AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

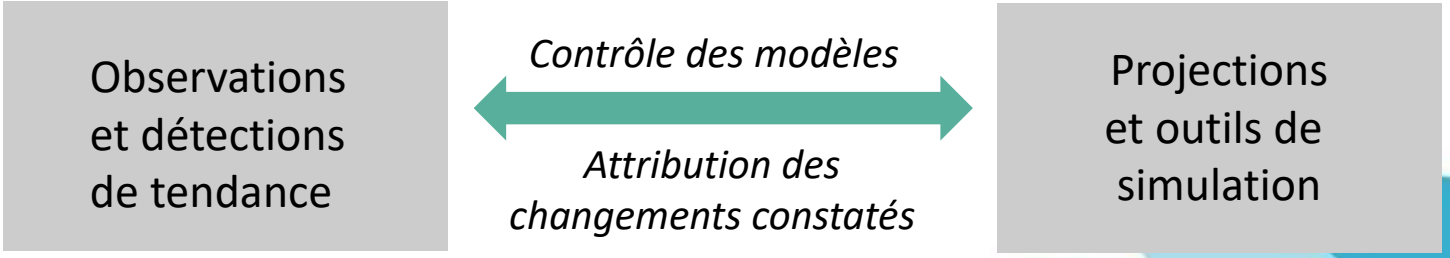
CONSEIL SCIENTIFIQUE

Impacts sur les eaux superficielles

Eric Sauquet
UR RiverLy INRAE
la science pour la vie, l'humain, la terre

Contexte

- Un fait : augmentation des températures de l'air ➔ capacité accrue de l'atmosphère à contenir de l'eau, processus d'évaporation et de fonte des glaciers amplifiés, etc.
- Des constats / perceptions (impacts) : augmentation des coûts économiques dus aux inondations dans de nombreux territoires dans le monde, augmentation des restrictions d'eau, etc.
- Des craintes : implications pour la gestion des risques (zonages, dimensionnement des ouvrages de protection, etc.) et de la ressource (conflit d'usage) et pour les écosystèmes ("déphasage" avec des cycles biologiques en crue, accès modifiés voire impossibles à des refuges en étiage, etc.)
- **Deux approches complémentaires pour appréhender la question de l'impact du changement climatique :**



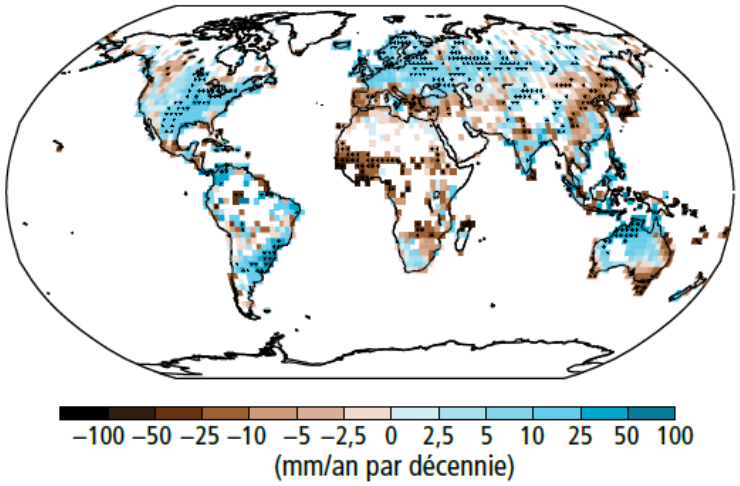
AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Tendances globales

(source : GIEC, 2014)

Évolution des précipitations annuelles sur les terres émergées observée entre 1951 et 2010



- Selon plusieurs analyses indépendantes de mesures, il est quasiment certain que la température globale au niveau du sol a augmenté depuis le milieu du XXe siècle. […] En moyenne sur les terres émergées des latitudes moyennes de l'hémisphère Nord, les précipitations ont probablement augmenté depuis 1901
- Confiance faible quant à la modification […] de la fréquence et de l'ampleur des sécheresses et de crues fluviales
- Les coûts associés aux dommages provoqués par les inondations ont augmenté à l'échelle du globe depuis 1975, (↗ due en partie à une hausse de l'exposition des personnes et des biens)
- La faiblesse des éléments probants est principalement due à l'insuffisance ou l'absence de relevés de long terme. En outre, un grand nombre d'activités humaines ont une forte incidence sur les crues et les étiages, d'où la difficulté d'attribuer les modifications détectées à l'évolution seule du climat

Tendances globales

Et en France ?

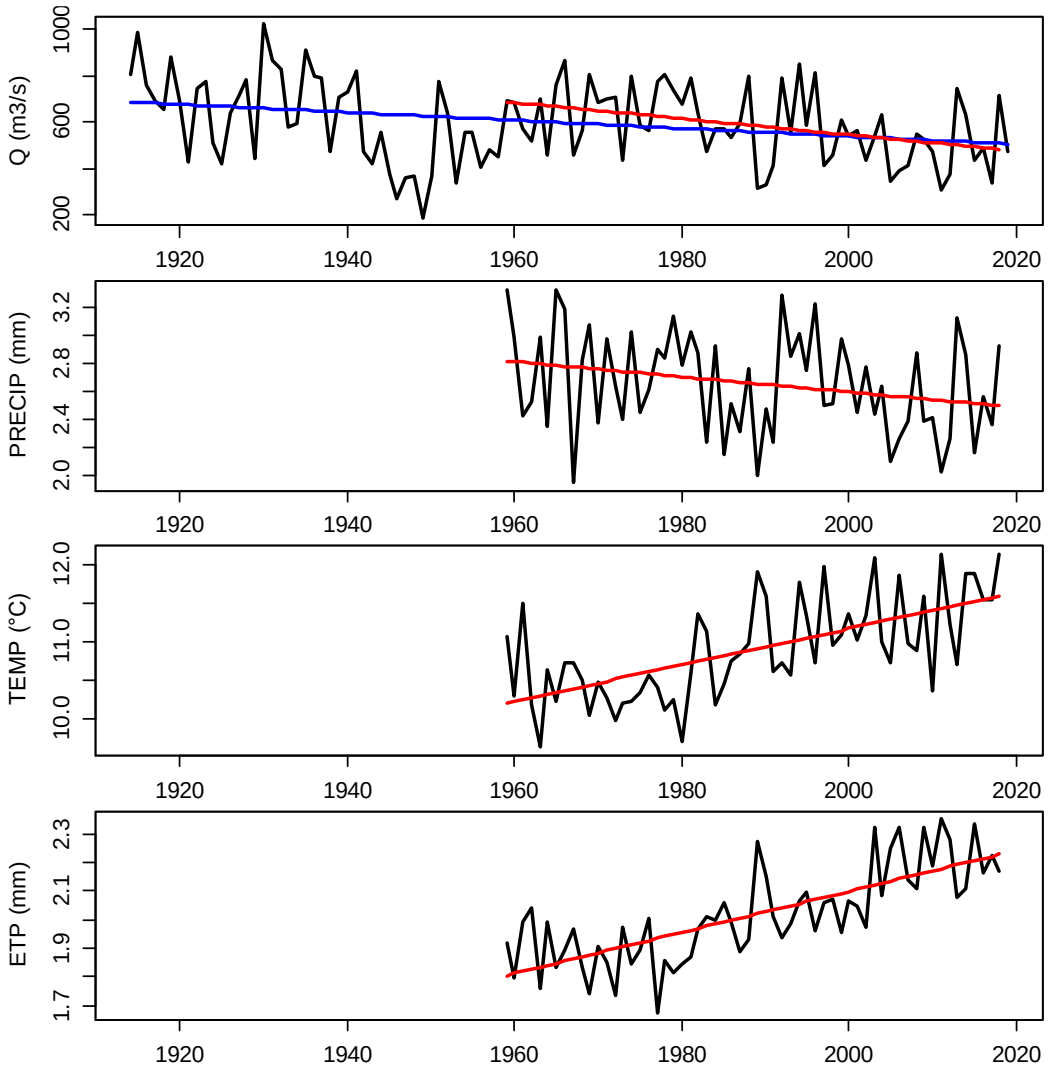


Tendances observées sur la Garonne

- Analyse croisée des variables structurantes des débits

  Série des débits annuels obtenue par concaténation des débits du Mas d'Agenais (52 000 km²) depuis 1914 et de Tonneins (51 500 km²) après 1989 et jusque 2018 (source : banque HYDRO)

  Séries des variables climatiques extraites de la réanalyse Safran (source : Météo-France)



Eléments méthodologiques

- Objectif : examiner la vraisemblance d'une hypothèse **H0** sur un échantillon de valeurs x_i, i= 1.., N.
- Ici, le test conduira à retenir l'hypothèse de stationnarité (*absence de changement*) ou son alternative **H1**, sachant qu'une seule est vraie
- Les tests s'appuient sur une variable de décision ***Z***, dont la distribution est connue sous **H0**
- On peut définir un intervalle qui contient théoriquement (1-α)% des valeurs, avec α < 10% sous **H0** et positionner la valeur de ***Z*** prise pour l'échantillon de valeurs x_i, i= 1.., N. Si la valeur de ***Z*** est en dehors de l'intervalle, on juge la valeur « hors norme » et **H0** est rejetée avec un risque α. Plus α est faible, plus l'intervalle est grand et **H0** ne sera rejetée que très rarement
- Les tests sont des outils d'aide à la décision. Il y a des éventualités de se tromper dans la conclusion finale : refuser **H0** alors que **H0** est vraie (risque de 1ère espèce = α) ou accepter **H0** alors que **H1** est vraie

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Constitution de jeux de référence

- Des contraintes de sélection strictes :
  - Du fait d'une grande variabilité naturelle du climat, les tendances calculées sur des séries courtes sont très sensibles à la date de début et de fin de la période considérée, et ne reflètent généralement pas les tendances climatiques à long terme ➔ Un minimum de 30 années conseillé
  - Une bonne qualité de la mesure (fiabilité des valeurs de débits) qui implique un regard sur la métrologie de la station hydrométrique, les jaugeages, la courbe de tarage, etc.
  - Un régime peu perturbé par les actions humaines pour identifier un signal « purement climatique » et ne pas se tromper sur l'origine d'éventuels changements

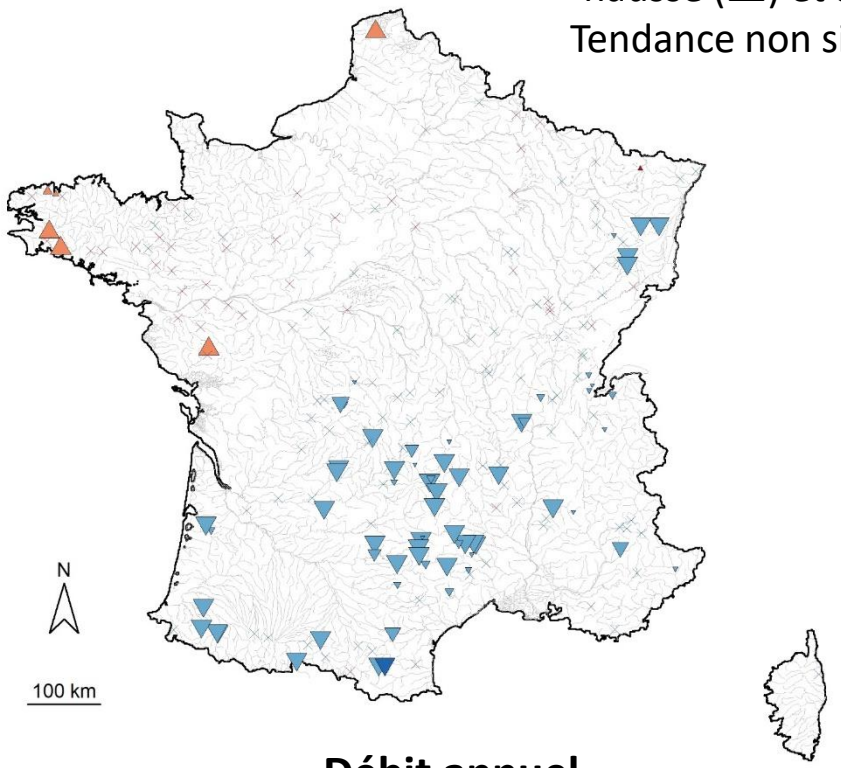
- Difficulté réelle d'accès à de longues séries de débits non perturbés par les actions humaines : mesures des débits relativement récentes et positionnement des stations dans des secteurs avec de forts enjeux socio-économiques (donc anthropisés)

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

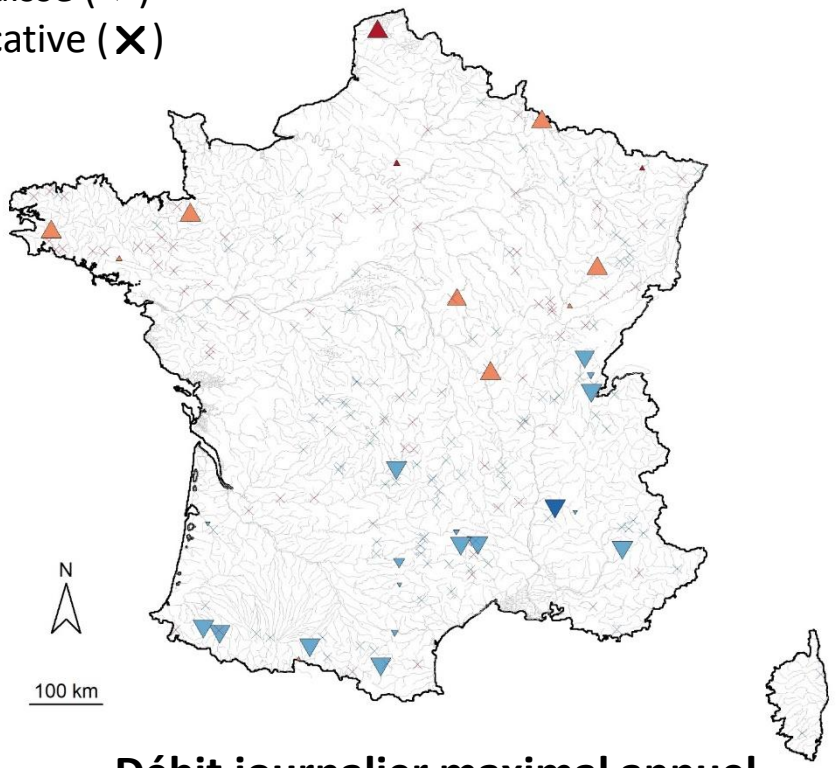
CONSEIL SCIENTIFIQUE

Tendances en France

Tendance significative à la hausse (△) et à la baisse (▽)
Tendance non significative (✕)



Débit annuel



Débit journalier maximal annuel

Période 1968-2018, stations extraites du Réseau de Référence pour la Surveillance des Etiages
(https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/reseau-de-reference-pour-la-surveillance-des-etiages-rrse/)

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Conclusion – Etudes de stationnarité

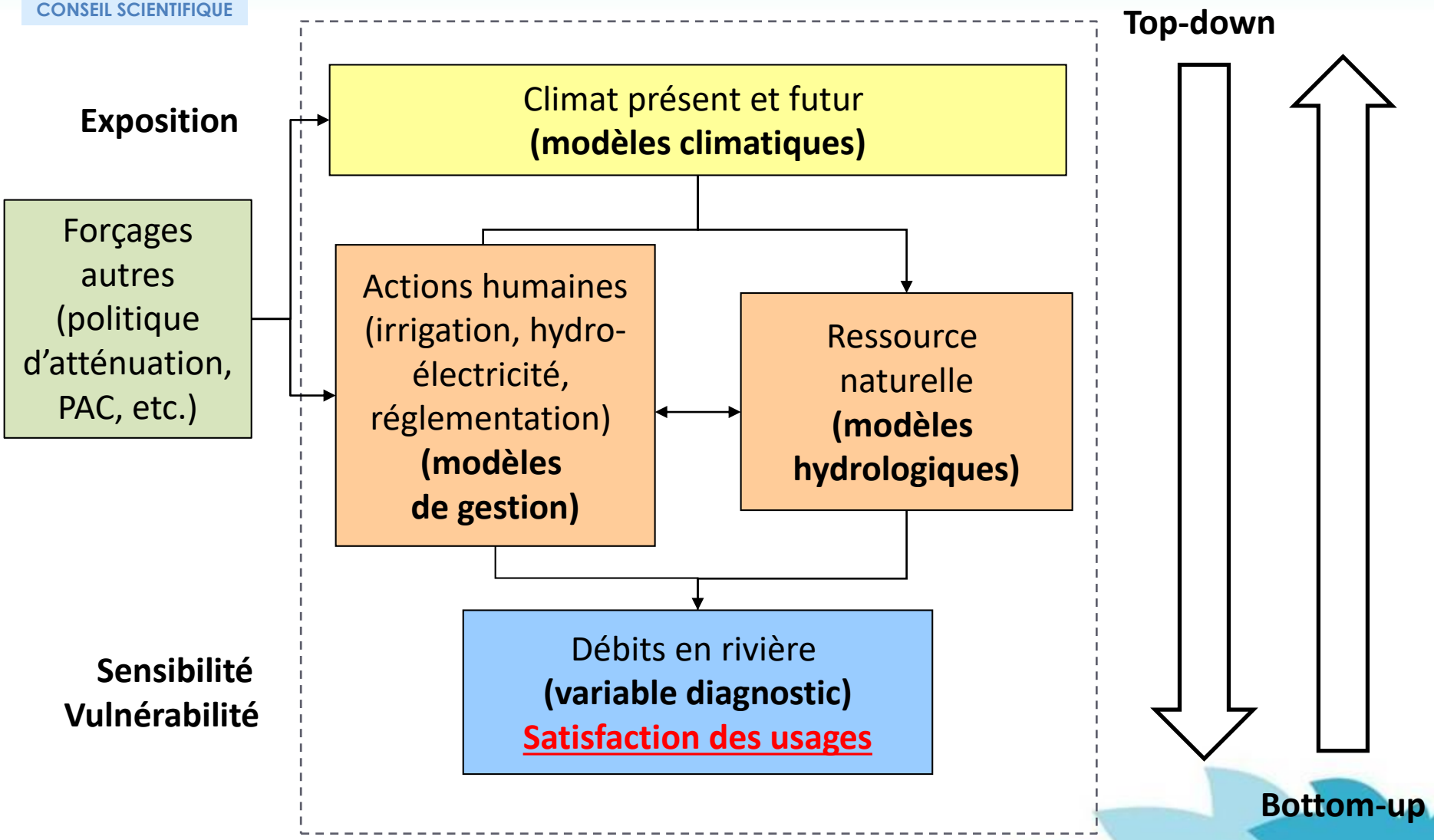
/!\ difficulté d'identifier des tendances dans les extrêmes /!
/!\ peu de stations propices à des études de tendance /!
/!\ effets antagonistes qui peuvent masquer les changements /!
/!\ aucune capacité prédictive (ne pas extrapoler des tendances) /!

- Absence de tendance partagée sur le globe, à l'échelle européenne mais des tendances régionales peuvent émerger (si homogénéité hydro-climatique)
  - Des effets sensibles quand le processus dominant est lié de manière univoque à la température (Bard et al., 2015)
  - Dans le sud de la France, une forme de contradiction entre des crues moins fréquentes et un coût croissant des dommages causés par les inondations ➔ une augmentation des coûts due à une augmentation de la vulnérabilité socio-économique (Neppel et al., 2003)
  - Des tendances qui semblent se confirmer sur les étiages et les débits annuels avec une intensité des changements structurée selon un axe nord-sud
- Des soupçons d'attribution mais pas de certitude

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Etude d'impact – approche générale



AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Des projections pour le futur – les incertitudes de modélisation

- De nombreux modèles existent (différence : résolution temporelle et spatiale, manière d'intégrer les lois physiques…) ➔ Des sensibilités et réponses forcément différentes
  ➔ Utilisation de plusieurs modèles pour représenter le climat (idem pour l'hydrologie)
- /!\ Certains processus à difficiles voire impossibles à représenter

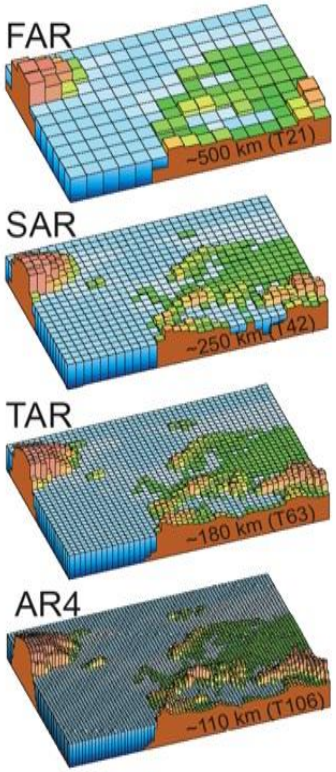
➔ Des outils en constante évolution / amélioration

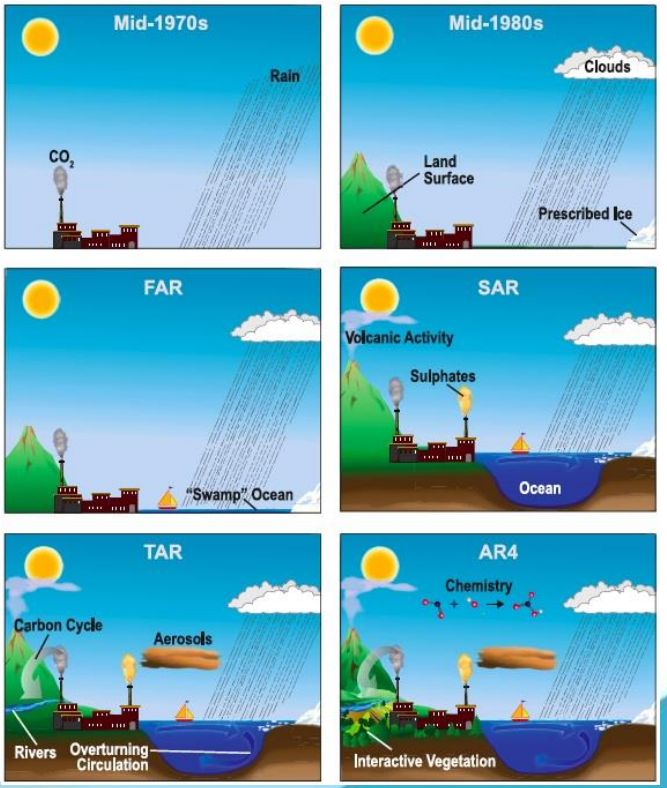
SAR pour First Assessment Report (1990)

SAR pour Second Assessment Report (1995)

TAR pour Third Assessment Report (2001)

AR4 pour 4th Assessment Report (2007)



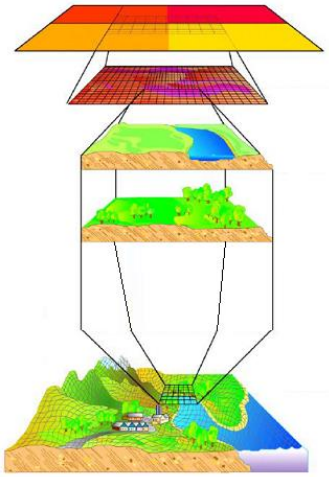


AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

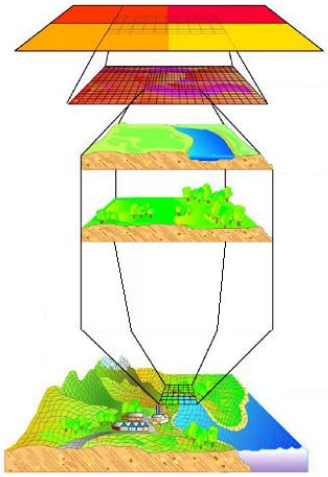
Des projections pour le futur – les incertitudes de modélisation

Modélisation en temps présent



Sorties PST

Modélisation sous scénarios d'émission



Sorties FUT

➔ On suppose que les biais resteront identiques sous changement climatique

➔ L'effet du changement est mesuré par les écarts entre :

➔ la variable d'intérêt issue de la chaîne de modélisation *temps présent*

et

➔ la variable d'intérêt issue de la chaîne de modélisation *futur*

➔ Effet du changement climatique = (*Sorties FUT* – *Sorties PST*)

➔ Ainsi on suppose filtrer les biais systématiques de modélisation

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Un pas vers le futur

Les études d'impact sur la ressource NATURELLE

Objectif : caractériser l'hydro-système soumis à des perturbations grâce à une chaîne de modélisation reproduisant le passé et susceptible de décrire le futur

Des projets co-financés par le MTES (GICC, RDT) : GICC Rhône, GICC-Seine, REXHYSS , R^2D^2 2050, REMEDHE, HYCCARE, etc. depuis 2000

METEO FRANCE Toujours un temps d'avance

Climat présent et futur

7 modèles climatiques AR4 + 1 méthode de descente d'échelle CERFACS DSCLIM

explore 2070

pour le compte du *MTES* (2010-2012)

Ressource naturelle **(2 modèles hydrologiques)**

irstea

METEO FRANCE Toujours un temps d'avance

Débits journaliers simulés et effets mesurés par l'écart sur des statistiques représentatives du temps présent (1962-1991, période de référence) et en temps futur (2046-2065)

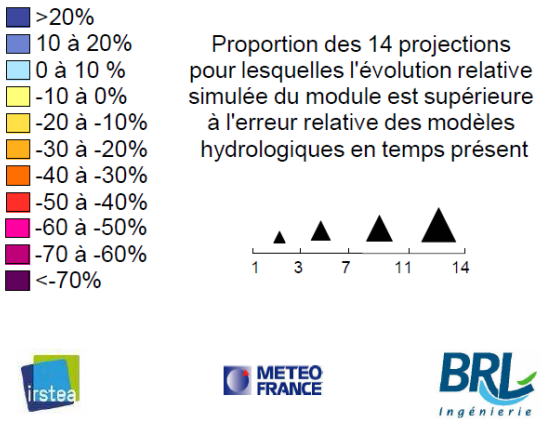
BRL Ingénierie

irstea

Des inquiétudes qui ont glissé progressivement des crues vers les étiages

La ressource superficielle en France en 2046-2065

explore 2070
Eau et changement climatique



irstea
METEO FRANCE
BRL Ingénierie

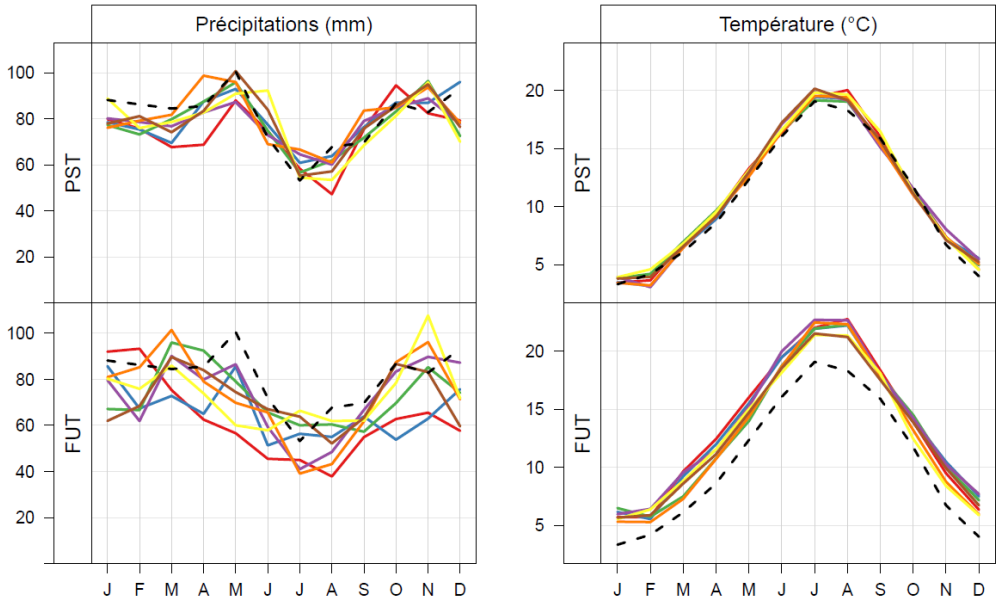
Débit annuel moyen (module interannuel)

(Chauveau *et al.*, 2013)

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

La Garonne en 2046-2065



La Garonne
au Mas-d'Agenais
Surface : 50402 km²

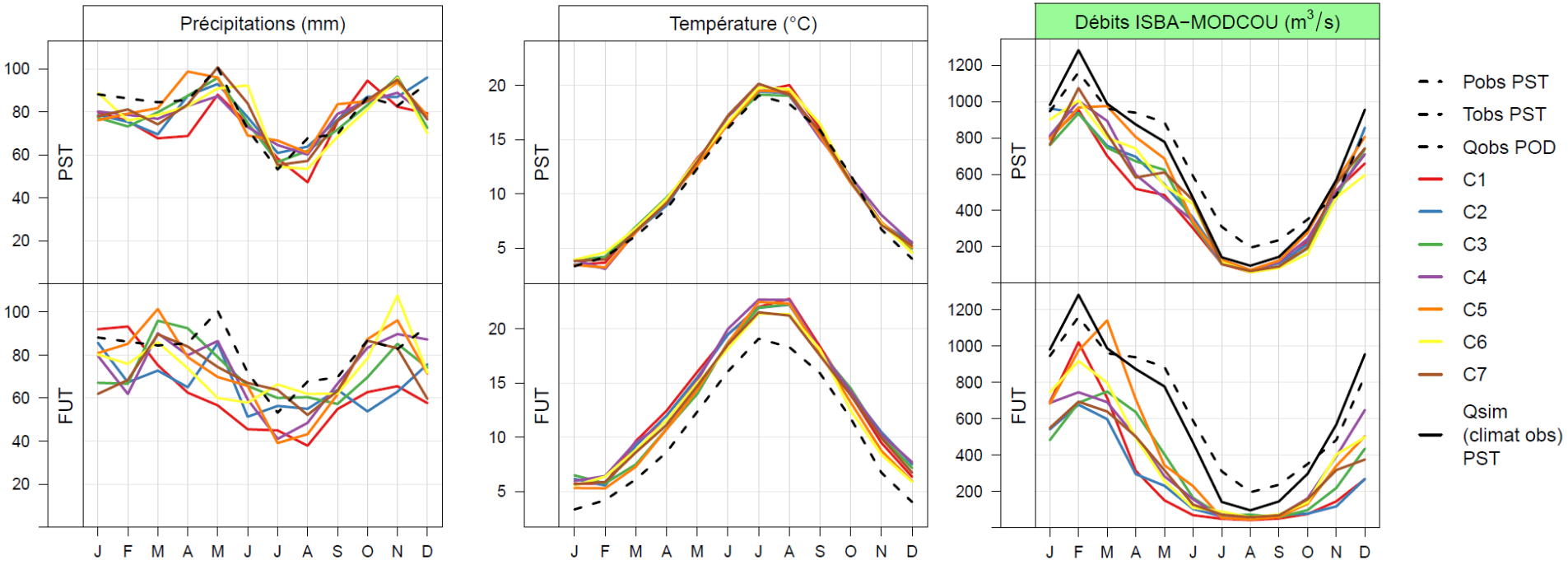
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
Précipitations	88	86	84	86	101	72	53	68	70	87	83	93	970
Ecart min (%)	-20	-21	5	-26	-36	-39	-41	-29	-27	-38	-28	-27	-16
Ecart médian (%	-1	-9	17	-9	-26	-20	-7	-14	-16	-4	-12	-9	-9
Ecart max (%)	15	23	24	6	-1	-5	22	16	-9	3	13	12	-5
Température	3.3	4.2	6.1	8.6	12.3	16.1	19.1	18.3	15.9	11.7	6.7	4	10.5
Ecart min (°C)	1.6	1.5	0.5	1.1	1.3	1.3	1.4	1.7	1.6	1.3	1.1	0.9	1.6
Ecart médian (°C)	2	2	2	2	1.9	2.2	2.6	2.9	2.5	2.6	2.2	1.8	2.2
Ecart max (°C)	2.6	3.3	3	3.1	2.7	3.1	2.9	3.5	2.9	3.2	3.2	2.2	2.7

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

La Garonne en 2046-2065

La Garonne au Mas-d'Agenais - Surface : 50402 km²



	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
QOBS	946	1161	961	939	886	589	311	195	237	351	483	836	656
QSIM	1051	1376	1037	899	807	496	153	99	151	311	579	1001	661
Ecart min (%)	-44	-35	-23	-58	-69	-77	-58	-37	-52	-67	-75	-69	-49
Ecart médian (%	-17	-26	0	-16	-50	-71	-51	-17	-36	-49	-42	-41	-29
Ecart max (%)	-14	-7	-17	-5	-35	-32	-23	-5	-12	-14	-15	-9	-20

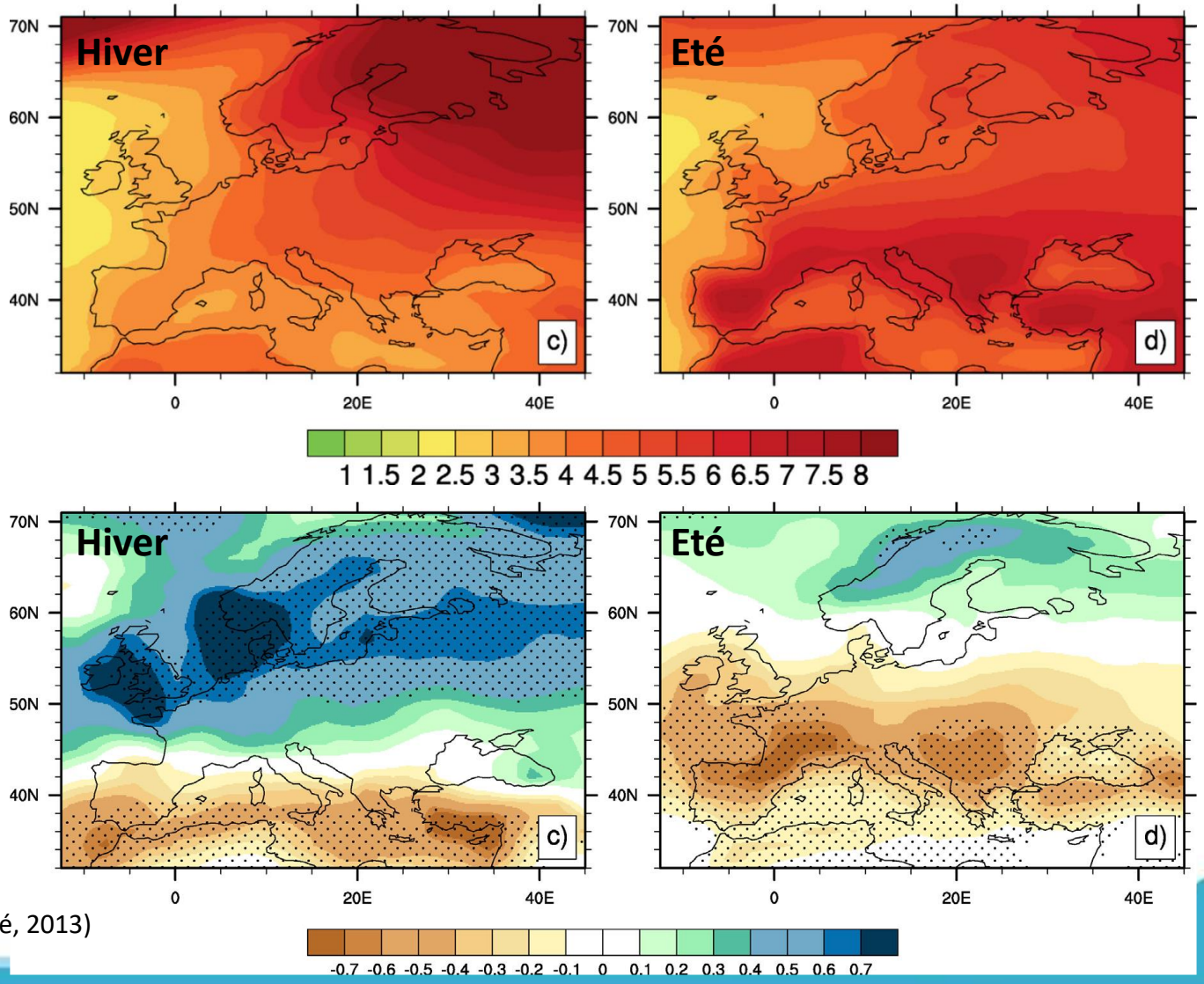
AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Des projections pour le futur, résultats du dernier exercice

Des projections sur la température et les précipitations pour la fin du XXIe siècle en Europe issues des GCMs sous RCP8.5

Changements moyens par rapport à la période 1900–1929

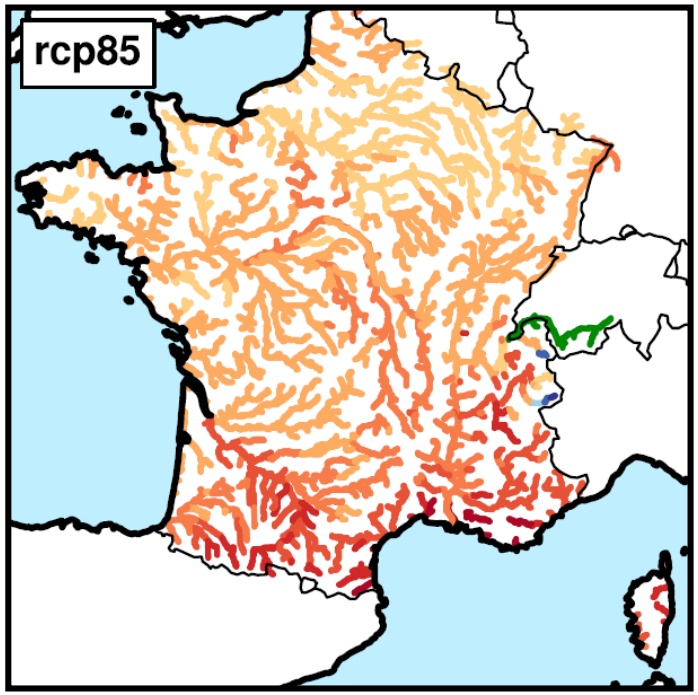


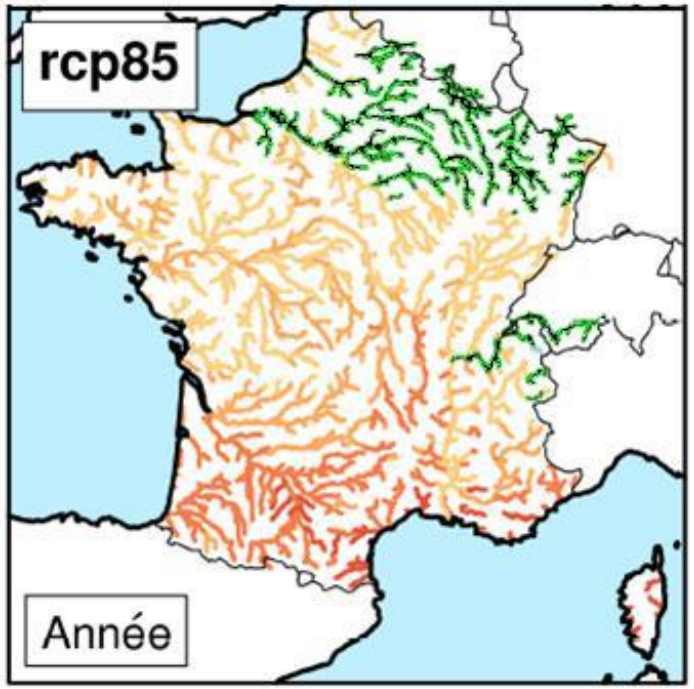
(Terray et Boé, 2013)

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Des projections pour le futur, résultats du dernier exercice

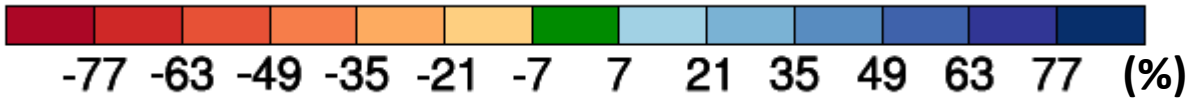




(Dayon, 2015)

QMNA5

Module interannuel



Une analyse plus récente mais n'explorant pas toutes les sources d'incertitude (un seul modèle hydrologique)

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

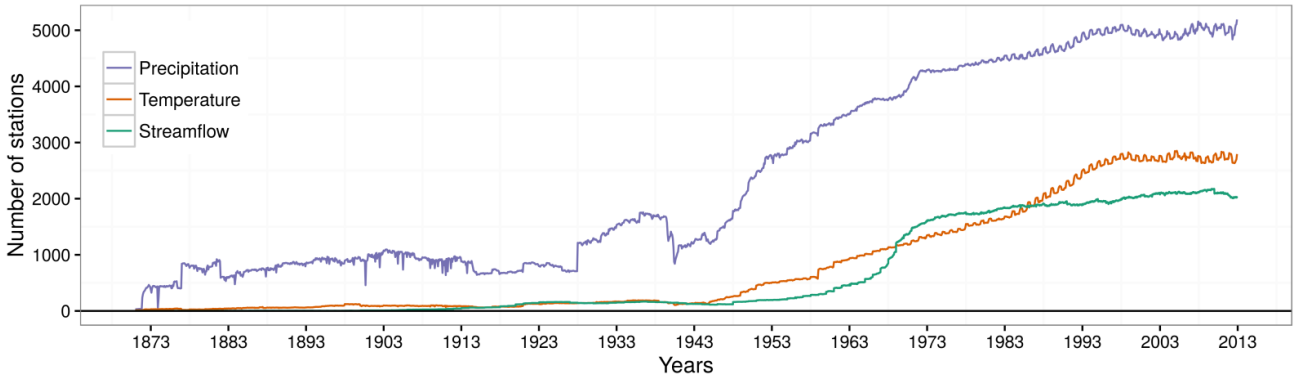
Conclusion – Etude d'impact

En France

- Les tendances dégagées semblent cohérentes avec les conclusions des études d'impact mais la question de l'attribution des changements au seul climat n'est pas résolue en hydrologie
- Les études d'impact projettent des étiages estivaux plus sévères dans les secteurs de plaine et des étiages hivernaux moins sévères dans les secteurs de montagne dans les décennies futures que par le passé
- Les études d'impact s'accordent principalement sur le signe de la tendance (effet proportionnel au caractère extrême du scénario d'évolution de la composition en GES)

- Des besoins d'actualiser *en continu* les connaissances (reconstitutions, observations, modélisations) notamment pour mettre en perspective les événements récents et mieux appréhender le futur
- Des besoins de mieux représenter la vulnérabilité pour prioriser/anticiper les actions et adaptations

Les verrous scientifiques



Les prélèvements grâce aux redevances des Agences de l'Eau… mais peu de données pour quantifier les prélèvements et les consommations (données indirectes = redevances des Agences, données non adaptées = comptabilité sur l'année, données non centralisées = non consolidées, recul historique limité, fiabilité réduite sur les données anciennes, prélèvements non déclarés)

Exemples de sources de données exploitables : HYDRO (*www.**hydro**.eaufrance.fr*), BNPE (*www.**bnpe**.eaufrance.fr*), INSEE (*www.**insee**.fr*), PROPLUVIA (*www.**propluvia**.fr*), DRIAS (*www.**drias-climat**.fr*) pour les données relatives aux projections climatiques en France

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Les verrous scientifiques

- Sans filet dans des situations climatiques nouvelles, **TOUS** les modèles sont livrés à eux mêmes (d'où besoin de mieux comprendre les processus et de mieux les représenter en temps présent)
- Perspectives d'amélioration des modèles, mais sans donnée fiable de validation, que peuvent-ils faire ?
- Exploiter les modèles calés dans le passé est **un pari/une hypothèse** que les facteurs dominants sur lesquels ils se fondent resteront les mêmes
- Utiliser plusieurs modèles permet de mieux caractériser les incertitudes, de mieux cerner ce qui est robuste et de ne pas optimiser une stratégie d'adaptation sur une évolution possible parmi d'autres :
  - Sur la Durance (projet R^2D^2-2050), mise en évidence du rôle primordial de l'ETP et de la représentation du manteau neigeux (Vidal et al., 2016)
  - Incertitudes non négligeables des modèles hydrologiques dans le devenir des étiages ; en revanche, rôle prépondérant des modèles climatiques dans le devenir des crues

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Quelques compléments d'actualité scientifiques

- Projet PIRAGUA OPCC (en cours) : étude de stationnarité sur des variables hydrologiques des deux côtés des Pyrénées, quantification de la ressource et des pressions sur les bassins versants pyrénéens, prospective sur les usages du système Neste sous changement global (https://www.opcc-ctp.org/fr/piragua)

- Projet EPYC (en discussion) d'Elaboration des Projections hYdro-Climatiques en France pour le 21e siècle (actualisation du volet ressource en eau d'Explore2070, https://professionnels.ofb.fr/fr/node/44)

MERCI DE VOTRE ATTENTION