- Cycle de Webinaires –
Appui à la mise en œuvre des analyses H.M.U.C dans les territoires de SAGE bretons

MODULE CLIMAT

Volet C du cycle de webinaire sur les études HMUC : Approche méthodologique pour aborder un diagnostic climatique territorial sous la dimension « ressource en eau »

Approche méthodologique pour aborder un diagnostic climatique territorial sous la dimension « ressource en eau »

Volet C du cycle de webinaire sur les études HMUC

Louis Amiot, Université de Rennes 2

Le projet DEMOCLIM

- Projet qui vise à connaitre les impacts du changement climatique sur la ressource en eau

Objectifs :

➢ Élaborer une méthode d'analyse des données climatiques pour évaluer les effets du changement climatique sur la ressource en eau par bassin versant breton

➢ Dégager les indicateurs climatiques pertinents pour aider les gestionnaires de l'eau à élaborer une stratégie d'adaptation

Voir : https://www.creseb.fr/projet-democlim/

Insertion dans le volet Climat des H.M.U.C

- Le **Diagnostic Climatique Territorial** est une approche complète de l'évolution climatique au niveau d'un territoire de SAGE

- Tous les indicateurs présentés ici ne sont pas à calculer, c'est une base pour les travaux à venir

- Aide et cadrage pour réaliser la partie climatique des HMUC

Les étapes du diagnostic climatique territorial

1 **Acquisition des données**
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 **Analyse des données passées**
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 **Analyse des données futures**
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Choix des séries de données

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Quelles données ?

Cf. Fiche A1

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

Précipitations quotidiennes (en mm)

Températures minimums et maximums mensuelles (en °C)

Evapotranspitation Mensuelle (en mm)

Rayonnement global mensuel (en W/m²)

Les critères de qualité des données

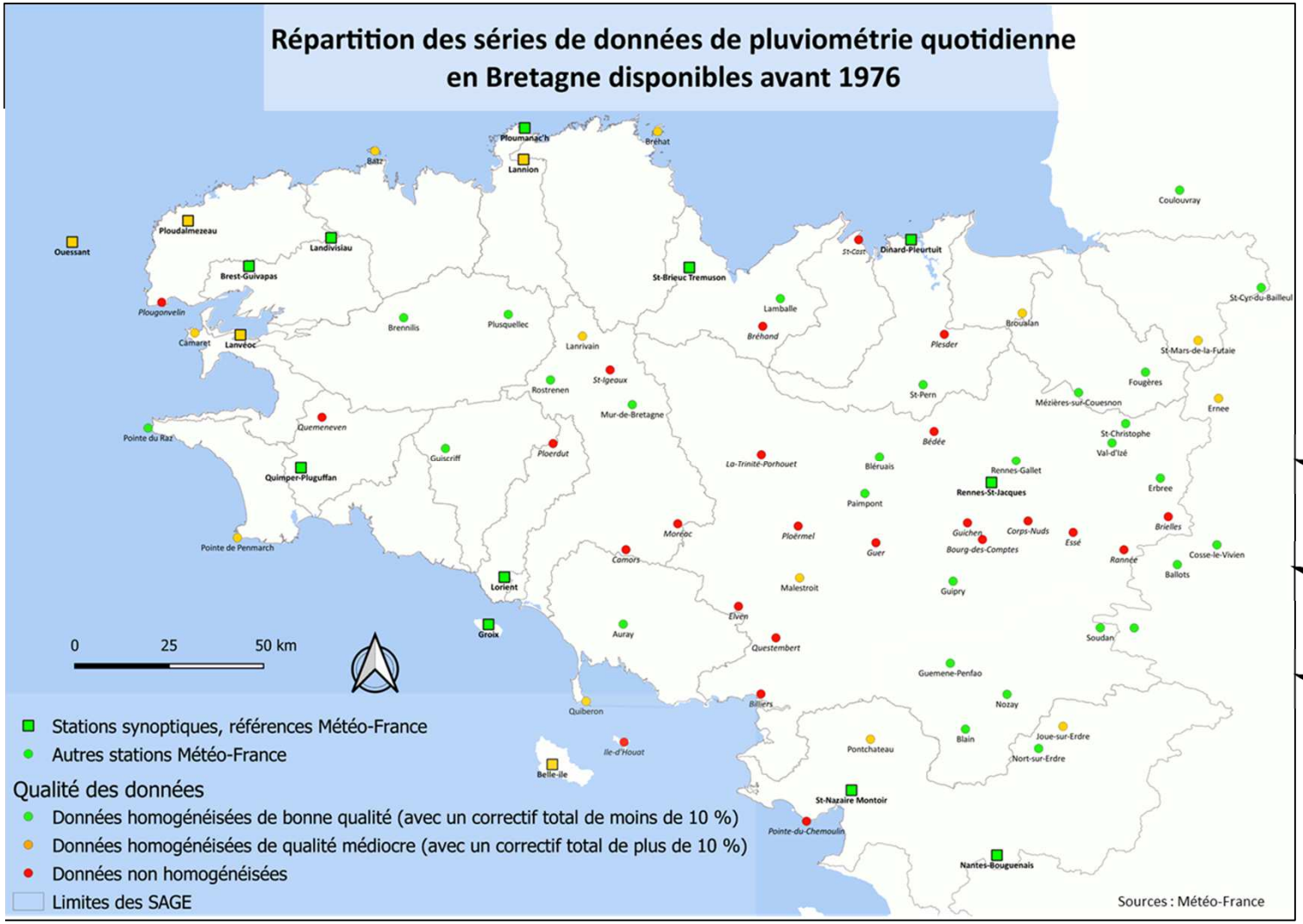
Cf. Fiche A2

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

Longueur de série :
dans l'idéal 60 ans de données, au moins début en 1976

Non interruption de la série :
Pas d'interruptions dans la série, possibilité de compléter les manques de données

Homogénéité statistique :
Série corrigée par Météo-France. Dans l'idéal, facteur correctif de moins de 10 %



Cf. Fiche A5

Répartition des stations de pluviométrie

- 3 à 4 stations par territoire :

➜ Répartition amont / aval

➜ Répartition littoral / intérieur

➜ Relief

Vérification et préparation des données

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Vérification et préparation des données

Cf. Fiches A2, A5

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

Vérifier la non-interruption des données

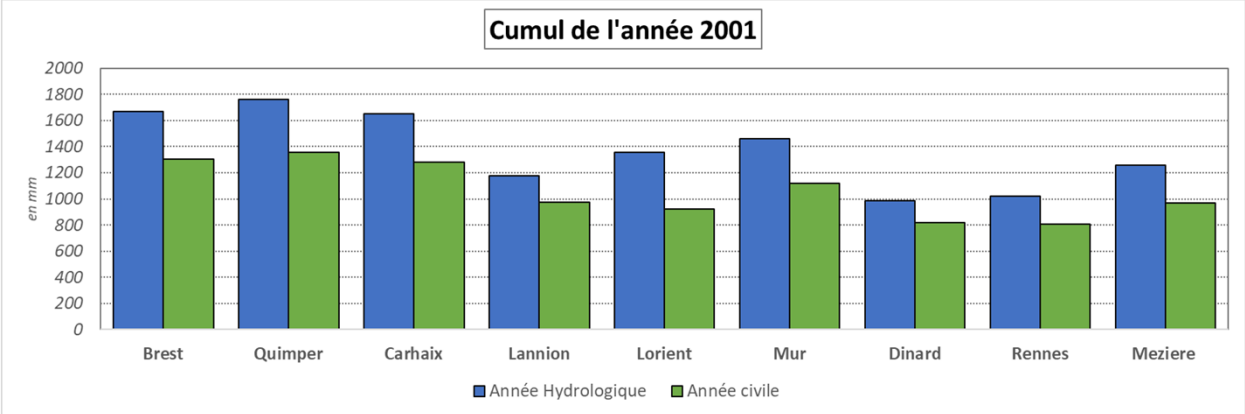
Compléter les données manquantes

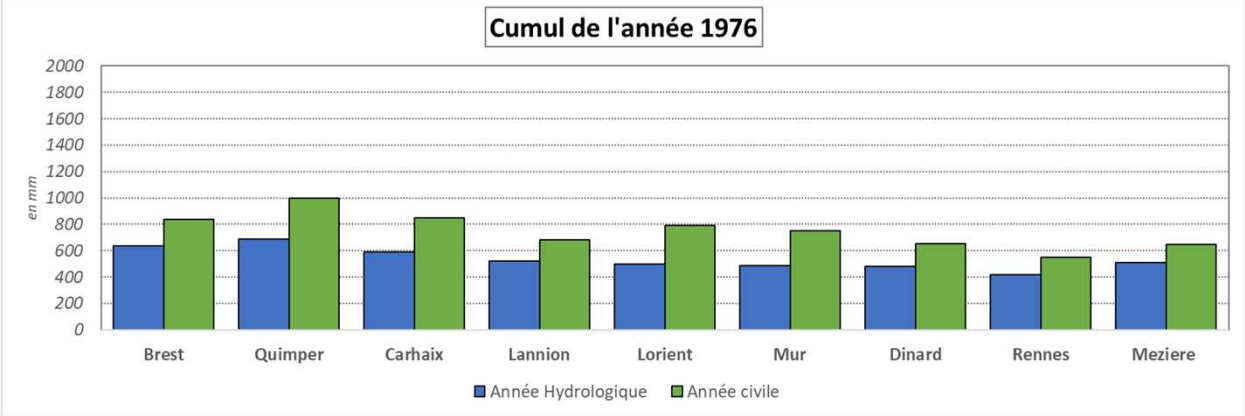
Préparer la série de données sur les différentes échelles temporelles :

- Quotidiennes
- Mensuelles
- Saisons hydrologiques
- Années hydrologiques

Échelle de l'année hydrologique

Cf. Fiche A5





- Année hydrologique correspond en Bretagne à la période allant du 1er octobre (n-1) au 30 septembre

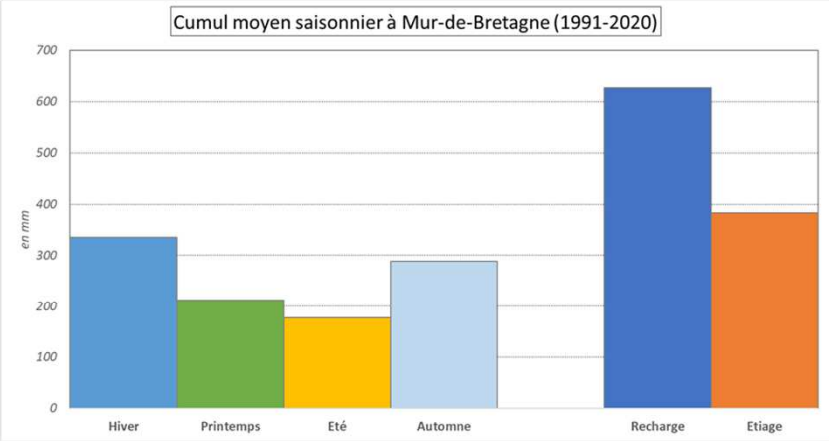
- Jusqu'à **± 300 mm d'écart entre année hydro et année civile**
- Année hydro correspond davantage à la réalité observée

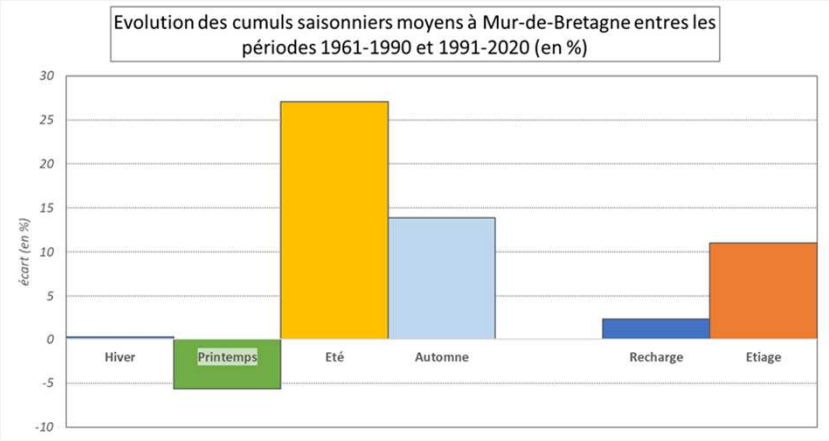
(démarre à la reprise des précipitations et intègre l'ensemble des précipitations hivernale)

Échelle de la saison hydrologique

Cf. Fiche A5

Comparaison entre saisons météorologiques et saison hydrologiques à Mur-de-Bretagne





L'hiver correspond à la période allant du 1er décembre (n-1) au 28/29 février
Le printemps météorologique correspond à la période allant du 1er mars au 31 mai
L'été météorologique correspond à la période allant du 1er juin au 31 août
L'automne météorologique correspond à la période allant du 1er septembre au 30 novembre

La saison de recharge correspond à la période octobre (n-1) – mars
La saison d'étiage correspond à la période avril-septembre

Description climat actuel

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Les objectifs de la description du climat

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Spatialisation du régime pluviométrique sur le territoire
- Décrire la répartition des jours de pluies
- Montrer l'importance et la répartition des fortes pluies

Pour permettre de d'avoir une **meilleure connaissance du climat local** et **définir les secteurs « à risques » sur le territoire**

Quels indicateurs ?

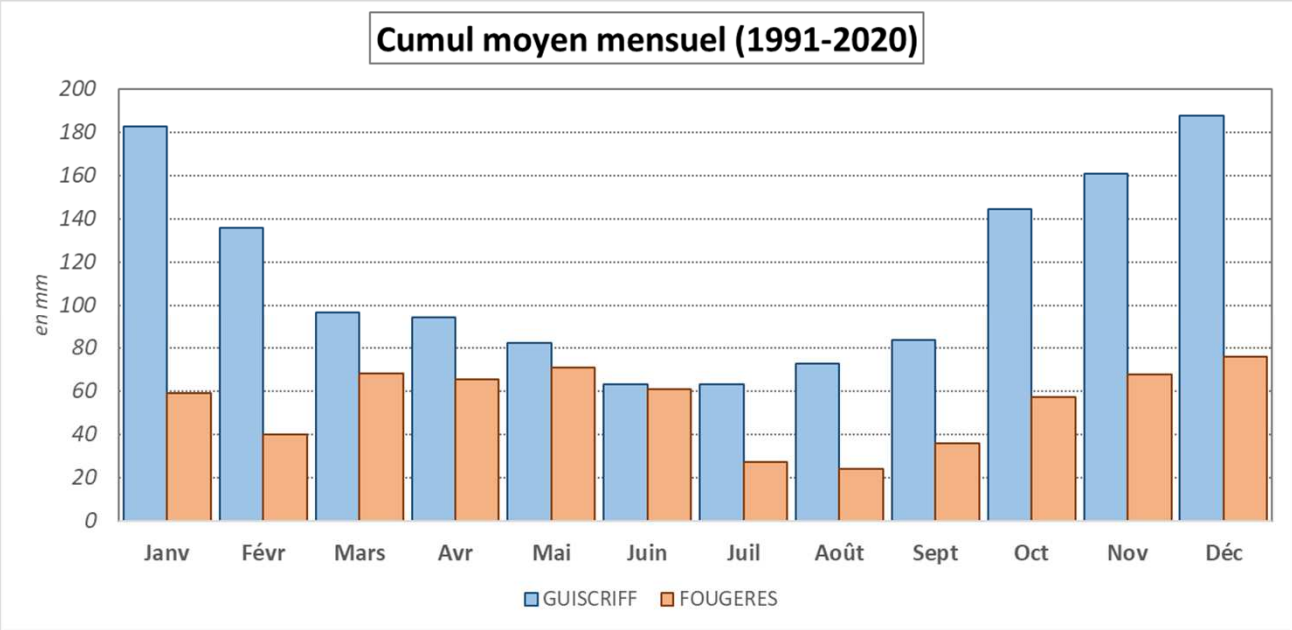
Indicateur	Détail	Echelle					Données nécessaires	Fiche
		AH	AC	SH	SM	M		
Les cumuls pluviométriques								
Cumul de précipitation moyen , minimum et maximum	Cumul moyen, minimum et maximum sur la période de référence	X		X		X	P	B1
Cumul moyen par type de pluie	Cumul moyen selon l'intensité des pluies (faible, moyenne, intense, très intense)	X		X		X	P	B3
Part du cumul par type de pluie par rapport au cumul total	% de cumul par type de pluie	X		X		X	P	B3
Nombre de jours de pluies								
Nombre de jours secs moyen	Nombre de jours ou P<1 en moyenne sur la période de référence	X		X		X	P	B4
Nombre de jours de pluie moyen	Nombre de jours ou P>=1 en moyenne sur la période de référence	X		X		X	P	B4
Nombre de jour par type de pluie moyen	Nb de jours ou P 1-5; P5-10; P 10-20 ; P>20 en moyenne sur la période de référence	X		X		X	P	B3-B4
Autres paramètres								
ETP Moyenne	EvapoTranspiration Potentielle moyenne sur la période de référence		X		X	X	ETP	B1
Pluies efficaces moyennes	P-ETP moyen sur la période de référence	X		X		X	P, ETP	B4
Température moyenne	Température moyenne sur la période de référence		X		X	X	T°C	B1
Synthèse climat								
Type de climat annuel	Type de climat annuel selon les critères annuels de Köppen		X				P, T°C	B5
Fréquence de type de climat annuel de Köppen sur 30ans	% de type de climat de Köppen sur 1991-2020		X				P, T°C	B5

Echelles temporelles : AH = Année hydrologique, AC = Année civile, SH = Saison hydrologique, SM = Saison météorologique, M = mensuel

Données nécessaires : P = Précipitations (en mm), T°C = Températures (en °C), ETP = Evapotranspiration potentielle (en mm)

Le cumul moyen

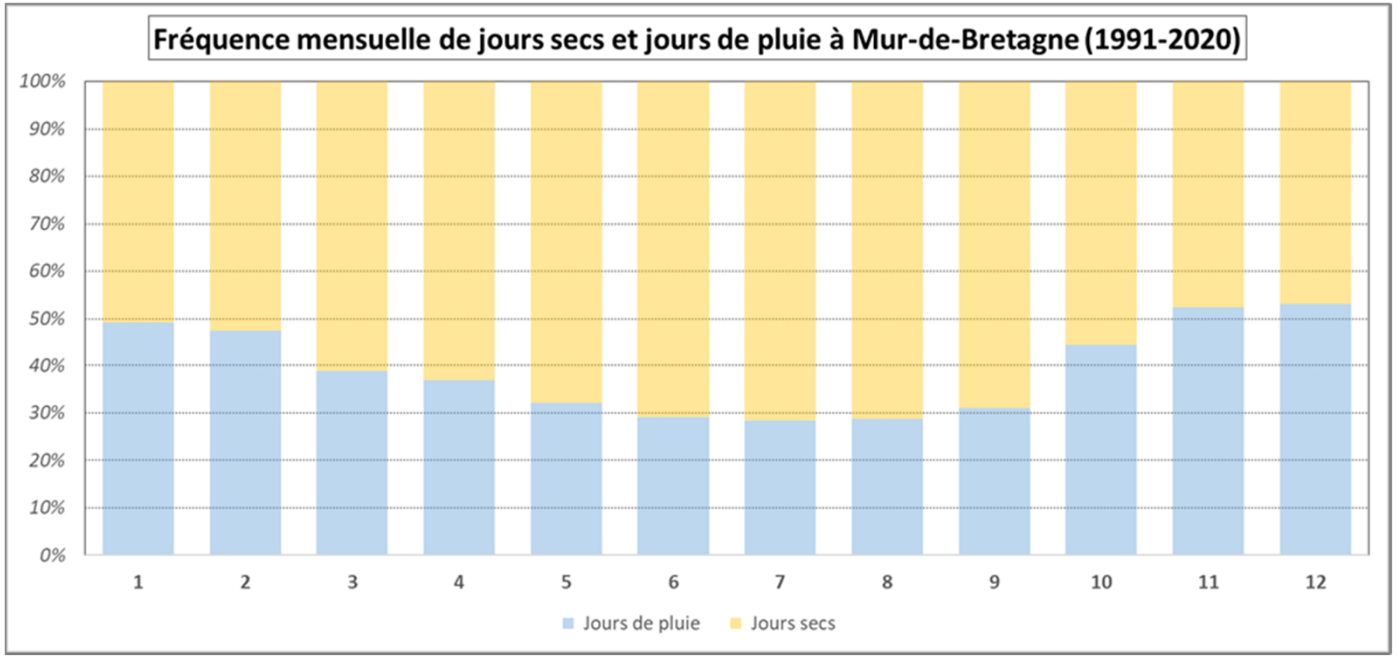
Cf. Fiche B1



- Description du régime pluviométrique, variabilité temporelle de la pluviométrie dans l'année
- Répartition géographique et saisonnière des cumuls

Nombre de jours de pluie

Cf. Fiche B2

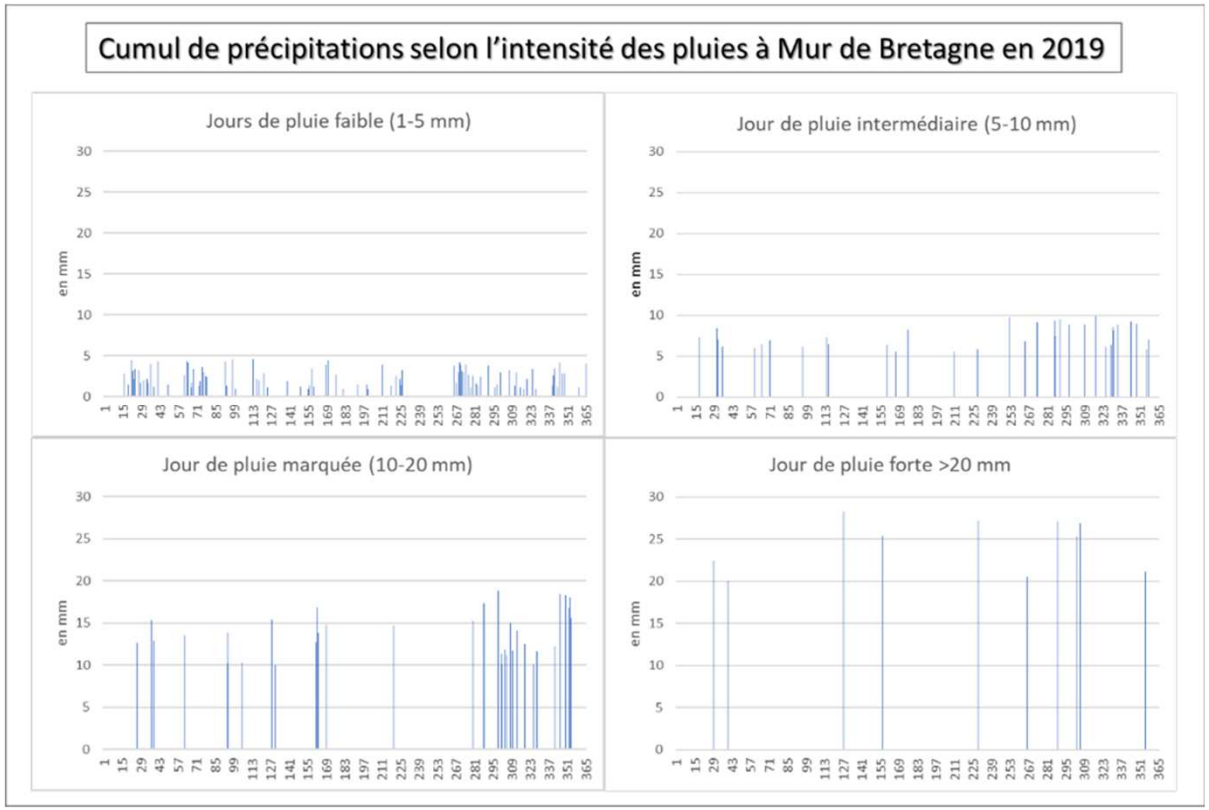


Jour de pluie = cumul quotidien >= 1mm

- Répartition des jours de pluie dans l'année → permet de préciser la saisonnalité des pluies
- Croiser l'évolution du cumul avec celle des jours de pluie

Décomposition des cumuls selon l'intensité des pluies

Cf. Fiche B3



Jours de pluie faible
(1-5 mm)

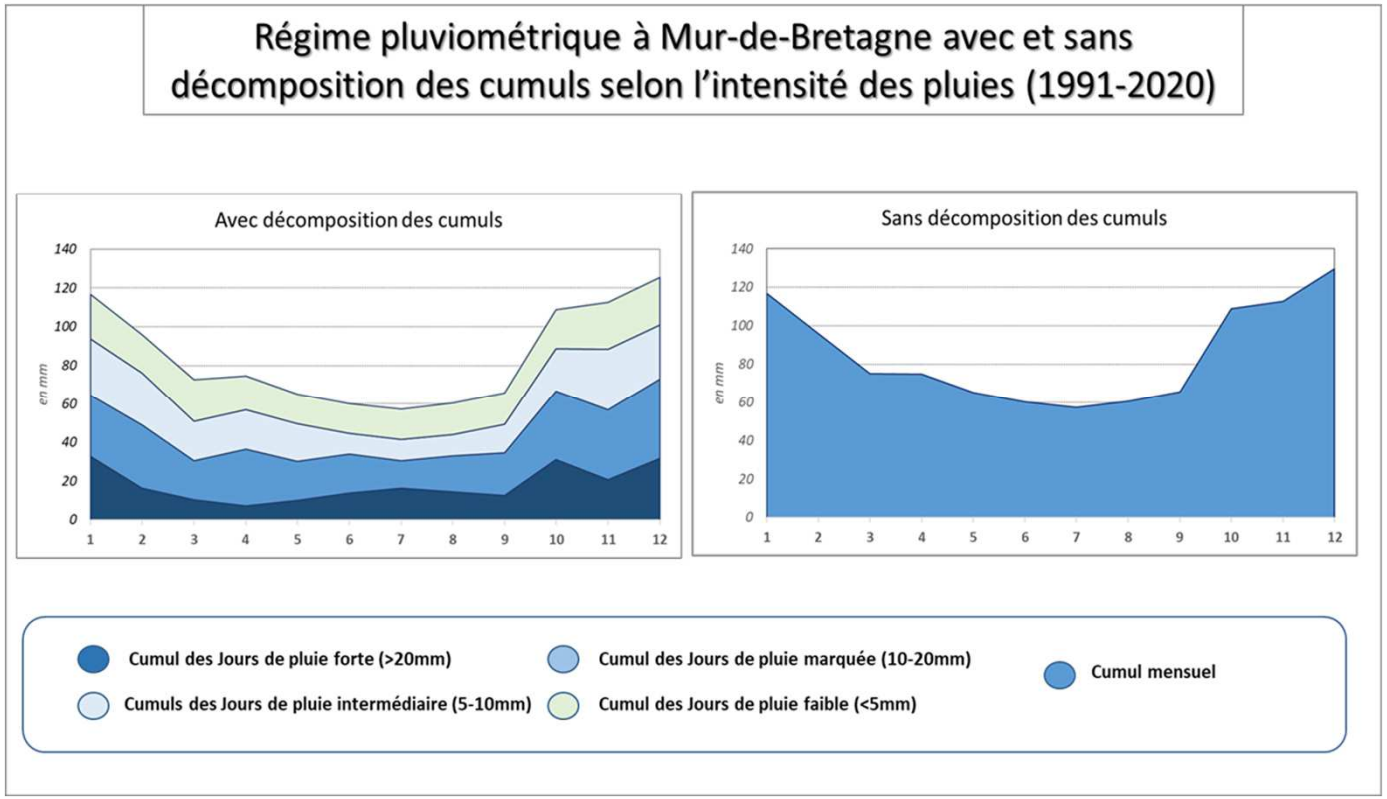
Jours de pluie modérée
(5-10 mm)

Jours de pluie marquée
(10-20 mm)

Jours de pluie forte
(plus de 20 mm)

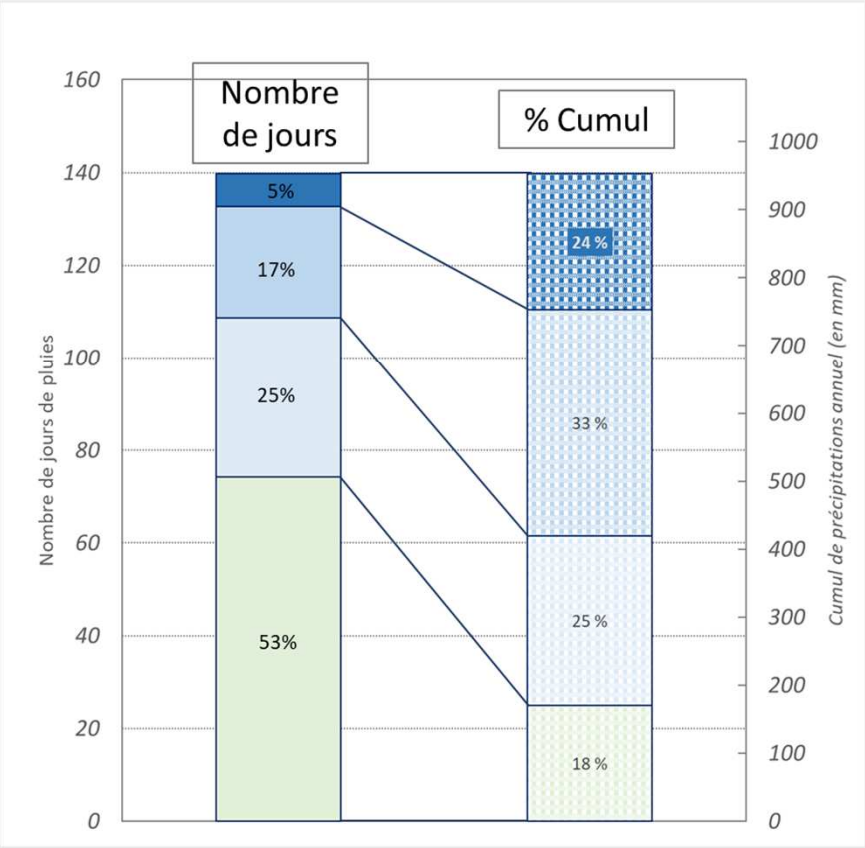
Pourquoi ?

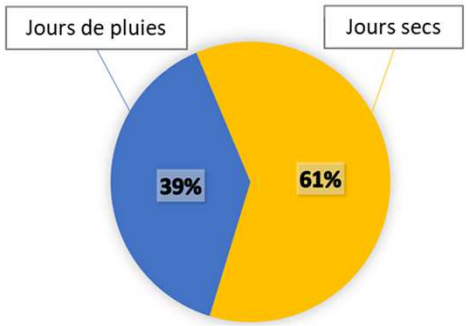
Cf. Fiche B3



- Montrer l'importance et la répartition des fortes pluies
- Variations temporelles et spatiales
- Évaluer l'intensification des pluies

Nombre de jours de pluie et fréquence de cumul moyen sur une année hydrologique à Mur-de Bretagne (1958-2019)





- **Jour de pluie forte (>20mm)**
- **Jour de pluie marquée (10-20mm)**
- **Jour de pluie intermédiaire (5-10mm)**
- **Jour de pluie faible (<5mm)**

Données moyennes sur 1958-2019

Année hydrologique correspond à la période allant du 1er octobre (n-1) au 30 septembre

Approche climatique des risques d'inondation et sécheresses

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Les objectifs de l'approche climatique des risques

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Quantifier les extrêmes par une approche probabiliste
- Approche climatique du risque inondation par dépassement de seuils pluviométriques
- Approche climatique du risque de sécheresse par le bilan hydrique

Pour permettre de définir et **quantifier les risques d'inondations et de sécheresses** sur le territoire de SAGE et **identifier leurs évolutions**

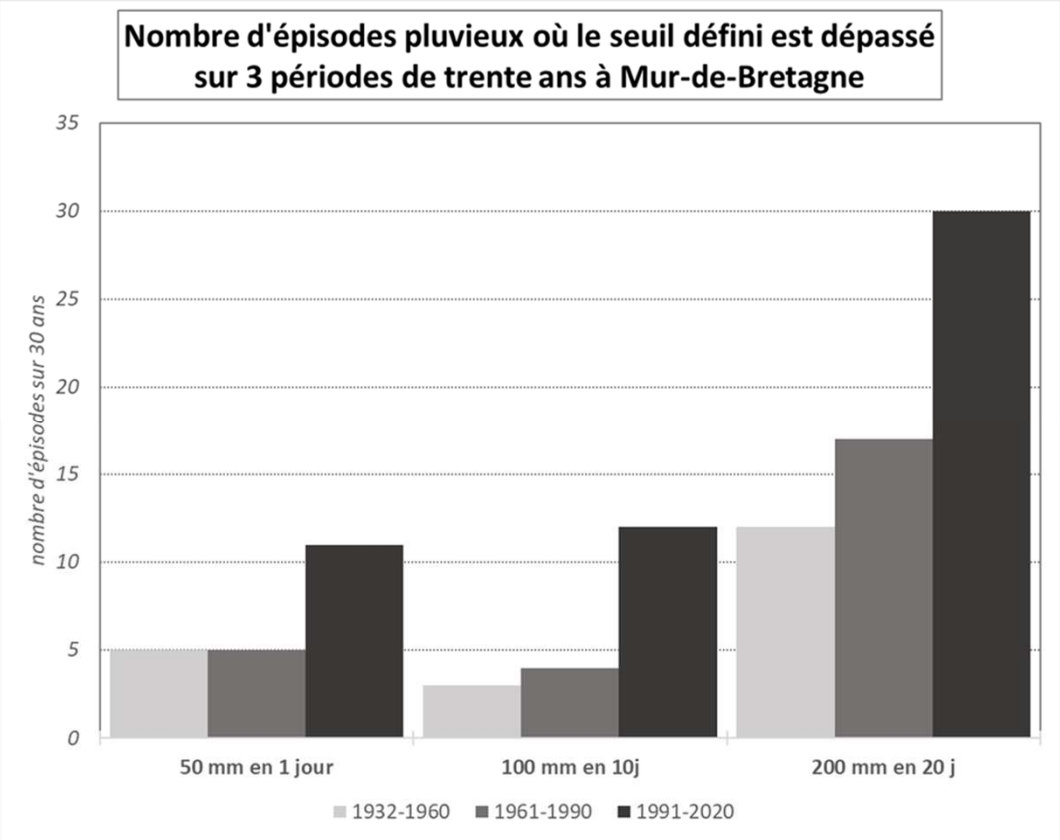
Quels indicateurs ?

Indicateur	Détail	Echelle					Données nécessaires	Fiche
		AH	AC	SH	SM	M		
Approche probabiliste du risque								
Centiles des cumuls	Centiles des cumuls	X		X		X	P	C1
Régime probable	Centiles 10, 20, 50, 80 et 90 moyen des cumuls mensuels sur la période de reference					X	P	C1
SPI	Standardized precipitations index			X	X	X	P	C2
Risque inondation								
Nombre d'épisodes de fortes pluies	s à déterminer, par exemple : 50 mm en 1 jour ; 100 mm en 10 jours ; 200 mm en 20	X					P	C3
Centiles quotidiens supérieurs	Centiles 90,95 et 99 sur la période de référence	X				X	P	C3
Risque de sécheresse								
Diagramme ombrothermique	Diagramme mensuel avec T=2P					X	P,T°C	X
Suivi de l'ETP annuelle	ETP annuelle sur l'ensemble de la série disponible		X				ETP	D1
Bilan Hydrique	Suivi de l'état de la réserve utile du sol en fonction de					X	P, ETP	C4
Fréquence mensuelle du déficit du bilan hydrique sur 30 ans	% de mois arides, secs, humides.. En fonction du bilan hydrique					X	P, ETP	C4
Suivi du déficit d'évapotranspiration annuel	DE annuel sur l'ensemble de la série disponible		X				P,ETP	C4

Echelles temporelles : AH = Année hydrologique, AC = Année civile, SH = Saison hydrologique, SM = Saison météorologique, M = mensuel
Données nécessaires : P = Précipitations (en mm), T°C = Températures (en °C), ETP = Evapotranspiration potentielle (en mm)

Approche climatique du risque inondation

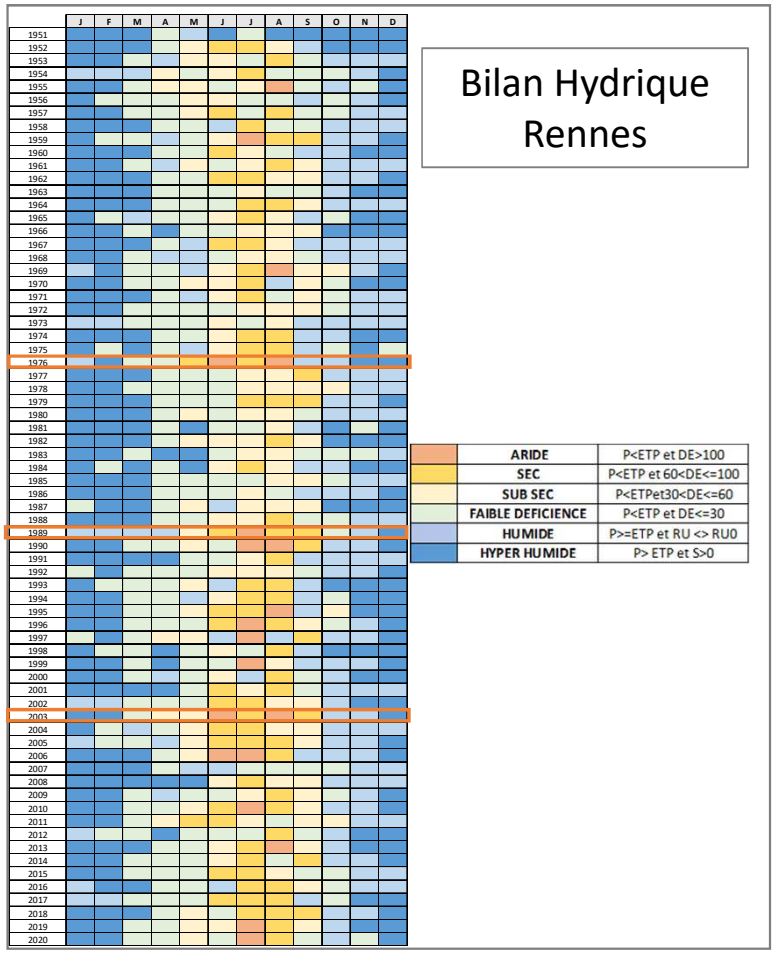
Cf. Fiche C3



- Définir des seuils d'épisodes pluvieux extrêmes
- Compter le nombre de fois où ce seuil est dépassé
- Approche par les centiles

Le bilan hydrique pour l'approche climatique du risque de sécheresse

Cf. Fiche C4

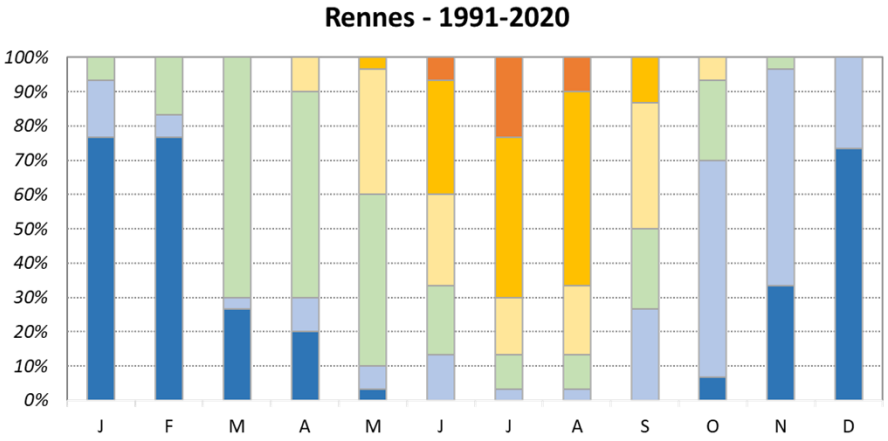


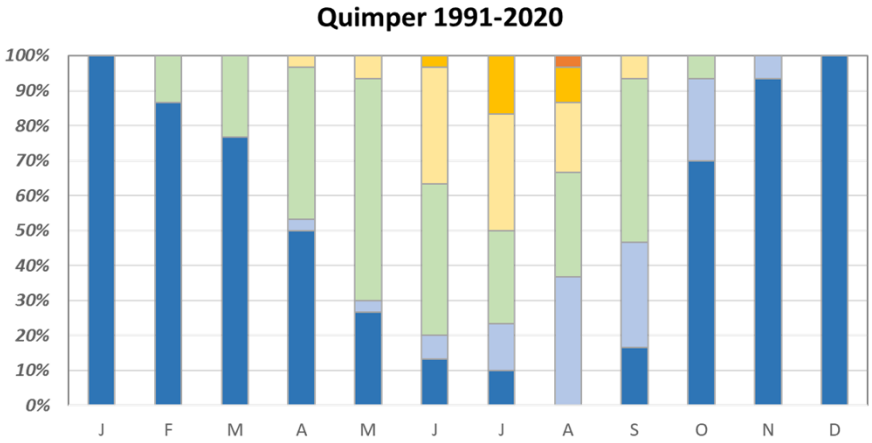
- Permet de quantifier une sécheresse
- Qualifie un mois sec ou humide selon l'état de la réserve utile et le déficit d'évapotranspiration (DE).
- Il dépend des précipitations (P), de l'évapotranspiration (ETP) et de la réserve du sol (RU0)
- Le bilan hydrique a été calculé avec un RU0 de 125mm et d'après l'ETP Penmann fournie par Météo-France pour les données passées

➢ Représentation en damier pour identifier les périodes extrêmes

Fréquence de déficit d'évapotranspiration

Cf. Fiche C4





- Représentation de la fréquence de déficit sur 30 ans
- Comparaison des situations d'une station à l'autre

	ARIDE	P<ETP et DE>100
	SEC	P<ETP et 60<DE<=100
	SUB SEC	P<ETPet30<DE<=60
	FAIBLE DEFICIENCE	P<ETP et DE<=30
	HUMIDE	P>=ETP et RU <> RU0
	HYPER HUMIDE	P> ETP et S>0

Les tendances climatiques observées

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Les objectifs de l'étude des tendances climatique

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Évaluer l'évolution de la pluviométrie (cumul et nombre de jours de pluie)
- Évaluer l'intensification des pluies

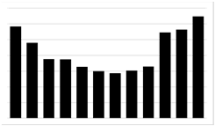
Pour permettre **décrire l'évolution du climat observée sur la période historique** et **identifier les tendances annuelles, saisonnières et mensuelles**

Comment identifier une tendance climatique ?

Cf. Fiche D1

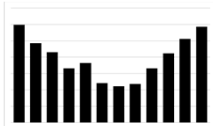
Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Ecart de moyennes



Moyennes1991-2020

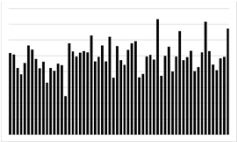
−



Moyennes 1961-1990

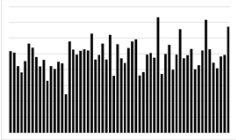
=

- Suivi annuel



1961-2020

- Ecart à la normale

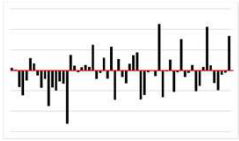


1961-2020

−

Normale climatique 1991-2020

=



1961-2020

Comment identifier une tendance climatique ?

Cf. Fiche D1

- Écart de moyennes

Moyennes1991-2020 Moyennes 1961-1990

➜ Permet de s'affranchir des extrêmes

➜ Absolu ou relatif

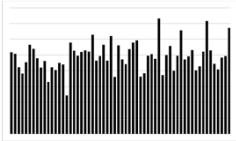
➜ Intervalle de confiance pour vérifier la significativité

Comment identifier une tendance climatique ?

Cf. Fiche D1

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Écart à la normale

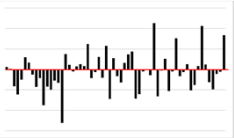


1961-2020

–

Normale climatique
1991-2020

=



1961-2020

➜ Permet d'identifier les extrêmes et leurs écarts à la normale

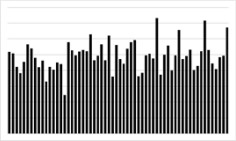
➜ Absolu ou relatif

Comment identifier une tendance climatique ?

Cf. Fiche D1

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Suivi annuel



1961-2020

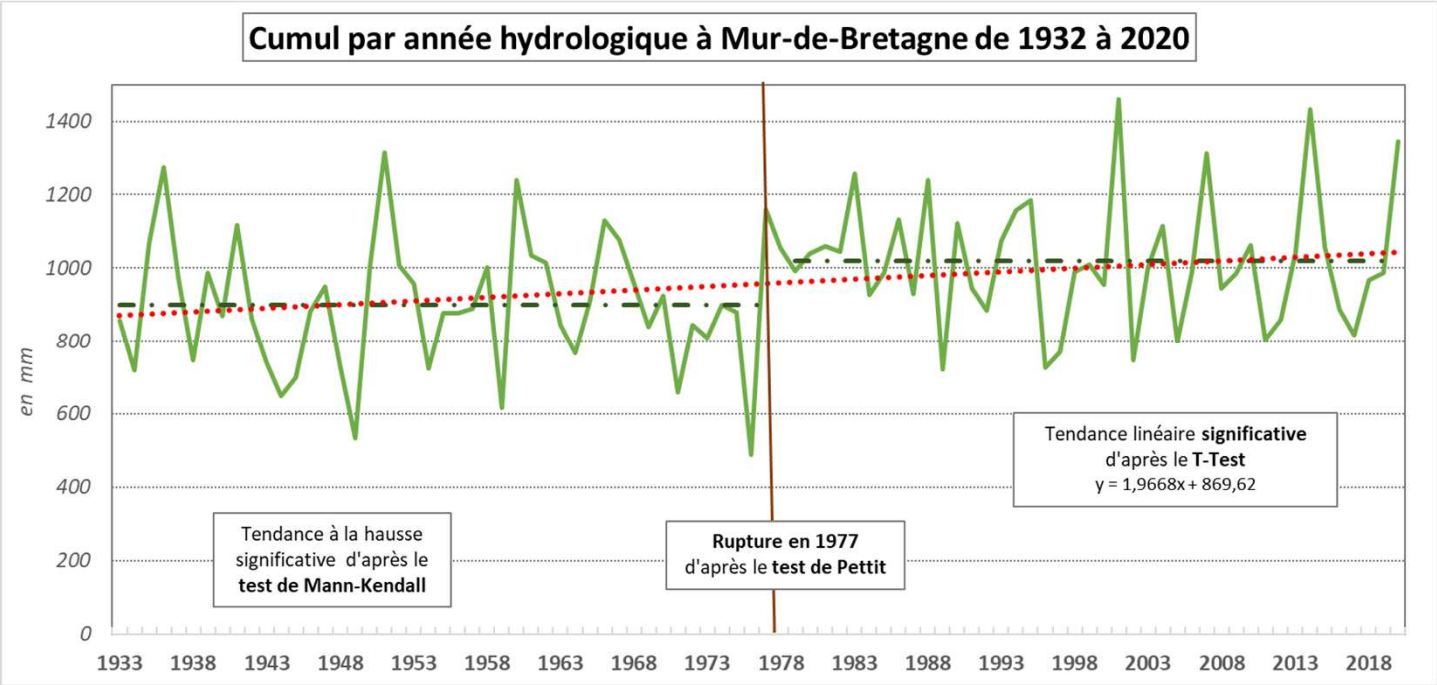
➜ Identification des tendances par régression linéaire

➜ Étude de la significativité des tendances linéaires

Vérifier la significativité des tendances

Cf. Fiche D1

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs



Différents tests statistiques :

- T-test
- Test de Mann Kendall
- Test de Pettit

Extraction des données Drias

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Objectifs

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

➜ Extraire les données des modèles du portail Drias

Voir : http://www.drias-climat.fr/

Pour permettre **d'obtenir des données modélisées sur 2031-2100 correspondant aux stations du territoire**

Qu’est ce que la modélisation climatique ?

Cf. Fiche D2

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

RCP8.5 : ECART DE TEMPÉRATURES

JJA [2071-2100] - [1976-2005]

Modèles	Delta
HadGEM2 / CCLM4-8-17	6,4 °C
HadGEM2 / RegCM4-6	5,3 °C
EC-EARTH / RCA4	5,0 °C
NorESM1 / HIRHAM5	4,9 °C
IPSL-CM5A / RCA4	4,7 °C
NorESM1 / REMO2015	4,6 °C
EC-EARTH / RACMO22E	4,3 °C
CNRM-CM5 / ALADIN63	4,1 °C
MPI-ESM / CCLM4-8-17	3,8 °C
MPI-ESM / REMO2009	3,7 °C
CNRM-CM5 / RACMO22E	3,0 °C
IPSL-CM5A / WRF381P	2,1 °C
5e centile	2,6 °C
Médiane	4,4 °C
95e centile	5,8 °C

Modèles qui réchauffent le plus

Modèles qui réchauffent le moins

RCP8.5 : ECART DE PRÉCIPITATIONS

JJA [2071-2100] - [1976-2005]

Modèles	Delta
IPSL-CM5A / RCA4	-48 %
HadGEM2 / CCLM4-8-17	-45 %
EC-EARTH / RCA4	-40 %
MPI-ESM / CCLM4-8-17	-36 %
MPI-ESM / REMO2009	-28 %
EC-EARTH / RACMO22E	-25 %
NorESM1 / HIRHAM5	-23 %
CNRM-CM5 / ALADIN63	-11 %
NorESM1 / REMO2015	-11 %
HadGEM2 / RegCM4-6	-7 %
CNRM-CM5 / RACMO22E	11 %
IPSL-CM5A / WRF381P	22 %
5e centile	-46 %
Médiane	-24 %
95e centile	16 %

Moins de précipitations

Plus de précipitations

- Reproduction simplifiée du climat
- 12 modèles disponibles sur le portail Drias
- Des modèles différents

Les scénarios du GIEC

Cf. Fiche A6

- 4 scénarios d'évolution d'émissions de gaz à effet de serre

RCP 2.6

Scénario le plus optimiste :
Baisse immédiate des émissions de GES
(aujourd'hui quasiment irréaliste)

RCP 4.5

Scénario intermédiaire :
Stabilisation des émissions d'ici 2050
puis baisse
(à privilégier)

RCP 6.0

Scénario intermédiaire :
Stabilisation des émissions d'ici la fin du siècle

RCP 8.5

Scénario le plus pessimiste :
Hausse continue des émissions
de GES
(trajectoire actuelle, à privilégier)

Correction des biais des modèles climatiques

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Les objectifs

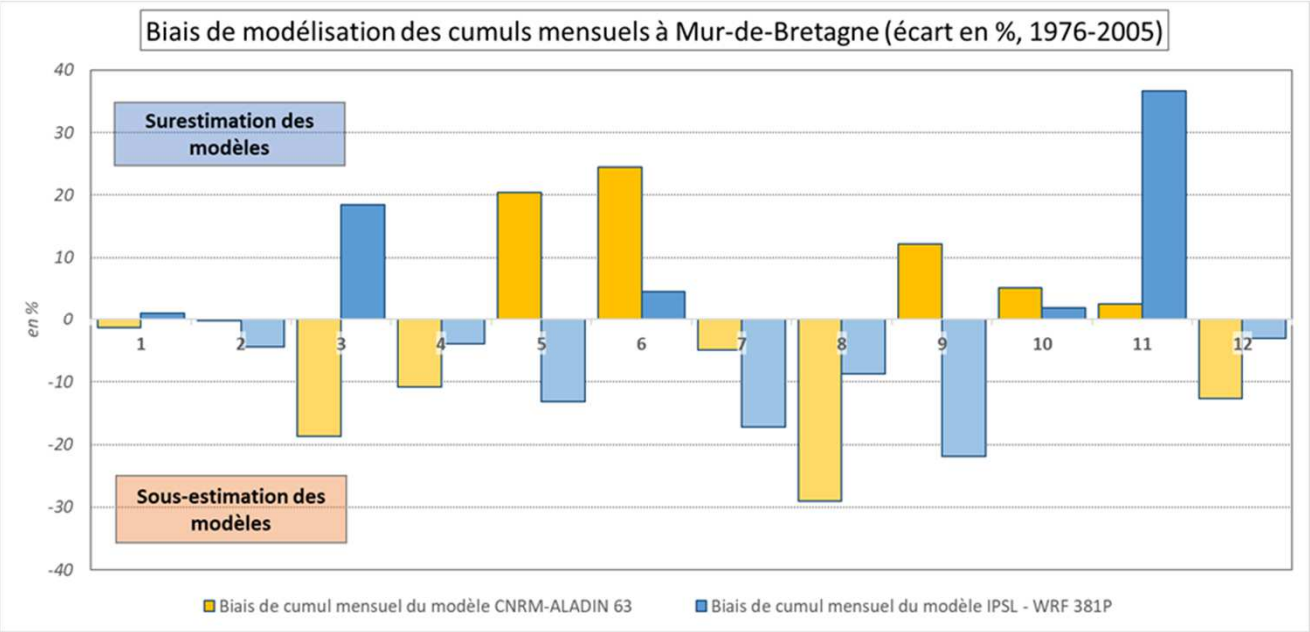
Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Calculer les biais des modèles
- Corriger les biais des modèles

Pour permettre **d'avoir des données modélisées exploitables**

Biais des modèles

Cf. Fiche D3



- Biais induit par la modélisation
- Comparaison des données passées modélisées et observées
- Biais de précipitations très variables selon la saison

- **Correction des données à partir des écarts moyens entre les données modélisées et observées sur 1976-2005**

Les tendances climatiques futures

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Les objectifs

- Acquisition des données
- Analyse données passées
- **Analyse données futures**
  - *Tendances futures*

➜ Identifier les tendances selon différents scénarios et modèles climatiques

➜ Identifier les convergences et divergences d'évolutions selon les modèles

Pour permettre **de définir la gamme d'évolution climatique possible à horizon moyen et lointain**

Tendances futures

Cf. Fiche D3

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

Evolution du cumul par Saison Hydrologique à Horizon Moyen (en %, par rapport à 1991-2019)

- Écart à la normale par horizon
  - **Horizon moyen (2031-2060 ou 2041-2070)**
  - **Horizon lointain (2071-2100)**
- Identifier les convergences et divergences des différents modèles

L'approche climatique des risques futures

1 Acquisition des données
- Choix des séries
- Vérification et préparation

2 Analyse des données passées
- Description du climat actuel
- Les risques
- Tendances observées

3 Analyse des données futures
- Extraction des données
- Correction des biais
- Tendances futures
- Risques futurs

Les objectifs

Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

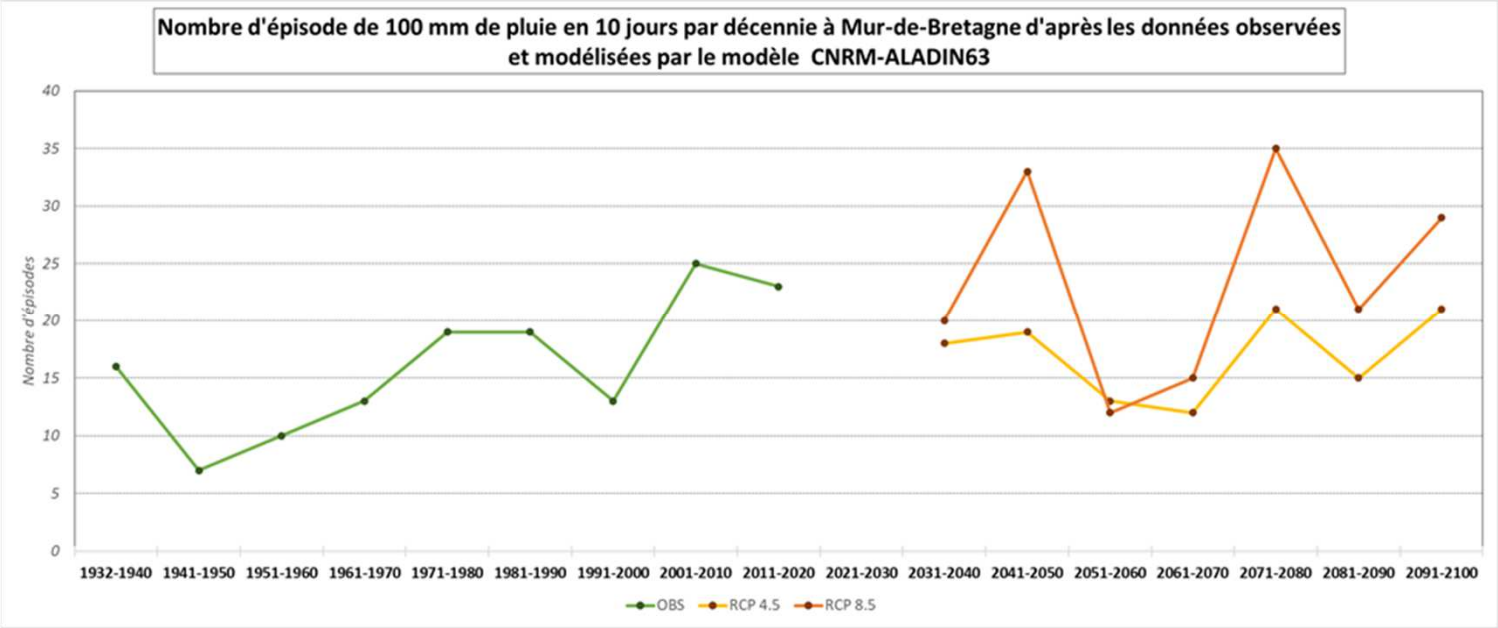
- Évaluer l'évolution du risque inondation
- Évaluer l'évolution du risque de sécheresse

Pour permettre **d'identifier le besoin d'adaptation face aux risques**

Estimation du risque d'inondation

Cf. Fiche D4

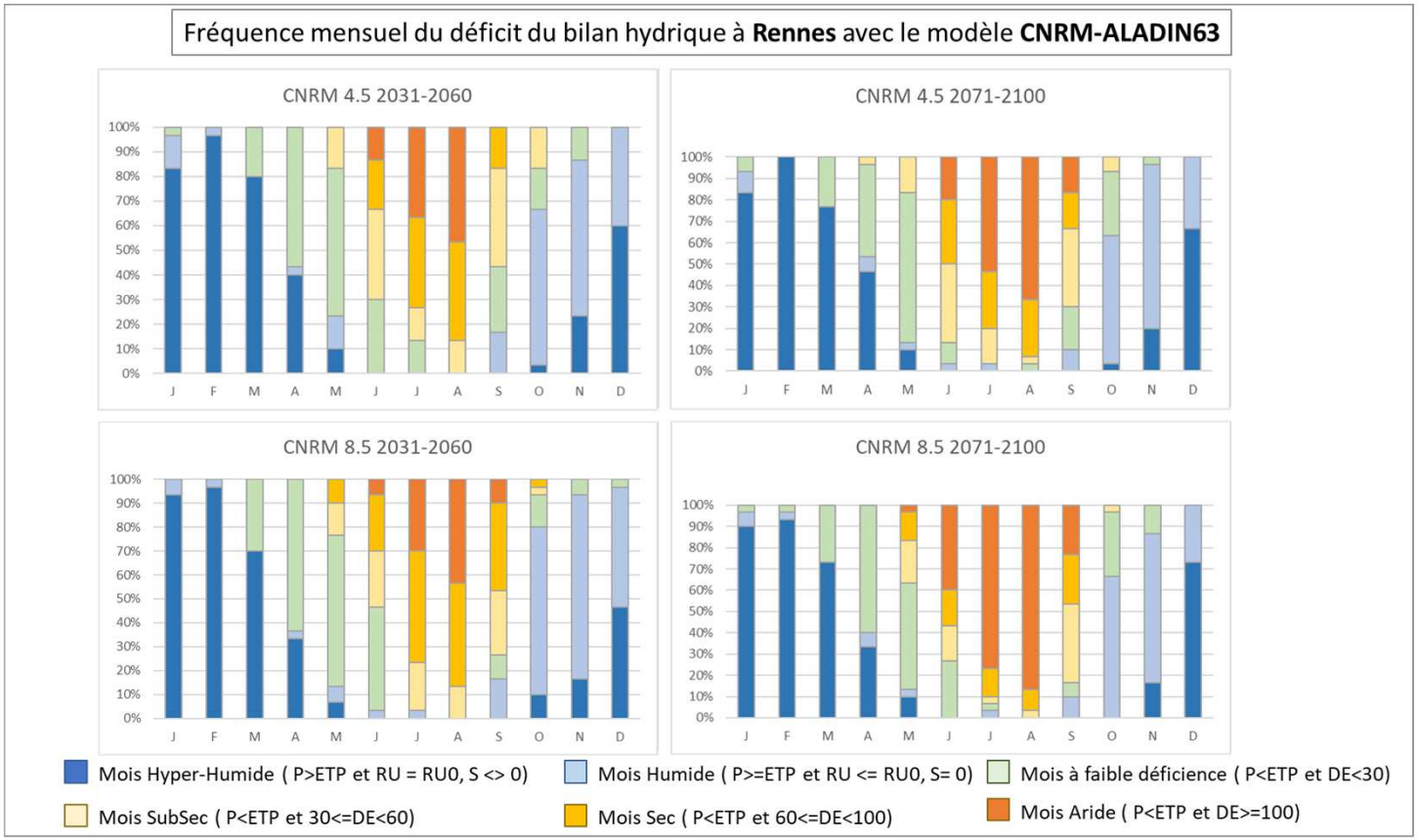
Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs



- Nombre d'évènements extrêmes par décennie
- Comparaison de la série observée avec les données d'un modèles et différents scénarios

Estimation du risque de sécheresse future

Cf. Fiche D4



Bilan hydrique avec les données modélisées

Estimation du risque de sécheresse future

Cf. Fiche D4

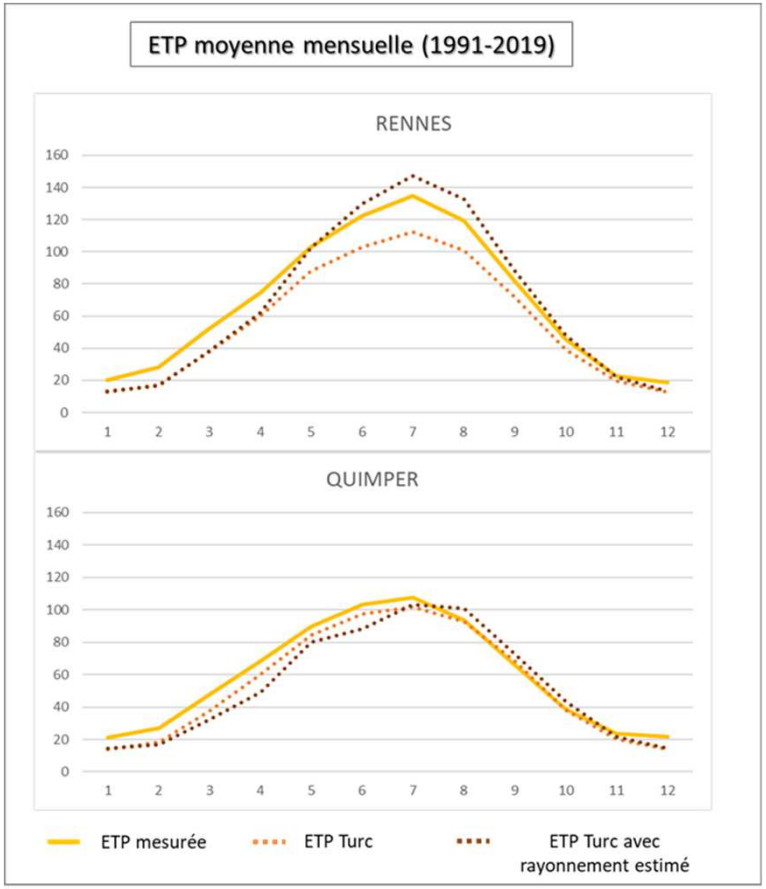
Acquisition des données
Choix des séries
Vérification et préparation
Analyse données passées
Description du climat actuel
Les risques
Tendances observées
Analyse données futures
Extraction des données
Correction des biais
Tendances futures
Risques futurs

- Pas de données d'ETP disponible sur Drias
- Pas de données de rayonnement sur tous les modèles de Drias

Il faut calculer l'ETP et estimer le rayonnement

Estimation du risque de sécheresse future

Cf. Fiche D4



- Rayonnement estimé à partir d'une relation pré-existante entre le rayonnement mesuré et l'amplitude thermique
- Globalement une bonne reproduction de l'ETP annuelle, les écarts mensuels entre ETP Météo-France et ETP Turc avec rayonnement estimés sont inférieurs à 10%

BILAN

- Le diagnostic climatique territorial permet d'avoir une approche complète de l'évolution climatique de la ressource en eau

- Tous les indicateurs présentés dans le guide ne sont pas à calculer, ils sont complémentaires entres eux

- Des informations complémentaires sont disponibles dans le guide et les fiches méthodologiques, disponibles prochainement sur le site du Creseb