

# Quels impacts du dérèglement climatique sur la ressource en eau ?

Etat des lieux, projections et prévisions

Les Rendez-vous Climat d'Antea Group



Conférence animée par :



Département de  
GÉOSCIENCES

**Florence HABETS**

Hydroclimatologue

Directrice de Recherche au CNRS

Professeure attachée au Laboratoire de Géologie  
de l'Ecole Normale Supérieure

[florence.habets@ens.fr](mailto:florence.habets@ens.fr)

 [@florencehabets](https://twitter.com/florencehabets)

## *Impact du changement climatique sur la ressource en eau*

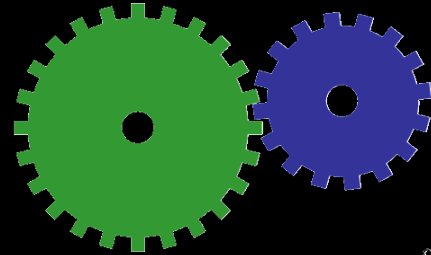


Le système climatique est complexe et intègre de nombreuses rétroactions

→ Attention à ne pas prendre des **projections** climatiques pour des **prévisions**



→ le pire n'est pas certain



allodrol

## *Impact du changement climatique sur la ressource en eau*

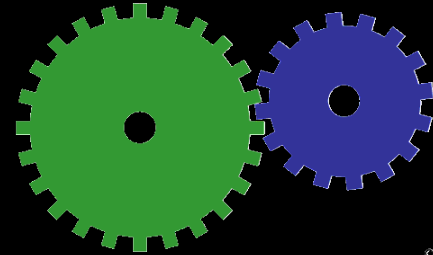


Le système climatique est complexe et intègre de nombreuses rétroactions

→ Attention à ne pas prendre des **projections** climatiques pour des **prévisions**



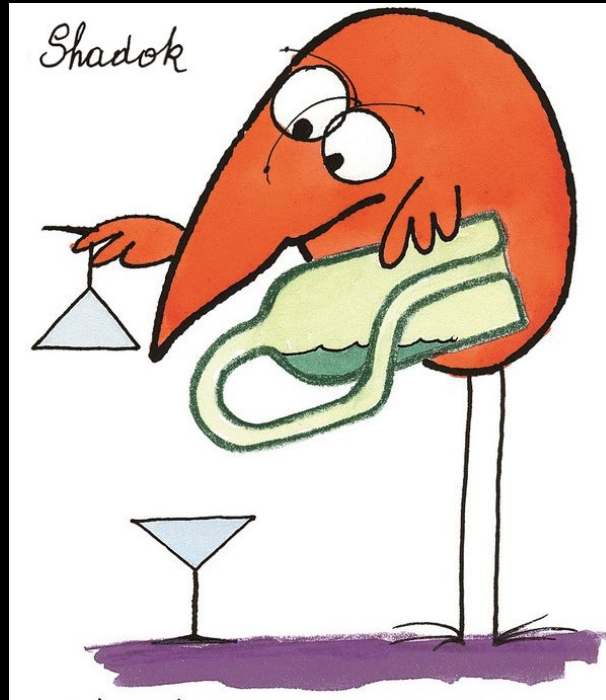
→ le pire n'est pas certain



allodrol

Pour mieux appréhender les changements, il est important de comprendre leur cause

## Changement climatique et Eau: les processus

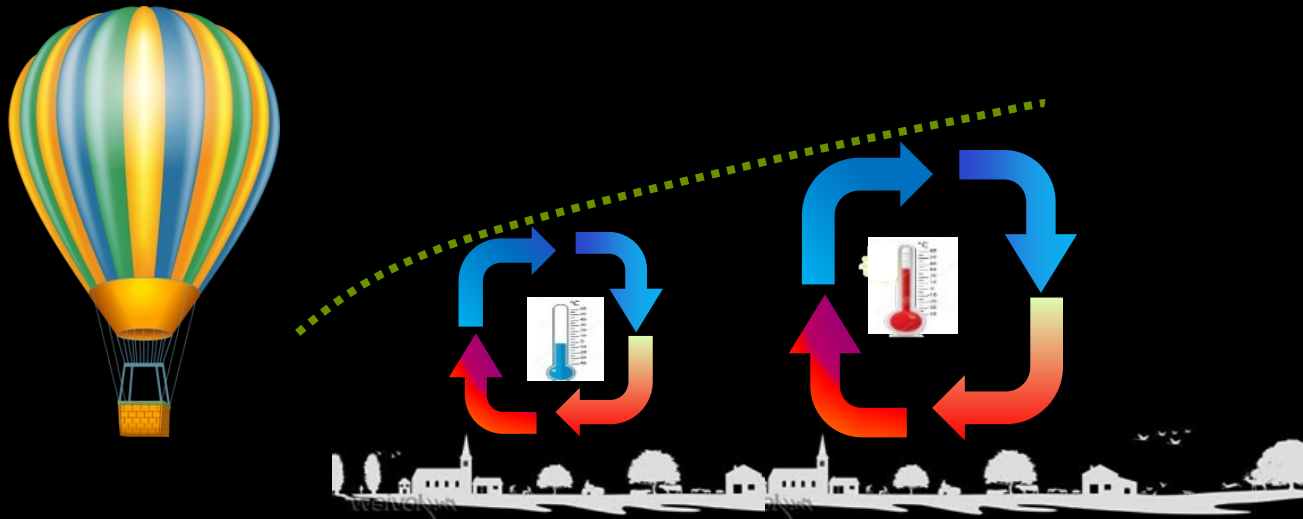


Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe

**Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau**

Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 1. L'air chaud monte

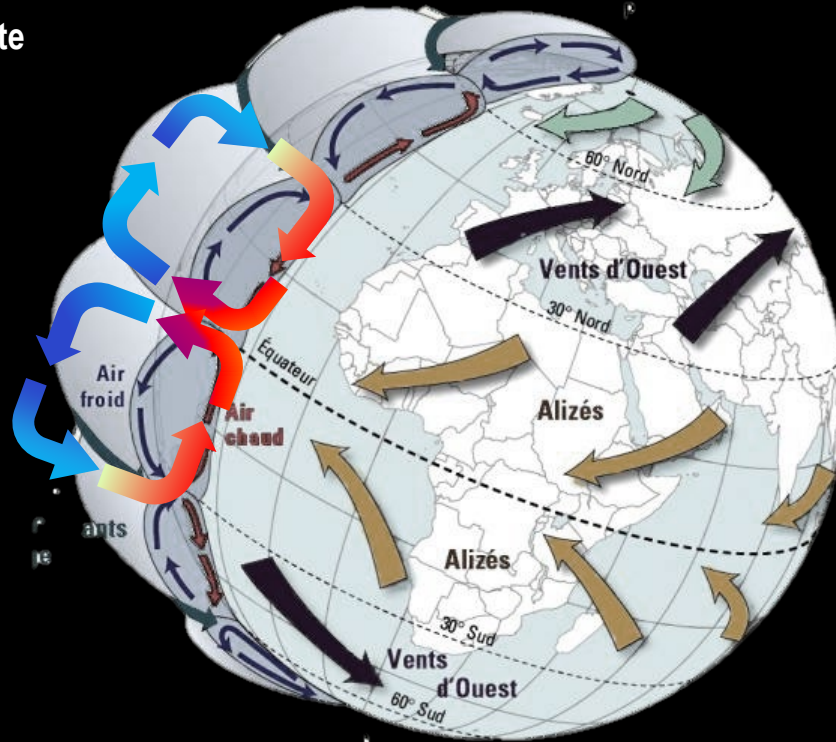


S'il monte plus haut, il **redescend** plus loin...

Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 1. L'air chaud monte

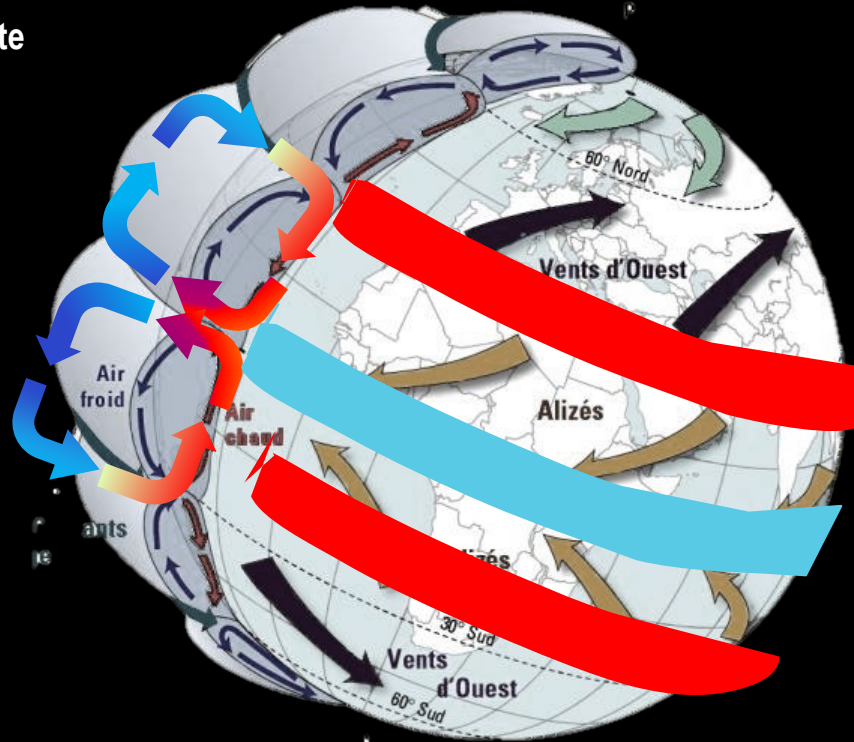
Circulation  
atmosphérique  
actuelle



Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 1. L'air chaud monte

Circulation  
atmosphérique  
actuelle

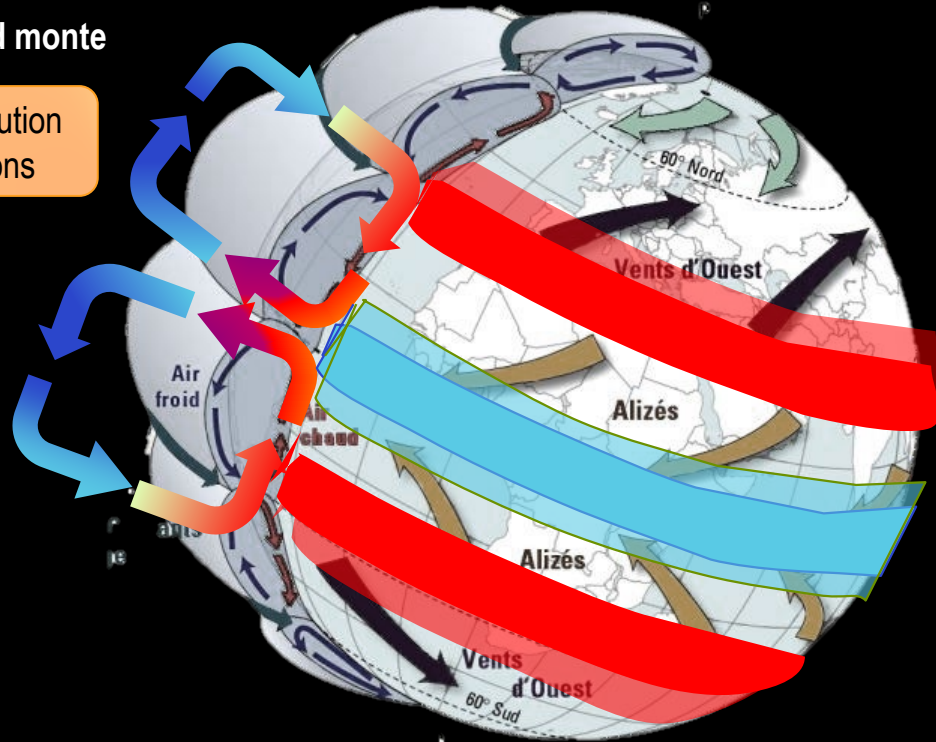


Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 1. L'air chaud monte

→ Modification de la distribution spatiale des précipitations

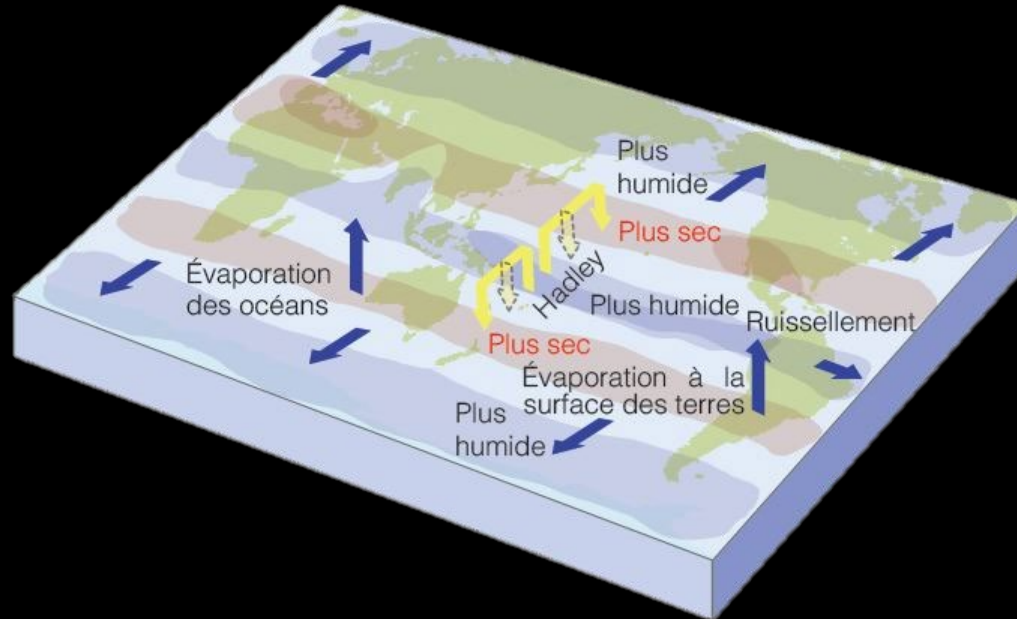
Circulation  
atmosphérique  
sous changement  
climatique



Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 1. L'air chaud monte

→ Modification de la distribution spatiale des précipitations

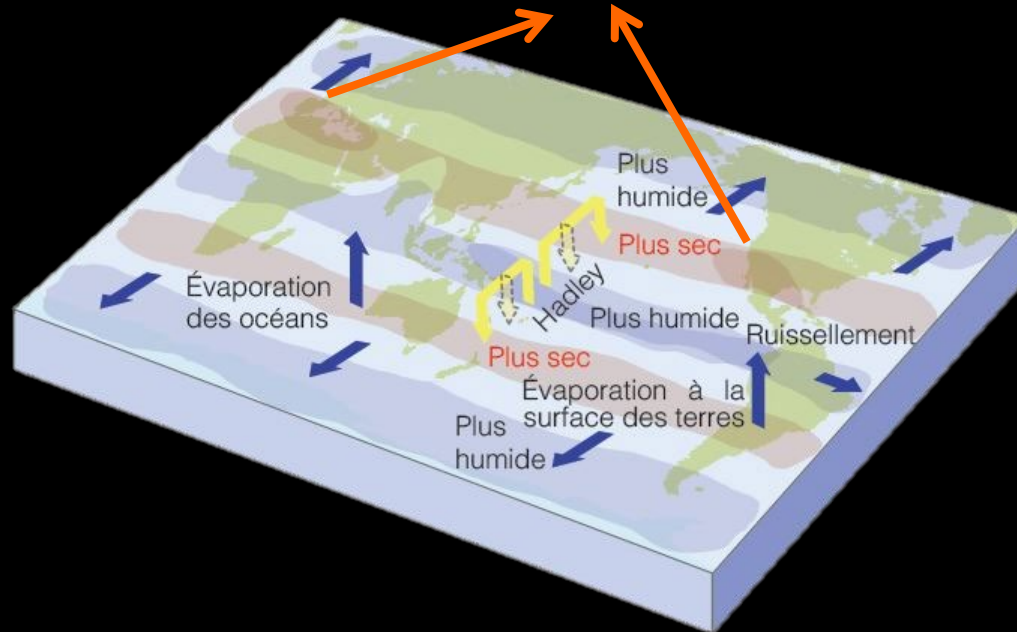


Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 1. L'air chaud monte

→ Modification de la distribution spatiale des précipitations

→ Deux « hot spots » sec



Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe

**Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau**

## 2. L'air chaud peut contenir + de vapeur d'eau

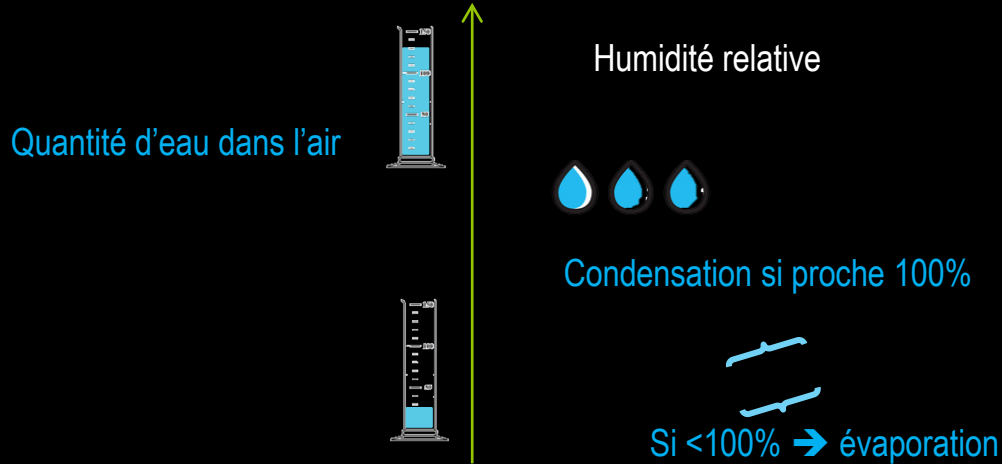
Quantité d'eau dans l'air



Humidité relative :  $\frac{\text{quantité d'eau dans l'air}}{\text{la quantité maximale d'eau que l'air peut porter}}$

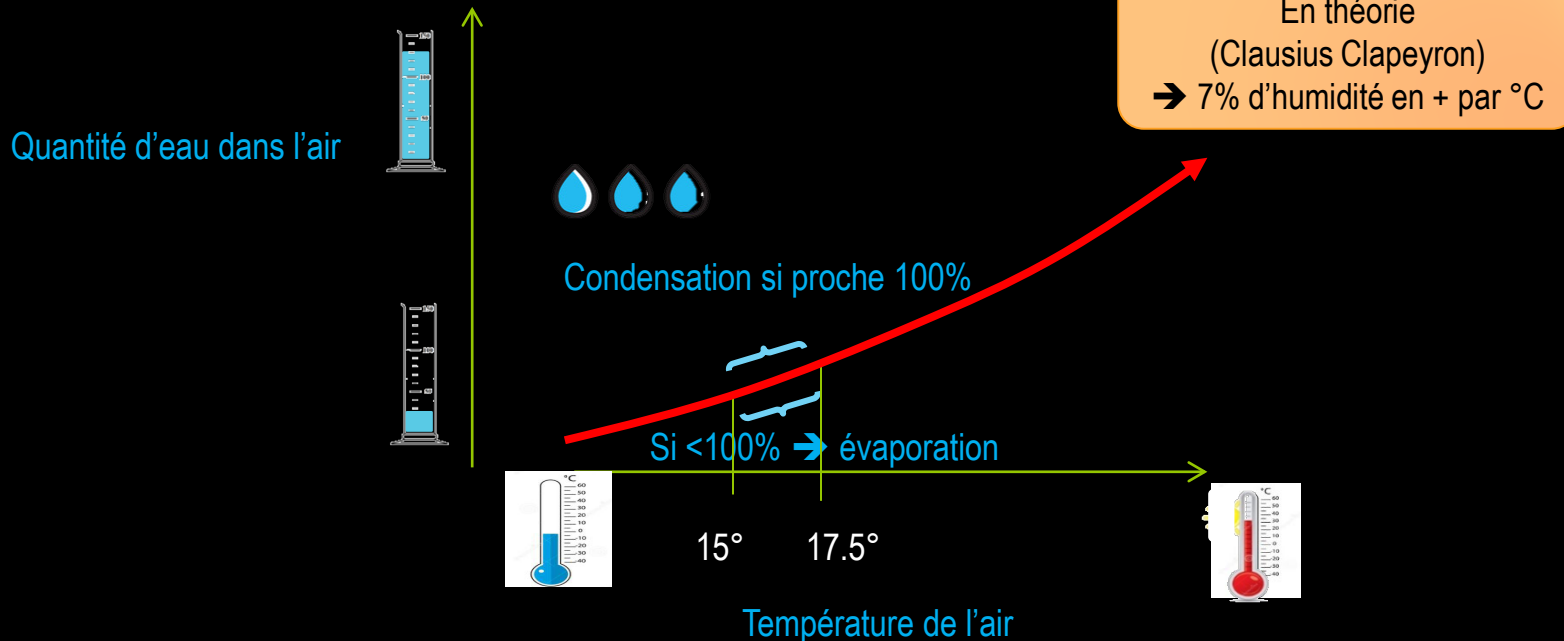
Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 2. L'air chaud peut contenir + de vapeur d'eau



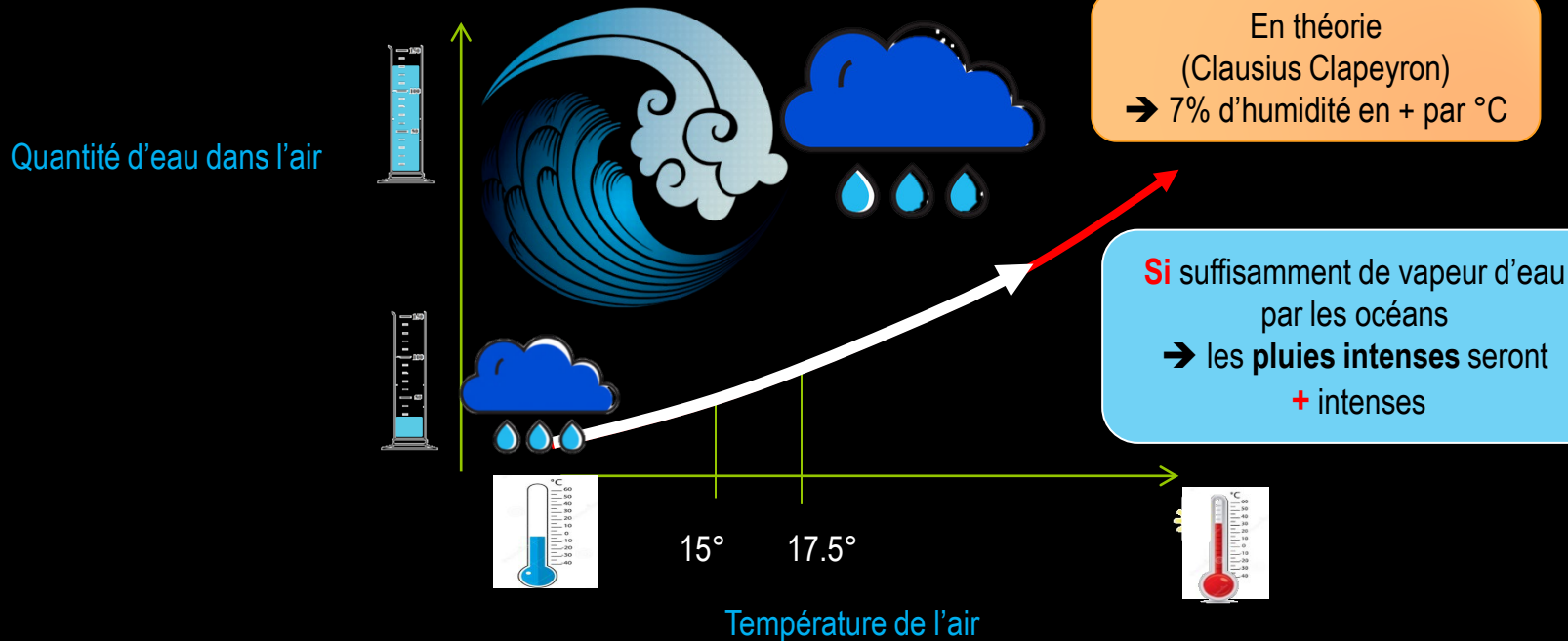
Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

## 2. L'air chaud peut contenir + de vapeur d'eau



Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

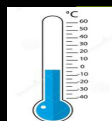
## 2. L'air chaud peut contenir plus de vapeur d'eau



Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

### 3. L'air chaud doit contenir plus de vapeur d'eau

Quantité d'eau dans l'air



15°

17.5°

Température de l'air

En théorie  
(Clausius Clapeyron)  
→ 7% d'humidité en + par °C

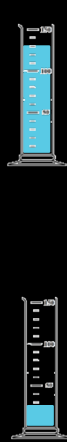
**Si** pas suffisamment d'apport de  
vapeur d'eau par les océans  
→ + de déficit d'humidité dans l'air  
→ + d'évaporation  
→ + de sécheresse



Avec les émissions de gaz à effet de serre → l'atmosphère se réchauffe  
Les 3 raisons pour lesquelles ce réchauffement affecte la ressource en eau

### 3. L'air chaud doit contenir plus de vapeur d'eau

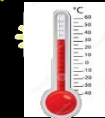
Quantité d'eau dans l'air



15°

17.5°

Température de l'air

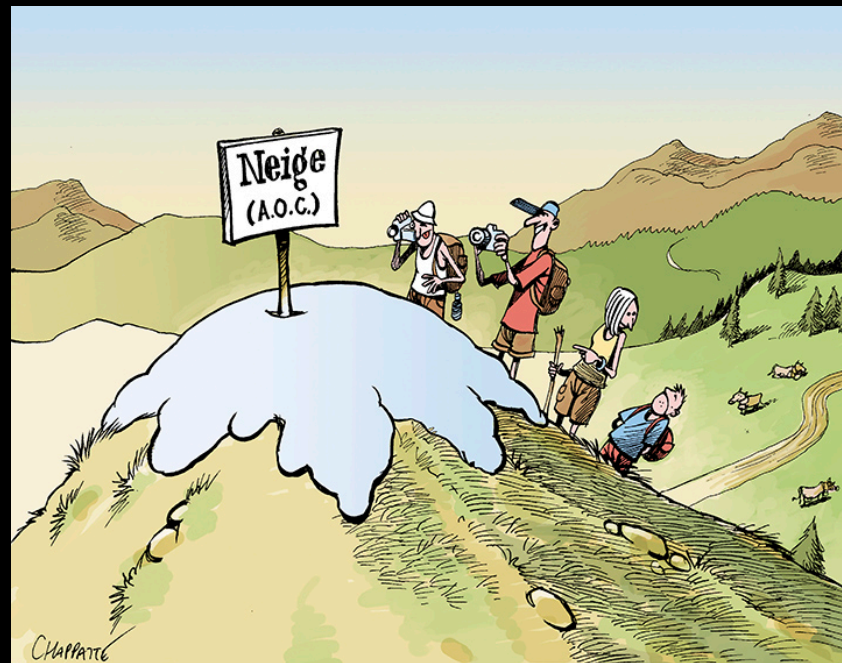


En théorie  
(Clausius Clapeyron)  
→ 7% d'humidité en + par °C

**Si** pas suffisamment d'apport de  
vapeur d'eau par les océans  
→ + de déficit d'humidité dans l'air  
→ + d'évaporation  
→ + de sécheresse

Conservation de l'humidité de  
l'air d'autant plus difficile à  
atteindre que la colonne d'air à  
humidifier est plus haute car  
plus chaude...

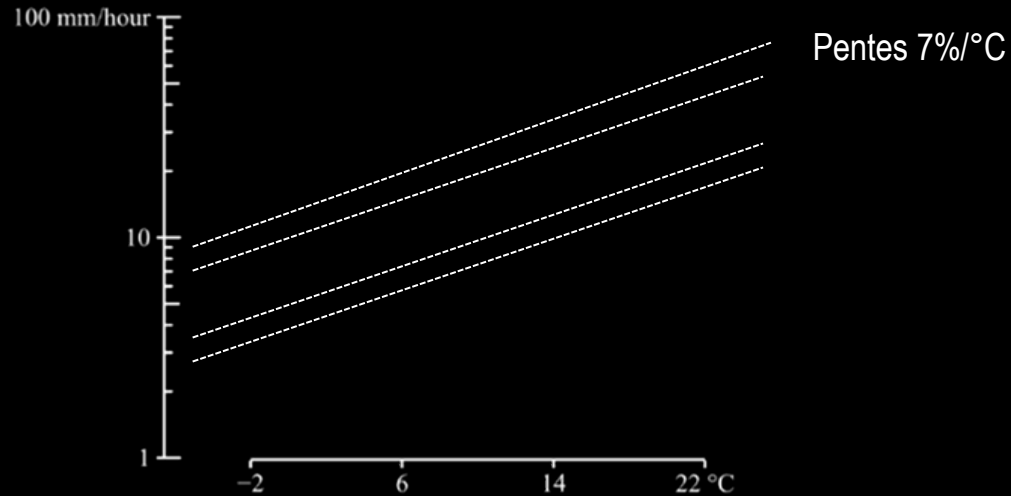
**Les tendances observées sur la ressource en eau  
en France et en Europe**



## Tendance sur les précipitations intenses

Evolution des tendances sur les précipitations horaires à Uccle en Belgique > 100 ans de données

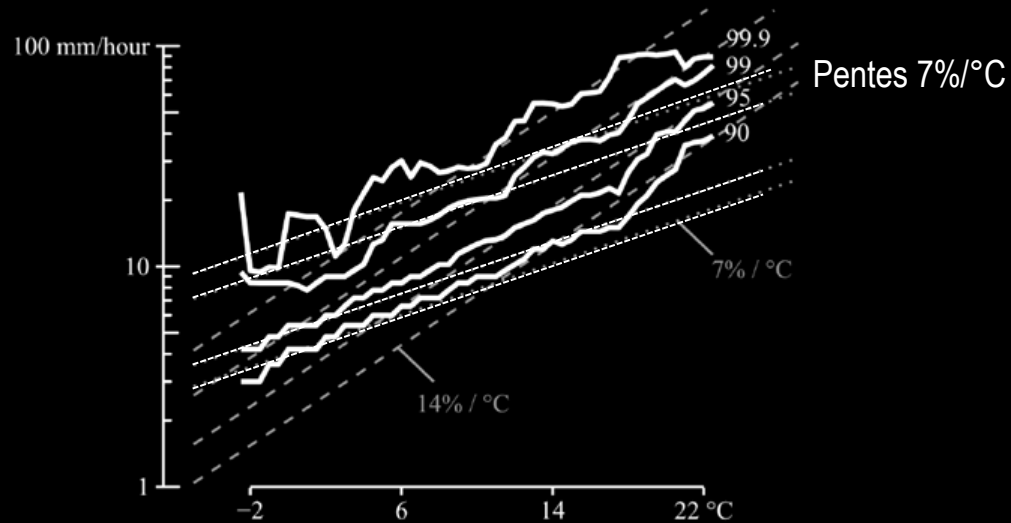
En théorie  
(Clausius Clapeyron)  
→ 7% d'humidité en + par °C



## Tendance sur les précipitations intenses

Evolution des tendances sur les précipitations horaires à Uccle en Belgique > 100 ans de données

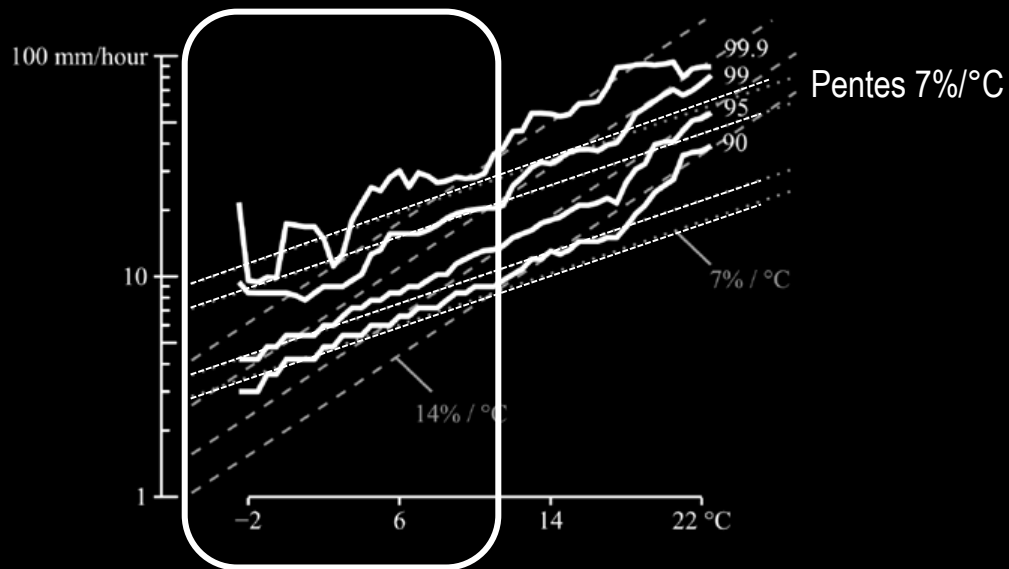
En théorie  
(Clausius Clapeyron)  
→ 7% d'humidité en + par °C



## Tendance sur les précipitations intenses

Evolution des tendances sur les précipitations horaires à Uccle en Belgique > 100 ans de données

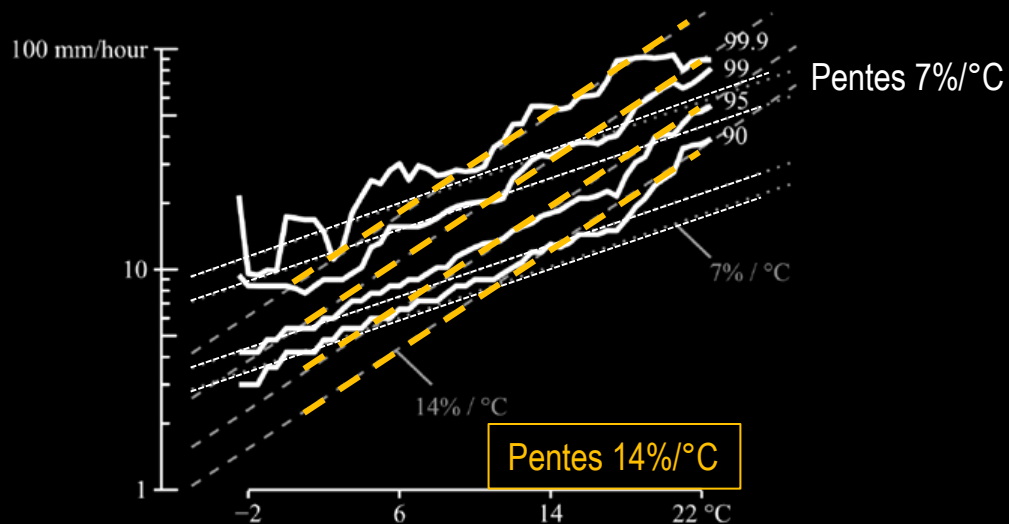
En théorie  
(Clausius Clapeyron)  
→ 7% d'humidité en + par °C



## Tendance sur les précipitations intenses

Evolution des tendances sur les précipitations horaires à Uccle en Belgique > 100 ans de données

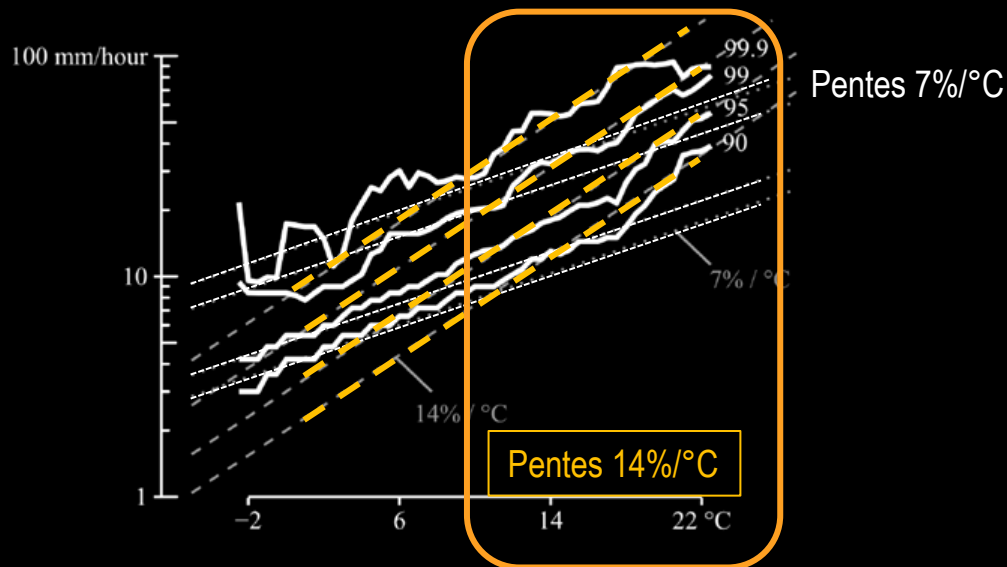
En théorie  
(Clausius Clapeyron)  
→ 7% d'humidité en + par °C



## Tendance sur les précipitations intenses

Evolution des tendances sur les précipitations horaires à Uccle en Belgique > 100 ans de données

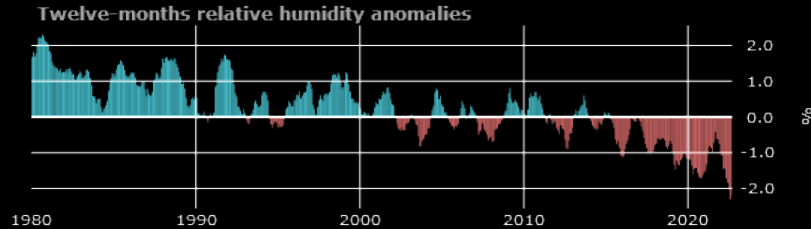
En théorie  
(Clausius Clapeyron)  
→ 7% d'humidité en + par °C



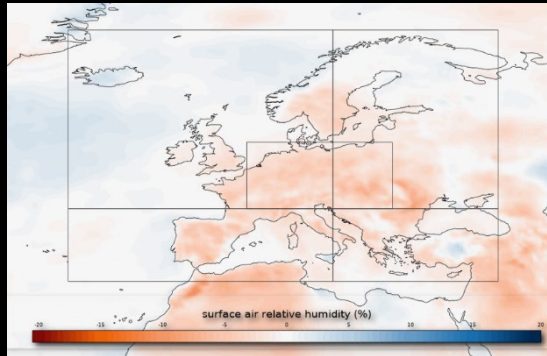
A Uccle, pour les intensités les plus fortes (>Q90),  
au-delà d'une T°, la pente est 2 fois plus forte

## Tendance sur l'humidité relative en Europe

Anomalies par rapport à la normale 1991-2020



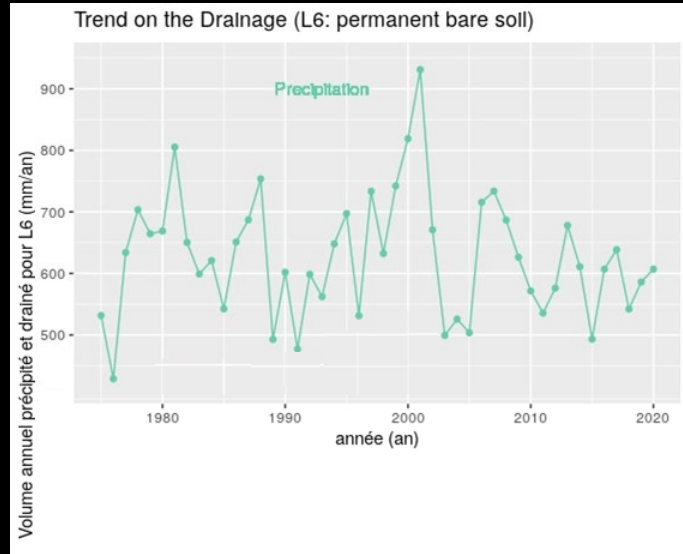
Anomalies sur les 12 derniers mois par rapport à la normale 1991-2020



➔ En région parisienne :  
baisse significative de l'humidité  
relative de 1.24% par décennie  
depuis 1979  
(Ringard et al., 2019)

## Tendance sur la part des précipitations générant des écoulements

60 ans Observations lysimétriques proche de Châlons en Champagne: AgroImpact Inrae

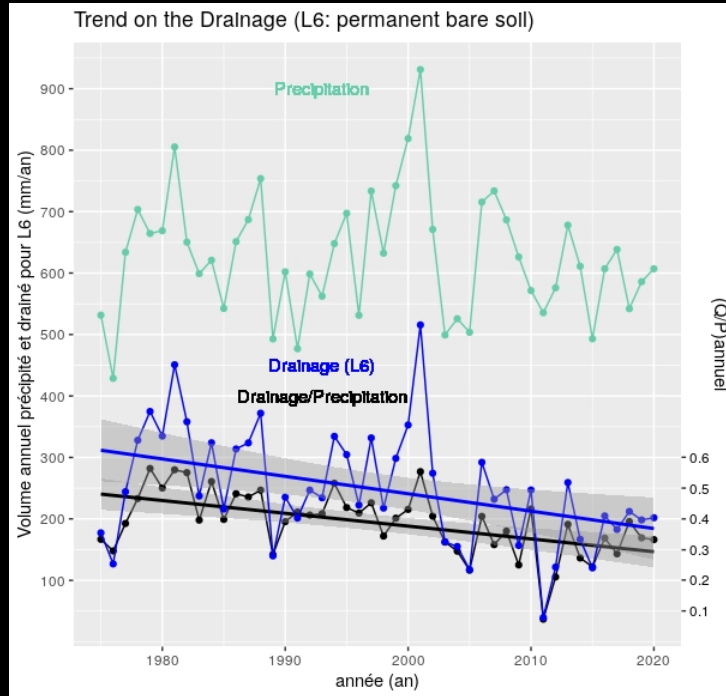


Entre 1972 et 2020  
Pas de tendance nette  
sur les précipitations

## Tendance sur la part des précipitations générant des écoulements

60 ans Observations lysimétriques proche de Châlons en Champagne: AgroImpact Inrae

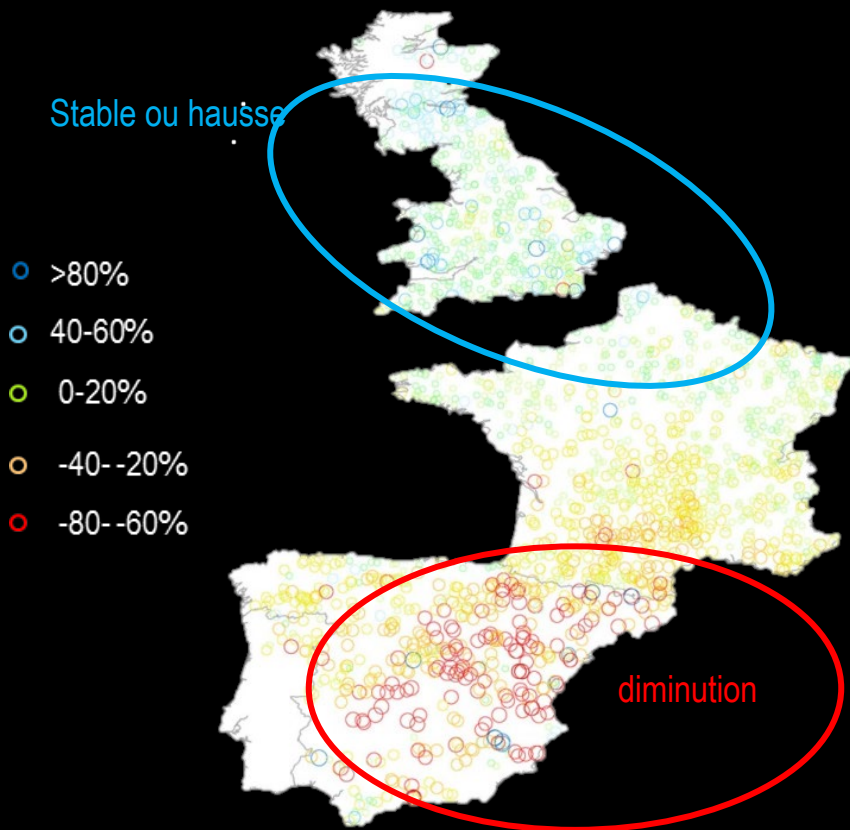
→ Hausse  
de la part des  
précipitations  
qui s'évapore



Entre 1972 et 2020  
Pas de tendance nette  
sur les précipitations

Mais nette tendance à la baisse  
des écoulements  
et du rapport  
écoulements/précipitations

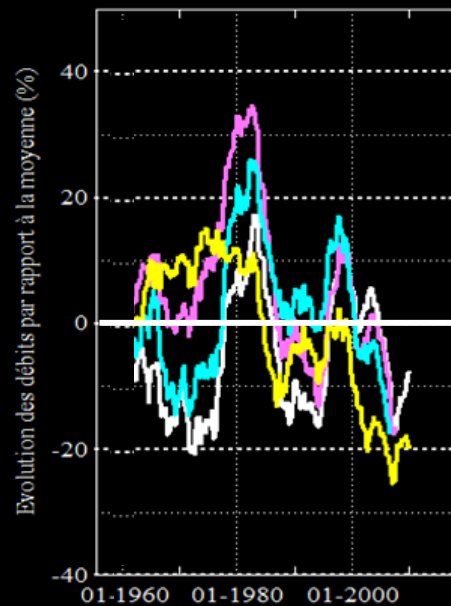
## Tendance sur les débits annuels de 1961 à 2012



La diminution dans le sud de la France/Espagne n'est pas attribuée qu'à des changements climatiques  
→ prélèvements

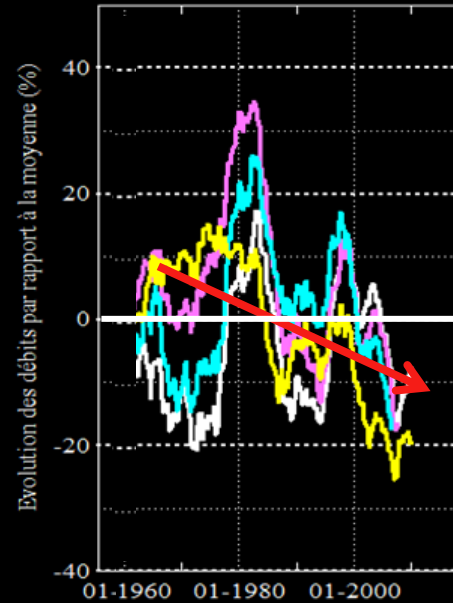
## Tendance sur les débits annuels de 1961 à 2012

→ Impact des variabilités multi-décennales



## Tendance sur les débits annuels de 1961 à 2012

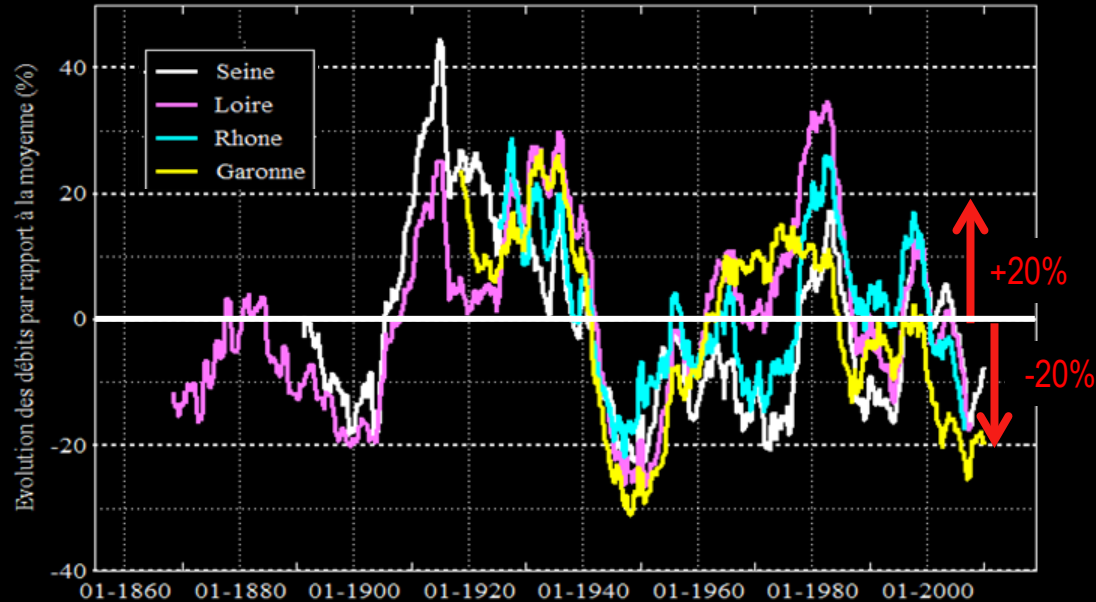
→ Impact des variabilités multi-décennales



Observations

## Tendance sur les débits annuels de 1961 à 2012

→ Impact des variabilités multi-décennales

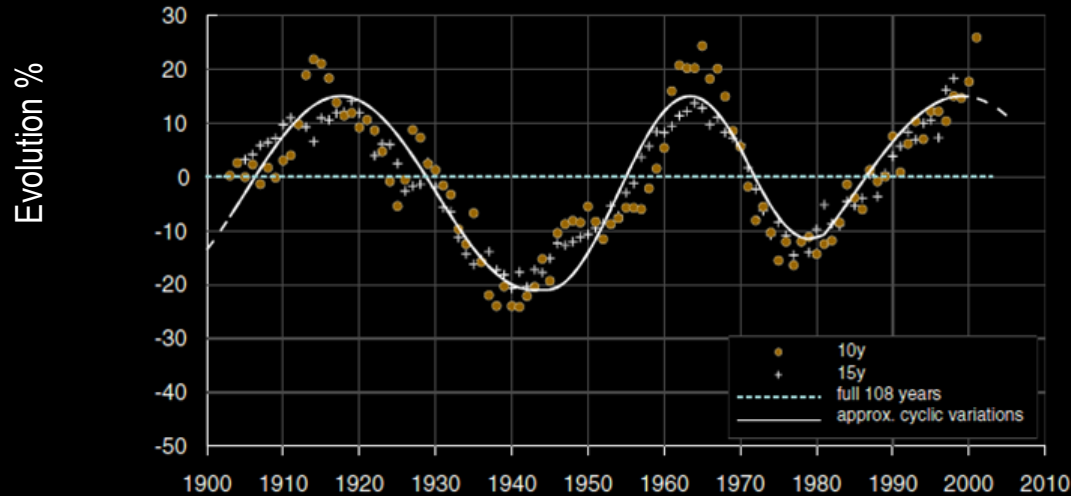


Il y a de fortes variations multi-décennales des débits en France

Boé et Habets 2014

## Variabilités multi-décennales

→ Impact aussi sur l'intensité des pluies intenses

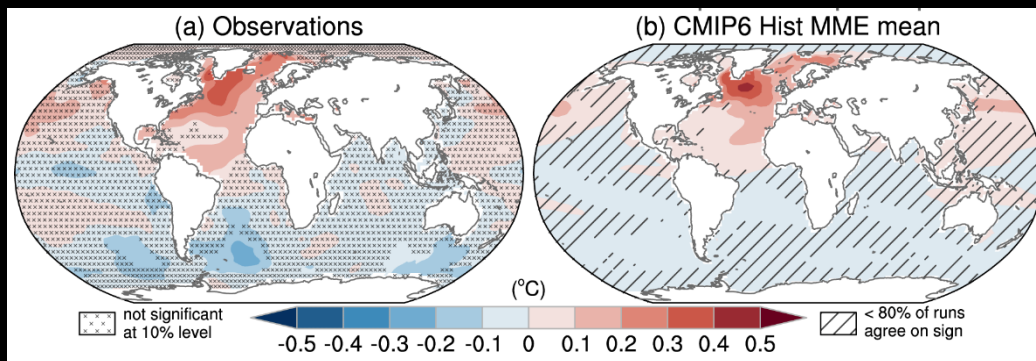


Il y a de fortes variations multi-décennales de la ressource en eau en Europe, associées à des variations de température de l'océan, et de téléconnexion impactant les circulations atmosphériques en Europe.

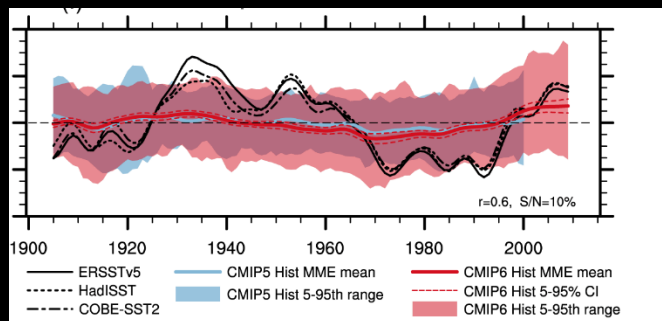
Willems, Climatic Change, 2013

Voir aussi Bonnet et al., 2020 sur la Seine

## Variabilités multi-décennales



En Europe elles sont causées par des variations de température de l'océan, **Atlantic Multidecadal Oscillation** associées à des **téléconnexions** impactant les circulations atmosphériques en Europe



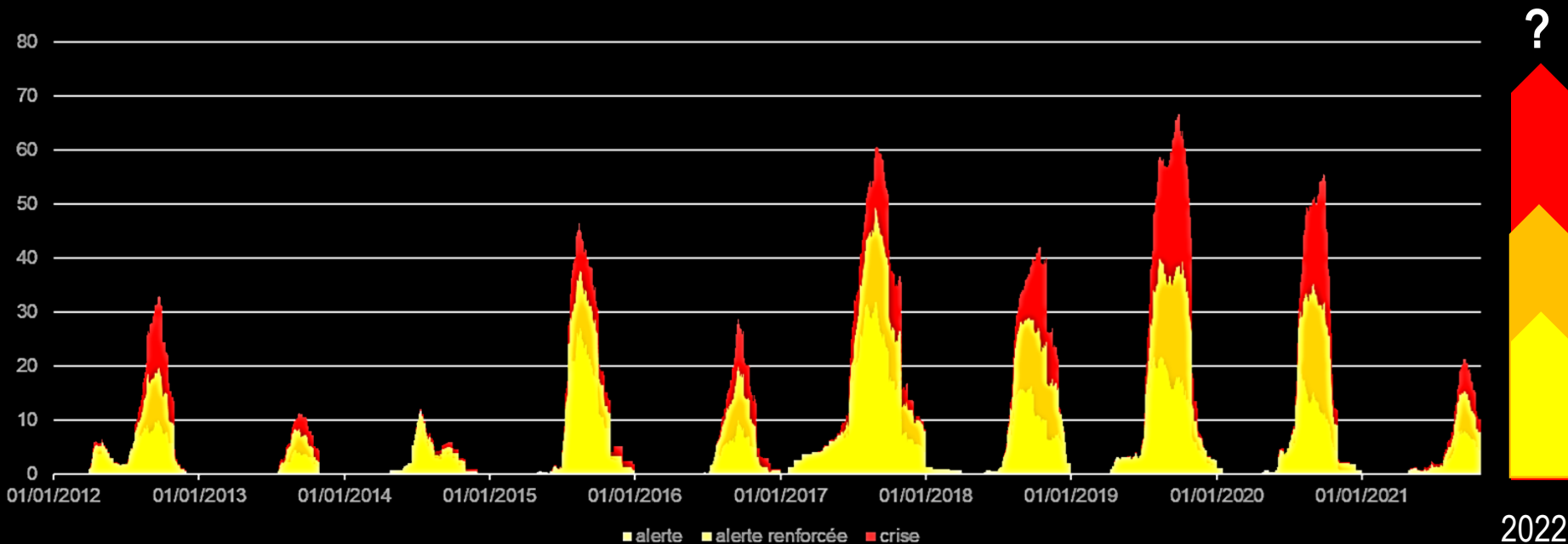
GIEC AR6, WGI chap 3

➔ L'origine des variabilités multi-décennales est bien comprise.

Cependant, elles ne sont pas si bien reproduite par les modèles de climat, et les impacts sur les continents sont très mal reproduits

# Evolution des sécheresses en France

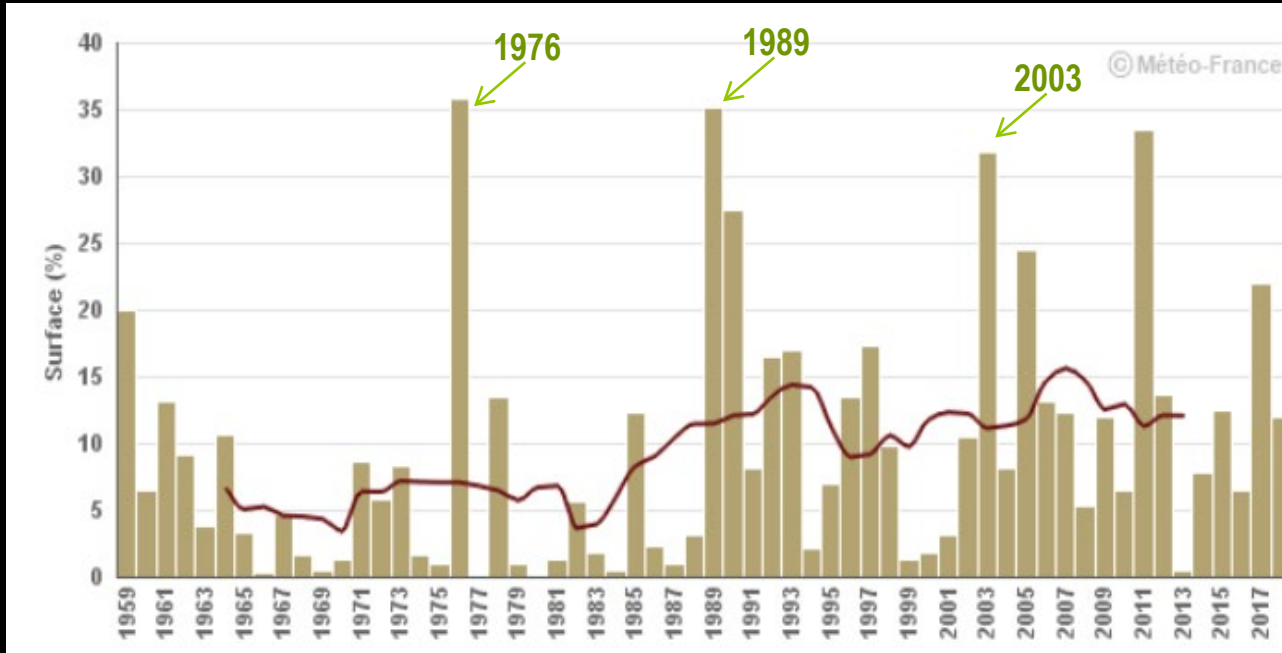
Les arrêtés sécheresses (propluvia) depuis 2012



## Evolution des sécheresses en France

Evolution estimée des sécheresses en France depuis 1958

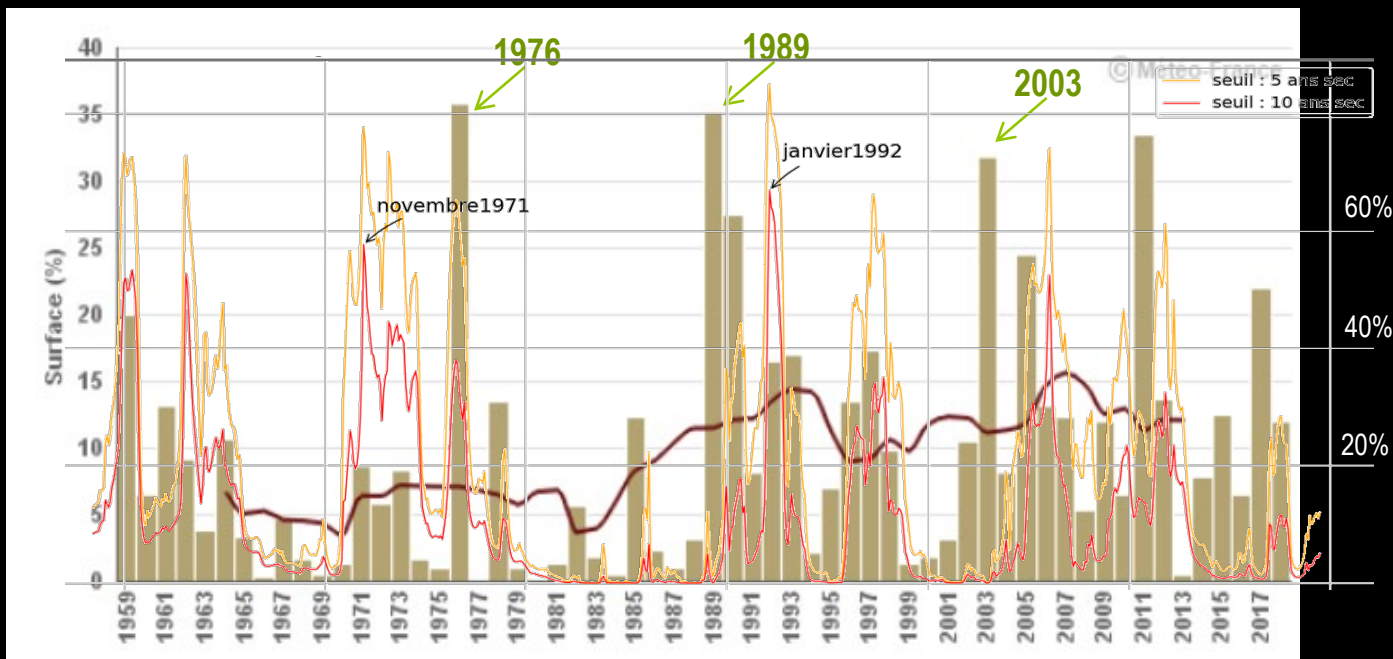
**Extension des sécheresses agronomiques (période de retour ~10 ans sec)**



# Evolution des sécheresses en France

Evolution estimée des sécheresses en France depuis 1958

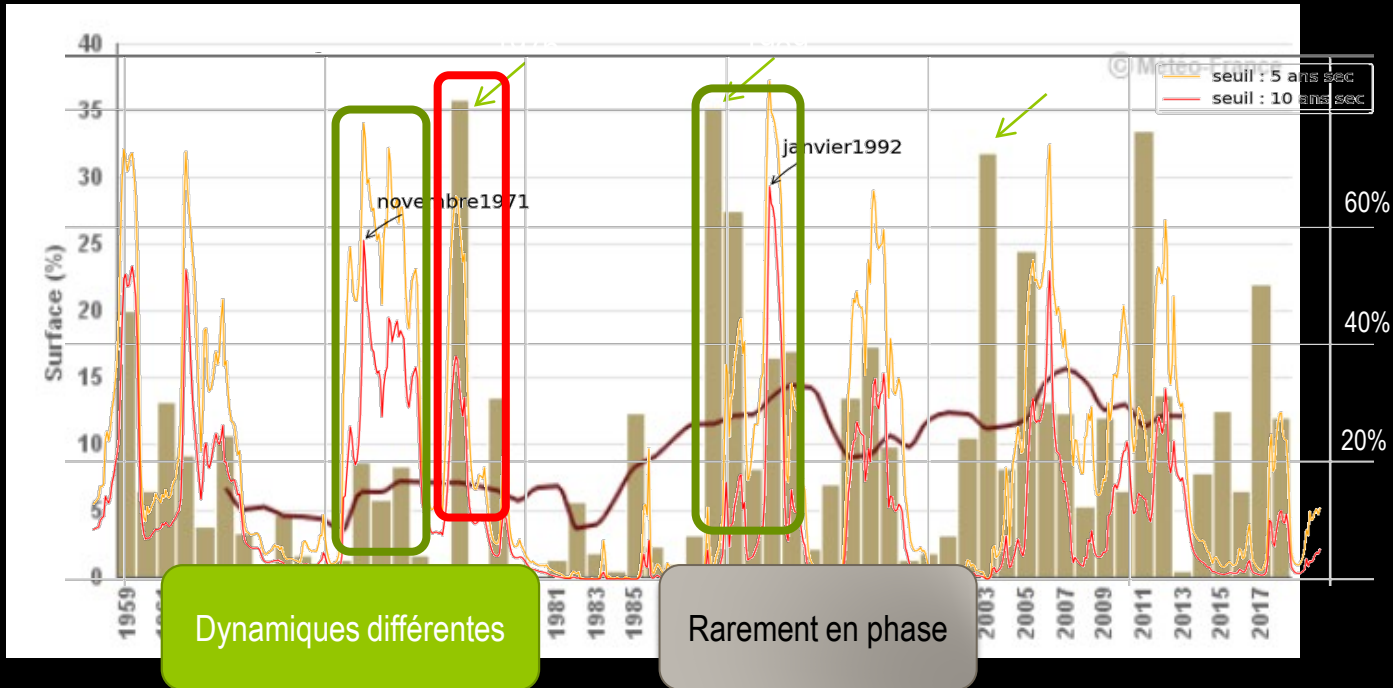
## Extension des sécheresses hydrologiques en nappe (10 ans sec)



## Evolution des sécheresses en France

Evolution estimée des sécheresses en France depuis 1958

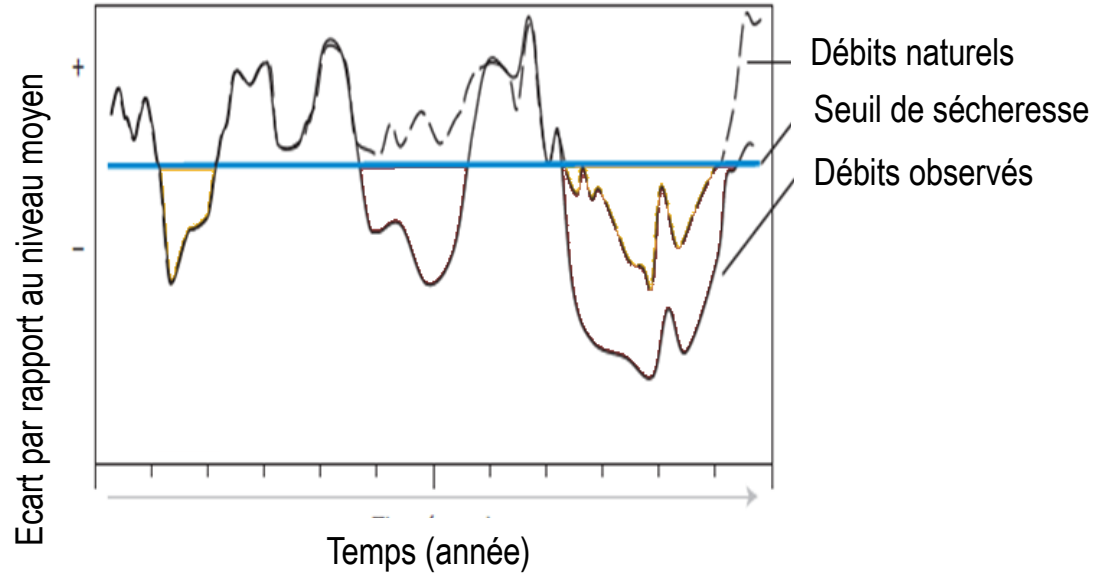
### Extension des sécheresses hydrologiques en nappe (10 ans sec)



## Lien entre sécheresses et prélèvements

### Notion de « sécheresse anthropique »

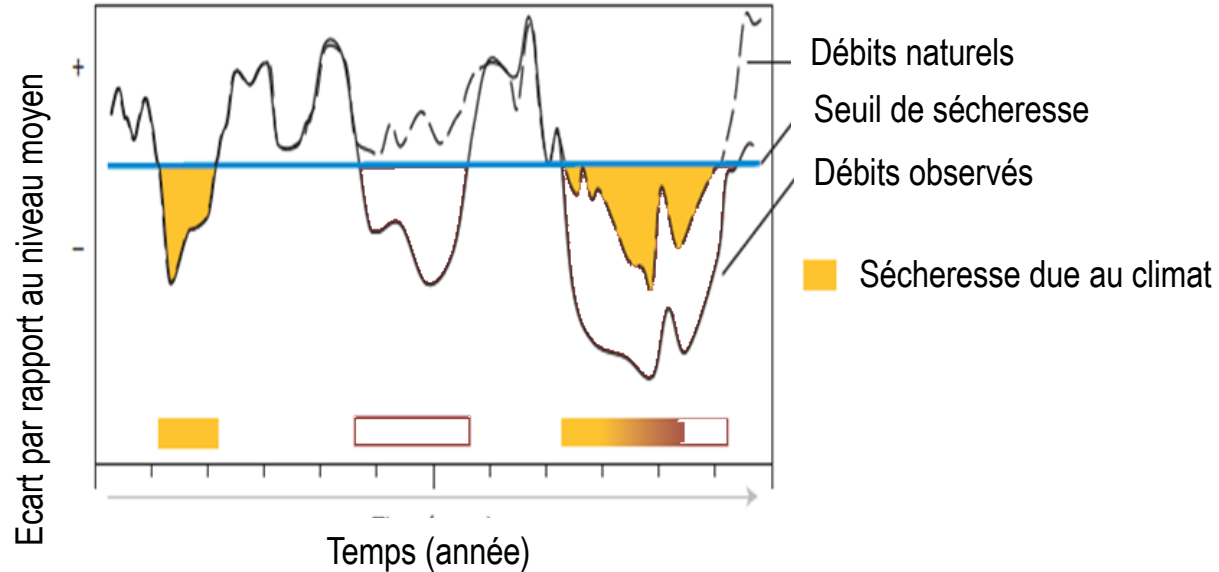
Courbe de débits observés et naturels



## Lien entre sécheresses et prélèvements

### Notion de « sécheresse anthropique »

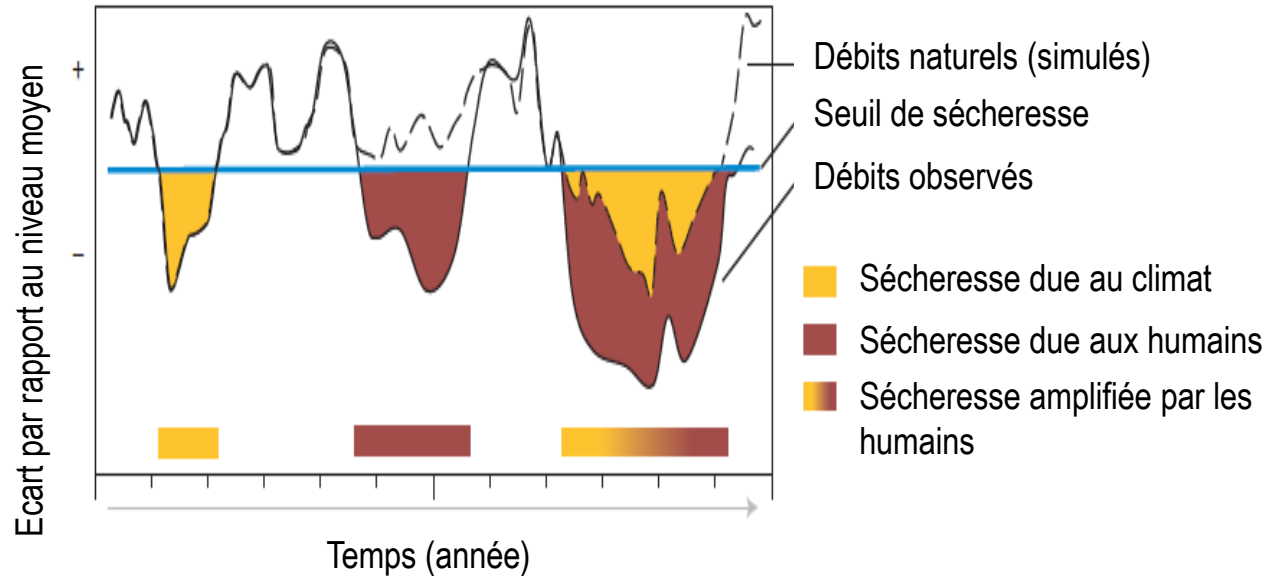
Courbe de débits observés et naturels



## Lien entre sécheresses et prélèvements

### Notion de « sécheresse anthropique »

Courbe de débits observés et naturels



## Lien entre sécheresses et prélèvements

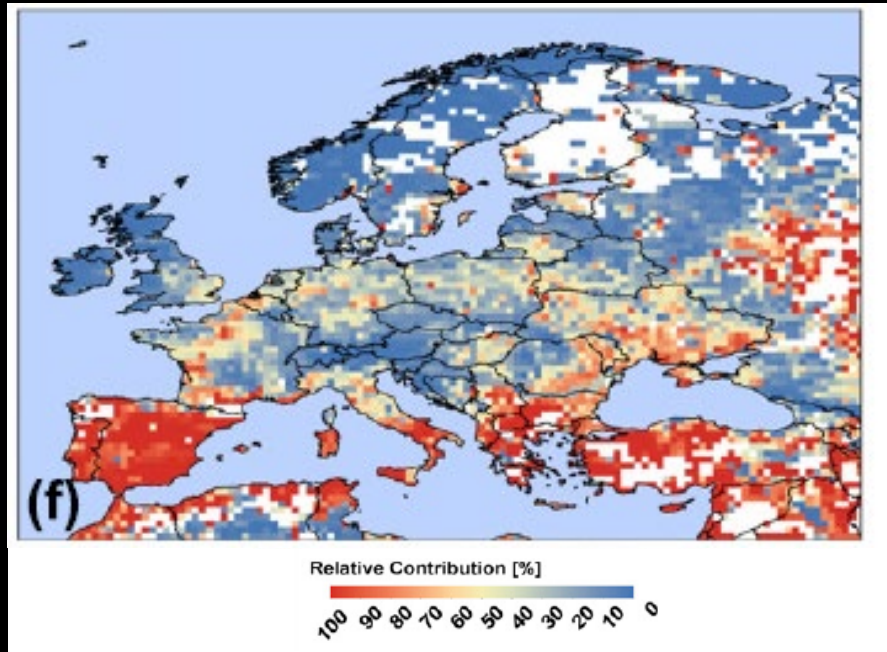
La consommation en eau est à l'origine d'une **forte intensification des sécheresses hydrologiques** entre 1960-2010 :

- + 27% ( $\pm 6\%$ ) à l'échelle du globe
- + 20% ( $\pm 5\%$ ) en Europe

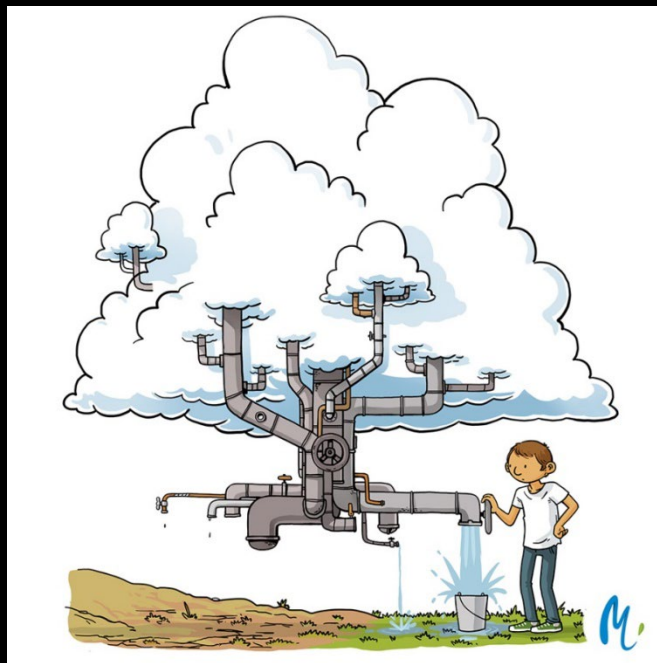
### Fraction du déficit lié aux prélèvements

Lors de la canicule de 2003, les prélèvements humains auraient intensifié la sécheresse de 40 à 300%

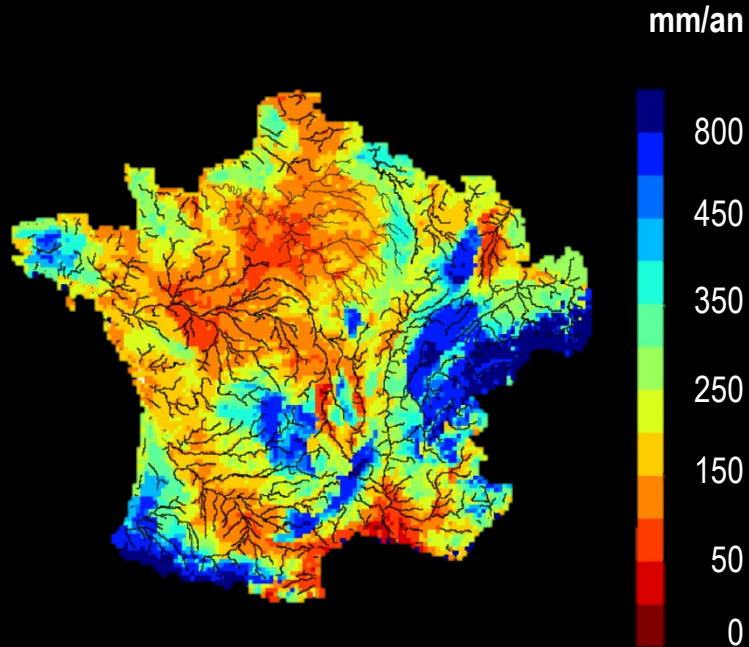
Wada et al., ERL, 2013



## La ressource en eau en France

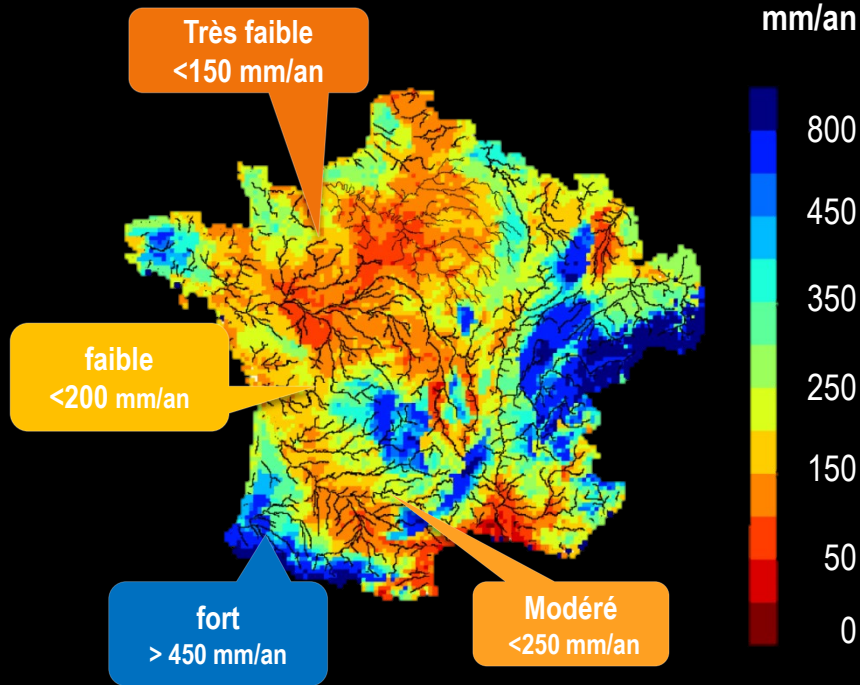


## La ressource actuellement en France



**Moyenne des écoulements en France  
de 1958 à 2018 ~ 390mm/m<sup>2</sup>/an**  
(LeMoigne et al., GMD, 2020)

## La ressource actuellement en France

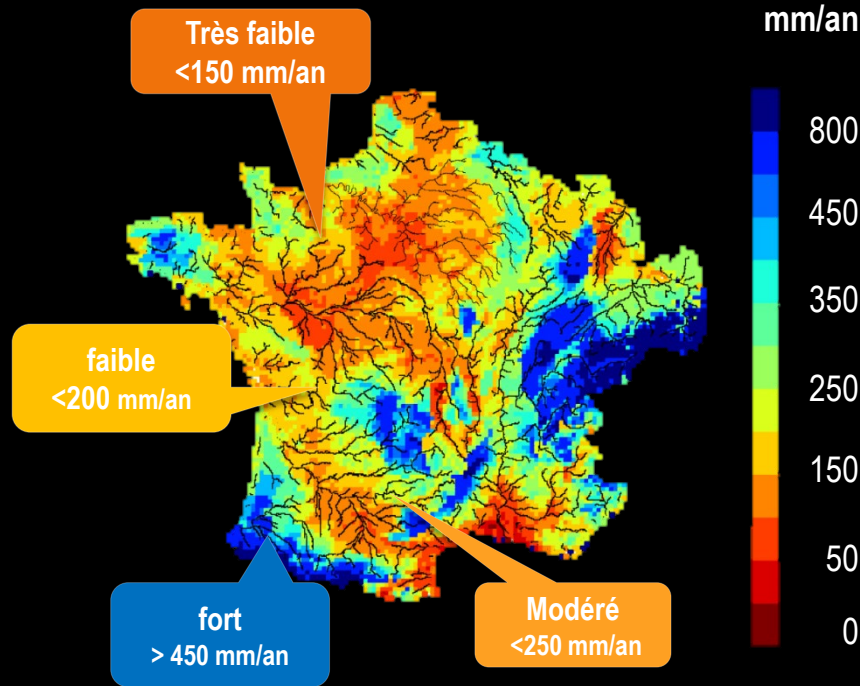


**Moyenne des écoulements en France  
de 1958 à 2018 ~ 390mm/m<sup>2</sup>/an**  
(LeMoigne et al., GMD, 2020)

**A comparer avec les doses d'irrigation moyennes :**

- En Pays de la Loire : 144 mm/an
- En Nouvelle Aquitaine : 176 mm/an
- En Occitanie : 246 mm/an

## La ressource actuellement en France



**Moyenne des écoulements en France  
de 1958 à 2018 ~ 390mm/m<sup>2</sup>/an**  
(LeMoigne et al., GMD, 2020)

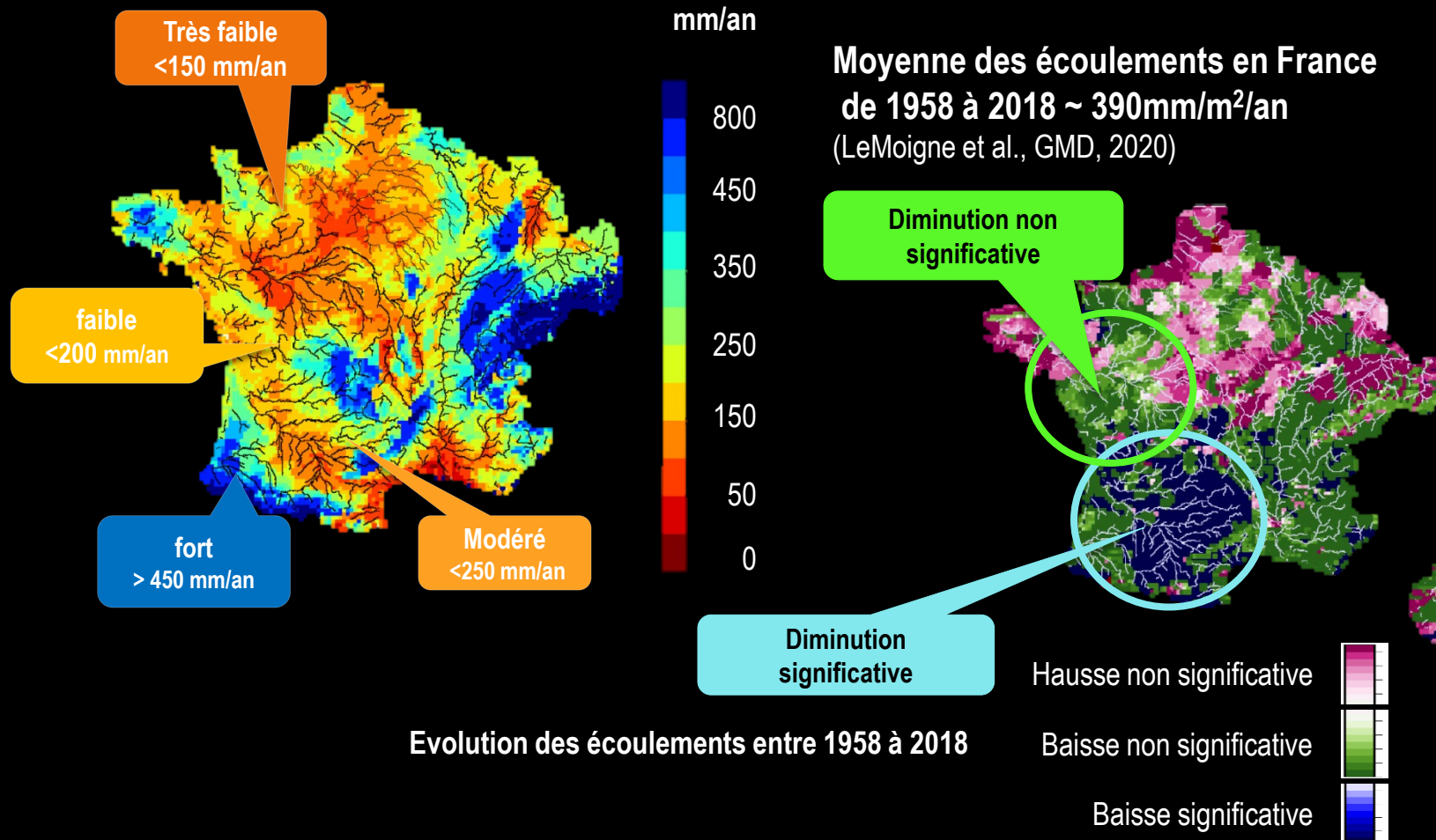
sur les zones irriguées ~ 100% de la  
ressource en eau est utilisée pour l'usage  
irrigation

→ Les autres usages : milieu aquatique,  
eau potable, énergie, transport...  
dépendent alors forcément d'une  
solidarité amont/aval

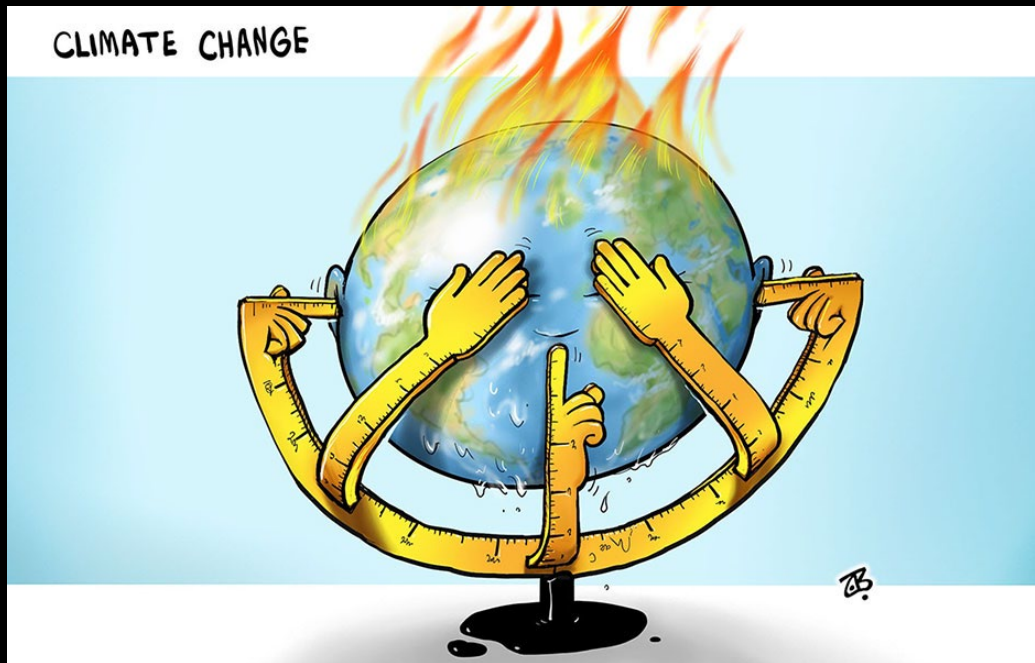
**A comparer avec les doses d'irrigation moyennes :**

- En Pays de la Loire : 144 mm/an
- En Nouvelle Aquitaine : 176 mm/an
- En Occitanie : 246 mm/an

## La ressource actuellement en France et ses tendances estimées

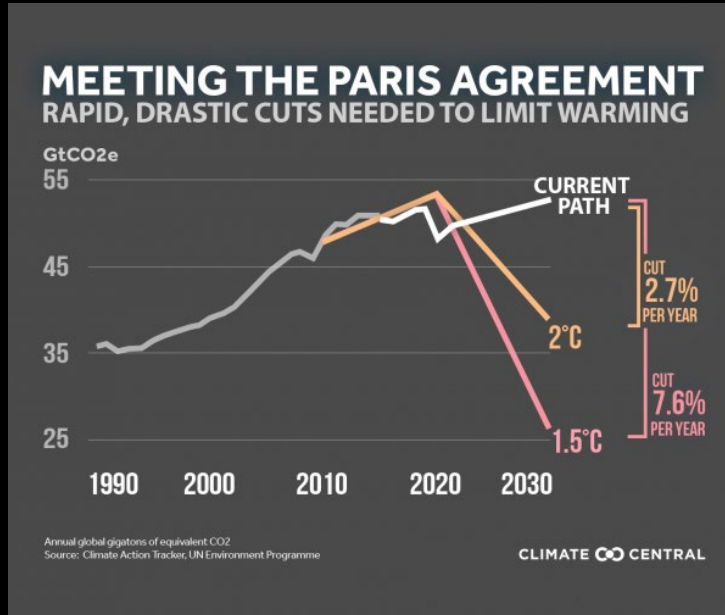


## Les projections climatiques



# Projections climatiques en France

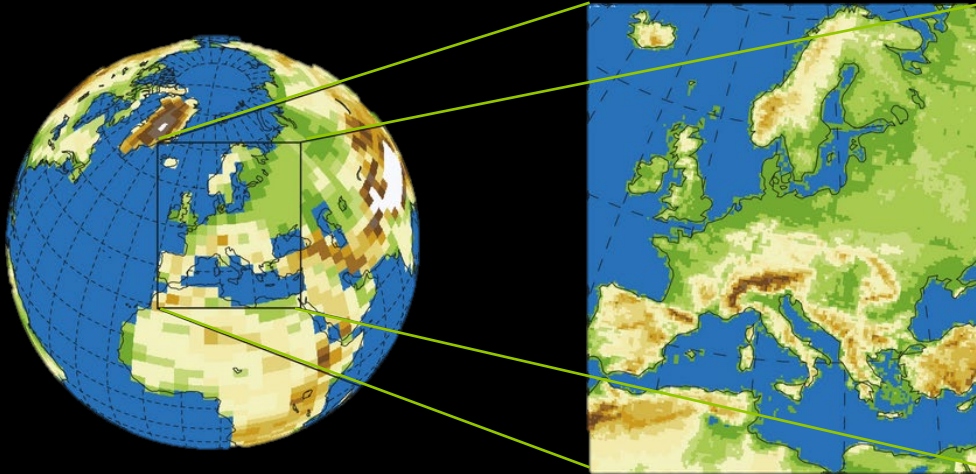
Les projections se basent sur des scénarios d'émission de gaz à effet de serre



## Projections climatiques en France

Modèles de climat globaux

Modèles de climat régionaux  
(Euro Cordex) → utilisés dans DRIAS

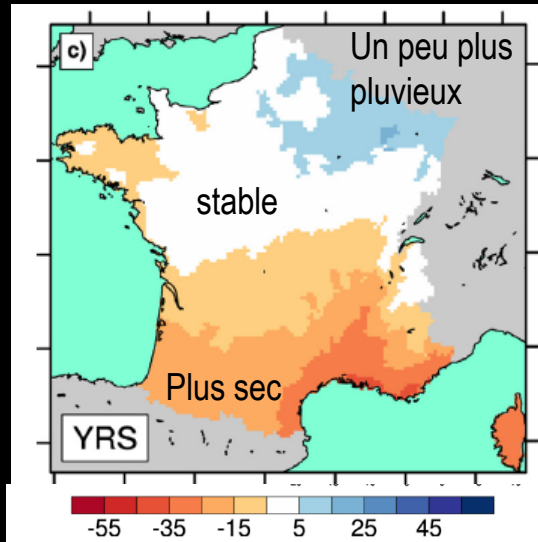


# Projections climatiques en France

Scénario d'émission tendanciel

Evolution des précipitations en France Moyenne 2070–2100 versus 1960–1990

→ moyennes issues de plusieurs modèles de climat globaux CMIP 5 régionalisés



Dayon et al. 2018 CRAS



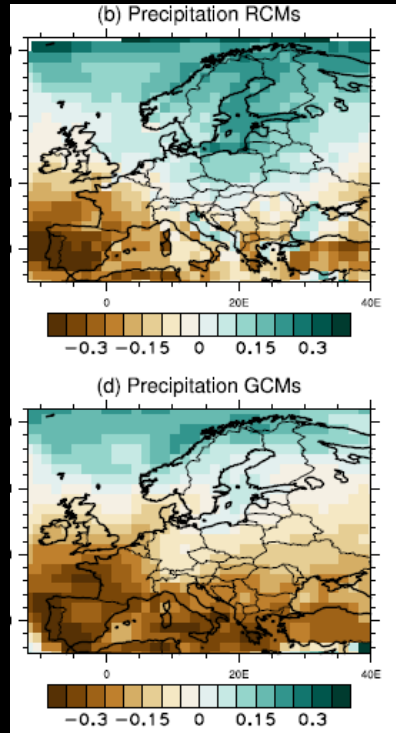
Beaucoup d'incertitudes  
sur les précipitations...

# Projections climatiques en France

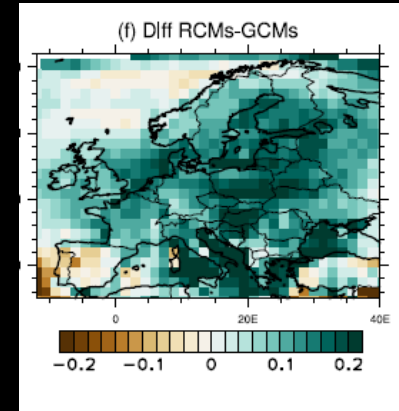
Scénario d'émission tendanciel

Evolution de l'évolution **des précipitations estivales** par des modèles de climat régionaux et globaux

Les modèles de climat régionaux notamment mis à disposition sur DRIAS ont un biais froid et un biais pluvieux par rapport aux modèles de climat globaux du GIEC



Différence entre les évolutions des modèles régionaux et globaux



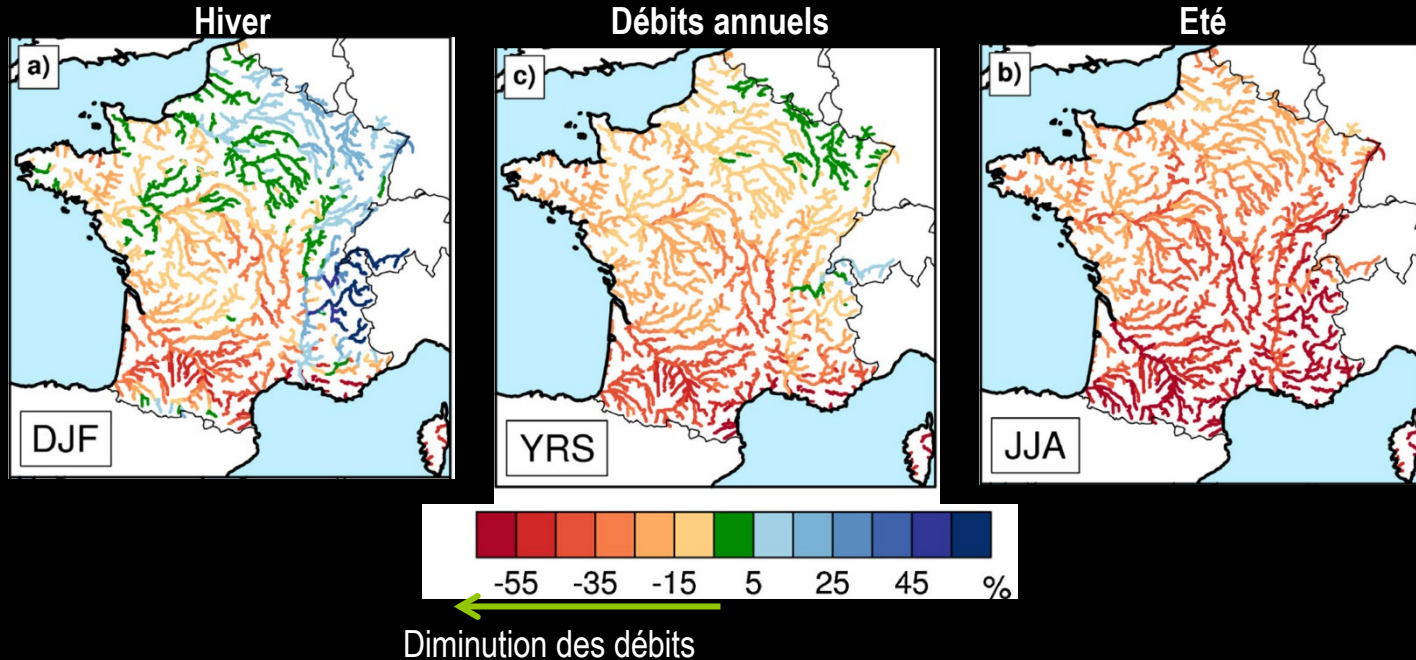
## Projections climatiques en France

➔ Dans cette présentation, je présenterai des projections basées sur les projections des modèles de climat du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC régionalisées

# Projections climatiques en France

Scénario d'émission tendanciel

Evolution des Débits (en %) Horizon 2070-2100



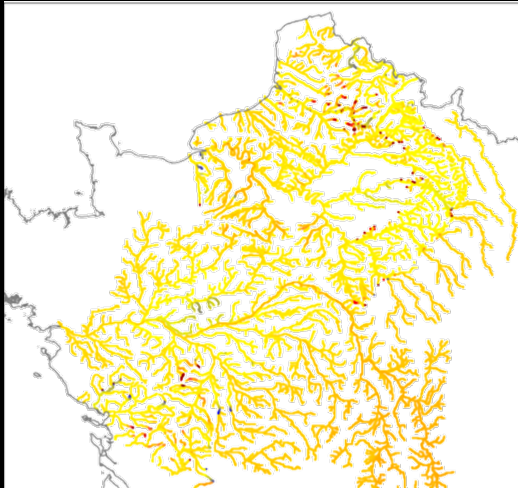
Diminution marquée des débits en été et en annuel, assez marquée sur Poitiers

# Projections climatiques en France

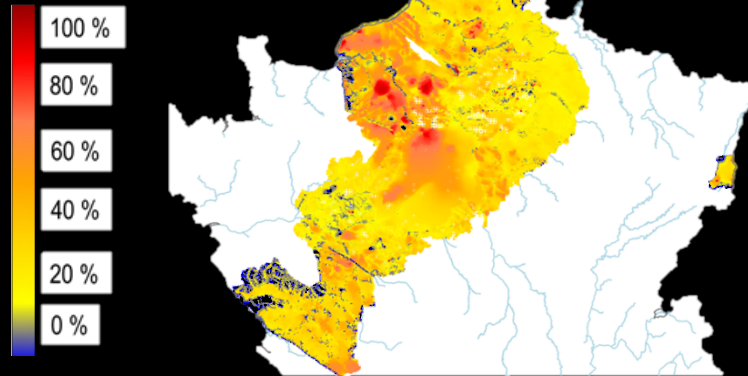
Scénario d'émission tendanciel

## Evolution des sécheresses en France vers 2100

Augmentation de la durée  
des sécheresses en rivière (%)



Augmentation de la durée  
des sécheresses en nappe  
(%)



- Forte augmentation de la durée des sécheresses en nappe et rivières (+30%)
- Impact visible des zones à forts prélèvements
- Assèchement plus marqué des têtes de bassin (- soutenue par les nappes)

## Projections climatiques en France

Evolution de la durée des sécheresses Europe

Moyenne multi-modèle de la sécheresse la plus importante

Actuel

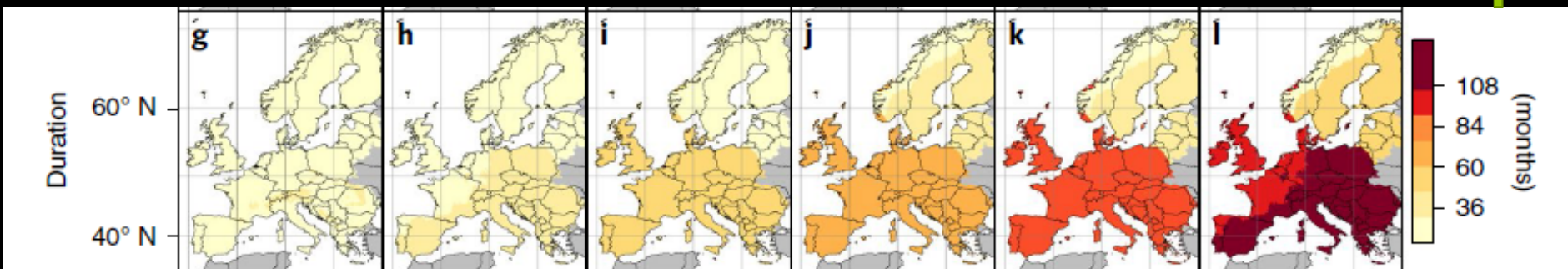
+1°C

+1.5°C

+2°C

+2.5°C

+3°C



Toutes les études s'accordent sur une augmentation des sécheresses en Europe  
→ Chaque ½ degré compte

## Adaptation



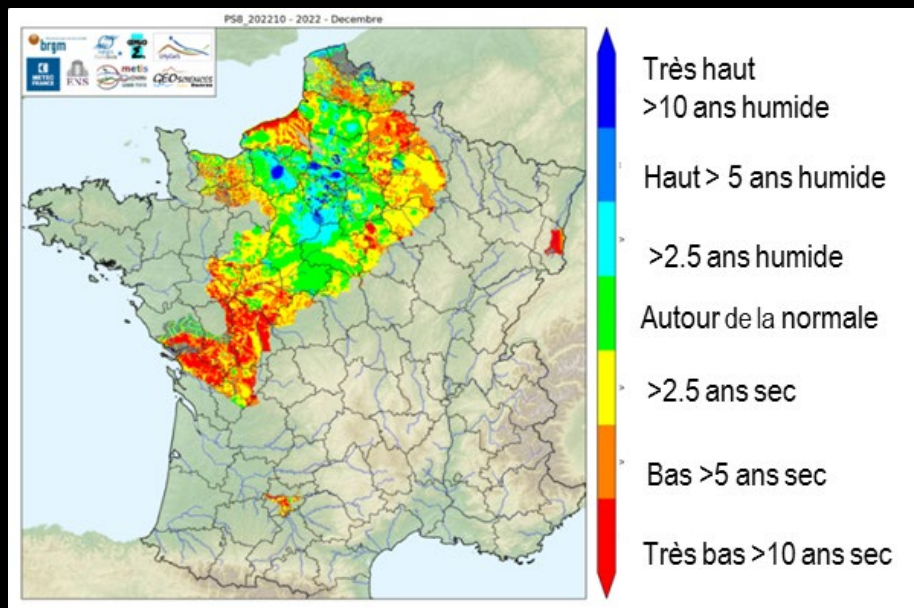


## Prévisions saisonnières

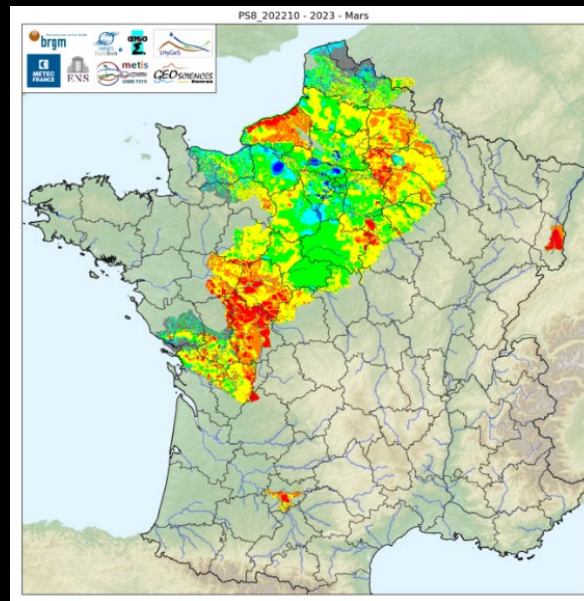
Exemple pour les nappes (AQUI-FR)



Pb moins bonnes prévisibilités  
en période hivernale



Prévis pour Décembre 2022



Prévis pour Mars 2023

## Adaptation : reconquérir une bonne circulation de l'eau

Le sol est important pour l'eau

Adaptation = réduire les menaces sur le sol

- *Artificialisation*
- *Imperméabilisation*
- *Structure abîmée / non fonctionnelle (érosion, compaction, labour)*



# Comment favoriser une bonne santé du sol en zone rurale ?

## Zoom sur l'intérêt de l'agroforesterie

*incluant les haies, bocages*



# Adaptation : reconquérir une bonne circulation de l'eau

Comment favoriser une bonne santé du sol ?

## Zoom sur l'intérêt de l'agroforesterie



L'agroforesterie permet :

- de **réduire** d'environ 50 %, le **ruissellement**, l'**érosion** hydrique, les **transferts d'herbicides** et les **pertes en nutriments**
- d'**augmenter** la **porosité** des sols et la quantité d'eau à la capacité au champ, par rapport à des parcelles sans arbre
- De **réalimenter en eau** les **cultures** de surface en période sèche par « ascenseur hydraulique »

A des co-bénéfices sur la **biodiversité** +

Une des meilleures solutions pour le **stockage de carbone** et la **sécurité alimentaire** (GIEC, 2019)

Cf avis sol du CS du comité de bassin Seine Normandie

## Adaptation : reconquérir la ressource en eau

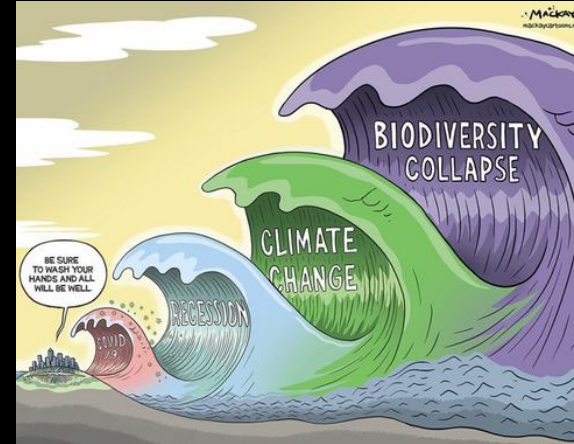
- Ralentir les écoulements (tendance à les évacuer durant 30 ans)
- Prendre soin des zones de rétentions naturelles: zones humides, nappes...
- Sobriété des usages



L'eau est menacée par les activités humaines : pollution, dérèglement du climat, prélèvements....

**les solutions doivent multiplier les co-bénéfices :**

- Pour l'atténuation du changement climatique
- La préservation de la biodiversité
- La réduction des pollutions
- La préservation des sols



[florence.habets@ens.fr](mailto:florence.habets@ens.fr)



## Conclusions

L'eau est menacée par les activités humaines: pollution, dérèglement du climat, prélèvements...

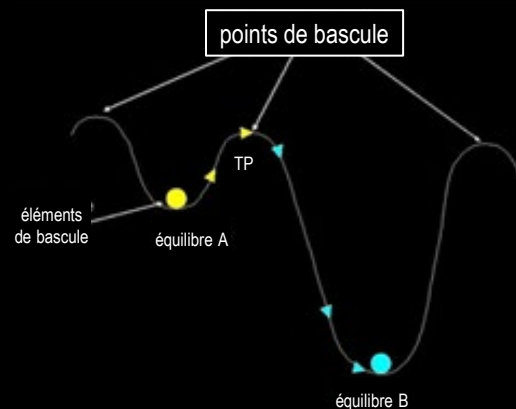
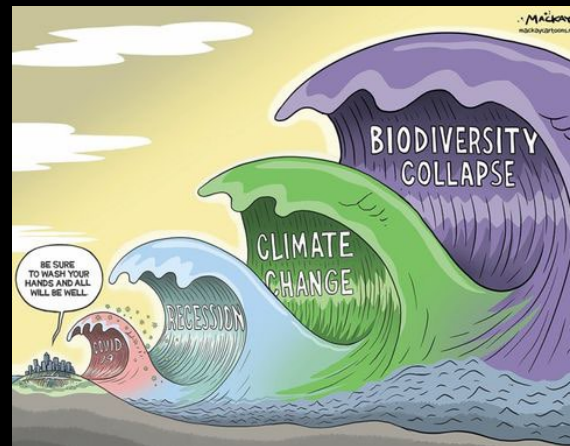
Pour y remédier,

les solutions doivent multiplier les co-bénéfices :

- Pour l'atténuation du changement climatique
- La préservation de la biodiversité
- La réduction des pollutions
- La préservation des sols



Chaque investissement doit nous rapprocher du point d'équilibre et non du point de bascule



# Quels impacts du dérèglement climatique sur la ressource en eau ?

Etat des lieux, projections et prévisions

Les Rendez-vous Climat d'Antea Group



## Merci de votre attention



**Florence HABETS**

Hydroclimatologue

Directrice de Recherche au CNRS

Professeure attachée au Laboratoire de Géologie de l'Ecole Normale Supérieure

[florence.habets@ens.fr](mailto:florence.habets@ens.fr)

 [@florencehabets](https://twitter.com/florencehabets)