sol et l'évapotranspiration afin de répondre entre autres à différents besoins agricoles	Ingénieurs du service hydro-agro, prévision générale et prévision numérique du temps	3
Planification, qualité et relations internationales	Stratégie de développement de l'INM	Élaboration d'une nouvelle stratégie de développement de l'INM 2021-2025 et mise en place d'un nouveau plan stratégique pour l'INM	Personnel responsable de la planification	2
	Tableau de bord de direction	Mise en place et gestion d'un tableau de bord global de l'INM tenant compte de ses spécificités techniques, scientifiques et administratives	Directeurs	7

Appui au renforcement des capacités/Thèmes de formation proposés par l'INM (Priorité élevée) (cont.)

Direction	Thème de formation	Objectif	Population cible	Nombre de participants
Production	Prévision marine	Utilisation des données des altimètres et diffusiomètres pour la production de prévisions marines	Cadres du service de prévisions marines	
		Exploitation des imageries satellitaires en météorologie marine		
		Effets des marées et de la surcote sur l'activité maritime		
	Vigilance des vagues de submersion	Procédure « Vigilance des vagues de submersion »		
	Produits du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF)	Initiation aux produits de l'ECMWF : prévision d'ensemble et prévision probabiliste	Cadres de la prévision générale	
	Vigilance	Formation sur la vigilance et les systèmes d'alerte précoce à l'ECMWF		
	Convection profonde	Prévision de la convection profonde		
	Prévision des phénomènes	Prévision des phénomènes hydrométéorologiques à fortes précipitations dans les régions des latitudes moyennes.		
	Communication et gestion des crises	Communication et gestion des situations à enjeux météorologiques (formation et organisation des cellules de crises).		
Aéronautique	Phénomènes dangereux pour l'aéronautique	Cadres de la prévision aéronautiques		
Production	Data rescue	Assistance technique projet « data rescue »	Personnel responsable de la gestion de la base de données	
	Adaptations statistiques	Méthodes d'adaptations statistiques, méthodes autoadaptatives des prévisions météorologiques	Service d'adaptation et contrôle des prévisions	

Appui au renforcement des capacités/Thèmes de formation proposés par l'INM (Priorité élevée) (cont.)

Direction	Thème de formation	Objectif	Population cible	Nombre de participants
Technologies de l'information et de l'observation	Gestion des systèmes d'observation	Gestion des réseaux d'observation et la base des données météorologique (développement des outils et méthodes)	Personnel responsable pour le système de gestion et le système d'observation (SGSO)	03
		Mise en place des indicateurs de performance du réseau d'observation (mesure de l'efficacité)		
		Développement des produits d'observation et service dans le cadre de la mise en place d'un service d'alerte précoce dédié à la sécheresse et aux inondations	Personnel SGSO et groupe de travail Service d'alerte précoce	04
		Couplage du modèle de prévision météorologique de l'INM avec un modèle hydrologique sur la Medjerda (exemple)	Agro et cadres Systèmes d'observation	02
		Développement des produits « Observation » et applications des images de Satellites Meteosat de seconde génération pour le suivi des précipitations	Prévisionnistes et cadres Systèmes d'observation	02
	Observation spatiale et télédétection	Formation sur les radars hydrométéorologiques : technologie, exploitation des produits et maintenance	Équipe projet Radar	04
		Radar profileur de vent : technologie, traitement et exploitation des produits		
		Mise en place d'un réseau de capteur de foudre et intégration des données dans le système automatique d'observation d'aérodrome	Système d'observation et de maintenance (centrale et régionale)	02

Appui au renforcement des capacités/Thèmes de formation proposés par l'INM (Priorité élevée) (cont.)

Direction	Thème de formation	Objectif	Population cible	Nombre de participants
Technologies de l'information et de l'observation	Observation spatiale et télédétection	Systèmes d'observation marine : les radars UHF et les bouées	Personnels Systèmes d'observation et maintenance + service marine	02
		Développement des produits composites à partir des images satellites météorologiques (système MTG)	Prévisionnistes et cadres Systèmes d'observation	02
	Étalonnage et maintenance	Formation en étalonnage des capteurs météorologiques	Personnel Labo Métrologie	02
		Maintenance des équipements spécifiques : capteurs temps présent et de ses composants, télémètres de hauteur de base des nuages, enregistreur de données...	Cadres et techniciens maintenance centrale et régionale	02
	Systèmes d'information et de communication	Formation sur le système de management de continuité de l'activité (PCA) conformément à la norme ISO 22301	Système d'information et communication	03
		Formation administrateur réseau Cisco certifié CCNA		04
		Virtualisation des systèmes informatiques		04
	Unités régionales et marketing	Images et données satellitaires	Analyse et exploitation des images et données satellitaires pour la prévision immédiate	-
Optimisation et automatisation des réseaux d'observation		Optimisation et automatisation des réseaux d'observation pluviométriques	-	-
Utilisation des services d'alerte précoce multirisques		Utilisation des services d'alerte précoce multirisques pour l'atténuation des effets des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes	-	-
Technique de communication		Technique de communication relative à l'exploitation des données météorologiques et climatologiques par les différents secteurs économiques	-	-
Géophysique et astronomie	Seiscomp3	Installation et configuration complète et détaillée du logiciel Seiscomp3.	Ingénieurs et techniciens	03

Programme d'assistance technique de la Banque mondiale :
Appui au renforcement des capacités/Thèmes de formation proposés par l'INM (Priorité d'ordre 2 et 3)

Direction	Thème de formation	Objectif	Population cible	Nombre de participants
Recherche et développement en météorologie	Prévision numérique du temps (PNT) : analyse de la surface	Contribution à l'amélioration de la qualité des prévisions notamment à mésoéchelle	Ingénieurs PNT	2
	Prévision numérique du temps : Aspects microphysiques des modèles de prévision	Contribution à l'amélioration de la qualité des prévisions notamment à mésoéchelle	Ingénieurs PNT	2
	Changements climatiques	Renforcement des capacités dans le domaine de la modélisation climatique (projections climatiques)	Ingénieurs du service E3C	2
Production	Prévision marine	Modélisation des vagues et utilisation des modèles de vagues (wave watch III)	Cadres du Service prévisions marines	
		Météorologie marine		
		Utilisation et interprétation des produits de l'ECMWF (marine)		
		Formation sur l'assimilation des données satellitaires ECMWF/ EUMETSAT NWP-SAF		
		ecCodes : Logiciel de décodage et d'encodage de données GRIB (Marine)		
		Exploitation et interprétation des produits SAF Nowcasting (marine)		
	Prévisions générales	Influence des changements climatiques sur les phénomènes extrêmes dans les régions de moyennes latitudes.	Cadres de la prévision générale	
		Développement des connaissances sur l'exploitation des images des satellites défilants (sol, végétation, feux...).		
	Aéronautique	Normes et réglementations OMM/ OACI	Cadres de la prévision aéronautiques	

Appui au renforcement des capacités/Thèmes de formation proposés par l'INM (Priorité d'ordre 2 et 3) (cont.)

Direction	Thème de formation	Objectif	Population cible	Nombre de participants
Production	Contrôle de qualité des données	Amélioration du système de gestion des données climatiques de l'INM : développer des méthodes avancées de contrôle de qualité des données	Service de gestion des données climatologiques/ Service des produits climatologiques	
	Climatologie statistique	Climatologie statistique et modélisations statistiques des séries chronologiques	Service de gestion des données climatologiques/ Service des produits climatologiques	
	Cartographie	Formation en ARCVIEW, ARCGIS ou IDRISI GIS pour la cartographie	Service d'adaptation et contrôle des prévisions	
Technologies de l'information et de l'observation	Gestion des compétences	Gestion des compétences	Cadres de la SGSO	05
Unités régionales et marketing	Images et données satellitaires	Analyse et exploitation des images et données satellitaires pour la prévision immédiate	-	-
	Optimisation et automatisation des réseaux d'observation	Optimisation et automatisation des réseaux d'observation pluviométriques	-	-
	Utilisation des services d'alerte précoce multirisques	Utilisation des services d'alerte précoce multirisques pour l'atténuation des effets des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes	-	-
	Technique de communication	Technique de communication relative à l'exploitation des données météorologiques et climatologiques par les différents secteurs économiques	-	-
Géophysique et Astronomie	Inversion sismique	Élaborer un modèle de vitesse de croute 3 D allant jusqu'à 300 km de profondeur pour la Tunisie et le bassin Tunisie-Italie.	Ingénieurs et techniciens	02
		Élaboration de cartes de mouvement du sol « shakeMaps »		02
	Calibrage des sismomètres	La méthodologie et les travaux pratiques pour la maintenance et le calibrage des sismomètres		02

ANNEXE 2 : PROJETS CLÔTURÉS ET EN COURS

	Intitulé du programme/ projet	Bailleurs de fonds/Agences de mise en œuvre	État d'avancement (période de mise en œuvre comprise)	Organisations impliquées/ bénéficiaires	Budget	Description
1	Appui institutionnel au renforcement des capacités de l'INM (projet de jumelage entre l'INM et Météo- France)	Commission européenne	Clôturé 2015-2018	INM Météo-France		Le principal résultat du projet a été le renforcement des capacités de l'INM — Tunisie. Résultats : <ul style="list-style-type: none"> » Renforcement du cadre réglementaire et coopération institutionnelle l'INM et les autres acteurs du domaine de la météorologie (temps et climat) et de la géophysique » Renforcement des capacités managériales et organisationnelles de l'INM » Renforcement des capacités techniques de l'INM. » Développement des services commerciaux de l'INM (aux côtés des services météorologiques destinés à la navigation aérienne)
2	Adapt'Action Tunisie	AFD	En cours (2019...)	INM ME MARHP		Le principal résultat du projet est le renforcement des capacités de l'INM en prestation de services météorologiques et de celles du ministère de l'Environnement (en coordination avec d'autres ministères) pour l'évaluation des effets du changement climatique sur les différents secteurs. Résultats : <ul style="list-style-type: none"> » Portail de la météorologie » Calcul des 27 indices d'extrêmes climatiques l'OMM » Esquisse des tendances et projections climatiques à la lumière des scénarios de changement climatique intermédiaire (RCP4.5) et pessimiste (RCP 8.5), à l'aide des modèles EUROCORDEX » Évaluation des effets du changement climatique sur les secteurs socio-économiques en Tunisie, notamment sur le secteur agricole, à la lumière des données météorologiques produites par l'INM (statistiques, tendances, projections, etc.)

	Intitulé du programme/ projet	Baillleurs de fonds/Agences de mise en œuvre	État d'avancement (période de mise en œuvre comprise)	Organisations impliquées/ bénéficiaires	Budget	Description
3	Élaboration de la vision et de la stratégie du secteur de l'eau à l'horizon 2050 (EAU 2050)	Facilité africaine de l'eau BAFD KFW GIZ	En cours (2018...)	MARHP (BPEH), en coordination avec tous les ministères concernés par la question de l'eau	1,5 million d'euros	La stratégie EAU 2050 vise à mettre en œuvre une nouvelle approche intégrée de gouvernance de l'eau, basée sur la gestion de la demande plutôt que sur celle de l'offre. Les principales composantes de cette stratégie sont : » La définition d'une vision sur le long terme (horizon 2050), basée sur le diagnostic de la situation du secteur de l'eau et des études prospectives sous-sectorielles. » L'utilisation de cette vision dans l'élaboration d'une stratégie de définition des objectifs et de détermination des moyens nécessaires à leur réalisation. » La définition des termes de référence nécessaires à la planification, la traduction de la stratégie élaborée en activités et objectifs concrets et la détermination des moyens nécessaires à leur mise en œuvre.
4	Projet d'amélioration de la gestion des ressources en eau et d'adaptation au changement climatique en Tunisie (Composante du système d'assimilation des données terrestres, SADT)	Fonds pour l'environnement mondial Banque mondiale	Clôturé (2012 – 2015)	CNCT MARHP INM Autres services concernés par la question de l'eau	1,5 million de dollars	Le projet a eu pour objectifs généraux : a) la prévision et la cartographie des inondations, b) la cartographie des terres agricoles irriguées et l'évaluation des cultures, c) l'étude des épisodes de sécheresse, d) l'étude du changement climatique et e) l'étude des ressources en eaux souterraines. Dans le cadre de la composante SADT (Système d'assimilation des données terrestres), dont l'objectif est d'estimer le débit en amont du barrage de Sidi Salem, le Centre national de la cartographie et de la télédétection (CNCT), en collaboration avec d'autres partenaires, comme le MARHP, a procédé à l'introduction du modèle de CREST (modèle couplé routage et stockage des excédents) au niveau de la DGRE pour la prévision des inondations en temps réel. L'axe « changement climatique », qui implique l'INM, consiste à produire des projections de scénarios de changement climatique à fine résolution pour 2050 et 2100 pour les précipitations et températures, en recourant à une réduction d'échelle statistique et dynamique.

	Intitulé du programme/ projet	Bailleurs de fonds/Agences de mise en œuvre	État d'avancement (période de mise en œuvre comprise)	Organisations impliquées/ bénéficiaires	Budget	Description
5	Programme d'investissement dans le secteur de l'eau – phase I (PISEAU I)	Facilité africaine de l'eau Gouvernement tunisien Banque mondiale AFD KfW	Clôturé (2001- 2007)	MARHP ME Autres services concernés par la question de l'eau	187,43 millions d'euros	<p>Le projet PISEAU avait pour principaux objectifs : i) la promotion de la gestion intégrée des ressources en eau par la mise en place et en œuvre d'un cadre institutionnel, la mise en œuvre de réformes sectorielles, l'amélioration des capacités de fonctionnement des principaux intervenants et une meilleure gestion de l'eau en temps réel et ii) la promotion de la conservation/protection des ressources en eau.</p> <p>PISEAU I a permis la mise en place de périmètres irrigués et de réseaux d'eau potable, le renforcement des capacités des groupements de développement agricole et la conception, par un bureau spécialisé en informatique, du Système d'information national sur l'eau (SINEAU), initialement axé sur les ressources en eau. L'architecture organisationnelle, technique et fonctionnelle de la version initiale de SINEAU a été mise à l'étude et des spécifications techniques ont été établies pour le développement de SINEAU et l'acquisition du matériel informatique et des logiciels adéquats.</p>
6	PISEAU II	Facilité africaine de l'eau Gouvernement tunisien Banque mondiale AFD KfW	Clôturé (2008-2013)	MARHP ME Autres services concernés par la question de l'eau	122 millions d'euros	<p>PISEAU II avait pour objectif de promouvoir une gestion efficace et intégrée des ressources en eau conventionnelles (mobilisées par les barrages, les lacs de montagnes, les forages et les puits de surface) et des ressources en eau non conventionnelles (eaux usées et saumâtres), afin de permettre à la Tunisie de mieux relever les défis liés à la rareté des ressources en eau de qualité auxquels elle est actuellement confrontée. PISEAU II est un outil de gestion de la pénurie d'eau qui requiert la participation de toutes les parties concernées par la gestion des ressources et infrastructures et la promotion de systèmes de tarification appropriés. Résultats obtenus :</p> <ul style="list-style-type: none"> » Extension du réseau hydrologique » Mise en œuvre de SYGREAU (Système de gestion des ressources en eau) » Création de laboratoires dans les régions.

	Intitulé du programme/ projet	Baillleurs de fonds/Agences de mise en œuvre	État d'avancement (période de mise en œuvre comprise)	Organisations impliquées/ bénéficiaires	Budget	Description
7	Stratégie de gestion des risques d'inondation en milieu urbain	Banque mondiale	En cours	MEH (DHU)		Élaboration des termes de référence pour la mise en œuvre d'une stratégie de réduction des risques d'inondation en milieu urbain. Les éléments identifiés : a) prise en compte, lors de la planification et de l'aménagement, des informations hydrométéorologiques et du changement climatique, b) mise en place d'un système d'observation des inondations dans les villes et identification des niveaux critiques et c) amélioration des délais d'exécution des alertes et avertissements.
8	Gestion intégrée des bassins, axée sur le contrôle des inondations dans la vallée de la Medjerda	JICA	En cours	MARHP (DGBGTH)		Le projet s'attèle à la gestion intégrée du bassin, en mettant l'accent sur le contrôle des inondations dans le bassin de la Medjerda, dans la zone en aval entre Laroussia et le pont de Kalaat Landalous. Un plan directeur a été élaboré et mis en œuvre. Il prévoit la construction de digues et de bassins de contrôle des inondations, aux côtés d'un ensemble d'autres mesures structurelles. Le plan prévoit également des mesures non structurelles, comme les systèmes d'alerte et de prévision des inondations, les systèmes de lutte contre les inondations, les systèmes d'évacuation, le renforcement des compétences organisationnelles et la gestion des restrictions en matière d'utilisation des terres dans la plaine inondable. Quelques expérimentations ont été menées et impliqué des modélisations à l'aide du logiciel Mike.
9	Stockage de l'eau et protection contre les inondations dans le bassin versant de la Medjerda	KfW	En cours	MARHP (DGRE et DGBGTH)	262 millions d'euros	Le projet porte sur : a) la construction du barrage de Raghai, b) la surélévation du barrage de Bouhertma, c) la protection contre les inondations de la haute vallée de la Medjerda par la construction de digues, de canaux de dérivation et d'autres infrastructures de protection. Pour le contrôle des inondations dans le bassin de la Medjerda — zone en amont, les activités suivantes en cours de réalisation : a) la modélisation hydrologique/hydraulique de la Medjerda en temps réel (DGRE), compte tenu des forages de barrages (DGRE - DGBGTH) et mise en œuvre des mesures structurelles.

	Intitulé du programme/ projet	Bailleurs de fonds/Agences de mise en œuvre	État d'avancement (période de mise en œuvre comprise)	Organisations impliquées/ bénéficiaires	Budget	Description
10	Système d'information national sur l'eau (SINEAU)	Facilité africaine de l'eau BAFD GIZ	Clôturé (2008-2013)	MARHP MEDD ANPE INS	3,35 millions d'euros	<p>Le projet avait pour objectif d'optimiser la gestion des ressources en eau de surface et souterraines et des sols agricoles dans les périmètres irrigués, en mettant en place des systèmes de surveillance utilisant des données standardisées et interopérables, stockées dans un système d'information unique (SINEAU) qui intègre les différents aspects, pour : i) mieux assimiler la situation actuelle des ressources en eau et en sols irrigués, ii) suivre leur évolution et iii) aider à la prise de décisions préventives.</p> <p>Les principaux résultats du projet sont : a) la mise en service de la base de données SYGREAU et son accès en ligne (avec toutes les données existantes), b) l'ouverture de l'accès en ligne au système d'information national sur les eaux et les sols irrigués et sa mise à disposition des décideurs nationaux et ic) la prise de décisions plus rationnelles en matière d'utilisation et de conservation de l'eau et des sols agricoles irrigués.</p>
11	Création d'un observatoire territorial des relations eau - agrométéorologie et production agricole	GIZ	En cours	MARHP (DGACTA)		<p>La Stratégie Eau 2050 plaide pour la création d'un observatoire territorial des relations entre eau – agrométéorologie et production agricole.</p>
12	Agriculture durable	GIZ	En cours	MARHP		<p>Le projet met à profit les informations hydrométéorologiques (y compris l'installation de stations hydrométriques) pour instaurer une agriculture durable.</p>
13	Protection et réhabilitation des sols dégradés	GIZ	En cours	MARHP		<p>Le projet met particulièrement l'accent sur l'adaptation au changement climatique.</p>
14	Système d'alerte précoce destiné à la gestion des risques d'extrêmes climatiques en Tunisie — étude de faisabilité	KfW	Clôturé (2016)	ME		<p>Le projet ne porte que sur l'étude de faisabilité pour la mise en œuvre d'un système d'alerte précoce destiné à la gestion des risques d'extrêmes climatiques en Tunisie. Les activités décrites dans l'étude de faisabilité n'ont pas été mises en œuvre.</p>

	Intitulé du programme/ projet	Bailleurs de fonds/Agences de mise en œuvre	État d'avancement (période de mise en œuvre comprise)	Organisations impliquées/ bénéficiaires	Budget	Description
15	Système d'alerte précoce dans 3 communes	PNUD	En cours	ME ONPC		Le projet prévoit la mise en place de système d'alerte précoce au niveau local, dans les 3 communes d'Ain Draham, de Bousalem et de Tataouine, en coordination avec l'ONPC. Des centres de gestion des risques et des stations météorologiques sont en cours d'instauration dans ces 3 communes. Les spécifications des stations météorologiques ont été élaborées en collaboration avec l'INM.
16	Système d'alerte précoce	AFD	En cours	ONPC		Le projet entend accompagner l'ONPC dans l'optimisation des cursus de l'ENPC et la mise en place d'une plateforme d'intégration de l'intégralité des éléments existants des services d'alerte précoce.
17	Partenariat mondial pour la préparation aux catastrophes (GPP)	Programme alimentaire mondial (PAM)	En cours	Toutes les parties prenantes concernées par les systèmes d'alerte précoce, notamment l'ONPC et le ME		Le projet met l'accent sur les aspects institutionnels de la réduction des risques de catastrophe. Ces principales réalisations sont : <ul style="list-style-type: none"> » La mise en place d'un comité en charge du Partenariat mondial pour la préparation aux catastrophes (GPP), » La formulation d'une déclaration commune, qui définit un programme de préparation et d'intervention d'urgence couvrant les points suivants : a) les services d'urgence/dispositifs de veille et de prépositionnement, b) l'analyse des dangers/risques et les systèmes d'alerte précoce, c) le cadre institutionnel et le financement des risques, d) la planification de la coordination et de l'urgence, e) la gestion de l'information et de la communication et f) la sensibilisation aux vulnérabilités.
18	Résilience côtière	PNUD	En cours	APAL		Le projet ambitionne de mettre en place un système d'observations côtières, incluant des bouées et de systèmes d'information et d'aide à la prise de décision sous forme de système d'alerte précoce dédiés aux zones côtières.

Source : avec l'autorisation des partenaires de développement et des bailleurs de fonds

ANNEXE 3. MODÈLE DE PROGRESSION DE LA PRESTATION DE SERVICES

Le modèle de progression de la prestation de services est adapté de la stratégie de prestation de services de l'OMM et de son plan de mise en œuvre (OMM 2014). Ce modèle sert à déterminer le niveau de développement auquel se situe le SMHN et à élaborer un plan d'action pour améliorer la prestation de services. Plus de détails sur le lien suivant : http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/documents/WMO-SSD-1129_en.pdf

	Application à venir	Application lancée	Application en cours	Application réalisée	Application avancée
<p>Premier principe de la stratégie : Connaître les besoins des utilisateurs et les décisions qui leur incombent</p>	On ne connaît ni les utilisateurs ni leurs besoins en matière de produits ou de services.	Les utilisateurs sont connus, mais il n'existe pas de moyen d'assurer leur participation. Les besoins des utilisateurs en matière de prestation de services ne sont pas bien définis.	Les utilisateurs peuvent contacter le SMHN et leurs commentaires sont enregistrés. Il existe certains processus structurés pour tenir compte des commentaires reçus lors du développement des services. Les besoins des utilisateurs sont connus et décrits dans quelques documents.	Le SMHN sollicite de manière ponctuelle l'avis des utilisateurs pour faciliter le développement des services. Les besoins sont décrits dans des documents qui sont établis de concert avec le client, mais qui ne sont pas actualisés régulièrement.	Les besoins des utilisateurs et les services qu'ils reçoivent font l'objet d'un dialogue constant. Les besoins sont décrits dans des documents établis de concert avec le client, qui sont actualisés régulièrement en fonction des commentaires des utilisateurs.

	Application à venir	Application lancée	Application en cours	Application réalisée	Application avancée
<p>Deuxième principe de la stratégie : Élaborer et fournir des services qui répondent aux besoins des utilisateurs</p>	La notion de service n'existe pas, les produits sont simplement fournis	Les services ne s'adaptent pas à l'évolution des besoins des utilisateurs et aux nouvelles technologies. Les produits et les services sont étayés par quelques informations descriptives.	Les services sont élaborés et modifiés selon ce que permet la technologie, mais la participation des utilisateurs est ponctuelle. Les produits et les services sont documentés ; les changements sont notifiés aux responsables grâce à ces informations.	Les commentaires des utilisateurs servent à informer la direction des changements et à développer les services. Les produits et les services sont systématiquement documentés. Des accords sur les niveaux de service sont définis	On consulte les utilisateurs pour faciliter le développement des produits et des services. Les services définis dans les accords sur les niveaux de service sont convenus avec le client, après consultation des utilisateurs.

<p>Troisième principe de la stratégie : Évaluer et surveiller la qualité et l'efficacité des services</p>	<p>Application à venir Aucune mesure ne permet d'évaluer la qualité, sur le plan de l'exactitude ou de la prestation de services</p>	<p>Application lancée Certaines mesures d'amélioration sont en place. Une vérification de l'exactitude et/ou de la prestation de services a lieu, mais aucune procédure systématique ne permet d'utiliser cette information pour améliorer les services.</p>	<p>Application en cours Des mesures de vérification de l'exactitude et de la prestation de services existent, mais elles ne tiennent pas compte des besoins des utilisateurs.</p>	<p>Application réalisée Les besoins des utilisateurs sont intégrés dans la mesure de la qualité. Les résultats servent à déterminer les aspects à améliorer. Des mesures de suivi sont prises de manière ponctuelle.</p>	<p>Application avancée La mesure de la qualité repose sur les besoins des utilisateurs, lesquels sont communiqués régulièrement et servent systématiquement à orienter les décisions d'amélioration.</p>
<p>Quatrième principe de la stratégie : Améliorer constamment la prestation de services</p>	<p>Application à venir Il n'existe aucune notion de prestation de services.</p>	<p>Application lancée La notion de prestation de services a été introduite et une évaluation du niveau actuel est en cours.</p>	<p>Application en cours Un plan d'action a été établi en vue d'améliorer le niveau actuel de la prestation de services et les ressources nécessaires à la mise en œuvre ont été déterminées.</p>	<p>Application réalisée Le plan d'action est mis en œuvre en vue d'améliorer la prestation de services et les résultats sont suivis.</p>	<p>Application avancée Le niveau de la prestation de services est examiné régulièrement. Le plan d'action évolue en fonction des résultats des examens.</p>
<p>Cinquième principe de la stratégie : Développer les compétences nécessaires à la prestation de services</p>	<p>Application à venir Il n'existe aucune notion de prestation de services ni communication des principes correspondants.</p>	<p>Application lancée La prestation de services ne donne lieu à aucune formation structurée, mais les principes correspondants sont transmis de manière informelle.</p>	<p>Application en cours La majorité du personnel du SMHN est consciente de l'importance de la prestation de services. Une certaine formation structurée est offerte.</p>	<p>Application réalisée Tout le personnel est parfaitement informé. Une formation structurée est offerte. Le personnel peut, ponctuellement, avancer des idées pour améliorer la prestation de services.</p>	<p>Application avancée Il existe une culture de la meilleure prestation de services qui soit. Des idées originales sont régulièrement intégrées dans le processus d'amélioration.</p>
<p>Sixième principe de la stratégie : Mettre en commun les connaissances et les meilleures pratiques</p>		<p>Application à venir Les SMHN sont encouragés à diffuser les bonnes pratiques en matière de prestation de services par le biais d'activités de formation structurée, de jumelage, de mentorat, etc.</p>	<p>Application lancée</p>	<p>Application en cours</p>	<p>Application avancée</p>

ANNEXE 4. MODÈLE DE PROGRESSION DE L'OBSERVATION ET LES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Application à venir	Application lancée	Application en cours	Application réalisée	Application avancée
<p>Le SNHM (Système national hydrologique et météorologique) est composé d'un petit nombre de stations synoptiques manuelles et hydrologiques. Il n'y a pas de partage de données des stations via le Système mondial de télécommunications (SMT).</p>	<p>Le SNHM est en mesure de prendre en charge un réseau météorologique synoptique et hydrologique. Il y a partage de données via le SMT.</p> <p>Le SNHM dispose des effectifs nécessaires au maintien de ses réseaux d'observation.</p>	<p>Le réseau d'observation est automatisé et le contrôle qualité routinier.</p> <p>Le SNHM a accès aux données satellitaires et peut (par exemple) dériver les estimations de précipitations. Le réseau d'observation est durable et est doté d'un budget suffisant pour les opérations et la maintenance. La structure verticale de l'atmosphère peut être systématiquement mesurée.</p>	<p>Les observations sont étendues jusqu'aux échelles les plus petites et incluent des techniques de télédétection au sol, telles que le radar. Le SNHM est en mesure de recueillir et d'intégrer les observations d'autres sources.</p> <p>Il peut avoir accès aux observations par voie d'externalisation.</p>	<p>Le SNHM procède à des recherches en introduisant de nouvelles technologies et techniques d'observation, au besoin.</p> <p>Le réseau d'observation est exhaustif, capable de répondre aux principaux besoins des utilisateurs et de tenir compte des observations externes, d'autres prestataires, comme un réseau agrométéorologique exploité par le ministère de l'Agriculture ou un réseau hydrologique exploité par le ministère de l'énergie ou des ressources en eau.</p>

Observations et télécommunications

ANNEXE 5. MODÈLE DE PROGRESSION DE LA PRÉVISION ET LA MODÉLISATION

Systèmes de modélisation et de prévision

Application à venir	Application lancée	Application en cours	Application réalisée	Application avancée
<p>Le SNHM fournit des prévisions déterministes sur deux jours, sur la base de produits de prévision graphique obtenus auprès de différentes sources en ligne. Les prévisions ne sont pas vérifiées. Le SNHM n'effectue pas de prévisions 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et n'émet pas d'alertes.</p>	<p>Le SNHM fournit des prévisions déterministes sur trois jours, au moins, en accédant aux produits et données régionaux et mondiaux de la prévision numérique du temps disponibles, du SMT et/ou aux produits graphiques disponibles auprès des centres météorologiques régionaux spécialisés de l'OMM. Le SNHM contrôle le système météorologique et hydrologique actuel et dispose de systèmes de base de traitement et d'archivage des données et procède à des vérifications subjectives des prévisions. Il n'y a aucune activité de recherche et développement et le système de gestion de la qualité est rudimentaire. Le SNHM n'effectue pas de prévisions 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Les alertes sont limitées.</p>	<p>Le SNMH fournit des prévisions allant de zéro à cinq jours en accédant aux produits et données déterministes de la prévision numérique du temps et des systèmes de prévision d'ensemble disponibles auprès des centres de production mondiaux. Le SNHM fournit des prévisions immédiates et à très court terme sur une durée allant jusqu'à 12 heures, sur la base de l'extrapolation combinée des observations de la prévision numérique du temps et de celles de la télé-détection. Le SNHM est capable de surveiller les principaux cours d'eau et de générer des prévisions de débit et d'inondation sur le court terme. Il est doté de protocoles d'urgence et de sauvegarde des données et dispose de produits et d'équipements de stockage hors site. Il effectue des vérifications et des post-traitements. Il englobe des activités de recherche et développement et dispose d'un système de gestion de la qualité. Le SNHM effectue des prévisions 24 heures sur 24, 7 jours sur 7.</p>	<p>Des systèmes de modèles à aire limitée sont disponibles au niveau local ou via les centres régionaux. En se servant de l'assimilation des données locales, le SNHM produit des prévisions à haute résolution et à court terme, en mettant l'accent sur les prévisions de zéro à six heures, notamment pour les événements extrêmes. Le système de prévision s'étend de zéro à au moins sept jours sur la base d'une combinaison de données et de produits nationaux, régionaux et mondiaux déterministes provenant de la prévision numérique du temps et des systèmes de prévision d'ensemble. Le SNHM est en mesure de traiter les données numériques et d'adapter les prévisions à des utilisateurs spécifiques. Il exploite un système d'alertes multirisques et génère des perspectives saisonnières de débit et des produits hydrologiques spécialisés. Ses activités de recherche et développement sont développées. Les relations avec les agences partenaires sont solides et bien établies.</p>	<p>Le SNHM dispose d'un vaste programme de recherche et intègre de nouvelles technologies et techniques de prévision. Il est en mesure de répondre aux exigences d'autres SNHM et capable d'exécuter des systèmes nationaux, régionaux et mondiaux de la prévision numérique du temps et des systèmes de prévision d'ensemble. Les prévisions des conséquences météorologiques et hydrologiques pour certains secteurs spécifiques sont régulières et conjointement élaborées avec les utilisateurs. Le SNHM dispose d'une unité de formation et de sensibilisation développée.</p>

ANNEXE 6. MODÈLE DE PROGRESSION DES SERVICES CLIMATIQUES

Application à venir	Application lancée	Application en cours	Application réalisée	Application avancée
<p>Le SNHM peut exploiter un système national d'observation météorologique à portée limitée. Il recueille les données sur papier et récupère les données météorologiques de différentes sources pour générer des produits météorologiques nationaux. Il participe aux forums régionaux sur les perspectives climatiques et interagit peu ou pas avec les utilisateurs. En règle générale, les SNHM de cette catégorie ne disposent pas des effectifs nécessaires à la prestation de services météorologiques.</p>	<p>Le SNHM conçoit, exploite et entretient des systèmes nationaux d'observation météorologique et gère les données, y compris celles de l'assurance qualité et du contrôle qualité. Il tient et développe les archives de données, surveille les conditions météorologiques, supervise les normes météorologiques, procède à des diagnostics, analyses et évaluations météorologiques, diffuse les produits météorologiques, prend part aux forums régionaux sur les perspectives climatiques, interagit avec les utilisateurs et assure les fonctions d'un centre météorologique national en fournissant des services météorologiques de base. Le personnel maîtrise les statistiques météorologiques, les tests d'homogénéité et les techniques d'assurance qualité.</p>	<p>Le SNHM est en mesure d'élaborer ou de fournir des prévisions météorologiques mensuelles ou à plus long terme, y compris des perspectives météorologiques saisonnières, à statistiques et basées sur des modèles. Il est également en mesure d'organiser ou de prendre part à des forums régionaux et nationaux sur les perspectives météorologiques et interagit avec les utilisateurs de divers secteurs. Il donne une vocation nationale aux produits qu'il reçoit de la part des centres météorologiques régionaux et, dans certains cas, des centres de production mondiaux de prévisions sur le long terme, gère des programmes de surveillance météorologique et diffuse des alertes précoces. Le personnel est suffisamment compétent pour développer et interpréter des produits de prévision météorologique et aider les utilisateurs à les utiliser à bon escient.</p>	<p>Le SNHM produit des prévisions sous-saisonnières et saisonnières, développe des produits météorologiques spécialisés, réduit l'échelle des projections météorologiques à long terme et interprète les prévisions météorologiques annuelles et décennales. Il couvre tous les éléments de la gestion des risques météorologiques (identification des risques, évaluation, planification et prévention des risques, services de réponse et de relèvement, production d'informations pertinentes sur la variabilité et le changement climatiques, formulation de conseils liés à l'adaptation), sensibilise la société aux enjeux du changement climatique et fournit des informations pertinentes pour l'élaboration de politiques et de plans d'action nationaux. Le personnel dispose de bonnes connaissances en matière de modélisation météorologique et de méthodes de réduction d'échelle/étalonnage, de risques et de la gestion des risques, ainsi que des outils financiers pour le transfert des risques.</p>	<p>Le SNHM dispose de bonnes capacités de recherche et gère des modèles météorologiques mondiaux et régionaux (sous-saisonniers à décennaux, voire plus), collabore avec les équipes de recherche sectorielles et développe des modèles d'application, des logiciels et des suites de produits pour des services météorologiques personnalisés. Le personnel dispose d'un bon niveau de maîtrise des techniques de modélisation multidisciplinaire et une expertise statistique et est à même de procéder à des réductions d'échelle, étalonnage des informations mondiales aux niveaux régional et national. Le SNHM est en mesure de répondre aux exigences pour de nouveaux produits.</p>

Services météorologiques

ANNEXE 7. MODÈLE DE PROGRESSION DES SERVICES HYDROLOGIQUES

Services hydrologiques

Application à venir	Application lancée	Application en cours	Application réalisée	Application avancée
<p>Le SNHM peut exploiter et entretenir un très petit réseau d'observation hydrologique, recueillir des données sur papier et interagir peu ou pas avec les utilisateurs. En règle générale, le personnel des SNHM de cette catégorie n'est pas formé en hydrologie.</p>	<p>Les fonctions du SNHM peuvent comprendre l'exploitation et l'entretien d'un petit réseau d'observation hydrologique, la gestion et le traitement basique des données hydrologiques, l'archivage et la communication. Le SNHM dispose de peu ou pas de stockage/sauvegarde hors site et interagit modestement avec les utilisateurs de données et de produits hydrologiques. Il ne dispose d'aucune activité de recherche et développement et le système de gestion de la qualité est rudimentaire. Le SNHM n'entretient aucune relation avec les agences partenaires.</p>	<p>Le SNHM est en mesure d'exploiter et de maintenir un réseau d'observation hydrologique pour surveiller les principaux cours d'eau. Il est à même de s'approprier de certaines observations hydrologiques d'autres parties et de les intégrer. Il exploite un système de gestion des données hydrologiques interopérable et dispose de protocoles bien établis pour les urgences et la sauvegarde des données hydrologiques et dispose d'installations hors site minimales. Le SNHM assure la surveillance du niveau et du débit de l'eau et est capable de générer des prévisions de débit à court terme (faibles débits), des prévisions d'inondation et des produits de données hydrologiques pour la conception et l'exploitation des structures d'approvisionnement en eau. Le SNHM est également en mesure de générer des perspectives saisonnières de débit et des produits hydrologiques spécialisés. Il dispose d'une unité de recherche et développement et d'un système de gestion de la qualité et entretient des relations avec les agences partenaires.</p>	<p>Le SNHM exploite et entretient un réseau d'observation hydrologique complet pour surveiller les cours d'eau les plus importants et certaines petites rivières et relève et intègre les observations hydrologiques d'autres sources. Il exploite un système interopérable et suffisamment bien développé de gestion des données hydrologiques et dispose de protocoles bien établis pour les urgences et la sauvegarde des données hydrologiques, ainsi que d'installations hors site. Le SNHM assure la surveillance du niveau et du débit de l'eau et est capable de générer des prévisions de débit à court terme (faibles débits), des prévisions d'inondation et des produits de données hydrologiques pour la conception et l'exploitation des structures d'approvisionnement en eau. Le SNHM est également en mesure de générer des perspectives saisonnières de débit et des produits hydrologiques spécialisés. Il dispose d'une unité de recherche et développement et d'un système de gestion de la qualité bien rodé. Il entretient des relations étroites avec les agences partenaires.</p>	<p>En plus des capacités susmentionnées, le SNHM dispose d'un important programme de recherche et développement et entretient de solides relations avec les agences partenaires. Il joue un rôle de premier plan dans les conseils et l'aide à la décision. Le SNHM est en mesure de générer des produits hydrologiques personnalisés et de développer des outils d'application hydrologique.</p>

BIBLIOGRAPHIE

- Agence slovène de l'Environnement (ASE), 2015. Presentation of the Project Upgrade of the System for Monitoring and Analyzing the Water Environment in Slovenia, <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/EU%20so-financira/Predstravitev%20projekta.pdf>
- Aouissi et al., 2018. Valuing scarce observation of rainfall variability with flexible semi-distributed hydrological modelling – Mountainous Mediterranean context. *Science of the Total Environment*, 643, 346-356, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.086>.
- Baccour et al., 2012. étude synoptique conjointe des structures spatiales de l'évapotranspiration et de variables climatiques corrélées en Tunisie. *Hydrological Sciences Journal*, 57, 4, 818-829, DOI: 10.1080/02626667.2012.672986.
- BAfD (Banque Africaine de Développement, 2022. Tunisia – Development of the 2050 water vision and strategy. <https://projectsportal.afdb.org/dataportal/VProject/show/P-TN-EAZ-004>
- Beck et al., 2018. doi : 10.1038/sdata/sdata.2018.214
- Ben Ahmed Zaag (2017). The economic importance of dates production in Tunisia. Ministry of Agriculture, Water Resources and Fisheries. <https://civr.ucr.edu/sites/g/files/rcwecm2631/files/2019-12/dorsaf-ben-ahmad-zaag-tunisia-rpw-conference-2017.pdf>
- Ben Mechlia et al., 2004. Indigenous Water Harvesting Systems in West Asia and North Africa. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Alep, Syrie 19-41.
- Boudhraâ et al., 2015. Autopsie des événements hydrométéorologiques extrêmes de 1969 en Tunisie. *PIAHS*, 369, 169-173, <https://piahs.copernicus.org/articles/369/169/2015/>
- Boularès, 2015. Histoire de la Tunisie.
- Bouzaiane and Laforgue, 1986. Monographie hydrologique des oueds Zeroud et Merguellil. DGRE & ORSTOM.
- BPEH. Rapports nationaux du secteur de l'eau – Années 2014, 2015, 2016, 2017, 2018.
- BPEH, 2019. Rapport national du secteur de l'eau – Année 2018.
- Camacho et al., 2015. Main hydro(geo)logical characteristics, ecosystem services and drivers of change of 26 representative Mediterranean groundwater-related coastal wetlands. UNESCO, MedPartnership.
- Chargui et al. 2009. Robust and flexible hydroinformatics to account for rainfall space-time variability in a data-sparse region. *IAHS Publ.*, 333, 295-301
- Chargui et al., 2013. Statistical distribution of rainy events characteristics and instantaneous hyetographs generation (Merguellil watershed in central Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 5, 1581-1590, DOI: 10.1007/s12517-011-0440-2
- Chargui et al., 2018. Statistical detection and no-detection of rainfall change trends and breaks in semiarid Tunisia – 50+ years over the Merguellil agro-hydro-climatic reference basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 11:675, <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-018-4001-9>
- Cudennec et al., 2005. Accounting for sparsely observed rainfall space-time variability in a rainfall-runoff model of a semiarid Tunisian basin. *Hydrological Sciences Journal*, 50, 4, 617-630, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.2005.50.4.617>
- Cudennec et al., 2016. Hydrometeorology and Hydroclimate. *Advances in Meteorology*, ID 1487890, 4 p, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1487890>
- DGRE, 2009. Annuaire Hydrologique de la Tunisie 2007-2008, ministère de L'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche, Direction générale des ressources en eau, 241 p, ISBN : 0330-8634.
- DGRE, 2018. Crue du 22 septembre 2018, Gouvernorat de Nabeul.

- Dixon H., et al., 2020. Intergovernmental cooperation for hydrometry – what, why, how? *Hydrological Sciences Journal*, in press, <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1764569>
- Leduc et al., 2007. Impacts of hydrological changes in the Mediterranean zone: environmental modifications and rural development in the Merguellil catchment, central Tunisia, *Hydrological Sciences Journal*, 52:6, 1162-1178, DOI: [10.1623/hysj.52.6.1162](https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1162)
- Feki et al., 2012. Incorporation of elevation in rainfall interpolation in Tunisia using geostatistical methods. *Hydrological Sciences Journal*, 57, 7, 1294-1314, DOI:10.1080/02626667.2012.710334.
- Feki et al., 2017. Geostatistically based optimization of a rainfall monitoring network extension – Case of the climatically-heterogeneous Tunisia. *Hydrology Research*, 48, 2, 514-541 <http://dx.doi.org/10.2166/nh.2016.256>
- GFDRR 2020. The Power of Partnership – Public and Private Engagement in Hydromet Services.
- Hallegatte, S. 2012. « A Cost Effective Solution to Reduce Disaster Losses in Developing Countries: Hydro-Meteorological Services, Early Warning, and Evacuation. » Policy Research Working Paper 6058, Banque mondiale, Washington.
- Hamza, A., 1993. Les conséquences géomorphologiques des inondations de janvier 1990 en Tunisie centrale et méridionale. *Actes du 2ème Congrès des Géographes Africains* (Rabat et Agadir), p. 113-129.
- Hénia L., 2001. Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire, Eau, environnement et milieux méditerranéens, ENS Editions, p. 25-36.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2012. Rapport SREX.
- Jacobs C. et K. van't Klooster, 2012. Water and Agriculture in the Maghreb. Alterra, Wageningen. <https://www.semanticscholar.org/paper/Water-and-agriculture-in-the-Maghreb-Jacobs-Klooster/e8e110ba06d30061b6c26478a67dd948c6a729b6>
- Kull, D., R. Mechler, et S. Hochrainer. 2013. « Probabilistic Cost-Benefit Analysis of Disaster Risk Management in the Context of Development Assistance. » *Disasters* 37 (3): 374–400.
- Leduc et al., 2007. Impacts of hydrological changes in the Mediterranean zone: environmental modifications and rural development in the Merguellil catchment, central Tunisia, *Hydrological Sciences Journal*, 52:6, 1162-1178, DOI: [10.1623/hysj.52.6.1162](https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1162)
- ME Opening Statement - Africa-Arab DRR Platform – octobre 2018.
- Merla, 2015. Management of coastal aquifers and groundwater. UNESCO, MedPartnership.
- Ministère de l'agriculture, des ressources hydrauliques et de la pêche (MARHP), 2019. Les inondations du 10 septembre 2019 à L'Ariana.
- Mouelhi S. and Laatiri L., 2014. Drought conditions and management strategies in Tunisia, 10pp. https://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC_NDMP-Country_Report_Tunisia_2014.pdf
- Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), 2013. Vers un système d'alerte précoce à la sécheresse au Maghreb\ OSS. _ Collection Synthèse n° 4. _ OSS : Tunis, 2008. _ 84 pp., http://193.95.75.173/sites/default/files/publications/OSS-SMAS-CS4_Fr.pdf
- OECD (2014), La gouvernance des services de l'eau en Tunisie : Surmonter les défis de la participation du secteur privé | Études de l'OCDE sur l'eau, Publication de l'OCDE. https://www.oecd-ilibrary.org/fr/gouvernance/la-gouvernance-des-services-de-l-eau-en-tunisie_9789264213807-fr
- ONAS, 2020. étude des aspects institutionnels et financiers de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Phase 3 : Plan d'action pour la mise en œuvre des réformes et mesures recommandées.
- Oueslati, 1999. Les inondations en Tunisie.
- Perera et al., 2019. Flood Early Warning Systems: A review of benefits, challenges and prospects. UNU-INHWEH Report series, Issue 08. Rodier et al., 1981. Le bassin de la Medjerda. DGRE & ORSTOM.
- République tunisienne, Banque Mondiale, Nations Unies et Union européenne, 2018. PDNA Tunisie – Analyse des besoins suite aux inondations du Cap Bon.
- République tunisienne, 2019. Rapport national volontaire sur la mise en œuvre des objectifs de développement du-

- nable. Forum politique de haut niveau pour le développement durable, New York.
- Revolve et GIZ (2013) Tunisia Report: Adapting to climate change. Available at <http://www.government.nl>
- Rodier et al., 1981. Le bassin de la Medjerda. DGRE & ORSTOM.
- Rogers, David P., et Vladimir V. Tsirkunov. 2013. *Weather and Climate Resilience: Effective Preparedness through National Meteorological and Hydrological Services*. Directions in Development. Washington : Banque mondiale.
- Rogers, David P., Vladimir V. Tsirkunov, Haleh Kootval, Alice Soares, Daniel Werner Kull, Anna-Maria Bogdanova, et Makoto Suwa. 2019. *Weathering the Change: How to Improve Hydrometeorological Services in Developing Countries?* Washington : Banque mondiale.
- Romagny et al., 2006. *Gestion de l'eau en milieu aride : considérations physiques et sociales pour l'identification des territoires pertinents dans le Sud-Est tunisien*. Développement durable et territoire 6/2006, doi:10.4000/developpementdurable.1805
- Romagny et al. 2007. La gestion communautaire de l'eau agricole à l'épreuve des politiques participatives : regards croisés Tunisie/Maroc, Hydrological Sciences Journal, 52:6, 1179-1196, DOI : [10.1623/hysj.52.6.1179](https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1179)
- Coopération financière germano-tunisienne, République de Tunisie, ME, DGEQV, Agrer GrupoTysa, 2016. Système d'alerte précoce pour la gestion des risques liés aux extrêmes climatiques en Tunisie — Elaboration d'une étude de faisabilité — Rapport de la phase 3 final.
- Slimani et al., 2007. Structure du gradient pluviométrique de la transition Méditerranée-Sahara en Tunisie : déterminants géographiques et saisonnalité. Hydrological Sciences Journal, 52, 6, 1088-1102, doi: 10.1623/hysj.52.6.1088
- Slovenian Environment Agency, « Presentation of the Project 'Upgrade of the System for Monitoring and Analyzing the Water Environment in Slovenia », <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/EU%20sofinancira/Predstavitev%20projekta.pdf>
- SNC 2013. Tunisia's Second National Communication to the UNFCCC (SNC) (2013)
- Subbiah, A. R., L. Bildan, et R. Narasimhan. 2009. « Background Paper on Assessment of the Economics of Early Warning Systems for Disaster Risk Reduction. » Banque mondiale et GFDRR, Washington.
- United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) et al. 2017. Arab Climate Change Assessment Report – Main Report. Beirut, E/ESCWA/SDPD/2017/RICCAR/Report, https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/riccar_main_report_2017.pdf
- United Nations Economic and Social Commission for West Asia (ESCWA), 2019. Status Report on the Implementation of Integrated Water Resources Management in the Arab Region: Progress on SDG indicator 6.5.1.
- Van der Gaast, M. (2018) Tunisia: Business Opportunity Report, Focus on Agriculture. NABC. https://nabc.nl/wp-content/uploads/2020/08/NABC-Tunisia-Report_FINAL.pdf
- Verner (2013). La Tunisie face aux changements climatiques : Évaluation et actions pour accroître la résilience et le développement. Washington : Banque mondiale. doi:10.1596/978-0-8213-9857-9 <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/13114>
- WGS, 2016. WGS Initiative. Local Water Security Assessment.
- Organisation météorologique mondiale (OMM), 2013. *WMO Guide to the Implementation of a Quality Management System for National Meteorological and Hydrological Services*. WMO-No. 1100. Geneva: WMO.
- OMM, 2014. *Stratégie de l'OMM en matière de prestation de service et plan de mise en œuvre*. WMO-No. 1129. Genève : OMM. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7854.
- OMM, GFCS, 2014. Water exemplar to the user interface platform of the global framework for climate services.
- OMM (Organisation météorologique mondiale), Banque mondiale, GFDRR (Facilité mondiale pour la prévention des catastrophes et le relèvement), et USAID (Agence des États-Unis pour le développement international). 2015. *Valuing Weather and Climate: Economic Assessment of Meteorological and Hydrological Services*. WMO-No. 1153. Genève : OMM.
- Banque mondiale, 2005. « Russian Federation—National Hydromet Modernization Project. » Document d'évalua-

tion de projet. Rapport N° 3 1465-RU. Banque mondiale, Washington <http://documents.worldbank.org/curated/en/273311468776414524/Russian-Federation-National-Hydromet-Modernization-Project>

Banque mondiale, 2008. « Weather and Climate Services in Europe and Central Asia: A Regional Review. » Working Paper No. 151, Banque mondiale, Washington.

Banque mondiale, 2017. « Modernization of Japan's Hydromet Services: A Report on Lessons Learned for Disaster Risk Management. » Banque mondiale, Washington. <http://documents.worldbank.org/curated/en/995951494919357469/Modernization-of-Japan-s-hydromet-services-a-report-on-lessons-learned-for-disaster-risk-management>

Banque mondiale, 2018a. Rapid Needs Assessment (RNA), conducted by the Government of Tunisia in partnership with the World Bank, the United Nations and the European Union in 2018

Banque mondiale, 2018 c. L'eau : l'autre enjeu de développement pour la Tunisie. <https://www.banquemondiale.org/fr/news/feature/2014/09/04/water-tunisia-s-other-development-challenge>

Banque mondiale, 2019. Strengthening Hydromet and Early Warning Systems and Services in Georgia: A Road Map, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34997>.

Banque mondiale, 2020. PforR concept note – Tunisia

Groupe de la Banque mondiale, 2013. Building Morocco's Resilience: Inputs for an Integrated Risk Management Strategy.

Banque mondiale et CMI, 2011.

Banque mondiale, GFDRR, 2018. Assessment of the state of hydrological services in developing countries.

OMM, Groupe de la Banque mondiale, GFDRR et USAID (2015). *Valuing Weather and Climate: Economic Assessment of Meteorological and Hydrological Services*. OMM-No. 1153. Genève, <https://www.africanwaterfacility.org/en/projects/project/development-of-tunisia-water-vision-and-strategy-2050-137/>

