



Deltares

CONCEPT
INTERNATIONAL

TEREA
PRÉSERVER OPTIMISER VALORISER



Site en oeuvre par
GFDRR GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE

Guide pour l'amélioration des services hydrométéorologiques et systèmes d'alerte précoce en Afrique centrale



Guide pour l'amélioration des services hydrométéorologiques et systèmes d'alerte précoce en Afrique centrale

Summary

Improving meteorological, hydrological and climate services is essential for building climate resilience and resilience to natural disasters. These services are needed to create an environment that encourages private and public sectors to invest, in order to achieve a sustainable development and to reduce poverty. Natural disasters disproportionately affect the poorest countries of the world.

Within the framework of the program for strengthening resilience to natural disasters in sub-Saharan African regions, countries and communities launched in 2015 by the Organisation of African, Caribbean and Pacific States (ACP) and the European Union (EU), funded under the 10th European Development Fund (EDF), five result areas were selected for implementation, together making up a complete cycle of disaster risk management measures and capacity building. Implemented by the World Bank's Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), the specific objective of Result Area 2 Program is to strengthen and accelerate the effective implementation of an African comprehensive Disaster Risk Reduction (DRR) and risk management framework at the regional level in the following African Regional Economic Communities: the Economic Community for Central African States (ECCAS), the Economic Community of West African States (ECOWAS), the Intergovernmental Authority on Development (IGAD), and the Southern African Development Community (SADC).

Within the framework of the ECCAS project a study has been launched with the support of the World Bank, for the evaluation of the hydrological and meteorological services of the member states of ECCAS. The objectives of this study are:

- to better understand the state of the meteorological, hydrological and climate services as well as early warning systems in Central Africa, and
- to draft a regional framework to support the modernization of the hydrological and meteorological services of ECCAS countries to improve decision-making for the management of floods and droughts in Central Africa.

This report provides a guidance for the introduction and improvement of forecasting and early warning systems in Central Africa and forms a basis for the draft regional framework. The four components of a forecasting and early warning system are (WMO, 2018):

- Disaster risk knowledge
- Detection, monitoring, analysis and forecasting of the hazards and possible consequences
- Warning dissemination and communication
- Preparedness and response capabilities.

Ideally, technically advanced forecasting and early warning systems are put in place. In situations with limited financial and technical capacities and human resources, such as in Central Africa, however, it is more important that the system is (OMM, 2013):

- available and timely: on the time and space scales required by the user,
- dependable and reliable: delivered on time and according to the required user specification,
- usable: presented in user-specific formats so that the client can fully understand,
- useful: able to respond appropriately to user need,
- credible: for the user to confidently apply to decision-making,
- authentic: guaranteed to be accepted by stakeholders in a given decision context,
- responsive and flexible: adaptable to the evolving user needs,
- sustainable: affordable and consistent over time,
- expandable: applicable to different kinds of services.

From the state-of-the-art for the establishment of forecasting and early warning systems and the identification of weaknesses common to the countries of Central Africa, we have identified common objectives for the improvement of climate services and early warning systems on the national level. Since the objectives to be achieved are common to all states, collaborating in the definition of approaches and frameworks could be considered.

An interactive and inclusive process must be established to bring together all the actors involved. By formalizing partnerships through the development of memoranda of understanding, the roles and responsibilities of each actor are defined and form the basis of a strong, mutually beneficial partnership. Although the budget is often limited, it is recommended to mobilize funds to ensure sustainable financing of activities related to climate services. It is recommended to tailor strategies to budget, to start small with pilot areas or sectors and to scale up after implementation of lessons learned through feedback loops from users. By matching user needs with data collection needs and deviations from the current situation, services are improved or expanded to meet user needs. These services are then communicated to users in time, including the information each person needs to make decisions and adapt to mitigate the harmful effects of hazardous phenomena. To ensure continuous improvement of services, it is recommended to set up a monitoring and evaluation plan. Finally, capacity building is a transversal aspect, affecting each of the objectives, and collaboration between the different actors will strengthen the capacities of all the stakeholders concerned.

In most ECCAS member states the capacity of NMHS is too limited to facilitate advanced forecasting and early warning systems. It is recommended to set up a regional forecasting center, where meteorologists from different countries collaborate to prepare forecasts. The regional forecasting center can also play an important role in the training of NMHS staff and perhaps also the training of end users in different weather sensitive economic sectors. The NMHSs of the 11 countries should be responsible for transforming these forecasts into services and advice at the national level, e.g. to produce warnings.

A functioning forecasting and early warning system requires a regular exchange of information and data between all the actors involved, possibly intensified under extreme conditions. To be successful, the structured data exchange must be integrated into a legal framework or a memorandum of understanding, possibly through an international river basin organization and a common platform for data exchange. ECCAS is currently developing such a platform, the "Système d'Information sur l'Eau (SIE)" (Water Information System).

It is necessary to ensure the sustainable maintenance and continuous functioning of these services through sustainable funding at regional and national levels. In addition, it is recommended that regular evaluation mechanisms be put in place at regional and national levels to ensure a useful service. The regional center and the arrangements for data exchange should be integrated into an institutional framework approved by the parties concerned. In the next phase of this study a draft regional framework and an action plan will be developed.

Résumé

L'amélioration des services météorologiques, hydrologiques et climatiques est essentiel pour renforcer la résilience climatique et celle aux catastrophes naturelles. Les services sont nécessaires pour créer un environnement favorable pour inciter les secteurs privés et publics à investir, pour un développement durable et réduire la pauvreté. Les catastrophes naturelles affectent de manière disproportionnée les pays les plus pauvres.

Dans le cadre du programme de Renforcement de la résilience aux catastrophes naturelles dans les régions, les pays et les communautés d'Afrique subsaharienne lancé en 2015 par le Groupe des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (ACP) et l'Union européenne (UE), financé dans le cadre du 10^{ième} Fonds européen de développement (FED), cinq domaines de résultats ont été sélectionnés, constituant ensemble un cycle complet de mesures de gestion des risques de catastrophe et de renforcement des capacités. L'objectif spécifique du Résultat 2 mis en œuvre par la Facilité mondiale pour la Prévention des Catastrophes et le Relèvement (GFDRR) de la Banque mondiale est de renforcer et d'accélérer la mise en œuvre efficace d'un cadre africain complet de prévention des risques de catastrophes (PRC) et de gestion des risques de catastrophes (GRC) au niveau régional dans les communautés économiques régionales d'Afrique suivantes : la Communauté économique des États de l'Afrique centrale (la CEEAC), la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (la CEDEAO), l'Autorité intergouvernementale pour le développement (l'IGAD, Intergovernmental Authority on Development), et la Communauté de développement de l'Afrique australe (la SADC, Southern African Development Community).

Dans le cadre du projet de la CEEAC, une étude a été lancée avec l'appui de la Banque Mondiale sur l'évaluation des Services Hydrologiques et Météorologiques Nationales (SHMN) des états membres de la CEEAC. Les objectifs de cette étude sont :

- de mieux comprendre l'état des services de météorologie, d'hydrologie, de climatologie et des systèmes d'alerte précoce en Afrique centrale et ;
- de rédiger un cadre régional pour appuyer la modernisation des services hydrologiques et météorologiques des pays de la région pour améliorer la prise de décisions pour la gestion des inondations et des sécheresses en Afrique centrale.

Ce rapport propose un guide pour l'introduction et l'amélioration des systèmes de prévision et d'alerte précoce (SAP) en Afrique centrale et constitue une base pour le cadre régional. Les quatre composantes d'un système de prévision et d'alerte précoce sont (OMM, 2018) :

- la connaissance des risques de catastrophe
- la détection, surveillance, analyse et prévision des aléas et de leurs conséquences possibles
- la diffusion des alertes et la communication
- les capacités de préparation et d'intervention.

Dans le cas idéal des systèmes de prévision et d'alerte précoce avancés sur le plan technique sont mis en place. Dans les situations avec des capacités financiers, techniques et de ressources humaines limitées, comme en Afrique centrale, cependant, il est plus important que le système soit :

- disponible : à des échelles temporelles et spatiales dont les utilisateurs ont besoin,
- fiable : livré de manière régulière et à temps,
- facile d'utilisation : présenté dans un format que l'utilisateur peut facilement comprendre,
- utile : pour répondre de manière appropriée aux besoins des utilisateurs,
- crédible : pour que l'utilisateur puisse prendre des décisions avec confiance,
- authentique : pour être accepté par les parties prenantes dans un contexte donné,
- flexible : avoir la possibilité d'évoluer en fonction des besoins des utilisateurs,
- durable : abordable et cohérent dans le temps,
- extensible : être utilisable pour différents types de services.

À partir des meilleures pratiques pour la mise en place des systèmes de prévision et d'alerte précoce et de l'identification des faiblesses communes aux pays d'Afrique centrale, nous avons identifié des objectifs communs pour l'amélioration des services hydrométéorologiques et systèmes de prévision et d'alerte précoce au niveau national. Etant donné que les objectifs à atteindre sont communs à tous les états, il est possible d'envisager la définition d'approches et de cadres communs, permettant d'assurer ainsi l'harmonisation au niveau régional.

Un processus interactif et inclusif doit être établi pour réunir tous les acteurs impliqués. En formalisant les partenariats par l'élaboration de protocoles d'entente, les rôles et responsabilités de chacun sont définis et fondent les bases d'un solide partenariat mutuellement bénéfique. Bien que le budget soit souvent limité, il est recommandé de mobiliser des fonds pour assurer un financement pérenne des activités reliées aux services climatiques. Il est recommandé d'adapter les stratégies au budget, de commencer par des zones restreintes ou secteurs pilotes et de mettre à échelle après mise en application des leçons acquises par retour de la part des utilisateurs. En faisant correspondre les besoins des utilisateurs aux nécessités en termes de collecte de données et les écarts par rapport à la situation actuelle, les services sont améliorés ou développés pour répondre aux besoins des utilisateurs. Ces services sont ensuite communiqués à temps aux utilisateurs en incluant les informations nécessaires à chacun pour permettre une prise de décision et une adaptation pour atténuer les effets néfastes des phénomènes dangereux. Pour assurer une amélioration continue des services, il est recommandé de mettre en place un plan de suivi et d'évaluation. Enfin, le renforcement des capacités est un aspect transversal, touchant à chacun des objectifs, et une collaboration entre les différents acteurs renforcera les capacités de toutes les parties prenantes concernées.

Comme dans la plupart des états membres de la CEEAC la capacité des SHMN nationaux est trop limitée pour faciliter des systèmes de prévision avancés il est recommandé de mettre en place un centre de prévision régional¹ où collaborent les météorologues des différents pays pour élaborer des prévisions. Ce centre peut aussi jouer un rôle important dans la formation du personnel des SHMN et également des utilisateurs finaux dans les différents secteurs économiques sensibles aux conditions météorologiques. Les SHMN des 11 pays devraient être chargé de transformer ces prévisions en services (e.g. alertes) et avis au niveau national.

¹ Le centre CAPC-AC à Douala, Cameroun, devrait être (ré)activé pour prendre ce rôle.

Un système de prévision et d'alerte précoce opérationnel nécessite un échange d'information et de données régulier entre tous les acteurs impliqués, éventuellement intensifié quand des conditions extrêmes se présentent. Pour réussir, l'échange de données structuré doit être intégré dans un cadre juridique ou un protocole d'accord, éventuellement par l'intermédiaire d'un organisme de bassin transfrontalière et le Service Gestion du Système d'Information sur l'Eau de la CEEAC à travers son Système d'Information sur l'Eau (SIE), qui est en cours de développement.

Il faut assurer le maintien durable et le fonctionnement continu de ces services par un financement pérenne aux niveaux régional et national. En outre, il est recommandé de mettre en place des mécanismes d'évaluation régulière aux niveaux régional et national pour garantir un service utile.

Le centre régional et les dispositifs pour l'échange de données devraient être intégrés dans un cadre institutionnel approuvé par les parties concernées. Dans la prochaine phase de la présente étude un projet de cadre régional et un plan d'action seront élaborés.

Liste des abréviations

ABN :	Autorité du Bassin du Niger
ACMAD :	African Centre of Meteorological Applications for Development (Centre africain des applications de la météorologie au développement)
ACP :	Groupe des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique
BAD :	Banque africaine de développement
BM :	Banque Mondiale
CAPC-AC :	Centre d'Application et de Prévision Climatologique de l'Afrique centrale
CBLT :	Commission du Bassin du Lac Tchad
CEDEAO :	Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest
CEEAC :	Communauté Économique des États de l'Afrique centrale
CER :	Communautés économiques régionales
CHIRPS :	ensemble de données pluviométriques quasi mondiales (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data)
CICOS :	Commission Internationale du Bassin Congo-Oubangui-Sangha
CRGRE :	Centre Régional de coordination de la Gestion des Ressources en Eau de la CEEAC
ECMWF :	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ENSO :	El Niño – Oscillation australe (El Niño / Southern Oscillation)
ERA5 :	ensemble de données de réanalyse (reanalysis) de l'ECMWF
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FED :	Fonds européen de développement
GEF :	Global Environment Facility
GFCS :	Global Framework for Climate Services
GFDRR :	Facilité mondiale pour la Prévention des Catastrophes et le Relèvement
GFS :	Global Forecast System (Système de prévision global)
GIRE :	Gestion intégrée des ressources en eau
GLOFAS :	Système mondial de sensibilisation aux inondations (Global flood awareness system)
GPM :	observation globale des précipitations (global precipitation measurement)
GRC :	Gestion des risques de catastrophes
GWP :	Global Water Partnership / Partenariat Mondial de l'Eau
IGAD :	Intergovernmental Authority on Development
NHMSs :	National hydrological and meteorological services
OMM :	Organisation météorologique mondiale
ONG :	organisation non gouvernementale
ONU :	Organisation des Nations Unies
PAM :	Programme alimentaire mondial
PNT :	prévision numérique du temps
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE :	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PRC :	Prévention des risques de catastrophes
PRESAC :	Forum Régional de Prévisions climatiques saisonnières de l'Afrique centrale
PRESASS :	Forum Régional de Prévisions climatiques saisonnières de la région Soudano-Sahélien
PRESAGG :	Forum Régional de Prévisions climatiques saisonnières de la région du Golfe de Guinée
PTF :	partenaires techniques et financiers
RCA :	République Centrafricaine
RCC :	Regional Climate Center (centre régional de services climatiques)
RDC :	République Démocratique du Congo

RRC : Réduction des risques de catastrophes
SAP : Système d'Alerte Précoce
SADC : Southern African Development Community (Communauté de développement d'Afrique australe)
SADC-CSC : « Climate Services Center » (centre régional de services climatiques) de la SADC
SARCOF : Southern African Regional Climate Outlook Forum
SIE : Système Régional d'Information sur l'Eau
SMHI : Institut hydrologiques de la Suède (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut)
SHMN : Services hydrologiques et météorologiques nationaux
SPI : Index standard de précipitation (Standard Precipitation Index)
STP : Sao Tomé et Príncipe
UD/CRGRE : l'Unité de Démarrage du Centre Régional de coordination des Ressources en Eau de l'Afrique Centrale
UE : Union européenne
UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
UNDRR : Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes
WMO : World Meteorological Organization

Table des matières

Summary	4
Résumé	7
Liste des abréviations	10
1 Introduction	14
1.1 Contexte et justification	14
1.2 Le mandat	15
1.3 Objectifs et structure de la CEEAC	16
1.3.1 Objectifs	16
1.3.2 Structure	16
1.3.3 Le Système d'Information sur l'Eau (SIE)	18
1.3.4 Le Centre d'Application et de Prévision Climatologique de l'Afrique Centrale (CAPC-AC)	19
1.4 Objectifs de l'étude	19
1.5 Méthodologie Générale	19
1.6 Objectif et structure de ce rapport	20
2 Systèmes de prévision et d'alerte précoce	21
2.1 Définition de systèmes de prévision et d'alerte précoce	21
2.2 Meilleures pratiques dans les systèmes de prévision et d'alerte précoce	25
3 Objectifs et recommandations pour l'amélioration des systèmes de prévision et d'alerte précoce en Afrique centrale	29
3.1 Identification des objectifs communs	29
3.2 Objectifs communs et recommandations d'amélioration	30
3.2.1 Objectif 1 : Les acteurs (fournisseurs, intermédiaires et utilisateurs) sont identifiés et interagissent ensemble pour identifier les défis d'adaptation et leurs rôles.	30
3.2.2 Objectif 2 : Des structures de financement pérenne sont mises en place.	32
3.2.3 Objectif 3 : Les besoins des utilisateurs et risques associés sont définis.	34
3.2.4 Objectif 4 : Les besoins en termes de données à collecter sont définis et les écarts entre la situation voulue et actuelle sont identifiés.	37
3.2.4.1 Valeurs seuils d'alerte pour les inondations	38
3.2.4.2 Valeurs seuils d'alerte pour les sécheresses	39
3.2.4.3 Manque de données	39
3.2.4.4 Carte de temps de réponse	40
3.2.4.5 Besoins en termes de données à collecter	41
3.2.5 Objectif 5 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont améliorés / développés avec les utilisateurs pour répondre à leurs besoins.	41
3.2.5.1 Les données historiques et récentes pour connaître la situation actuelle	41
3.2.5.2 Les bassins transfrontaliers	42
3.2.5.3 Sources de données de prévisions météorologiques et hydrologiques	42
3.2.5.4 Complexité de systèmes de prévision et d'alerte précoce	43
3.2.5.5 Plateformes d'incorporation des données et des prévisions et de visualisation	44
3.2.5.6 Mise en place du système de prévision et d'alerte précoce	47
3.2.6 Objectif 6 : Les prévisions et alertes sont communiqués à temps et d'une manière appropriée et permettent une prise de décision.	48
3.2.7 Objectif 7 : Les mesures de préparation et d'intervention sont prêtes et opérationnelles et le public a été sensibilisé et éduqué.	49

3.2.8	Objectif 8 : Les systèmes de prévision et d’alerte précoce sont continuellement surveillés et évalués pour permettre de les améliorer.	50
3.2.9	Objectif transversal : Renforcement des capacités	50
4	Conclusions et recommandations	52
4.1	Conclusions	52
4.2	Recommandations au niveau régional	53
4.2.1	Sur le plan institutionnel	53
4.2.2	Sur le plan du personnel et sa formation	54
4.2.3	Sur le plan technique	54
4.2.4	Sur le plan financier	55
4.3	Recommandations au niveau national	55
	Bibliographie	57
A	Propositions d’actions de suivi au niveau national	59

1 Introduction

1.1 Contexte et justification

L'amélioration des services météorologiques, hydrologiques et climatiques est essentiel pour renforcer la résilience climatique et celle aux catastrophes naturelles. Les services sont nécessaires pour créer un environnement favorable pour inciter les secteurs privés et publics à investir, pour un développement durable et réduire la pauvreté. Les catastrophes naturelles affectent de manière disproportionnée les pays les plus pauvres.

Dans le cadre du programme de Renforcement de la résilience aux catastrophes naturelles dans les régions, les pays et les communautés d'Afrique subsaharienne lancé en 2015 par le Groupe des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (ACP) et l'Union européenne (UE), financé dans le cadre du 10^{ième} Fonds européen de développement (FED) cinq domaines de résultats ont été sélectionnés, constituant ensemble un cycle complet de mesures de gestion des risques de catastrophe et de renforcement des capacités. L'objectif spécifique du Résultat 2 mis en œuvre par la Facilité mondiale pour la Prévention des Catastrophes et le Relèvement (GFDRR) de la Banque mondiale, est de renforcer et d'accélérer la mise en œuvre efficace d'un cadre africain complet de prévention des risques de catastrophes (PRC) et de gestion des risques de catastrophes (GRC) au niveau régional.

Le programme du résultat 2 vise à atteindre son objectif en mettant en œuvre des activités qui contribuent à :

- Renforcer la capacité de coordination des communautés économiques régionales africaines (CER), afin de faire progresser le programme régional de gestion des risques de catastrophe,
- Aider les CER à développer leurs capacités de conseil en matière de planification et de politique et leurs capacités de diffusion des connaissances, afin qu'elles puissent mieux aider leurs États Membres à prendre des décisions informées en matière de renforcement de la résilience face aux catastrophes, et à mieux soutenir les programmes régionaux et sous-régionaux sur la GRC.
- Fournir une plate-forme de plaidoyer et améliorer la coopération et la mise en réseau des institutions techniques mondiales, régionales et nationales. Les aider à tirer parti de la sensibilisation des parties prenantes pour soutenir l'élaboration de plans nationaux et l'amélioration de la capacité régionale en matière d'évaluation des besoins après une catastrophe et de cadres de redressement.

Les activités ciblent les quatre principales CER, dont la Communauté Économique des États de l'Afrique centrale (CEEAC, voir Figure 1.1), et leurs principaux partenaires, tels que les universités et centres de recherche africains, les autorités de bassin hydrographique ou les organisations techniques.

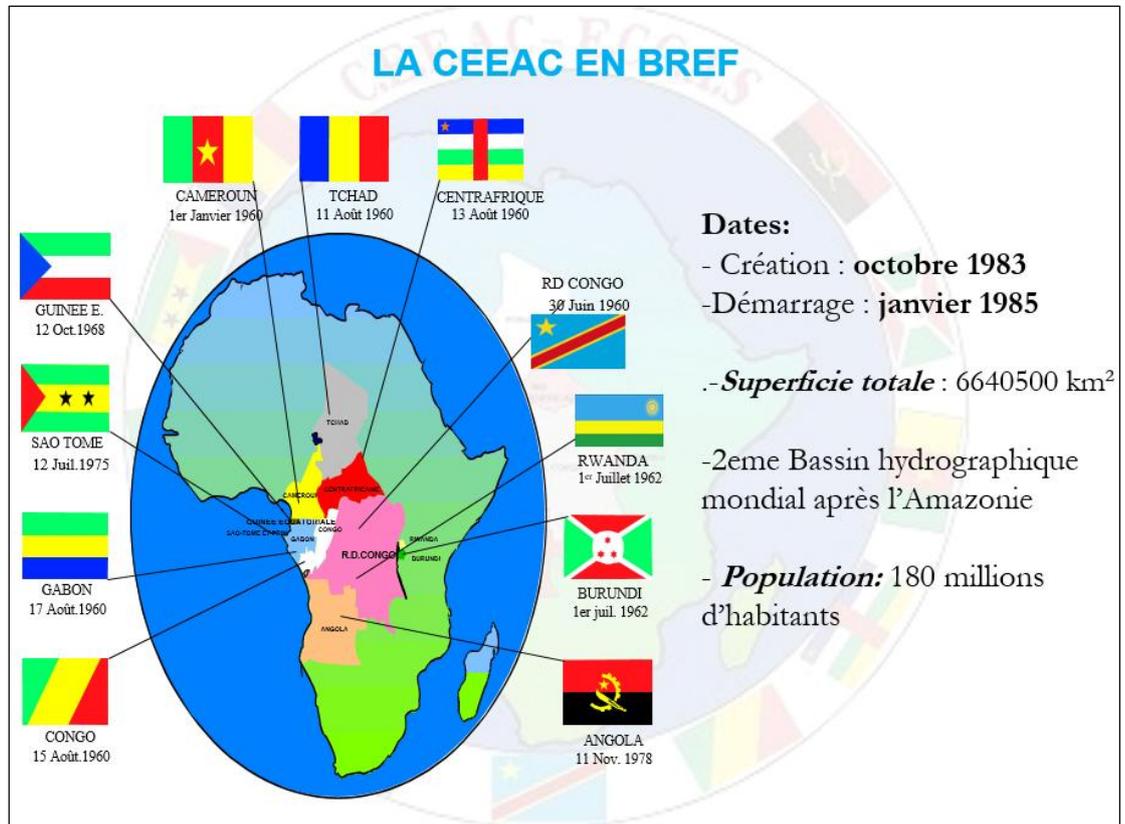


Figure 1.1: La CEEAC en bref (Source : D. NDEMAZAGOA-BACKOTTA).

1.2 Le mandat

Dans le cadre du projet de la CEEAC, une étude a été lancée avec l'appui de la Banque Mondiale sur l'évaluation des Services Hydrologiques et Météorologiques Nationales (SHMN) des états membres de la CEEAC :

Projet « Renforcement des services hydrométéorologiques et gestion des inondations et sécheresses pour les états membres de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique Centrale », contrat Banque Mondiale sélection #1263449.

La Banque Mondiale a mandaté la fondation Deltares (www.deltares.nl) en coopération avec CONCEPT (basé en Tunisie, www.concept.tn) et Terea (basé au Gabon et spécialiste des pays de la CEEAC, www.terea.net) pour exécuter ce projet.

Cette étude fait suite au premier Forum Hydromet de la CEEAC organisé en Novembre 2018 à Libreville au Gabon qui a mis en évidence la nécessité d'investir dans la modernisation et l'intégration des services météorologiques, hydrologiques et systèmes d'alertes précoces. La présente étude doit démontrer des perspectives pour cette modernisation et intégration et contribuer au dialogue politique. Dans ce cadre il est important d'inclure, en plus des services hydrologiques et météorologiques nationaux des 11 pays, les Commissions de bassins transfrontaliers.

1.3 Objectifs et structure de la CEEAC

1.3.1 Objectifs

La CEEAC a le mandat de promouvoir et renforcer une coopération harmonieuse et un développement équilibré et auto-entretenu dans tous les domaines de l'activité économique et sociale, notamment, à réaliser l'autonomie collective, à élever le niveau de vie des populations, à renforcer les étroites relations pacifiques entre les États membres² et à contribuer au progrès et au développement du continent africain.

Sa Vision à l'horizon 2025 est de créer « Une Afrique centrale stable, prospère, solidaire, économiquement et politiquement unie », ce qui nécessite une bonne gestion des ressources en eau et des risques de catastrophes au niveau régional et national.

1.3.2 Structure

Au moment où ce rapport est rédigé la CEEAC est devenue une Commission. Dans la nouvelle Commission les structures pertinents dans le contexte de la présente étude se trouvent dans le Département d'Environnement, Ressources Naturelles, Agriculture et Développement Rural :

- Le Centre Régional de coordination de la Gestion des Ressources en Eau (CRGRE) avec ses Services « Gestion du Système d'Information sur l'Eau » et « Politiques, Recherche et Développement », et
- La Direction Environnement et Ressources Naturelles avec son Service Gestion des Risques et Catastrophes.

Le mandat de ces structures a été défini comme suit, les tâches les plus pertinentes pour la présente étude étant écrits en gras :

Le Service Gestion du Système d'Information sur l'Eau est notamment chargé de

- **La gestion, promotion et mise à jour du Système Régional d'Information sur l'Eau (SIE)** (voir paragraphe 1.3.3) ;
- La veille environnementale autour de la gestion de la qualité de l'eau ;
- La promotion de la conservation et de la protection des ressources en eau en vue de la pérennité des écosystèmes vitaux ;
- **Le développement des stratégies de communication et approches participatives et d'éducation et renforcement des capacités ;**
- Le développement des relations avec les media ;
- L'organisation de campagnes de promotion et de sensibilisation sur la mise en valeur et la gestion des ressources en eau en direction du Grand Public ;
- La conception et le développement du site web du Centre ;
- **La mise en place et l'opérationnalisation de l'Observatoire des Ressources en Eau avec évaluation/optimisation du réseau régional des mesures hydrologiques et hydrogéologiques et appui au traitement des données brutes récoltées.**

² Angola, Burundi, Cameroun, Gabon, Guinée équatoriale, République centrafricaine, République démocratique du Congo (RDC), République du Congo, Rwanda, Sao Tomé-et-Principe, Tchad

Le Service Politiques, Recherche et Développement est notamment chargé de

- La mise en œuvre des actions prévus dans la PRE et la PARGIRE-AC ;
- L'harmonisation des approches par des appuis aux structures nationales et régionales de gestion de l'eau, notamment en termes d'appui à l'élaboration de Codes de l'eau et de la réglementation et des procédures de contrôle (administration/police des eaux) ;
- L'élaboration des directives régionales et de guides méthodologiques ;
- La promotion et la mise en place de nouveaux organismes de bassin internationaux et de gestion des systèmes aquifères transnationales ; appuis conseils en matière de répartition et distribution de l'eau de façon à garantir une gestion concertée avec toutes les parties prenantes (comités de bassin) et l'équité dans l'accès à l'eau avec prise en compte de la dimension genre ;
- **La valorisation des actions, la recherche et le développement du Centre régional des Métiers de l'Eau ;**
- **L'appui à la recherche de financements notamment pour équiper les réseaux de mesure et les Systèmes d'Information sur l'Eau des pays, en collaboration avec les deux autres Services ;**
- La programmation et la planification participative ;
- La préparation de documents de programmes et projets régionaux en collaboration, lorsque nécessaire, avec d'autres Départements de la CEEAC ou de ses organismes rattachés ;
- Les réflexions avec les Etats sur des questions innovantes et d'intérêt commun.

Le Service Gestion des Risques et Catastrophes est notamment chargé de

- **La centralisation, l'exploitation et la transmission des données météorologiques collectées au sein de la Communauté dans le circuit international spécialisé ;**
- **L'élaboration et la diffusion des prévisions météorologiques communautaires ;**
- **Echanges sous-régionaux, régionaux et internationaux en matière de météorologie et de changements climatiques ;**
- Le suivi et l'évaluation des impacts socio-économiques et environnementaux des mesures de prévention, d'atténuation et/ou d'adaptation aux effets néfastes et aux risques liés aux changements climatiques ;
- L'établissement des indicateurs climatiques pertinents pour le suivi de la politique environnementale communautaire ;
- **Les analyses prospectives visant à proposer une vision sur l'évolution du climat, de fournir des données météorologiques et climatiques à tous les secteurs de l'activité humaine concernés et de dresser le bilan climatique annuel de la Communauté ;**
- **L'initiation et la promotion des études sur la mise en évidence des indicateurs, des impacts et des risques liés aux changements climatiques ;**
- La collecte, l'analyse et la mise à disposition des décideurs publics, privés ainsi que des différents organismes nationaux et internationaux, des informations de référence sur les changements climatiques dans l'espace communautaire ;
- **L'initiation de toute action de sensibilisation et d'information préventive sur les changements climatiques ;**
- Les propositions des mesures préventives de réduction d'émission de gaz à effet de serre, ainsi que des mesures d'atténuation et/ou d'adaptation aux effets néfastes et aux risques liés aux changements climatiques ;
- **La coopération avec les autres observatoires régionaux ou internationaux opérant dans le secteur climatique.**

1.3.3 Le Système d'Information sur l'Eau (SIE)

Le Système d'Information sur l'Eau (SIE) est l'outil d'aide à la décision de la Commission de la CEEAC, à travers des données et des informations fiables, pour la gestion durable des ressources en eau de l'Afrique centrale.

L'objectif du SIE est de disposer des données et d'informations fiables sur l'état des ressources en eau dans l'espace de la CEEAC, de leurs usages à l'échelle régionale en vue de mettre en place un système de suivi dynamique des ressources en eau et de permettre un échange de données et informations sur l'eau au niveau des différents acteurs du secteur Eau.

C'est un ensemble organisé comprenant des éléments relatifs à l'eau et aux milieux aquatiques (données, équipements, logiciels, procédures, personnel, institutions, etc.) qui se coordonnent (mesure, saisie, stockage, traitement) pour concourir à la restitution d'une information d'aide à la prise de décisions éclairées en gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) (Figure 1.2).

Le SIE de la CEEAC est en développement en ce moment. Il est appelé à devenir un ensemble de systèmes d'informations interreliés dont le but ultime est d'assurer la bonne gouvernance de l'eau au niveau d'un regroupement de pays géographiquement voisins. Il jouera le rôle d'un système fédérateur des données et des informations sur les ressources dans les pays membres de la CEEAC. Ce système permettra de renforcer les échanges de données et des informations sur l'eau entre les pays et les institutions économiques régionales, les différents organismes de bassin transfrontaliers (ABN, CBLT, CICOS, etc.) et d'autres organisations (UNICEF, AMCOW, FAO, ...).

Le SIE de la CEEAC offre à la communauté des utilisateurs quatre fonctionnalités de base :

- Le suivi de la ressource ;
- La gestion et la protection de la ressource ;
- La diffusion des informations sur la ressource auprès d'une large communauté d'utilisateurs ;
- La mise en place d'un instrument de collaborations intra- et interinstitutionnelles en gestion intégrée des ressources en eau.



Figure 1.2: Domaines thématiques du SIE de la CEEAC. Odoua, N. (2019).

1.3.4 Le Centre d'Application et de Prévision Climatologique de l'Afrique Centrale (CAPC-AC)

Dans le cadre de la mise en place de Centres Climatologiques Régionaux (CCR) dans toutes les Communautés Economiques Régionales (CER) afin de pallier les menaces climatiques le Centre d'Application et de Prévision Climatologique de l'Afrique Centrale (CAPC-AC), institution spécialisée de la CEEAC basée à Douala au Cameroun, a été créée par les Chefs d'Etats et de Gouvernement de la CEEAC lors de leur 16^{ième} Conférence ordinaire à N'Djamena, par Décision N°72/CEEAC/CEEG/XVII/15 du 25 mai 2015. Il a pour but d'apporter un appui substantiel aux Services Hydrologiques et Météorologiques Nationaux (SHMN) de la sous-région en vue de leur intégration effective et efficace dans le domaine climatologique, notamment par le développement de leurs capacités de prévision et services météorologiques, hydrologiques et climatiques et la fourniture de ces services aux Etats membres et autres partenaires.

Le CAPC-AC n'est pas opérationnel pour le moment, la continuation des activités attend l'adoption des statuts du centre par la Conférence des Chefs d'Etat et de Gouvernement de la CEEAC et la nomination de l'équipe dirigeante. Mais toutefois, dans le cadre du Projet d'Information Satellitaire et Météorologique pour la Résilience en Afrique Centrale (SAWIDRA-AC), le CAPC-AC a acquis l'essentiel des équipements (HPC, PUMA/MESA, Système d'Information Météorologique) nécessaires à la production et la dissémination des services météorologiques, hydrologiques et climatiques aux normes de l'OMM. Bien plus, le Centre contribue en temps à la production des bulletins et autres produits météorologiques au profit des Etats membres. Dans ce cadre, le CAPC-AC a mis à la disposition des Etats Membres plus de 1000 bulletins météorologiques couvrant les échelles journalières, hebdomadaires, intra saisonnières et saisonnières. De même, le CAPC-AC a contribué à la formation des Ingénieurs en Météorologie au Cameroun dans la prévision opérationnelle et leur encadrement académique. Le CAPC-AC, à travers le Projet SAWIDRA, a formé des jeunes Camerounais dans la procédure de prévision opérationnelle et la maintenance des stations PUMA/MESA. Ils n'attendent, à la rédaction de ce rapport, que d'être employés par le Centre.

Le projet SAWIDRA est arrivé à son terme mais le CAPC-AC devrait pouvoir continuer ses activités, avec le financement du 11^e FED relatif au Projet Intra ACP Services Climatiques du Programme Climate Services and Related Applications (ClimSA). .

1.4 Objectifs de l'étude

Les objectifs de cette étude sont :

- de mieux comprendre l'état des services de météorologie, d'hydrologie, de climatologie et des systèmes d'alerte précoce en Afrique centrale et
- de rédiger un cadre régional pour appuyer la modernisation des services hydrologiques et météorologiques des pays de la région pour améliorer la prise de décisions pour la gestion des inondations et des sécheresses en Afrique centrale.

1.5 Méthodologie Générale

L'élaboration de l'étude se déroule en cinq (5) phases :

- Phase 1 (Phase de Démarrage) : Définition en détail la méthodologie et du plan de travail de la mission.
- Phase 2 : Élaboration du rapport sur l'état des services hydrométéorologiques et climatiques et des systèmes d'alerte précoce (SAP) en Afrique centrale
 - Elaboration de rapports conduisant des études de base sur l'état des services hydrométéorologiques et des SAP dans quatre pays d'Afrique centrale (Angola, Burundi, Guinée équatoriale, Rwanda) ;

- Préparation du rapport de synthèse régional sur l'état des services Hydrométéorologiques et climatiques et des SAP en Afrique centrale
- Phase 3 : Élaboration d'une note d'orientation pour l'amélioration des systèmes d'alerte précoce en Afrique centrale
- Phase 4 : Elaboration d'un projet de cadre régional pour l'amélioration des services hydrométéorologiques avec un plan d'action
- Phase 5 : Elaboration du rapport d'orientation pour l'organisation du 2e Forum HYDROMET en Afrique centrale

En 2015, des études sur l'état des lieux des services hydrologiques et météorologiques de sept (7) états membres de la CEEAC (Cameroun, Tchad, République du Congo, Gabon, République Centrafricaine, République Démocratique du Congo et Sao Tomé et Príncipe) ont été réalisées, avec l'appui du Partenariat Mondial de l'Eau dans le cadre du processus de « l'élaboration d'une stratégie régionale pour l'hydrométéorologie en Afrique Centrale ». La présente étude capitalise les résultats de ces rapports techniques en les évaluant.

L'information nécessaire sur les quatre autres pays (Angola, Burundi, Guinée Equatoriale et Rwanda) est rassemblée par des recherches bibliographiques et des entretiens guidées avec les services hydrologiques et météorologiques de ces pays et présenté dans quatre rapports d'état des lieux.

L'état des lieux des services climatiques en Afrique centrale est ensuite résumé dans un rapport de synthèse. Une note d'orientation pour l'amélioration des systèmes d'alerte précoce (SAP) en Afrique centrale sera élaborée pour fournir des conseils et illustrer les meilleures pratiques mondiales et l'expertise en matière de SAP. Ensuite des ateliers sont prévus pour élaborer un projet de cadre régional pour l'amélioration des services hydrométéorologiques et un plan d'action.

1.6 Objectif et structure de ce rapport

Ce rapport constitue la note d'orientation pour l'amélioration des systèmes de prévision et d'alerte précoce (SAP) en Afrique centrale (Phase 3 de l'étude). Le Chapitre 2 décrit ce qui est un système de prévision et d'alerte précoce et présente les meilleures pratiques pour le développement ou l'amélioration d'un tel système. Le Chapitre 3 propose des objectifs communs des états membres de la CEEAC pour l'introduction ou amélioration des systèmes de prévision et d'alerte précoce avec une feuille de route. Pour formuler ces objectifs communs, nous nous sommes basés sur

- l'analyse de l'état des lieux des services hydrométéorologiques dans les 11 états membres de la CEEAC de la phase précédente (Phase 2) de cette étude (Becker et al., 2021) ;
- la Marche à suivre pour établir un cadre national pour les services hydrologiques et météorologiques de l'OMM (2018) ;
- et les meilleures pratiques Le Chapitre 4 présente les conclusions et donne des recommandations sur les niveaux national et régional.

Basé sur les conclusions du présent rapport le projet du cadre régional pour l'amélioration des services hydrométéorologiques avec son plan d'action sera élaboré dans la phase prochaine (Phase 4) des livrables prévus dans le contrat avec la Banque mondiale.

2 Systèmes de prévision et d'alerte précoce

2.1 Définition de systèmes de prévision et d'alerte précoce

L'Organisation des Nations Unies définit un système de prévision et d'alerte précoce comme étant « [u]n système intégré de mécanismes et de processus de suivi, de prévision et d'évaluation des aléas, de communication et de préparation aux catastrophes permettant aux personnes, aux communautés, aux gouvernements, aux entreprises et à d'autres intervenants de prendre rapidement les mesures qui s'imposent pour réduire les risques de catastrophe en cas d'événements dangereux. » (ONU, 2016).

Pour limiter les pertes humaines et économiques liées aux risques climatiques des mesures structurelles sont souvent mises en place, telles que des barrières anti-inondations, canaux de déviation ou barrage. Ces mesures structurelles, bien qu'essentielles, ne suffisent cependant pas. Parallèlement, il faut entreprendre des mesures non structurelles comme le fonctionnement d'un système d'alerte contre les inondations qui s'avère être la méthode la plus efficace pour diminuer les risques de catastrophe. L'alerte précoce, en anticipant les risques de catastrophes, peut aider à la mise en place rapide et efficace de mesures structurelles et organisationnelles de contrôle et ainsi permettre de réduire les pertes humaines, économiques et matérielles (biens, infrastructures, bétail...). Pour être efficace, elle doit s'articuler autour des éléments suivants (UN-ISDRONU, 2016) :

- Un service de surveillance, de prévision et d'alerte du(des) risque(s),
- Une connaissance des risques de catastrophes,
- Un service de surveillance, de prévision et d'alerte du(des) risque(s),
- Une capacité de préparation et d'intervention,
- Un système de communication et dissémination des alertes,
- Plusieurs éléments transverses au niveau institutionnel, juridique et culturel.
- Plusieurs éléments transverses incluant des mécanismes institutionnels, juridiques et culturels.

Ces différents éléments sont présentés dans la Figure 2.1 (REMA & UK Met Office, 2013) :



Figure 2.1 Éléments clés d'un système de prévision et d'alerte précoce

Un système d'alerte précoce se construit donc en plusieurs étapes en commençant par une connaissance des différents risques et aléas climatiques tels que les inondations, sécheresses, tremblements de terre, glissement de terrain etc. Ces risques ainsi que leurs conséquences doivent être caractérisés à l'aide de connaissances géologiques, hydrologiques et structurelles des bassins versants, fondées sur la collecte de données et l'analyse des événements historiques. Les enjeux, vulnérabilités et impacts potentiels des catastrophes doivent également être définis en termes de risques de pertes humaines, économiques et matérielles. Avant de concevoir un service de prévision et d'annonce des crues, il est donc nécessaire de comprendre :

- Les caractéristiques hydromorphologiques du bassin hydrographique, la topographie, la géologie et les sols, ainsi que le degré de développement des infrastructures ;
- Les principaux processus physiques qui se produisent lors d'événements hydrométéorologiques ;
- Les zones d'exposition, de dangers et les vulnérabilités suivant les différents types de risques ;
- Le type de service nécessaire ou réalisable techniquement et économiquement.

La seconde étape est la surveillance et détection des différents risques en analysant les données climatiques et la situation actuelle et à venir. Cette surveillance est généralement assurée à l'aide de systèmes ou plateformes d'alerte précoce qui assurent l'importation, la validation, l'analyse des données, la modélisation et l'évaluation et distribution des résultats, et qui permettent une utilisation opérationnelle pour formuler une alerte lors d'un phénomène dangereux. Ces systèmes peuvent être très complexes (prévisions à échéances variées basées sur un système de stations d'observation optimisées et des prévisions de modèles locaux hydrologiques et de prévision de temps) ou simple (basé sur quelques stations à des endroits stratégiques ou sur des produits de prévision de temps globaux, donnant une information sur l'état actuel du système seulement).

L'étape suivante intervient lorsqu'un événement survient ou est imminent. L'alerte doit être transmises à un certain nombre d'utilisateurs, en fonction du type de risque, pour les raisons suivantes (OMM 2011) :

- Faire en sorte que les équipes d'intervention et le personnel d'urgence soient prêts à intervenir ;
- Alerter la population sur la période et la localisation de l'événement ;
- Alerter les personnes des impacts prévisibles concernant, par exemple, les routes, les habitations et les structures de défense anti-inondations ;
- Donner aux personnes et aux organisations le temps de mettre en place les actions préparatoires (dispositifs de protection, restrictions sur l'usage de l'eau...) ;
- Dans les cas extrêmes (inondations, glissement de terrain...), donner l'ordre de se préparer à évacuer et communiquer sur les procédures d'urgence.

Une alerte précoce peut sauver des vies, du bétail et des biens et contribuera toujours à réduire l'impact global. Les alertes d'inondation ou sécheresse doivent être comprises rapidement et sans ambiguïté. Par conséquent, une grande attention doit être apportée au moyen de véhiculer au mieux les informations techniques au personnel non spécialiste des organisations, au public, aux médias et, dans certains cas, à des groupes de population illettrés.

L'OMM (2015) différencie trois schémas du type d'information transmis qui se distingue de manière subtile :

- Schéma 1 – Prévisions et alertes météorologiques (phénomène dangereux uniquement) : Ces types de prévisions et d'alertes contiennent des informations se rapportant uniquement aux variables atmosphériques et à la manière dont elles sont censées évoluer. Dans le cas des alertes météorologiques, il s'agit de prévoir uniquement les phénomènes dangereux de nature météorologique.
Exemple : De violents orages sont attendus aujourd'hui avec des intensités de précipitation supérieures à 10 mm/h.
- Schéma 2 - Prévisions et alertes axées sur les impacts (phénomène dangereux et vulnérabilité uniquement) :
Ces types de prévisions et d'alertes sont destinés à indiquer les impacts attendus, découlant du temps prévu.
Exemple : *de violents orages sont attendus aujourd'hui avec des intensités de précipitation supérieures à 10 mm/h endommageront les arbres et les lignes d'électricité.*
- Schéma 3 - Prévisions et avis d'impacts (phénomène dangereux, vulnérabilité et exposition) :
Ces types de prévisions et d'avis sont destinés à fournir des informations détaillées jusqu'au niveau de l'individu, de l'activité ou de la communauté. Dans un grand nombre de cas, ces types de prévisions relèveront de la compétence d'organismes partenaires plutôt que de celle des SHMN proprement dits.
Exemple : *D'importants retards dans la circulation sont à prévoir à Libreville en raison du risque de chutes d'arbres sur les lignes électriques et sur les routes suite à de violents orages.*

Finalement les différents acteurs, une fois alertés, peuvent ensuite mettre en place des mesures de limitation des pertes et dommages lié au risque de catastrophe. Ces mesures varient suivant le type de risques (barrières anti-inondations, fermeture de routes, restrictions sur l'usage de l'eau, évacuations...) et pour être efficaces, des protocoles précis de réponse aux catastrophes doivent être définis.

Les différentes étapes du système de prévision et d'alerte précoce incluent ainsi la participation de différents organismes et parties prenantes, chacun ayant un rôle différent dans la chaîne du système d'alerte. La connaissance, surveillance, détection et émission de l'alerte précoce des risques devraient, selon l'OMM, être uniquement du ressort des organismes nationaux de météorologie et hydrologie de chaque pays. La réception de l'alerte, la mise en place d'interventions de réductions du risque doivent être organisées directement par les organismes concernés et impactés par le risque. Ces différentes parties prenantes, ou utilisateurs du système d'alerte précoce sont par exemple les autorités nationales (ministères) ou locales (municipalités, districts...), les acteurs économiques (gestionnaires de barrages, transports...), les services de premiers secours, les maires/chefs de village, le grand public et/ou les médias. Les responsabilités liées à la mise en place d'un système d'alerte précoce efficace reposent donc sur la collaboration et la mise en relation de nombreuses parties prenantes et il est donc important que ces parties soient le plus possible impliquées dans la planification, le développement et la mise en place du système d'alerte. Pour aider à la mise en œuvre du système, l'élaboration d'un plan stratégique et de procédures d'exploitation normalisées est nécessaire.

L'élaboration de procédures normalisées devrait ainsi permettre le bon fonctionnement du système d'alerte précoce et l'amélioration des services climatologiques. Pour construire un système efficace, il faudra que celui-ci soit (OMM, 2013) :

- Disponible : à des échelles temporelles et spatiales dont les utilisateurs ont besoin,
- Fiable : livré de manière régulière et à temps,
- Facile d'utilisation : présenté dans un format que l'utilisateur peut facilement comprendre,
- Utile : pour répondre de manière appropriée aux besoins des utilisateurs,
- Crédible : pour que l'utilisateur puisse prendre des décisions avec confiance,
- Authentique : pour être accepté par les parties prenantes dans un contexte donné,
- Flexible : avoir la possibilité d'évoluer en fonction des besoins des utilisateurs,
- Durable : abordable et cohérent dans le temps,
- Extensible : être utilisable pour différents types de services.

Bien que dans un premier temps, le système d'alerte précoce est développé pour la réduction des risques de catastrophes, il peut, dans un second temps, servir à l'amélioration plus étendus des services climatologiques fournis par les SHMN. On peut ainsi distinguer trois catégories de systèmes d'alerte précoce (REMA & UK Met Office, 2013) :

- Type 1 : Alertes multi dangers et conseils en cas de catastrophe
 - Alerte précoce des événements climatologiques dangereux,
 - Prévisions et information pendant les phases d'intervention et de reconstruction,
 - Prévisions et information pour les catastrophes non climatologiques (par exemple, déversement de produits chimiques, incendies non contrôlés, éruptions volcaniques etc.).
- Type 2 : Services de prévisions et informations de routine
 - Prévisions météorologiques journalières pour le grand public,
 - Prévisions à la carte pour des usagers du secteur privé (infrastructures, aviation, agriculture etc.) par exemple en fournissant des résumés de prévision ou des prévisions saisonnières.
- Type 3 : Données et analyses des risques à long-terme et impacts
 - Données et analyse du changement climatique,
 - Impacts et modélisation du changement climatique.

Finalement, les différentes composantes d'un système d'alerte sont résumées dans la Figure 2.2.

SYSTÈME D'ALERTE PRÉCOCE MULTIDANGER

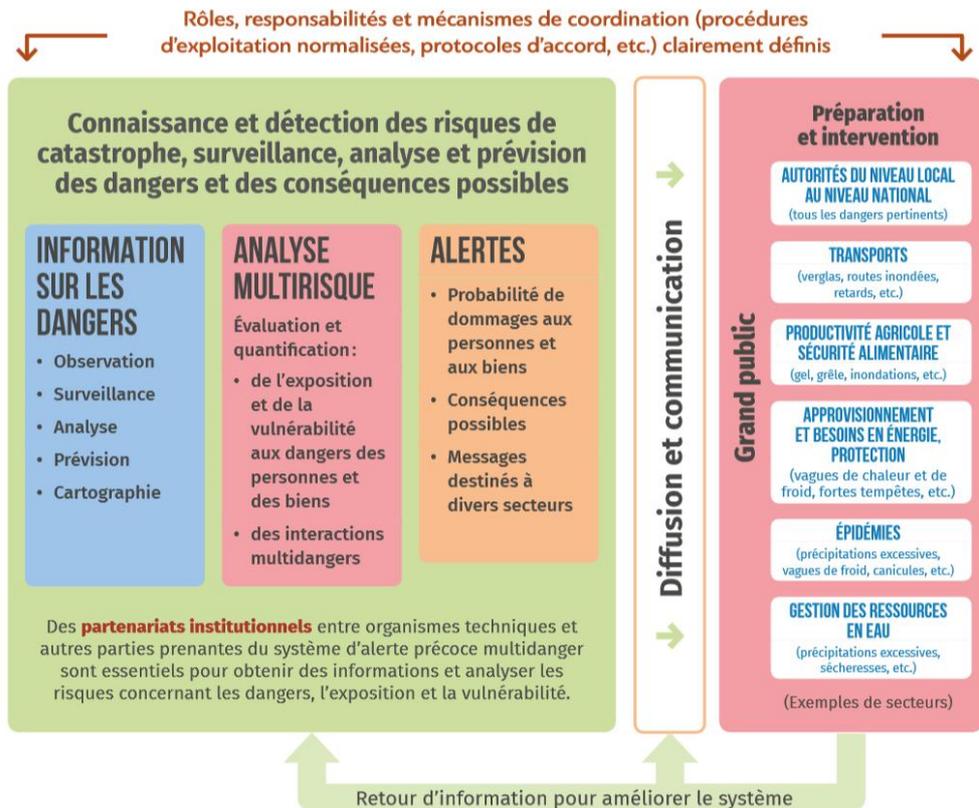


Figure 2.2 Représentation schématique d'un système d'alerte précoce multidanger (OMM, 2018)

2.2 Meilleures pratiques dans les systèmes de prévision et d'alerte précoce

Les systèmes de prévision et d'alerte précoce ont un rôle majeur dans la réduction des pertes humaines, matérielles et économiques liées aux risques de catastrophes, en mettant à disposition des autorités nationales et locales, du grand public et des services d'urgence des informations fiables et en temps opportun pour limiter les impacts des catastrophes. Pour être efficace, ces systèmes doivent d'une part être basés sur des connaissances scientifiques des phénomènes climatologiques impliqués et des caractéristiques de terrain, sur des données de prévisions et sur les technologies disponibles. D'autre part, ces systèmes doivent avant tout être centrés sur les utilisateurs et les conditions locales en impliquant activement les communautés et acteurs directement impactés par les risques de catastrophes. Cette implication dépend de la mise en place de liens étroits entre les différents acteurs et de canaux de diffusion efficace et précis de l'alerte précoce, ainsi que de la sensibilisation et éducation du grand public aux risques et à la manière d'y faire face.

L'OMM définit un « système d'alerte précoce rationnel et axé sur les populations comme une chaîne comportant les éléments suivants (2018) :

- La connaissance des risques de catastrophe fondée sur la collecte systématique de données et sur des évaluations des risques de catastrophe,
- La détection, la surveillance, l'analyse et la prévision des catastrophes et de leurs conséquences possibles,
- La diffusion et la communication, par une source officielle, d'alertes fiables, rapides, précises et permettant de réagir, ainsi que d'informations connexes sur la probabilité et les incidences,
- Et la préparation à tous les niveaux pour réagir et intervenir face aux alertes reçues. »

Pour développer ou améliorer un système de prévision et d'alerte précoce, il est donc important de considérer la chaîne d'alerte dans son ensemble (récolte de données et évaluations des risques → surveillance et prévision → communication de l'alerte → interventions), et de construire cette chaîne en commençant par la fin i.e. par les interventions et par définir pour qui et pour quoi le système d'alerte précoce doit être défini. En effet, les problèmes et enjeux liés aux catastrophes climatiques dépendent des parties prenantes et personnes directement impactées par le risque, et la construction de la chaîne d'alerte précoce dépend donc des besoins différents des utilisateurs du système.

Ainsi, un opérateur de réservoir, pour planifier et gérer les différents usages et allocations des quantités d'eau disponibles dans le réservoir a besoin de savoir à l'avance quelle sera la quantité totale future d'eau entrant dans le réservoir, afin de pouvoir réagir en cas de manque d'eau lié à la sécheresse, ou en cas de fortes précipitations, pour atténuer le pic de crue. Pour cela, le système de détection et prévision doit donc se baser sur des prévisions saisonnières et peut utiliser des modèles simples pour prévoir la quantité d'eau entrant dans le réservoir. La récolte des données et évaluation du risque sera quant à elle basée sur la surveillance du volume ou de la hauteur d'eau dans le réservoir, et en utilisant des modèles de prévisions météorologiques saisonniers ou d'anomalie de température.

A l'inverse, les autorités chargés de la gestion des catastrophes ont besoin d'organiser de manière rapide et efficace des mesures d'interventions pour permettre de sauver des vies. Pour cela, la détection et prévision doit se baser sur des prévisions à court terme et sur la surveillance des cours d'eau à l'amont des lieux à haut risque en termes de pertes. Suivant les résultats de l'évaluation des risques et la vitesse de réponse des bassins versants, la récolte des données se basera sur la récolte de données de pluie et/ou débits de stations de jaugeage situées sur les cours d'eau amont ou sur la récolte des données satellitaires de pluie.

En plus, de considérer la chaîne de construction de l'alerte précoce dans son ensemble, les systèmes de prévision et d'alerte précoce doivent également être adaptés aux ressources disponibles. Il peut exister des considérations pratiques à prendre en compte, notamment les limitations liées aux moyens financiers et à la disponibilité d'un système particulier proposé sur le marché, qui est fourni par un accord de financement.

De manière générale, un système de prévision et d'alerte précoce exige donc un groupement de données (observations et prévisions météorologiques), des outils de prévision des risques, des outils de diffusion d'alerte, et des prévisionnistes bien formés pour émettre et diffuser l'alerte afin d'intervenir et limiter les dommages et pertes humaines. Le système d'alerte précoce doit fournir un délai suffisant et un message suffisamment précis pour permettre aux communautés et aux organismes concernés de réagir et d'organiser leur intervention.

Pour aider à la mise en place de systèmes efficaces d'alerte précoce, l'Organisation Météorologique Mondiale a développé une liste de contrôle récapitulant les éléments que chaque composante de la chaîne de prévision et d'alerte doit comporter (Figure 2.3) :



Figure 2.3 Les quatre composantes du système de prévision et d'alerte précoce multidanger (OMM, 2018)

La connaissance des risques de catastrophes doit commencer par le recensement des différents aléas et l'**identification** des profils et types de risques. Ce recensement doit être basé sur des **données historiques**, centralisées, normalisées, dont la qualité est vérifiée et qui sont régulièrement mises à jour. Ces données vont ensuite servir à l'élaboration de la **cartographie** des zones à risques, de la cartographie des vulnérabilités en termes de personnes, matériels et infrastructures, ainsi que la cartographie des zones sûres en cas d'évacuation. En plus de la cartographie des risques, il faut également caractériser et surveiller les **facteurs aggravants** tels que la vulnérabilité accrue des différents groupes de personnes, la localisation géographique des groupes à risque, et l'intensification de facteurs tels que l'urbanisation ou l'agriculture.

La détection, surveillance, analyse et prévision des aléas et de leurs conséquences possibles exige la mise en place d'un **réseau de surveillance** et de matériels de mesure permettant la collecte, le contrôle et l'archivage des données de surveillance des risques. Si possible, le système de surveillance permet également le partage des données entre organisations à l'aide d'accords préalablement établis. Les données collectées servent alors à la mise en place **d'outils ou de procédures de prévision et d'émission d'alerte**. Ces outils doivent être précis et fiable pour assurer la crédibilité des alertes émises, normalisées à l'aide de protocoles et procédures d'exploitation, résilients afin de permettre l'émission d'alerte même en cas de coupure électrique ou de panne technique de l'une des composantes du système, et opérationnels 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Toutes les composantes du système, du matériel de mesure, à l'outil de prévision et l'outil d'émission et diffusion de l'alerte doivent être **documentés et normalisés**, ainsi que régulièrement contrôlé, maintenu et mis à jour. Les coûts de **maintenance** et d'entretien doivent par ailleurs être pris en compte dès la phase de conception du système de surveillance et d'alerte. Le personnel doit également être **formés à tous les niveaux**, que ce soient les opérateurs de stations, les prévisionnistes et gestionnaires des outils. Un personnel adéquat et dûment qualifié pour les unités de prévision et d'annonce des crues est impératif, compte tenu du niveau de risque actuel et les impacts potentiels sur les populations, les biens et les infrastructures.

La diffusion et communication des alertes commencent par l'**identification des différents acteurs** à informer. Suivant le type et la localisation du risque de catastrophe, il peut s'agir d'acteurs locaux, régionaux, nationaux, et internationaux, ainsi que des services de secours, des organisations non gouvernementales, des médias, des acteurs du secteur privé et bien sûr du grand public. Pour contacter ces différentes catégories de personnes, il faut **identifier les différents canaux de diffusion** de l'information. Ceux-ci doivent être adaptés au type de personnes, fiables et résilients en cas de panne et disponibles même dans les régions les plus reculées. Pour assurer la diffusion de l'information, les canaux employés doivent être multiples et en lien avec le secteur privé comme la télévision, la radio, ou les réseaux sociaux à l'aide d'accords et de partenariats préalablement établis. Les canaux de diffusion doivent être **maintenus**, vérifiés (l'information a-t-elle bien été communiquée), actualisés en fonction de l'évolution de la situation et adapté aux nouvelles technologies si besoin. Pour que la diffusion de l'alerte soit efficace, les **messages** diffusés doivent être claires, précis, fiables (inspirés confiance aux récepteurs) et adapté à la situation / population. Pour aider à leur conception, des **procédures et stratégies normalisées** des messages et canaux de diffusion doivent être définis et ce à tous les niveaux de nationaux à locaux, visant directement les différents groupes impactés, et adaptés aux différentes situations (urbains ou ruraux, etc.).

Le développement des capacités de préparation et d'intervention dépend de la **mise en place de plans d'intervention et procédures normalisées**, élaborés sous forme de scénarios probables, conçus de manière participative, prenant en compte les besoins des différentes personnes, et s'appuyant sur l'étude des risques et cartographie des zones de dangers et zones sûres. L'**identification des options d'intervention** est réalisée en fonction des situations, du type de risque et des moyens financiers disponibles. Les plans d'intervention sont accompagnés d'**exercices réguliers**, et d'analyse des événements passés afin d'améliorer et de mettre à jour les procédures d'intervention. Des **programmes de sensibilisation du grand public** aux risques, sur la manière de réagir et de se tenir informé doivent être développés via l'éducation nationale (de l'école à l'université) et via des campagnes nationales d'information.

3 Objectifs et recommandations pour l'amélioration des systèmes de prévision et d'alerte précoce en Afrique centrale

3.1 Identification des objectifs communs

L'analyse de l'état des lieux des services hydrométéorologiques dans les 11 pays membres de la CEEAC (Becker et al., 2021) a révélé que, bien que chaque pays présente ses particularités en termes de situation politique, législative, institutionnelle, d'état des lieux des services météorologiques et hydrologiques et de systèmes ou parties de systèmes de prévision et d'alerte précoce, on peut identifier des faiblesses et des axes d'amélioration communs. Un système de prévision et d'alerte précoce de pointe n'est pas à la portée de ces pays en ce moment, sauf peut-être pour le Rwanda et, dans une moindre mesure, l'Angola. En prenant appui sur la marche à suivre pour établir un cadre national pour les services climatologiques et les meilleures pratiques de mise en place de systèmes d'alerte précoce, nous proposons des objectifs et une feuille de route pour leur amélioration en Afrique centrale.

Les faiblesses communes identifiées sont :

- Au niveau environnement politique et cadre institutionnel :
 - Environnement politique et institutionnel fragmenté
 - Connection limitée avec les utilisateurs
 - Intégration insuffisante des services hydrologiques et météorologiques
- Au niveau du budget :
 - Budgets insuffisants
- Au niveau du personnel et sa formation :
 - Incapacité d'attirer et de retenir du personnel qualifié
- Au niveau technologique :
 - Réseau de surveillance hydrométéorologique limité et en déclin
 - Insuffisance de maintenance de l'infrastructure du réseau hydrologique
 - Système de gestion de données inadéquat
 - Incapacité de développer et de fournir les services climatologiques
 - Connaissance des risques insuffisante

Pour pouvoir améliorer ou mettre en place des systèmes de prévision et d'alerte précoce dans les pays d'Afrique Centrale, nous proposons des objectifs communs. Comme défini au chapitre 2, un système de prévision et d'alerte précoce rationnel et axé sur les populations se compose de quatre éléments que sont : i) la connaissance des risques ; ii) la détection, surveillance, prévision et analyse du risque ; iii) l'émission et diffusion de l'alerte ; iv) l'intervention pour limiter les dommages. Lors de la conception ou amélioration de tels systèmes, les quatre éléments dans leur ensemble doivent être considérés en commençant par la fin ou phase d'intervention, c'est-à-dire pour qui et pour quoi l'alerte précoce est nécessaire. Les objectifs communs identifiés sont :

- Objectif 1 : Les acteurs (fournisseurs, intermédiaires et utilisateurs) sont identifiés et interagissent ensemble pour identifier les défis d'adaptation et leurs rôles.
- Objectif 2 : Des structures de financement pérenne sont mises en place.
- Objectif 3 : Les besoins des utilisateurs et risques associés sont définis.

- Objectif 4 : Les besoins en termes de données à collecter sont définis et les écarts entre la situation voulue et actuelle sont identifiés.
- Objectif 5 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont améliorés / développés avec les utilisateurs pour répondre à leurs besoins.
- Objectif 6 : Les prévisions et alertes sont communiquées à temps et d'une manière appropriée et permettent une prise de décision.
- Objectif 7 : Les mesures de préparation et d'intervention sont prêtes et opérationnelles et le public a été sensibilisé et éduqué.
- Objectif 8 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont continuellement surveillés et évalués pour permettre de les améliorer.
- Objectif transversal : Renforcement des capacités.

3.2 Objectifs communs et recommandations d'amélioration

3.2.1 Objectif 1 : Les acteurs (fournisseurs, intermédiaires et utilisateurs) sont identifiés et interagissent ensemble pour identifier les défis d'adaptation et leurs rôles.

La première phase de conception ou d'amélioration d'un système de prévision et d'alerte précoce est la définition des différents acteurs impliqués. Ce sont d'une part les utilisateurs et bénéficiaires de l'alerte précoce, mais aussi les producteurs de données ainsi que les fournisseurs et prévisionnistes chargés de la surveillance et de l'émission de l'alerte, et enfin les intermédiaires qui peuvent aider à la bonne diffusion de l'alerte ou à l'amélioration du système. Dans le cadre de l'alerte précoce, les principaux acteurs identifiés par l'OMM (2018) sont :

- Les acteurs locaux (communautés et autorités locales),
- Les acteurs nationaux (autorités nationales) incluant les services hydrologiques et météorologiques nationaux,
- Les acteurs régionaux (agences et organisations régionales, autorités de bassin versants),
- Les acteurs internationaux (organismes internationaux),
- Les organisations non gouvernementales,
- Les médias,
- Le secteur privé,
- La communauté universitaire.

Au vu de la multiplicité des acteurs, il est important, pour chaque pays, de faire l'inventaire des acteurs concernés et d'établir un diagramme des rôles et interdépendances entre chaque acteur. Ce diagramme permet aussi d'éviter les décalages dans les tâches dédiées aux agences de prévision. A noter que plus il y a d'organisations impliquées, plus le système et les dépendances sont complexes.

Pour les états membres de la CEEAC, avec leurs bassins de grands fleuves souvent transfrontaliers, les organismes de bassins transfrontaliers sont des acteurs importants à inclure.

Pour que la prestation des systèmes d'alerte précoce soit adaptée aux besoins des utilisateurs, elle doit pouvoir s'appuyer sur de solides partenariats entre les SHMN et les utilisateurs, dont les experts sectoriels, organismes publics, entreprises privées et milieux universitaires. L'OMM présente dans *Marche à suivre pour établir un cadre national pour les services climatologiques* le schéma en Figure 3.1.

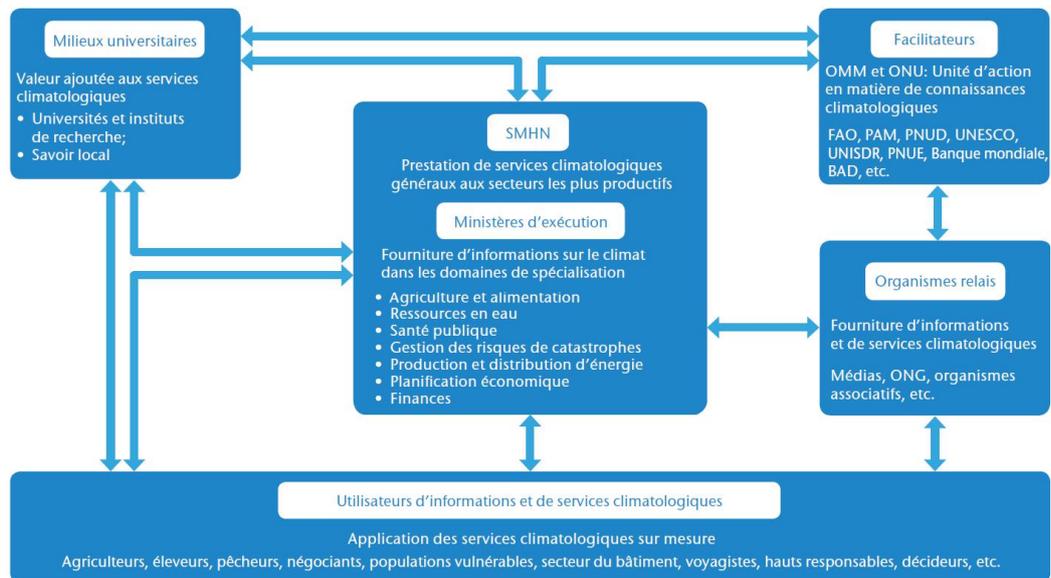


Figure 3.1 Schéma d'un cadre national des services climatologiques et des liens entre les institutions partenaires dans l'unité d'action en matière de connaissances climatologiques (BAD = Banque africaine de développement; FAO = Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture; ONG = organisation non gouvernementale; ONU = Organisation des Nations Unies; PAM = Programme alimentaire mondial; PNUD = Programme des Nations Unies pour le développement; PNUE = Programme des Nations Unies pour l'environnement; UNESCO = Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture; UNISDR = Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes) Source : OMM GFCS 2018)

Ce premier objectif nécessite un dispositif juridique pour encadrer la collaboration entre les acteurs et l'organisation d'ateliers de collaboration pour réunir et faire interagir les acteurs et favoriser la mise en place de partenariats. Pour officialiser les relations entre les partenaires, un protocole d'entente définit les rôles et responsabilités de chacun et fonde les bases d'un solide partenariat mutuellement bénéfique. Pour que ce type d'accord soit fructueux, il faut que chaque partie comprenne bien quelle est la mission et quels sont les objectifs de son partenaire. Cela suppose le plus souvent que soient définies les modalités des éventuels échanges de services et de ressources. L'OMM dispose de directives pour faciliter l'élaboration de mémorandum d'accord (*Directives pour l'élaboration d'un mémorandum d'accord entre un Service météorologique ou hydrométéorologique national et un organisme partenaire et pour la mise au point de procédures d'exploitation normalisées*, OMM-N 1099, PWS-26).

Dans le cadre du développement de partenariats avec les potentiels organismes, les éléments suivants, propres à chaque pays, doivent être pris en compte :

- Identifier les organismes gouvernementaux et les autres parties prenantes
- Définir une gouvernance claire entre les parties, y compris les comités directeurs et les groupes consultatifs ;
- Veiller à ce qu'un cadre juridique approuvé par les parties concernées soit mis en place pour permettre le partage de la propriété intellectuelle et l'échange de bonnes pratiques ;
- Mettre en place une gestion des programmes qui définisse les rôles et responsabilités en matière d'élaboration, de mise en œuvre, de fourniture et de vérification des produits et services axés sur les impacts ;
- Élaborer une stratégie de communication visant à identifier les services attendus, le(s) rôle(s) respectif(s) des parties (y compris des populations locales), et les activités de sensibilisation ;

- Convenir d'une stratégie visant à vérifier, évaluer et fournir un système de gestion et d'assurance de la qualité des produits et services ;
- Déterminer si une coopération internationale est nécessaire et quelles sont les considérations qui en découlent.

La définition des éléments précédents, et la mise en place du diagramme des dépendances entre acteurs doit être de préférence établie de manière participative entre les organismes et acteurs à l'aide d'ateliers ou de séminaires réunissant les différentes parties prenantes.

Pour éviter les mauvaises pratiques, il est très important de définir un plan commun d'organisations entre agences et, entre autres, une relation forte entre les services météorologiques et hydrologiques doit être développée. Dans l'idéal, ces deux services devraient dépendre du même ministère³, qui est aussi celui responsable de publier l'alerte. Cela permet d'éviter des situations où il existe un outil de prévision mais il n'est pas utilisé par les services d'alerte, ou des situations où il existe des outils indépendants dans les deux services (hydrologique et météorologique). Un renforcement des relations entre SHMN permettra aussi de mettre en commun et de partager les informations et données entre agences pour renforcer la fiabilité et la précision des alertes.

Finalement, bien que de nombreux secteurs peuvent bénéficier de services hydrologiques et météorologiques, il est important de procéder par phase itérative en commençant par une première sélection limitée (par exemple commencer par un ou quelques secteur(s)). Pour cette sélection, les services d'élaboration de produits spécialisés sont mis en place, évalués et améliorés. Les leçons apprises sont alors applicables pour de nouveaux secteurs.

Les domaines bénéficiaires incluent :

- Gestion des risques de catastrophes naturelles et humaines
- Gestion des ressources en eau
- Agriculture, irrigation, sécurité alimentaire
- Adaptation au changement climatique
- Gestion des bassins versants
- Gestion de l'environnement et des écosystèmes
- Gestion des barrages
- Gestion de l'énergie
- Approvisionnement en eau
- Utilisation des sols et aménagement du territoire
- Recherche et développement dans les domaines de la météorologie, l'hydrologie, la gestion des ressources en eau, le changement climatique
- Transport et navigation
- Pêche et sylviculture
- Tourisme
- Gestion de la qualité d'eau
- Santé
- Assurances

3.2.2 **Objectif 2 : Des structures de financement pérenne sont mises en place.**

Les sources de financement potentielles et le développement d'un modèle d'entreprise durable pour la prestation continue d'un service d'alerte précoce sont envisagés dès le début, d'autant plus que les ressources financières existantes sont le plus souvent limitées.

³ Ceci est déjà le cas au Burundi (où ces services font même partie du même institut), en République Démocratique du Congo, à Sao Tomé et Príncipe, au Rwanda et en République Centrafricaine, mais pas en Angola, au Cameroun, au Congo, au Gabon, en Guinée équatoriale, au Tchad.

Pour animer les discussions sur le financement, toutes les personnes impliquées doivent reconnaître la valeur des informations et prévisions climatiques et les avantages économiques et sociaux d'une « action précoce » à l'aide des informations climatiques. Il est très important que le financement inclut dès le départ les activités de formation, de support et maintenance du système et non simplement la conception de l'outil. En effet, ces besoins sont souvent négligés et rendent alors inutilisables le système d'alerte après sa conception. En effet, des postes dédiés à l'utilisation, la surveillance, la maintenance et la mise à jour du système doivent aussi être créés, et les personnels adéquats formés. Il est donc conseillé d'élaborer de préférence des plans de financement sur cinq ans, qui seront plus durables.

La définition d'un plan d'action chronologique et chiffré est nécessaire et ce processus de mise en place demande à être itératif, collaboratif, inclusif et flexible. Lorsque, comme en Afrique centrale, les ressources nationales sont insuffisantes pour financer la mise en œuvre de systèmes d'alerte précoce, il importe de préparer des propositions de projet à l'intention des partenaires techniques et financiers (PTF), dans le but de mobiliser des fonds pour exécuter les activités jugées prioritaires. Il est donc recommandé d'organiser un atelier de présentation du plan stratégique et d'action aux partenaires au développement engagés dans le pays. Ceci permettra d'éveiller l'intérêt et de montrer aux PTF que le gouvernement a préparé le dossier.

La mobilisation de fonds exige beaucoup de ressources. Les propositions doivent être différentes selon l'organe de financement auquel elles sont adressées (Fonds vert pour le climat ou Fonds pour l'adaptation, par exemple). Quelques exemples de fonds internationaux existants sont :

- Africa Climate Change Fund
<https://www.afdb.org/en/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/africa-climate-change-fund>
- Special Africa ClimDev Fund (donateur principal: Afdb)
<http://www.climdev-africa.org/>
- Green Climate Fund (GCF)
<https://www.greenclimate.fund/>
- Global Environment Facility (GEF)
<https://www.thegef.org/>
- Climate Investment Funds (CIF)
<https://www.climateinvestmentfunds.org/>
- Adaptation Fund (AF)
<https://www.adaptation-fund.org/>
- IKI Small Grants (« Programme des petites subventions ») du ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sécurité nucléaire (BMU) à travers la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
https://www.international-climate-initiative.com/en/project-funding/information-for-applicants/iki-small-and-medium-grants/iki-small-grants?iki_lang=en
- UK International Climate Finance (ICF)
<https://www.gov.uk/guidance/international-climate-finance>
- Fonds Français pour l'Environnement Mondial
<https://www.ffem.fr/fr>
- CREWS Trust Fund
<https://www.crews-initiative.org/en/about-us>

Pendant que le gouvernement et les parties prenantes cherchent un financement supplémentaire auprès des partenaires pour le développement ou des fonds mondiaux pour le climat, les activités prioritaires en faveur du système d'alerte précoce peuvent débuter avec les budgets dont disposent les institutions participantes et les projets en cours. Il est important de réserver du budget pour maintenir le réseau de surveillance et de commencer par le déploiement de projets pilotes prioritaires avant la mise à échelle du système.

Il est utile d'estimer la valeur potentielle d'un meilleur accès aux alertes sur la base de l'évaluation des risques qui a été effectuée auparavant. La communication de ces avantages socio-économiques potentiels aux décideurs politiques pourrait sensibiliser et accroître les investissements publics dans les services climatologiques. Il est recommandé aux SHMN d'identifier les décideurs de leur pays et de développer une stratégie de sensibilisation.

3.2.3 Objectif 3 : Les besoins des utilisateurs et risques associés sont définis.

Le système d'alerte précoce doit permettre de répondre aux besoins d'une gamme d'utilisateurs finaux, notamment les premiers intervenants et les décideurs, les gestionnaires de catastrophes et la population, qui ont tous des besoins différents selon les types de risques et les informations nécessaires pour diminuer les impacts.

Une fois que les utilisateurs ont été identifiés, il faut savoir :

- Par quels risques sont concernés les utilisateurs, quelles actions seront mises en œuvre par ces différents utilisateurs et quels délais de temps sont associés à la mise en place de chacune des mesures préconisées (Figure 3.2).
- Quels indicateurs devraient être utilisés pour évaluer l'occurrence d'un phénomène dangereux ?
- Quelles sont les valeurs seuils liées à la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux pour aider les organismes (entreprises, secteur de la finance, organismes de santé et de la gestion des risques de catastrophes) à prendre des décisions et à gérer leurs activités ?
- Quel est l'impact d'un phénomène dangereux et quelle est la vulnérabilité des éléments exposés, êtres humains, moyens de subsistance et biens matériels.
- Quels paramètres à inclure dans le message d'alerte : phénomène dangereux et/ou vulnérabilité et/ou exposition. Et sous quelle forme le message doit-il être présenté et transmis pour être utile, arriver à temps et permettre une prise de décision.



Figure 3.2 Définir les utilisateurs, actions et temps d'application des mesures

Les paragraphes suivants donnent d'information additionnelle sur l'identification des types de risques pertinents et des délais de prévision nécessaires.

Identification des types de risques pertinents

Pour caractériser les besoins en alerte précoce des différents utilisateurs, il faut identifier les types de risques les concernant et leurs délais de prévision afin que les utilisateurs puissent suffisamment anticiper le risque pour en limiter les conséquences. L'analyse des événements historiques qui se sont déjà produits par le passé permettra d'identifier les phénomènes probables et dangereux propres à chaque région. La présente étude se concentre sur les risques d'inondations et/ou de sécheresses.

Pour mieux comprendre les risques, il sera important de cartographier les zones de danger et les zones sûres pour chaque risque, et de cartographier également les enjeux tels que les zones d'habitation, les infrastructures (routières, industries etc.), les zones agricoles... Les zones de danger peuvent être cartographiées à l'aide de connaissances des événements passés.

Par exemple, au Maroc, après chaque inondation, un inventaire de toutes les zones qui ont été inondées est établi par les autorités locales, et sont ensuite intégrées à la cartographie des points sensibles et dans la mise à jour des plans de protection (Equipe Néerlandaise pour la Réduction des Risques, 2016).

Identification des délais de prévision

A chaque type de risque et localisation impactée est associé un délai de prévision du risque correspondant. Ci-dessous sont présentées des considérations supplémentaires sur les délais de prévisions.

Alors que les prévisions d'inondation nécessitent généralement des délais de prévision pour le court ou moyen terme, la gestion et la planification des ressources en eau ou l'agriculture nécessitent plutôt des délais de prévision saisonniers pour le long terme. La Figure 3.3 indique la chronologie à partir du moment où un évènement (précipitations importantes) commence. Les données météorologiques et hydrologiques du réseau de surveillance doivent être rassemblées dans un point central pour permettre aux prévisionnistes d'identifier la menace. Lorsque l'information est disponible, celle-ci doit être analysée, potentiellement nécessitant de faire tourner des modèles hydrologiques pour prévoir comment l'évènement pourrait évoluer. Si l'évènement s'avère constituer une menace, la prévision doit être communiquée aux décideurs qui peuvent ensuite décider d'émettre une alerte aux utilisateurs. Les utilisateurs peuvent ensuite commencer par mettre en place les actions pour atténuer l'impact de l'évènement. Chaque étape de cette chronologie nécessite un certain temps, et pour rendre un système de prévision efficace, il faut qu'il y ait assez de temps pour chaque étape avant que la menace ne se manifeste réellement. Par exemple dans le cas d'une inondation, le centre de prévision informe les institutions en charge de la gestion des risques de catastrophes naturelles et s'il est décidé d'agir, l'évacuation des villages exposés doit être achevée avant que ne survienne l'inondation.

Le modèle en Figure 3.3 présente les temps de prévision et d'alerte, soit pour chaque utilisateur le temps nécessaire pour mettre en place l'action et aussi pour les étapes précédentes. La Figure suggère que le temps de délai maximal est restreint par le début de l'évènement (e.g. fortes précipitations) et l'occurrence de la menace (e.g. inondation), ce qui correspondrait au temps de réponse du bassin versant. Cependant, si des prévisions météorologiques sont disponibles, le concept peut être étendu au-delà du temps de latence du bassin versant.

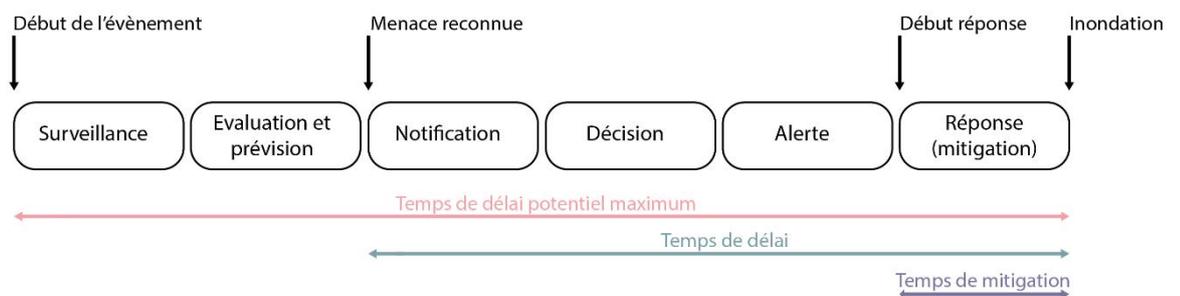


Figure 3.3 Temps de prévision et d'alerte (d'après Werner et al., 2011)

Il est clair que le bénéfice d'une prévision augmente pour chaque utilisateur avec une augmentation du temps de délai pour prendre des dispositions. Cependant, une augmentation du temps de délai de la prévision implique une augmentation de son incertitude. Il s'agit donc de trouver un compromis entre le temps de délai de la prévision nécessaire pour prendre une décision et l'incertitude de cette prévision qui pourrait mener à prendre une mauvaise décision.

Le délai prévisionnel est donc différent en fonction de l'utilisateur. On peut distinguer trois catégories :

- Des prévisions à très court terme (de 0 à quelques heures) pour les crues éclairs, qui sont fréquemment associées à de violents orages de convection d'une courte durée s'abattant sur une superficie réduite (OMM, 2011).
- Des prévisions à court terme qui varient entre 0 et 10 jours à venir, en fonction de la taille du bassin versant. Celles-ci se focalisent surtout sur les côtes et débits pour la prévision de risques d'inondations pendant les crues fluviales, par exemple pour les institutions en charge de la gestion des risques de catastrophes naturelles.
- Des prévisions à moyen terme : celles-ci ont un délai prévisionnel d'environ 5-10 jours ou même de 1-3 mois, en fonction de la taille du bassin. Ces prévisions seront souvent de nature probabiliste pour prévoir côtes et débits, ainsi que des volumes d'eau pour informer les opérateurs de barrages. Ce type d'information peut aussi servir aux institutions en charge de la gestion des risques de catastrophes naturelles pour émettre des pré-alertes ou les agences de gestion d'eau en cas de sécheresse.
- Des prévisions saisonnières : elles fournissent des informations sur l'évolution des ressources en eau du système sur les 1-3 mois à venir ou même jusqu'à un an ou plus. Les principales variables d'intérêt sont alors les déviations par rapport à la normale. Les utilisateurs typiques de cette prévision sont les opérateurs de barrage et les secteurs qui dépendent des ressources en eau (irrigation).

Les besoins en termes de délai prévisionnel et leur localisation dans le bassin versant doivent être définis. En collaborant avec les utilisateurs, un tableau comme dans la Figure 3.4 peut être développé. Ensuite, les lieux de prévisions pour chacun des délais (courts, moyens, saisonniers) sont présentés sur la carte du bassin versant comme en Figure 3.5 et Figure 3.6.

Utilisateur	Point d'intérêt dans le bassin	Régime du bassin (en amont)	Délai prévisionnel		
			court	moyen	saisonnier
Agence gestion de risques	Région A	naturel	++	+	-
opérateurs barrage B	point d'entrée barrage B	naturel	+	++	++
opérateurs barrage C	point d'entrée barrage C	régulé	+	++	++
Service irrigation	système irrigation D	naturel, régulé	+	+	++
Protection civile	Region A	naturel	++	+	+

Figure 3.4 Evaluation des utilisateurs et de leurs besoins de délai prévisionnel (adapté de Werner et al., 2011)

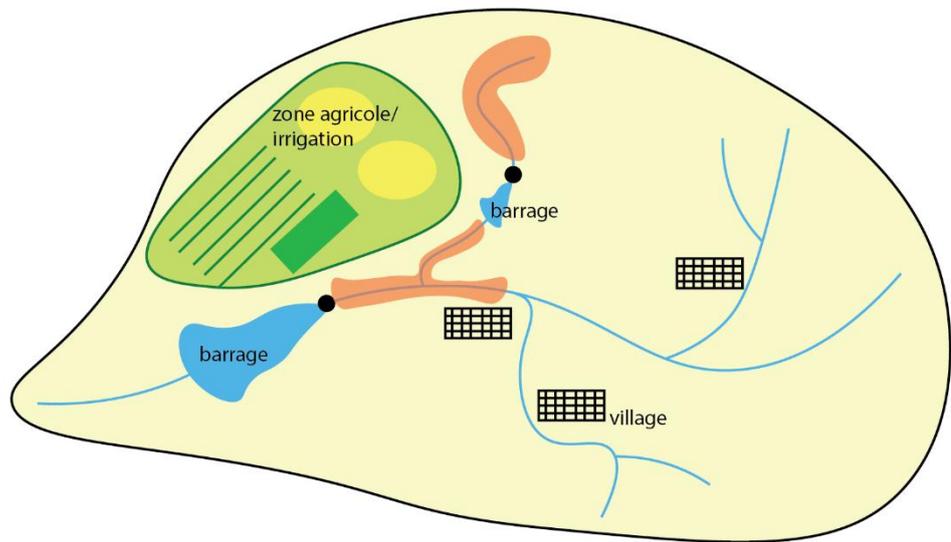


Figure 3.5 Carte du bassin versant pour identifier les localisations des utilisateurs avec des besoins de délais prévisionnels saisonniers (zones orangées)

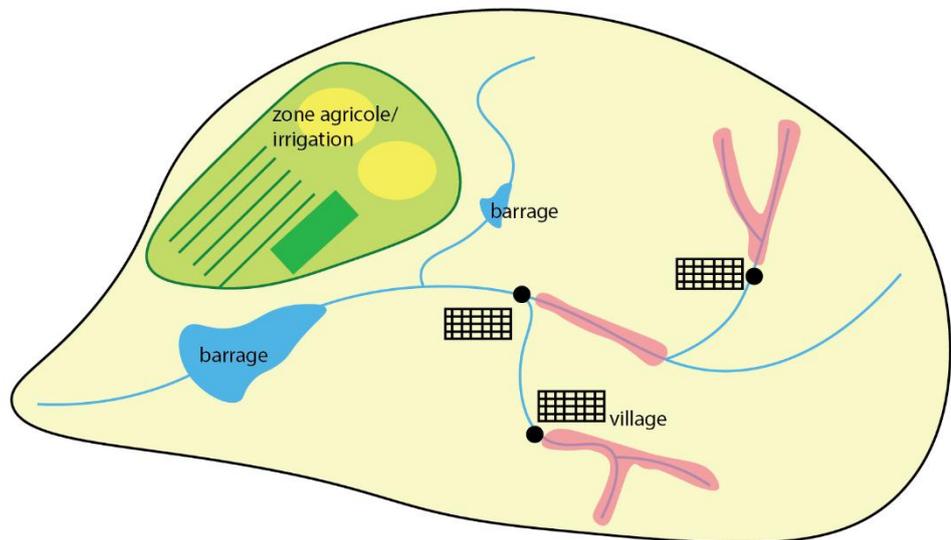


Figure 3.6 Carte du bassin versant pour identifier les localisations des utilisateurs avec des besoins de délais prévisionnels courts (zones roses)

3.2.4 Objectif 4 : Les besoins en termes de données à collecter sont définis et les écarts entre la situation voulue et actuelle sont identifiés.

Pour effectuer une prévision et émettre une alerte précoce de phénomènes dangereux, il est important de caractériser les risques afin de savoir reconnaître le début d'un événement dangereux, le temps de réponse du bassin versant afin de pouvoir identifier quelles seront les données et types de données de prévision requises par le système d'alerte précoce.

Dans l'idéal, la caractérisation du risque et les valeurs seuils d'alerte sont réalisés à l'aide d'une étude historique des risques et événements passés, ainsi que sur des données climatologiques et hydrologiques historiques. Pour rappel un risque est défini en termes d'aléa et d'intensité et la cartographie des enjeux est donc nécessaire pour définir les valeurs seuils.

Cependant, dans les états membres de la CEEAC, il n'existe pas beaucoup de stations d'observation météorologiques ni hydrologiques, et souvent les données des stations existants ne sont pas bien archivées. Les prochains deux paragraphes décrivent en plus de détail les choix pour les valeurs seuils d'alerte pour les inondations et les sécheresses. Ils sont suivis par un paragraphe avec des recommandations de comment faire face au manque de données.

3.2.4.1 Valeurs seuils d'alerte pour les inondations

Pour les inondations les valeurs seuils d'alerte peuvent être définies par rapport aux :

- Hauteurs d'eau du cours d'eau dépassant la hauteur des berges et causant un débordement. En fonction de l'amplitude du dépassement et des enjeux présents, le risque de dommages est plus ou moins élevé.
- Débits du cours d'eau dépassant le débit critique de débordement (lié à la hauteur d'eau).
- Précipitations en amont du lieu de prévision intense et dépassant une valeur seuil de débordement.

Les valeurs seuils d'alerte d'inondation liées aux hauteurs d'eau ou débits sont plus simples à définir car elles peuvent provenir de mesures directes de hauteurs dans les cours d'eau à l'emplacement des lieux de prévision et de la comparaison avec le nombre d'enjeux impactés en fonction du niveau d'eau (Figure 3.7). Les valeurs seuils de débits peuvent être reliées aux valeurs seuil de hauteurs d'eau à l'aide de courbes de tarage. Si des données historiques provenant de stations de jaugeage sont disponibles pour une période de temps suffisante, des études statistiques de fréquence de ces données peuvent également permettre de définir les valeurs seuils.

Cependant, pour qu'un système de prévision et d'alerte précoce puisse prédire des valeurs seuils de hauteurs d'eau ou débits, des modèles hydrologiques doivent être mis en place et le système d'alerte précoce devient plus complexe. Il est donc moins évident mais plus facile par la suite d'établir les niveaux d'alerte en fonction de seuils de précipitations. Les seuils de précipitations peuvent être identifiés en fonction de l'inventaire des inondations passées et de leur date d'occurrence. Les données de précipitations correspondant à la période pour laquelle l'évènement a eu lieu sont alors analysés et les valeurs identifiées. Pour les bassins versants dans lesquels aucun évènement passé n'a été répertorié, les valeurs seuils définies pour des bassins hydrologiques ayant le même comportement peuvent être utilisés. Les données de précipitations nécessaires à l'analyse peuvent provenir de plusieurs sources : des stations de mesures ou télémétriques des SHMN (qui ne sont pas disponible en grand nombre dans les états membres de la CEEAC), de données satellites et par défaut de données globales telles que les bases de données GPM⁴, CHIRPS⁵ ou ERA5⁶. Les données locales sont privilégiées car souvent de meilleure qualité que les données globales. Des études statistiques de données de précipitations à long terme peuvent également être utilisées.

⁴ <https://gpm.nasa.gov/data/directory>

⁵ <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

⁶ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

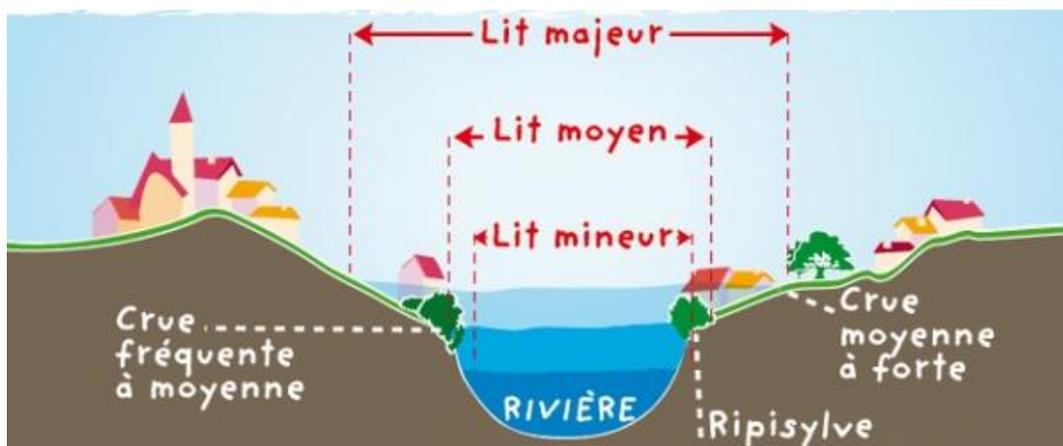


Figure 3.7 Intensité du risque d'inondation en fonction de la hauteur d'eau et des enjeux impactés (SMMAR, 2020)

3.2.4.2 Valeurs seuils d'alerte pour les sécheresses

Pour caractériser les risques de sécheresse, il existe plusieurs méthodes ou index tels que :

- Le recensement des différents usages de l'eau (approvisionnement public, agriculture...) et la comparaison avec la quantité d'eau disponible (cours d'eau, réservoir, nappes phréatiques)
- Index liés à l'accumulation des déficits de précipitations (la différence entre la précipitation et l'évaporation)
- Indice standard de précipitations (Standard Precipitation Index, SPI). L'indice standard de précipitations est l'un des indices climatologiques de précipitations les plus courants pour l'identification des excédents et déficits (sécheresses) des précipitations. Le SPI est utilisé pour évaluer et caractériser les conditions de précipitations d'un mois, d'un trimestre ou d'un semestre par rapport aux valeurs normales respectives.
- Définition de niveaux d'eau critiques dans les réservoirs

3.2.4.3 Manque de données

En cas de manque de données d'évènements historiques, des initiatives tels que Floodtags peuvent être utilisées. FloodTags analyse les médias en ligne et le contenu généré par les utilisateurs pour la gestion de l'eau et la sécurité alimentaire. Les informations sur ce site comprennent des articles de presse en ligne, des blogs, des forums, des échanges sur Twitter, des pages publiques Facebook et des services de messagerie tels que WhatsApp et Telegram. Les données sont analysées en utilisant un mélange d'intelligence artificielle, de traitement du langage naturel et de combinaisons avec des sources de données externes, y compris l'imagerie satellite. Les analyses permettent l'identification d'évènements historiques tels que les inondations et sécheresses et ont déjà été appliqués sur le continent africain (Figure 3.8).

Des valeurs seuils pour débits ou précipitation peuvent aussi être estimés avec des relations hydrologiques simples ou basé sur des données globales. Pour le futur il est important de bien archiver toute information disponible pour pouvoir raffiner ces estimations.

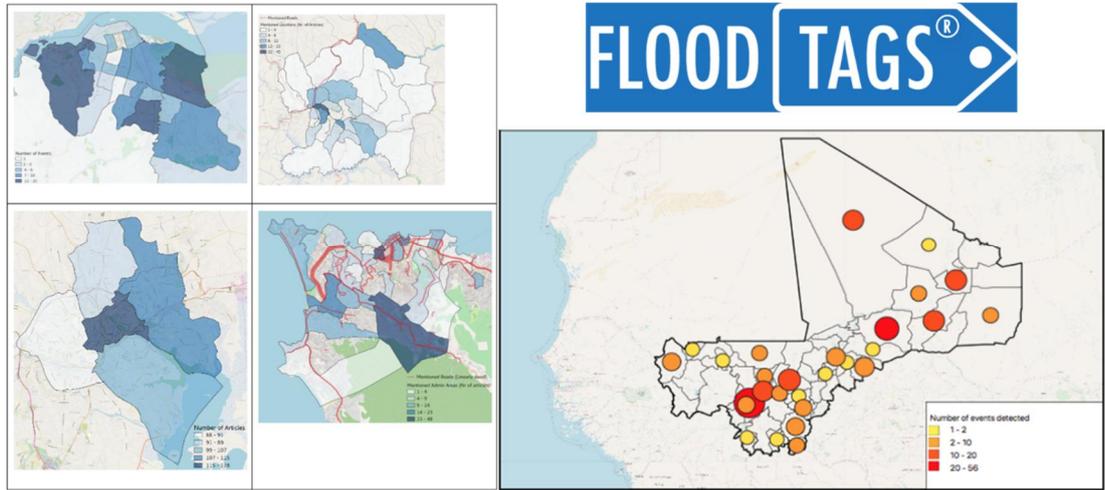


Figure 3.8 Détection d'évènements historiques d'inondation pour quatre villes africaines (gauche : de droite à gauche, Kinshasa (RD Congo), Kigali (Rwanda), Bamako (Mali) et Freetown (Sierra Leone)), et de sécheresses au Mali (droite) par FloodTags à partir de la revue d'articles de presse (FloodTags, 2020).

3.2.4.4

Carte de temps de réponse

À la suite de cette analyse des seuils d'alerte, une carte est réalisée pour mettre en évidence les temps de réponse du bassin versant en chaque lieu de prévision (Figure 3.9). Cette estimation peut être faite à partir d'analyse de corrélation entre des paires de stations disponibles. Pour des tributaires non-jaugés, des estimations de temps de réponse du système peuvent être faites en utilisant des données de tributaires similaires ou en se basant sur des formules générales disponibles dans la littérature.

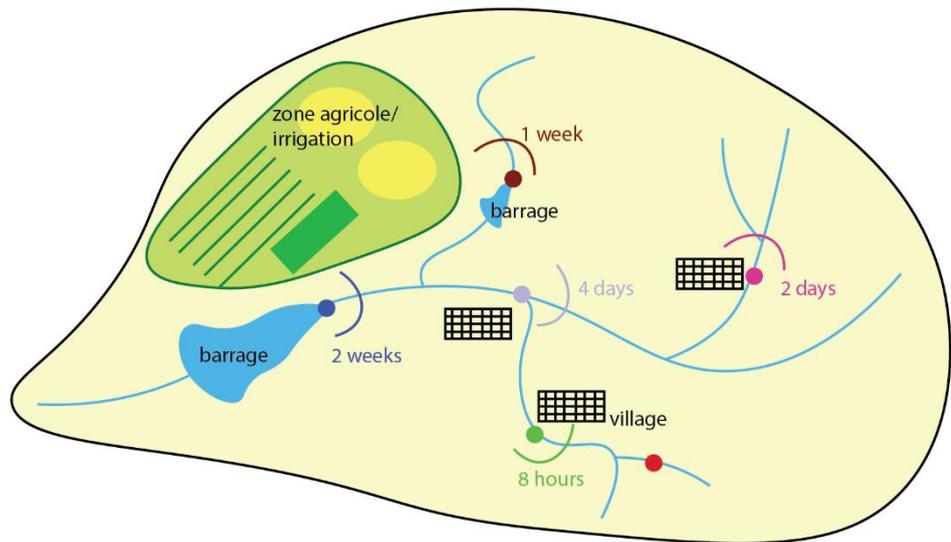


Figure 3.9 Temps de réponse du bassin versant en amont de chaque lieu de prévision

3.2.4.5 Besoins en termes de données à collecter

Les besoins en termes de données nécessaires pour la prévision sont étroitement liés aux caractéristiques hydrologiques des bassins et aux ressources disponibles des SHMN. En effet les délais prévisionnels sont étroitement liés au temps de latence des bassins versants. Il est donc important de comprendre le système hydrologique du bassin versant. En fonction de la localisation de l'utilisateur dans le bassin, l'information nécessaire pour faire la prévision avec le délai requis sera différente.

Pour les grands fleuves des états membres de la CEEAC, les organismes de bassins transfrontaliers peuvent jouer un rôle important dans la description du système hydrologique et la définition de valeurs seuils.

3.2.5 **Objectif 5 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont améliorés / développés avec les utilisateurs pour répondre à leurs besoins.**

Sur le plan technique, le système d'alerte précoce doit rassembler plusieurs éléments :

- un outil de surveillance permettant l'incorporation, la validation, le contrôle et le stockage des données et informations historiques et récentes,
- un outil d'incorporation des données voire des modèles de prévisions des risques,
- un outil de visualisation des données historiques et de prévisions permettant également de visualiser facilement les niveaux seuils pour faciliter la prise de décision d'émission de l'alerte.

La conception ou l'amélioration du système de collecte, de traitement et de transmission d'information se base, d'une part, sur l'analyse des besoins des utilisateurs et, d'autre part, sur la réponse hydrologique du bassin pour chaque lieu de prévision. En réunissant ces deux aspects, des recommandations peuvent être faites sur le développement du réseau de surveillance et sur les données et modèles à incorporer dans le système de prévision. Ce système de prévision est alors adapté aux besoins des utilisateurs et peut aussi tenir compte de besoins futurs.

Les recommandations sur le système à développer peuvent ensuite être comparées à la situation actuelle pour identifier les lacunes du réseau actuel et les écarts à combler en termes de modélisations et de sources additionnelles de données de prévisions météorologiques.

Les options de développement ou d'amélioration du système de prévision et d'alerte précoce devront être définies à la suite des analyses des capacités techniques, organisationnelles et financières des SHMN de chaque pays, ce afin de définir les solutions possibles et durables en fonction des capacités de chaque pays. Pour les états membres de la CEEAC des recommandations sont données dans le Chapitre 4 du présent rapport.

Les paragraphes suivants décrivent en plus de détail les données historiques et récentes nécessaire pour connaître la situation actuelle, le cas spécifique des bassins transfrontaliers, les sources disponibles de données de prévision, les niveaux de complexité de systèmes de prévision et d'alerte précoce, les plateformes techniques pour les systèmes de prévision et d'alerte précoce et la mise en place d'un tel système.

3.2.5.1 Les données historiques et récentes pour connaître la situation actuelle

Pour construire un système d'alerte précoce d'inondation ou de sécheresse, il est important de connaître l'état actuel du système et des bassins versants. En effet, dans le cas d'inondation, un même évènement de précipitations n'aura pas le même impact si les niveaux des cours d'eau sont déjà hauts ou presque secs. De même en cas de manque de pluie, les sécheresses seront plus probables si les niveaux des réservoirs et nappes phréatiques sont également faibles.

Il est donc important d'établir dans le système d'alerte un outil de surveillance des bassins versants basés sur l'incorporation de données historiques de pluie et si possible des hauteurs ou débits des cours d'eau et des réservoirs.

Ces données proviennent idéalement de réseaux de stations manuelles ou automatiques des SHMN. La défaillance des stations est un problème courant. La défaillance peut être due au vandalisme, à une défaillance de l'instrument, aux dommages causés par les intempéries et les inondations ou bien à un simple manque d'entretien. Aucun système, aussi automatisé soit-il, ne nécessite jamais de maintenance. Pour assurer la durabilité, un budget suffisant est nécessaire pour entretenir le réseau. Par conséquent, si les budgets sont modestes, la couverture du réseau doit être appropriée. Le coût lié au remplacement de stations automatisées coûteuses par rapport à la maintenance et à la réparation est une considération importante. L'expérience montre que le meilleur moyen de minimiser le risque de vandalisme et de défaillance de la station en raison d'un mauvais entretien est d'employer des observateurs locaux, avec une supervision périodique sur le terrain et un soutien à l'entretien / réparation. Ils présentent un moyen rentable d'éviter les lacunes importantes dans les données et peuvent fournir des mesures de sauvegarde manuelles des niveaux d'eau, permettant de corriger les mesures automatisées du niveau d'eau. Il convient de noter que les capteurs modernes peuvent souffrir de « dérive des capteurs », la valeur mesurée commence à s'écarter de plus en plus au fil du temps de la réalité. A noter que les stations de mesures télémétriques et en temps quasi réelle permettent de construire des systèmes de prévision plus fiables mais présentent le désavantage d'être coûteuses en termes d'installation, de maintenance et de vérification de la qualité des données transmises. L'évaluation et l'étape de connaissances des risques permettront d'identifier les zones propices à l'installation de nouvelles stations de mesures comme au niveau des zones à aléas forts d'inondations combinés à un risque d'impacts forts, ou à proximité des zones où des problèmes potentiels d'irrigation peuvent survenir en cas de sécheresse.

Si aucune station de mesure n'est disponible et que leur installation est trop coûteuse, d'autres types de données climatologiques et hydrologiques peuvent être utilisées comme l'installation de caméras de surveillance permettant d'avoir un aperçu des zones les plus critiques. Une autre possibilité est d'explorer l'utilisation de données satellites historiques pour des données de précipitations, température, évaporation potentielle, humidité du sol etc. Ces données, régionales ou globales, proviennent des mêmes sources identifiées en objectif 4. Pour une meilleure couverture et qualité, il est également possible de combiner les données des stations de mesures avec des données satellites. Une dernière option est d'utiliser des données radar mais leur installation et utilisation est très coûteuse. Il est cependant probable que les aéroports nationaux disposent de leur propre radar pour l'aviation et des partenariats pour le partage des données peuvent alors être envisagés.

Quelles que soient les données utilisées, il sera essentiel d'incorporer à l'outil de prévision une étape de contrôle et de validation de la qualité des données importées.

3.2.5.2 Les bassins transfrontaliers

Dans le cas de bassins transfrontaliers ou à réponse rapide, les données historiques devront aussi couvrir les régions avoisinantes des bassins versants et des pays voisins. Le partage des données entre pays ou via les centres régionaux est alors vivement recommandé.

3.2.5.3 Sources de données de prévisions météorologiques et hydrologiques

Une fois la situation historique et actuelle connue, il faut alors prévoir la situation future du système pour identifier de manière précoce les risques d'occurrence d'événements dangereux. Comme vu précédemment, les délais de prévisions dépendent du type de risque. Les prévisions seront à court ou moyen terme pour les inondations et saisonnières pour les sécheresses.

En fonction des valeurs seuils identifiées et du type de prévision, différents types de données climatologiques telles que les précipitations et ou la température seront nécessaires et pourront être complétés par des modèles hydrologiques.

Il existe différentes sources de données de prévisions météorologiques et hydrologiques, nationales, régionales ou globales. Les services météorologiques nationaux peuvent posséder leurs propres modèles de prévisions météorologiques et des partenariats entre les services météorologiques et hydrologiques permettront l'utilisation de ces modèles par le système d'alerte précoce. Néanmoins, les SHMN de la plupart des états membres de la CEEAC n'ont pas les capacités pour ceci en ce moment⁷. Dans ce cas, les prévisions élaborées par les centres régionaux sont utiles tels que le IGAD-RCC, le centre régional AGRHYMET et le SADC-CSC ainsi que les forums régionaux pour les aperçus climatologiques (PRESAC, PRESASS, PRESAGG, SARCOF) qui fournissent des données saisonnières sur trois mois (voir aussi le paragraphe 4.2 pour des recommandations concernant les centres et forums régionaux). Enfin des modèles numériques de prévision météorologique globale peuvent être utilisés tels que les données GFS, gratuites et sur une durée de prévision de 10 jours, ou les données ECMWF, disponibles pour des prévisions à court, moyen et long terme⁸. Les données ECMWF ne sont pas libre d'accès mais il existe des contrats spécifiques pour les pays en voie de développement. Enfin, des modèles de la NASA d'anomalie des températures liés à l'influence du phénomène ENSO (El Niño / Southern Oscillation) comportant les observations de température de surface marine fournissent déjà une indication des saisons sèches ou humides à venir⁹. Enfin des modèles de prévisions hydrologiques globaux sont disponibles tels que le modèle GLOFAS (Global flood awareness system). Ils permettent d'avoir accès à des estimations des débits des cours d'eau sur une période de 10 jours. Ces modèles sont cependant globaux et la fiabilité de leurs prévisions doit être vérifiée avant d'émettre une alerte. Comme pour les données ECMWF, les données GLOFAS ne sont pas libres d'accès mais il existe des contrats spécifiques pour les pays en voie de développement. A noter que les données globales présentent l'avantage d'une couverture mondiale, mais leur téléchargement et utilisation nécessitent une connexion internet stable et fiable.

Si les valeurs seuils de risques sont caractérisées en termes de hauteurs d'eau ou débit et que les données de prévisions sont liées aux précipitations et températures, des modèles hydrologiques pluie-débit sont requis. Ces modèles peuvent être simples tels que des corrélations pluie-débit ou des coefficients d'écoulement ou plus complexes en utilisant des modèles hydrologiques semi-distribués (de préférence gratuit ou à achat unique) tels que HEC-HMS¹⁰ du US Corp Army of Engineers, wflow¹¹ de Deltares, ou HBV¹² ou HYPE¹³ de SMHI. Enfin des modèles hydrauliques plus détaillés permettront de mieux caractériser les zones directement impactées par l'évènement dangereux et d'établir une analyse d'impact plus focalisée sur les enjeux.

3.2.5.4 Complexité de systèmes de prévision et d'alerte précoce

Il existe plusieurs types de systèmes d'alerte précoce avec différents niveaux de complexité. Un système de prévision complexe est caractérisé par l'import de données météorologiques et hydrologiques en temps réel en provenance de stations locales ou de données globales satellitaires, et de données de prévisions météorologiques globales.

⁷ Le Rwanda pourrait cependant commencer à développer des tels modèles.

⁸ Les SMN de l'Angola, du Burundi, de la RDC, du Rwanda et de Sao Tomé et Príncipe ont déjà accès à des prévisions de centres internationaux.

⁹ <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/ensoi/>

¹⁰ <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

¹¹ <https://www.deltares.nl/en/software/wflow-hydrology/>

¹² <https://www.smhi.se/en/research/research-departments/hydrology/hbv-1.90007>

¹³ <https://hypeweb.smhi.se/>

Les données sont validées de manière automatique et des prévisions à échéances variées sont faites en utilisant une suite de modèles à complexité variée (hydrologiques, hydrauliques, barrages, qualité de l'eau, sédimentation etc.). Les sorties de modèles peuvent être visualisées et liées à des seuils d'alerte pour permettre d'émettre un bulletin d'alerte spécifique aux besoins de chaque utilisateur. Ces systèmes sont configurés en un point central et peuvent être exploités par différents utilisateurs à distance.

Les systèmes de prévisions peuvent aussi être plus simples sans être moins efficaces. Il est important de développer un système qui soit adapté aux ressources disponibles et de le développer au fur et à mesure. Les experts doivent se familiariser avec le système pour permettre de le réparer en cas de mauvais fonctionnement. Un système autonome peut en premier lieu remplacer un système d'exploitation central. Le réseau d'observation peut être géré de manière manuelle plutôt qu'automatique. Un nombre de stations plus réduit peut être suffisant si les stations sont placées à des endroits stratégiques (par exemple en amont des villes à risque d'inondation) pour répondre aux besoins des utilisateurs. Des données météorologiques historiques ou de prévisions disponibles à l'échelle globale ou régionale peuvent être consultées. Les modèles utilisés peuvent être simples.

Quelques exemples sont présentés ci-dessous pour illustrer les différents niveaux de complexité possibles pour des systèmes de prévision :

- Système de prévision pour protéger une compagnie de bus localisée dans une zone à risque d'inondation :
 - Ce système utilise des prévisions météorologiques nationales et en temps d'alerte, un observateur est posté près de la rivière en amont de la station de bus. En fonction de la vitesse d'augmentation du niveau d'eau, des mesures peuvent être mises en place pour évacuer les bus.
- Système de prévision de crue :
 - Ce système importe des données de débits de stations automatiques dans un système de gestion de données. Les débits d'un grand fleuve dans la zone sensible peuvent être prédits par des modèles de régression simples qui utilisent les données de débits en amont de la zone à risque, car le bassin d'un grand fleuve a un temps de latence long. Les tributaires avec des bassins plus petits réagissent plus rapidement et des données de prévisions météorologiques sont nécessaires pour la prévision des niveaux d'eau de ces tributaires. Des valeurs seuils et des cartes de l'aléa inondation sont nécessaires pour cartographier les zones à risques. Des bulletins sont émis à une chaîne d'acteurs pour prendre des mesures et limiter la perte de vies humaines et de biens à la suite d'une inondation.
- Système de prévision de sécheresse :
 - Ce système nécessite des données de prévision de pluie avec une échéance saisonnière pour permettre aux agriculteurs et aux opérateurs de barrage de prendre les bonnes décisions. Les principales variables d'intérêt sont alors les déviations par rapport à la normale. Une étape suivante est la mise en place d'un modèle hydrologique qui utilise des données de prévision globale atmosphérique (par exemple de l'ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

3.2.5.5 Plateformes d'incorporation des données et des prévisions et de visualisation

Afin de réunir toutes les informations nécessaires à la surveillance et détection d'alerte des plateformes ou procédures de mise en œuvre du système d'alerte précoce sont nécessaires. Quel que soit le système ou l'outil utilisé, celui-ci doit pouvoir permettre de rassembler et de centraliser les données historiques et de prévisions météorologiques et hydrologiques. Les différentes données doivent être facilement visualisables.

La centralisation des données permettra aussi aux prévisionnistes d'avoir accès à toutes les informations et d'améliorer l'expertise des SHMN en analysant les données stockées d'événements passés. Le système d'alerte précoce doit fonctionner 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 sans interruption pour la fourniture ou le suivi des services. Aussi, des installations de secours telles qu'une alimentation électrique autonome ou un doublement des équipements doivent être prévus car le système d'alerte doit toujours être accessible et opérationnel même en cas de tempêtes ou de coupures d'électricité. Enfin un plan de vérification et de test régulier du système est mis en place afin d'évaluer sa bonne marche.

En fonction des moyens et capacités des SHMN, il existe différents moyens techniques pour mettre en place un système de prévision et d'alerte précoce, qui peuvent être améliorés au fur et à mesure des avancées. Une première option est par exemple la consultation des prévisions météorologiques sur internet, et de les comparer avec un tableau de correspondance présentant les valeurs seuils de pluie par région et d'émettre une alerte si les seuils sont dépassés. De manière générale, le mieux reste de mettre en place une plateforme plus technique de téléchargement des données, de modélisation et visualisation des données. Ces plateformes peuvent être le développement d'une page internet ou d'un tableau de bord ou des logiciels dédiés à l'alerte précoce tels que HEC-RTT ou Delft-FEWS (utiliser de préférence des logiciels gratuits). Dans le cas de plateformes plus complexes, des solutions devront être pensées pour le stockage des données et l'hébergement du système d'alerte précoce (stockage local ou hébergement au sein des SHMN ou d'un consultant externe avec accès à distance au système par le personnel autorisé).

Idéalement, le système d'alerte précoce est une plateforme centrale permettant de relier tous les différents composants de l'ensemble de la chaîne d'un système de prévision sur une seule plateforme pour faciliter l'importation et la validation des données, la simulation du modèle, l'exportation des données et l'utilisation opérationnelle. Cette plateforme doit permettre un aperçu visuel du système géographique et des différentes données mesurées et simulées.

Exemple 1 : la plateforme Delft-FEWS

La plateforme Delft-FEWS (Flood Early Warning System) est un exemple d'un tel système. Delft-FEWS a été développé par Deltares et fournit une collection sophistiquée de modules conçus pour construire un système de prévision hydrologique personnalisé en fonction des besoins spécifiques d'une organisation individuelle. Delft-FEWS est fourni gratuitement par Deltares et dispose d'une communauté internationale d'utilisateurs actifs qui soutient en permanence l'avancement du système. La philosophie du système est de fournir une interface ouverte pour gérer le processus de traitement et de prévision des données. Elle est spécifiquement destinée à intégrer et à utiliser des modèles, outils et systèmes déjà présents dans une organisation pour éviter la perte d'investissements antérieurs. Delft-FEWS propose une bibliothèque complète d'utilitaires généraux de traitement des données, permettant même d'intégrer une large gamme de modèles de prévision disponibles dans le commerce, librement ou externes (comme HEC-RAS et Mike11), via une interface ouverte publiée. La nature modulaire et hautement configurable du système lui permet d'être utilisé efficacement à la fois dans des systèmes de prévision et d'alerte simples et très complexes, et d'être adapté à une gamme d'applications potentielles, y compris la prévision et l'alerte précoce des inondations et de la sécheresse, la prévision de la qualité de l'eau, les applications de contrôle du temps pour les réservoirs ou simplement utilisées comme référentiel de données. Delft-FEWS fournit un aperçu visuel des emplacements des réseaux de surveillance, une interface facile à utiliser pour visualiser les données d'observation et les résultats modélisés, une interface utilisateur basée sur un système d'information géographique (SIG). Cela permet d'obtenir un aperçu géographique des stations d'observation et de toutes les autres données spatiales pertinentes.

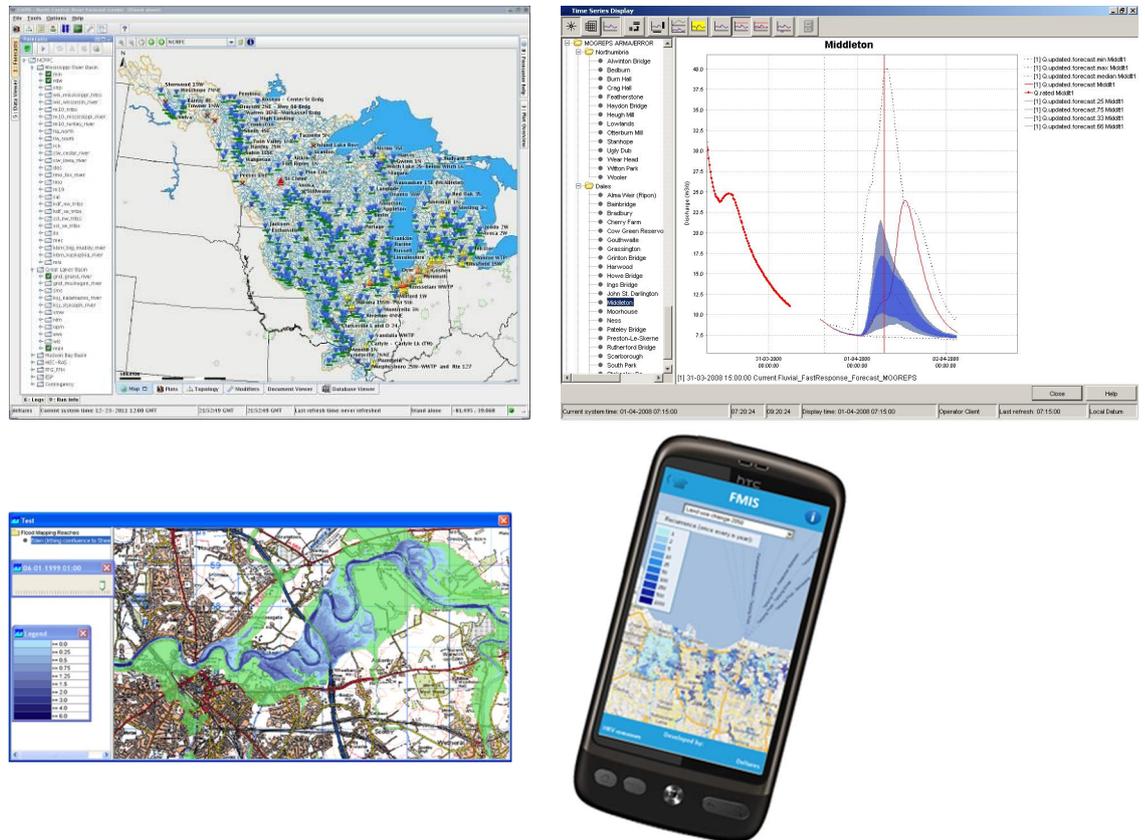


Figure 3.10 Quelques exemples des capacités Delft-FEWS: interface utilisateur d'un système national de prévisions fluviales exploité par le NOAA National Weather Service (en haut à gauche), prévisions probabilistes des crues basées sur la prévision d'ensemble météorologique générée par Delft-FEWS (en haut à droite), prévisions des inondations en temps réel avec carte statique des risques d'inondation en vert (en bas à gauche) et diffusion des données via des sites Web ou un téléphone mobile (en bas à droite).

Grâce à son adaptabilité, des systèmes d'alerte précoce simples peuvent être mis en place grâce à Delft-FEWS. Un exemple basique est une application locale (sans hébergement) permettant d'importer les données d'observation historiques manuellement ou si disponible automatiquement pour les stations de télémétrie ou données satellites globales. D'une même façon, les données de prévision météorologiques peuvent être insérées manuellement à partir de la consultation d'une page internet des services météorologiques ou être importés automatiquement à partir de modèles nationaux ou globaux tels que les données de prévision courtes GFS de la NASA ou les données de prévision saisonnières ECMWF. Il sera toujours possible d'ajouter facilement de nouvelles stations ou sources de données lors de développement futur. L'application basique FEWS peut aussi contenir des modèles hydrologiques simples tels que des tableaux de corrélation pluie/débit, des modèles statistiques ou de régressions, ou des modèles hydrologiques plus complexes qui seront automatiquement exécutés par la plateforme. Deltares a également développé un outil, appelé Delft-FEWS Accelerator, qui permet en quelques clics d'avoir une configuration FEWS simple pour les inondations, basé sur des données globales (Earth2Observe et NASA GFS) et modèles hydrologiques globaux (wflow). Une fois les seuils d'alerte ajouté, l'application est prête et des données supplémentaires ou stations de mesures peuvent être ajoutés dans un second temps.

Exemple 2 : Le modèle GLOFAS

Un autre exemple de système équivalent au Delft-FEWS Accelerator est le modèle GLOFAS qui en se basant également sur des données et modèles globaux, permet la mise en place aisée d'un système d'alerte d'inondation (Figure 3.11).

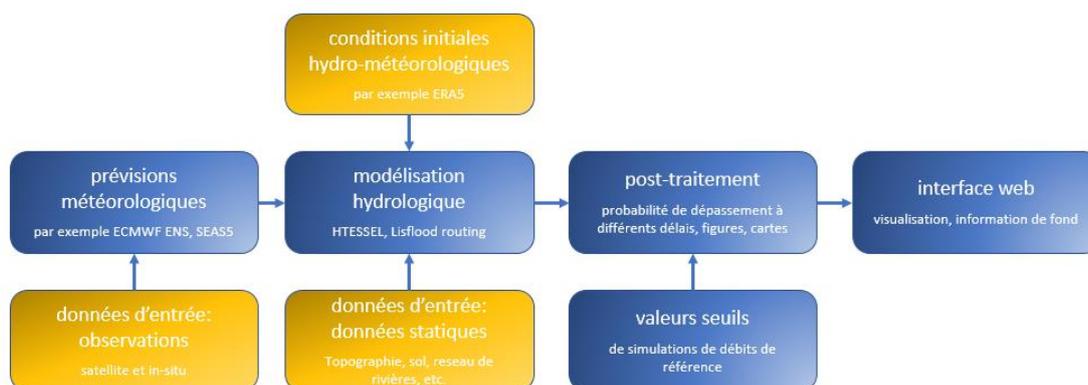


Figure 3.11 Workflow of GLOFAS (<https://www.globalfloods.eu/general-information/glofas-methods/>)

Exemple 3 : Initiative FloodTags

Un autre outil qui peut être utilisé pour l'alerte d'inondation est l'initiative FloodTags. FloodTags permet à partir d'analyse des réseaux sociaux et médias de suivre en temps quasi réel de détecter de nouveaux événements d'inondations et de faciliter les informations. Les résultats sont visualisables sur des tableaux de bord dédiés et un modèle global de détection d'inondations basé sur des posts Twitter a également été développé (Figure 3.12).

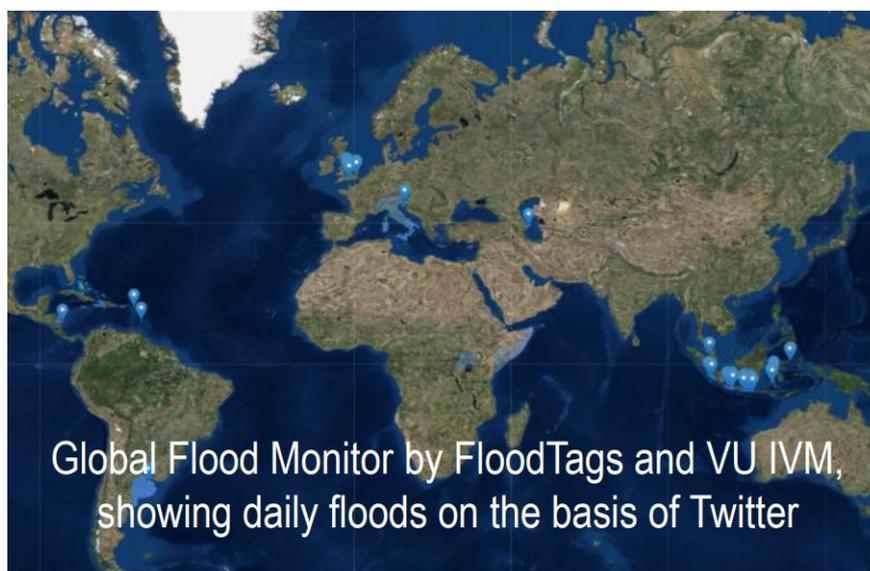


Figure 3.12 Aperçu du moniteur global des inondations de FloodTags (2020)

Au lieu d'analyser les posts dans les réseaux sociaux et les médias comme le fait FloodTags, un numéro de téléphone simple et gratuit peut être créé pour permettre aux individus de communiquer un événement directement aux SHMN ou aux autorités concernées.

3.2.5.6 Mise en place du système de prévision et d'alerte précoce

Si les capacités des SHMN sont insuffisantes pour développer leur propre système d'alerte précoce, il est conseillé d'utiliser au mieux les centres régionaux (voir les recommandations dans le paragraphe 4.2).

En conclusion sur le développement de plateforme d'alerte précoce, il est recommandé de commencer par la mise en place d'un projet pilote jugé prioritaire, de l'évaluer avec tous les acteurs impliqués avant la mise à échelle du système pour permettre une boucle d'amélioration.

Il est aussi conseillé de développer un système national unique pour les inondations et les sécheresses. Lorsque les modèles sont développés au niveau national la standardisation des modèles de système d'alerte précoce est essentielle, ce qui réduira les coûts des licences et la formation du personnel.

Les centres météorologiques et hydrologiques régionaux (voir paragraphes 3.2.5.2 et 4.2) peuvent fournir une aide précieuse en prodiguant des conseils techniques sur les moyens techniques possibles et adaptés à la mise en place de système d'alerte précoce en Afrique centrale et en partageant les connaissances et conseils de formation.

3.2.6 Objectif 6 : Les prévisions et alertes sont communiqués à temps et d'une manière appropriée et permettent une prise de décision.

Le système de prévision et d'alerte précoce doit ensuite être traduit en un service d'alerte utile pour la prise de décision de chacun des utilisateurs. Il est question d'améliorer l'intégration de l'information et des produits d'alerte climatologique dans le processus décisionnel. Ceci nécessite la cocréation du bulletin d'alerte entre les SHMN et chacun des utilisateurs pour intégrer les informations sur le phénomène et son impact et un choix sur son mode de transmission pour permettre une diffusion opportune.

Il convient aussi de définir les différents maillons de la chaîne de diffusion de l'alerte et le type d'information nécessaire pour chaque intermédiaire. Ces intermédiaires ou partenaires de diffusion sont des organisations ou des institutions qui reçoivent les informations, et sont en mesure de transformer les messages en conseils pratiques, éloquentes et adaptés à l'échelle locale, à l'attention des membres de la communauté. Ces partenaires de diffusion constituent donc le lien entre les connaissances des experts et les actions prises par la communauté.

La collaboration entre les experts des SHMN, les intermédiaires et les utilisateurs finaux est indispensable pour assurer la traduction d'une information technique en un message claire et spécifique qui permet aux personnes à risque de prendre des mesures appropriées en vue d'atténuer les effets négatifs des phénomènes observés.

Il est important de diversifier les modes de communication et de recourir à de nouvelles techniques de diffusion de masse afin de développer un plan de communication du niveau national à local et permettre de contacter si possible directement les personnes et acteurs concernés par l'alerte.

Les moyens de communication pouvant être utilisés sont :

- La télévision et la radio,
- Les téléphones satellites et mobiles via appels directs, envoi de SMS ou applications mobiles d'hydrométéorologie,
- Les sites internet et réseaux sociaux,
- Les drapeaux, sirènes et autres alarmes sonores, hautparleurs, porte-à-porte,
- Les réunions communautaires de villages, écoles, lieux de cultes et de rassemblement au niveau des villages.

Lors de l'établissement du plan de communication, il est essentiel d'utiliser plusieurs canaux pour toucher et mettre en garde le plus grand nombre de personnes. La multiplicité des canaux renforcera le message et évitera un échec en cas de non fonctionnement de l'un des canaux. Elle nécessite cependant la définition et la formalisation d'un protocole clair de la chaîne de diffusion des alertes en fonction des situations et la catégorisation des moyens des plus au moins performants.

Des acteurs intermédiaires peuvent transmettre les messages des autorités nationales. Ces acteurs sont la police locale, les pompiers, les volontaires (par exemple de la Croix ou du Croissant Rouge), les services de santé qui diffusent les alertes à l'intention de la population et qui décident aussi de mesures comme les évacuations ou le confinement sur place. Des moyens de communication spécifiques aux intermédiaires peuvent être fournis tels que la provision de téléphone ou la mise en place de lignes téléphoniques spécialement dédiés aux alertes.

Pour être efficace et au vu de la multiplicité des canaux et acteurs de la diffusion de l'alerte, il est nécessaire de créer des accords clairs et standardisés pour l'émission des messages d'alerte afin qu'ils soient compréhensibles, cohérents, opportuns et contiennent des informations pertinentes permettant de répondre aux préoccupations et valeurs des autorités et personnes qui doivent réagir à l'alerte. Des informations précises et détaillées leurs permettront de vite comprendre la portée de l'alerte et de réagir en conséquence.

Des messages clairs utilisés pour communiquer et comprendre rapidement la portée et l'impact de l'alerte sont importants. De nombreux pays utilisent uniquement des codes couleurs pour communiquer les alertes, qui ne sont pas toujours très clairs pour le public. Des icônes peuvent être ajoutés pour faciliter leur compréhension. C'est le cas de la procédure et icône standard utilisé par l'Angleterre dans le cadre des inondations (Figure 3.13).

En Afrique centrale, il faut aussi tenir en compte le grand nombre d'ethnies dans la stratégie de communication des alertes.



Risque Inondation
L'inondation est possible. Soyez prêt.



Alerte Inondation
Les inondations sont attendues. Une action immédiate est requise.



Alerte Inondation Sévère
De graves inondations sont attendues. Danger de mort.

Figure 3.13 Code et icônes utilisés par l'Angleterre pour l'alerte inondation

3.2.7 Objectif 7 : Les mesures de préparation et d'intervention sont prêtes et opérationnelles et le public a été sensibilisé et éduqué.

Les messages d'alerte doivent être accompagnés d'instructions claires sur le protocole et la démarche à suivre, et ce en fonction des utilisateurs visés par le message. Les différents plans de protection et protocole de réponse au risque doivent être définis et la réponse des différentes parties prenantes doit être organisée et constamment améliorée à la suite d'événements passés. Les mesures d'intervention dépendent de la situation et du type d'alerte. Il peut s'agir de mesures structurelles comme des barrières inondations, blocages des routes, barrages mais aussi de mesures politiques tels que les mesures de restriction d'eau en cas de sécheresse. Si des mesures structurelles sont prévues, celles-ci doivent être correctement entretenues même en cas de non catastrophe (entretien des réservoirs pour lutter contre la sédimentation ou des murs anti-inondations pour éviter les fissures et fuites d'eau). En cas de catastrophe rapide (inondation ou tremblement de terre), des systèmes automatisés peuvent être conçus pour intervenir en temps limité et limiter les impacts. Ces mesures sont par exemple, l'arrêt automatique des moyens de transport, l'allumage de feux rouges dans les tunnels, l'arrêt des ascenseurs à l'étage le plus proche, l'ouverture des portails pour les camions de pompiers.

Lors du développement ou amélioration du système d'alerte, il est important que les différents utilisateurs et bénéficiaires du système soient informés des développements et aient des connaissances basiques des risques hydrométéorologiques afin de pouvoir se préparer pour réagir en cas d'événements dangereux. Cette sensibilisation peut être réalisée à l'aide d'ateliers et séminaires avec les décideurs et parties prenantes, ou à l'aide de campagnes d'information du grand public. Le Ministère de l'éducation et les écoles permettent la sensibilisation des plus jeunes et des programmes d'enseignement ou de découverte peuvent être construits permettant de comprendre quels sont les phénomènes dangereux (inondations, sécheresses), ce qu'il faut faire en cas de phénomènes dangereux et quels sont les caractéristiques du changement climatique.

3.2.8 Objectif 8 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont continuellement surveillés et évalués pour permettre de les améliorer.

Il est absolument essentiel d'évaluer la mise en œuvre et le succès des systèmes de prévision et d'alerte précoce et de les réviser, pour déterminer s'ils répondent aux besoins des utilisateurs et savoir ce qui ne fonctionne pas et devrait être amélioré. Le cadre de suivi et d'évaluation consiste principalement à déterminer des indicateurs (mesures) qui peuvent être suivis de manière réaliste, continue et fiable, et à mettre en place les ressources nécessaires pour recueillir ces informations, les analyser et en rendre compte. Il s'agit de coordonner le suivi des points de vue et des retours d'information des utilisateurs sur le fonctionnement des services climatologiques (OMM, 2016).

Il est important de tester la chaîne complète du système d'alerte précoce, de la gestion des données, la prévision, l'émission et communication de l'alerte aux interventions et la sensibilisation et éducation.

Pour les données, il s'agit de vérifier la validité et la qualité des données reçues, d'assurer la maintenance des stations et équipements existants et de mettre à jour l'outil de prévision si de nouvelles données ou informations sont disponibles.

L'outil de prévision peut être comparé au fil de temps afin d'identifier les cas où un événement est survenu que le système n'a pas prévu ou si le système a émis une fausse alerte. Cela permettra d'améliorer la qualité et fiabilité future de l'outil.

Lors de *l'émission d'alerte*, il est important de vérifier si les messages ont bien été transmis et reçus par les acteurs concernés et si les interventions de protection adéquates ont été mises en place. Le cas échéant, il sera nécessaire de vérifier les chaînes de communication et d'améliorer les protocoles de diffusion et d'intervention. Les capacités des canaux de communication et des interventions peuvent être testées à l'aide d'exercices de simulations d'alerte.

Après l'apparition de chaque situation d'urgence, l'ensemble du processus de communication, de préparation et d'intervention doit être évalué et, si nécessaire, amélioré. Il en va de même pour les stratégies et programmes de sensibilisation du public.

3.2.9 Objectif transversal : Renforcement des capacités

Le renforcement des capacités est un objectif transversal qui se retrouve dans chacun des objectifs mentionnés. Il s'agit d'une part du renforcement de la capacité des utilisateurs en compréhension et utilisation des services d'alerte précoce. D'autre part, le renforcement des capacités des experts du SHMN pour l'utilisation des systèmes d'information et de prédiction, le traitement de données, le développement de modèles de prévision, l'analyse des valeurs seuils des phénomènes dangereux et de leur impact. Le renforcement des capacités inclut aussi celles du personnel technique pour faire les mesures ou entretenir l'équipement.

Le processus de co-conception des systèmes de prévision et d'alerte précoce avec tous les acteurs impliqués (objectif 1, paragraphe 3.2.1) mettra en évidence les lacunes des capacités institutionnelles et individuelles et les besoins des prestataires, intermédiaires et utilisateurs. Ces lacunes, qui varient selon l'acteur et le contexte, peuvent être techniques (par exemple, l'interprétation des données climatiques ou des résultats du modèle d'impact) ou opérationnelles (par exemple, la co-exploration des besoins des utilisateurs, la communication et la collaboration entre les acteurs concernés). Le processus de co-conception renforcera en soi les capacités de toutes les parties prenantes concernées. Des collaborations et des partenariats seront nécessaires : il est peu probable (et indésirable) qu'un seul fournisseur ou intermédiaire puisse couvrir toutes les étapes sans le soutien et la collaboration des autres.

En termes de renforcement des capacités des organismes hydrométéorologiques, si un système d'alerte précoce est mis en place, il faudra penser à réorganiser ou recruter du personnel nouveau. Pour assurer le bon fonctionnement de système d'alerte précoce, quatre catégories de personnes sont nécessaires :

- Un ou plusieurs prévisionnistes chargés de quotidiennement surveiller le système et de décider d'émettre une alerte en cas de prévisions d'occurrences de catastrophes. Ces personnes devront de préférence être des hydrologues capables de bien comprendre le fonctionnement des bassins versants,
- Si des stations de mesures existent, une ou plusieurs personnes chargées du contrôle et de la maintenance des stations,
- Une ou plusieurs personnes chargées de la maintenance technique de la plateforme (service informatique) et de vérifier le bon fonctionnement technique et hébergement des données et déjouer panne ou attaque informatique si la plateforme est hébergée à distance,
- Une ou plusieurs personnes chargées de développer et d'étendre les fonctionnalités de la plateforme (par exemple, ajouter de nouvelles stations de mesures, données satellites ou modèles, visualisation et export des résultats vers une page internet...).

Il faut donc dans un premier temps, analyser les capacités existantes des SHMN pour évaluer si de nouveaux postes doivent être créés ou pour allouer les nouvelles tâches au personnel existant. Ceci a été fait dans la phase précédente de la présente étude. Dans la plupart des SHMN des états membres de la CEEAC les ressources humaines doivent être renforcés pour pouvoir mettre en place un système d'alerte précoce. Le système doit également pouvoir émettre des alertes 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 ce qui nécessite la réorganisation des horaires de travail au sein des SHMN. Cette réorganisation, ainsi que la potentielle création de nouveaux postes requiert du temps et des moyens financiers à allouer à ces nouvelles tâches. Lors de la phase de financement du projet, il ne faudra donc pas uniquement penser aux coûts de développement du système d'alerte mais également aux coûts annuels de son opération.

De nouveaux outils et nouvelles procédures impliquent que le personnel doit être formé à leurs utilisations. Les formations sont extrêmement importantes et doivent être réalisées à tous les niveaux, que ce soit la formation des prévisionnistes et hydrologues à l'utilisation de l'outil d'alerte précoce ou la formation à l'installation et maintenance des stations de mesures. Il est conseillé d'établir un plan de formation régulier et approprié pour tout le personnel concerné à l'aide de sessions ou ateliers de formation, d'exercices d'apprentissage pratiques.

4 Conclusions et recommandations

4.1 Conclusions

Un système de prévision et d'alerte précoce ne consiste pas seulement en un système technique pour la surveillance et prévision des phénomènes météorologiques ou hydrologiques extrêmes. Les quatre composantes d'un système de prévision et d'alerte précoce sont (OMM, 2018) :

- la connaissance des risques de catastrophe
- la détection, surveillance, analyse et prévision des aléas et de leurs conséquences possibles
- la diffusion des alertes et la communication
- les capacités de préparation et d'intervention.

Dans le cas idéal, des systèmes de prévision avancés sur le plan technique sont mis en place. Dans les situations avec des capacités financières, techniques et de ressources humaines limitées, comme en Afrique centrale, cependant, il est plus important que le système soit :

- disponible : à des échelles temporelles et spatiales dont les utilisateurs ont besoin,
- fiable : livré de manière régulière et à temps,
- facile d'utilisation : présenté dans un format que l'utilisateur peut facilement comprendre,
- utile : pour répondre de manière appropriée aux besoins des utilisateurs,
- crédible : pour que l'utilisateur puisse prendre des décisions avec confiance,
- authentique : pour être accepté par les parties prenantes dans un contexte donné,
- flexible : avoir la possibilité d'évoluer en fonction des besoins des utilisateurs,
- durable : abordable et cohérent dans le temps,
- extensible : être utilisable pour différents types de services.
- intégré dans un cadre juridique approuvé par les parties concernées

À partir de la littérature sur les cadres de mise en place des services climatologiques et de l'identification des faiblesses communes aux pays d'Afrique centrale, des objectifs communs ont pu être identifiés pour l'amélioration des services hydrométéorologiques et systèmes d'alerte précoce en Afrique centrale. Ces objectifs forment une base pour l'élaboration d'un plan d'action commun :

- Objectif 1 : Les acteurs (fournisseurs, intermédiaires et utilisateurs) sont identifiés et interagissent ensemble pour identifier les défis d'adaptation et leurs rôles.
- Objectif 2 : Des structures de financement pérenne sont mises en place.
- Objectif 3 : Les besoins des utilisateurs et risques associés sont définis.
- Objectif 4 : Les besoins en termes de données à collecter sont définis et les écarts entre la situation voulue et actuelle sont définis.
- Objectif 5 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont améliorés / développés avec les utilisateurs pour répondre à leurs besoins.
- Objectif 6 : Les prévisions et alertes sont communiqués à temps et d'une manière appropriée et permettent une prise de décision.
- Objectif 7 : Les mesures de préparation et d'intervention sont prêtes et opérationnelles et le publique a été sensibilisé et éduqué.
- Objectif 8 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont continuellement surveillés et évalués pour permettre de les améliorer.
- Objectif transversal : Renforcement des capacités.

La collaboration entre les fournisseurs, intermédiaires et utilisateurs dès le début de la mise en place de systèmes d'alerte précoce (et toute autre service climatologique) est la clé pour créer un service qui répond aux exigences mentionnées ci-dessus. Le processus de collaboration assurera aussi le renforcement des capacités.

L'étape la plus importante est d'identifier correctement les besoins exacts des utilisateurs et coproduire avec eux afin d'obtenir un système utile ainsi que la confiance nécessaire dans le système. En outre, les aspects organisationnels et institutionnels sont extrêmement importants : Qui est responsable de quelle partie de la chaîne de prévision et d'alerte ? Comment l'intégrer dans les institutions et législations nationales et régionales ? Comment créer un financement pérenne ? Ces aspects sont en fait beaucoup plus importants que de créer un système technique très avancé.

Les prochains paragraphes donnent des recommandations aux niveaux régional et national pour la mise en place d'un système de prévision et d'alerte précoce.

4.2 Recommandations au niveau régional

4.2.1 Sur le plan institutionnel

Dans le cas idéal, des services de prévision et d'alerte précoce avancés sont mis en place au niveau national ou de bassins fluviaux. Pourtant, dans la plupart des états membres de la CEEAC la capacité des SHMN nationaux est trop limitée pour faciliter ceci. Tous les SHMN pourraient bénéficier d'une collaboration régionale au sein de la CEEAC où collaborent les météorologues des différents pays. Le centre CAPC-AC à Douala, Cameroun, devrait être activé pour prendre ce rôle. Il devrait avoir les tâches suivantes :

- Elaboration quotidienne de prévisions régionales hebdomadaires pour l'ensemble de l'Afrique centrale à partir d'une prévision numérique du temps (PNT). Prévision de différents paramètres météorologiques, e.g. précipitations et températures.
- Fourniture des prévisions hebdomadaires et saisonnières sur un portail web, d'où ils peuvent être accédé par les SHMN. Les SHMN doivent ensuite les valider sur la base de leurs propres données de stations météorologiques automatisées ou des observations de leurs systèmes radar, pour formuler les bulletins de prévisions quotidiens nationaux et les diffuser, et pour lancer des alertes. Le radar est certainement important pour les zones plus urbaines qui souffrent d'averses courtes et fortes.
Ainsi le CAPC-AC donnera aux SMHN accès aux prévisions numériques du temps (PNTs). La responsabilité de produire et de diffuser des prévisions au niveau national et local reste chez les SMHN.
- Facilitation d'un forum régional (« climate outlook forum ») annuel auquel participeront des représentants de tous les pays de la région pour, avant chaque saison des pluies, préparer des perspectives climatiques saisonnières.
- Renforcement des capacités : Organisation de sessions de formation pour les prévisionnistes nationaux organisées au niveau régional pour tous les pays membres réunis. La formation pourrait également couvrir
 - La formation de cadres de la région dans les secteurs de l'hydrologie et de la météorologie
 - la formation des utilisateurs finaux dans les différents secteurs économiques sensibles aux conditions météorologiques tels que l'agriculture, la santé, l'énergie, la gestion des ressources en eau et les transports dans la région en application des produits et services climatiques.

Ces tâches s'inscrivent dans le mandat actuel du centre de « Produire des produits et services climatologiques à jour pour être utilisés comme ressources et outils par les SHMN des Etats membres de la CEEAC » et de « Renforcer les capacités des SMN à fournir des services

climatologiques de bonne qualité aux utilisateurs nationaux (formation des prévisionnistes et techniciens des services opérationnels des pays membres) ». Dans la mise en place de cette collaboration entre le CAPC-AC et les SMHN il est recommandé de suivre les recommandations de l'OMM sur la mise en place de centres régionaux (OMM, 2011, et OMM, 2019) pour éviter la concurrence entre le centre et les SMHN.

Pour assurer un service utile, il est recommandé de mettre en place des mécanismes d'évaluation régulière de la qualité des prévisions et du fonctionnement de l'échange d'information et des données, par exemple à travers des réunions des acteurs régionaux et les SHMN.

Le paragraphe 4.3 donne des recommandations pour la préparation de la mise en place de mécanismes d'alerte précoce au niveau national. Etant donné que les objectifs à atteindre sont communs à tous les états, il est possible d'envisager la définition d'approches et de cadres communs, permettant d'assurer ainsi l'harmonisation au niveau régional. Par exemple, on pourrait définir des campagnes de sensibilisation et d'éducation du public ou d'autres acteurs impliqués au niveau régional.

Le centre régional et les dispositifs pour l'échange de données (paragraphe 4.2.3) devraient être intégrés dans un cadre institutionnel approuvé par les parties concernées. Dans la prochaine phase de la présente étude un projet de cadre régional et un plan d'action seront élaborés.

4.2.2 Sur le plan du personnel et sa formation

Pour pouvoir mettre en place un tel centre, du personnel hautement qualifié doit être recruté. A la rédaction de ce document le CAPC-AC dispose déjà de personnel administratif et technique, et il y a eu une formation des prévisionnistes par Météo France en novembre 2020 dans l'utilisation de la station PUMA et d'autres formations sont en cours. Il est recommandé de vérifier si d'autres formations sont nécessaires pour le personnel et de, si nécessaire, préparer un plan de formation.

Il est en plus recommandé d'introduire un système rotatif qui permette la formation de prévisionnistes des SHMN de tous les états membres de la CEEAC : au moins un délégué de chaque pays est basé pour une période de plusieurs mois dans ce centre pour être formé et échanger de l'information entre le centre et le SHMN. Il est recommandé d'impliquer l'OMM dans ce type d'initiative.

Des tels centres existent déjà dans d'autres régions de l'Afrique, ceux-ci pourraient être utilisés comme exemples :

- pour le Sahel et l'Afrique de l'Ouest (concernant le Tchad): le centre régional AGRHYMET à Niamey/Niger, qui fait partie du Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) (<http://agrhymet.cilss.int/>)
- pour l'Afrique de l'Est (Rwanda, Burundi) : IGAD Climate Prediction and Applications Centre (ICPAC) et IGAD Regional Climate Centre (IGAD-RCC) à Nairobi/Kenya (<https://www.icpac.net/>)
- pour l'Afrique australe (Angola, RDC) : SADC-CSC (Southern African Development Community Climate Services Centre) (<http://csc.sadc.int/en/>)
- et pour le continent africain : ACMAD (Niamey/Niger) (<http://acmad.net/rcc/index.php>)

En plus du personnel des SMHN, les utilisateurs des produits (prévisions, alertes) doivent être formés pour bien savoir comment les utiliser. Ce type de formation peut aussi être organisé au niveau régional.

4.2.3 Sur le plan technique

Comme mentionné plus haut, dans le cas idéal des systèmes de prévision avancés sont mis en place, mais dans le cas de l'Afrique centrale, cela ne devrait pas être la première des priorités.

Les grandes rivières, qui sont souvent transfrontalières (e.g. le Congo), ont un temps de réponse assez long. Cela signifie que les conditions hydrologiques dépendent fortement des conditions et de la gestion de l'eau en amont. Pour ces rivières, les niveaux d'eau élevés et les conditions d'inondation à venir peuvent simplement être déduits des niveaux d'eau en amont. Cela nécessite un échange de données régulier, éventuellement intensifié dans des conditions extrêmes.

Lorsque cela est possible, les seuils d'alerte aux inondations peuvent être dérivés des enregistrements historiques des stations d'observation. Pour réussir, l'échange de données structuré doit être intégré dans un cadre juridique ou un protocole d'accord, éventuellement par l'intermédiaire d'un organisme de bassin transfrontalière.

Le Service Gestion du Système d'Information sur l'Eau de la CEEAC à travers son Système d'Information sur l'Eau (SIE) qui est en cours de développement peut dans le futur aussi jouer un rôle important dans l'harmonisation des données (tant au niveau collecte que stockage et diffusion) en proposant des cadres et accompagnant les états membres, et il pourrait aider avec la facilitation de données historiques. Ceci doit être concerté avec les organismes de bassins transfrontaliers, dont certains (ABN, CICOS, ZAMCOM) possèdent leur propre système d'information.

Les prévisions de crues dans les bassins plus petits, de crues éclairs et de crues urbaines doivent se baser sur des prévisions de temps. Il existe plusieurs systèmes qui fournissent des informations précieuses au niveau mondial, telles que les prévisions météorologiques de la NOAA du NWS des Etats-Unis ou de l'ECMWF, ainsi que l'accès en ligne aux images satellites des précipitations. Cependant la résolution de ces données n'est pas assez haute pour permettre la prévision des phénomènes ci-dessus. Pour cette raison il est recommandé de construire un modèle régional de prévision numérique du temps qui aura une résolution plus haute et sera opéré par le centre régional.

Les prévisions saisonnières pourraient profiter de plusieurs moniteurs de sécheresse continentaux ou mondiaux qui existent, comme le Global Drought Observatory (GDO) de JRC¹⁴, le Famine Early Warning Systems Network¹⁵ ou le Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System (GIDMaPS)¹⁶.

4.2.4 Sur le plan financier

Lorsque des services de prévision sont développés, le maintien durable de ces services doit être assuré. Trop souvent, des modèles et des systèmes sont développés sur la base d'un projet. Après la fin du projet, il n'y a plus de financement, de soutien et / ou de licence et à la fin, le système ne peut plus être utilisé. Il est donc indispensable de faire un plan pour un financement pérenne à long terme.

4.3 Recommandations au niveau national

Le rapport de synthèse avec l'analyse de l'état des lieux des services hydrométéorologiques dans les 11 états membres de la CEEAC de la phase précédente (Phase 2) de cette étude (Becker et al., 2021) présente des recommandations pour l'amélioration des SHMN au niveau du budget, du personnel et sa formation, au niveau politique et cadre institutionnel et au niveau technologique.

Si le centre régional CAPC-AC produit des prévisions météorologiques (paragraphe 4.2), les SHMN des 11 pays seront responsables pour les services et avis au niveau national. Ils auront donc la tâche de continuer

- surveiller les prévisions météorologiques du centre régional ;

¹⁴ <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2000>

¹⁵ <https://fews.net/>

¹⁶ <http://drought.eng.uci.edu/>

- les valider pour l'application à niveau national en les comparant à des données des stations d'observation locaux et, si disponible, des observations de leurs systèmes radar ;
- formuler les bulletins de prévisions quotidiens nationaux et préparer des autres produits hydrométéorologiques pour des utilisateurs spécifiques ;
- lancer des alertes si nécessaire.

Il est recommandé de renforcer les SHMN comme proposé dans le rapport de synthèse pour qu'ils puissent satisfaire à cet engagement.

Plusieurs étapes de préparation sont nécessaires pour la mise en place des services d'alerte précoce. Le Chapitre 3 a identifié les objectifs communs pour les états membres de la CEEAC et décrit les actions à entreprendre. Ces actions sont résumées dans un tableau dans l'Annexe A qui peut être utilisé comme feuille de route par les 11 pays. Etant donné que les objectifs sont communs à tous les états, il est possible d'envisager la définition d'approches et de cadres communs, permettant d'assurer ainsi l'harmonisation au niveau régional.

Bibliographie

- Becker, A., I. Mve, Y. Mahjoub (2021). Etat des lieux sur l'état de l'hydrométéorologie et les systèmes d'alerte précoces en Afrique Centrale. Rapport de synthèse. Rapport 11204561-002-ZWS-0004 de Deltares, version 1.1
- Daniels, E., Bharwani, S. and Butterfield, R., 2019. The Tandem framework: a holistic approach to co-designing climate services. *SEI Discussion Brief. Stockholm Environment Institute*
- GFDRR, World Bank Group, 2018. Assessment of the state of hydrological services in developing countries.
- Equipe Néerlandaise pour la Réduction des Risques (DRR), 2016. Rapport de mission du Maroc équipe DRR Maroc – Sous Massa et bassin de Ouad Drâa – Guelmin. Référence DRR15MA01
- FloodTags, 2020. Online and social media mining for professionals. <https://www.floodtags.com/>
- Organisation Météorologique Mondiale, 2011. Manuel sur la prévision et l'annonce des crues, OMM-N°1072
- Organisation Météorologique Mondiale, 2011. How to establish and run a WMO Regional Climate Center (RCC), OMM-N°1534
- Organisation Météorologique Mondiale – World Bank – USAID – GFDRR, 2016. Déterminer la valeur du temps et du climat : L'évaluation économique des services météorologiques et hydrologiques. OMM-N°1153
- Organisation Météorologique Mondiale, Global Framework for Climate Services, 2018. Marche à suivre pour établir un cadre national pour les services climatologiques. OMM-N°1206
- Organisation Météorologique Mondiale, 2015. Directives de l'OMM sur les services de prévision et d'alerte multidanger axée sur les impacts. OMM-N°1150
- Organisation Météorologique Mondiale, 2015. Directives pour l'élaboration d'un mémorandum d'accord entre un Service météorologique ou hydrométéorologique national et un organisme partenaire et pour la mise au point de procédures d'exploitation normalisées, OMM-N°1099
- Organisation Météorologique Mondiale, 2016. Manuel de planification stratégique intégrée de l'OMM. OMM-N°1180
- Organisation Météorologique Mondiale: Implementation plan for the WMO Strategy for Service Delivery (Version 2.0). Strategic Plan 2013-2017
- Organisation Météorologique Mondiale, 2018. Les systèmes d'alerte précoce multidangers – liste de contrôle. Document issu de la première conférence sur les alertes précoces multidangers 22 et 23 mai 2017, Cancún (Mexique)
- Organisation Météorologique Mondiale, 2019. Manual on the Global Data-processing and Forecasting System. Annex IV to the WMO Technical Regulations. OMM-No. 485.
- Organisation des Nations Unies (2016), Rapport du Groupe de travail intergouvernemental d'experts à composition non limitée chargé des indicateurs et de la terminologie relatifs à la réduction des risques de catastrophe (A/71/644), adopté par l'Assemblée générale le 2 février 2017 (A/RES/71/276)

- République du Tchad, 2016. Plan d'action pour la mise en œuvre du cadre national pour les services climatiques (CNSC) du Tchad (2016-2020)
- République du Cameroun, 2016. Plan d'action du Cameroun pour la mise en œuvre du cadre national pour les services climatiques (CNSC) 2016-2020
- Rwanda Environment Management Agency (REMA), and UK Met Office, 2013. Establishment of an Early Warning system in Rwanda – Scoping study and Implementation Plan
- SMMAR (Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières – EPTB Aude), 2020. Le risque inondation. <http://www.smmar.org/article/tout-savoir-sur-l-eau/inf-eau/le-risque-inondation>
- Snow, John T.; Bonizella Biagini, Greg Benchwick, Georgie George, Joost Hoedjes, Alan Miller, Jeremy Usher, 'A New Vision for Weather and Climate Services in Africa', UNDP, New York, USA, 2016. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO
- Vincent, K., Daly, M., Scannell, C. and Leathes, B., 2018. What can climate services learn from theory and practice of co-production?. *Climate Services*, 12, pp.48-58
- Vogel, C., Steynor, A. and Manyuchi, A., 2019. Climate services in Africa: Re-imagining an inclusive, robust and sustainable service. *Climate Services*, 15, p.100107
- Werner, M., Winsemius, H.C., and Robinson, B., A framework for establishing flow forecasting requirements: application in the Zambezi River Basin

A Propositions d'actions de suivi au niveau national

Le tableau suivant présente les actions de suivi proposé au niveau national. Etant donné que les objectifs sont communs à tous les états, il est possible d'envisager la définition d'approches et de cadres communs, permettant d'assurer ainsi l'harmonisation au niveau régional.

<p>Objectif 1 : Les acteurs (fournisseurs, intermédiaires et utilisateurs) sont identifiés et interagissent ensemble pour identifier les défis d'adaptation et leurs rôles.</p>
<p>Faire l'inventaire des acteurs concernés.</p> <p>Commencer par une première sélection limitée de risques et donc d'acteurs. Pour cette sélection, les services sont mis en place, évalué et amélioré. Les leçons apprises sont alors applicables pour de nouveaux secteurs.</p> <p>Déployer des projets pilotes prioritaires avant la mise à échelle du système.</p>
<p>Établir un diagramme des dépendances et rôles entre chaque acteur.</p>
<p>Organiser d'ateliers de collaboration pour réunir et faire interagir les acteurs et favoriser la mise en place de partenariats.</p>
<p>Créer un dispositif juridique pour encadrer la collaboration et l'échange d'information et de données entre les acteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> - élaborer un plan commun d'organisations entre agences - développer une relation forte entre les services météorologiques et hydrologiques
<p>Objectif 2 : Des structures de financement pérenne sont mises en place.</p>
<p>Développer un modèle d'entreprise durable (e.g. des plans de financement sur cinq ans) pour la prestation continue du service de prévision et d'alerte précoce, incluant des postes dédiés à l'utilisation, surveillance, maintenance et mise à jour du système ainsi que la formation du personnel.</p>
<p>Définir un plan d'action chronologique et chiffré.</p>
<p>Préparer des propositions de projet à l'intention des instances mondiales de financement.</p>
<p>Organiser un atelier pour les donateurs afin de présenter le plan stratégique et d'action aux organismes de développement présents dans le pays.</p>
<p>Objectif 3 : Les besoins des utilisateurs et risques associés sont définis.</p>
<p>Organiser des ateliers pour inventorier les besoins des utilisateurs.</p>
<p>Analyser les événements historiques.</p>
<p>Cartographier les zones de danger et les zones sûres, par type de risque.</p>
<p>Cartographier également les enjeux (zones d'habitation, les infrastructures, les zones agricoles etc.).</p>
<p>Objectif 4 : Les besoins en termes de données à collecter sont définis et les écarts entre la situation voulue et actuelle sont définis.</p>
<p>Définir les indicateurs et valeurs seuils à utiliser pour lancer un alerte.</p>
<p>Analyser les temps de réponse du bassin versant en chaque lieu de prévision.</p>
<p>Basé sur les délais prévisionnels requis et les temps de réponse des bassins versants, identifier l'information nécessaire pour faire la prévision et lancer l'alerte (incluant les données pour décrire l'état actuel du système).</p>
<p>Objectif 5 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont améliorés / développés avec les utilisateurs pour répondre à leurs besoins.</p>
<p>Basé sur l'information requis réaliser la conception du système de prévision (au niveau régional) et d'alerte précoce (au niveau national), incluant un outil de surveillance des bassins versants ainsi qu'une étape de contrôle et de validation de la qualité des données importées.</p>

Identifier les lacunes du réseau actuel et les écarts à combler en termes de modélisations et de sources additionnelles de données.
Dans le cas de bassins transfrontaliers, mettre en place des structures de partage de données entre pays ou via la CEEAC (SIE), les centres régionaux ou organismes de bassins transfrontaliers.
Mettre en place un projet pilote prioritaire et l'évaluer avec tous les acteurs impliqués avant la mise à échelle du système pour permettre une boucle d'amélioration.
Objectif 6 : Les prévisions et alertes sont communiqués à temps et d'une manière appropriée et permettent une prise de décision. Cet objectif nécessite la cocréation entre les SHMN et les utilisateurs et intermédiaires ou partenaires.
Avec chaque utilisateur, choisir un mode de transmission pour permettre une diffusion opportune.
Définir les différents maillons de la chaîne de diffusion de l'alerte et le type d'information nécessaire pour chaque intermédiaire.
Développer un plan de communications du niveau national à local (de préférence multiples canaux).
Créer des accords clairs et standardisés pour l'émission des messages d'alerte afin qu'ils soient compréhensibles, cohérents, opportuns et contiennent des informations pertinentes permettant de répondre aux préoccupations et valeurs des autorités et personnes qui doivent réagir à l'alerte.
Objectif 7 : Les mesures de préparation et d'intervention sont prêtes et opérationnelles et le public a été sensibilisé et éduqué.
Concevoir et mettre en place des mesures de préparation et des plans d'intervention.
Entretien régulier des mesures structurelles.
Sensibilisation et éducation de tous les utilisateurs et bénéficiaires du système.
Objectif 8 : Les systèmes de prévision et d'alerte précoce sont continuellement surveillés et évalués pour permettre de les améliorer.
Coordonner le suivi des points de vue et des retours d'information des utilisateurs sur le fonctionnement des services climatologiques.
Après l'occurrence d'un phénomène dangereux, évaluer le processus de communication, préparation et intervention ainsi que les stratégies des stratégies et programmes de sensibilisation après chaque occurrence d'un phénomène dangereux, et, si nécessaire, l'améliorer.
Objectif transversal : Renforcement des capacités.
Renforcer la capacité des utilisateurs en compréhension et utilisation des services d'alerte précoce.
Renforcer les capacités des organismes hydrométéorologiques.
Renforcer les capacités du personnel technique des SHMN (observation et entretien).
Assurer le fonctionnement et la surveillance du système 24/7.
Établir un plan de formation régulier et approprié pour tout le personnel concerné.

Deltares is an independent institute for applied research in the field of water and subsurface. Throughout the world, we work on smart solutions for people, environment and society.

Deltares

www.deltares.nl