

« Eau, tu es la source de toute chose et de toute existence... »

Bhavishyottarapurana (31.14)

« A partir de l'eau, Nous avons constitué toute chose vivante »

Coran, Sourate des Prophètes (v-30).

« L'eau est la force motrice de la nature »

Léonard de Vinci

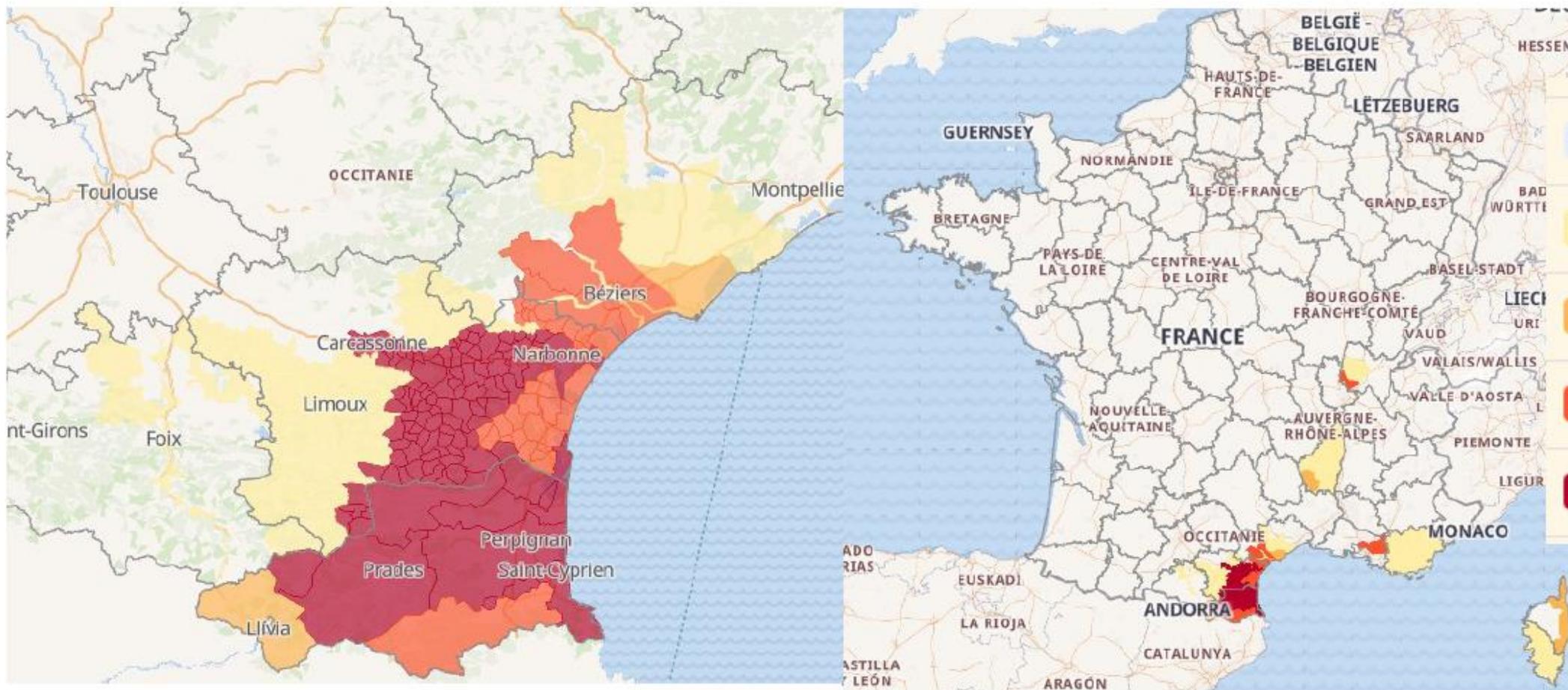
«Ce n'est que lorsque le puits s'assèche que l'on découvre la valeur de l'eau».

Proverbe chinois.

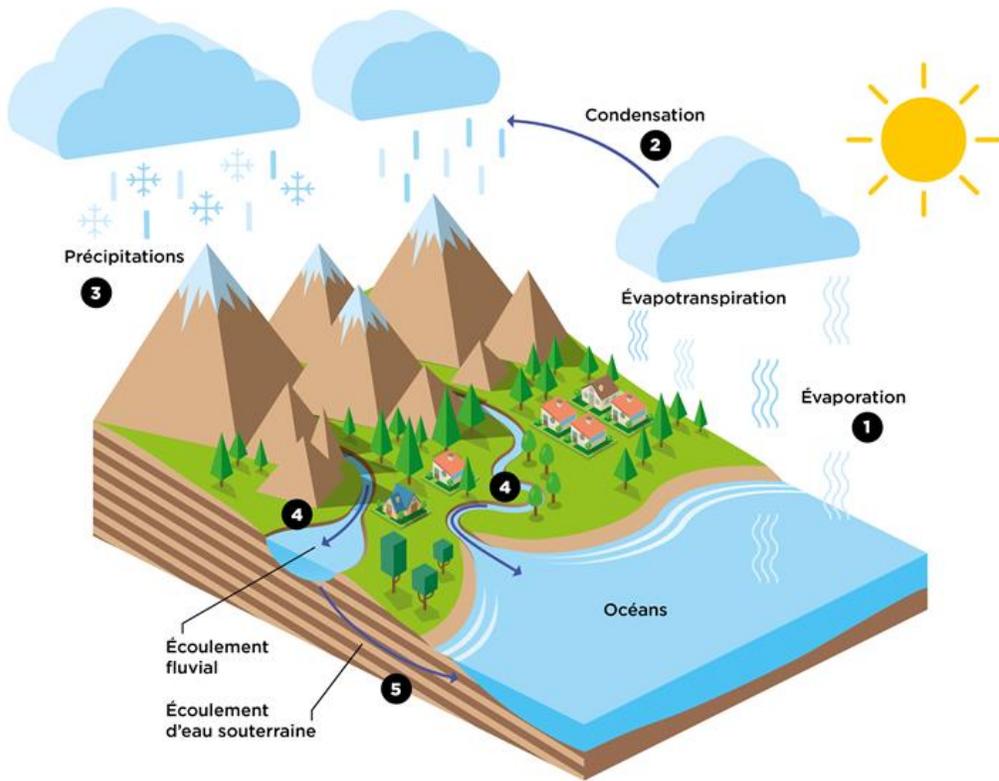
Deux problématiques principales liées à l'eau



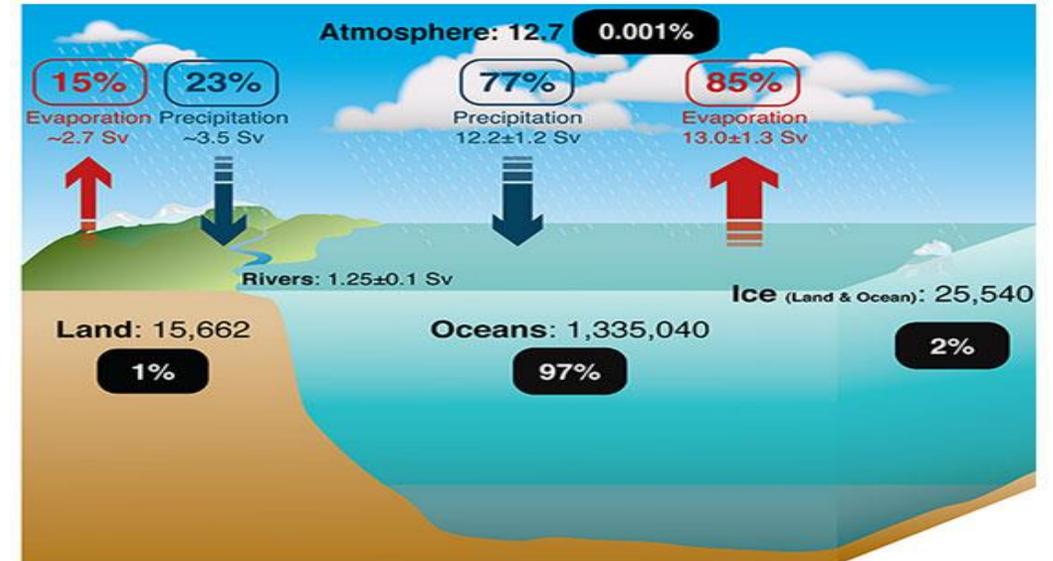
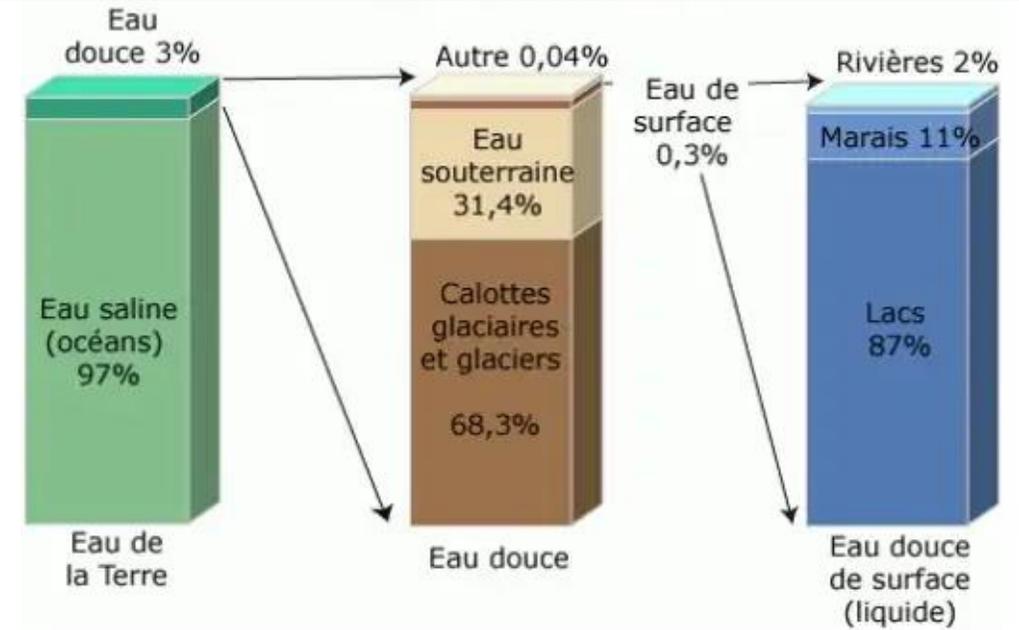
Deux problématiques principales liées à l'eau



Le grand cycle de l'eau

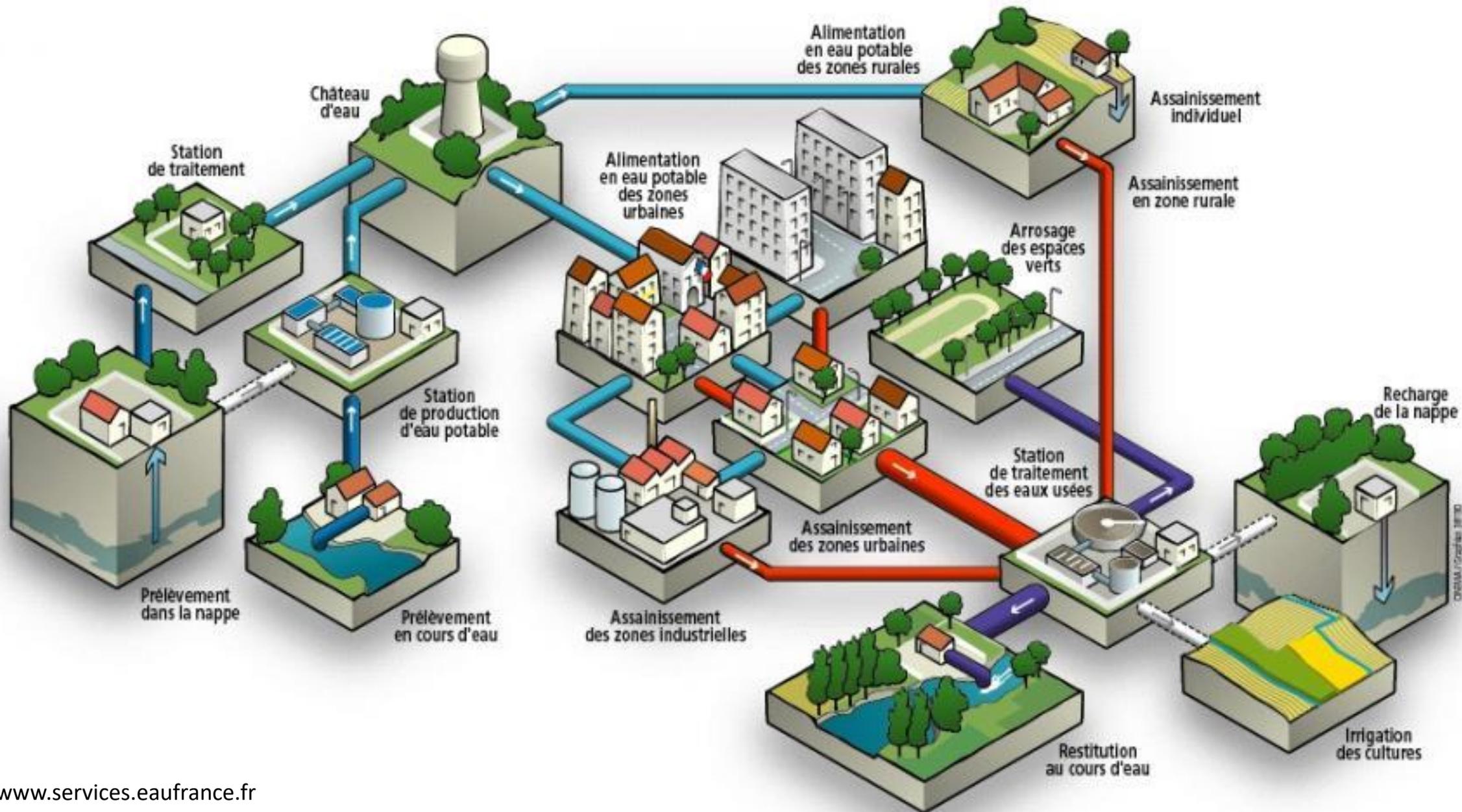


- 1. **Évaporation :** l'eau, sous l'action de la chaleur se transforme en vapeur
- 2. **Condensation :** la vapeur, constituée de minuscules gouttes d'eau, se transforme en nuage
- 3. **Précipitations :** lorsque le nuage est trop lourd, il évacue l'eau par la pluie, la neige, la grêle...
- 4. **Ruissellement :** les précipitations s'écoulent vers les rivières, les lacs, les mers, les océans...
- 5. **Infiltration :** une partie de l'eau provenant des précipitations s'infiltrent (entrent dans le sous-sol pour remplir les nappes phréatiques).



Reservoirs represented by solid boxes: 10^3 km^3 , fluxes represented by arrows: Sverdrups ($10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)
 Sources: Baumgartner & Reichel, 1975; Schmitt, 1995; Trenberth et al., 2007; Schanze et al., 2010; Steffen et al., 2010

Le petit cycle de l'eau



DEMA / Graphie 1970

Une problématique mondiale en quantité et qualité



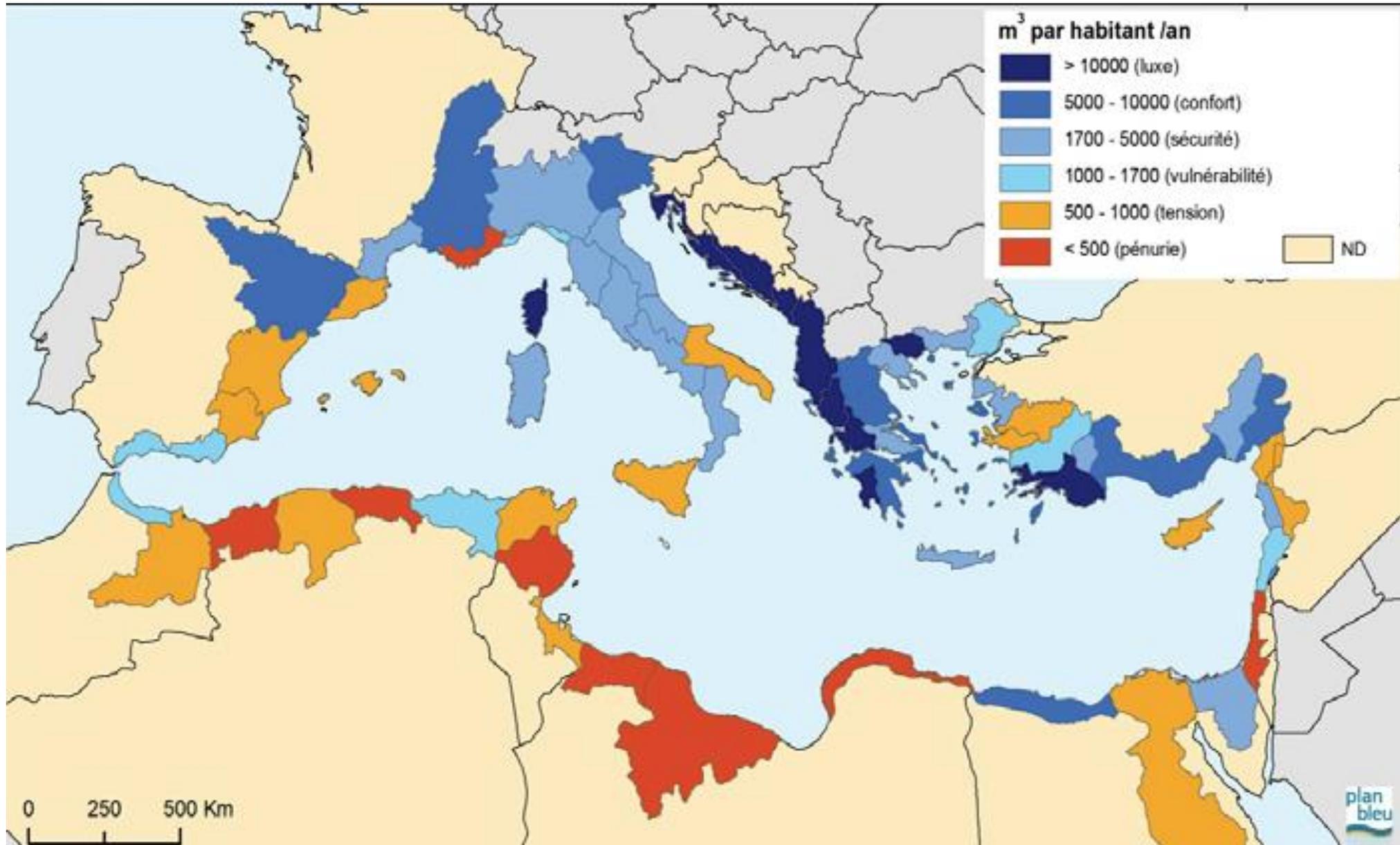
Une problématique mondiale en quantité et qualité



Citarum: le fleuve le plus sale au monde (Indonésie)

Environ cinq millions de personnes vivent dans la cuvette du fleuve et la plupart d'entre eux comptent sur son écoulement pour leur approvisionnement en eau.

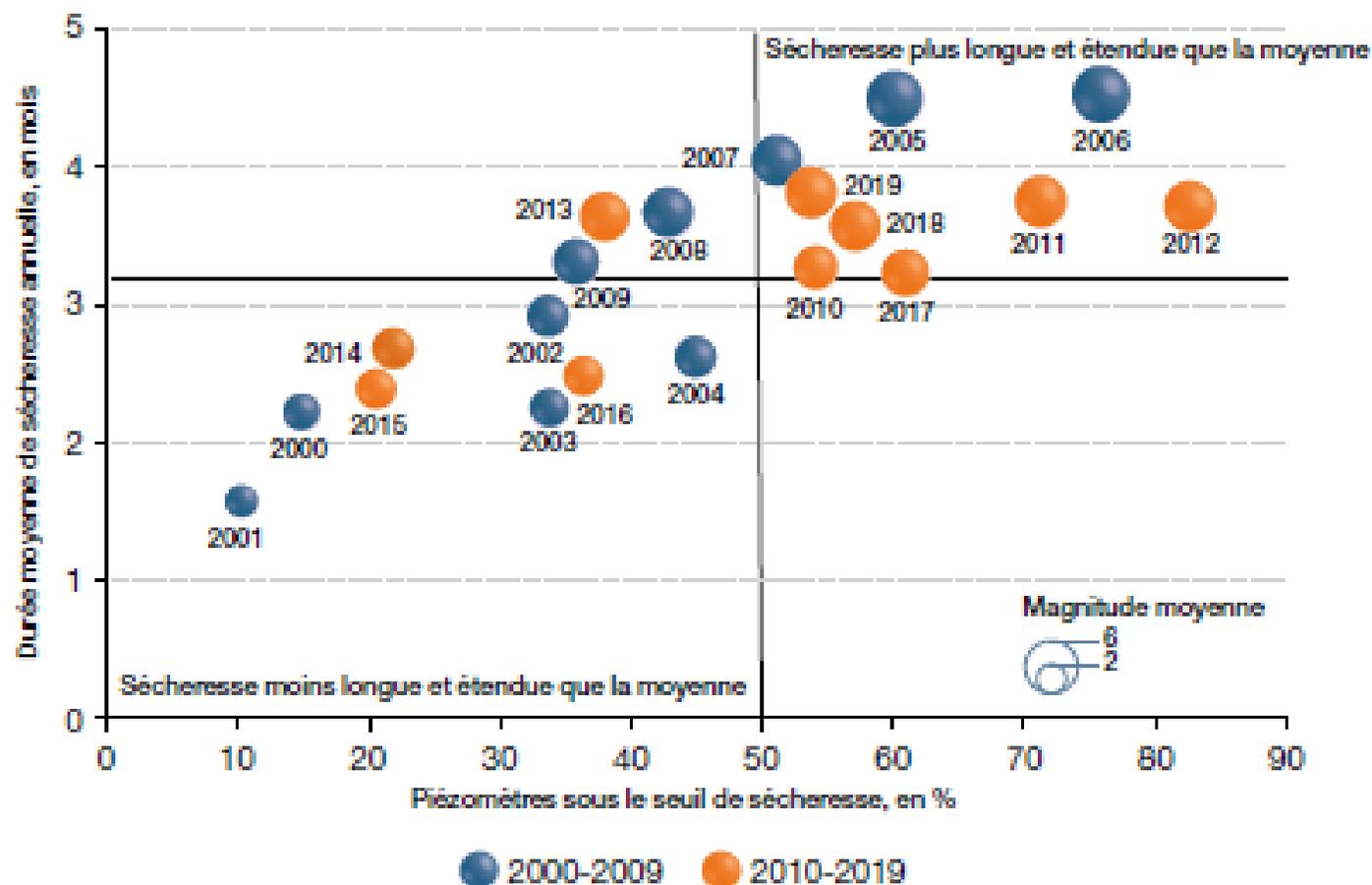
Une problématique mondiale en quantité et qualité



Une problématique mondiale en quantité et qualité

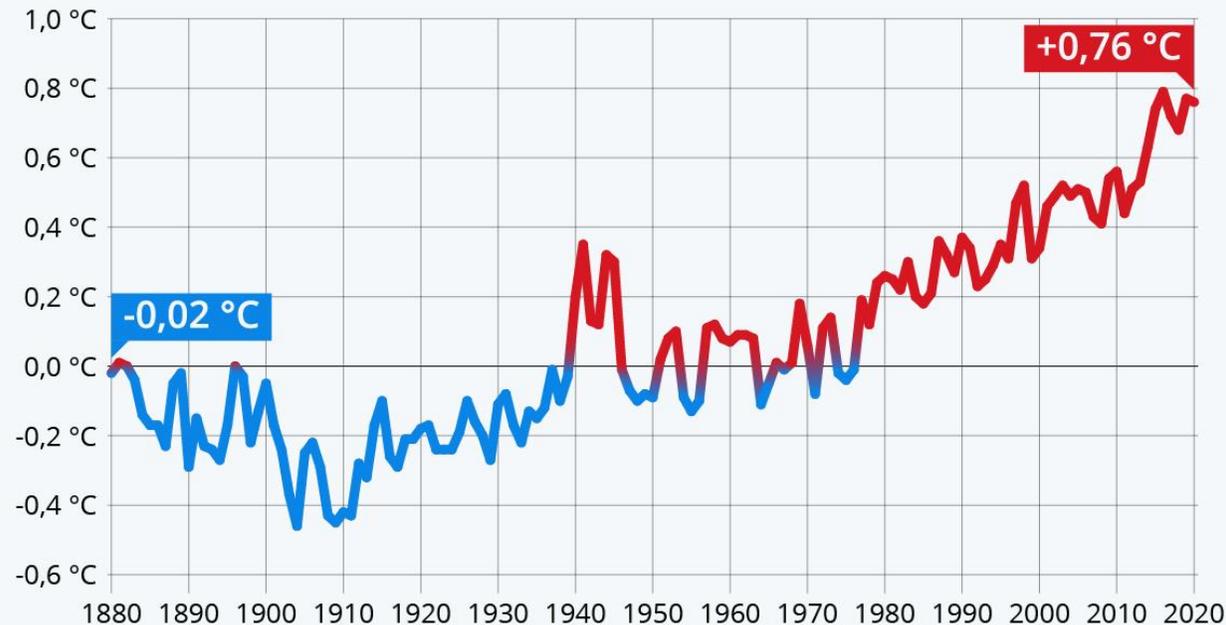
Neuf fois en 20 ans, la sécheresse annuelle des nappes a été plus longue et plus étendue que la moyenne : trois fois sur la décennie 2000-2009 et six fois sur la décennie 2010-2019.

ÉVOLUTION DE L'INDICATEUR NATIONAL DE SÉCHERESSE DES NAPPES



L'océan se réchauffe de plus en plus vite

Anomalies de température de l'océan dans le monde par rapport à la moyenne du 20ème siècle (°C) *



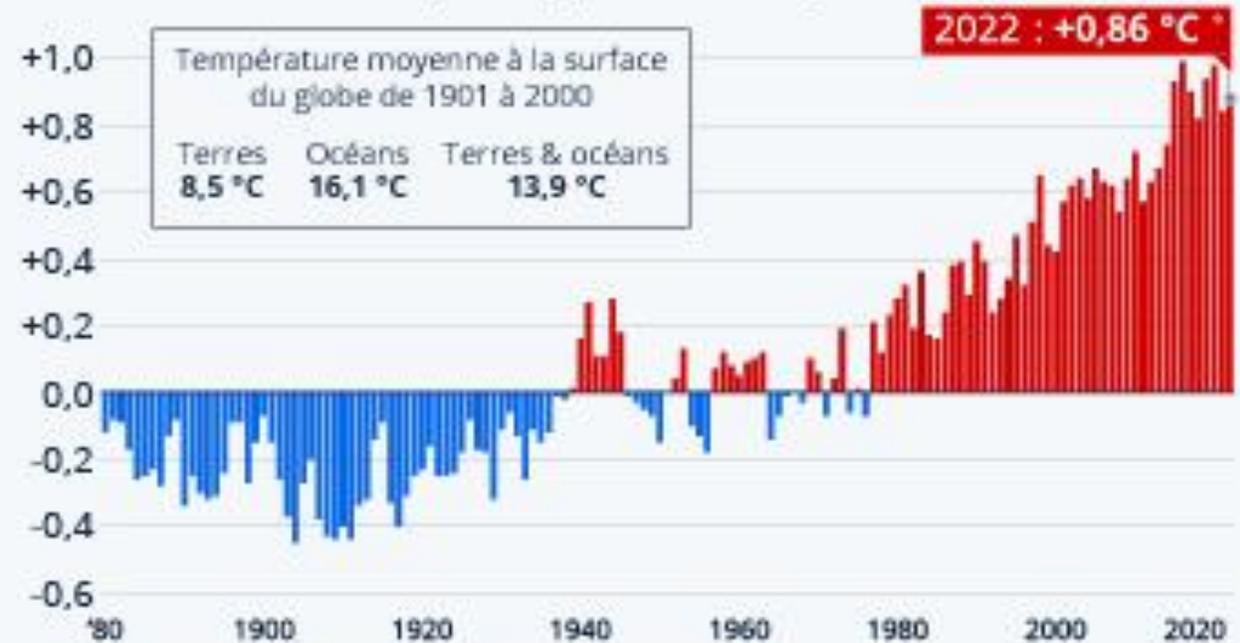
* Température de surface.

Source : NOAA (Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique)



Les 8 dernières années ont été les plus chaudes jamais mesurées

Anomalies de température à la surface des terres et des océans (en °C par rapport à la moyenne du 20e siècle)

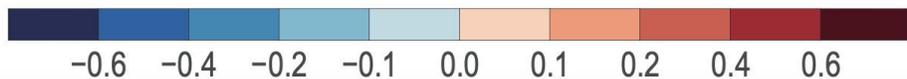
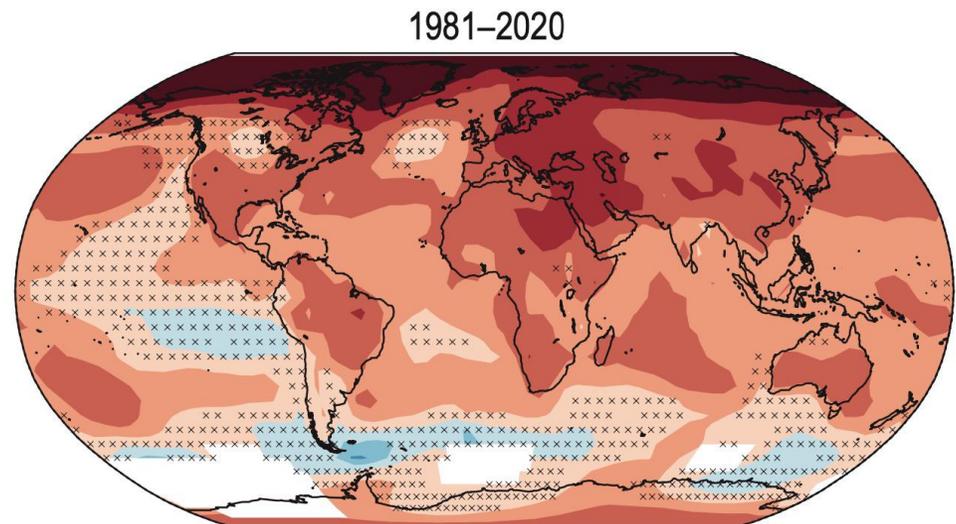
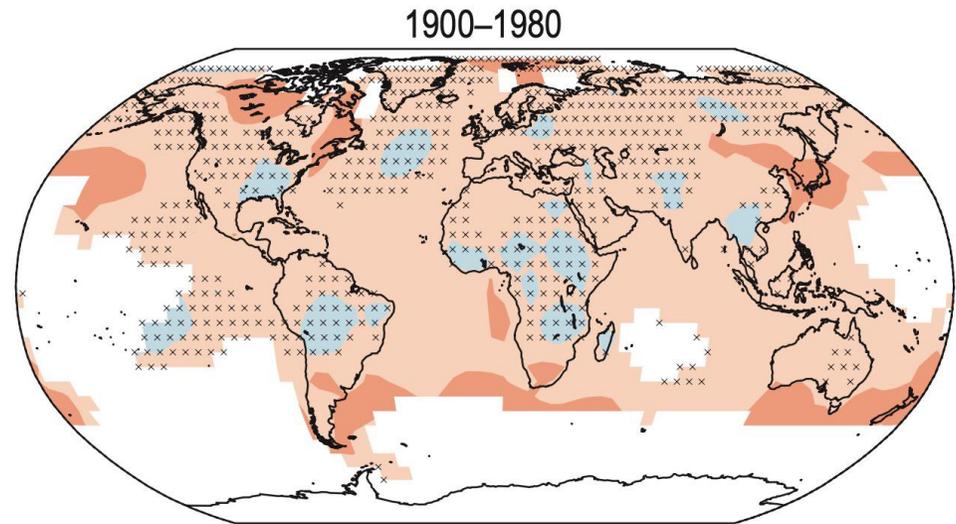


* La donnée de 2022 se réfère à l'anomalie de température moyenne de janvier à septembre.

Source : NOAA

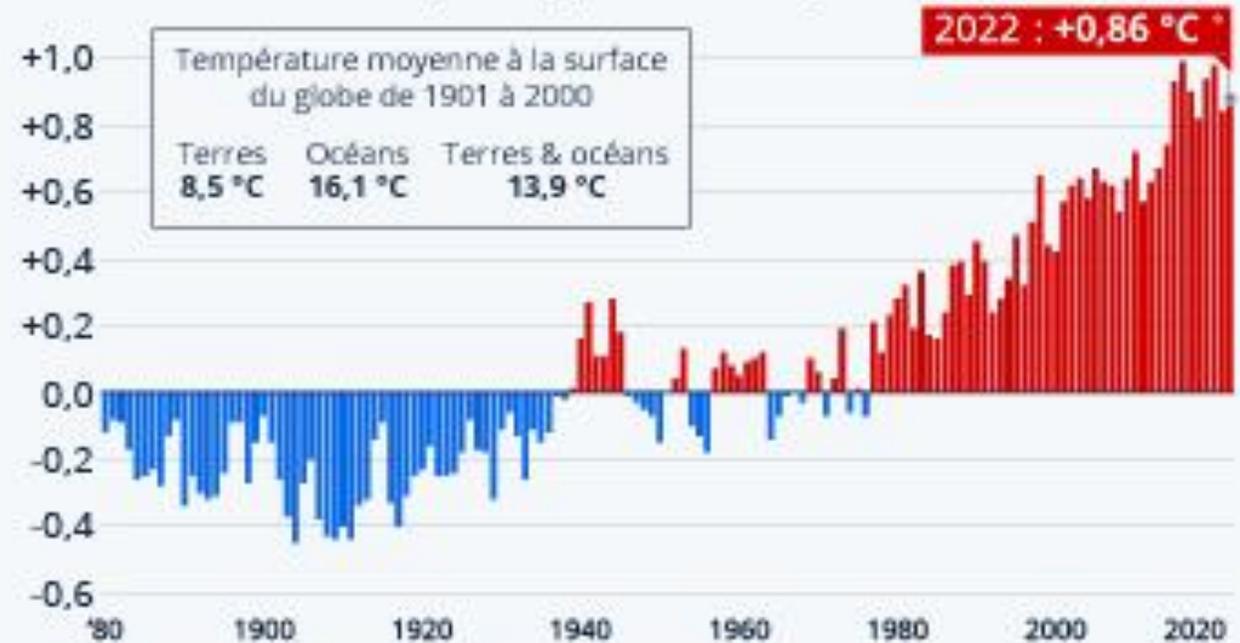


Et maintenant le dérèglement climatique ...



Les 8 dernières années ont été les plus chaudes jamais mesurées

Anomalies de température à la surface des terres et des océans (en °C par rapport à la moyenne du 20e siècle)



* La donnée de 2022 se réfère à l'anomalie de température moyenne de janvier à septembre.

Source : NOAA



Et maintenant le dérèglement climatique ...

Écart à la normale 1981-2010 des températures moyennes de 1900 à 2018

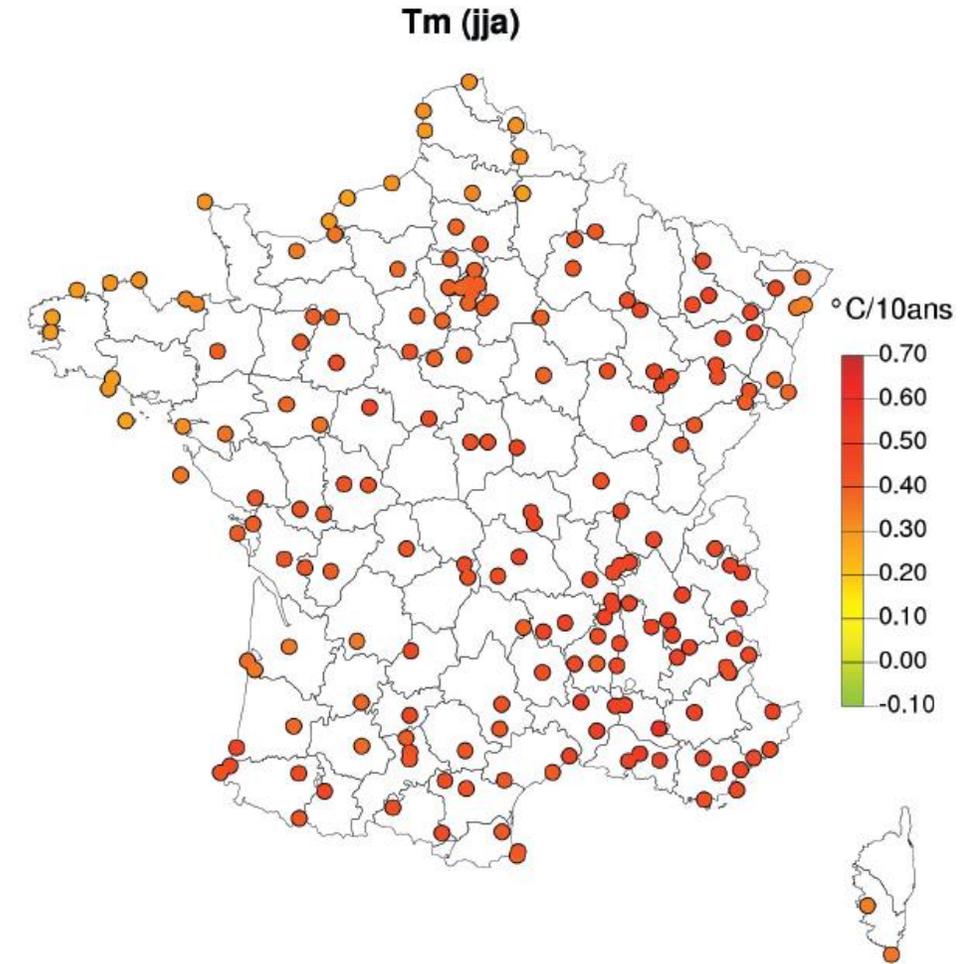
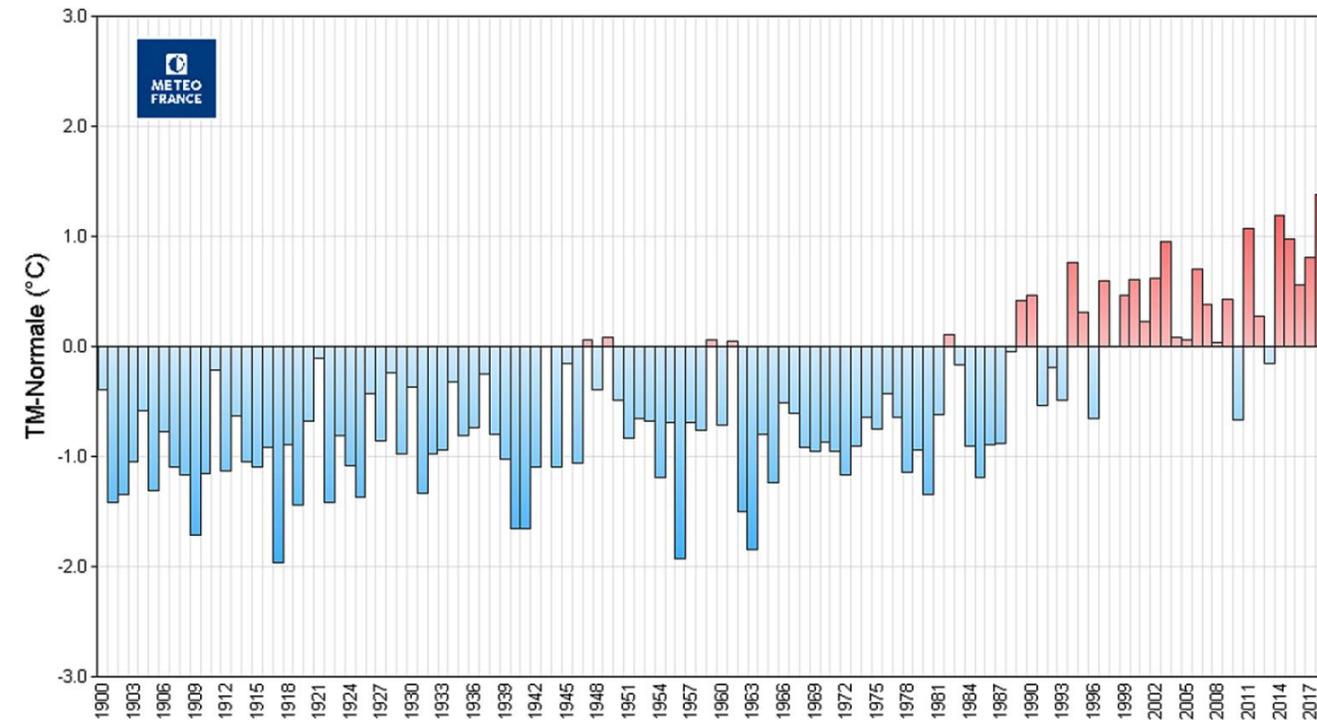
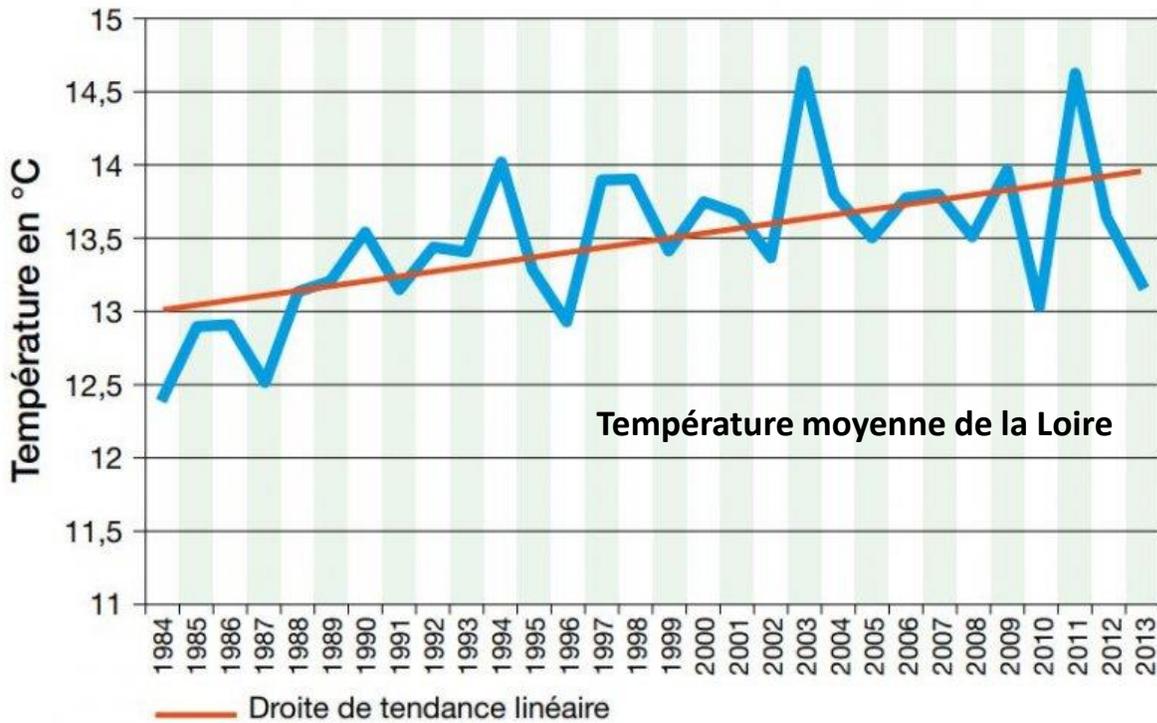


Figure A1 – Tendances annuelles des séries homogénéisées de température moyenne en été en °C par décennie, sur la période 1959-2009. Les points cerclés de noir indiquent les tendances significatives au seuil de confiance de 95 %

Source : Gibelin et al., 2014.

Impact sur les eaux de surface

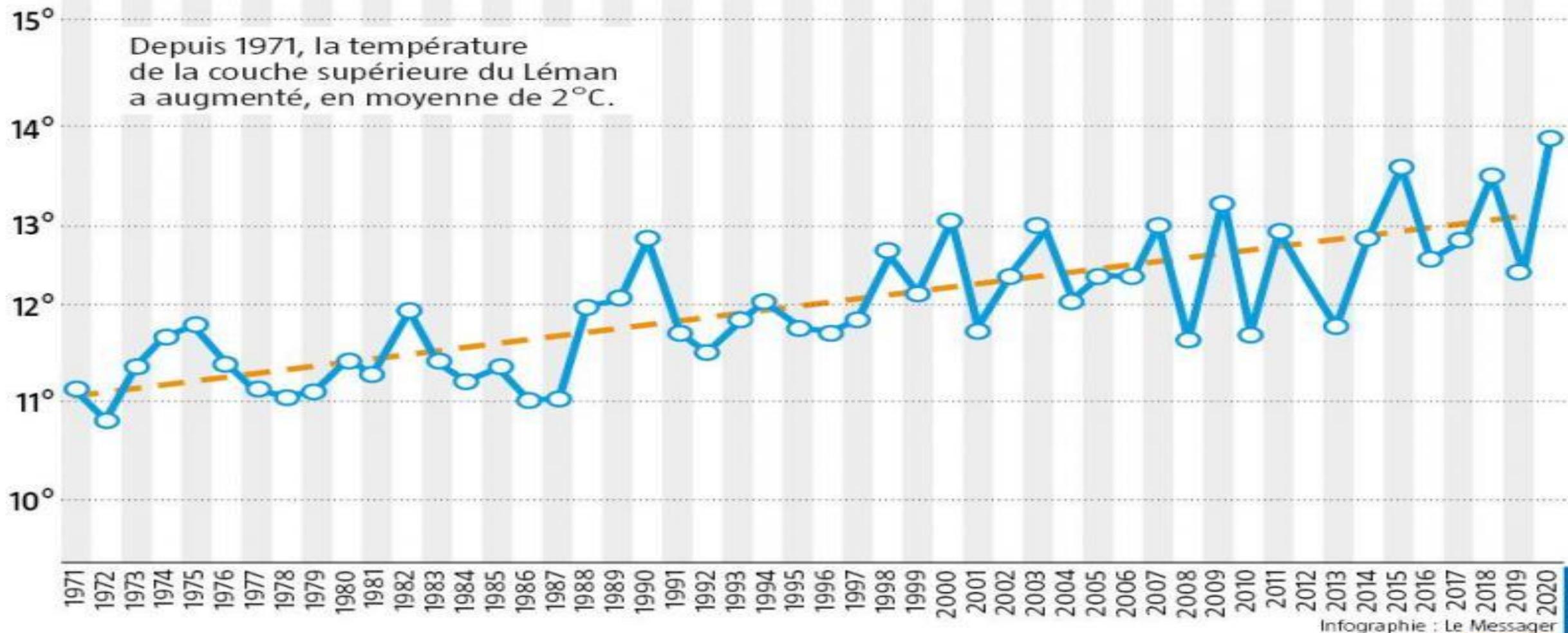


En France, la température moyenne de l'air a augmenté d'environ 1°C depuis le XX^e siècle avec une accélération plus marquée à partir du milieu du XX^e siècle.

Une étude de Ribes et al (2016) montre effectivement une élévation de la température en France de $1,5 \pm 0,5$ °C sur la période 1959–2009.

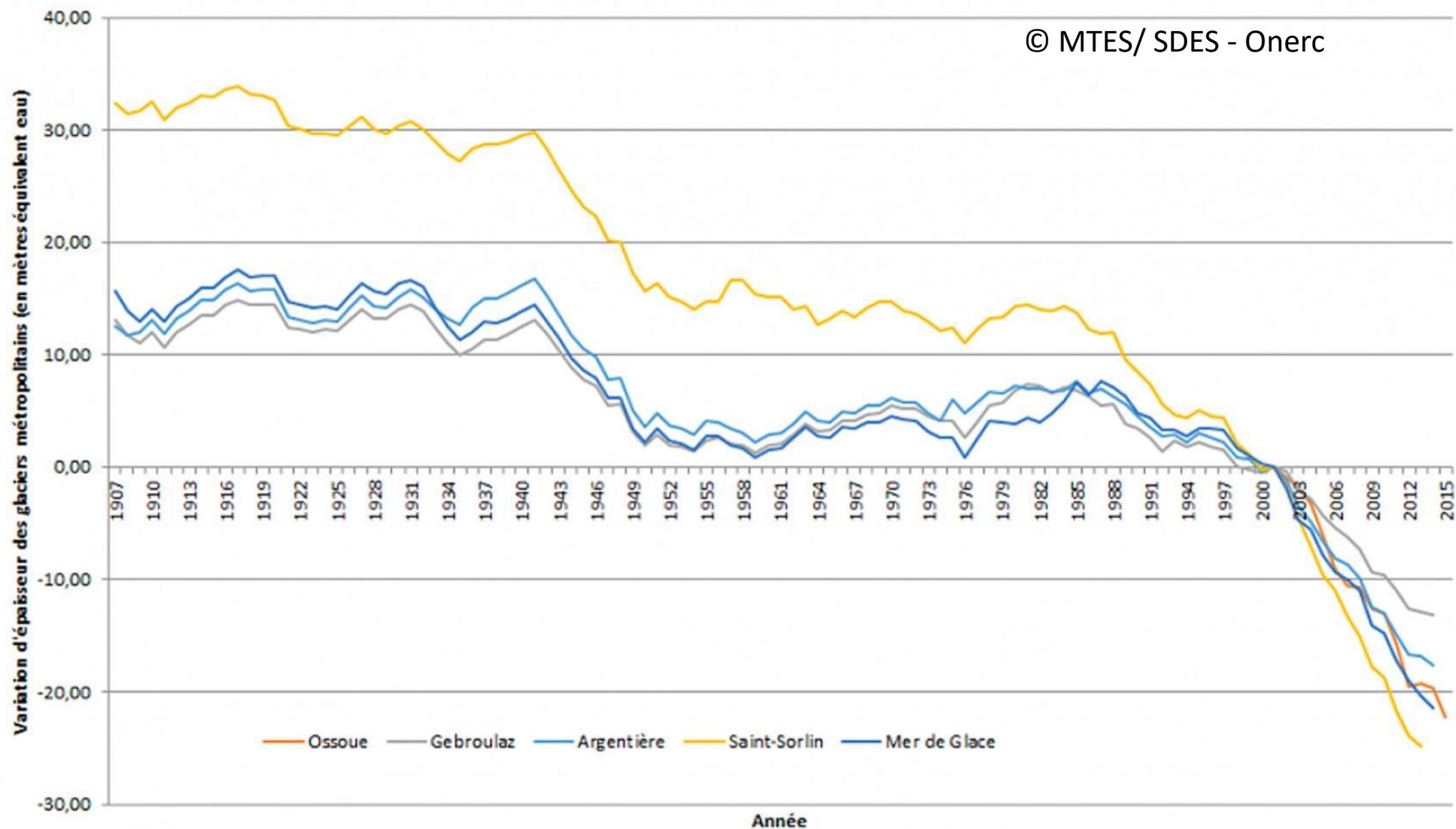
Cette augmentation s'est accompagnée d'une élévation de la température des eaux, mise en évidence dans plusieurs cas comme par exemple sur la Loire moyenne qui s'est réchauffée en moyenne de 1,2°C en 32 ans ainsi que sur le lac du Bourget où la température moyenne des eaux a augmenté de 1,1°C entre 1984 et 2011.

Evolution de la température du lac



Infographie : Le Messager

Impact sur la fonte des glaciers

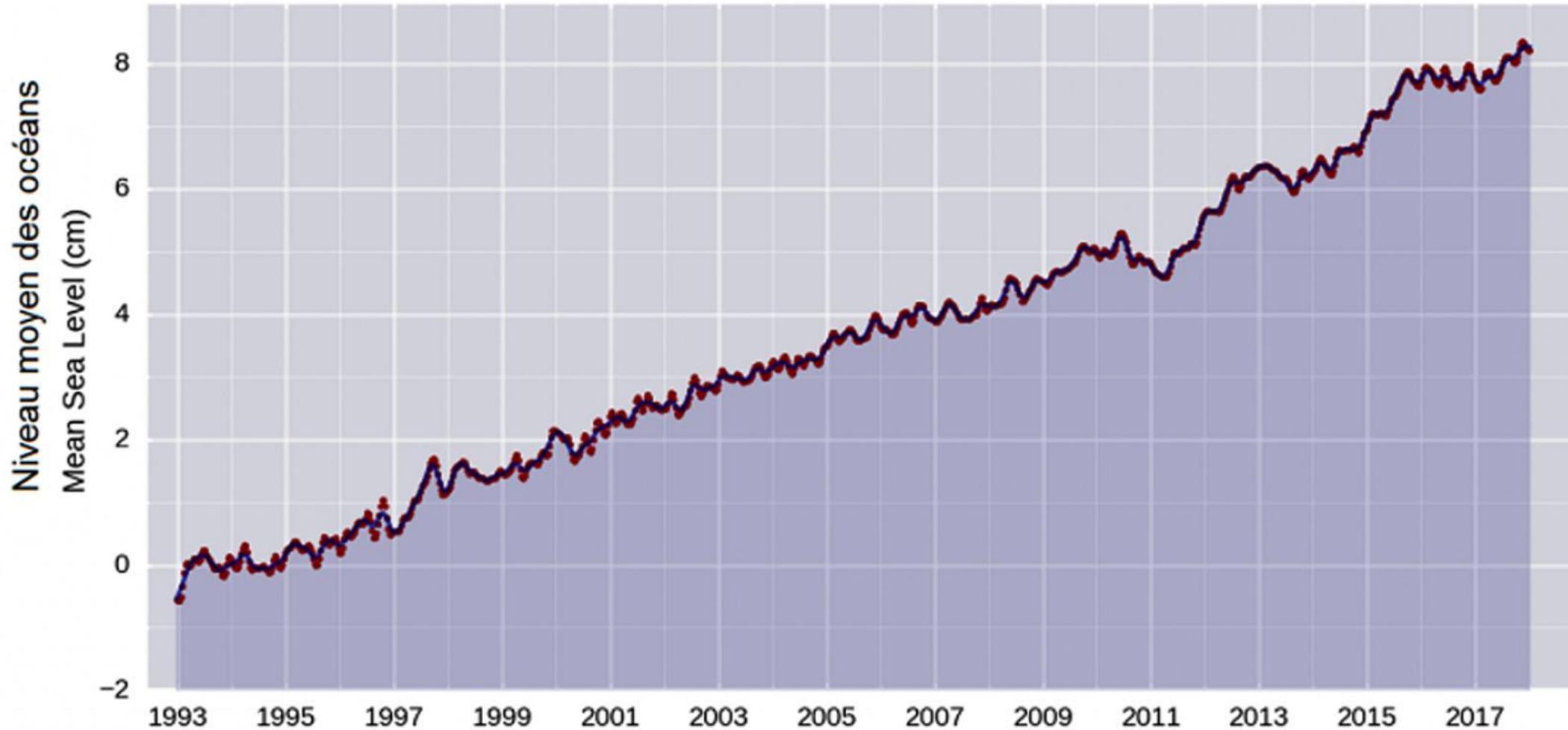


Impact sur le niveau moyen des mers

Date dernière mesure
16 janvier 2018

+3.31 mm/an

Reference GMSL - corrigée rebond



Impact sur le niveau moyen des mers



Figure 7 – Kilomètres d'infrastructures de transport inondées en cas de remontée du niveau de la mer de 1 mètre

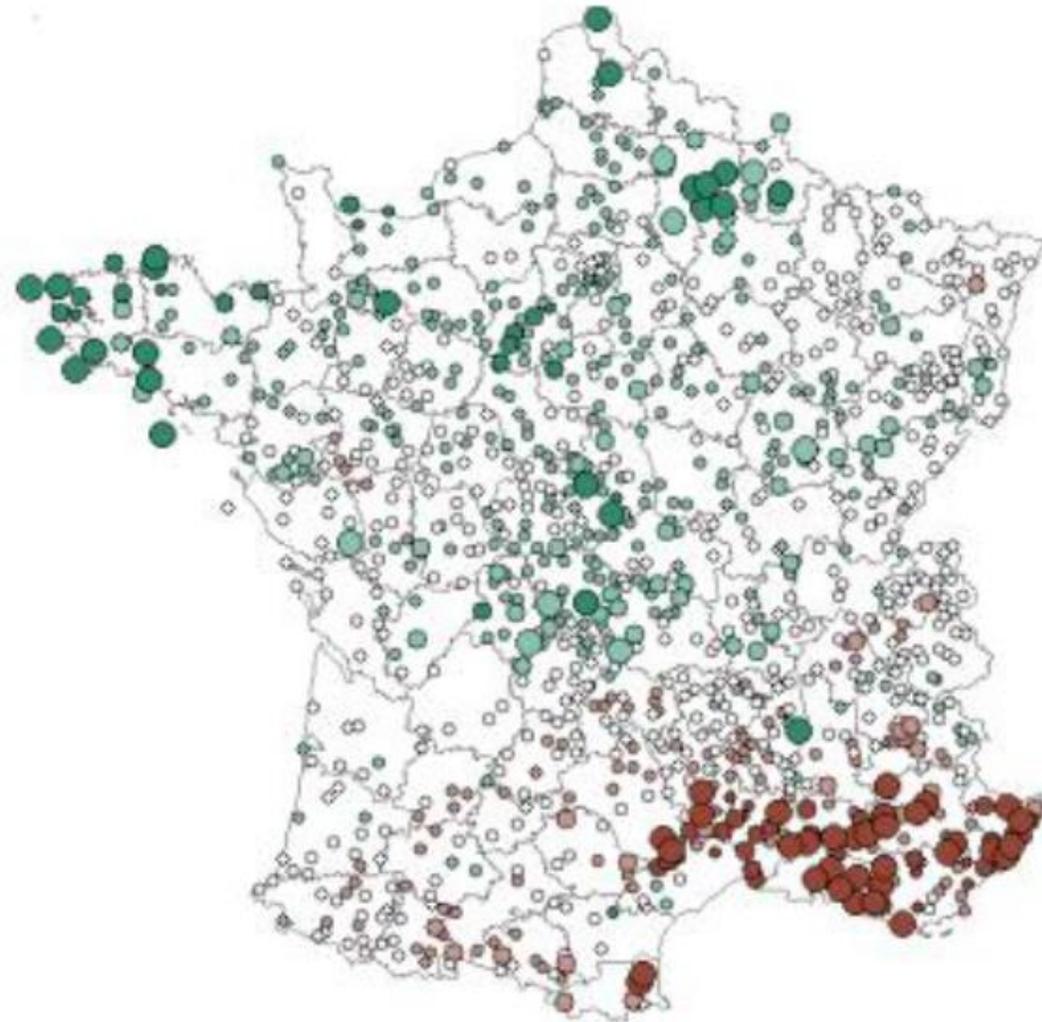
Source : ONERC.

Impact sur le niveau moyen des mers

Evolution observée du cumul estival de précipitations sur la période 1959-2009

Il s'agit de cumuls trimestriels de précipitations, qui par conséquent ne décrivent en rien les modalités de ces précipitations (nombre d'épisodes pluvieux, pluies intenses, nombre de jours consécutifs sans pluie, etc.).

L'évolution observée des précipitations se distingue de l'évolution observée des températures par l'absence d'une tendance statistiquement significative.



Couleur des symboles

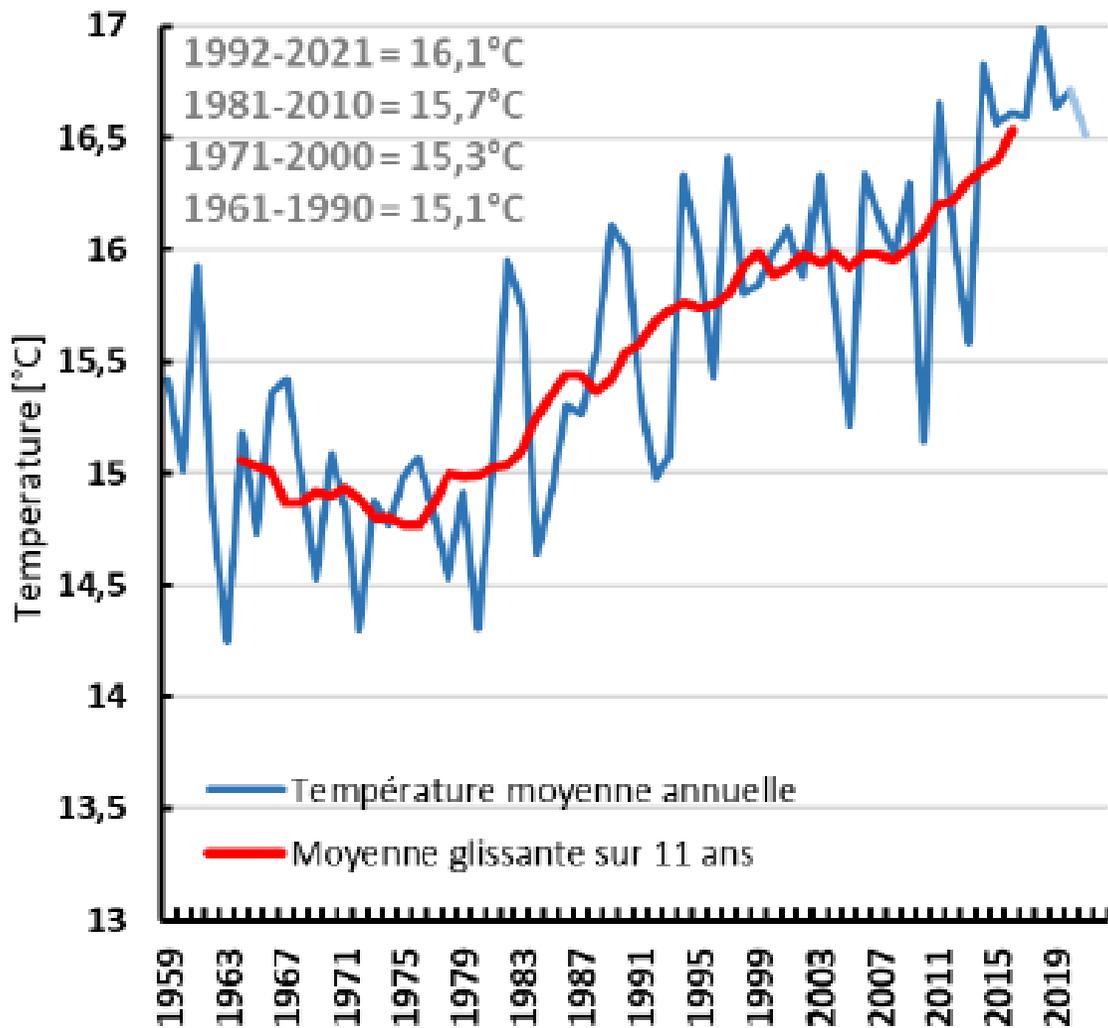
- Augmentation
- Augmentation faible
- Pas d'évolution
- Diminution faible
- Diminution

Taille des symboles

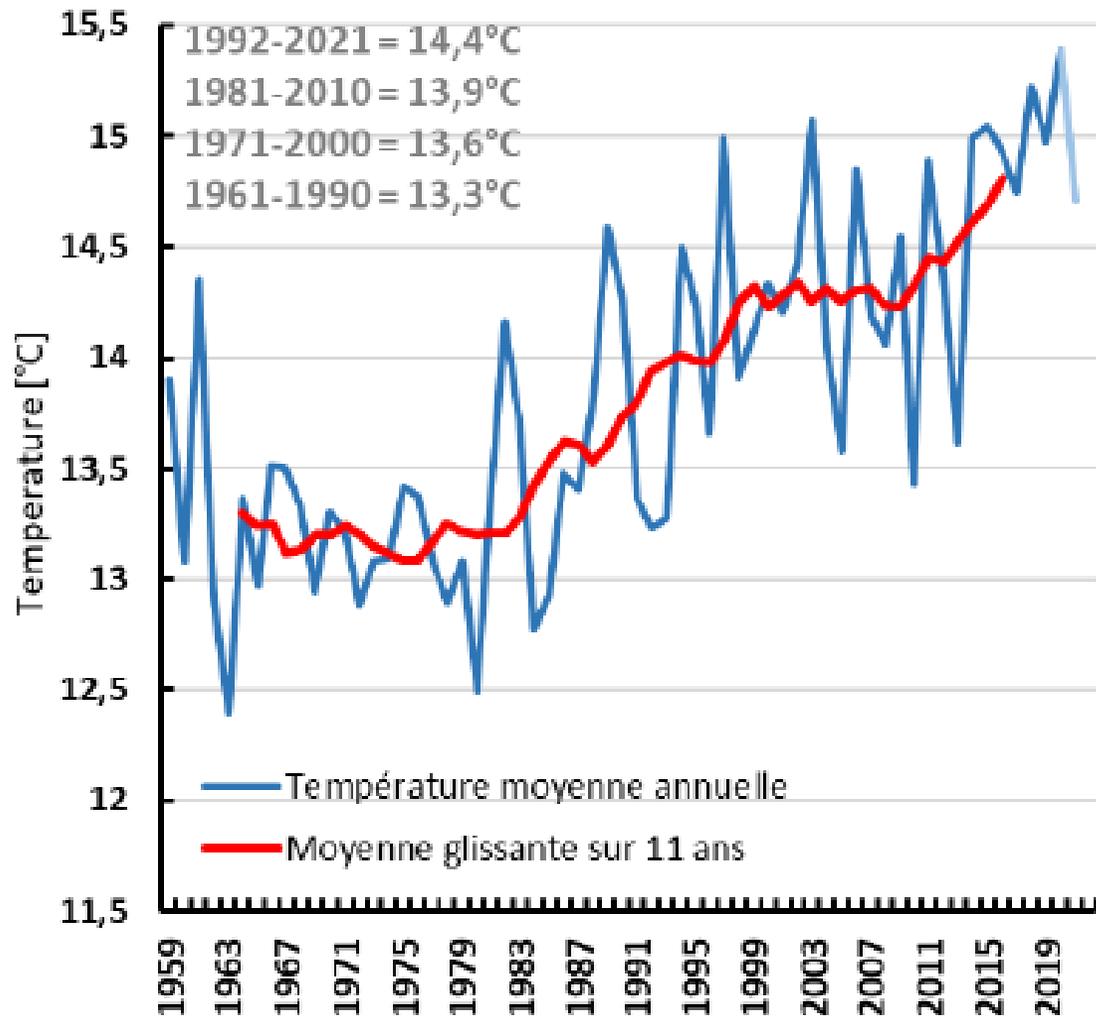
- Confiance élevée
- Confiance modérée
- Confiance faible

Au niveau regional ...

Perpignan (66)

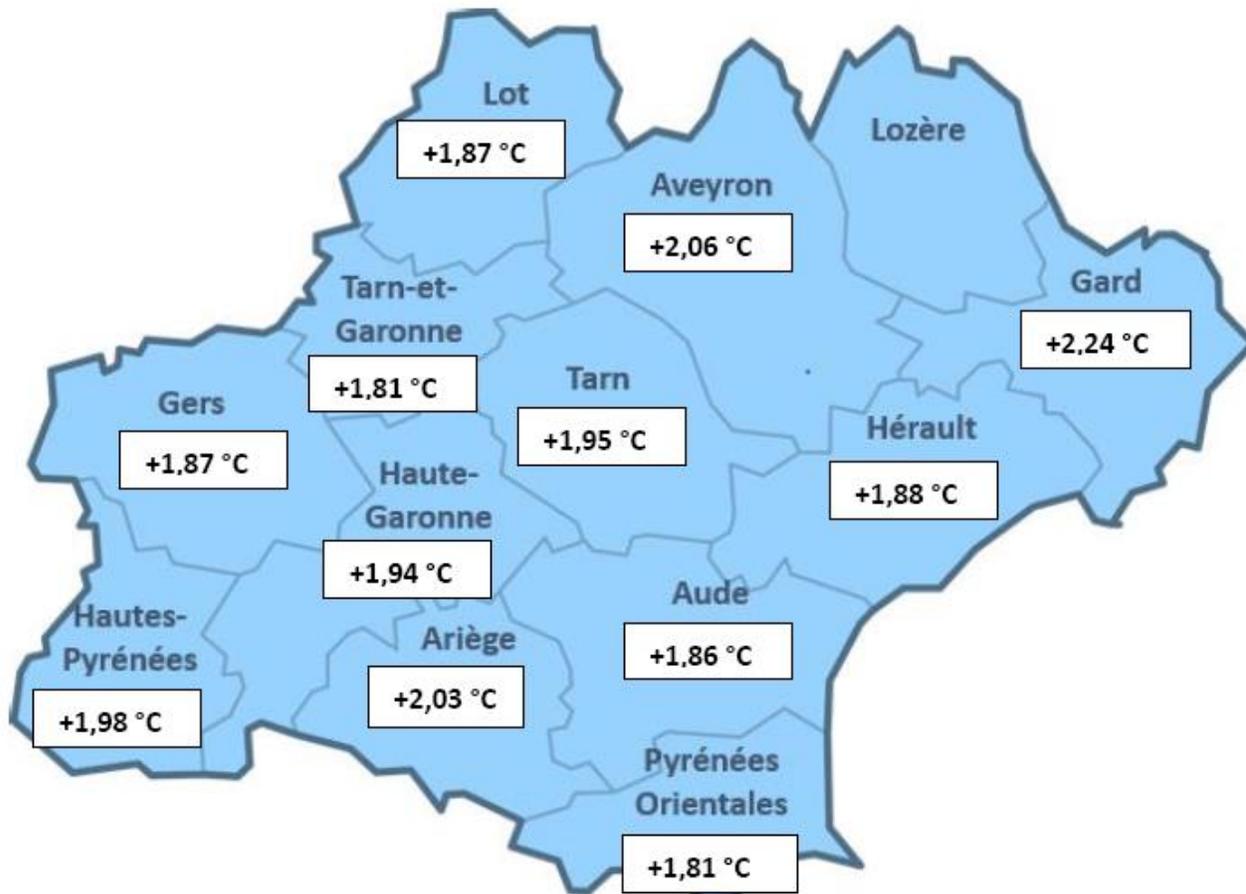


Carcassonne (11)



Au niveau regional ...

Evolution de la température moyenne annuelle en 62 ans



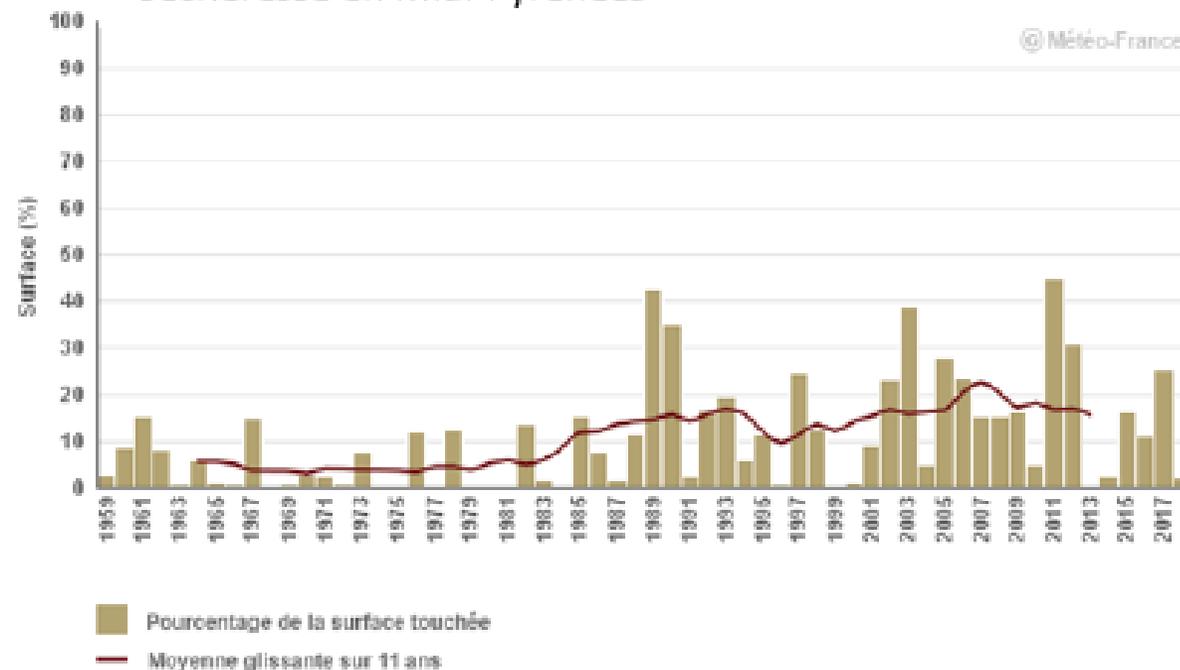
Le changement climatique se traduit principalement par une hausse des températures, marquée surtout depuis les années 1980. Sur la période 1959-2009, on observe une augmentation des températures annuelles de 0.3°C par décennie en moyenne sur la région.

Au niveau regional ...

Pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse en Languedoc Roussillon



Pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse en Midi-Pyrénées

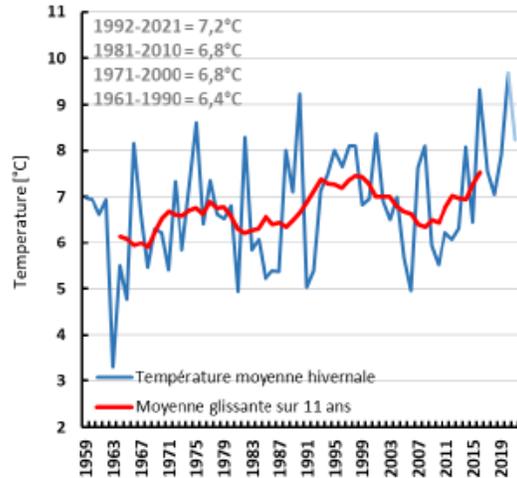


L'évolution de la moyenne décennale montre une forte augmentation de la surface des sécheresses passant de valeurs de l'ordre de 5 % dans les années 1960 à plus de 15 % ou 20 % de nos jours.

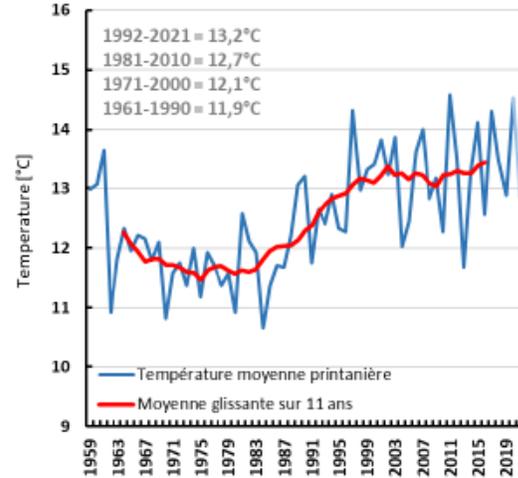
Au niveau regional ...

Carcassonne (11)

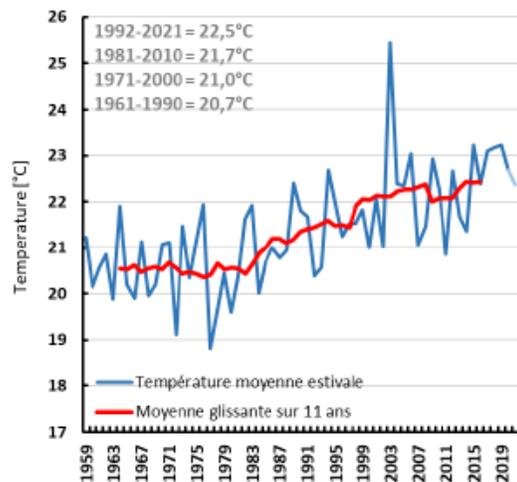
Hiver



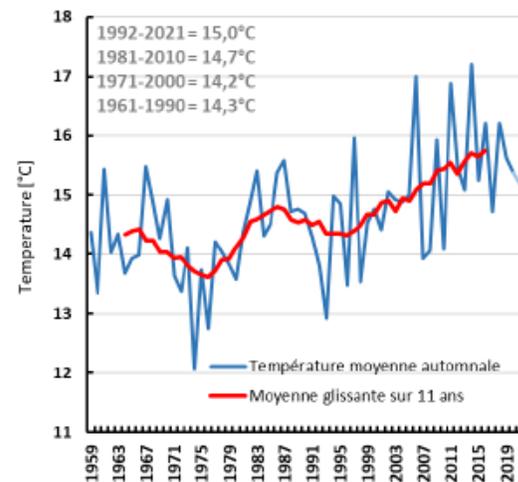
Printemps



Été



Automne



L'évolution tendancielle des températures est plus importante en été et au printemps.

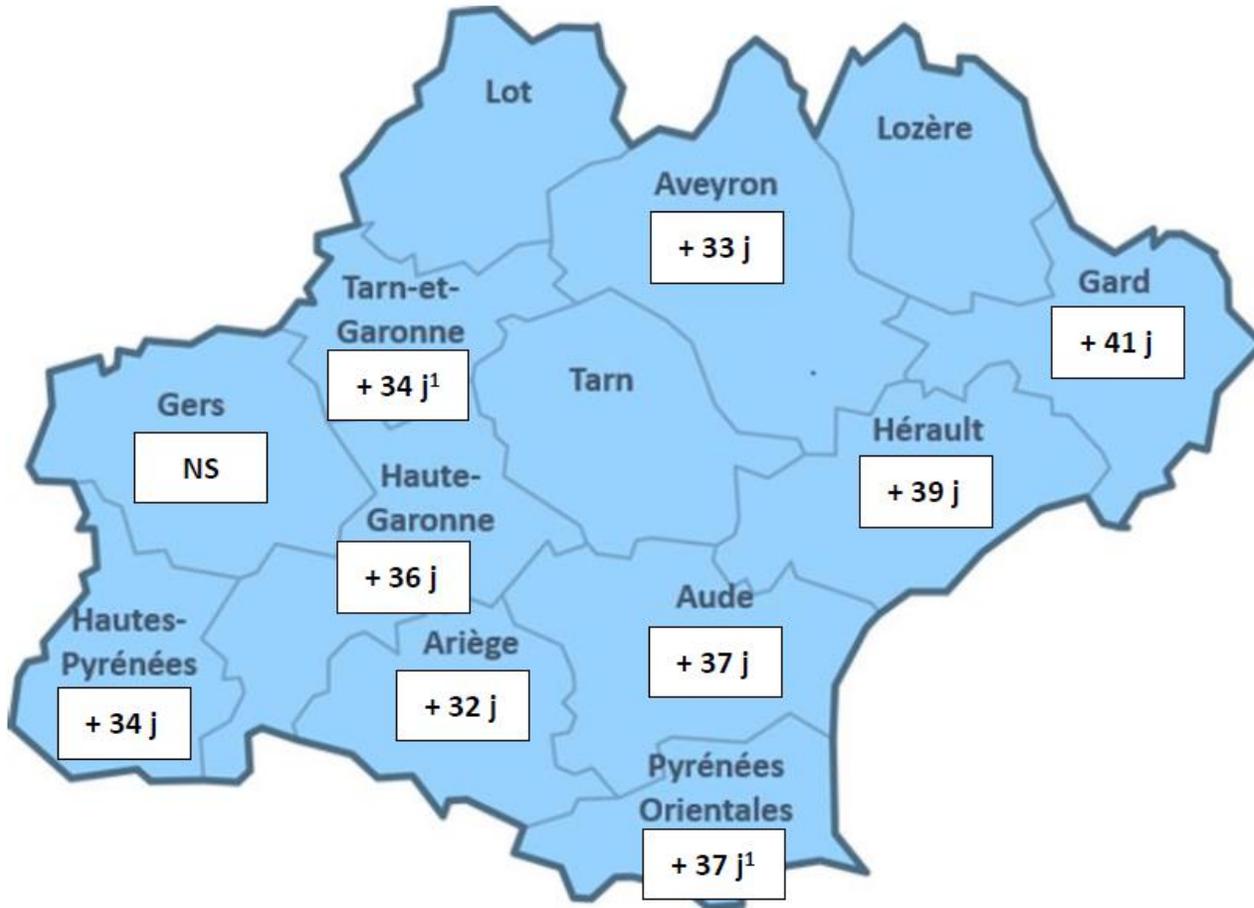
En moyenne sur 12 stations de la région Occitanie, l'évolution tendancielle entre 1959 et 2021 est de 0,28°C par décennie en automne, de 0,34°C par décennie au printemps, de 0,22°C par décennie en hiver et de 0,45°C par décennie en été.

À l'échelle saisonnière, ce sont le printemps et l'été qui se réchauffent le plus, avec des hausses de 0,3°C à 0,5°C par décennie.

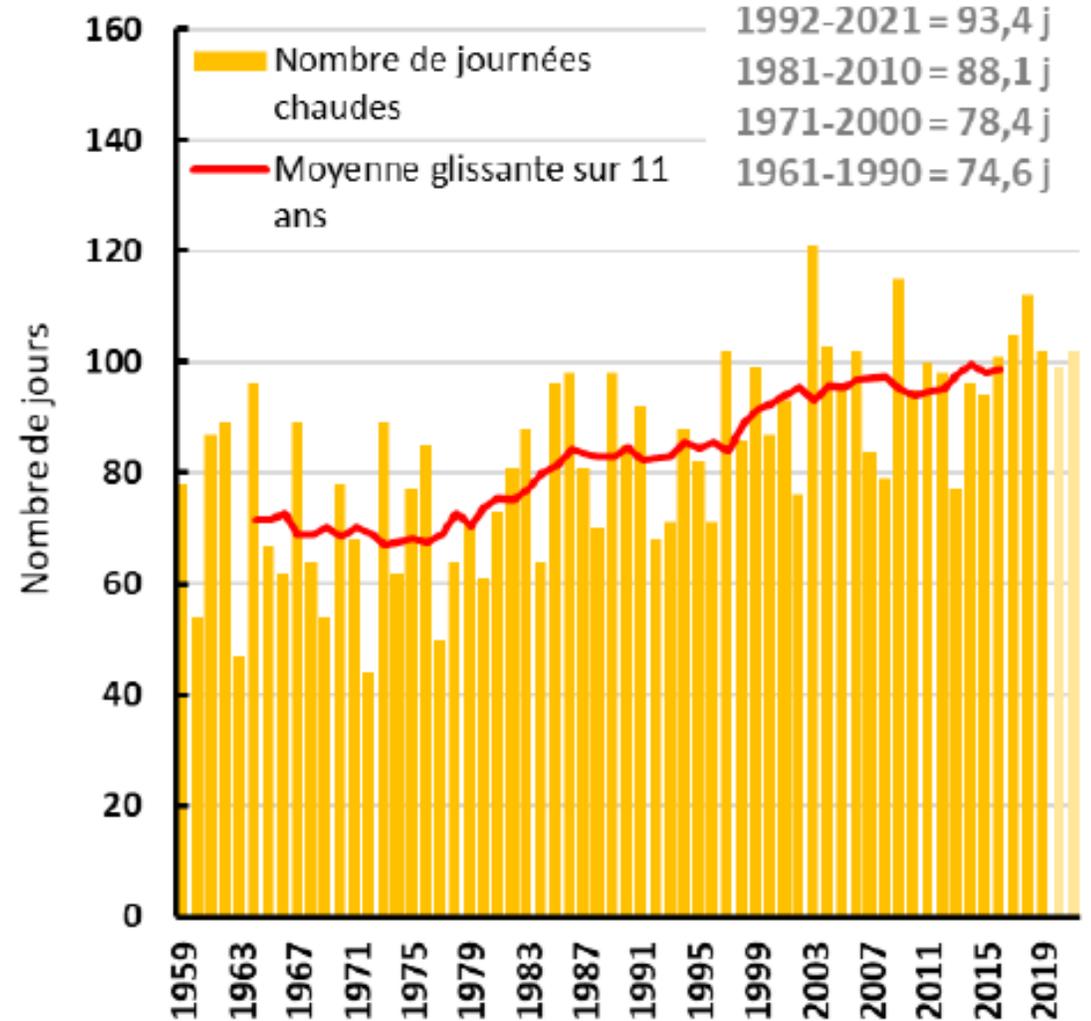
En automne et en hiver, les tendances sont également en hausse mais avec des valeurs moins fortes, d'environ 0,1°C à 0,3°C par décennie.

Au niveau regional ...

Evolution du nombre de jours estivaux ($\geq 25^\circ\text{C}$) en 62 ans

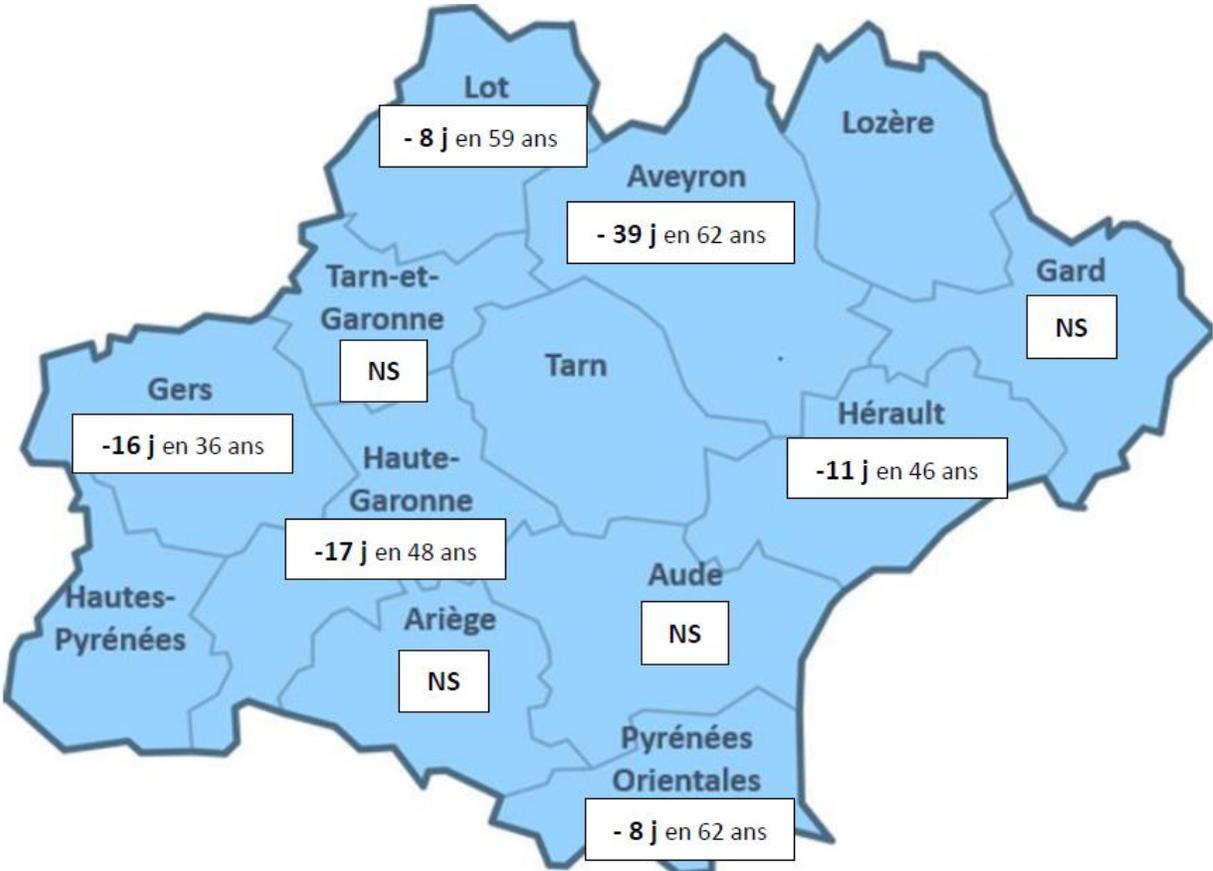


Carcassonne (11)

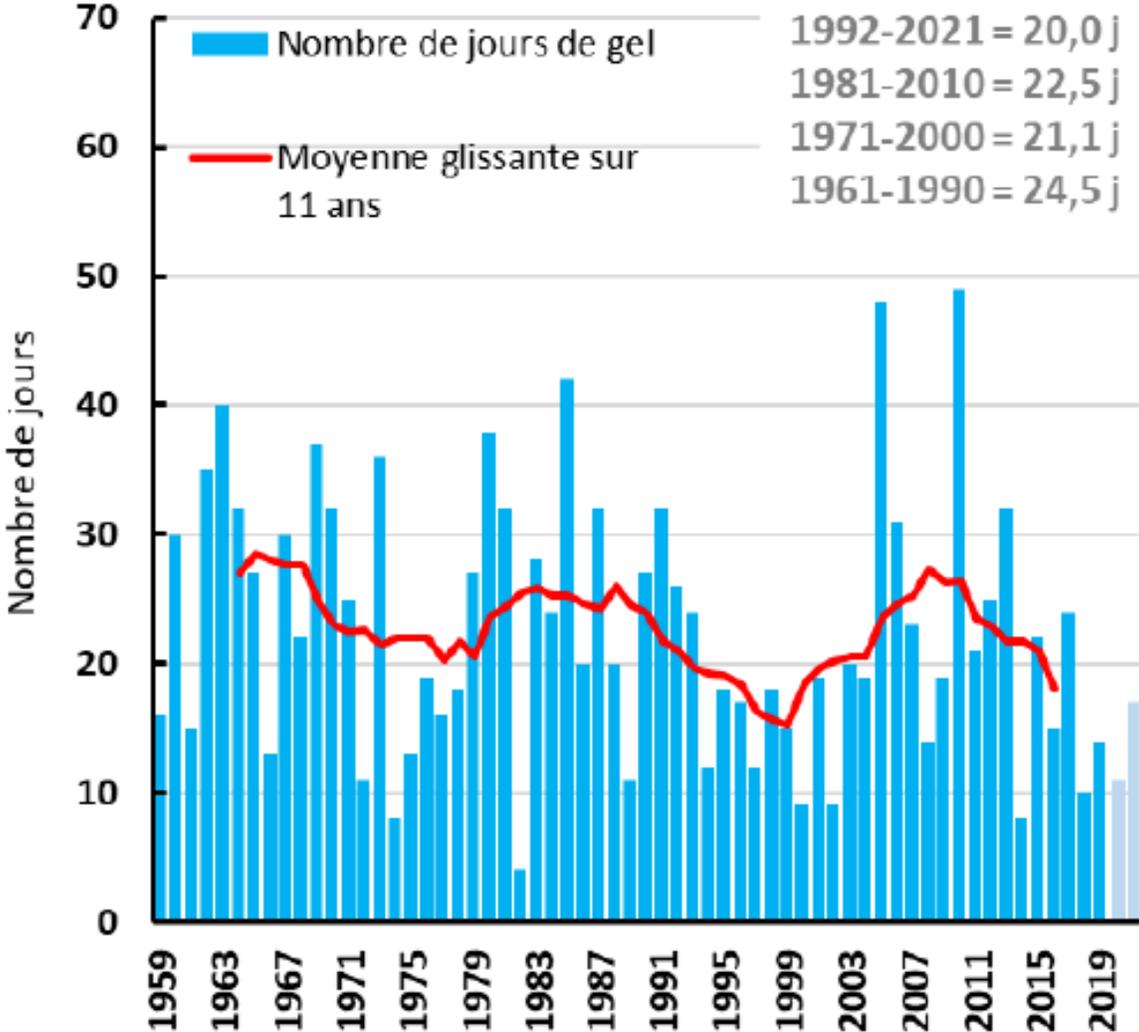


Au niveau regional ...

Evolution du nombre de jours de gel



Carcassonne (11)

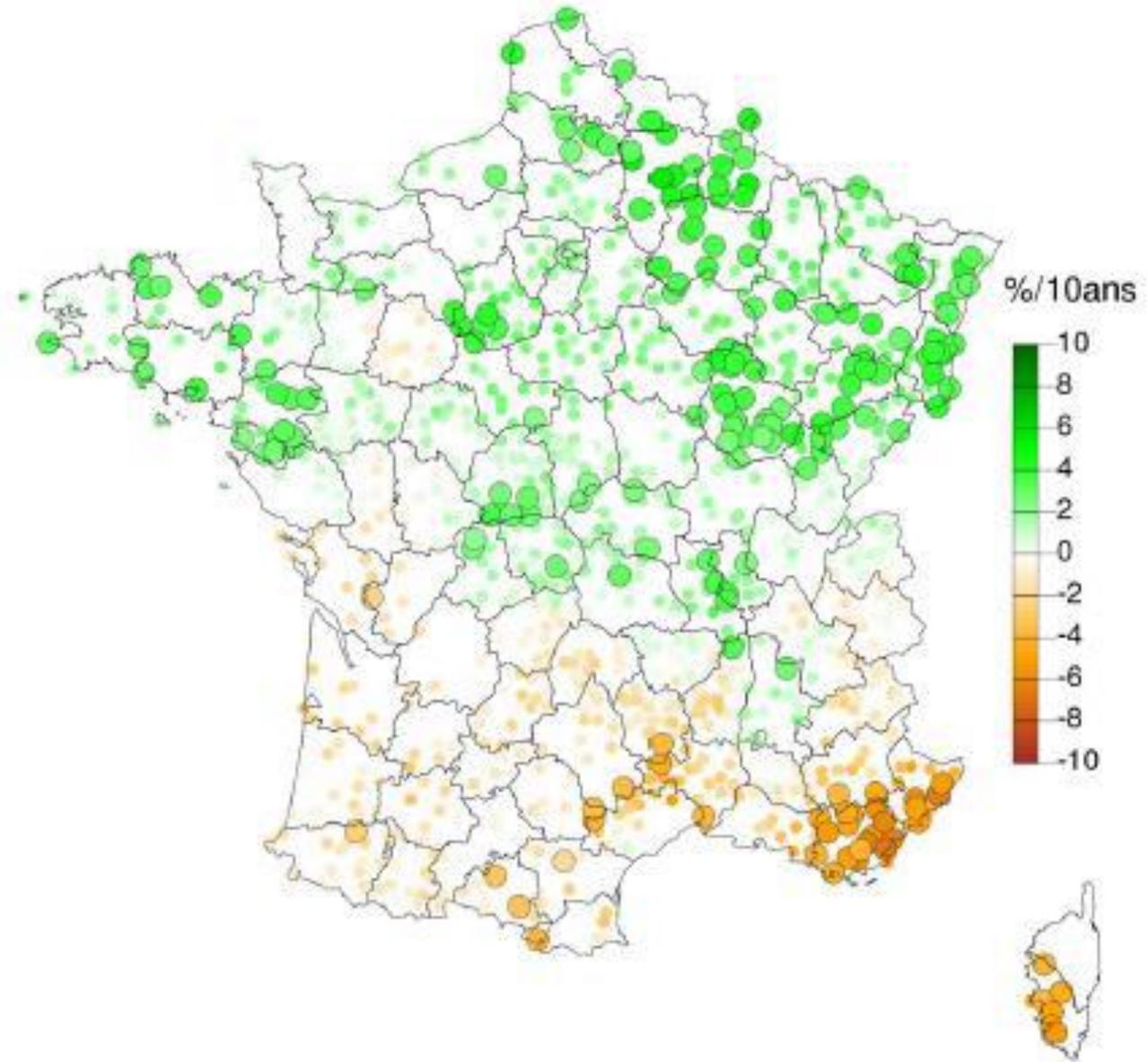


Source : Oracle 2023

Au niveau regional ...

On observe de fortes variations des précipitations inter annuelles et pluri-annuelle pouvant atteindre plus de 500 mm entre deux années consécutives sur certaines stations (exemple à Carcassonne avec 1169 mm l'année 1996 et 584 mm l'année 1997 soit une différence de 585 mm).

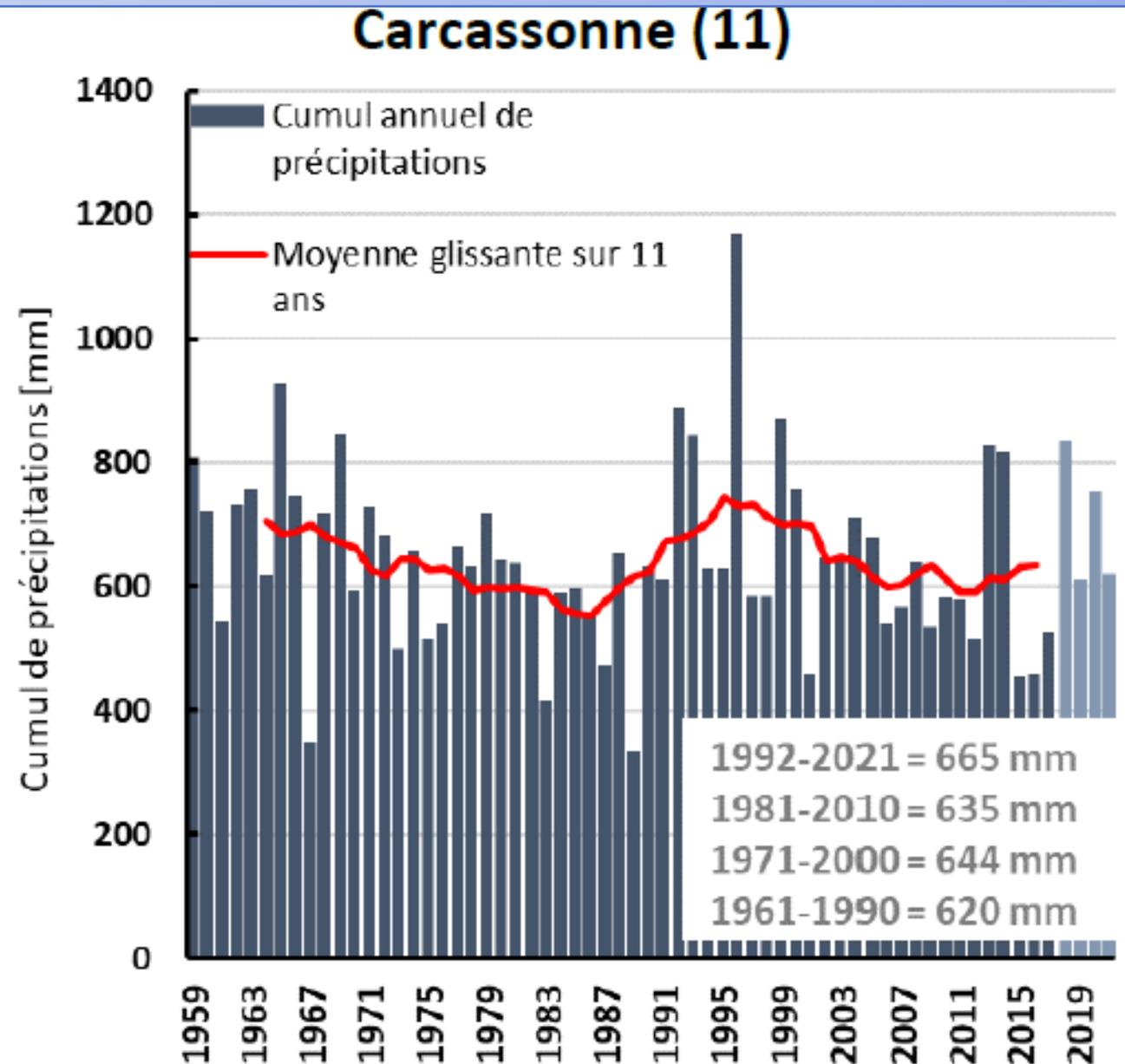
Cette variation annuelle, nettement supérieure à la variation tendancielle sur la période d'étude, perturbe la perception d'une tendance éventuelle.



Au niveau regional ...

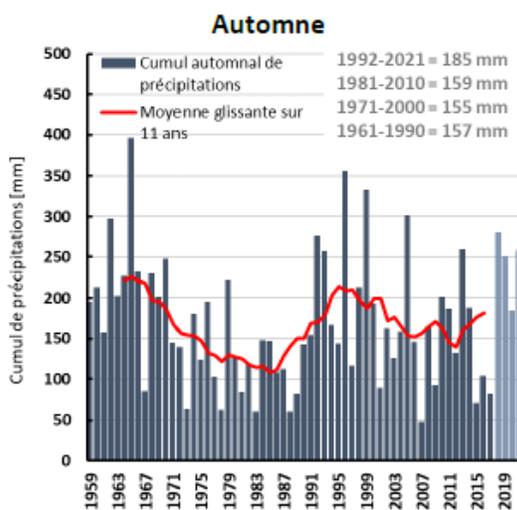
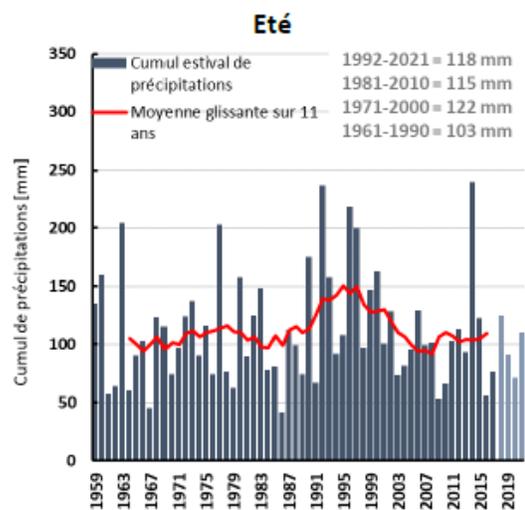
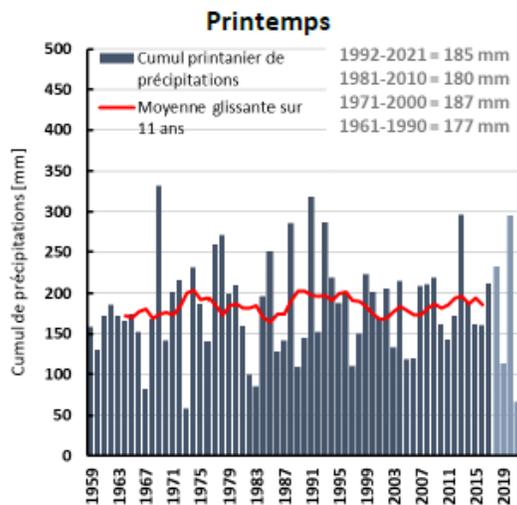
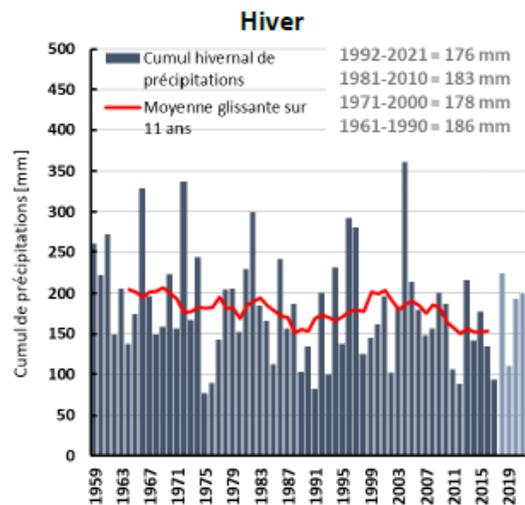
L'évolution des précipitations est moins visible car la variabilité d'une année sur l'autre est importante.

Sur la période 1959-2009 en Occitanie, la tendance annuelle de la pluviométrie est à la baisse, une baisse peu marquée.

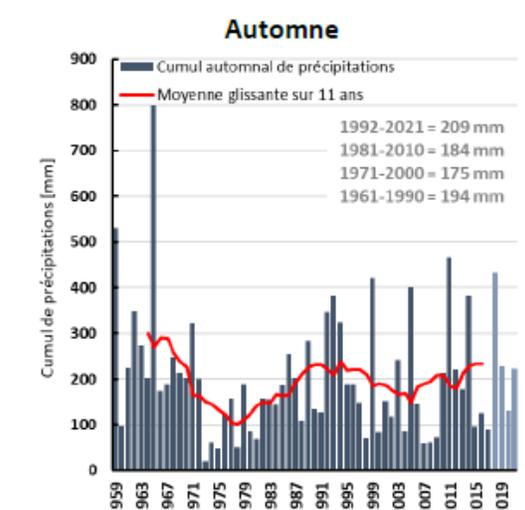
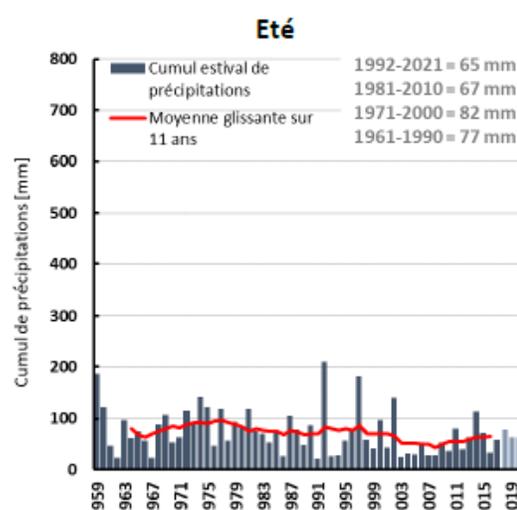
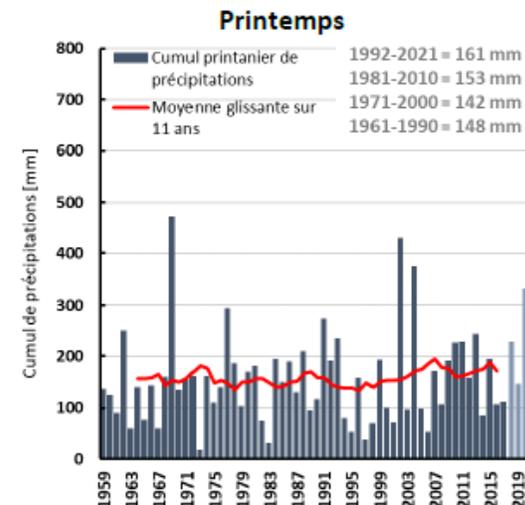
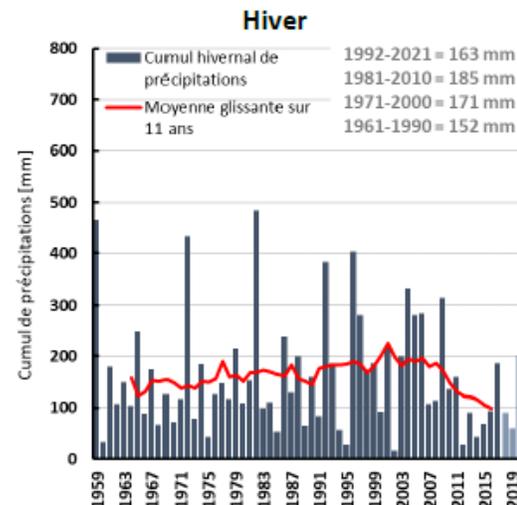


Au niveau regional ...

Carcassonne (11)

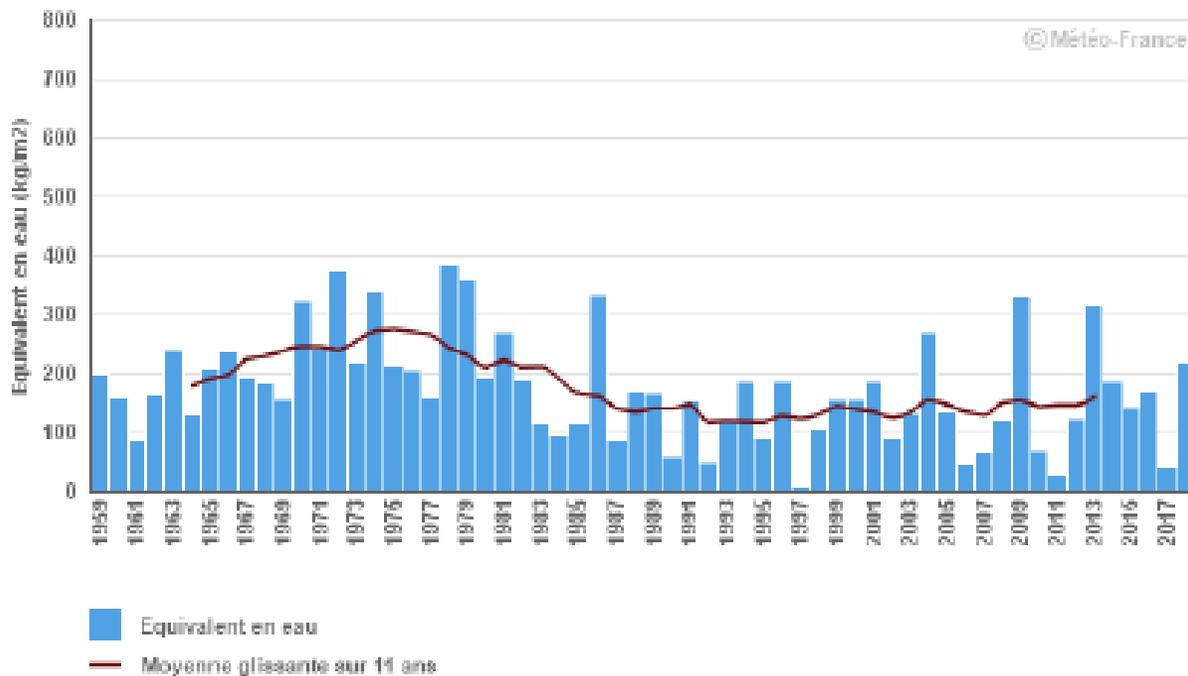


Perpignan (66)

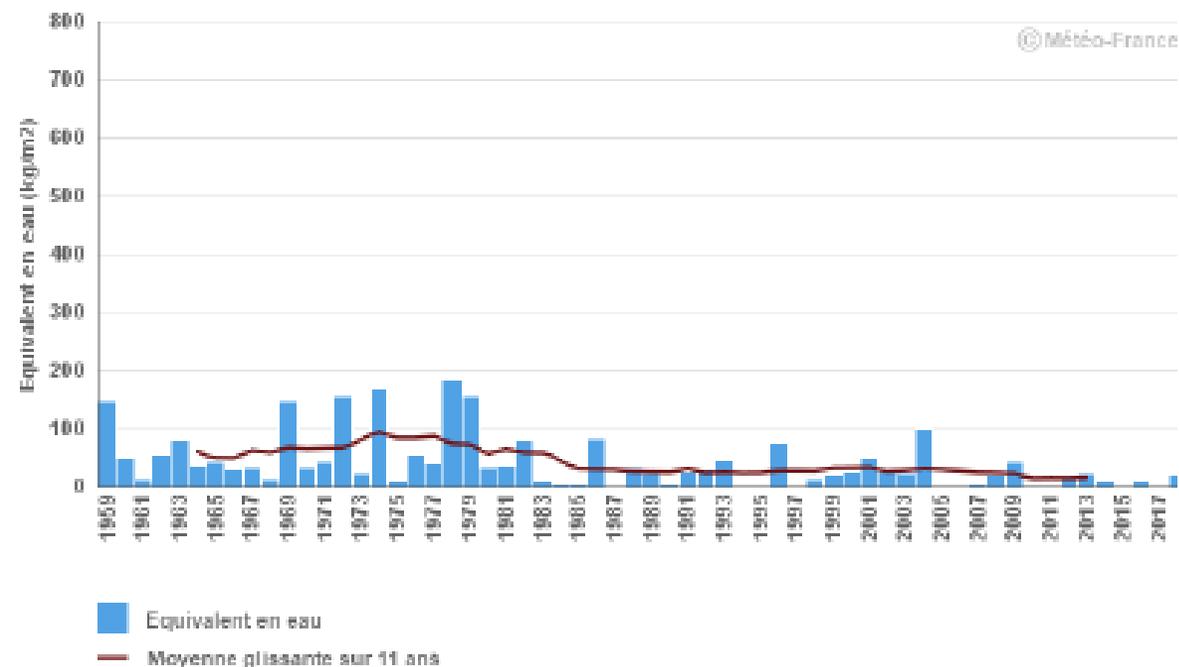


Au niveau regional ...

Equivalent en eau du manteau neigeux au 1^{er} mai
Massif des Pyrénées Centrales



Equivalent en eau du manteau neigeux au 1^{er} mai
Massif des Pyrénées Orientales

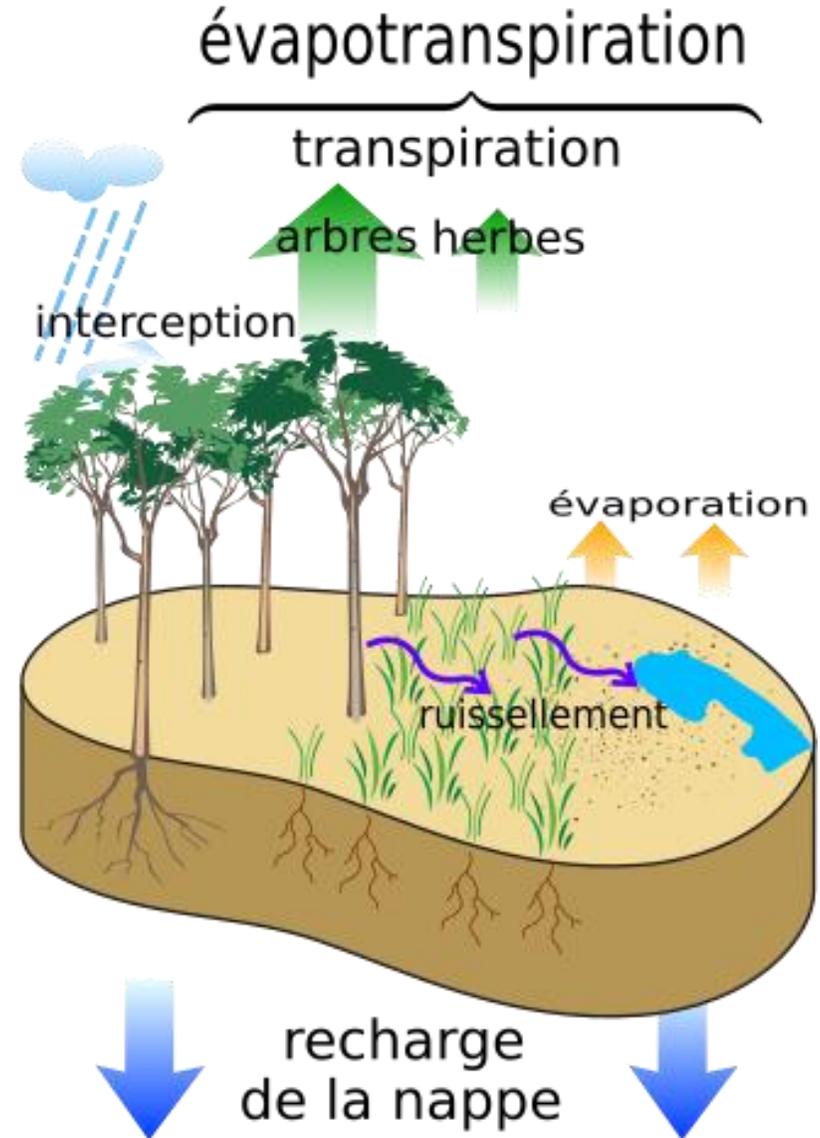
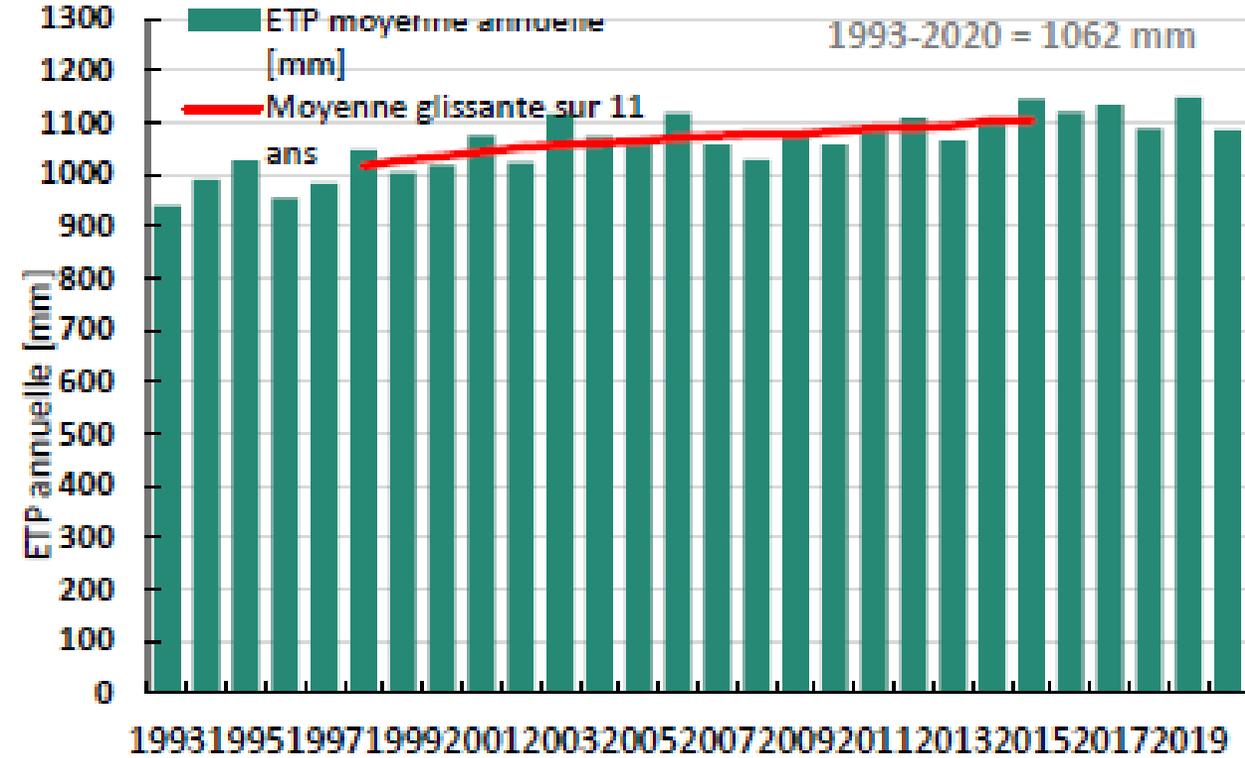


On constate également une durée d'enneigement qui diminue en moyenne montagne et une réduction du stock nival.

Au niveau regional ...

Aude (11)

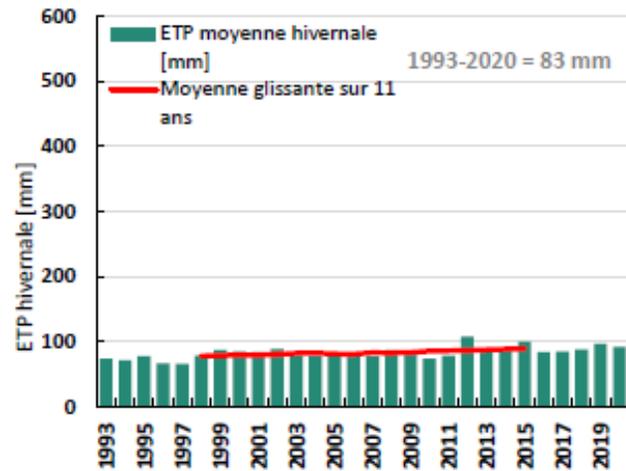
Annuel



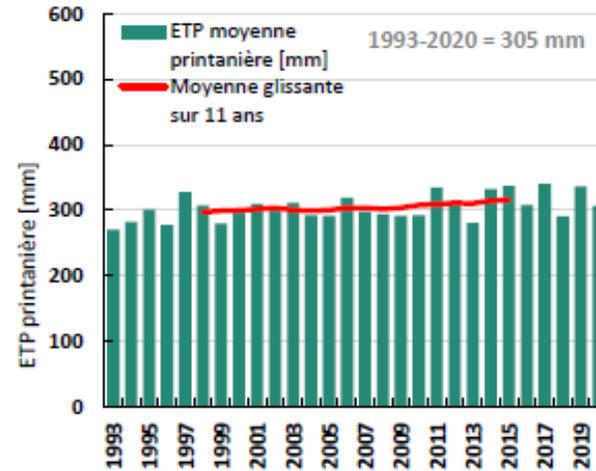
Au niveau regional ...

Aude (11)

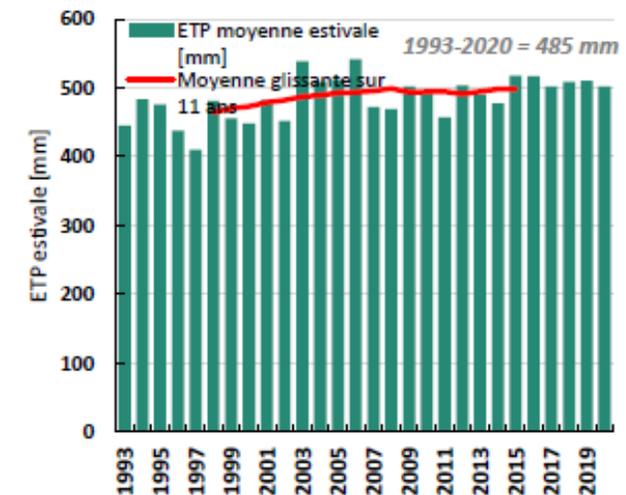
Hiver



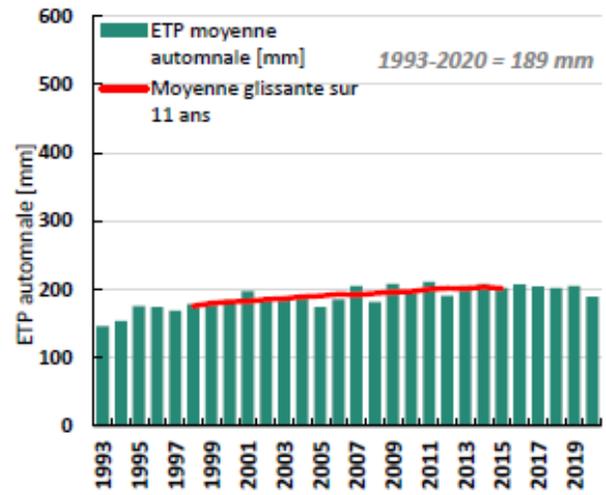
Printemps



Été



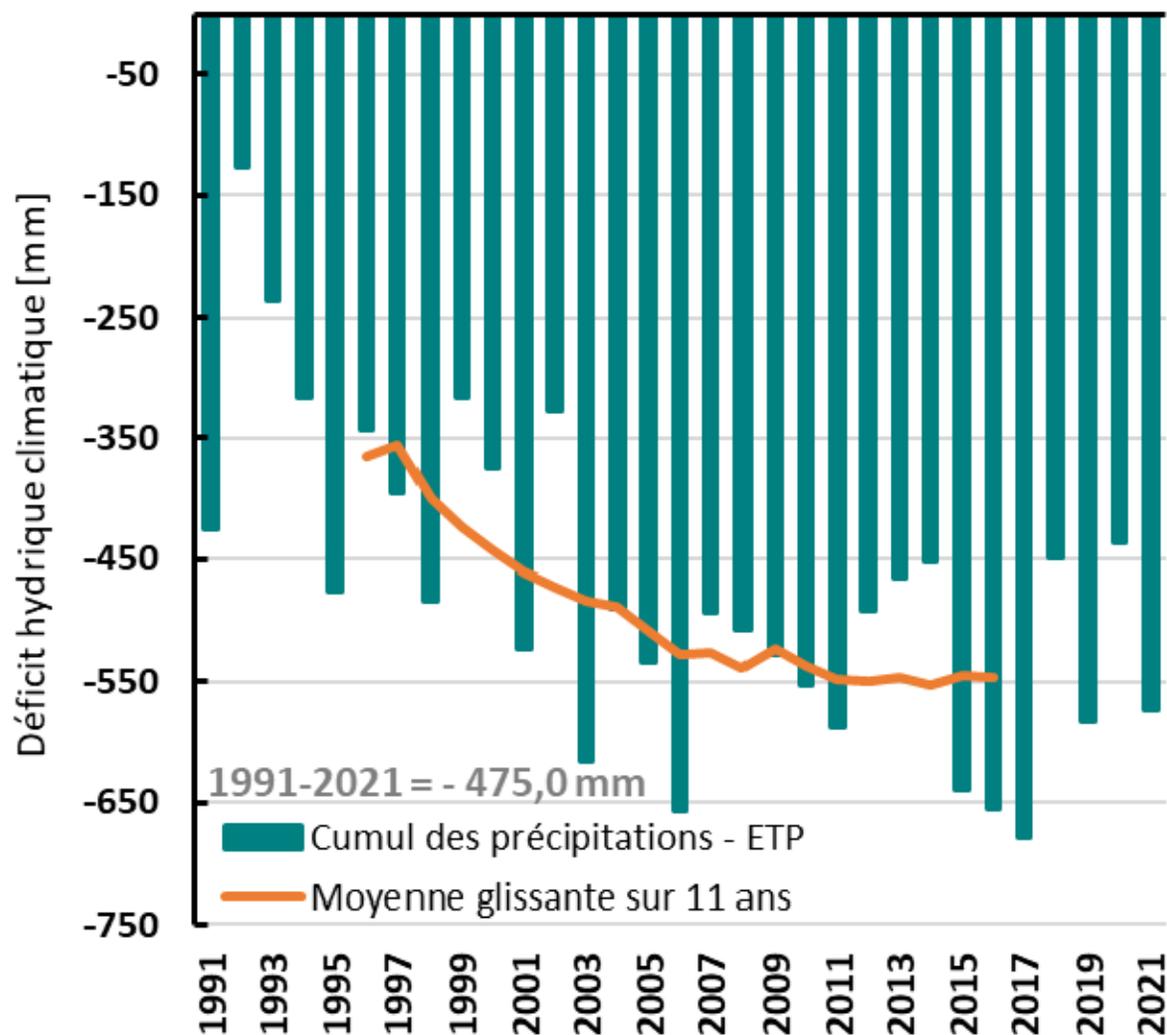
Automne



Faute d'un accroissement du cumul de pluie, l'augmentation de la température favorise l'augmentation de phénomènes comme la sécheresse et le déficit en eau dans le sol, essentiellement par effet d'évaporation.

La comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1981-2010 en Occitanie montre un assèchement de l'ordre de 6 % à 7% sur l'année, à l'exception de l'automne.

Aude (11)

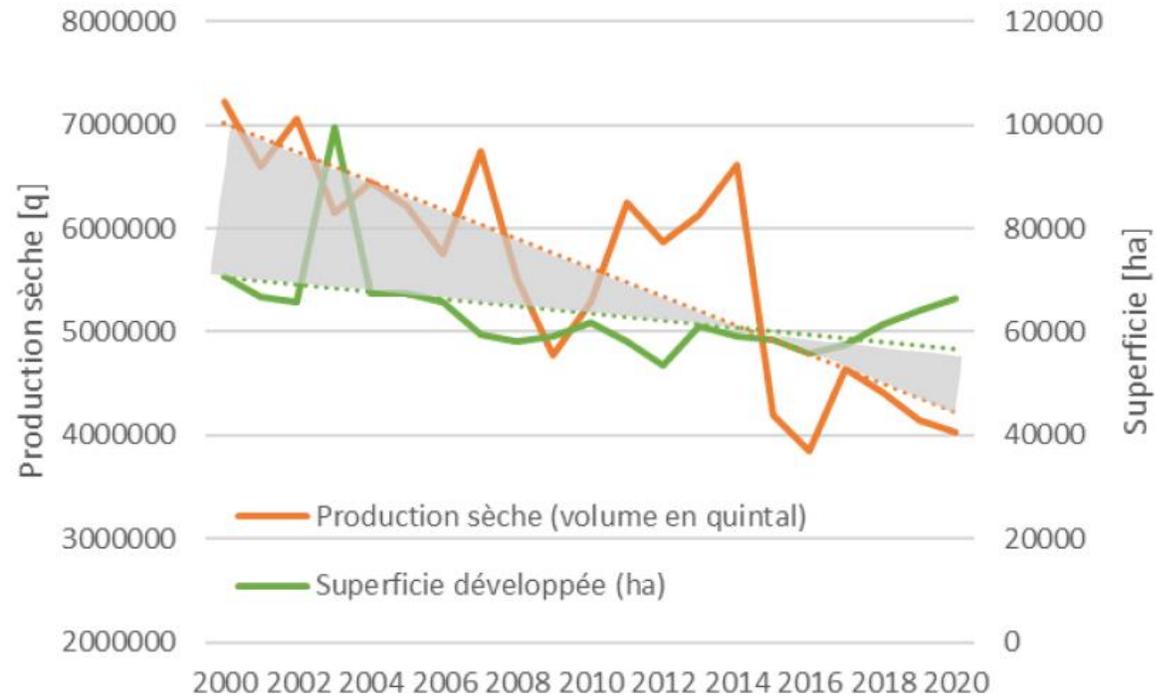


Faute d'un accroissement du cumul de pluie, l'augmentation de la température favorise l'augmentation de phénomènes comme la sécheresse et le déficit en eau dans le sol, essentiellement par effet d'évaporation.

La comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1981-2010 en Occitanie montre un assèchement de l'ordre de 6 % à 7% sur l'année, à l'exception de l'automne.

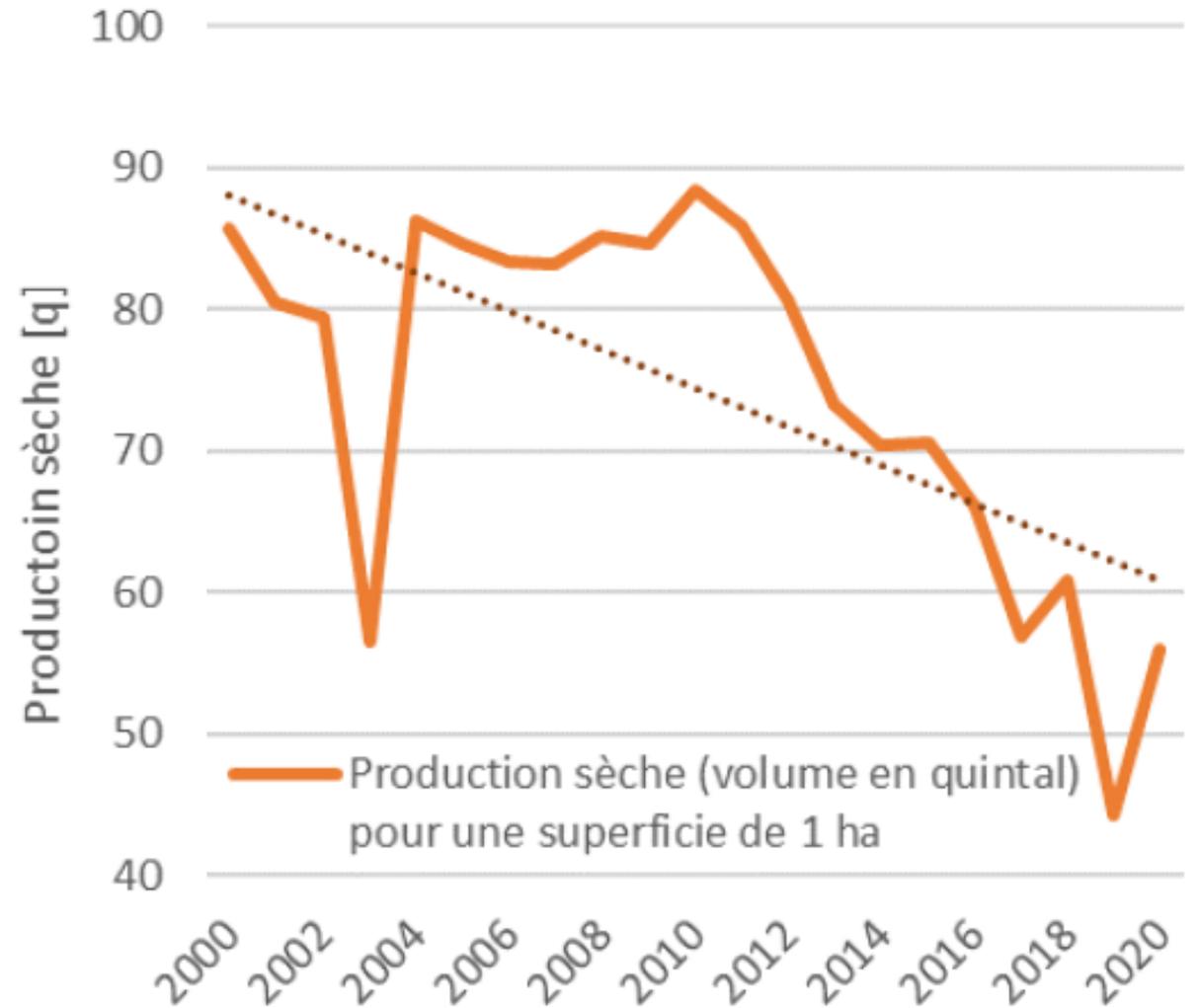
Au niveau regional ...

Occitanie



En Occitanie, la production sèche de fourrages diminue au fil des décennies.

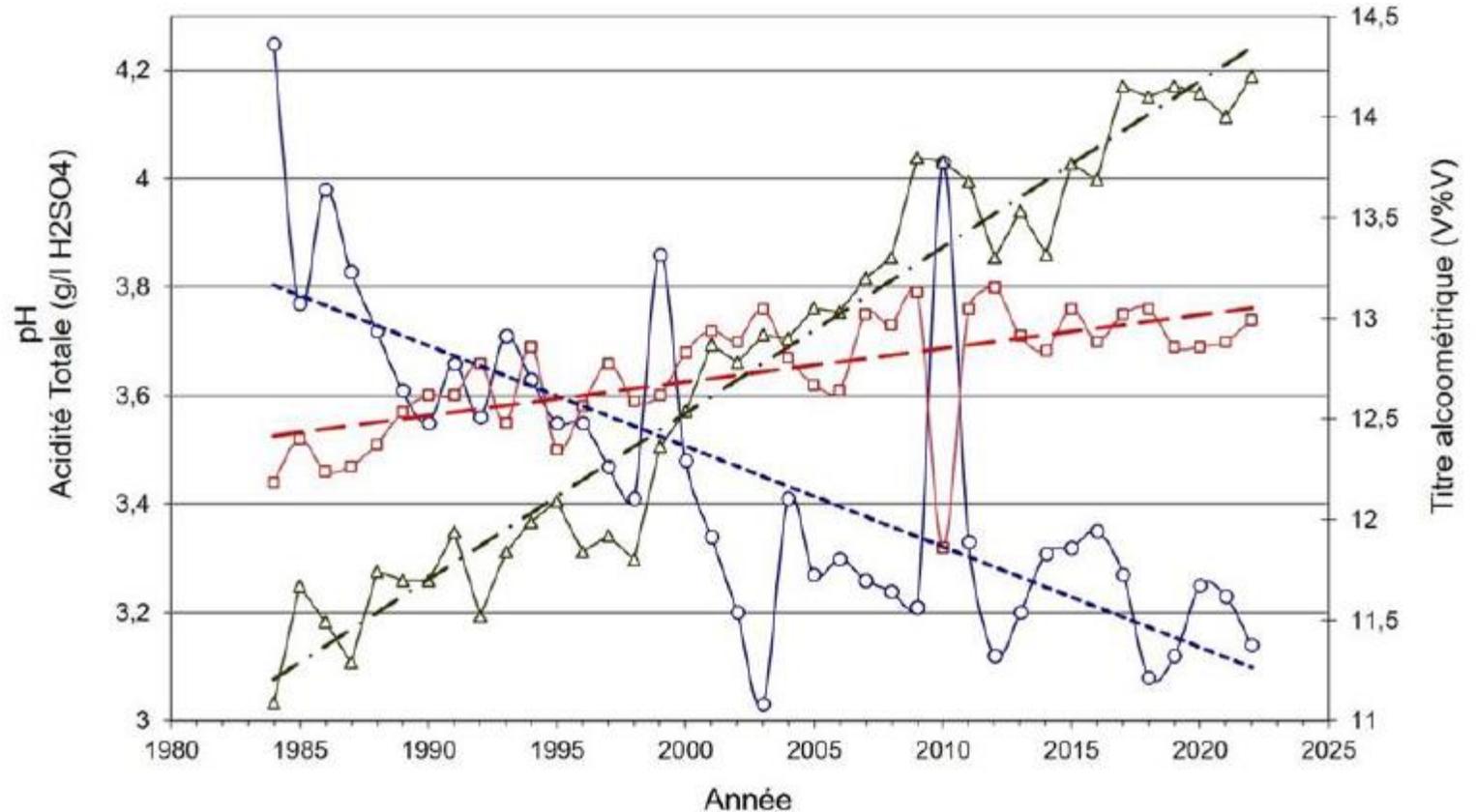
Aude



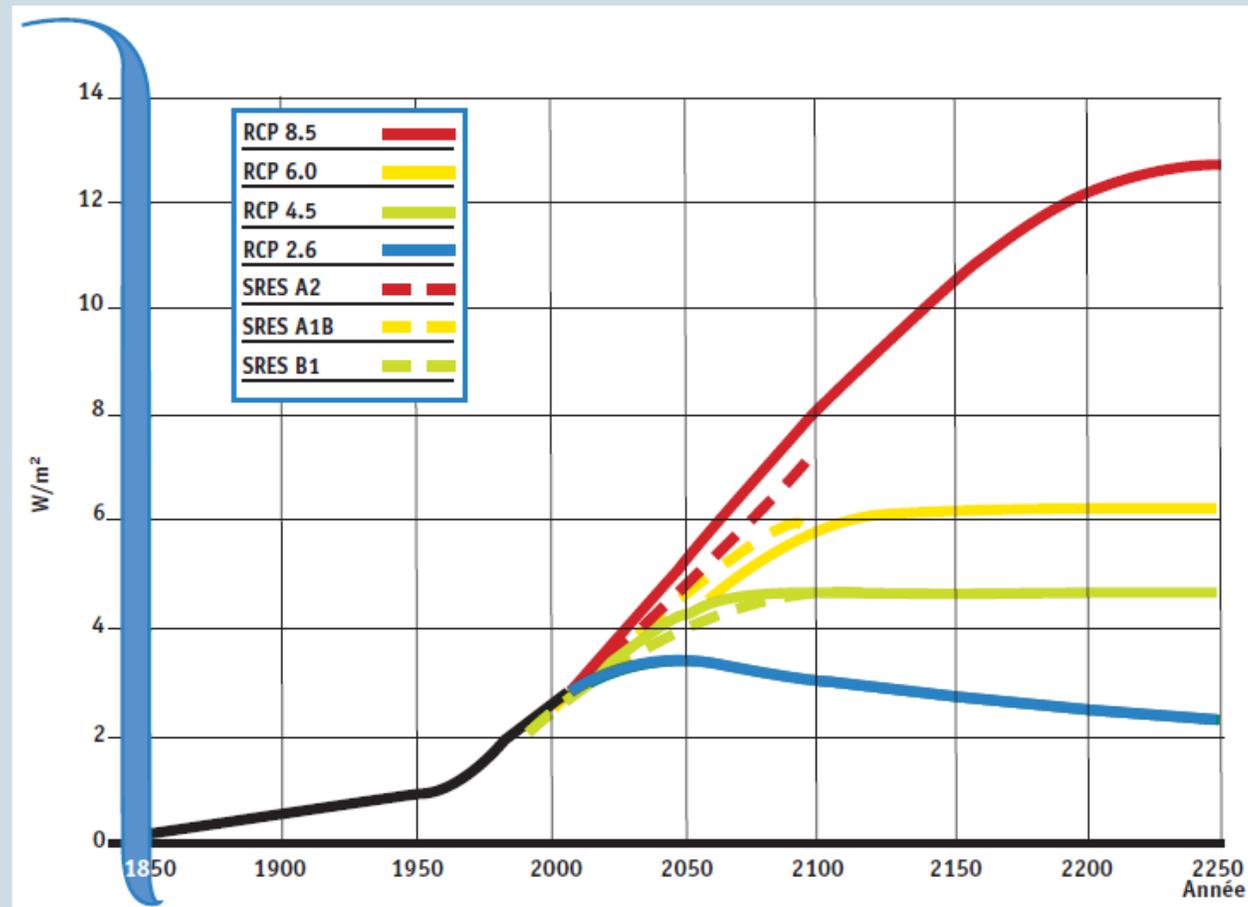
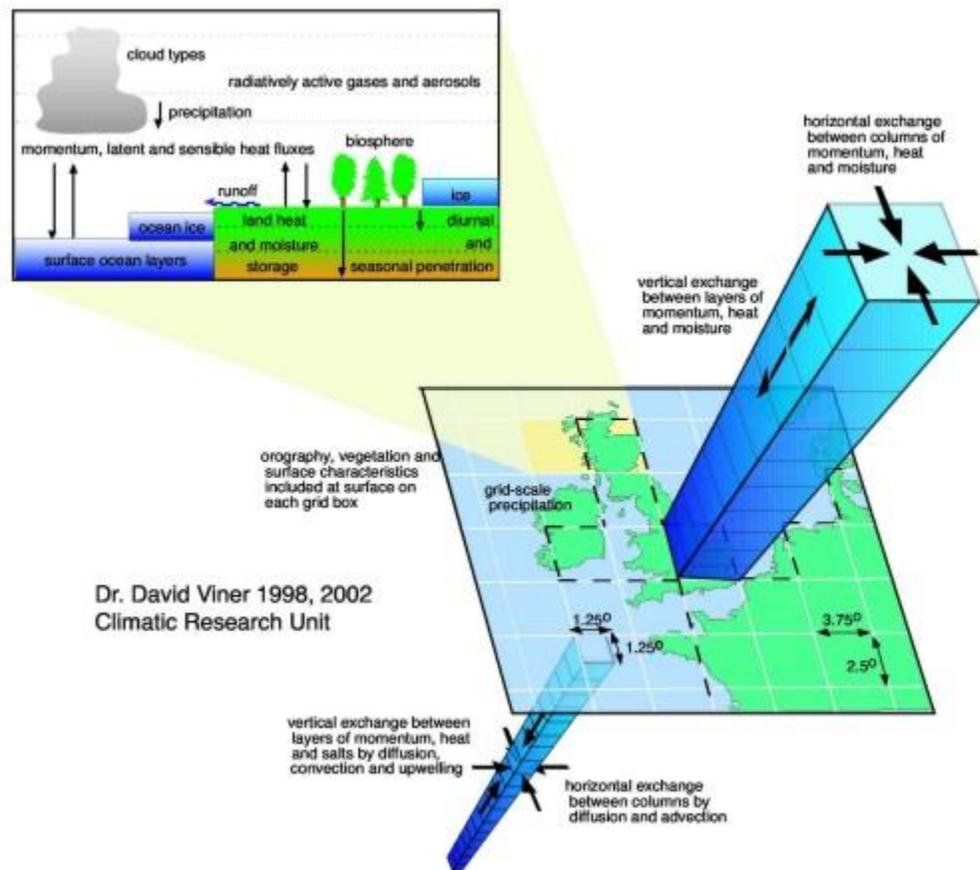
Au niveau regional ...

Les impacts du changement climatique sur la vigne sont multiples. Depuis les années 80, les caractéristiques des raisins et vins se modifient : augmentation du taux d'alcool, du taux de sucre et du pH, et acidité en baisse.

Ces effets accentuent les contraintes pour produire du vin en zone méditerranéenne, obligeant les viticulteurs à adapter leurs pratiques pour limiter l'évolution qualitative et gustative de leurs vins.



Perspectives à 50 ans et plus ...

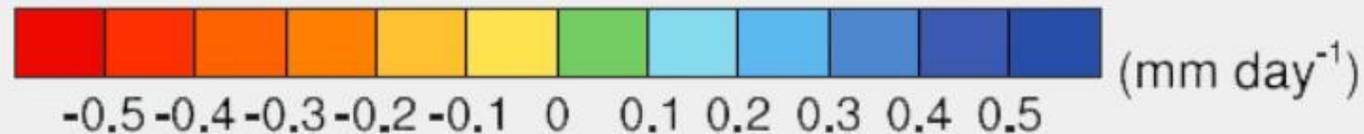
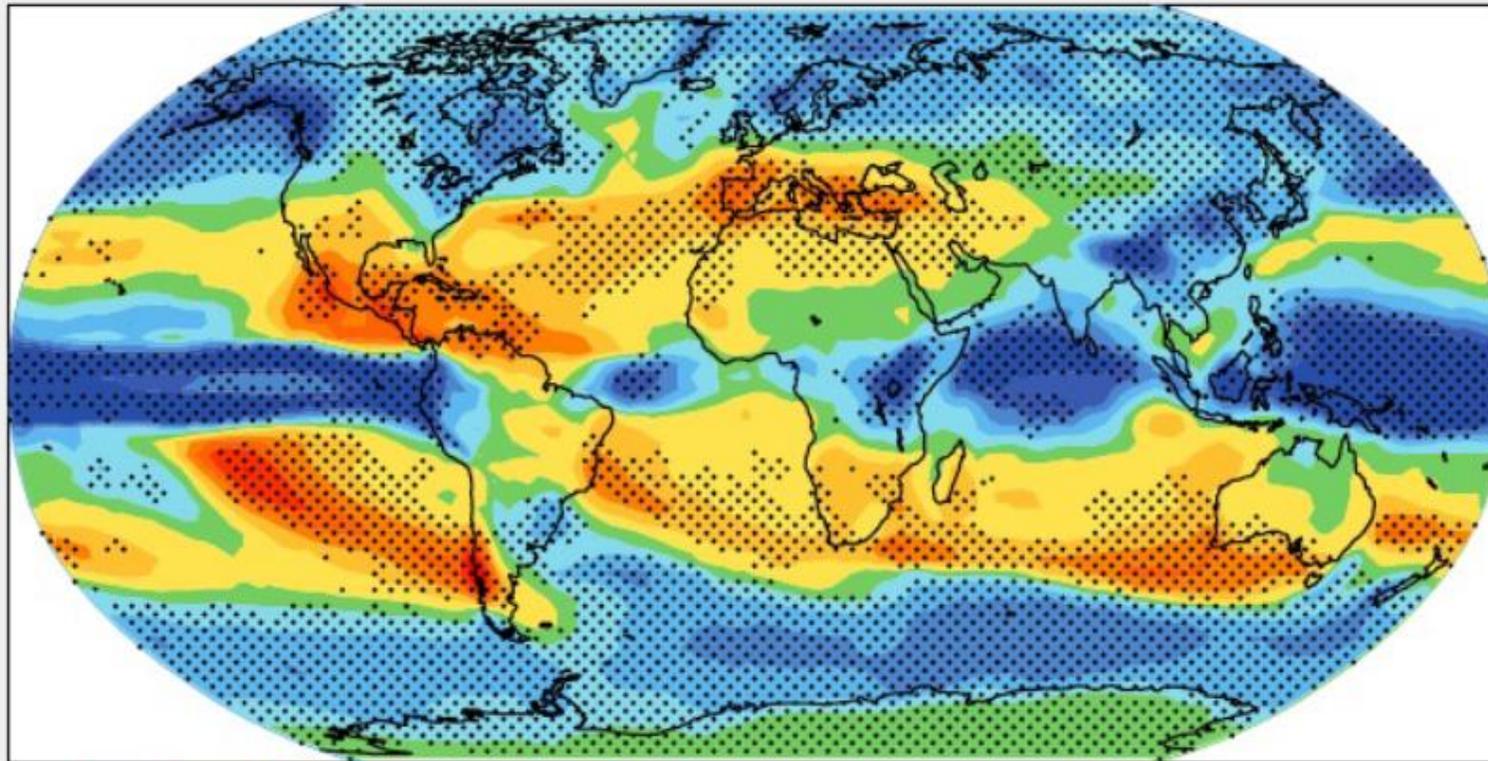


Infographie : studio du département de l'édition de la DILA.

Figure A10 – Évolution du forçage radiatif pour les quatre scénarios RCP et comparaison avec les scénarios SRES

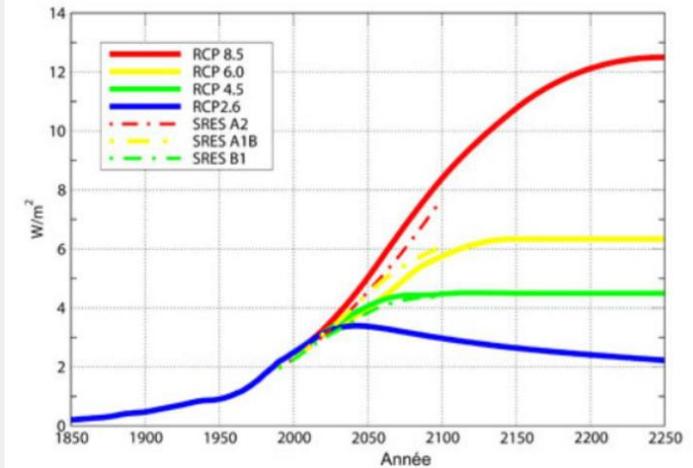
Source : adaptée de Stocker et al. (2013)

Perspectives à 50 ans et plus ...

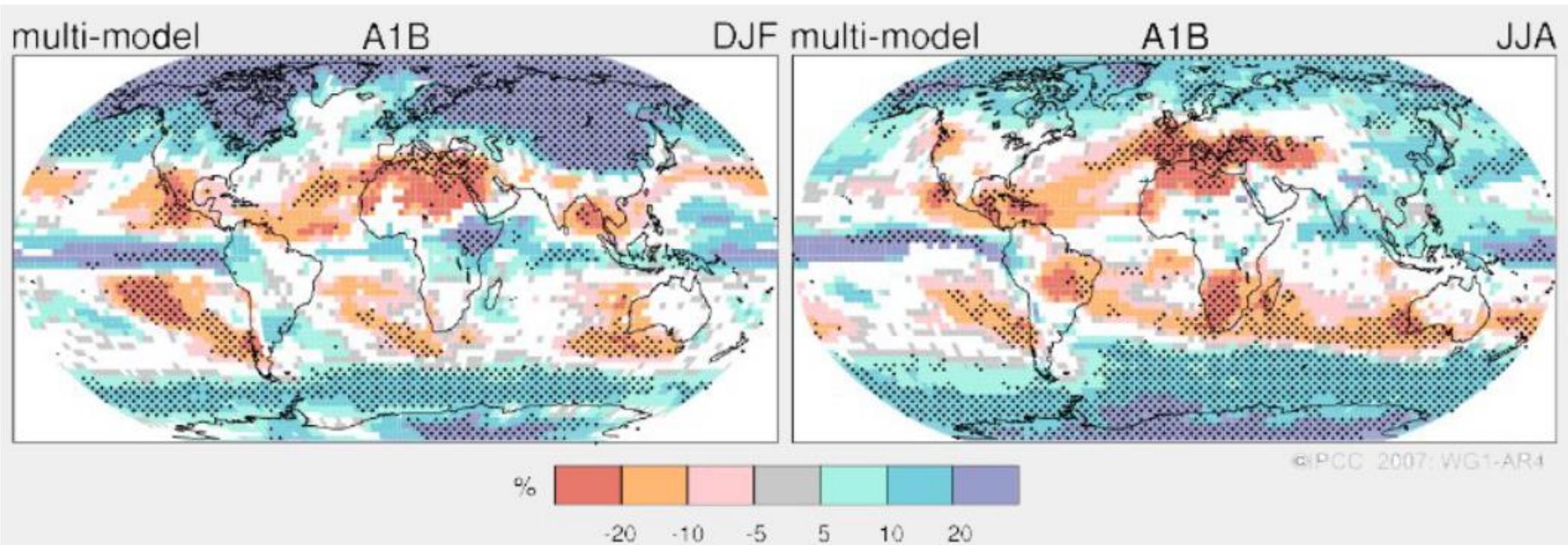


Moyenne inter-modèles des évolutions régionales des précipitations sur l'ensemble de l'année, en mm/jour de différence entre la période 2080-2099 et la période 1980-1999, avec un scénario d'émission qui est le A1B (en gros les émissions doublent au cours du 21^e siècle).

Évolution du bilan radiatif de la terre ou « forçage radiatif » en W/m^2 sur la période 1850-2250 selon les différents scénarios



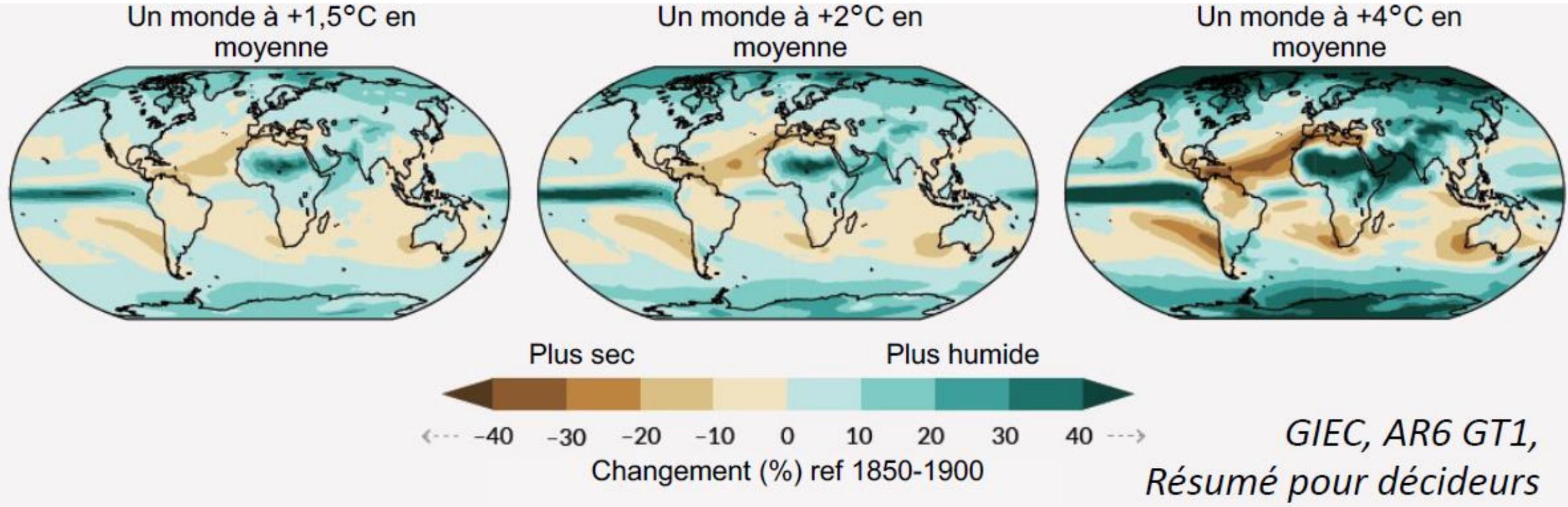
Perspectives à 50 ans et plus ...



Moyenne inter-modèles des évolutions régionales des précipitations moyennes pour Décembre – Janvier – Février (DJF) et pour Juin-Juillet-Août (JJA) pour la période 2090-2099 par rapport à la période 1980-1999, avec un scénario d'émission qui est le A1B (en gros les émissions doublent au cours du 21^e siècle).

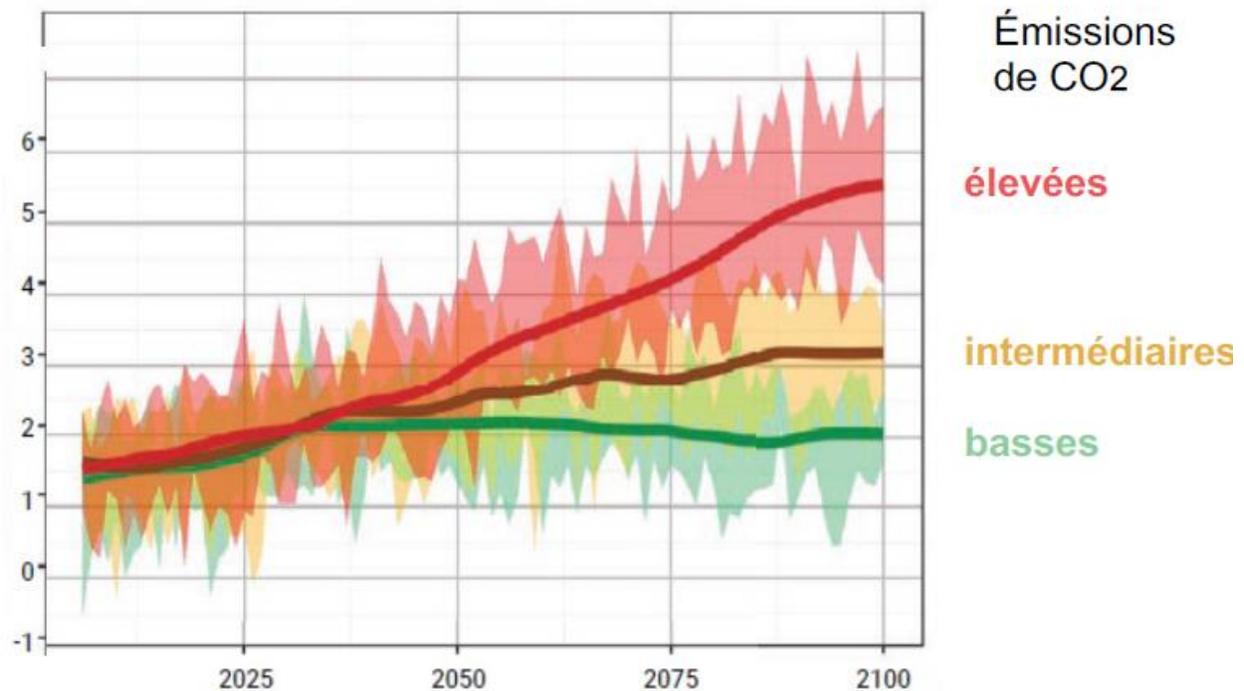
<https://www.ipcc-data.org>

Perspectives à 50 ans et plus ...

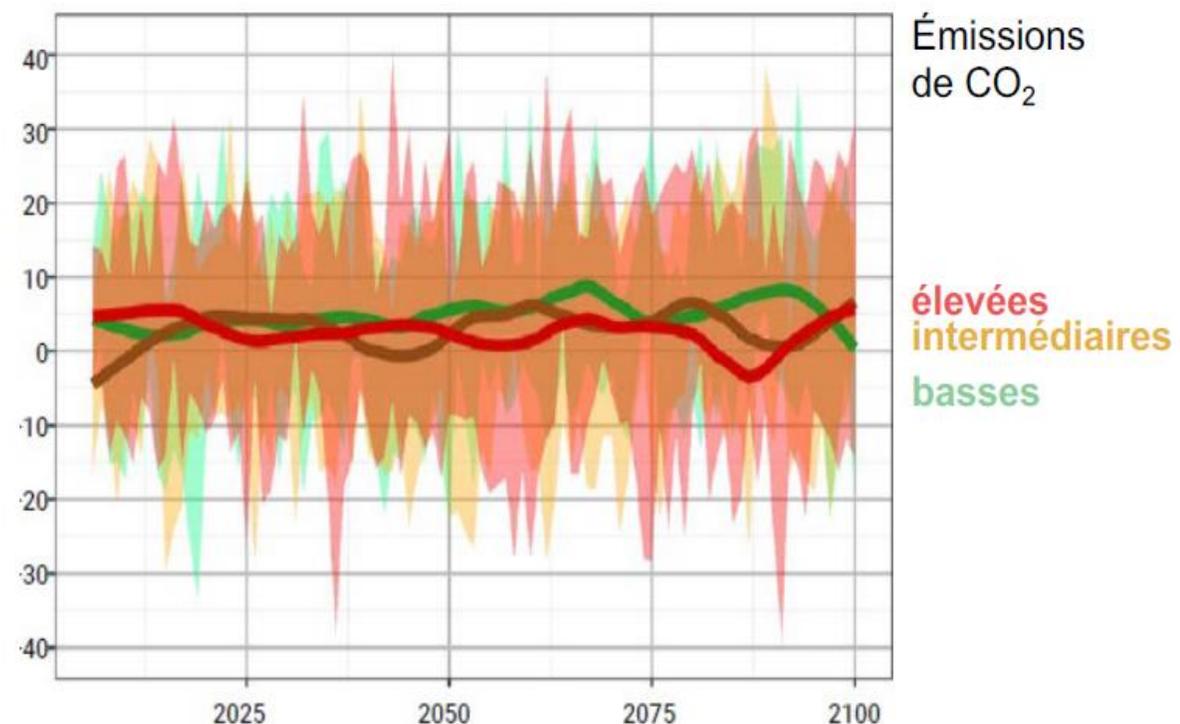


Perspectives à 50 ans et plus ...

Evolution de la température moyenne sur la France
Référence 1850-1900



Evolution du cumul annuel de précipitations sur la France
jusqu'en 2100



Perspectives à 50 ans et plus ...



Température moyenne par saison (en °C)

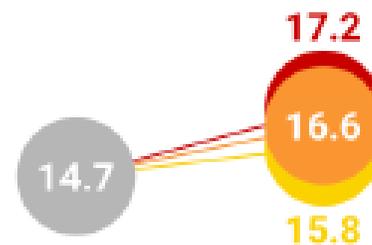
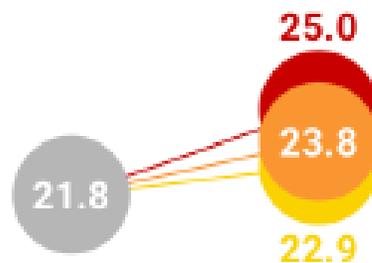
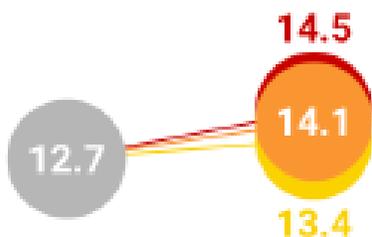
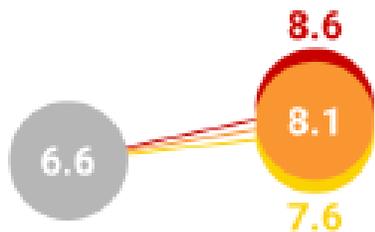
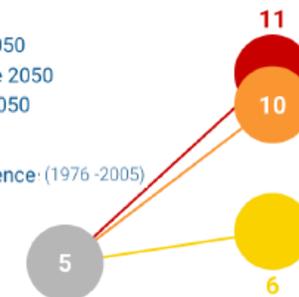
Hiver

Printemps

Été

Automne

- Valeur haute 2050
- Valeur médiane 2050
- Valeur basse 2050
- Valeur de référence (1976-2005)



● Valeur de référence

● Valeur haute 2050

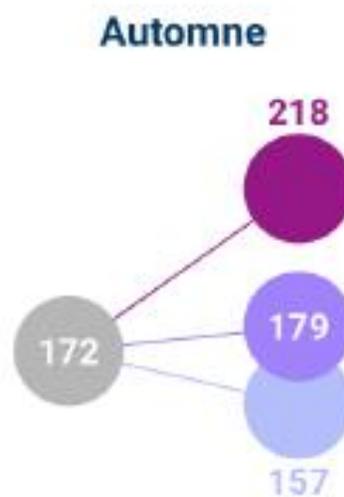
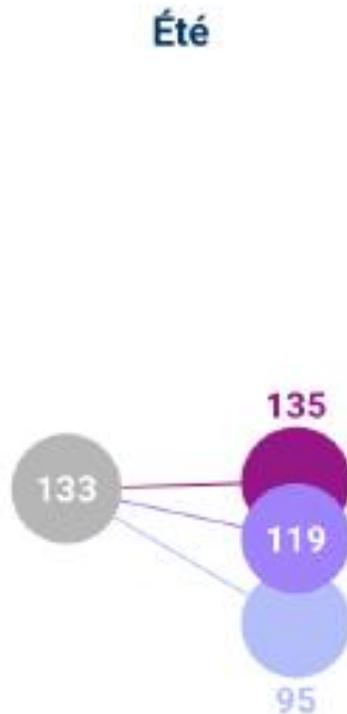
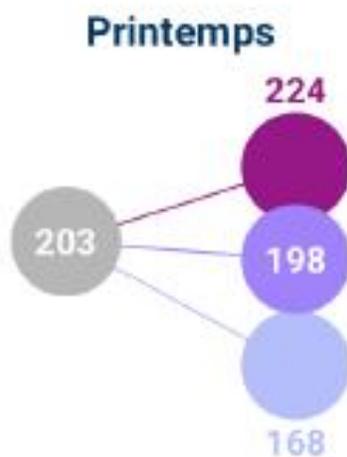
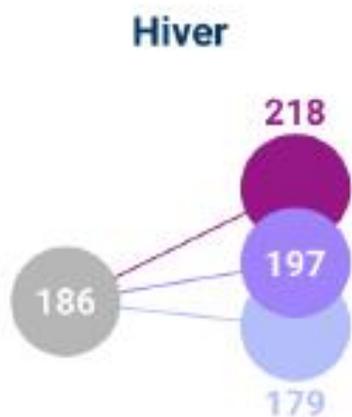
● Valeur médiane 2050

● Valeur basse 2050



Perspectives à 50 ans et plus ...

Cumul de précipitations par saison (en mm)

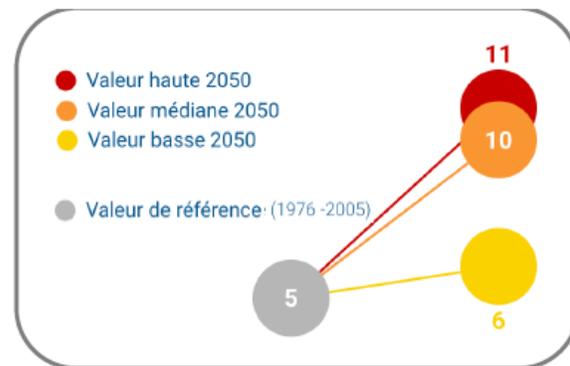


● Valeur de référence

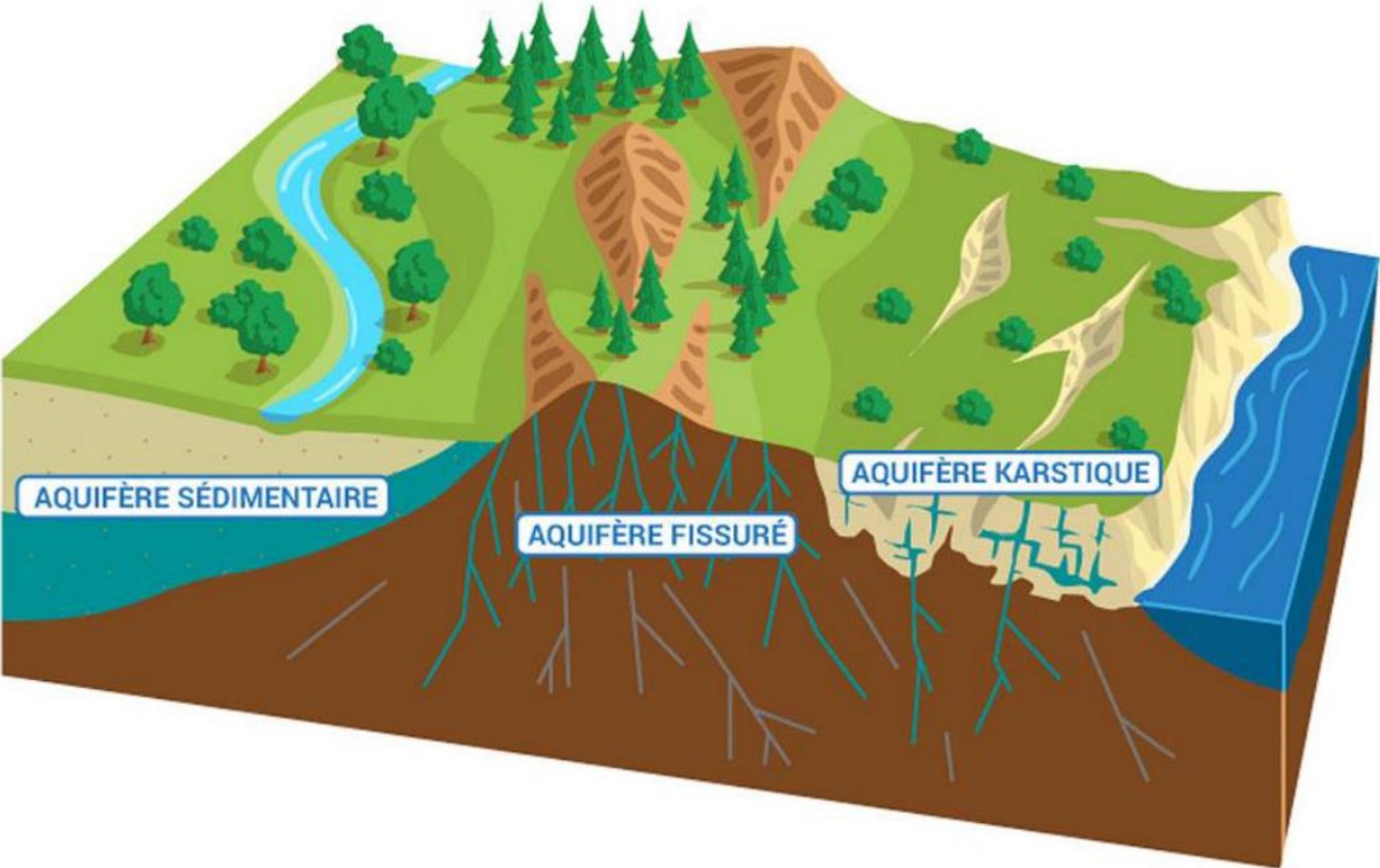
● Valeur haute 2050

● Valeur médiane 2050

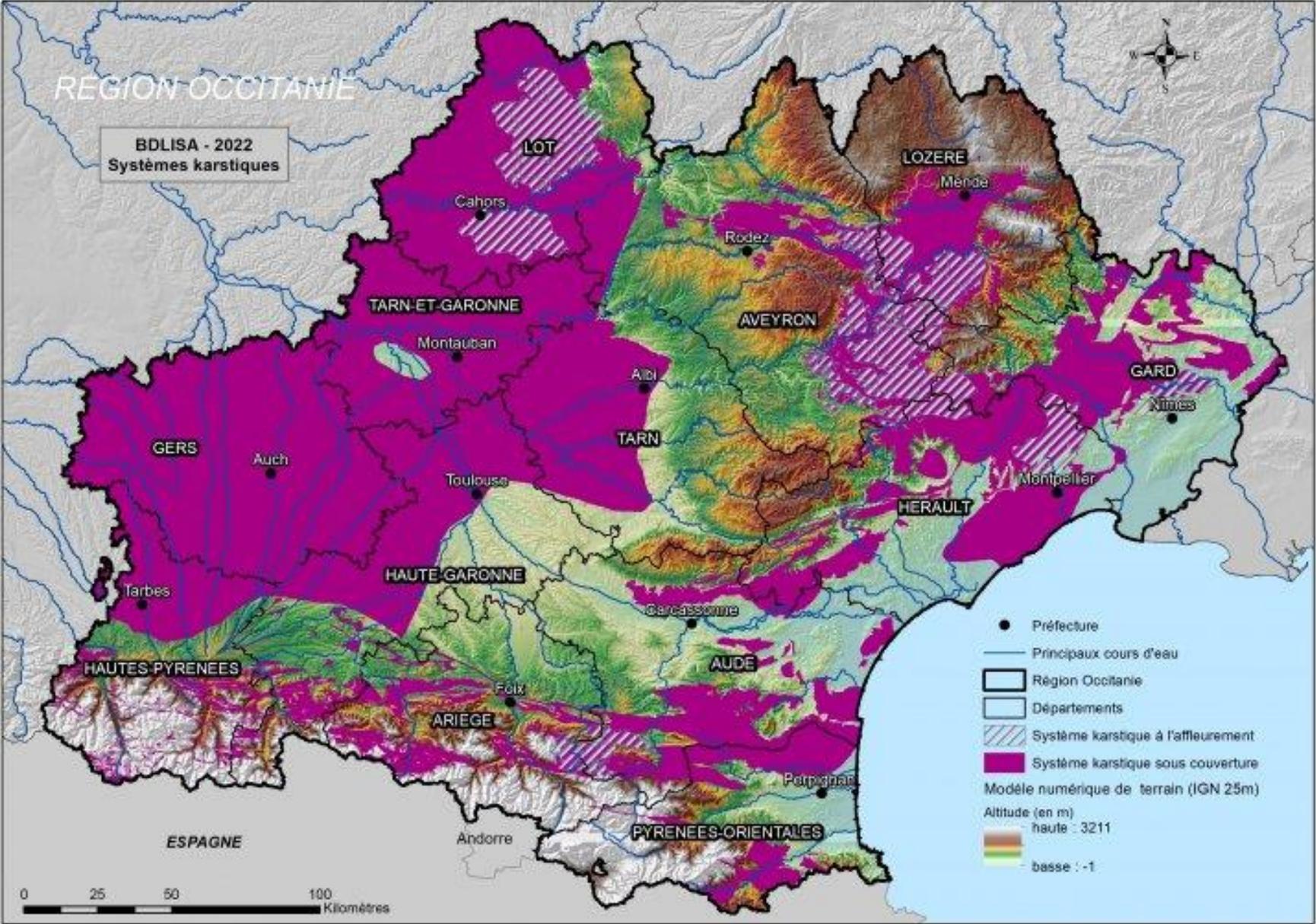
● Valeur basse 2050



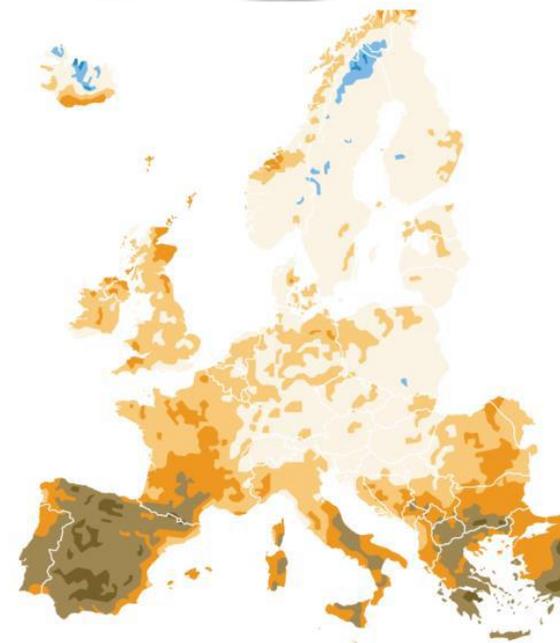
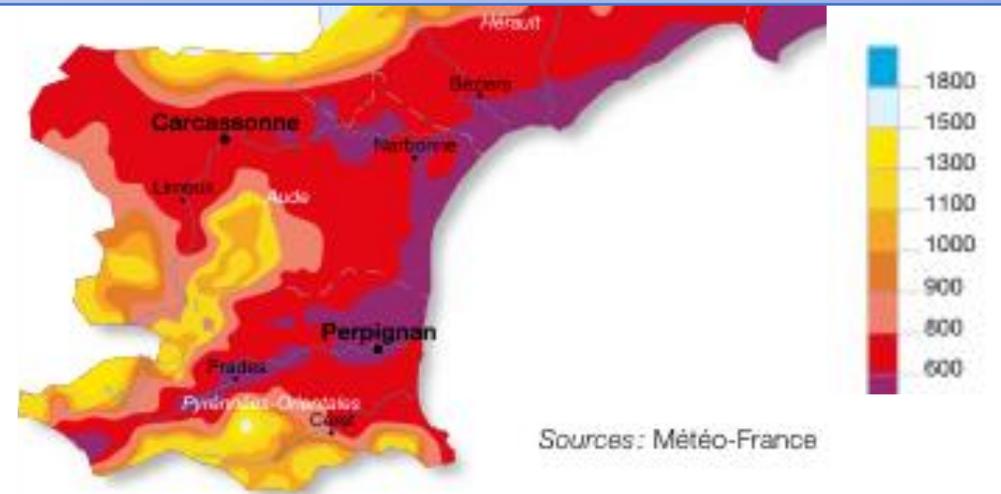
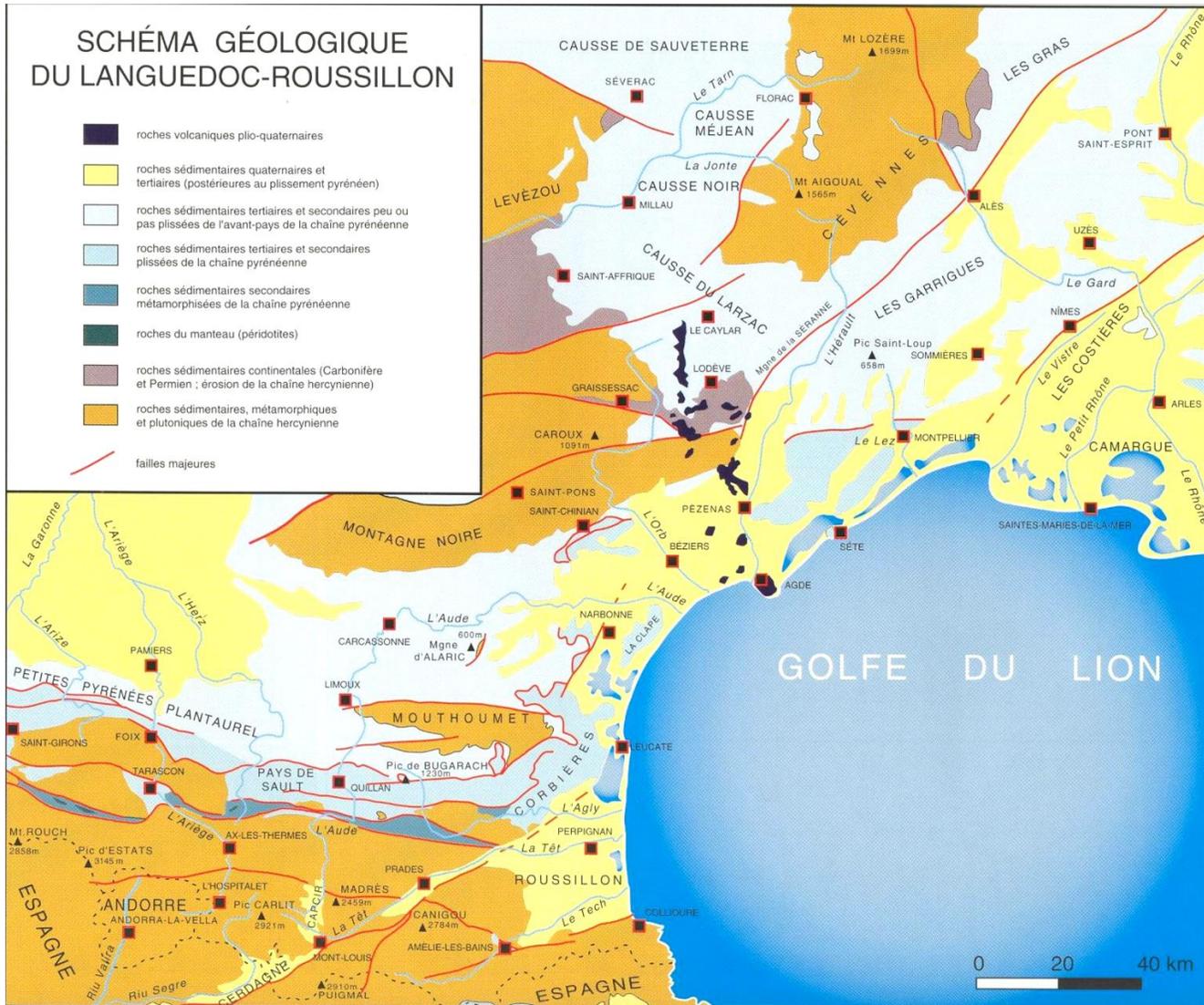
Les ressources en eau...



Les ressources en eau...



Les ressources en eau...



Fréquence des épisodes de sécheresse à l'horizon 2041--2070 par rapport à la période 1981--2010



Les aquifères karstiques...

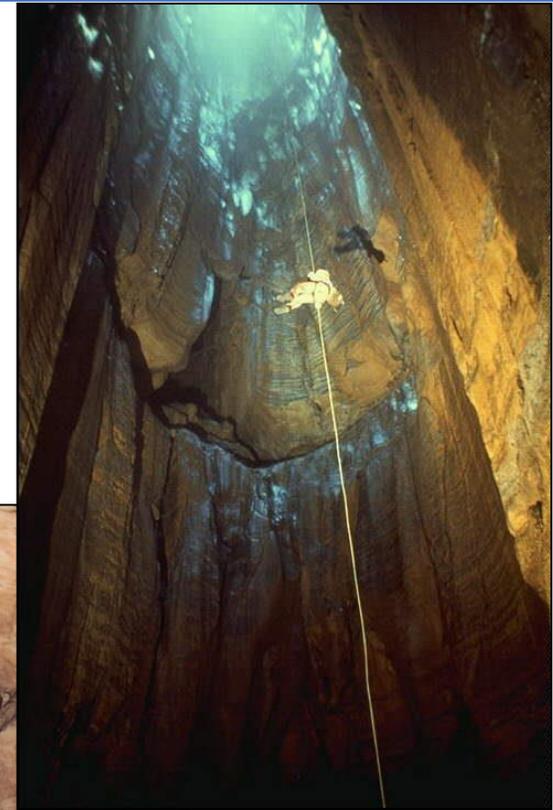
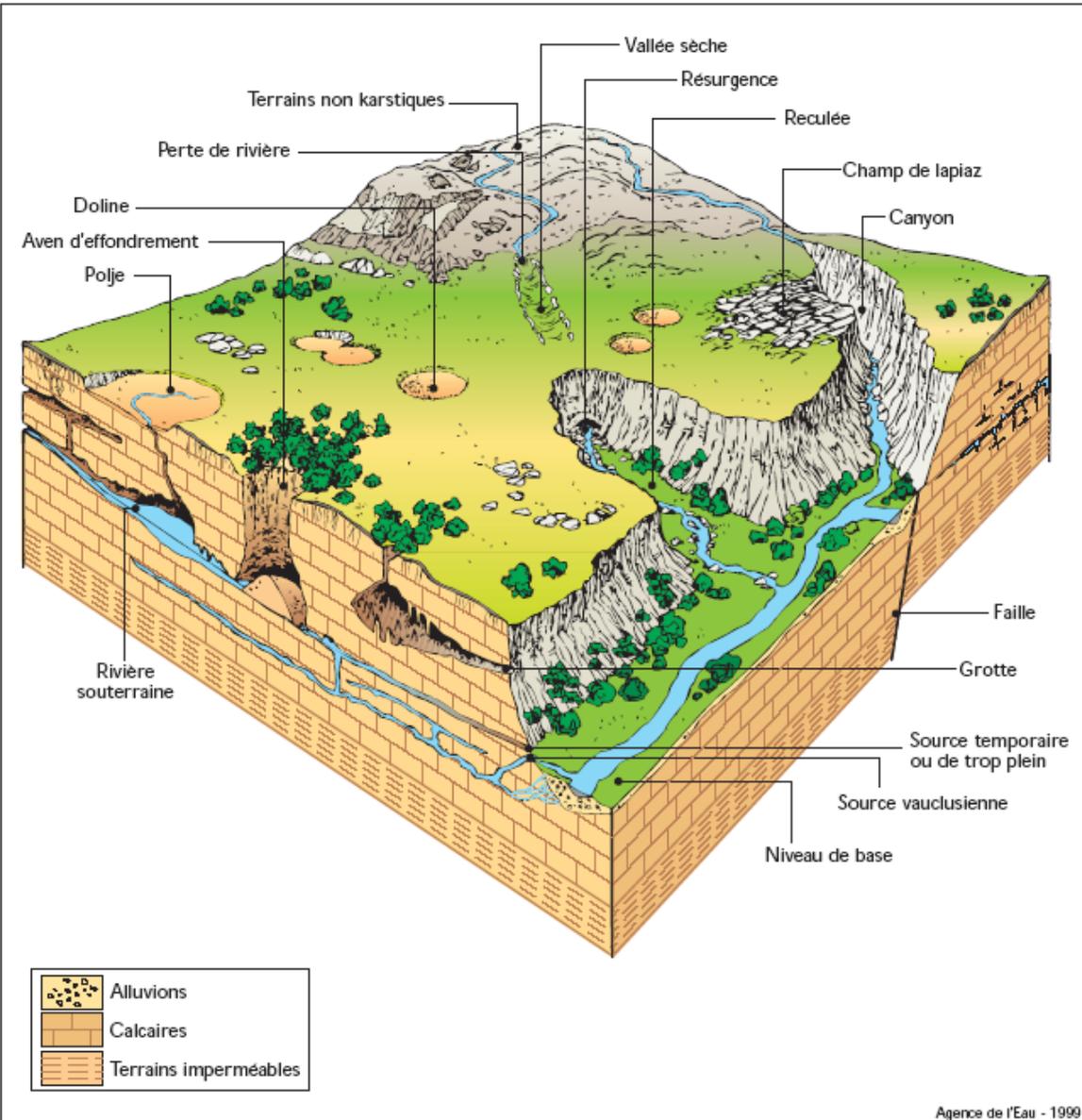
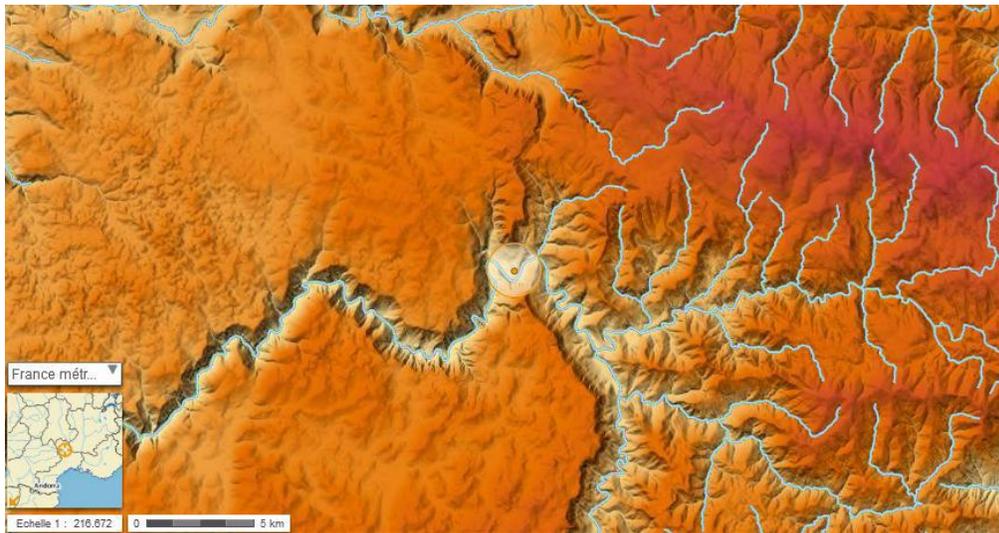
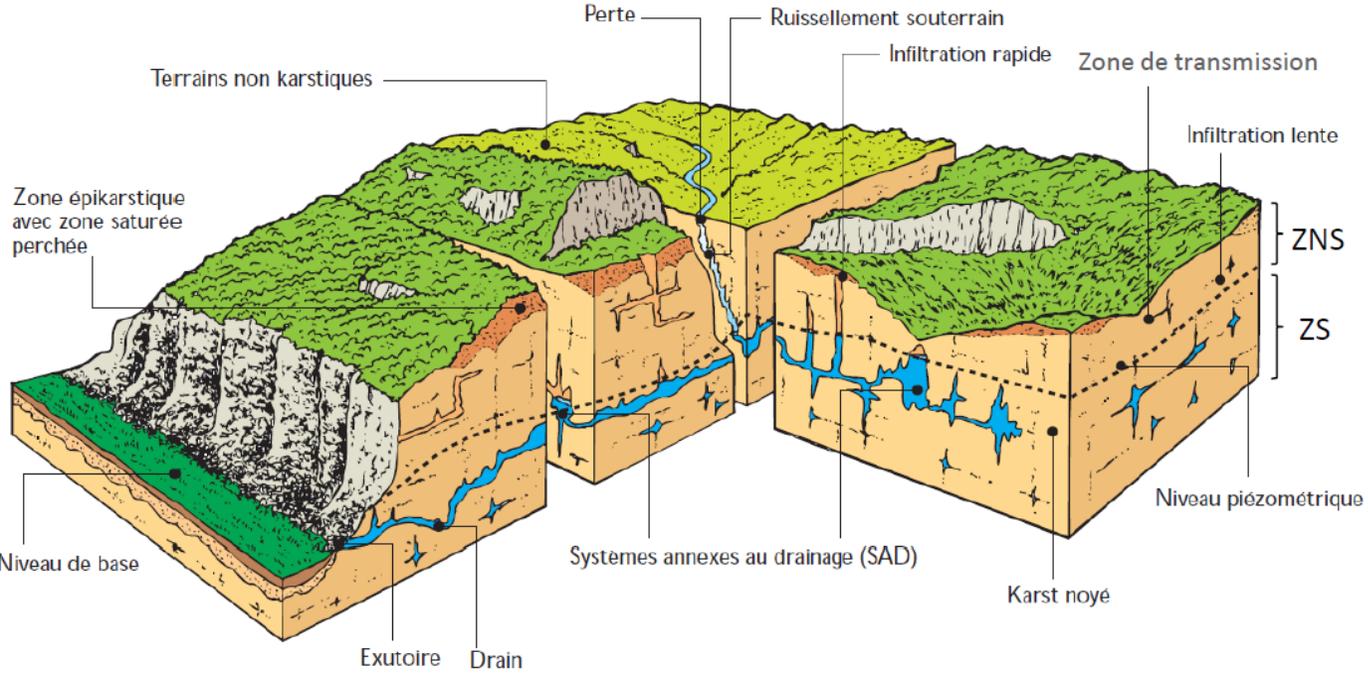
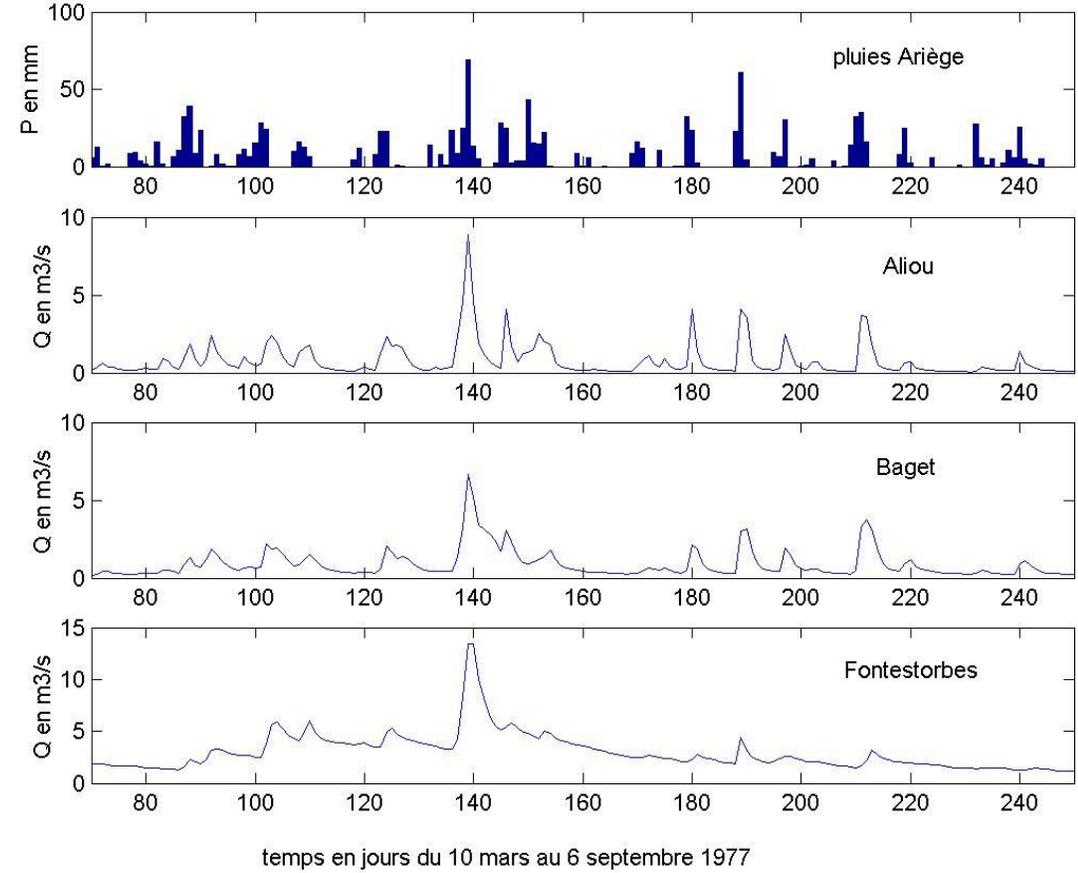


Figure 3 - Paysage karstique

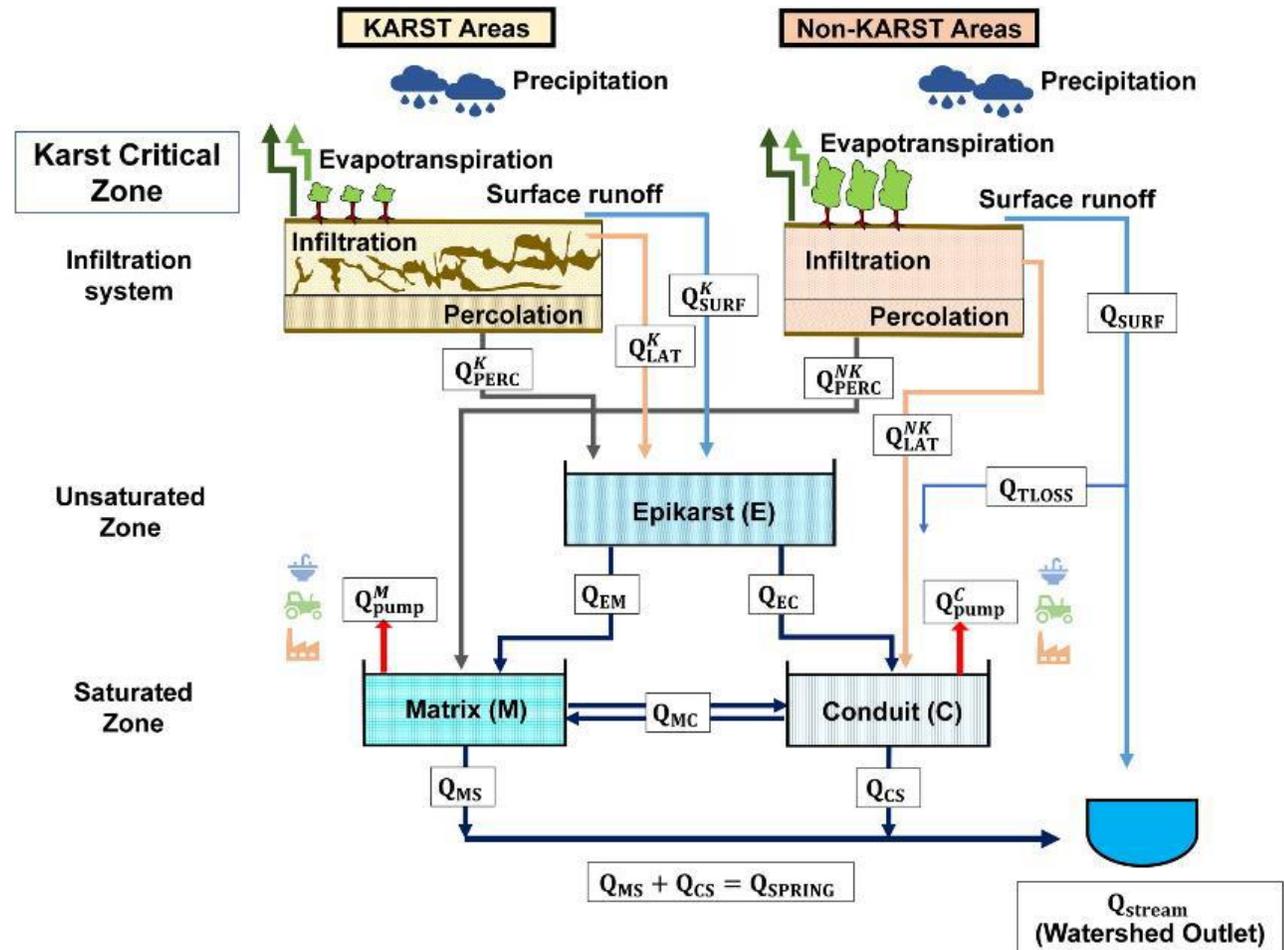
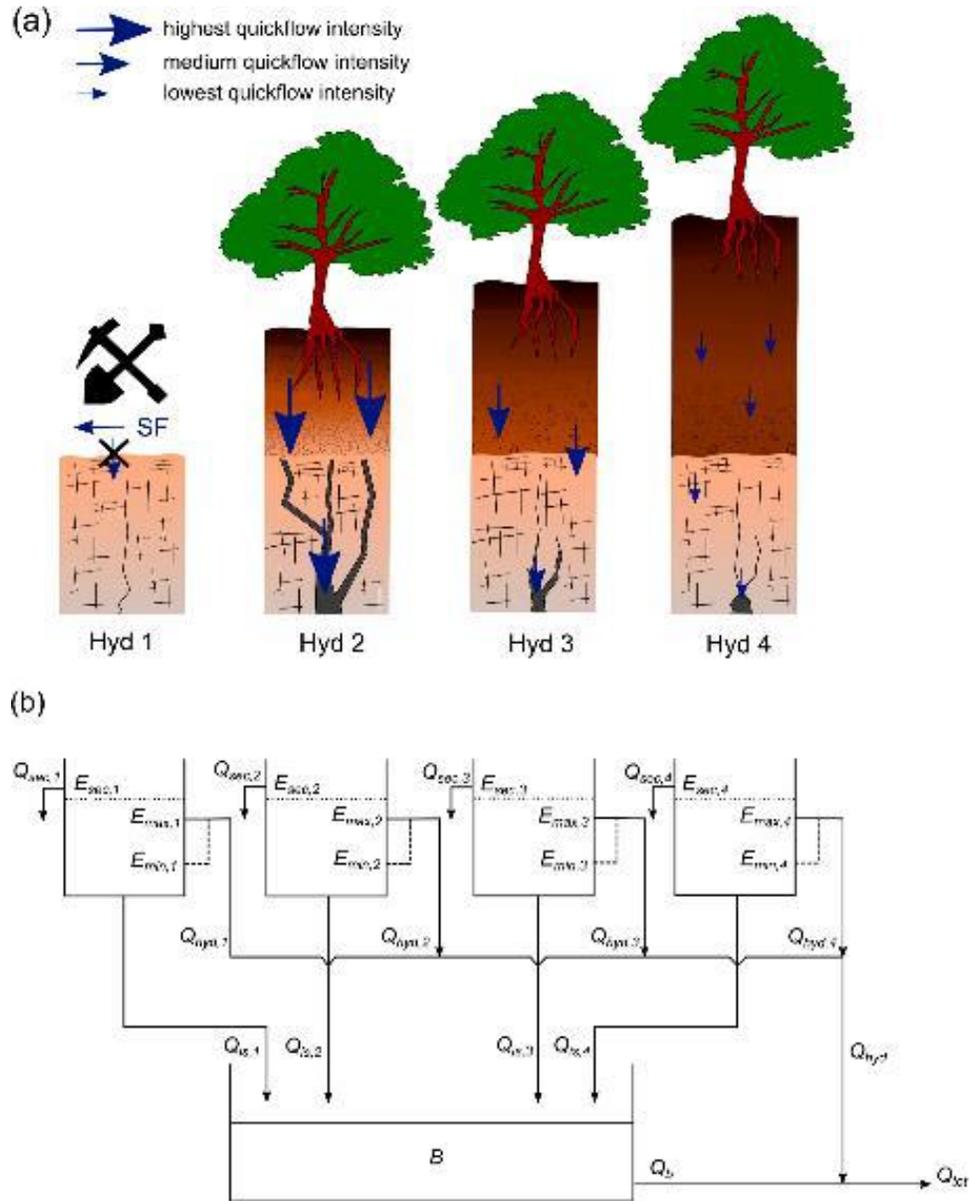
Les aquifères karstiques...



Comparaison de trois systèmes karstiques ariégeois



Les aquifères karstiques...



Les aquifères karstiques...



Document public

Caractérisation des crues karstiques sur le bassin versant de l'Agly

Rapport final

BRGM/RP-69551-FR
Mars 2020

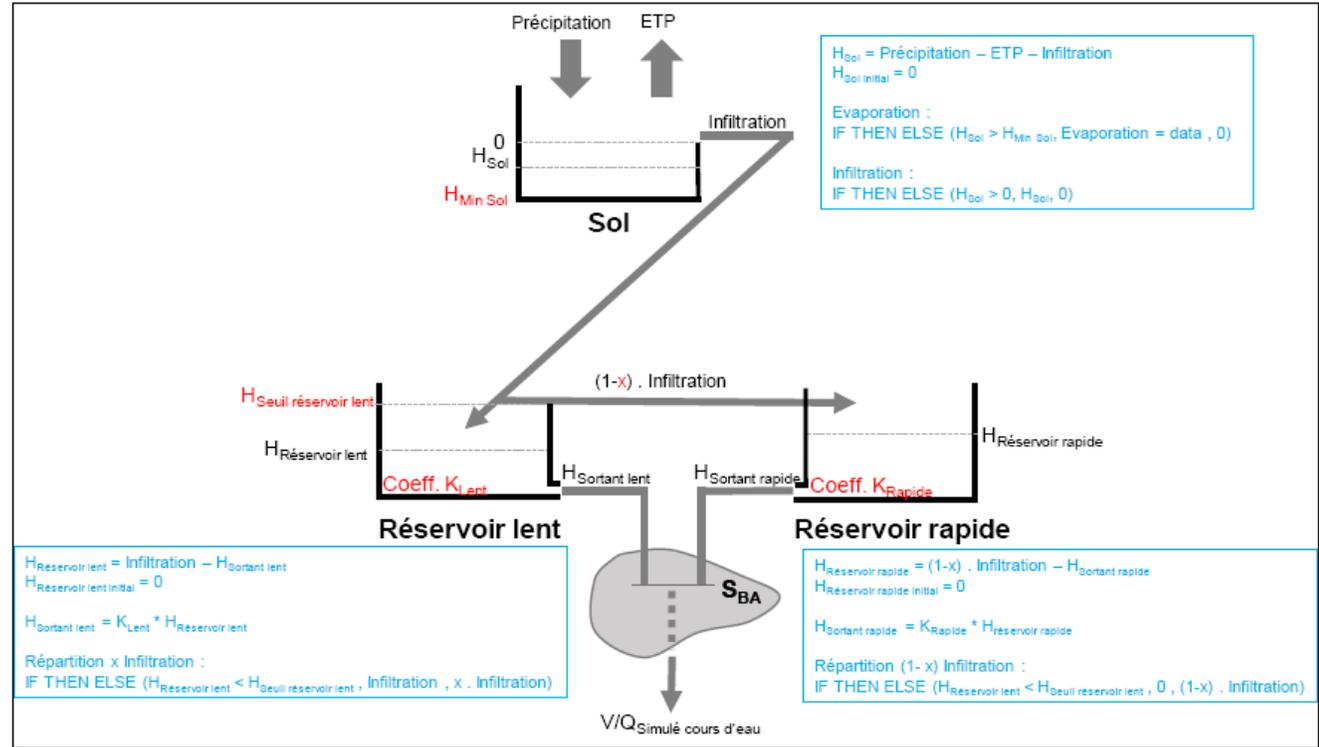
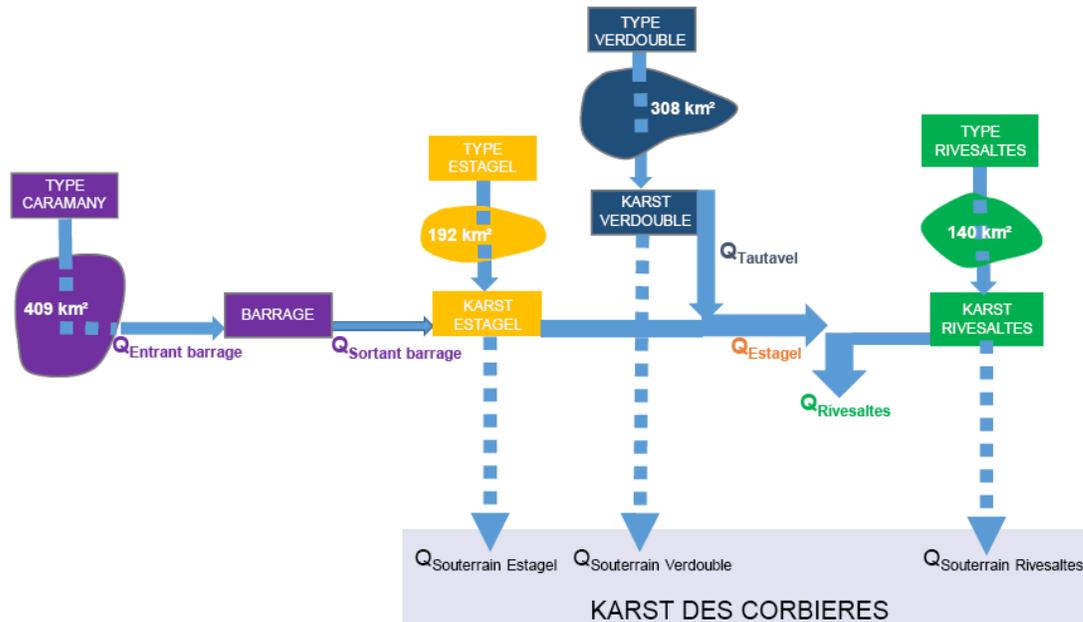


Illustration 56 : Représentation schématique de la structure du modèle type.

Les aquifères karstiques...

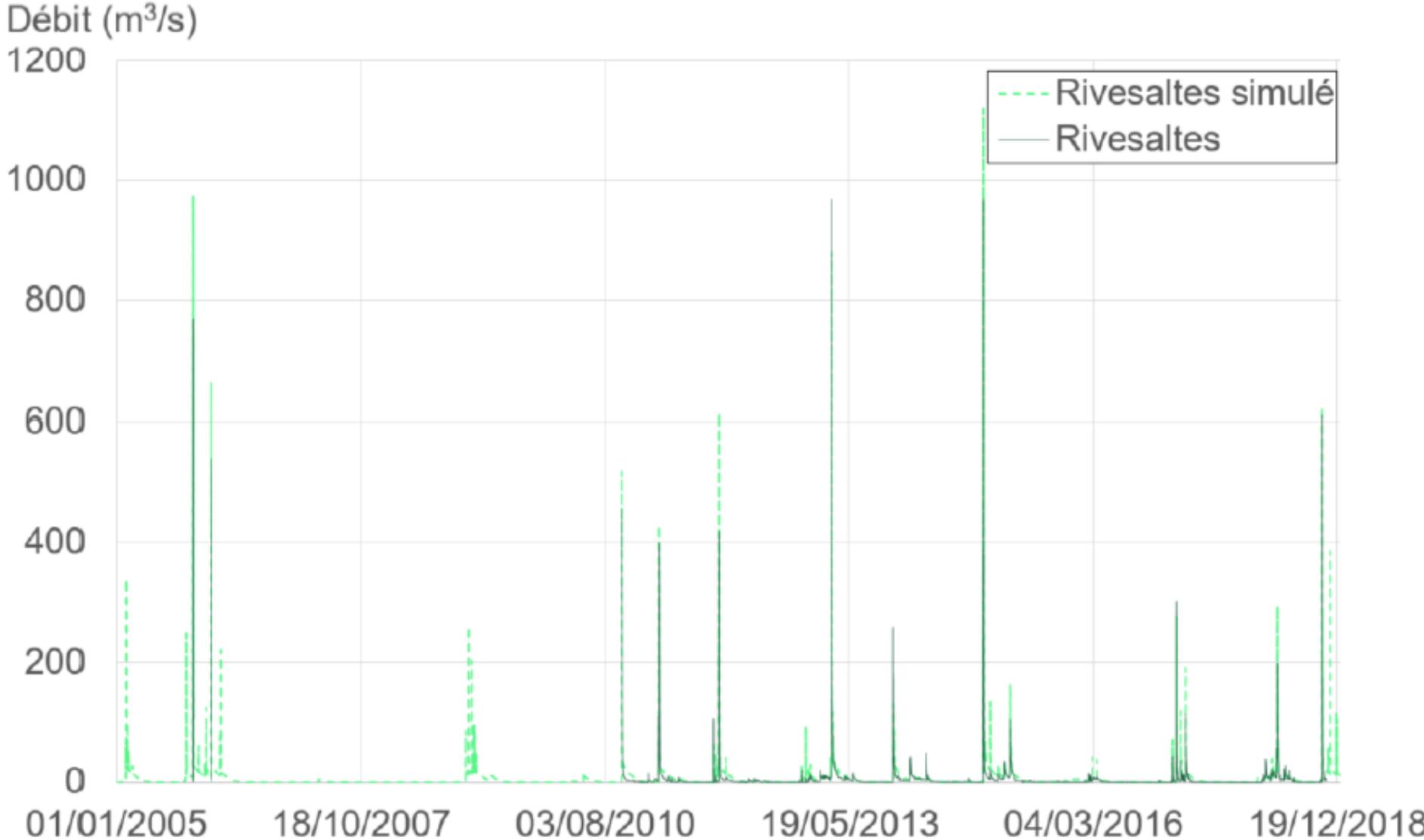
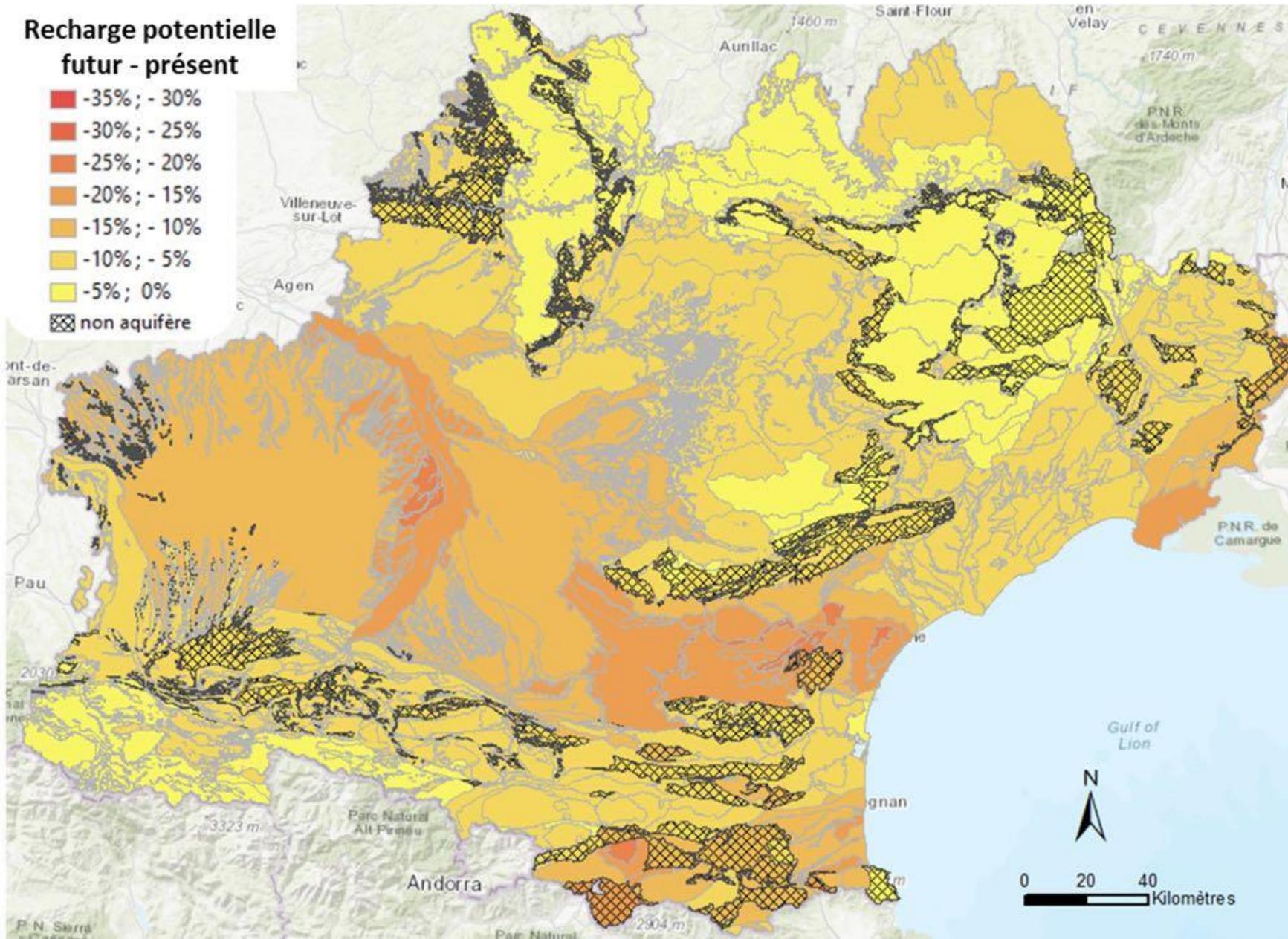


Illustration 74 : Débits simulés et observés à la station de Rivesaltes.

Les aquifères karstiques...

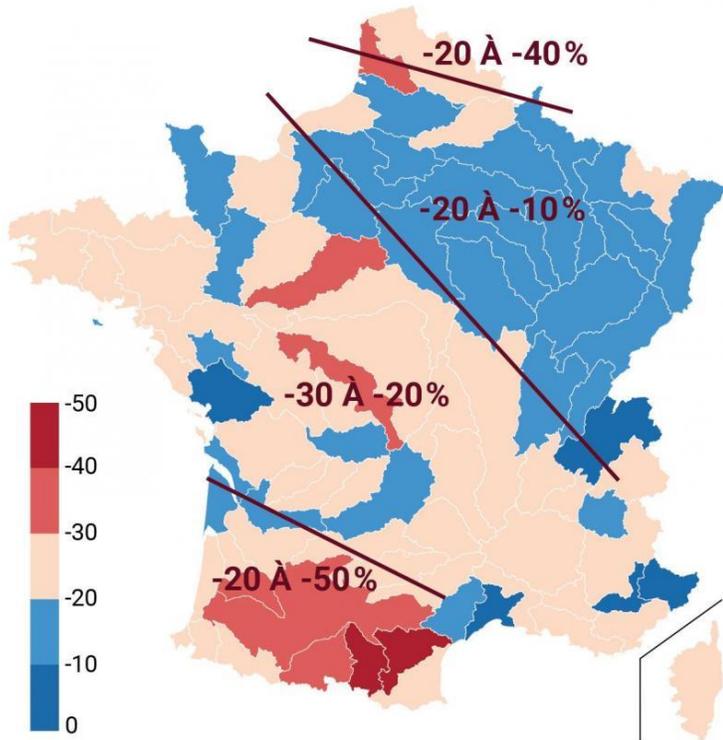


Anomalies moyennes des projections de recharge potentielle moyenne annuelle entre les valeurs futures à l'horizon 2050 (2041-2060) et présentes (1981-2010) calculées à partir de 5 projections climatiques issues de CMIP5 (Taylor et al., 2012), régionalisées de deux manières différentes (Pagé et al., 2009 ; Dayon, 2015) – Fond de carte : World topographic map – ©ArcGIS.
(Source : Caballero, 2021, pour le CROCC)

48 Sites en France pour le soutien de nappes déjà souvent surexploitées

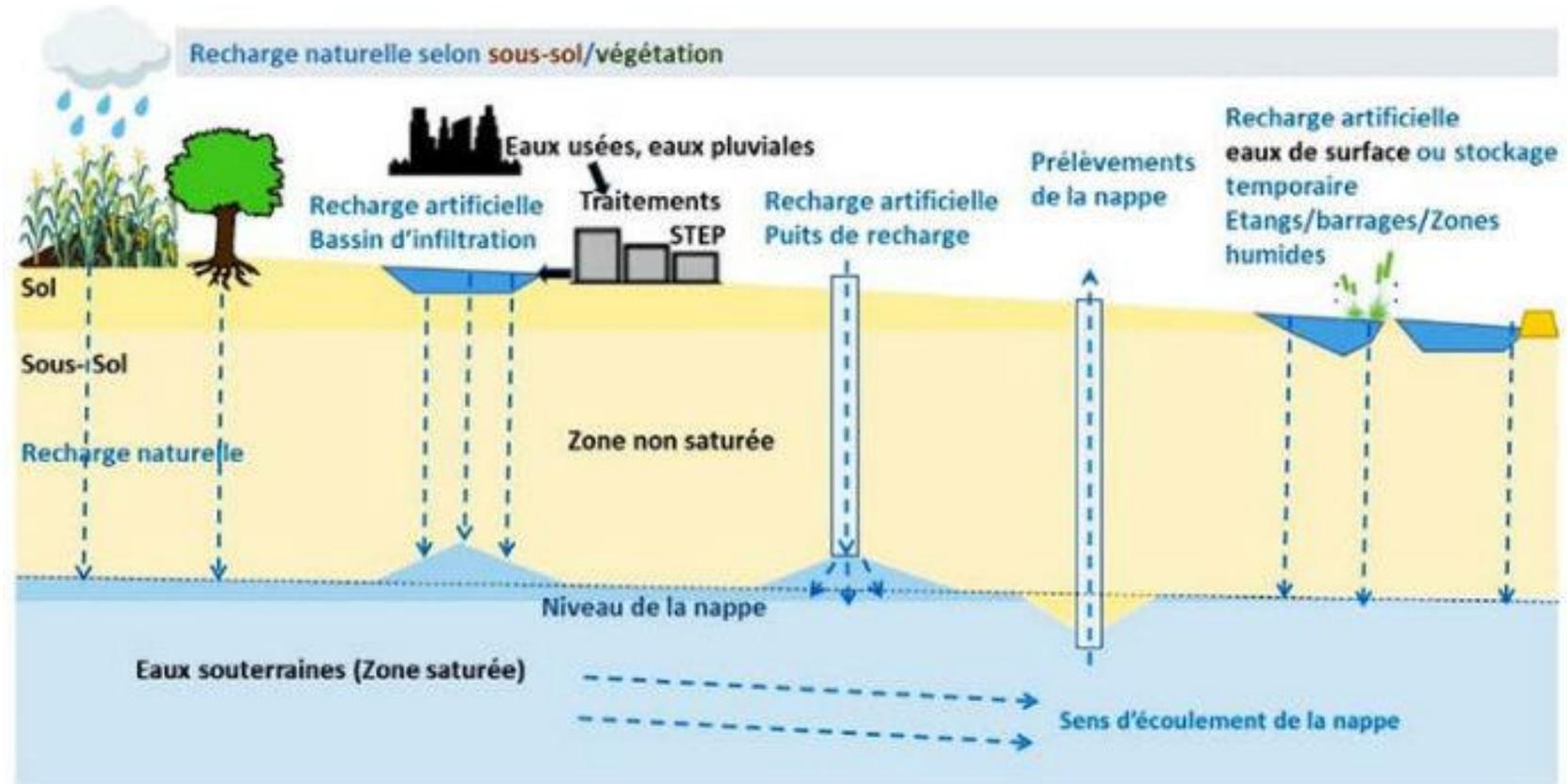
DES EAUX SOUTERRAINES EN SOUFFRANCE

Diminution moyenne de la recharge (%)



SOURCE : BRGM

INFOGRAPHIE J. DEPELCHIN



S'inscrire dans un contexte local

La réutilisation des eaux usées constitue l'une des solutions locales, complémentaire à d'autres solutions (économie d'eau, recyclage, désalinisation...), pour pallier un déficit en eau ou réduire une pression polluante sur la ressource et permettre de répondre à des besoins spécifiques sur un territoire.

Répondre à un enjeu environnemental

Si la réutilisation des eaux usées traitées est tout à fait adaptée en milieu littoral lorsque les eaux usées traitées sont rejetées en mer, elle n'est pas toujours intéressante en milieu continental lorsque le rejet de la station contribue significativement au débit du cours d'eau dans laquelle elle se rejette. De même, elle ne doit pas être préalable à des actions d'économie d'eau et doit s'intégrer dans une vision intégrée et raisonnée de la ressource en eau à l'échelle du territoire (principe de sobriété).

Maîtriser les aspects techniques et économiques

Un projet de réutilisation des eaux usées traitées suppose un investissement, donc un coût économique et des compétences techniques, des capacités d'innovation et de développement qui doivent être adaptées. Des analyses coûts / efficacité sont nécessaires pour appréhender la rentabilité globale des projets. Le prix de l'eau réutilisée délivrée est aussi déterminant.

La réutilisation des eaux usées ne constitue pas une solution miracle, mais doit s'inscrire dans des solutions locales.

Des enjeux de gouvernance cruciaux

Une première esquisse des enjeux autour de la gouvernance de l'eau peut être formulée autour de quatre impératifs. Il s'agit :

- **de réduire et de trouver la bonne solution aux conflits d'usage** : ainsi que le souligne le rapport Tuffnell, « les conflits d'usage émergent quand la ressource, à un instant, en un lieu donné et pour une qualité donnée, ne permet pas, ou plus, de satisfaire les différents usagers ».
- **de bien la compter et de bien en évaluer les évolutions**, pour bien la gérer (nombre de conflits sont liés aux incertitudes sur la quantité disponible).
- **de moins et mieux consommer**. Les Assises de l'eau, ont fixé en juillet 2019 l'objectif de réduire les prélèvements en eau à hauteur de 10 % en cinq ans, puis de 25 % en quinze ans. Cet objectif doit être atteint par l'évolution des pratiques et de la consommation, la lutte contre le gaspillage et les pertes d'eau, ou encore une meilleure utilisation de la ressource.
- **de gérer d'une manière « réellement collective la ressource sur le long terme** afin d'anticiper et de prévenir des conflits d'usage à venir » donc en fonction d'une gouvernance pertinente pour établir le diagnostic correct.

Qui consomme quoi ? Qui sait quoi ? Qui fait quoi ?