



Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 - SIM2

AIC 2022 – 06/07/2022

Fabienne Rousset, Météo-France DCSC

Flore Tocquer, Météo-France DCSC

Jean-Michel Soubeyrou, Météo-France DCSC

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Plan de l'exposé

1. Contexte : les projets EXPLORE2 et LIFE Eau&Climat
2. Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 - SIM2
3. Rappel sur les simulations climatiques DRIAS 2020
4. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution de la ressource en eau
→ l'humidité du sol
5. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution des débits
→ à l'échelle de la France
→ exemple de la Garonne à Portet-sur-Garonne
→ exemple de la Seine à Paris
6. Conclusions et perspectives

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Projets EXPLORE 2 et LIFE Eau & Climat

→ **Projet EXPLORE 2 :**

« mise à jour » du projet EXPLORE 2070 (2013-2015)

Impact du changement climatique sur l'hydrologie en France

Projet « scientifique », leader INRAE (Lyon), 2021-2024, soutenu MTE et OFB

Partenaires scientifiques / modélisation hydro-géologique (INRAE Antony Lyon et Aix, IPSL, ENS, BRGM, Univ. Lorraine, EDF R&D, ...)

Objectif : produire et analyser un jeu de projections hydro-climatiques multi scénarios, multi modèles (climatiques, de descente d'échelle, hydrologique)

Contribution Météo-France : fourniture de forçages climatiques corrigés (DRIAS 2020 +) / modélisation hydrologique SIM2

→ **Projet LIFE Eau & Climat :**

Valorisation des résultats d'EXPLORE 2, mise à disposition des utilisateurs

Contribution Météo-France : ouverture d'un portail DRIAS-Eau fin 2022 (démonstrateur inclus dans DRIAS en sept 2021), accompagnement et documentation

Données hydro (SIM2) en ligne + rapport d'accompagnement

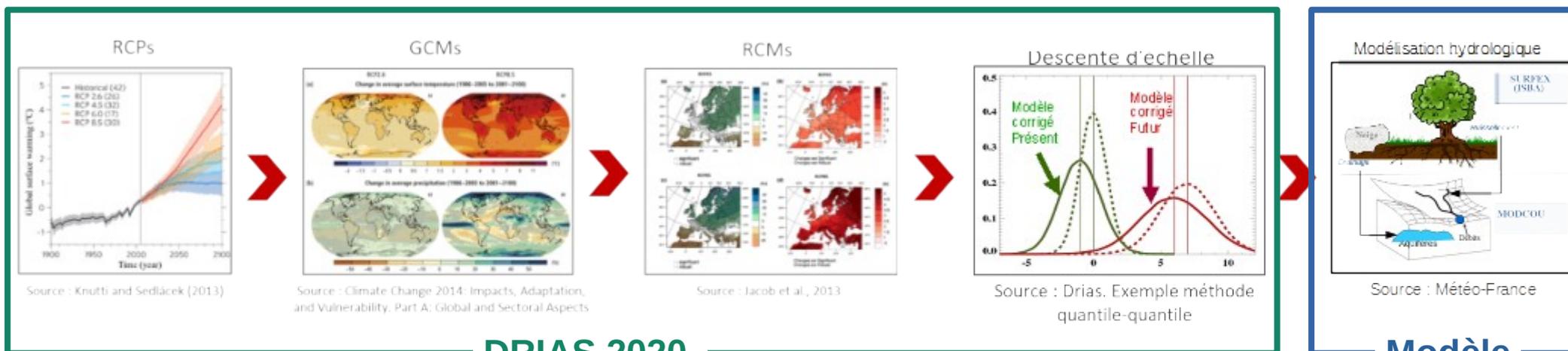
Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Plan de l'exposé

1. Contexte : les projets EXPLORE2 et LIFE Eau&Climat
2. Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 - SIM2
3. Rappel sur les simulations climatiques DRIAS 2020
4. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution de la ressource en eau
→ l'humidité du sol
5. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution des débits
→ à l'échelle de la France
→ exemple de la Garonne à Portet-sur-Garonne
→ exemple de la Seine à Paris
6. Conclusions et perspectives

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS-2020 SIM2



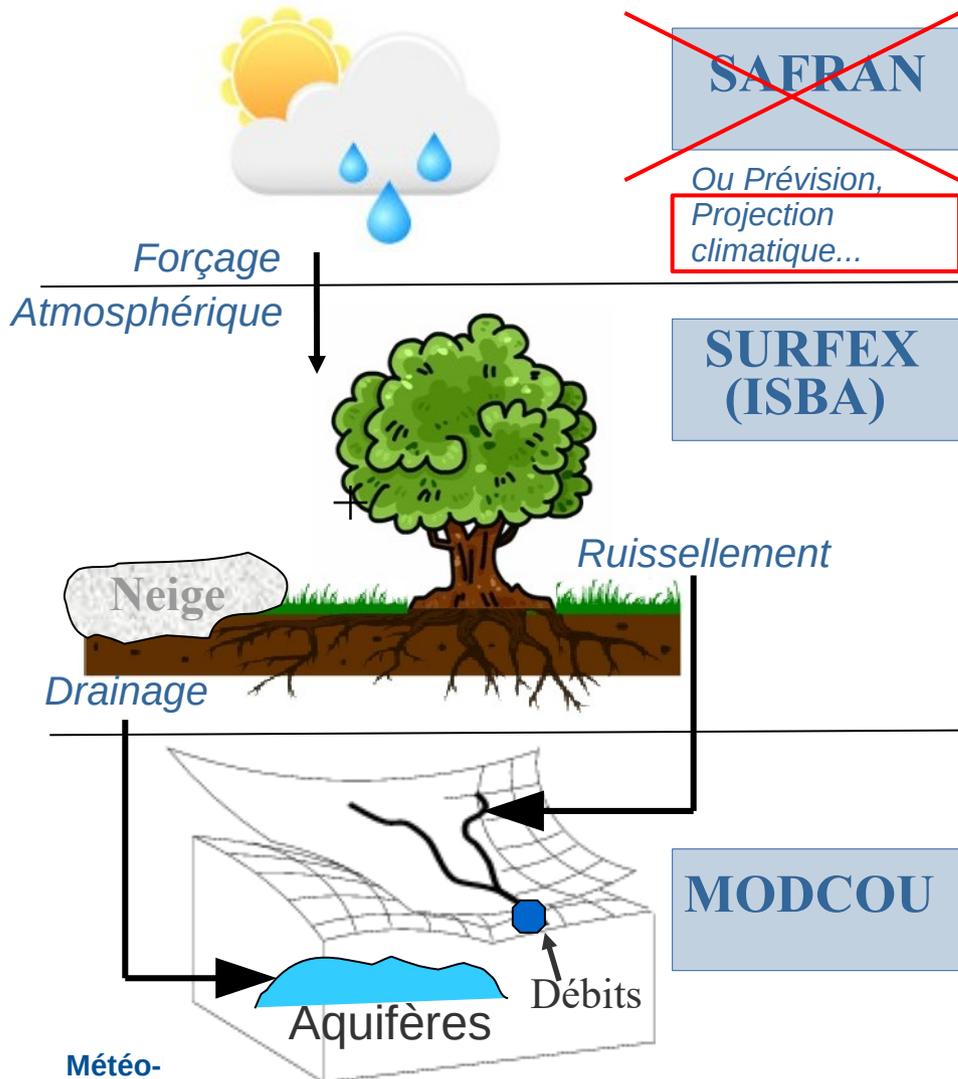
DRIAS 2020

- Projections climatiques continues 2005-2100, historique 1975-2005 selon 3 scénarios RCP : RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5
- 12 couples de modèles climatiques globaux (GCM) et régionaux (RCM)
- Tous les modèles ne disposent pas tous des 3 RCP, ce qui nous donne
 - 12 simulations historiques 1975-2005
 - 30 simulations futures 2005-2100

Modèle D'impact (SIM2)

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS-2020 SIM2



SIM 2 : la chaîne de modélisation hydro-météorologique de Météo-France

Chaîne de modélisation SIM version 2, Composée de 3 modèles :

- ~~SAFRAN~~ : module d'analyse du forçage atmosphérique passé => **projections climatiques du jeu DRIAS 2020**
- **SURFEX** (contenant le code ISBA) : schéma de surface, calcule les flux d'eau et d'énergie au niveau du sol, simule l'évolution du manteau neigeux
- **MODCOU** : modèle hydro-géologique de Mines-ParisTech, calcule les débits des rivières, les niveaux des nappes et les interactions nappes-rivières

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Plan de l'exposé

1. Contexte : les projets EXPLORE2 et LIFE Eau&Climat
2. Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 - SIM2
3. Rappel sur les simulations climatiques DRIAS 2020
4. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution de la ressource en eau
→ l'humidité du sol
5. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution des débits
→ à l'échelle de la France
→ exemple de la Garonne à Portet-sur-Garonne
→ exemple de la Seine à Paris
6. Conclusions et perspectives

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Rappel sur l'évolution des précipitations (source : rapport DRIAS 2020)

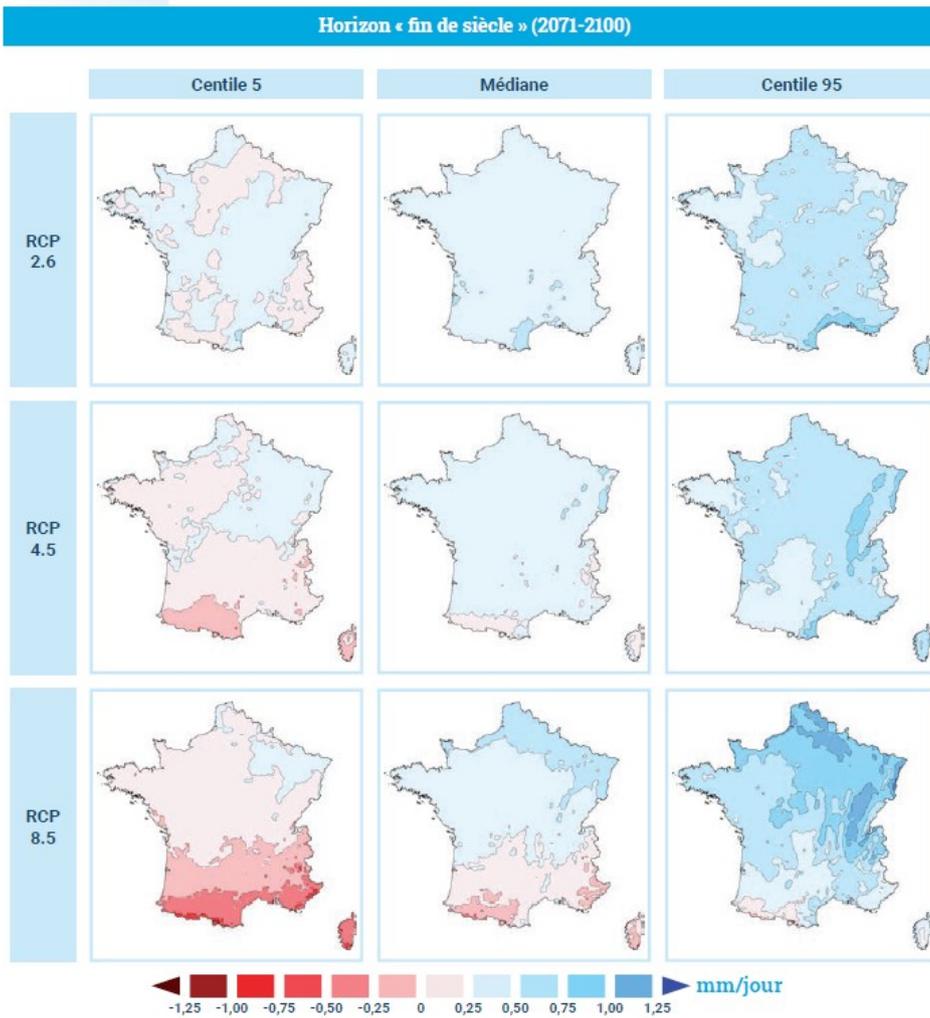


Figure 18 : Cartes des écarts de cumul annuel de précipitation à l'horizon fin de siècle pour les trois RCP et selon les paramètres de la distribution C5, C50 et C95.

← Précipitations moyennes

↓ Précipitations saisonnières en moyenne sur la France

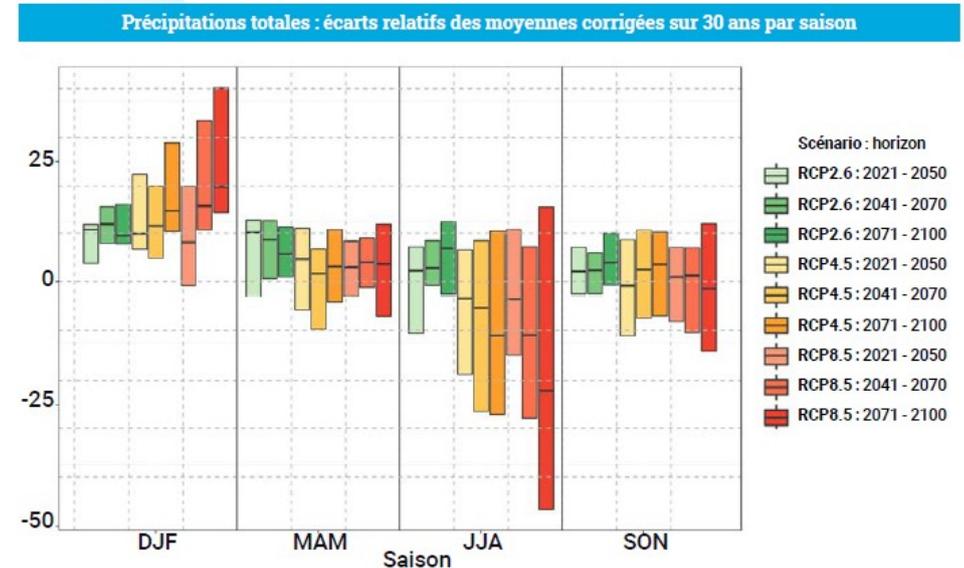
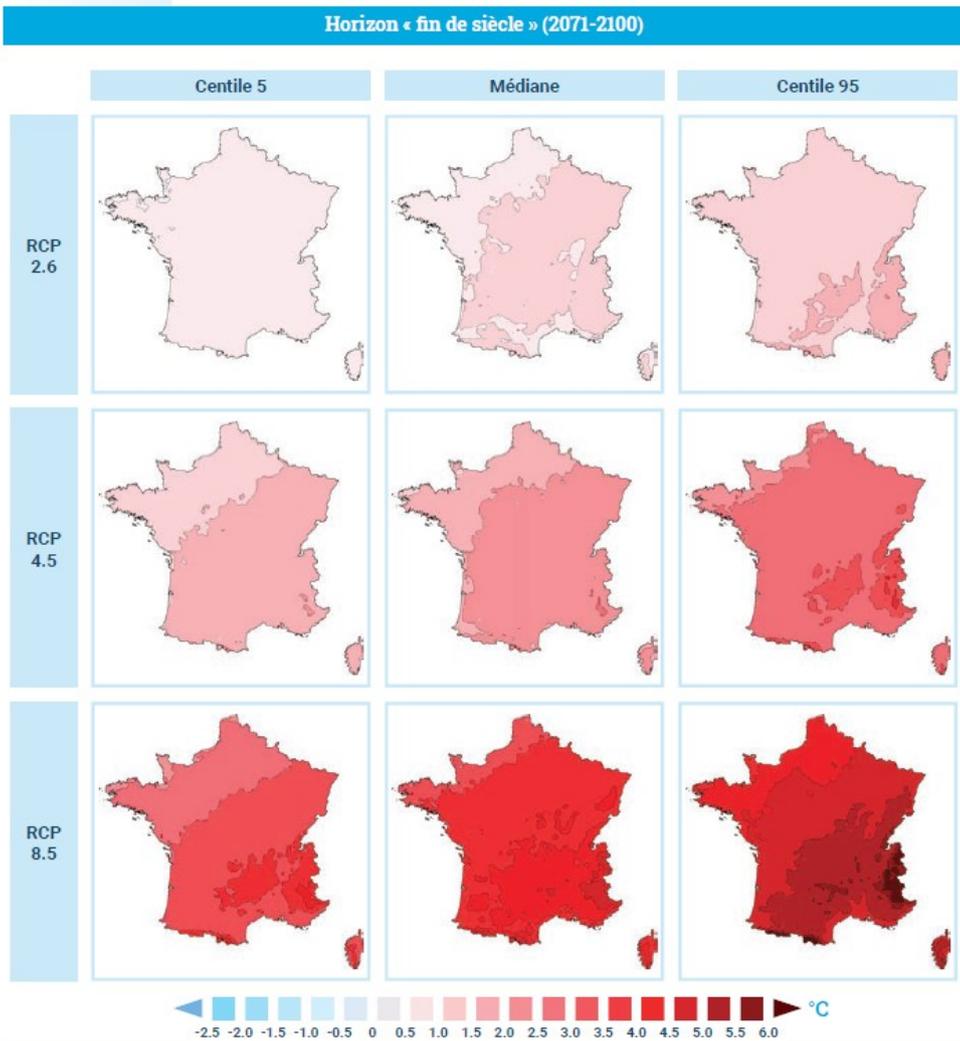


Figure 19 : Graphe de l'évolution saisonnière des écarts relatifs du cumul des précipitations totales par RCP et horizon temporel.

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Rappel sur l'évolution des températures (source : rapport DRIAS 2020)



Température moyenne : écarts des moyennes sur 30 ans par saison

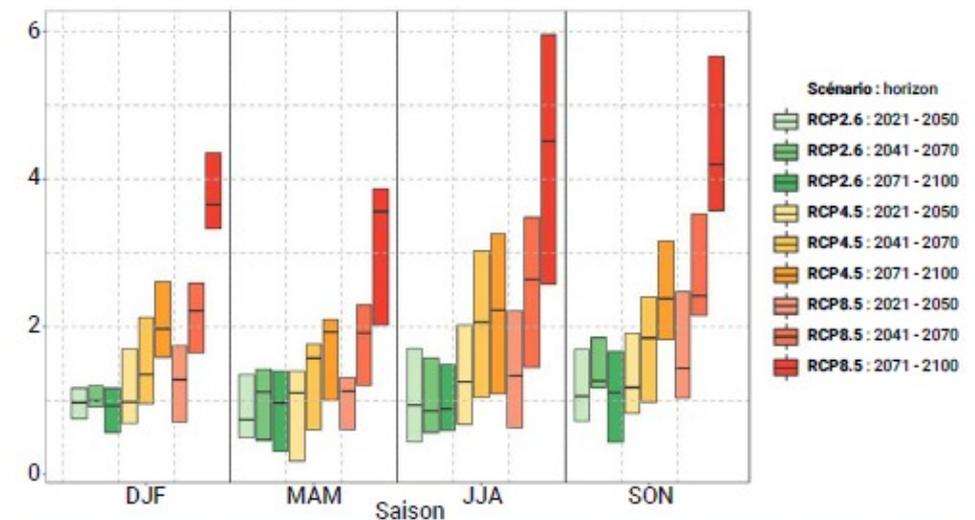


Figure 15 : Graphe de l'évolution saisonnière des écarts de températures par RCP et horizon temporel.

Figure 14 : Cartes des écarts de température à l'horizon fin de siècle pour les trois RCP et selon les paramètres de la distribution C5, C50 et C95.

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Plan de l'exposé

1. Contexte : les projets EXPLORE2 et LIFE Eau&Climat
2. Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 - SIM2
3. Rappel sur les simulations climatiques DRIAS 2020
4. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution de la ressource en eau
→ l'humidité du sol
5. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution des débits
→ à l'échelle de la France
→ exemple de la Garonne à Portet-sur-Garonne
→ exemple de la Seine à Paris
6. Conclusions et perspectives

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Variables de surface

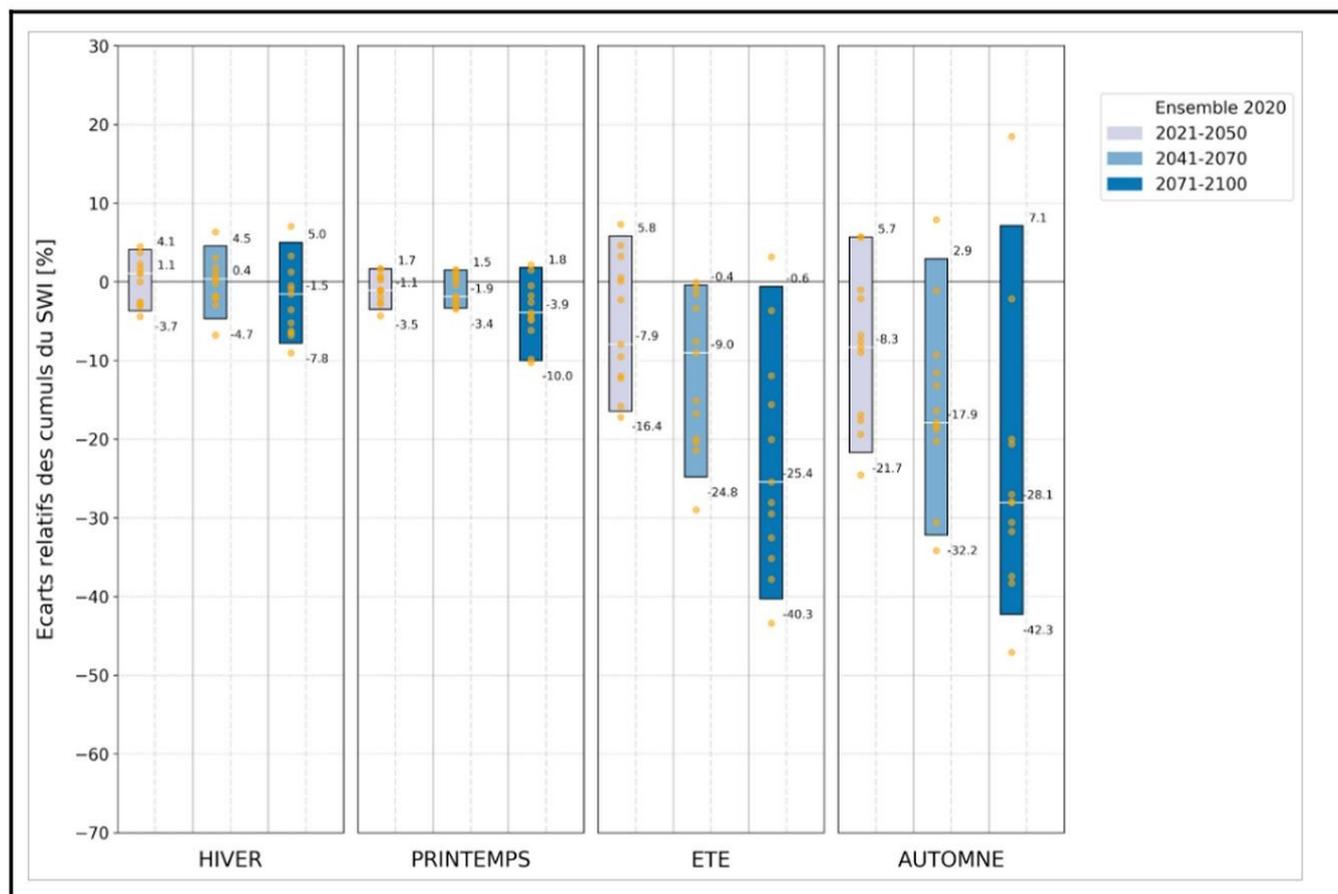
- Humidité du sol (SWI Soil Wetness Index), Évaporation totale, Manteau neigeux (SWE Snow Water Equivalent) Drainage, Ruissellement
- Evolution des variables à différents horizons temporels futurs, selon les RCP, paramètres de l'échantillon des modèles (Q5-Q50-Q95), évolutions annuelles et saisonnières, cartes, boxplots (calqué sur rapport atmosphérique DRIAS-2020)
- Plusieurs indicateurs simples :
 - * nombre de jours de sol sec
 - * SWE au 1^{er} mai
 - * cumul de drainage sur la période de recharge
 - ...
- Plus d'informations en ligne sur DRIAS

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Humidité du sol (SWI)

→ assèchement du sol important en été et en automne ; valeurs autour de la normale pour l'hiver et le printemps.

→ incertitudes entre les modèles plus fortes en été et en automne, en augmentation avec l'horizon temporel.



Écarts relatifs de l'évolution saisonnière de l'humidité du sol par horizon temporel pour le RCP 8.5

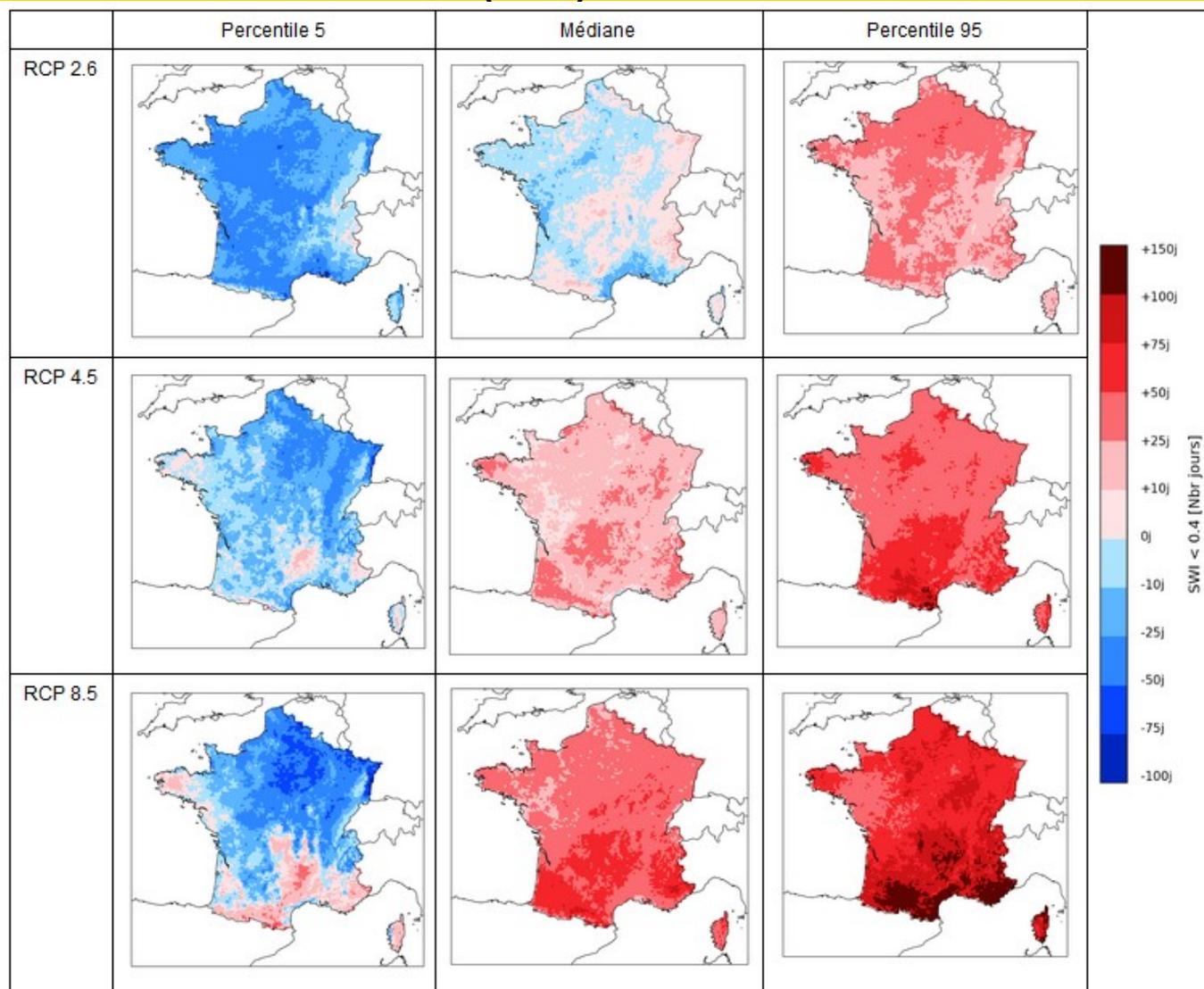
Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Humidité du sol (SWI)

- SWI : Nombre de jours de sol sec (avec SWI < 0,4)

Forts contrastes entre les modèles pour tous les RCP
Avec à la fois des hausses et des baisses du nombre de jours de sol sec

Gradient Nord (Nord Ouest) / Sud (Sud Est) plus ou moins marqué selon les scénarios



Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Plan de l'exposé

1. Contexte : les projets EXPLORE2 et LIFE Eau&Climat
2. Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 - SIM2
3. Rappel sur les simulations climatiques DRIAS 2020
4. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution de la ressource en eau
→ l'humidité du sol
5. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution des débits
→ à l'échelle de la France
→ exemple de la Garonne à Portet-sur-Garonne
→ exemple de la Seine à Paris
6. Conclusions et perspectives

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Débits

→ premiers diagnostics simples basés sur SIM2 :

Régimes hydrologiques à différents horizons temporels, selon les RCPs

Étiages et forts débits (Q10 et Q95 annuels sur les débits quotidiens)

→ pas d'autres indicateurs sur les débits : attente des résultats des autres modèles hydrologiques et hydrogéologiques du projet Explore 2 pour une analyse multi modèles complète (conduite par INRAE Lyon), avec notamment

~ indicateurs hydrologiques (débits caractéristiques crues et étiages, VCN, QMNA ...)

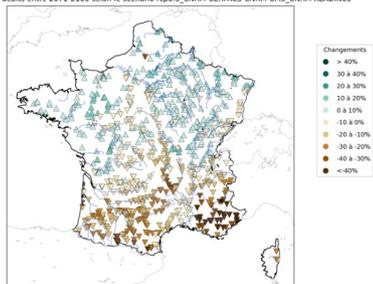
~ analyse d'incertitude (QALYPSO : estimation de la part d'incertitude due à chaque étape de la chaîne de modélisation ie RCPs, GCMs/RCMs, méthodes de correction de biais, et modèles hydrologiques)

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

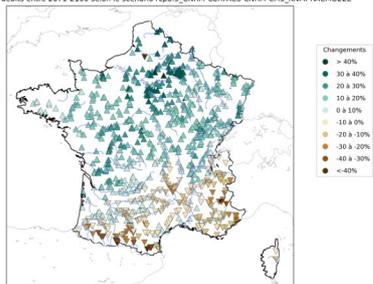
Evolution du débit annuel

Horizon fin de siècle (2071-2100) – RCP 8.5

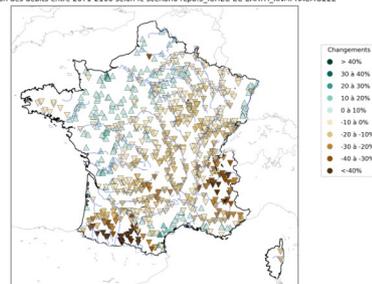
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_CNRM-CERFACS-CNRM-CMS_CNRM-ALADIN63



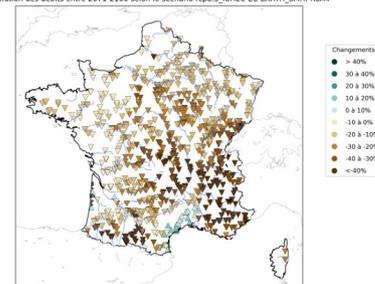
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_CNRM-CERFACS-CNRM-CMS_KNMI-RACMO22E



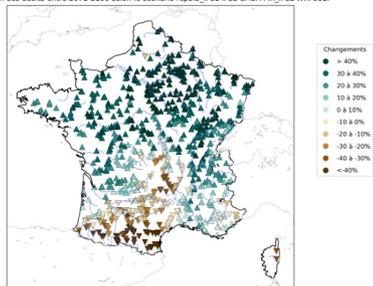
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_ICHEC-EC-EARTH_KNMI-RACMO22E



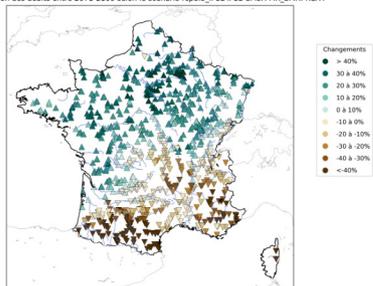
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_ICHEC-EC-EARTH_SMI-SMIRCA4



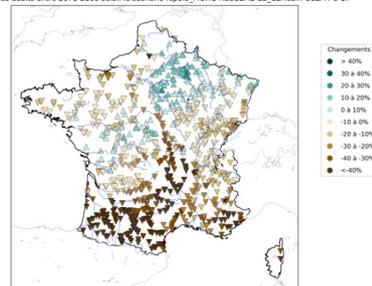
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_IPSL-IPSL-CM5A-MR_IPSL-WRF381P



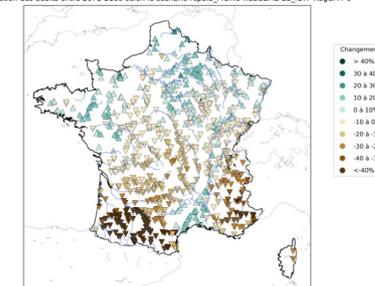
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_IPSL-IPSL-CM5A-MR_SMIH-RCA4



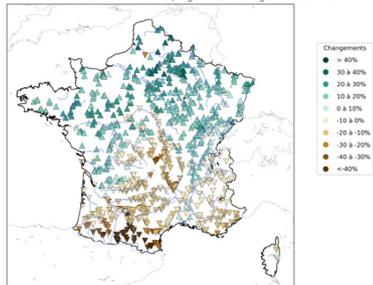
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_MOHC-HadGEM2-ES_CLMcom-CCLM4-8-17



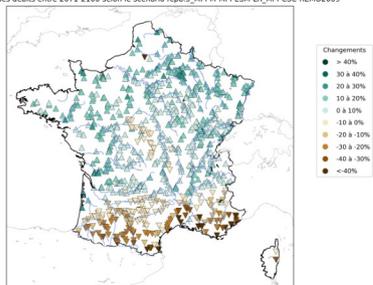
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_MOHC-HadGEM2-ES_ICTP-RegCM4-6



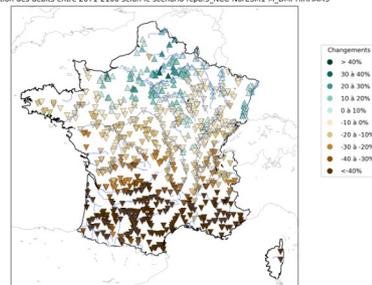
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_MPI-M-MPI-ESM-LR_CLMcom-CCLM4-8-17



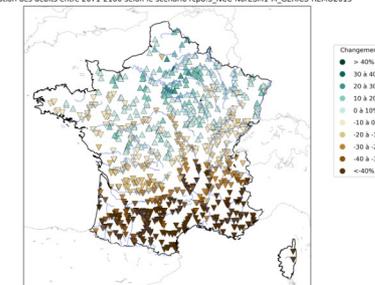
Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_MPI-M-MPI-ESM-LR_MP-CSC-REMO2009



Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_NCC-NorESM1_M_DM-HIRHAM5



Evolution des débits entre 2071-2100 selon le scénario rcp8_5_NCC-NorESM1_M_GERIC5-REM0215



Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

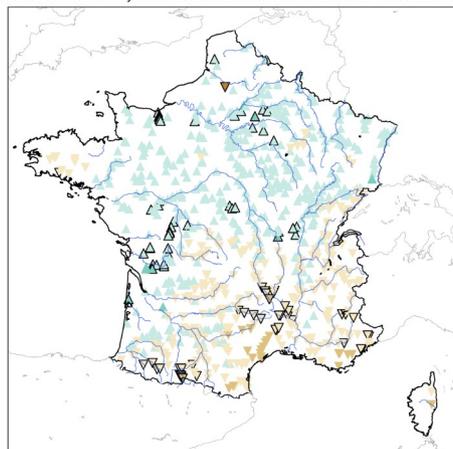
Evolution du débit annuel

RCP 4.5

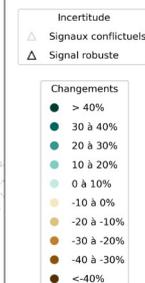
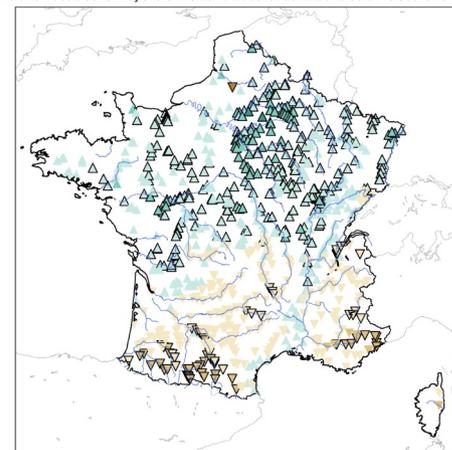
RCP 8.5

Horizon
Milieu de
Siècle :
2041-2070

Evolution des débits moyens entre 1976-2005 et 2041-2070 selon le scénario rcp4.5

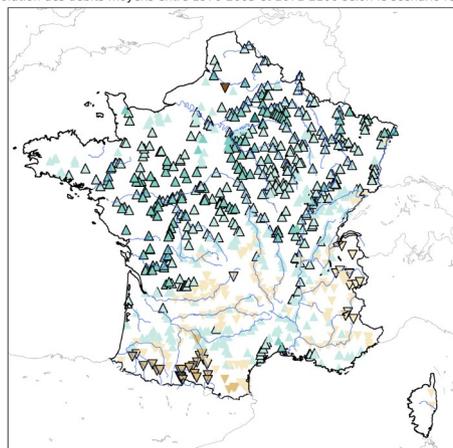


Evolution des débits moyens entre 1976-2005 et 2041-2070 selon le scénario rcp8.5

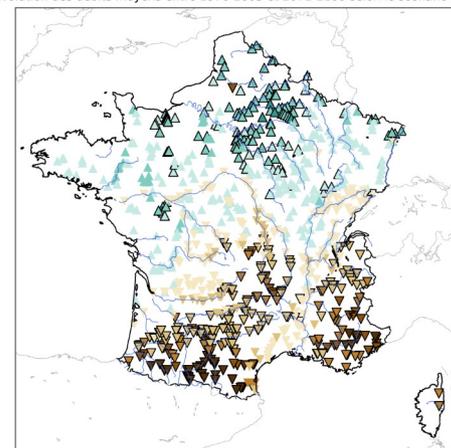


Horizon
Fin de
Siècle :
2071-2100

Evolution des débits moyens entre 1976-2005 et 2071-2100 selon le scénario rcp4.5



Evolution des débits moyens entre 1976-2005 et 2071-2100 selon le scénario rcp8.5

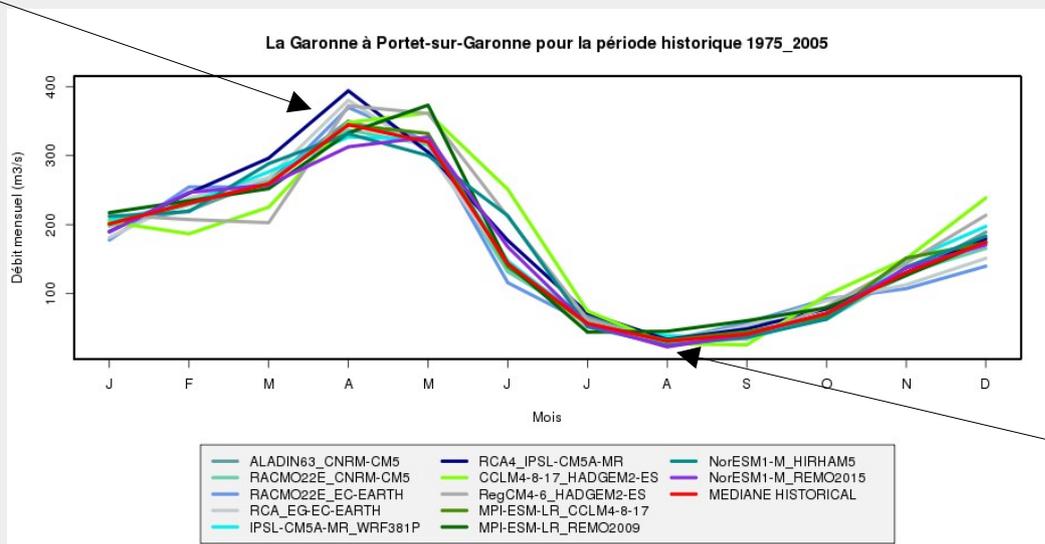


Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Régime pluvio-nival : la Garonne à Portet-sur-Garonne

Cycle annuel moyen
Simulation
Période historique (1976-2005)

Pic de fonte
Avril Mai



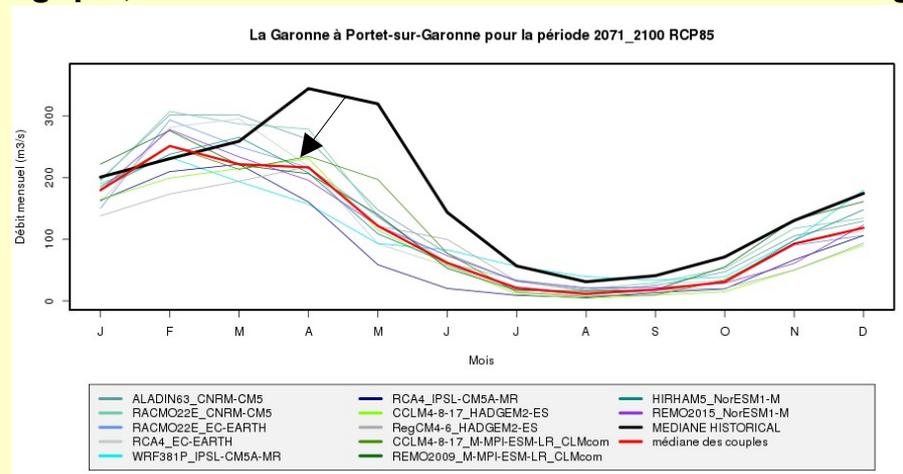
Étiage estival

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Régime pluvio-nival : la Garonne à Portet-sur-Garonne

Synthèse des résultats pour La Garonne à Portet-sur-Garonne

- Evolution du régime hydrologique, nette diminution de l'influence nivale : décalage temporel et diminution du pic de fonte :



- Diminution globale du débit :

	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
	Médiane [Q5 - Q95]	Médiane [Q5 - Q95]	Médiane [Q5 - 95]
Horizon 2021_2050	-2,69 [-20,04 , 9,47]	-1,56 [-23,30 , 4,89]	-7,71 [-19,11 , 5,92]
Horizon 2041_2070	-1,77 [-8,76 , 2,74]	-7,24 [-28,28 , 11,89]	-13,34 [-34,54 , -5,62]
Horizon 2071_2100	3,30 [-12,13 , 17,04]	-11,71 [-34,06 , 2,60]	-31,19 [-50,77 , -16,42]

Débits extrêmes :

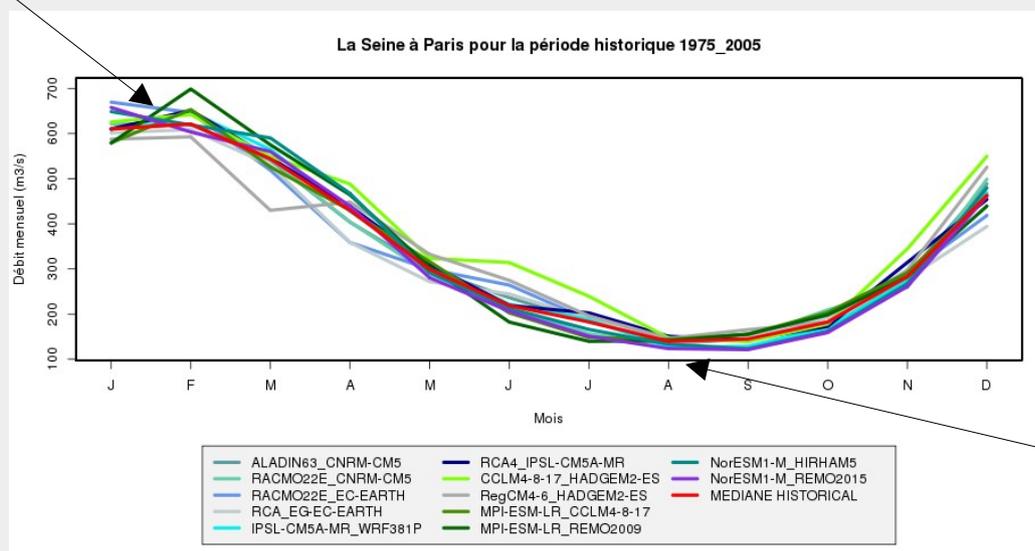
- Diminution des débits forts (Q95) (pic de fonte)
- Très forte diminution des débits d'été (Q10), en fin de siècle -30 % (RCP 4.5) à -62 % (RCP 8.5) (médiane)

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Régime pluvial de la moitié nord : la Seine à Paris

Cycle annuel moyen
Simulation
Période historique (1976-2005)

Pic hivernal



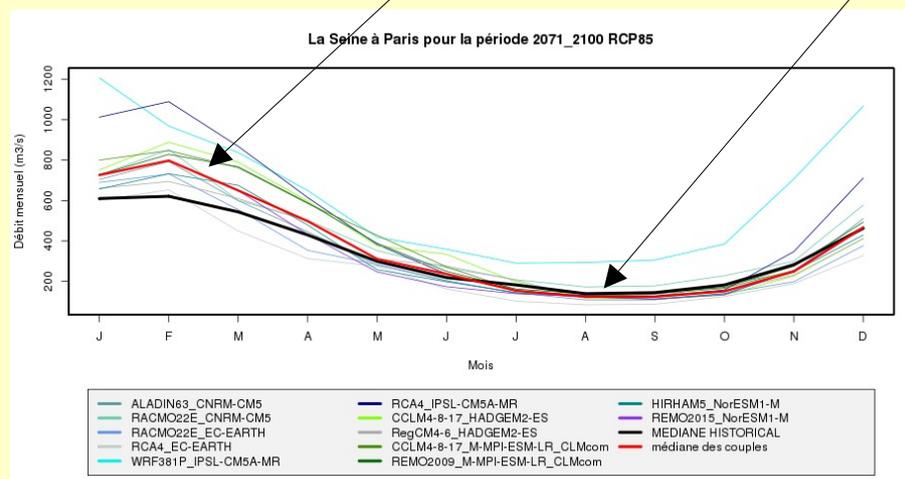
Étiage estival

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Régime pluvial de la moitié nord : la Seine à Paris

Synthèse des résultats pour La Seine à Paris

- Evolution du contraste saisonnier : augmentation du débit hivernal et diminution du débit estival



- Augmentation globale du débit :

	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
	Médiane [Q5 - Q95]	Médiane [Q5 - Q95]	Médiane [Q5 - 95]
Horizon 2021_2050	-0,03 [-7,82 , 22,51]	-0,29 [-8,95 , 24,26]	8,09 [-4,01 , 27,81]
Horizon 2041_2070	6,11 [-11,30 , 14,34]	1,70 [-10,31 , 31,46]	8,30 [1,84 , 54,82]
Horizon 2071_2100	5,46 [-9,87 , 22,57]	9,08 [1,30 , 44,91]	6,19 [-14,47 , 81,85]

Débits extrêmes :

- Augmentation des débits forts (Q95), en fin de siècle +20 % (RCP8.5) (médiane)
- Faible diminution des débits d'étiage (Q10)

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Plan de l'exposé

1. Contexte : les projets EXPLORE2 et LIFE Eau&Climat
2. Principe des simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 - SIM2
3. Rappel sur les simulations climatiques DRIAS 2020
4. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution de la ressource en eau
→ l'humidité du sol
5. Simulations SIM2-DRIAS 2020 : évolution des débits
→ à l'échelle de la France
→ exemple de la Garonne à Portet-sur-Garonne
→ exemple de la Seine à Paris
6. Conclusions et perspectives

Les simulations hydro-climatiques DRIAS 2020 – SIM2

Conclusions

- Incertitude climatique forte
- Gradation induite par les RCPs
- Disparité régionale Nord-Sud
- Evolution contrastée de la ressource en eau : incertitude climatique, gradient nord-sud, tendance à l'assèchement des sol en été et à l'automne
- Evolution contrastée des débits : incertitude climatique, gradient nord-sud.
Hausse des débits hivernaux sur la moitié nord
Diminution des débits en particulier estivaux sur la moitié sud
Modifications des régimes hydrologiques (diminution composante nivale), aggravation/allongement des étiages

Perspectives

- Sécheresse : diagnostics basés sur les indicateurs standardisés SPI SSWI (en cours)
- EXPLORE 2 :
Runs hydrologiques des modèles des autres partenaires du projet
Mise à disposition de données corrigées par une autre méthode de correction de biais (IPSL)
Analyse d'incertitude (QALYPSO)
Analyse approfondie des résultats sur les débits (indicateurs ...)
- Life Eau & Climat : ouverture du portail DRIAS eau fin 2022



Merci