COMITE PERMANENT INTER-ETATS DE LUTTE CONTRE LA SECHERESSE DANS LE SAHEL
PERMANENT INTERSTATE COMMITTEE FOR DROUGHT CONTROL IN THE SAHEL
COMITÉ PERMANENTE INTER-ESTADOS DE LUTA CONTRA A SECA NO SAHEL
اللجنة الدائمة المشتركة لمحاربة التصحر في الساحل

Bénin Burkina Faso Cap Vert Côte d'Ivoire Gambie Guinée Guinée Bissau Mali Mauritanie Niger Sénégal Tchad Togo

Centre Régional AGRHYMET

Guide Méthodologique pour l'élaboration des prévisions agro-hydro-climatologique en Afrique de l'Ouest et au Sahel

(PRESASS, 2020, en ligne)

Avril 2021

Par

Abdou ALI, hydroclimatologist
Seydou B. TRAORE, agrometeorologist
Seydou TINNI HALIDOU, meteorologist
Agali ALHASSANE, agronomist
Mohamed HAMATAN, hydrologist
Ousmane Ndiaye, meteorologist

Table des matières

I. Préambule 4

II. Méthodologie détaillée de l'élaboration des prévisions agro-hydro-climatiques 6

2.1. Prévisions des cumuls pluviométriques JJA et JAS 6

2.1.1. Organisation des données 6

2.1.2 Données d'observations/stations 6

2.1.3 Examen de l'état de l'atmosphère et des océans 7

2.1.4 Prévision des cumuls de précipitations avec l'outil CPT 10

2.1.5 Prévision consensuelle Régionale 12

2.1.6 Probabilités sur l'occurrence des prévisions 13

2.2 Prévision agrométéorologique 13

2.2.1 Préparation des données de pluies 13

2.2.2 Importation des données dans INSTAT+ 14

2.2.3 Calcul des dates de début de saison des pluies 15

2.2.4 Calcul des dates de fin de saison des pluies 15

2.2.5 Calcul des durées maximales de séquences sèches 16

2.2.6 Organisation des données issues de INSTAT+ au format CPT 17

2.2.7 Préparation des prédicteurs 20

2.2.8 Prévision des dates de début, des séquences sèches et des dates de fin de saison avec l'outils CPT 21

2.3. Prévision hydrologique 24

2.3.1. Définition du réseau de prévision 24

2.3.2. Définition et calcul des prédictands 25

2.3.3. Traitement des données au format CPT 26

2.3.4. Elaboration des prévisions de l'année en cours avec CPT 27

a. Utilisation du logiciel CPT 27

b. Choix des prédicteurs 27

c. Résultats des prévisions 28

d. Carte des Skill 29
e. Fiche d'élaboration des prévisions.....29
2.3.5. Elaboration des prévisions hydrologiques consensuelles.....30

I. Préambule

En Afrique de l'Ouest et dans le Sahel en particulier, les activités socio-économiques sont fortement dépendantes de la qualité des saisons des pluies, du fait notamment de la grande sensibilité des secteurs clés tels que l'Agriculture, les ressources en eau, l'Energie et l'écosystème aux paramètres agro-hydro-climatiques caractérisant les régimes pluviométriques. Les plus importants parmi ces paramètres sont les cumuls pluviométriques saisonniers, les dates de démarrage et de fin des saisons des pluies, les séquences sèches et les événements pluviométriques extrêmes. Ceux-ci varient fortement d'une année à l'autre et d'une localité à l'autre ; ce qui rend difficile la planification des activités et des investissements à la veille des saisons de pluie. Face à cette situation, la prévision saisonnière de ces paramètres est un moyen efficace permettant de réduire les incertitudes dans la prise de décision pour une meilleure réduction des risques et de catastrophes et de tirer profit de la configuration attendue de la saison des pluies. C'est dans ce cadre que le Centre Régional AGRHYMET, l'ACMAD et les services nationaux de météorologie et d'hydrologie des pays ouest-africains et sahéliens élaborent à la veille de chaque saison des pluies des prévisions saisonnières consensuelles sur les cumuls pluviométriques, les dates de début de saison, les séquences sèches, les dates de fin de saison et les écoulements dans les grands bassins fluviaux de la sous-région. A cet effet, deux sessions de prévision sont organisées sous forme de forums régionaux, en ligne, suivies par des mises à jour mensuelles :

1. Le forum des prévisions saisonnières pour les zones Soudanienne et Sahélienne (PRESASS) ;
2. Le forum des prévisions saisonnières pour les Pays du Golfe de Guinée (PRESAGG).

Chacune de ces sessions connaitra la participation active des experts des pays qui élaborent les prévisions nationales et contribuent à l'élaboration des prévisions consensuelles régionales. Chaque session est organisée en deux parties (le pré-forum et le forum) en ligne et comprend trois groupes thématiques pour les prévisions :

- des cumuls pluviométriques pour les périodes de mai-juin-juillet et juillet-août-septembre (pour le PRESASS) et mars-avril-mai et mai-juin-juillet (pour le PRESAGG) ;
- des paramètres agrométéorologiques comme les dates de début de saison, les séquences sèches en début et vers la fin de la saison des pluies, et les dates de fin de la saison ;
- les débits (écoulements) dans les bassins fluviaux de la sous-région.

Le Pré-forum se déroule sur 3 à 4 jours et au sein de chaque groupe, il couvre les aspects suivants :

- Rappel sur les méthodes d'élaboration des prévisions,
- Formatage, mise à jour et préparation des données des paramètres à prévoir,
- Calculs des prédictands et leur mise au format du logiciel de prévision CPT.
- Téléchargement des prédicteurs observés ou simulés par les modèles climatiques : températures de surfaces des océans (SST), vents à différents niveaux d'altitude, précipitations, radiation de grande longueur d'ondes, etc. ;
- Recherche des corrélations entre les prédictands et les prédicteurs et établissement des modèles de prévisions ;
- synthèse entre les différents groupes pour l'affinement et la consolidation des prévisions consensuelles, en prenant en compte les prévisions des grands centres climatiques et les connaissances des experts sur le climat de la sous-région ;

- Elaboration d'avis et conseils pratiques pour permettre aux utilisateurs (décideurs chercheurs, vulgarisateurs, agriculteurs, éleveurs, pêcheurs, ONGs, agences de réduction des risques de catastrophes, services de santé, populations etc.) de minimiser les risques (sècheresses, inondations, maladies, attaques phytosanitaires), les échecs et dégâts y afférant et de mieux tirer profit des avantages liés à la saison des pluies.

Le forum est le cadre protocolaire de communication et de partage des résultats des prévisions saisonnières élaborées. C'est l'instance où le communiqué final sur les prévisions saisonnières est rendu public devant les autorités nationales du pays organisateur et divers acteurs régionaux : les représentants des services techniques, des ONGs et des agences de réduction des risques de catastrophes, etc.

Dans le cadre de l'amélioration de l'organisation des prévisions saisonnières, le Centre Régional AGRHYMET (institution régionale en passe de devenir le Centre Climatique Régional pour l'Afrique de l'Ouest et le Sahel) assure, au niveau régional, la coordination des prévisions avec l'appui technique et scientifique de l'ACMAD (institution jouant le rôle de Centre Climatique Continental à l'échelle Africaine). Au niveau national, il est demandé à chaque pays d'officialiser au sein des SNMH une équipe dédiée à la prévision avec la nomination d'un point focal national.

II. Méthodologie détaillée de l'élaboration des prévisions agro-hydro-climatiques

2.1. Prévisions des cumuls pluviométriques JJA et JAS

2.1.1. Organisation des données

Pour les données, il faut disposer de deux types: Prédictands et prédicteurs

Les prédictands sont les données à prévoir. Ils sont généralement les données d'observations des stations météorologiques ou des données satellitaires considérées comme des données observées.

Les prédicteurs sont les données qui servent à faire la prévision. Ils sont généralement les Températures de Surface de la Mer (TSM ou SST en anglais), des données issues des modèles de prévisions climatiques saisonnières (modèles de circulation générale) des centres mondiaux de prévisions (CPM) ou des centres de références de l'OMM. Exemple : NOAA/NCEP/cfs, IRI/echam, etc.

2.1.2 Données d'observations/stations

- Utiliser la période de référence 1981-2010
- Disposer d'une série de données de précipitations quotidiennes sur au moins la période de 1981 à date ;
- Agréger (calculer) les données quotidiennes en cumuls de pluies pour les périodes Juin-Juillet-Aout (JJA) et Juillet-Aout-Septembre (JAS), par exemple de cumuls de pluies de JJA 1981-2019
- Mettre sous format Excel, il faut organiser les données comme suit :

STN	Station_A	Station_B	Station_C	Station_D	Station_E	Station_-
LAT	14.23	14.75	10.48	12.5	13.55	-
LON	-0.87	0.85	16.55	-7.78	-7.45	-
1981	549.1	248.3	642.2	975.3	438.4	-
1982	643.2	325.5	457.8	801.9	533	-
						-
						-
2019	726.8	85.8	-999	1077.4	-999	-

-999 représente une donnée manquante

- Convertir les fichiers Excel sous format txt (texte, séparateur, espace) ou csv (texte, séparateur, virgule)

- **Données des modèles de circulation globaux** (ECHAM, CFS, CAM-CMC, GFDL, ECMWF, NMME, COPERNICUS, etc.)
  Ces données sont téléchargeables partir des sites des différents centres (exemple de IRI DataLibrary, ou NCEP/CPC) sous un format approprié (ici, il faudrait utiliser le format CPT qui est l'outil à utiliser plus tard) :

Sur le site du NCEP, il existe des formats prêts à être téléchargés et utilisable par l'outil CPT:

- https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/International/nmme/seasonal_nmme_forecast_in_cpt_format/
- https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/International/nmme/seasonal_nmme_hindcast_in_cpt_format/
- https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/International/nmme/monthly_nmme_forecast_in_cpt_format/
- https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/International/nmme/seasonal_nmme_hindcast_in_cpt_format/

Sur la plateforme de l'IRI, il faudrait aller à la dataLibrary et télécharger les données en utilisant le langage INGRID développé à cet effet. Exemple de script : Téléchargement de la composante U des vents moyens de JAS à partir du modèle ECHAM

expert
SOURCES .IRI .FD .ECHAM5 .T42 .Forecast .ca_sst .ensemble24 .MONTHLY .PressureLevel .v
S (Apri 1981) (Apri 2020) RANGEEDGES
S (Jul-Sep) seasonalAverage
[M L]average
X (60W) (20E) RANGEEDGES
Y (00N) (40N) RANGEEDGES
L (2.5) (4.5) RANGEEDGES
P (925) VALUES
S (T) renameGRID
-999 setmissing_value

Les contenues de S,X, Y, L et P peuvent être modifiés pour prendre en compte : la période (S), la couverture spatiale (X et Y), l'échéance (L) et le niveau de pression (P)

A partir de ces sites plusieurs paramètres servant de prédicteurs peuvent être téléchargés et utilisables par l'Outil CPT. Il s'agit entre autre :

- *Des vents à différents niveau d'altitude*
- *L'eau précipitable*
- *Précipitation totale*
- *Radiation d'onde longue*
- *Températures de surface des océans,*
- *etc.*

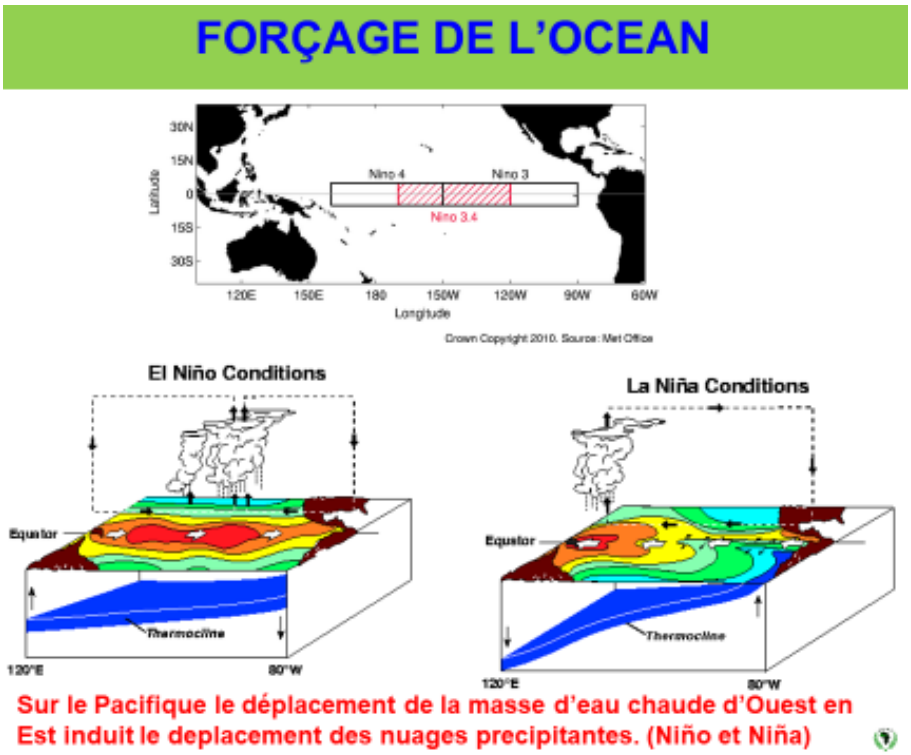
2.1.3 Examen de l'état de l'atmosphère et des océans

Ici, il s'agit de comprendre la dynamique actuelle et future de l'atmosphère et des océans à travers la circulation générale atmosphérique et les états de surface des océans.

- **Analyse des températures de surface des océans:**
  - Océan Pacifique (ENSO) particulièrement la boite NINO 3.4

    Des anomalies de températures positives ou réchauffement sur cette partie indiquent des conditions de El-NINO qui se caractérisent en général par des déficits de précipitations sur le Sahel

Des anomalies de températures négatives ou refroidissement sur cette partie indiquent des conditions de La-Nina qui se caractérisent en général par des excédents de précipitations sur le Sahel



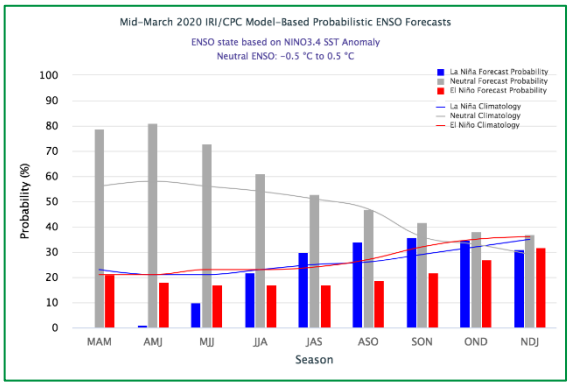
- Océan Atlantique : Golfe de Guinée
  Un refroidissement sur le Golfe de Guinée entraine une assez bonne pénétration du flux de mousson sur la bande sahélienne
- Océan Atlantique : Côtes Sénégalo-Mauritaniennes un réchauffement entraine une bonne pénétration de la mousson sur les pays côtiers au Sahel.

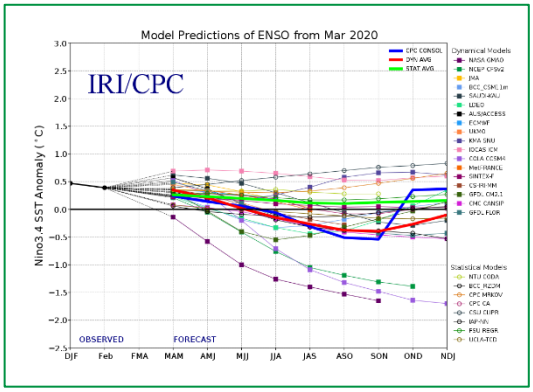
- Océan Indien
  L'évolution des températures sur l'océan Indien pourra indiquer les conditions d'initiation (cyclogenèse) sur l'Afrique de l'Est des lignes grains responsable de plus de 80% des précipitations au Sahel

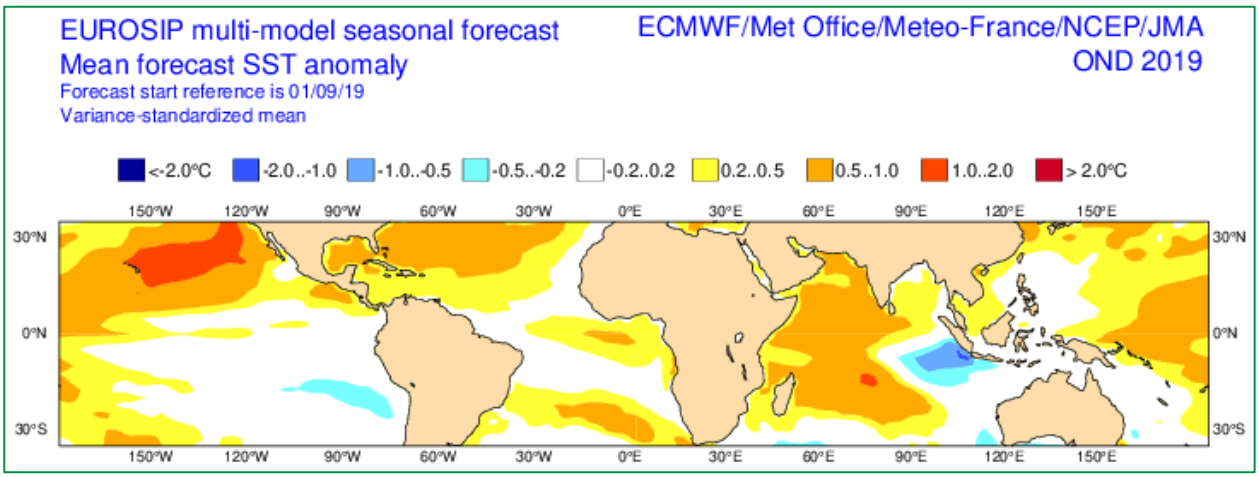
- Mer Méditerranée
  Un réchauffement prolongé de cette partie pourra entrainer l'aspiration et le maintien plus longtemps du Front inter-Tropical sur le Nord des pays du Sahel et donc une prolongation de la saison des pluies

➢ **Perspectives des températures de surface des océans et des précipitations**

Analyse des prévisions des modèles sur l'évolution future des états de surface océaniques et perspectives des précipitations des centres mondiaux et des centres de références.



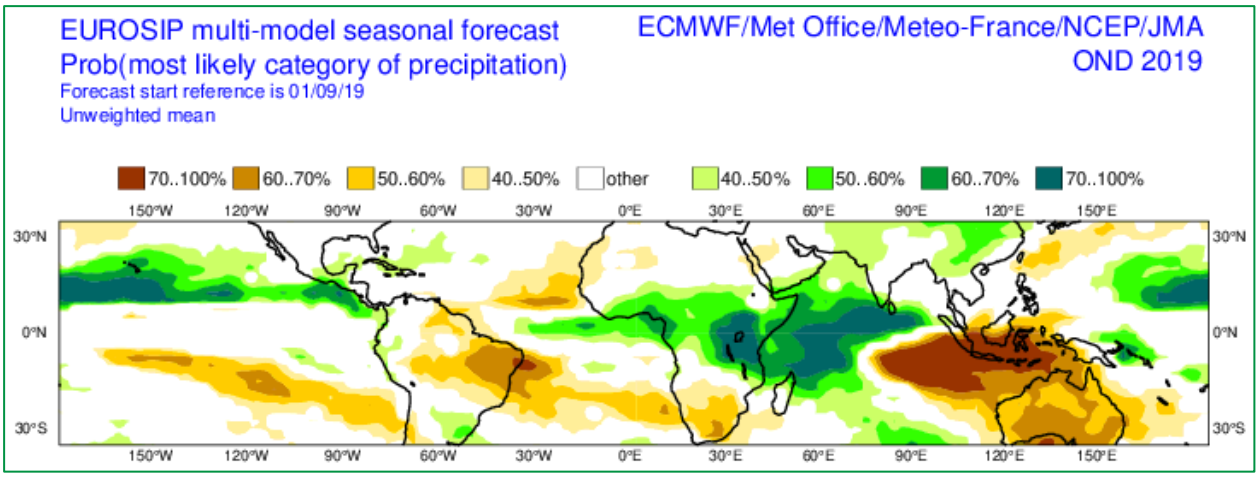




Exemple :

- https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/international/nmme/nmme_seasonal_body.html
- https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/enso/
- https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-sst_table
- https://www.wmolc.org/seasonPmmeUI/plot_PMME

Ici, il s'agit de faire un tour d'horizon sur les prévisions des modèles de circulation globale en termes de perspectives sur les TSM et des précipitations pour les périodes concernant par exemple JJA et JAS.



Ci-joint les liens de quelques centres :

ECMWF: https://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/seasonal/?facets=Product%20group,Spatial%20maps

IRI: https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/seasonal-climate-forecasts/

NMME: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/international/nmme/nmme_seasonal_body.html

WMO: https://www.wmolc.org/seasonPmmeUI/plot_PMME

2.1.4 Prévision des cumuls de précipitations avec l'outil CPT

- **Choisir le type** l'analyse statistique
  Pour notre cas nous utilisons **l'Analyse en Corrélation Canonique (CCA)**

- Dans CPT, on utilise les données des stations des cumuls de précipitations de JJA ou de JAS comme prédicants et les données des modèles comme prédicteurs.

  Colonne X= RR-CFS-hincast-JAS_1982-2010
  Colonne Y= Cumul JAS_1981-2019
  Colonne Z= RR-CFS-forcast-JAS_2020

  Où

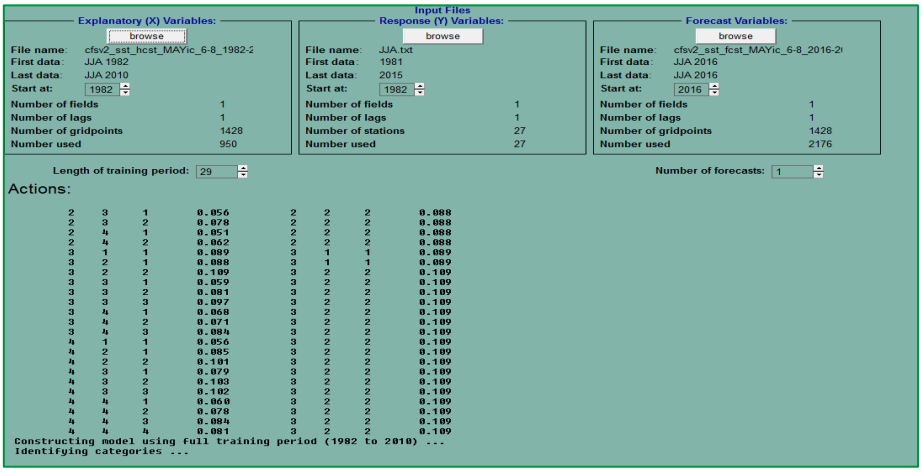
  Colonne X= RR-CFS-hincast-forecast-JAS_1981-2020
  Colonne Y= Cumul JAS_1981-2019

- **Ajuster le domaine de X**
  Pour les SST prendre soit le domaine tropical 30°N/30°S ou toute zone de forçage jugée pertinente

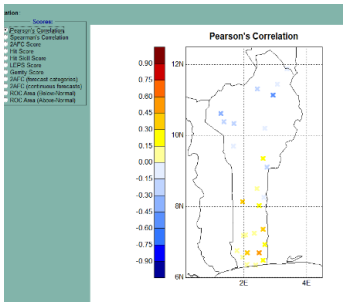
  Pour les précipitations ou les vents, se limiter au domaine concerné par exemple 20°W/30°E et 00°N /30°N

- **Choisir le nombre de mode**
  De préférence un nombre partir de 5

- **Lancer la simulation**
  Utiliser la validation croisée avec une fenêtre de 3

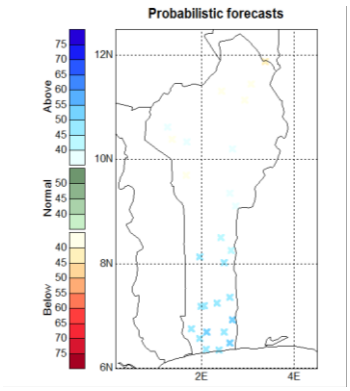


- **Récupérer les cartes de performance (Skill maps)**
  - Carte de la Corrélation de Pearson qui est l'indicateur de la performance du modèle de **prévision** construit



  - On pourrait regarder les cartes de ROC pour voir les prévisions par catégorie, la table de contingence, et les modes
  - Etc

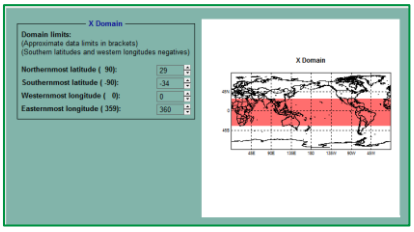
- **Récupérer la carte de prévision**

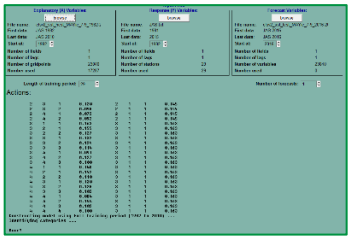


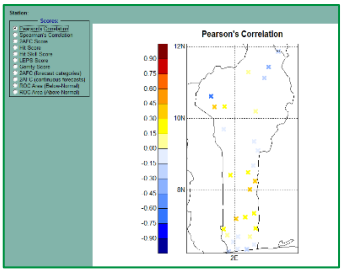
- **Essayer avec différentes données de différents Centres de production**

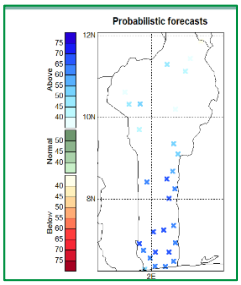
Pour un avoir une approche multi-model beaucoup plus robuste.

- **Faire de même pour les prévisions de JAS**









- **Prevsion consensuelle nationale**

  Pour la prévision consensuelle, il faut essayer de voir :

  - la tendance globale des centres de production mondiale avec les skills des modèles pour la période concernée
  - les previsions des modeles d'ensembles (NMME, COPERNICUS) avec les skills des modeles pour la periode concernée
  - Les dynamiques atmospherique et oceanique
  - Les previsions faites avec le CPT et les les skills des modeles

Tous ces éléments sont mis ensemble pour arriver à un consensus dans lequel on privilégie la dynamique actuelle et future de la circulation générale de l'atmosphère et des océans.

2.1.5 Prévision consensuelle Régionale

Cette approche permet d'avoir l'ensemble des données qui captent mieux les modes de variabilité des pluies concomitamment avec celles des prédicteurs. Avec l'approche de CCA qui est choisie, cette méthode régionale offre plus de robustesse sur la prévision. Donc il est fortement encouragé de mettre les données ensemble.

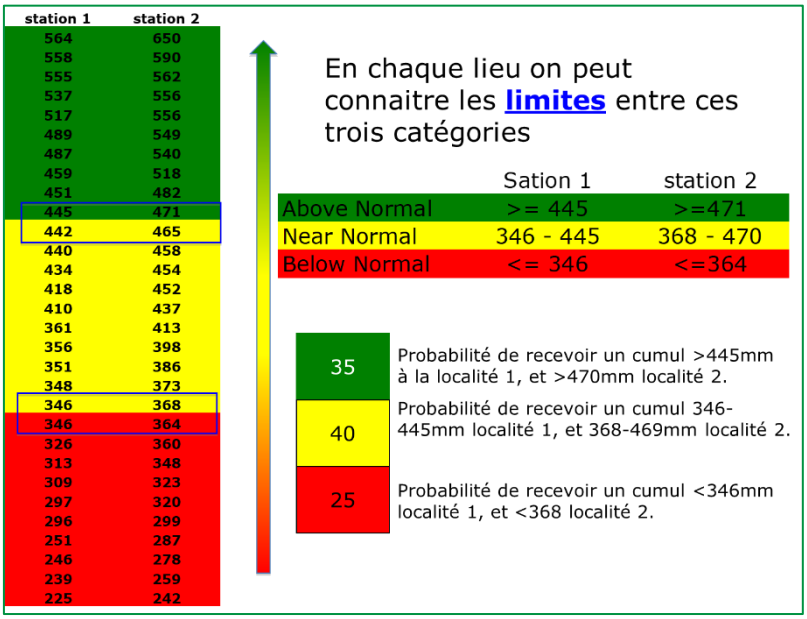
- Centraliser les données des cumuls pluviométriques (par Exemple Cumul JJA, Cumul JAS)
- Rassembler les données dans un seul fichier Excel sous format CPT
- Convertir en fichet texte (txt)
- Utiliser CPT pour faire la prévision (même procédure que pour les pays)
- Dans le consensus prendre en compte les prévisions des pays, des centres de production mondiaux ayant du skill sur la région, les tendances des états de surface des températures océaniques.

2.1.6 Probabilités sur l'occurrence des prévisions

Enfin des pourcentages sont attribués à chaque catégorie en fonction des évidences à partir des différentes analyses utilisées et en fonction des skills et des résultats issus du CPT.

Les résultats sont comparés à la moyenne établie sur la période de référence 1981-2010. La prévision porte sur la probabilité d'occurrence d'une des trois catégories : normale (moyenne), au-dessus de la normale (humide) et en dessous de la normale (sèche). Les catégories sont définies à partir des données observées de chaque station en prenant les limites entre les tiers (1/3) des données arrangées par ordre décroissant.

Ci-dessous un exemple de répartition des chiffres (pourcentages)



2.2 Prévision agrométéorologique

2.2.1 Préparation des données de pluies

Pour élaborer des prévisions de dates de début de saison, des séquences sèches et des dates de fin de saison, on doit disposer des données journalières historiques de pluies observées sur la période allant de 1981 à l'année la plus récente dont les données sont disponibles.

Les données doivent être traitées et mises dans le format utilisable par le logiciel INSTAT+ téléchargeable sur le site web du Statistical Services Centre, University of Reading, UK, http://www.reading.ac.uk/SSC/software/instat/instat.html ou maintenant R-INSTAT téléchargeable sur le site http://r-instat.org/Download.html. Une démonstration sur l'utilisation de R-INSTAT est disponible sur YouTube : https://www.youtube.com/watch?v=BsJ_SY9bzB8.

C'est avec ces outils libres d'accès que les valeurs saisonnières, (pour les dates de début et de fin de saison) et intra-saisonnières (pour les séquences sèches) sont calculées année par année et rangées par station au sein d'un pays ou à l'échelle sous-régionale. Ceux qui s'y reconnaissent en programmation peuvent aussi développer des scripts leur permettant d'automatiser les calculs des différents paramètres sur le nombre de stations dont les données sont disponibles.

Dans tous les cas, les différents paramètres agrométéorologiques sont calculés avec ces outils et à partir des données historiques de pluies journalières, sur la base de critères bien définis et spécifiques pour chaque paramètre et selon les zones agroécologiques de la sous-région. Dans INSTAT+ toutes les dates doivent être en jours juliens (voir tableau 5)

2.2.2 Importation des données dans INSTAT+

Il faut d'abord Créer un fichier de données climatiques dans INSTAT+ en faisant :

Climatic => Manage => New Worksheet

Donner un nom de fichier (exemple : Niamey) et cliquer sur *OK*

Pour importer des données dans INTSAT+, il faut faire

Climatic => Manage => Import Daily Data

Si les données sont au format CLICOM, cocher la case correspondante, indiquer le chemin où se trouve le fichier à importer (vous pouvez naviguer sur votre disque en utilisant le bouton *Browse*) et cliquer sur *OK*

Si les données sont à un autre format texte ou Excel, assurez-vous qu'ils respectent le format liste, c'est-à-dire que les lignes représentent des enregistrements (jours) et les colonnes des champs (années). Voir le fichier ci-dessous un exemple de fichier de pluviométrie journalière.

1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Il faut noter que **dans INSTAT+, l'année comporte toujours 366 jours**. Pour les années non bissextiles où le mois de février n'a pas 29 jours, la valeur **9988 est attribuée à cette date**. Pour les données **réellement manquantes, le code est 9999**.

Veuillez bien convertir vos ***fichiers Excel au format 1997-2003 (*.xls)***

Faire *File => Open Worksheet,*

Choisir le format approprié dans la zone *Type*

Retrouver le fichier à importer sur votre disque et Cliquer sur *OK*

2.2.3 Calcul des dates de début de saison des pluies

Critères utilisés :

a) **Pour les pays sahéliens à régime monomodal :** date après le *15 MARS*, à partir de laquelle un cumul pluviométrique d'*au moins 20 mm est enregistré pendant 01 à 03 jours consécutifs* et sans épisode sec excédant ***20*** *jours pendant les 30 jours qui suivent*.
Pour les stations situées au nord de l'isohyète 400 mm, prendre **15 mm** *enregistrés* à partir du **1er Mai** *pendant 01 à 03 jours consécutifs,* sans épisode sec excédant ***20*** *jours pendant les 30 jours qui suivent*

b) **Pour les parties Nord des pays côtiers du Golfe de Guinée, dans les zones à régime monomodal (Nord, Latitude supérieure à 8°N) :** La saison des pluies démarre à partir du *15 MARS*, lorsqu'on enregistre *au moins 20 mm de pluie en 01 à 03 jours consécutifs* et ceci sans *épisodes secs de plus de* ***10 j****ours dans les 30 jours qui suivent*

c) **Pour les parties Sud des pays du Golfe de Guinée à Régime bimodal (Sud, Latitude inférieure à 8°N) :** dans cette partie, il y a deux saisons de pluie : la grande et la petite. Pour le démarrage de la grande saison, le même critère que les zones nord est adopté : c'est-à-dire *au moins 20 mm de pluie enregistrés en 01 à 03 jours consécutifs à partir* ***du 1er FEVRIER,*** *sans épisodes secs de plus de 10 jours dans les 30 jours qui suivent*.
Quant à la petite saison des pluies, elle démarre lorsqu'à partir du *15 AOUT*, on enregistre *plus de 10 mm en 3 jours consécutifs*.

Dans INSTAT+ la date de début de saison se calcule comme suite : cas des pays sahéliens

Faire *Climatic => Events => Start of the Rains*

Cocher la case *First*

Sélectionner les années pour lesquelles vous voulez effectuer les calculs

Cliquer sur le bouton *Calendar* en face de la case *Earliest possible day* et choisissez *Janvier* comme premier mois sur la feuille de calcul et le *1er Mai* (= jour 122) comme date la date à partir de laquelle vous voulez commencer les calculs

Garder le seuil *0.85mm* de pluie utile (*Treshold for rain)*

Mettre trois *(3)* jours de jours successifs pour obtenir le seuil requis

Cocher la case *Total rainfall* et donner la valeur *20 mm*

Cocher la case *Dry spell* et saisir les valeurs *20 jours* et *30 jours* respectivement dans les cases *not exceeding* et *in the next et* Cliquer sur *OK*

Les résultats des calculs sont affichés en jours de l'an (voir Annexe 1 : exemple 140 = 19 mai) dans la colonne nommée *stdy1* en commençant par la première année jusqu'à la dernière. Vous pouvez renommer cette colonne en tapant directement *Début*

2.2.4 Calcul des dates de fin de saison des pluies

a) **Pour les pays sahéliens à régime monomodal :** date *après* ***le 1er Septembre (15 Septembre pour l'Ouest Mali (Ouest de la latitude de Bamako), le Sénégal, Mauritanie, Gambie ; Guinée Bissau)***, quand un sol capable de contenir ***70 mm*** d'eau disponible est complètement épuisé par une perte quotidienne d'évapotranspiration de ***5 mm.***

b) **Pour les pays côtiers du Golfe de Guinée :** Dans **les zones nord de ces pays**, la fin de la saison est observée quand, à partir du ***1er Octobre***, un sol capable de contenir ***70 mm*** d'eau disponible est complètement épuisé par une perte quotidienne d'évapotranspiration de ***4 mm***.

c) Dans **les zones sud,** les mêmes critères que ceux dans les zones nord sont utilisés, sauf que les calculs sont déclenchés à partir du ***1er juillet*** pour la grande saison.

Quant à la fin de la petite saison, les calculs sont déclenchés à partir du ***15 Octobre***

Dans INSTAT+ la date de fin de saison se calcule comme suite : Cas des pays Sahéliens

Faire *Climatic => Events => Water Balance*
Sélectionner les années pour lesquelles vous voulez effectuer les calculs
Cocher la case *First*
Saisir les valeurs *70 mm et 5 mm* respectivement dans les cases *Capacity et Evaporation.*
Cliquer sur le bouton *Calendar* en face de la case *Earliest possible day* et choisissez *Janvier* comme premier mois sur la feuille de calcul et le *1er septembre* (= jour 245) comme date de démarrage des calculs
Cocher la case <= en face de *Water Balance* donner la valeur *0 mm*
Cliquer sur *OK*

Les résultats des calculs sont affichés en jours de l'an (voir Annexe 1 : exemple 258 = 14 septembre) dans la colonne suivante de votre feuille de calcul. Vous pouvez nommer cette colonne *Fin*

Afin de mieux visualiser à quelle année correspond les valeurs affichées dans les colonnes *Début* et *Fin*, il est utile de créer une colonne année. Cela se fait comme suite dans INSTAT+

Faire *Manage => Data => Regular Sequence*

Cocher la case *Sequence*

Saisir l'année de départ dans la case *From* (exemple *1951*)

Saisir l'année de fin dans la case *To* (exemple *2010*)

Saisir *1* dans la case *In steps of* pour incrémenter d'une année à chaque fois, et Cliquer sur *OK*

Vous pouvez nommer la nouvelle colonne *Année*

2.2.5 Calcul des durées maximales de séquences sèches

Définition : Il existe plusieurs manières de calculer les durées de séquences sèches dans INSTAT+. Celle que nous retenons ici correspond à la définition de ***séquence sèche inconditionnelle***, qui permet d'avoir la durée maximale de séquence sèche (nombre de jours consécutifs sans pluies (P <= 0.85 mm) à partir d'une date donnée et pour une durée donnée).

a) Séquences sèches en début de saison

C'est le nombre de jours secs consécutifs le plus long pendant les 50 jours après la date du début de la saison.

Dans INSTAT+ les séquences sèches se calculent comme suite :

Faire *Climatic => Events => Spells*

Sélectionner les années pour lesquelles vous voulez effectuer les calculs

Cocher la case *Unconditionnal*

Garder le seuil *0.85mm* de pluie utile (*Range for spell)*

Cocher la case « relative » -- choisir la « date de début », dans la colonne des dates calculées (les calculs des séquences sèches se feront à partir de cette date de début de saison) –dans la case « *Initial days » saisissez « 1 » (c'est-à-dire que les calculs commencent à partir du jour 1 à la suite de la date du début de saison). Dans la case « length of period » pour préciser* la durée de la période sur laquelle vous voulez calculer les séquences sèches (50 dans ce cas).

b) Séquences sèches en fin de saison

Le calcul des séquences sèches les plus longues vers la fin de la saison, c'est-à-dire sur la période prenant en compte les phases critiques d'épiaison-floraison et de maturation des cultures, peut se faire par exemple à partir du 50ème jour après la date calculée de début de saison jusqu'à la date moyenne de fin de saison au niveau de la station (localité). A cet effet on calcul :

- la longueur de la saison pour toutes les années (LS),
- la longueur moyenne de la saison des pluies au niveau de la station LS_Moy),
- on soustrait 50 jours à la longueur moyenne de la saison (LS_Moy-50),
- on calcul les séquences sèches sur la période restante de la longueur moyenne de la saison (LS_Moy-50), à partir de date de début de la saison +50 Jours (Relative to DDS+50)

Les résultats des calculs, représentant le nombre maximum de jours secs consécutifs au cours de la période indiquée, s'affichent dans les colonnes suivantes de votre feuille de calcul. Vous pouvez nommer ces colonnes pour indiquer les périodes de démarrage des calculs.

2.2.6 Organisation des données issues de INSTAT+ au format CPT

Les dates de début de saison, les séquences sèches et les dates de fin de saison ainsi calculées (année par année, station par station et pays par pays) à l'aide de INSTAT+ doivent être compilées en fichiers séparés au format qu'utilise CPT. Dans le format de fichier, la première colonne est réservée aux années rangées verticalement (Ex. de 1981-2019). Les colonnes suivantes doivent comporter (une colonne pour une station) les valeurs des paramètres calculés (dates de début, séquences sèches ou dates de fin). Chaque colonne de données doit porter le nom de la station en question « en Titre de Colonne, en première ligne » et les coordonnées géographiques de la station (Latitude en deuxième ligne et longitude en 3ème ligne). Les données manquantes sont toujours remplacées par "-999". Les tableaux ci-dessous montre des modèles d'organisation des données avant leur importation dans CPT

Tableau 1 : Exemple de fichier pour les dates de début de saison calculées

STN	Abomey	ADJOHOUN	APLAHOUE	BANTE	BOHICON	BONOU	BOPA	COTONOU	DASSA	DOGBO	GRAND-POPC	KETOU	LONKLY
LAT	7.18	6.70	6.94	8.42	7.17	6.90	6.38	6.36	7.75	6.80	6.28	7.36	7.13
LON	1.99	2.50	1.67	1.88	2.07	2.46	2.44	2.43	2.17	1.78	1.82	2.61	1.67
1981	95	122	142	93	97	84	110	72	117	149	123	70	69
1982	107	77	121	101	46	99	121	107	99	56	99	93	107
1983	91	131	93	136	91	100	136	136	92	93	136	91	91
1984	97	72	68	99	112	68	94	113	121	47	109	112	68
1985	92	92	95	91	96	68	-999	96	122	56	75	92	94
1986	92	139	105	78	49	68	115	115	78	58	101	118	68
1987	74	57	138	78	46	79	67	69	70	47	57	138	67
1988	104	97	67	86	63	110	114	113	79	86	85	104	67
1989	-999	66	65	108	109	72	70	95	72	-999	72	70	95
1990	92	92	90	-999	90	92	-999	92	90	92	93	92	90
1991	-999	75	75	93	74	92	58	77	75	58	93	92	75
1992	96	125	128	-999	99	86	78	87	97	-999	125	128	96
1993	110	110	91	-999	49	116	110	110	109	59	110	110	110
1994	96	119	93	93	94	61	114	59	86	94	49	109	94
1995	66	43	67	93	66	-999	61	107	119	61	68	103	-999
1996	46	73	-999	59	102	33	96	88	-999	44	96	-999	59
1997	82	73	61	112	82	83	73	73	118	82	121	-999	73
1998	93	93	113	117	113	103	83	125	103	89	110	155	88
1999	54	47	70	122	46	46	105	47	95	47	49	101	70
2000	107	79	106	85	107	101	122	79	121	-999	138	106	106
2001	88	94	82	92	88	109	109	94	73	102	109	88	-999
2002	88	97	88	88	67	84	97	98	97	98	132	71	67
2003	97	102	94	110	94	103	94	97	96	83	79	132	92
2004	132	87	132	117	109	79	80	97	108	113	77	106	92
2005	52	69	63	159	56	-999	68	74	105	61	57	109	63
2006	66	61	61	61	67	-999	76	115	107	67	120	64	48
2007	88	132	70	89	122	120	131	141	114	79	120	132	-999
2008	113	109	91	115	114	-999	123	107	147	93	108	151	72
2009	106	88	95	78	56	-999	106	88	108	45	-999	106	-999
2010	112	100	44	96	92	81	75	108	117	44	100	44	-999
2011	41	41	49	-999	41	59	94	94	135	41	142	-999	-999
2012	135	107	49	92	132	89	129	36	98	100	-999	84	59
2013	116	120	116	92	116	32	-999	76	108	116	-999	-999	84
2014	83	51	65	97	58	70	75	83	-999	99	83	65	-999
2015	75	81	44	191	75	-999	80	69	-999	77	48	77	65
2016	59	73	73	73	68	82	68	68	-999	68	67	73	60
2017	106	125	94	106	150	63	97	69	83	94	125	74	65
2018	97	123	56	118	56	89	49	77	-999	56	-999	120	124
2019	133	38	61	-999	66	-999	96	39	125	97	-999	-999	81

Tableau 2 : Exemple de fichier pour les séquences sèches les plus longues observées en début de saison

STN	ABOMEY	ADJOHOUN	APLAHOUE	BANTE	BOHICON	BONOU	BOPA	COTONOU	DASSA	DOGBO	GRAND-POPC	KETOU
LAT	7.2	6.70	6.94	8.42	7.17	6.90	6.38	6.36	7.75	6.80	6.28	7.36
LON	1.99	2.50	1.67	1.88	2.07	2.46	2.44	2.43	2.17	1.78	1.82	2.61
1981	9	6	4	10	9	7	6	12	9	8	8	13
1982	8	10	7	5	9	9	7	5	6	12	7	10
1983	8	9	8	14	7	8	9	10	6	7	12	8
1984	8	17	6	8	8	11	19	7	7	12	8	4
1985	5	9	5	10	8	12	-999	6	8	7	13	8
1986	13	8	13	10	8	12	6	9	8	8	10	7
1987	24	11	8	16	13	14	10	13	26	9	26	9
1988	8	8	10	10	13	7	5	8	10	9	-999	8
1989	-999	12	13	11	9	14	12	10	4	-999	12	13
1990	11	7	10	-999	9	8	-999	7	6	8	-999	6
1991	-999	7	9	7	9	7	10	14	10	7	6	7
1992	7	12	7	-999	8	17	12	7	7	-999	7	8
1993	11	4	8	-999	13	-999	5	4	9	7	4	7
1994	9	6	11	8	11	12	9	12	8	8	16	12
1995	9	17	10	9	6	-999	12	7	-999	14	12	15
1996	10	8	-999	11	9	9	5	7	-999	8	7	-999
1997	6	8	10	10	7	10	9	8	7	8	6	-999
1998	6	8	8	9	7	13	5	5	6	8	12	8
1999	8	8	10	9	6	9	10	18	9	17	21	6
2000	5	8	9	8	7	10	7	7	6	-999	9	8
2001	9	10	10	10	7	9	6	6	14	7	6	9
2002	6	10	6	5	6	13	8	8	6	8	5	8
2003	14	9	10	7	14	8	9	9	13	11	9	5
2004	6	13	9	9	7	-999	10	6	10	7	8	7
2005	13	14	10	8	10	-999	7	7	8	13	13	8
2006	9	7	12	15	9	-999	10	7	10	9	8	10
2007	11	6	8	5	8	12	7	5	5	19	6	13
2008	5	9	6	8	5	-999	4	7	6	7	5	5
2009	12	9	8	9	10	-999	9	-999	22	20	-999	9
2010	10	7	10	7	9	8	10	8	10	10	7	22
2011	13	22	11	-999	13	11	7	10	5	11	7	-999
2012	8	9	23	8	6	-999	4	11	13	-999	-999	7
2013	5	7	7	7	7	13	-999	10	18	-999	-999	8
2014	8	9	10	11	8	6	11	9	-999	-999	-999	10
2015	11	10	20	9	11	-999	19	10	-999	17	9	11
2016	18	12	8	12	13	7	12	11	-999	8	12	21
2017	9	4	6	18	11	10	10	10	18	8	5	8
2018	9	10	8	10	7	13	9	11	-999	7	-999	9
2019	4	9	13	-999	8	-999	12	7	8	13	-999	-999

Tableau 3 : Exemple de fichier pour les séquences sèches les plus longues observées vers la fin de saison

STN	ABOMEY	ADJOHOUN	APLAHOUE	BANTE	BOHICON	BONOU	BOPA	COTONOU	DASSA	DOGBO
LAT	7.2	6.70	6.94	8.42	7.17	6.90	6.38	6.36	7.75	6.80
LON	1.99	2.50	1.67	1.88	2.07	2.46	2.44	2.43	2.17	1.78
1981	8	14	15	9	13	12	13	7	6	20
1982	31	6	28	17	11	46	19	26	10	10
1983	21	34	24	10	23	21	43	40	15	21
1984	6	7	8	10	8	7	12	22	11	10
1985	7	12	15	6	10	8	-999	10	7	7
1986	9	28	18	10	8	19	-999	35	7	16
1987	8	12	5	9	24	13	18	9	30	14
1988	9	15	13	8	8	17	20	24	8	-999
1989	-999	5	7	4	8	6	9	10	8	-999
1990	7	11	8	-999	8	-999	-999	17	6	-999
1991	-999	9	10	8	15	-999	8	7	6	7
1992	10	11	-999	-999	12	20	-999	9	14	-999
1993	25	23	30	-999	13	21	26	27	19	-999
1994	20	25	10	5	14	17	18	10	23	12
1995	12	17	8	7	5	-999	11	9	-999	-999
1996	10	6	-999	11	7	10	13	7	-999	9
1997	8	9	10	12	9	11	4	7	10	-999
1998	12	7	-999	8	19	-999	-999	22	6	14
1999	15	10	10	5	10	11	10	8	6	10
2000	14	10	-999	9	11	13	17	8	-999	-999
2001	12	11	-999	10	12	10	12	8	8	-999
2002	5	12	-999	8	12	12	7	7	15	-999
2003	9	20	11	4	14	-999	12	13	9	10
2004	16	9	12	7	12	-999	14	13	9	17
2005	11	14	-999	16	9	-999	9	8	16	15
2006	5	8	9	10	8	-999	7	9	17	9
2007	12	8	10	10	7	18	8	14	12	-999
2008	7	7	-999	13	7	-999	26	13	16	-999
2009	16	11	-999	9	9	-999	13	8	13	-999
2010	14	23	-999	10	13	13	6	24	11	-999
2011	18	9	8	-999	15	-999	12	9	19	-999
2012	-999	15	12	12	10	-999	20	28	13	9
2013	25	25	23	12	20	9	22	10	17	34
2014	11	10	7	12	9	12	8	9	-999	9
2015	11	11	29	53	11	-999	8	8	-999	14
2016	18	21	10	43	13	16	11	11	-999	13
2017	13	10	11	8	15	16	9	10	21	11
2018	22	10	12	12	12	66	11	10	-999	14
2019	20	16	15	-999	9	-999	12	12	10	18

Tableau 4 : Exemple de fichier pour les dates de fin de saison calculées

STN	ARIBINDA	BAGASSI	BAGUERA	BAM	BANFORA	BANI	BARABOUL	BARSALOG	BATIE	BEREBA	BEREGADC	BETARE
LAT	14.23	11.75	10.53	13.33	10.62	13.72	14.22	13.42	9.88	11.62	10.75	11.43
LON	-0.87	-3.3	-5.42	-1.5	-4.77	-0.17	-1.85	-1.07	-2.92	-3.68	-4.73	-1.37
1981	251	272	277	270	287	256	272	276	285	277	286	267
1982	250	260	279	258	292	258	256	260	279	263	292	272
1983	270	280	276	250	248	248	255	248	280	286	265	282
1984	263	280	304	268	296	272	245	256	295	300	297	246
1985	263	281	294	263	290	249	249	261	287	284	291	286
1986	265	284	285	276	287	247	245	256	292	291	289	280
1987	285	289	263	258	269	245	246	246	302	264	295	294
1988	269	279	292	280	291	268	258	272	288	275	291	283
1989	260	291	293	275	296	258	256	264	300	286	291	296
1990	246	280	292	248	280	256	245	253	283	281	280	252
1991	259	266	277	266	269	259	246	276	274	262	269	270
1992	259	284	278	267	280	264	269	264	280	281	287	288
1993	252	289	280	268	282	249	247	259	305	274	289	289
1994	265	310	311	301	313	-999	248	286	313	274	313	293
1995	261	249	305	266	291	257	249	254	302	249	294	284
1996	246	301	293	280	291	271	280	282	297	296	290	301
1997	258	281	301	283	300	268	261	249	287	286	293	262
1998	247	288	298	254	285	258	246	254	251	290	292	286
1999	263	280	303	274	301	-999	270	272	297	299	305	298
2000	254	258	300	271	291	-999	245	273	298	256	293	266
2001	252	258	288	284	294	-999	250	247	291	287	293	298
2002	248	-999	305	260	296	-999	264	264	289	272	286	290
2003	271	-999	306	277	289	273	282	273	298	293	294	294
2004	247	265	283	265	302	251	253	272	285	266	269	289
2005	263	-999	294	269	282	253	257	269	296	292	277	281
2006	273	-999	308	252	306	262	251	270	309	314	308	297
2007	258	-999	291	268	276	246	264	266	283	270	276	266
2008	265	-999	302	264	300	247	252	283	295	269	293	298
2009	277	282	326	256	285	251	247	270	294	286	281	280
2010	252	290	302	252	298	272	273	288	305	298	294	296

Tableau 5 : Table des jours de l'an (jours juliens)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
1	1	32	61	92	122	153	183	214	245	275	305	336
2	2	33	62	93	123	154	184	215	246	276	306	337
3	3	34	63	94	124	155	185	216	247	277	307	338
4	4	35	64	95	125	156	186	217	248	278	308	339
5	5	36	65	96	126	157	187	218	249	279	309	340
6	6	37	66	97	127	158	188	219	250	280	310	341
7	7	38	67	98	128	159	189	220	251	281	311	342
8	8	39	68	99	129	160	190	221	252	282	312	343
9	9	40	69	100	130	161	191	222	253	283	313	344
10	10	41	70	101	131	162	192	223	254	284	314	345
11	11	42	71	102	132	163	193	224	255	285	315	346
12	12	43	72	103	133	164	194	225	256	286	316	347
13	13	44	73	104	134	165	195	226	257	287	317	348
14	14	45	74	105	135	166	196	227	258	288	318	349
15	15	46	75	106	136	167	197	228	259	289	319	350
16	16	47	76	107	137	168	198	229	260	290	320	351
17	17	48	77	108	138	169	199	230	261	291	321	352
18	18	49	78	109	139	170	200	231	262	292	322	353
19	19	50	79	110	140	171	201	232	263	293	323	354
20	20	51	80	111	141	172	202	233	264	294	324	355
21	21	52	81	112	142	173	203	234	265	295	325	356
22	22	53	82	113	143	174	204	235	266	296	326	357
23	23	54	83	114	144	175	205	236	267	297	327	358
24	24	55	84	115	145	176	206	237	268	298	328	359
25	25	56	85	116	146	177	207	238	269	299	329	360
26	26	57	86	117	147	178	208	239	270	300	330	361
27	27	58	87	118	148	179	209	240	271	301	331	362
28	28	59	88	119	149	180	210	241	272	302	332	363
29	29	60	89	120	150	181	211	242	273	303	333	364
30	30		90	121	151	182	212	243	274	304	334	365
31	31		91		152		213	244		305		366

2.2.7 Préparation des prédicteurs

Les prédicteurs utilisés sont les mêmes que ceux utilisés pour les prévisions des cumuls pluviométriques et des écoulements dans les grands bassins fluviaux. Il s'agit des sorties des modèles de circulation globaux (ECHAM, CFS, CAM-CMC, GFDL, ECMWF, NMME, COPERNICUS, etc.) téléchargeables en ligne, sur différents sites dont celui de l'IRI, DataLibrary ou NCEP/CPC. Les données des prévisions mensuelles sont utilisées pour la prévision des caractéristiques de la saison. Le mieux, c'est de le télécharger sous le format CPT, directement sur le site de NCEP :

- https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/International/nmme/monthly_nmme_forecast_in_cpt_format/
- https://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/International/nmme/seasonal_nmme_hindcast_in_cpt_format/

Dans la DataLibrary de l'IRI, les données peuvent être téléchargées sous le langage INGRID développé à cet effet. Exemple de script de téléchargement de la composante U des vents mensuels initie en avril pour différents lead time (L de 0.5 *à* 7.5 par exemple), à partir du modèle ECHAM :

```
expert
SOURCES .IRI .FD .ECHAM5 .T42 .Forecast .ca_sst .ensemble24 .MONTHLY .PressureLevel .u
        S ( Apri 1981) ( Apri  2020) RANGEEDGES
        X (60W) (20E) RANGEEDGES
         Y (00N) (40N) RANGEEDGES
         L (0.5) (0.5) RANGEEDGES
        P (925) VALUES
        [M L]average
        S (T) renameGRID
        T 12 STEP
        -999 setmissing_value
```

Les contenues de S,X, Y, L et P peuvent être modifiés pour prendre en compte la période (S), la couverture spatiale (X et Y), le pas de temps (L) et le niveau de pression (P)

A partir de ces sites plusieurs paramètres (servant de prédicteurs) peuvent être télécharger et utiliser dans l'outil CPT, pour rechercher des corrélations (de cause à effet) avec les paramètres à prévoir (dates de début de saison, séquences sèches, dates de fin de saison, etc.). Comme déjà présentés ci-dessus, on a entre autres : ***les vents à différents niveaux d'altitude ; l'eau précipitable, la Précipitation totale en surface, la Radiation d'onde longue et les Températures de surface des océans***.

2.2.8 Prévision des dates de début, des séquences sèches et des dates de fin de saison avec l'outils CPT

Une fois les dates de début de saison, les séquences sèches et les dates de fin de saison calculées et contrôlées (corriger les valeurs aberrantes), chaque fichier de données (en Excel au départ) doit être converti en fichier .txt (texte, séparateur, texte) ou csv (texte, séparateur, virgule), avant d'être importé dans CPT, pour l'élaboration des prévisions au cas par cas (le principe étant toujours le même).

Dans CPT :

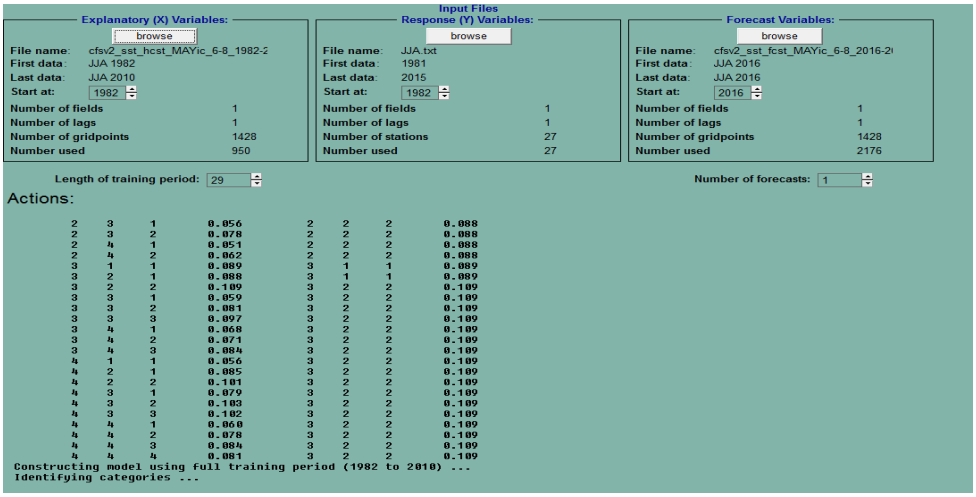
- Importer les données (Exemple DDS (dates de début de saison) comme prédictands et les données des modèles comme prédicteurs.

  Colone X= cfsv2_precip_hcst_Apr_3_1982-2010
  Colone Y= DDS_1981-2019
  Colone Z= cfsv2_precip_fcst_Apr_3_2020

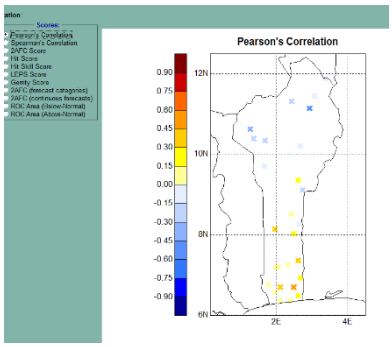
  Où

  Colone X= CFS-hincast-forecast_Apr_3_1982-2020
  Colone Y= Cumul DDS_1981-2019
- Choisir le type l'analyse statistique => Analyse en Corrélation Canonique (ACC)
- Ajuster le domaine de X
  - Pour les SST prendre soit le domaine tropical 30°N/30°S ou toute zone de forçage jugée pertinente
  - Pour les précipitations ou les vents, se limité au domaine concerné par exemple 20°W/30°E et 0°N/30°N
- Choisir le nombre de mode
  - De préférence un nombre impair à partir de 7
- Lancer la simulation

- Utiliser la validation croisée

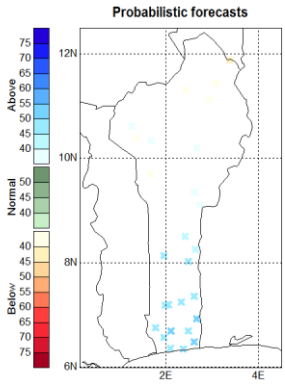


- **Récupérer les cartes de performance (Skill maps)**
  - Carte de la Corrélation de Pearson qui est l'indicateur de la performance du modèle du prévision construit



  - Les cartes de ROC
  - Etc.

- **Récupérer la carte de prévision**



- **Faire de même pour les prévisions de Dates de fin de saison, de séquences sèches en début de saison et de fin de saison**

a) Prevsions consensuelles nationales

Pour la prévision consensuelle de chaque paramètre agroclimatique, il faut essayer de voir :

- La dynamique atmosphérique et océanique
- Les prévisions faites avec le CPT et les skills des modèles

Tous ces éléments sont mis ensemble pour arriver à un consensus dans lequel on privilégie la dynamique actuelle et future de la circulation générale.

b) Prévisions consensuelles Régionale

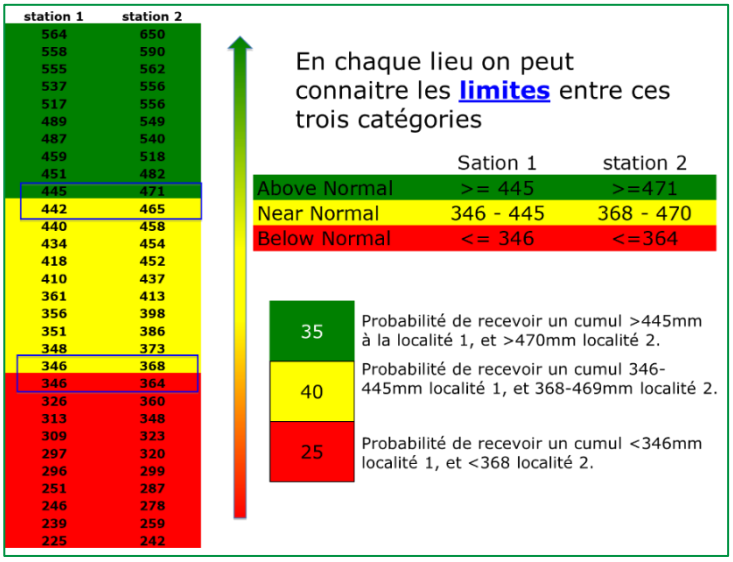
- Centraliser les données des dates de dèbut de la saison, dates de fin de la saison, séquences sèches en début de saison et séequences seche vers la fin de la saison
- Compiler les données de chaque paramètre dans un seul fichier Excel sous format CPT
- Convertir en fichiers texte (txt)
- Utiliser CPT pour faire la prévision (même procédure que pour les pays)
- Dans le consensus prendre en compte les prévisions des pays, la dynamique de l'atmosphère et des états de surface des températures océaniques.

c) Probabilités des prévisions

Enfin des pourcentages sont attribués à chaque catégorie en fonction des évidences à partir des différentes analyses faites et en fonctions des skills et des résultats issus du CPT.

Les résultats sont comparés à la moyenne établie sur la période de référence 1981-2010

Ci-dessous un exemple de répartition des chiffres (pourcentages)



Contrairement à l'exemple sur les pluies ci-dessus utilisées, prendre les légendes suivantes pour les catégories supérieurs et inférieurs aux moyennes de référence pour les divers paramètres.

	DDS	DFS	SSD	SSF
LEGEND S Supérieur à la normale N Normale I Inférieur à la normale	**LEGENDE** T Tardive N Normale P Précoce	**LEGENDE** T Tardive N Normale P Précoce	**LEGEND** L Longue N Normale C Courte	**LEGEND** L Longue N Normale C Courte

2.3. Prévision hydrologique

2.3.1. Définition du réseau de prévision

Les données hydrométriques de base utilisées pour l'élaboration des prévisions sont les débits des cours d'eau au niveau des principales stations des bassins concernés. Les figures 1 & 2 présentent les réseaux hydrométriques utilisés pour les prévisions saisonnières dans les pays du Golfe de Guinée et les zones sahéliennes et soudaniennes des pays de l'espace CILSS/CEDEAO.

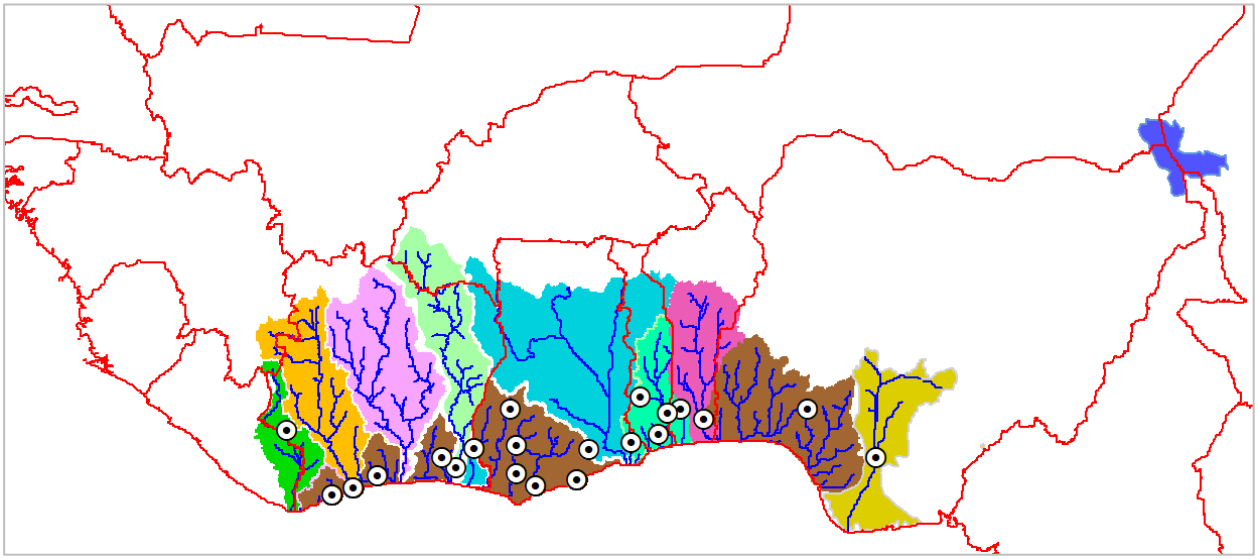


Figure 1 : Réseau hydrométrique pour les prévisions saisonnières dans les pays du Golfe de Guinée (PRESAGG)

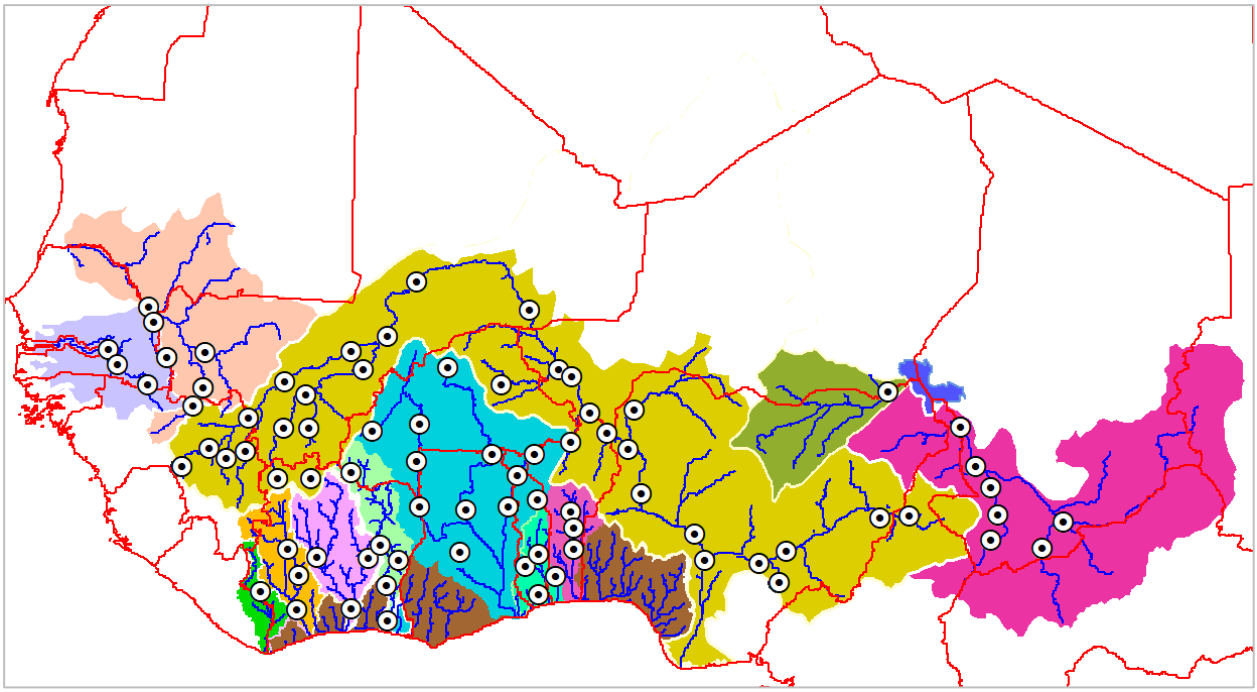


Figure 2 : Réseau hydrométrique pour les prévisions saisonnières dans les pays sahéliens et soudaniens (PRESASS)

2.3.2. Définition et calcul des prédictands

Pour la mise en œuvre de la prévision saisonnière hydrologique, l'on ne prévoit pas à priori la période JAS (Juillet Août Septembre); comme c'est le cas pour les prévisions climatiques, mais plutôt le débit moyen sur la période des hautes eaux (figure 3). Cette variable est appelée predictand.

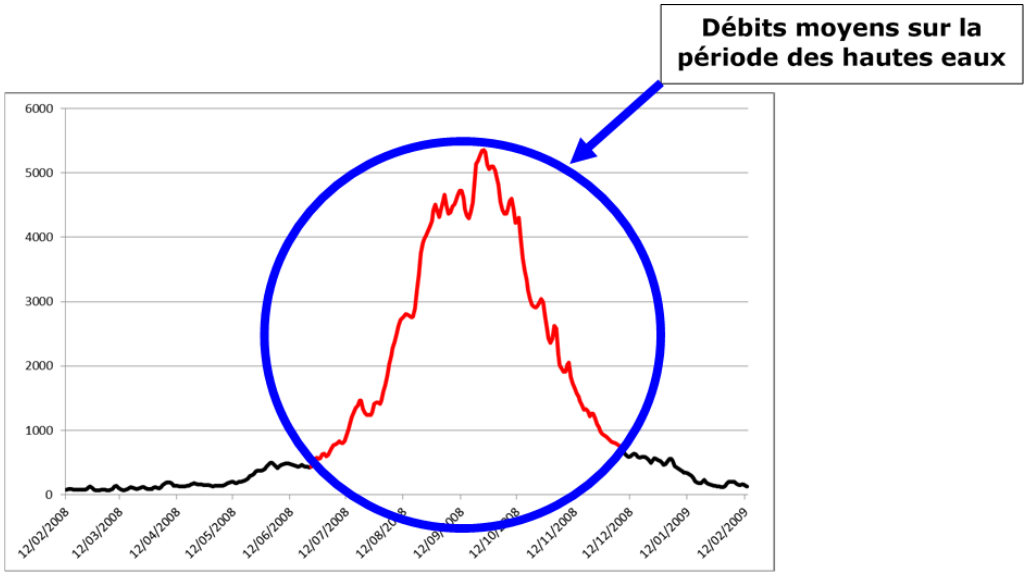


Figure 3 : Période des hautes eaux dont le module est prévu au cours de la saison

Cette période diffère d'un bassin versant à un autre (figure 4).

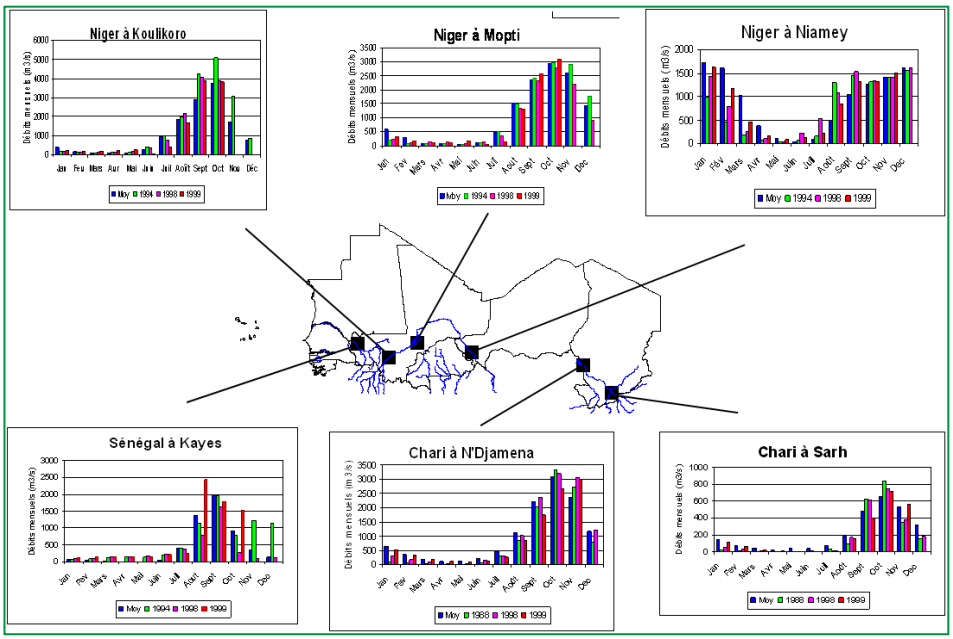


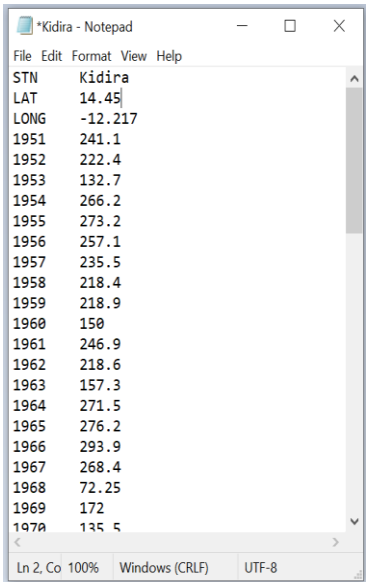
Figure 4 : Période des hautes eaux de quelques sous bassins

2.3.3. Traitement des données au format CPT

Il s'agit de calculer pour chaque station et sur toute la longueur de la série, le débit moyen annuel sur la période des hautes eaux. En hydrologie, l'analyse se fait station par station. Autrement dit, on prépare un fichier par station. Pour être lues par CPT, les données doivent être dans le format de CPT constitué de deux colonnes. Une première colonne pour les années et la seconde comporte les débits moyens correspondants. Il existe deux variantes de format CPT. Si la station est géo-référencée, les trois premières lignes du fichier comportent respectivement le nom de la station (codé par STN), la latitude (par LAT) et la longitude (par LONG). Par contre si l'on ne dispose pas des coordonnées de la station, l'en-tête du fichier est constitué d'une seule ligne comportant le nom de la station codé par NAME (tableaux 1a & 1b).

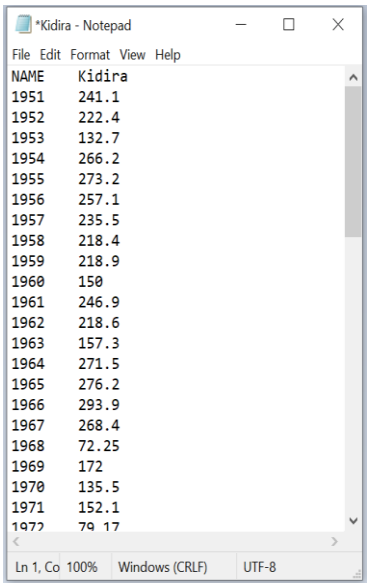
Tableau 1 : Formats des données d'entrée (predictands) pour CPT

(a)



```
STN     Kidira
LAT     14.45
LONG    -12.217
1951    241.1
1952    222.4
1953    132.7
1954    266.2
1955    273.2
1956    257.1
1957    235.5
1958    218.4
1959    218.9
1960    150
1961    246.9
1962    218.6
1963    157.3
1964    271.5
1965    276.2
1966    293.9
1967    268.4
1968    72.25
1969    172
1970    135.5
```

(b)



```
NAME    Kidira
1951    241.1
1952    222.4
1953    132.7
1954    266.2
1955    273.2
1956    257.1
1957    235.5
1958    218.4
1959    218.9
1960    150
1961    246.9
1962    218.6
1963    157.3
1964    271.5
1965    276.2
1966    293.9
1967    268.4
1968    72.25
1969    172
1970    135.5
1971    152.1
```

2.3.4. Elaboration des prévisions de l'année en cours avec CPT

Le Climate Predictability Tool (CPT) développé par l'IRI (International Research Institute) est l'outil de prévision utilisé pour l'élaboration des prévisions des débits à travers les relations statistiques entre les débits des bassins sur la période des hautes eaux d'une part et les températures des surfaces des mers, les vents, les précipitations prévues d'autre part.
Le Logiciel CPT permet d'utiliser les méthodes statistiques de prévision ci-après : la régression linéaire multiple (LRM), l'analyse en composante principale (ACP), l'analyse canonique (CA).

a. Utilisation du logiciel CPT

Les entrées du logiciel CPT sont d'une part des variables explicatives (ou prédicteurs) constituées soit des températures de surface de la mer (SST), des vents ou des précipitations prévues et d'autre part de la variable expliquée (prédictand).

Lorsque la ou les variables explicatives se présentent sous la forme d'une valeur par année, on utilise le module « Regression Linéaire Multiple ». par contre, lorsque la variable explicative est constituée d'un champ de valeurs (plusieurs points de grille) par année, on utilise le module « Regression en Composantes Principales ».

Après avoir chargé les différentes variables dans les deux fenêtres correspondantes, on précise l'année de démarrage de la régression, la taille de la série et le paramètre de la validation croisée des modèles de régression. La troisième fenêtre est dédiée à la prévision. Dans le menu « option », on fait quelques réglages notamment, le code des valeurs manquantes, la période de référence, le critère de performance, nombre de modes, etc.

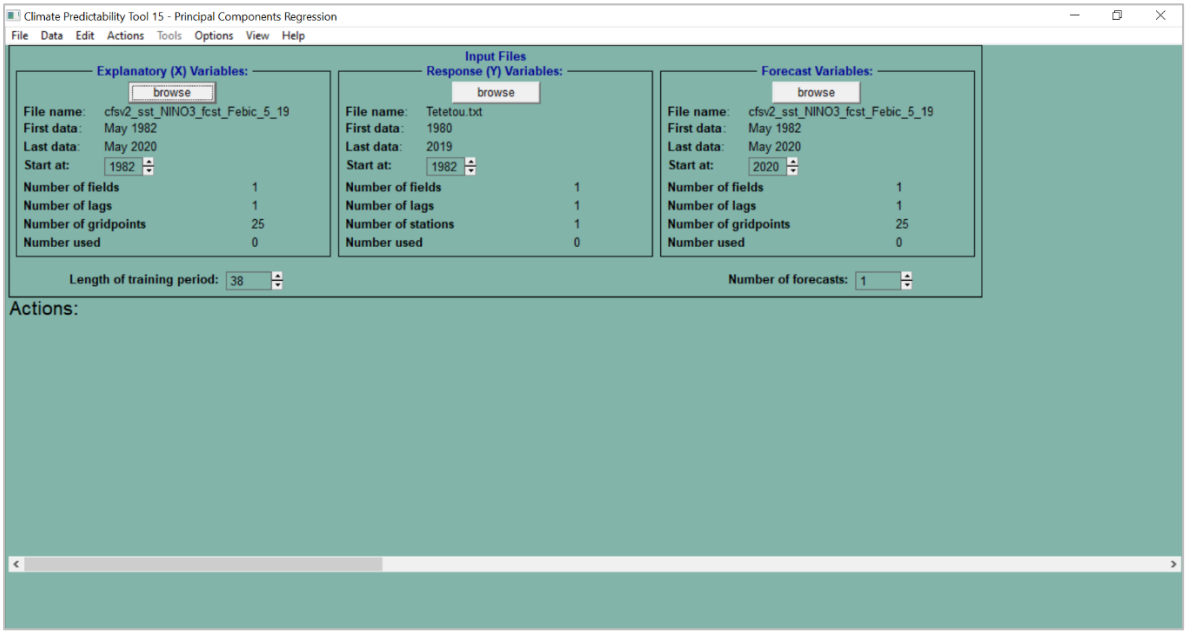


Figure 5 : Environnement CPT (boîte d'entrée des données)

b. Choix des prédicteurs

Pour élaborer les prévisions hydrologiques, il est utilisé un certain nombre de prédicteurs dont la forte relation avec les écoulements dans la sous-région a été prouvée par des études scientifiques. Il s'agit des températures de surface de la mer, des vents et des précipitations

prévues. Pour ce qui est des SST, les températures relatives aux zones océaniques présentées à la figure ci-dessous sont généralement utilisées ; il s'agit de :

- ✓ NINO3 : troisième composante de l'océan pacifique, entre 10°N-10°S et 90°W-150°W,
- ✓ Atl NW : Atlantique Nord-Ouest, entre 20°N-40°N et 10°W-30°W,
- ✓ EOF3 : troisième composante de la variabilité à long terme de la température de surface de l'océan global,
- ✓ Guinea Gulf : le Golfe de Guinée,
- ✓ Indian Ocean : l'océan indien.

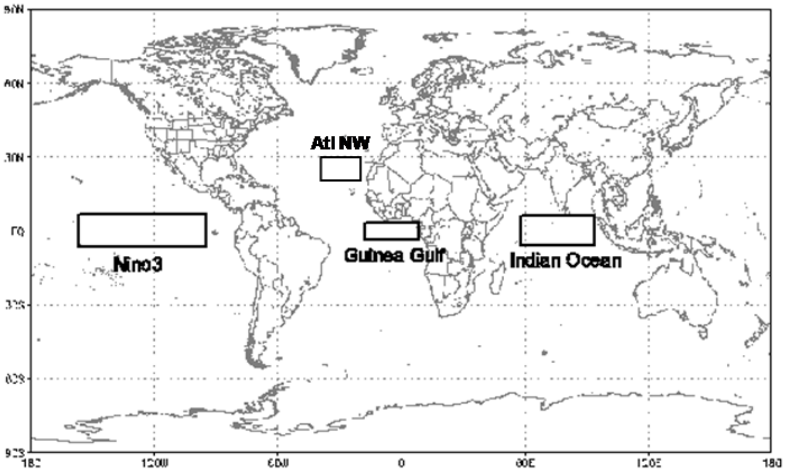


Figure 6 : Zones océaniques utilisées

c. Résultats des prévisions

Le logiciel CPT permet de construire un modèle de régression linéaire multiple sur la base de la relation entre le prédicteur utilisé et les débits moyens des hautes eaux au niveau d'un sous-bassin donné, suivant le principe de la validation croisée.

C'est à partir de ces modèles que l'on procède à la prévision du caractère de l'année en cours à travers la valeur du predictand.

Les résultats des prévisions sont présentés pour chaque bassin, sous forme de classes de forte, moyenne et faible hydraulicité relativement à l'hydraulicité moyenne sur la période de référence (figure 7).

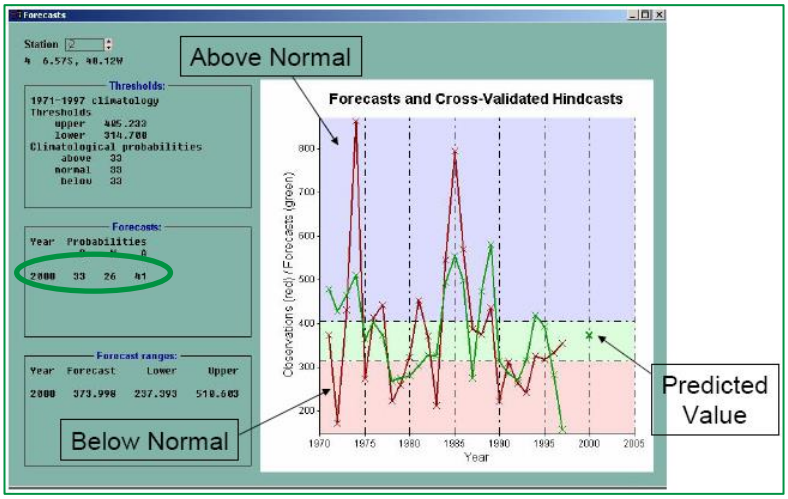


Figure 7 : Résultats des prévisions sous forme de classes de probabilités

d. Carte des Skill

En sortie, CPT fournit un modèle de prévision (LRM, ACP, CA) pour la prévision de la variable climatique ou hydrologique selon le prédictand utilisé en entrée. Chaque modèle de prévision est accompagné des paramètres d'appréciation qui renseignent sur la confiance desdits prévisions. Les plus importants de ces paramètres de confiance sont le coefficient de corrélation multiple, le skill et la p-value. Un modèle est bon quand son coefficient de corrélation multiple et son skill sont forts (proches de 1) et sa p-value proche de zéro.

La carte des Skill est très importante lors de la phase de consolidation des prévisions surtout en cas de situations singulières ou de contraste (prévisions divergentes) entre différentes prévisions dans un même sous-bassin.

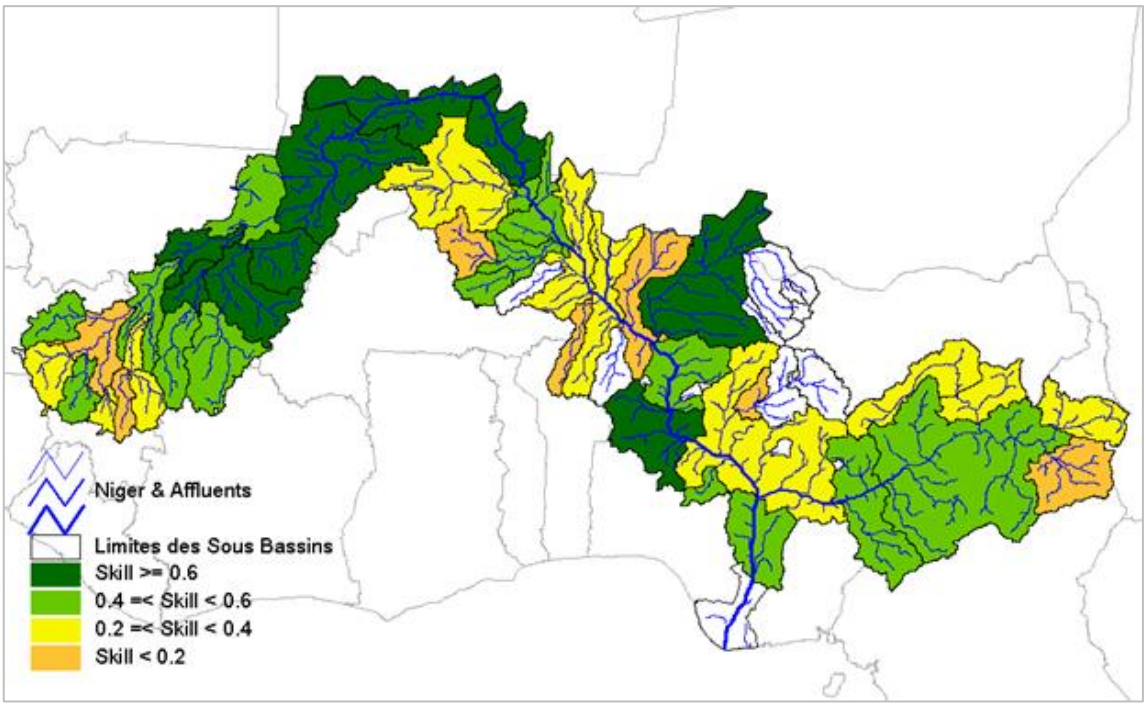
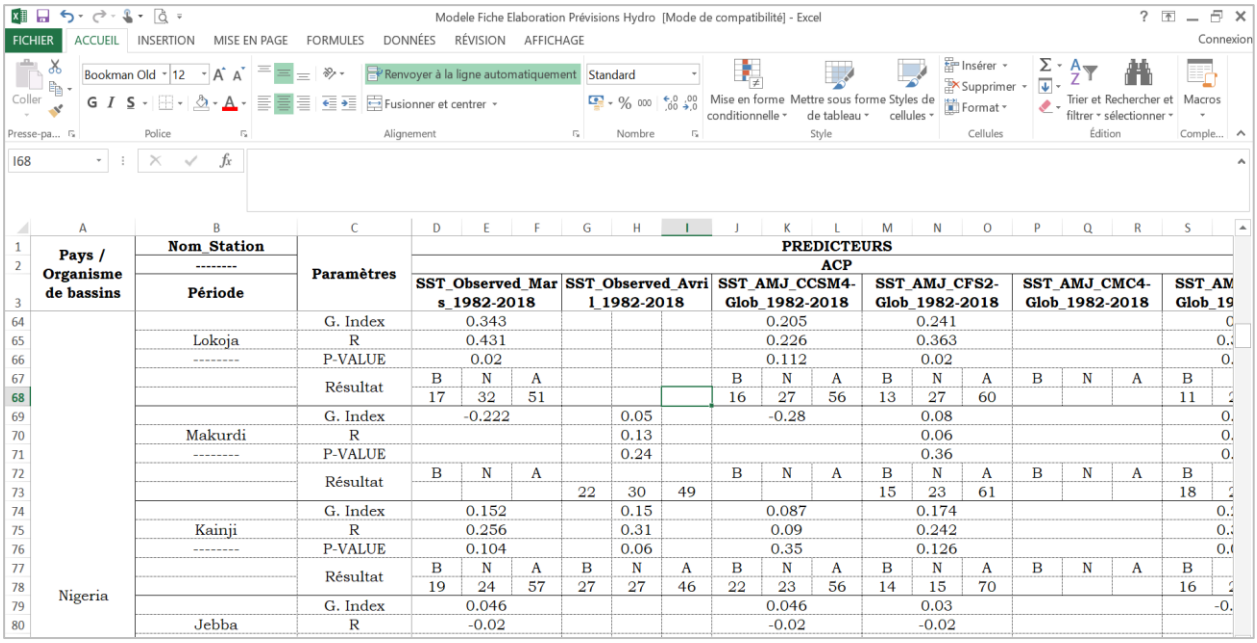


Figure 8 : Exemple d'une carte des meilleurs Skill des modèles de prévision

e. Fiche d'élaboration des prévisions

A l'issue des différentes prévisions, en utilisant l'ensemble des prédicteurs pour lesquels les experts se sont accordés, les résultats détaillés sont recensés dans un tableau dont le modèle est illustré à la figure ci-après.



Pays / Organisme de bassins	Nom_Station / Période	Paramètres	PREDICTEURS ACP: SST_Observed_Mars_1982-2018			SST_Observed_Avril_1982-2018			SST_AMJ_CCSM4-Glob_1982-2018			SST_AMJ_CFS2-Glob_1982-2018			SST_AMJ_CMC4-Glob_1982-2018			SST_AMJ_Glob_19
Nigeria		G. Index	0.343						0.205			0.241						0
	Lokoja	R	0.431						0.226			0.363						0.
	--------	P-VALUE	0.02						0.112			0.02						0.
		Résultat	B	N	A				B	N	A	B	N	A	B	N	A	B
			17	32	51				16	27	56	13	27	60				11
		G. Index	-0.222				0.05		-0.28			0.08						0.
	Makurdi	R					0.13					0.06						0.
	--------	P-VALUE					0.24					0.36						0.
		Résultat	B	N	A				B	N	A	B	N	A	B	N	A	B
						22	30	49				15	23	61				18
		G. Index	0.152				0.15		0.087			0.174						0.
	Kainji	R	0.256				0.31		0.09			0.242						0.
	--------	P-VALUE	0.104				0.06		0.35			0.126						0.
		Résultat	B	N	A	B	N	A	B	N	A	B	N	A	B	N	A	B
			19	24	57	27	27	46	22	23	56	14	15	70				16
		G. Index	0.046						0.046			0.03						-0.
	Jebba	R	-0.02						-0.02			-0.02						

Figure 9 : Fiche de synthèse des prévisions

Chaque participant présente les résultats obtenus sur l'ensemble des stations utilisées y compris les valeurs des skill, des coefficients de corrélation et les p-values correspondantes.

2.3.5. Elaboration des prévisions hydrologiques consensuelles

Cette étape consiste à faire une analyse globale de l'ensemble des prévisions disponibles. Il s'agit de procéder à l'harmonisation des prévisions issues du logiciel CPT d'une part et de celles-ci avec les prévisions des SST et précipitations issues des modèles globaux, tout en gardant une attention critique sur la tendance de l'évolution des principaux prédicteurs ; notamment les SST dans les bassins océaniques influençant le climat de la sous-région ouest-africaine et du Sahel. Il s'agit notamment de l'Atlantique Nord, du Golfe de Guinée, de l'Océan Indien, de la Méditerranée et du pacifique Equatoriale. Dans cette analyse consensuelle, la compréhension de la relation pluie-débit sur le bassin joue un rôle important.

A partir des prévisions individuelles menées à l'échelle des sous bassins, on harmonise celles-ci sur l'ensemble du bassin. La carte des skills permet de trancher certains cas singuliers : lorsque pour des bassins adjacents, les prévisions sont contradictoires, force est donnée à la prévision ayant le plus fort skill et/ou faible p-value.

Ainsi, la carte de prévisions élaborée à l'aide des outils SIG, présente pour chaque bassin, des boites de probabilités qui indiquent les chances d'avoir pour la saison des pluies à venir, des écoulements des cours d'eau supérieurs, équivalents ou inférieurs à la moyenne des écoulements calculés sur la période de référence (figure 10).

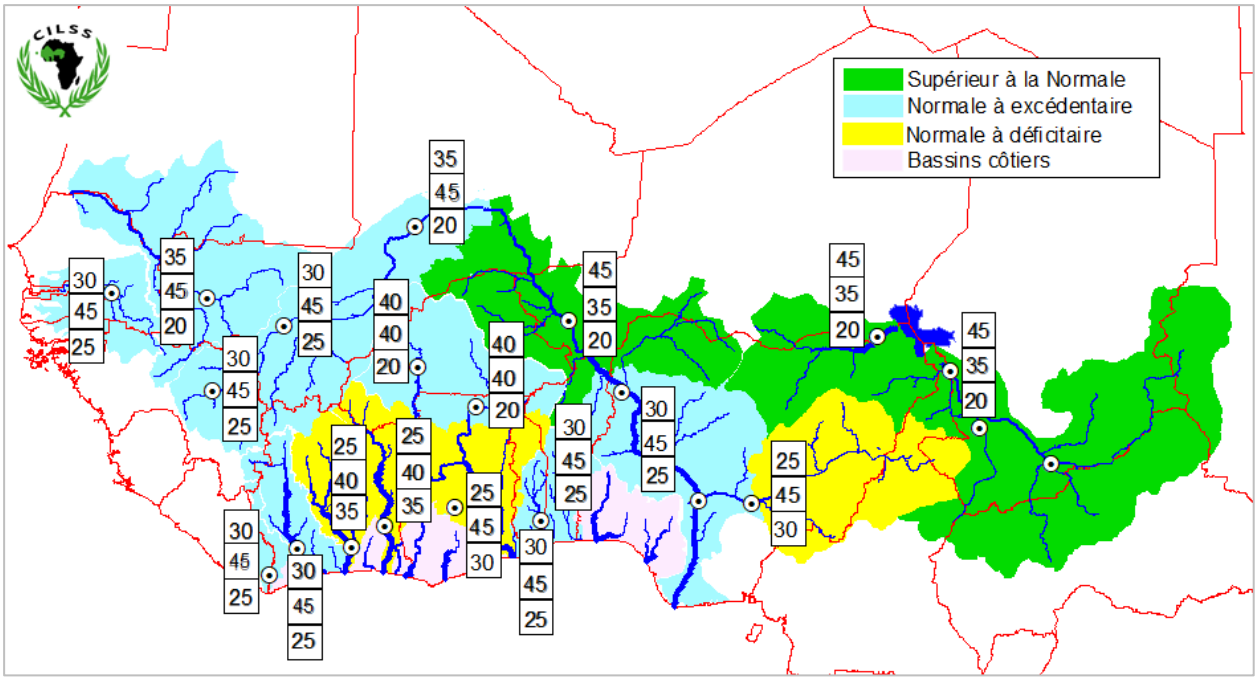


Figure 10 : Carte des prévisions des écoulements pour la saison