



Le projet LIFE Eau&Climat (LIFE19 GIC/FR/001259) a reçu un financement du programme LIFE de l'Union Européenne.



Établissement Public Territorial de Bassin Charente

**EPTB**  
CHARENTE



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Étude prospective de l'impact des prélèvements et du changement climatique sur la ressource en eau du bassin versant de la Seugne

## Synthèse de l'étude



Avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne

## AVERTISSEMENT

Cette note a été rédigée par l'EPTB Charente afin de proposer aux acteurs et élus du territoire une synthèse simplifiée et vulgarisée des résultats de l'étude.

L'ensemble des résultats sont disponibles dans le rapport technique ([BRGMRP-73671-FR](#)).



Ces deux documents constituent une présentation impartiale des résultats des simulations réalisées. La valorisation de ces résultats, dans le cadre de la mise en œuvre du PTGE, fera l'objet d'un travail ultérieur.

La présente étude est réalisée dans le cadre du projet européen LIFE Eau&Climat. Engagé en septembre 2020 pour 4 ans et coordonné par l'Office International de l'Eau, il rassemble 14 partenaires techniques et institutionnels au niveau national et a pour vocation d'aider les gestionnaires locaux à évaluer les effets du changement climatique à les prendre en compte dans leur planification et à mettre en œuvre des mesures d'adaptation.

- > Pour plus d'informations sur le projet LIFE Eau&Climat :  <https://www.gesteau.fr/life-eau-climat>

# Préambule : programme de travail, méthodologie, objectifs et limites de l'étude

Cette étude s'appuie sur un travail de **modélisation hydrogéologique spatialisée du bassin de la Seugne**. Elle comporte 2 volets, visant à déterminer l'impact sur la ressource en eau :

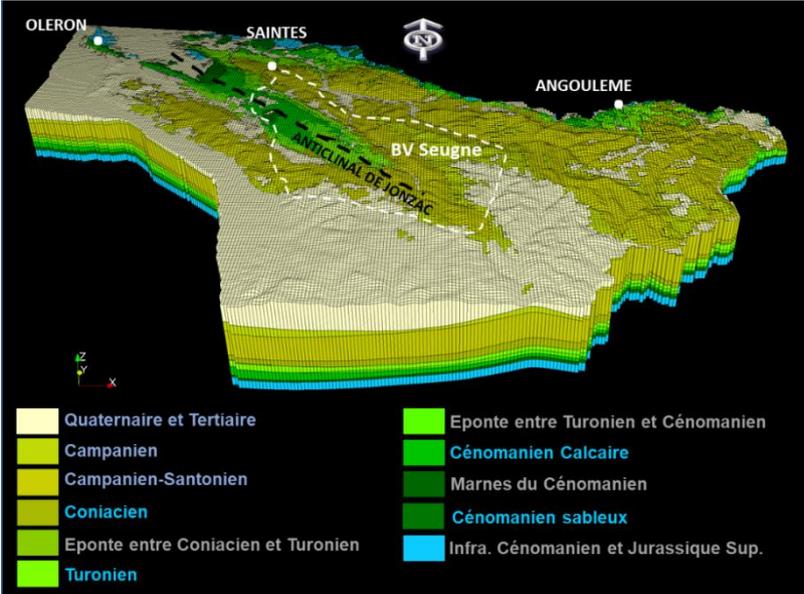
- > de différents scénarios de **prélèvements** (économie et substitution) en climat actuel
- > de différents scénarios de **changement climatique**

## Objectifs de l'étude

- > Améliorer la connaissance sur le fonctionnement hydrogéologique du bassin, sur l'impact des prélèvements et du changement climatique (disposition E51 du SAGE Charente)
- > Apporter des éléments d'aide à la décision aux acteurs du PTGE Seugne pour l'élaboration d'une stratégie de retour à l'équilibre et d'adaptation au changement climatique
- > Modéliser des scénarios d'usages exploratoires et contrastés, qui n'ont pas vocation à être représentatifs d'un projet réel ou des futures orientations du PTGE
- > Modéliser des futurs climatiques possibles

## Méthodologie

Le modèle hydrodynamique des aquifères du Crétacé du sud-Charentes a été utilisé.



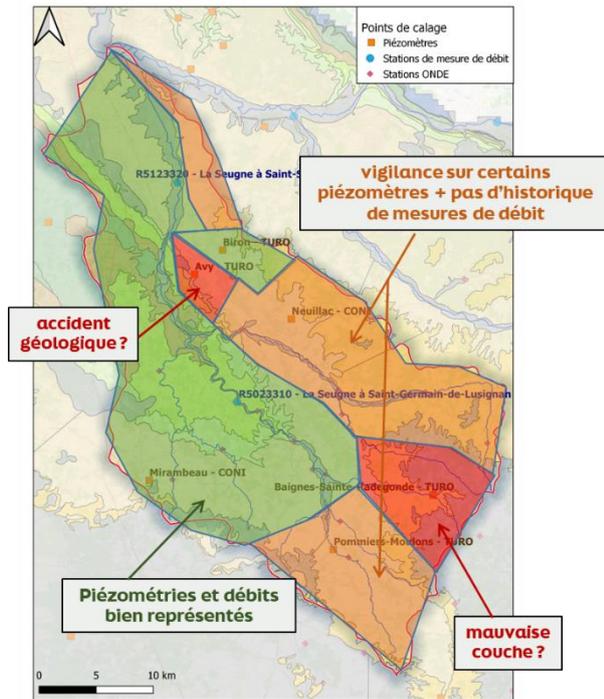
Développé au début des années 2000 par le BRGM et mis à jour en 2020, c'est le modèle historique de gestion des nappes du Crétacé.

C'est un modèle spatialisé 3D (territoire représenté en mailles de 500m de côté et en 11 couches géologiques) qui couvre la partie méridionale de la Région Poitou-Charentes.

Il fonctionne en pas de temps mensuel de septembre à avril, et hebdomadaire de mai à août.

## Le calage du modèle

- > Le calage permet d'ajuster les paramètres du modèle afin qu'il représente au mieux la réalité.
- > Les données utilisées pour le calage sont les observations issues de :
  - 2 stations hydrométriques (La Lijardière et Saint-Germain-de-Lusignan)
  - 7 piézomètres
  - 14 stations ONDE (suivi des assecs)
  - Cartes piézométriques (campagnes de mesures)



### Résultats :

La dynamique du bassin (vidange, recharge), les grands sens d'écoulements piézométriques, les conditions extrêmes et l'effet des prélèvements sont correctement reproduits.

Sur la partie médiane/aval du bassin, les débits et niveaux piézométriques sont bien reproduits.

Sur les têtes de bassin : vigilance sur certaines périodes ou phénomènes (étiages sévères, chutes estivales, phénomènes karstiques difficile à modéliser) et sur les débits qui ne sont calés que sur des observations ponctuelles (ONDE).

2 piézomètres sont mal calés, la dynamique modélisée n'est pas la bonne (présence d'horizons imperméables ou d'un accident géologique qui modifient les circulations d'eau...).

## La simulation de référence

L'étude est basée sur un travail en relatif : chaque simulation réalisée sera comparée à une simulation de référence, représentative des usages actuels et qui garantit (d'après le modèle) le respect du Débit Objectif d'Étiage (DOE) de la Seugne à La Lijardière en moyenne 8 années sur 10.

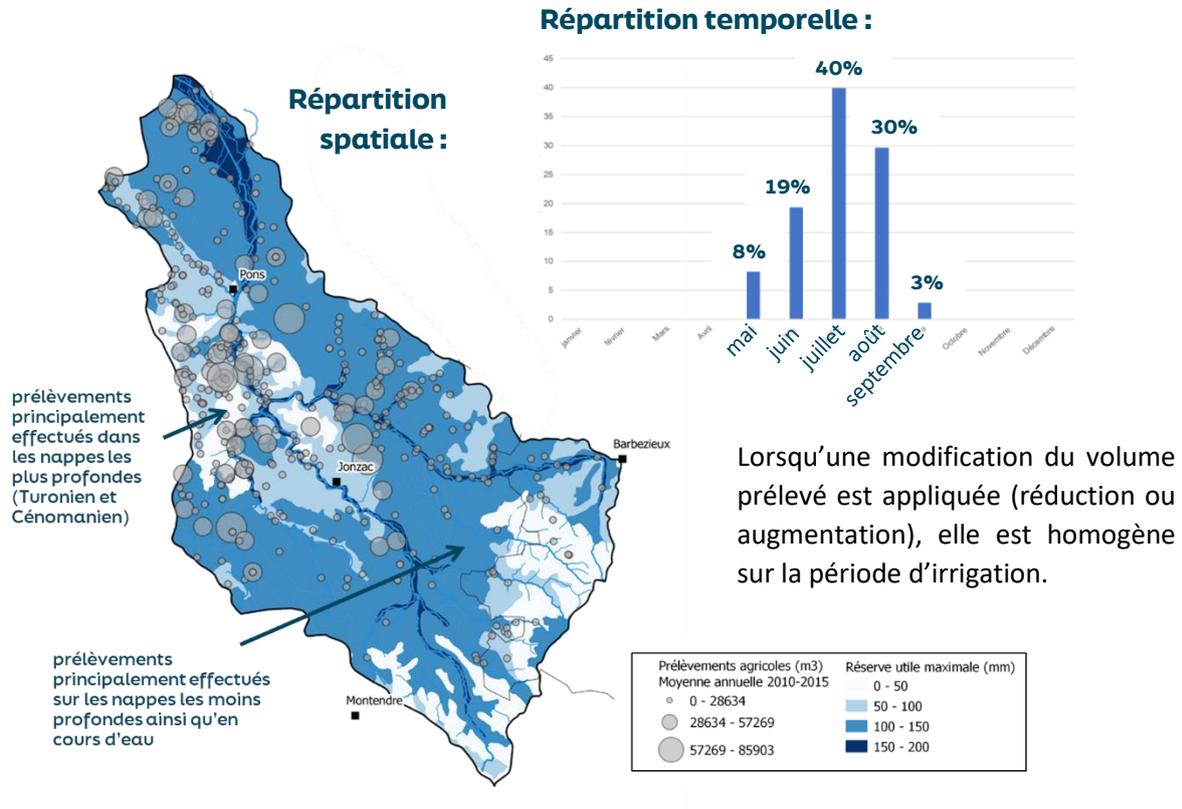
Niveau de prélèvements considéré pour la simulation de référence :

Prélèvements réalisés sur le bassin de la Seugne	
pour l'AEP	moyenne 2014-2018 = 4.01 Mm <sup>3</sup>
pour l'industrie	moyenne 2014-2018 = 0.16 Mm <sup>3</sup>
pour l'agriculture	en été : niveau de prélèvements pour lequel le modèle respecte le DOE à La Lijardière en moyenne 8 années sur 10 = 6.075 Mm <sup>3</sup> (rappel : VP actuel = 5.7 Mm <sup>3</sup> ) en hiver : 0 Mm <sup>3</sup>
Prélèvements réalisés hors du bassin de la Seugne	
pour l'AEP, l'indus. et l'agriculture	moyenne 2014-2018

Dans les scénarios simulés, seuls les prélèvements agricoles réalisés sur le bassin de la Seugne sont modifiés

## Conditions de simulation

Les volumes prélevés pour l'irrigation sont répartis spatialement (au niveau des forages existants) et temporellement au prorata de la répartition réelle (informations fournies par l'OUGC Saintonge).



## Analyse des résultats

L'analyse des résultats repose sur un travail en relatif : chaque simulation réalisée sera comparée à une simulation de référence afin d'en étudier les impacts à grande échelle, de dégager des tendances. Il ne s'agit pas ici de définir des valeurs précises (débit objectif, volume prélevable...) ni de réaliser l'étude d'impact d'un projet préalablement défini.

Sont étudiés les impacts des différentes simulations :

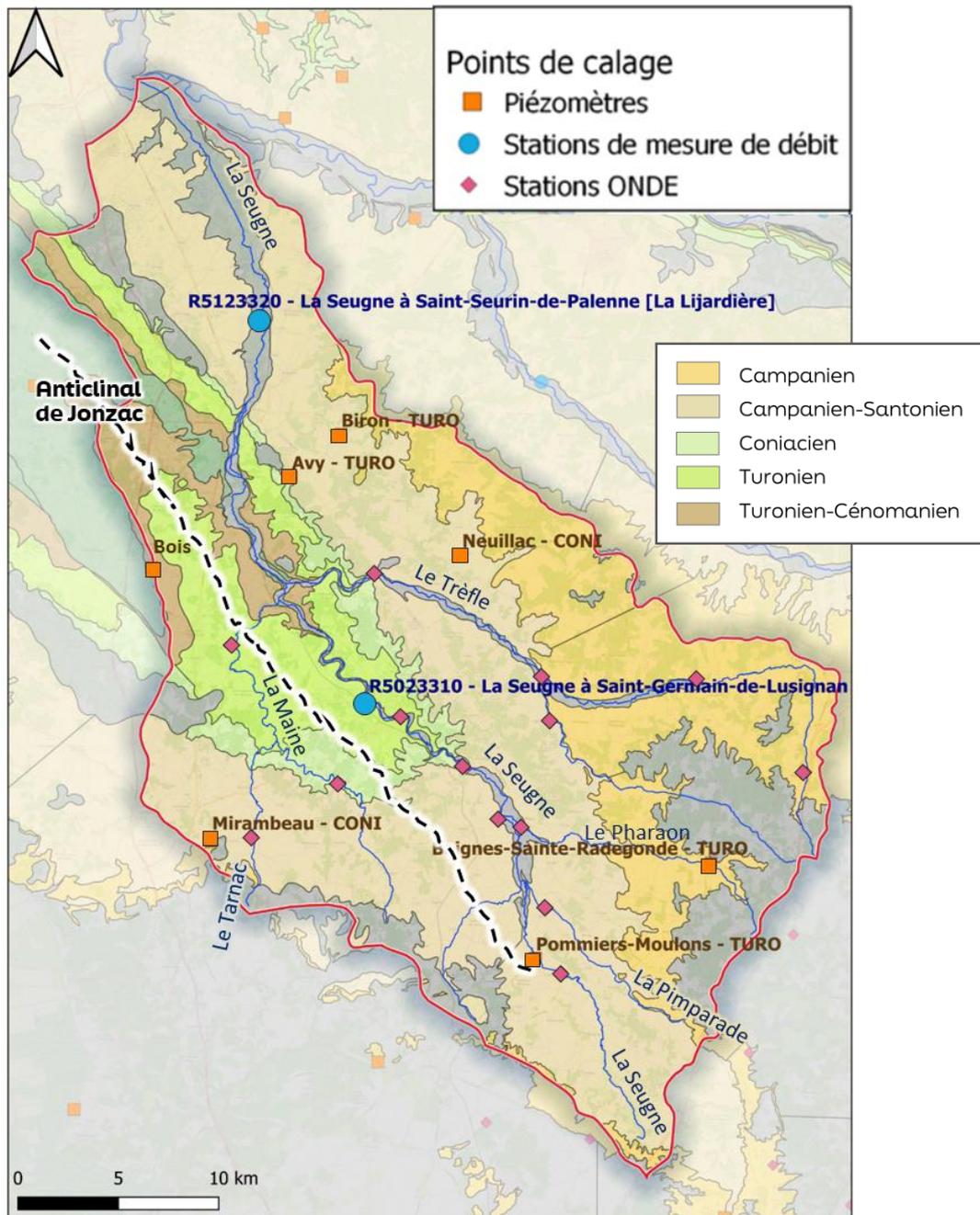
- 1) sur les niveaux piézométriques
  - a. de basses eaux
  - b. de hautes eaux
- 2) sur les débits
  - a. de basses eaux
  - b. de hautes eaux
- 3) sur les linéaires d'assec

Les résultats des simulations sont analysés sous plusieurs formes qu'il est nécessaire de croiser :

- > Valeurs moyennes sur la période simulée (2000-2018) ou valeurs d'une année donnée
- > Résultats en un point donné (calé) ou résultats spatialisés (extrapolés)

## Limites de l'étude et précautions

- > Un modèle est une **reproduction numérique d'une réalité complexe**.
- > Du fait de la grande échelle de modélisation, une différence entre 2 simulations de moins de 5 cm et de moins de 5 L/s n'est pas forcément significative.
- > La représentation en mailles carrées de 500m de côté et en grandes unités géologiques limite l'échelle à laquelle il est possible d'utiliser les résultats du modèle. Le modèle est valide pour des résultats à l'échelle d'un grand bassin versant (comme la Seugne).
- > Le pas de temps de calcul, en particulier le pas de temps mensuel en hiver, limite la prise en compte de certains phénomènes hydrogéologiques rapides (phénomènes karstiques, crues).



# En climat actuel

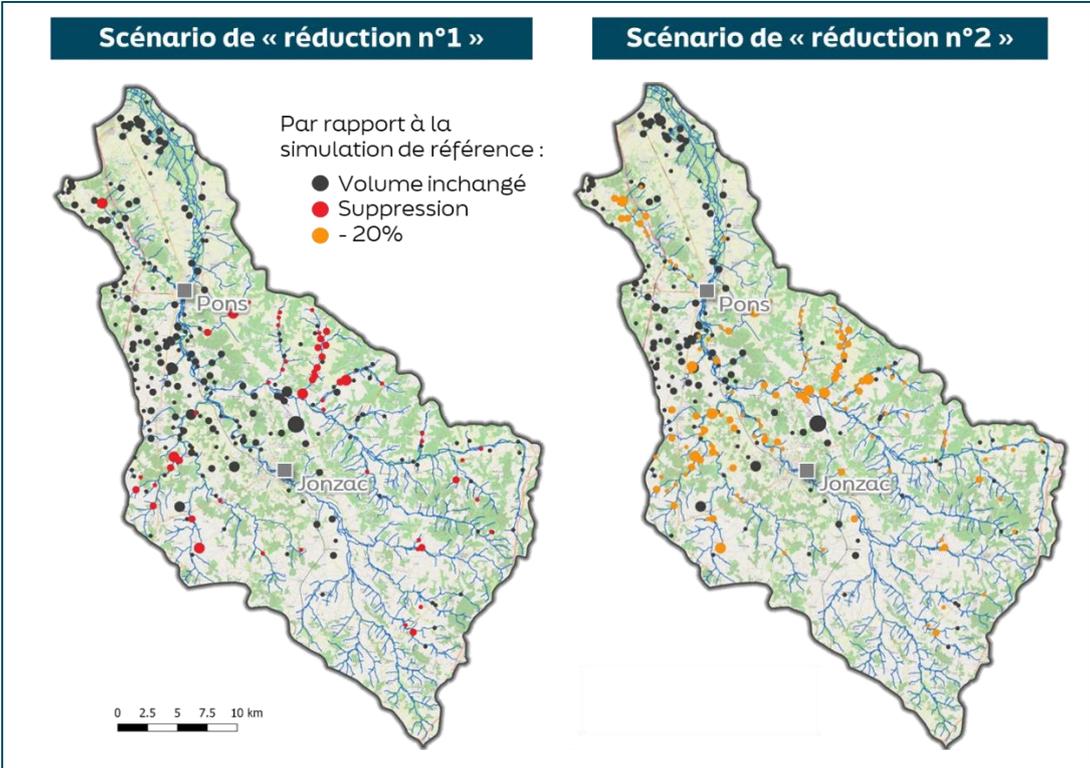
## Étude de l'impact de différents scénarios de prélèvements

Dans ce premier volet d'étude, le modèle Crétacé est forcé avec les observations météorologiques historiques (données SAFRAN, fournies par Météo-France).

### Réduction des prélèvements agricoles estivaux

3 scénarios sont simulés :

- > Scénario « sans irrigation sur le bassin de la Seugne » :
  - 100% sur l'ensemble des points
- > Scénario de « réduction n°1 » :
  - 100 % sur les points à impact très fort (57 points identifiés par l'étude de l'OUGC Saintonge)
  - 20 % en volume global par rapport à la simulation de référence
- > Scénario de « réduction n°2 » :
  - 20 % sur les points à impact modéré à très fort (143 points identifiés par l'étude de l'OUGC)
  - 10 % en volume global par rapport à la simulation de référence



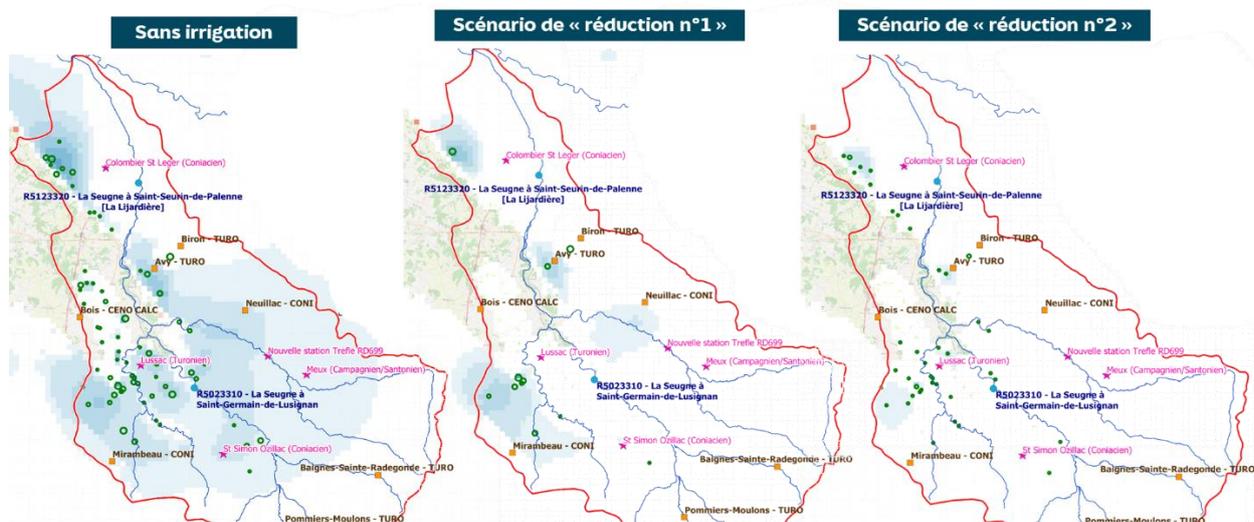
## 1) résultats sur les niveaux piézométriques

### a. de basses eaux (fin d'été)

	Scénario « sans irrigation »	Scénario « de réduction n°1 »	Scénario « de réduction n°2 »
Campanien-Santonien	Remontée étendue sur la moitié aval du bassin (gain médian ≈ 7-9 cm)	Remontées locales (zones de forts prélèvements)	Remontées très locales et moins significatives que pour le scénario 1
Coniacien			
Turonien (voir exemple illustré)			
Cénomarien calcaire	Remontée sur l'intégralité du bassin (gain médian ≈ 13 cm)		
Cénomarien sableux	Remontée sur l'intégralité du bassin (gain médian ≈ 26 cm)	Peu d'impact	Peu d'impact

#### > Exemple illustré

Cartographies de différentiel piézométrique (comparaison avec la simulation de référence) pour la nappe du Turonien en basses eaux (référence quinquennale sèche)



Les points verts indiquent les points prélevant dans la nappe du Turonien dont le volume est supprimé ou réduit dans le scénario considéré.

Les teintes de bleu indiquent une remontée du niveau de la nappe par rapport à la simulation de référence. Les teintes de rouge indiquent une baisse du niveau de la nappe par rapport à la simulation de référence.

Différence piézométrique (en m) par rapport à la simulation de référence :				
5 à 50	1 à 2	0,05 à 0,1	-0,5 à -0,25	-4 à -3
4 à 5	0,5 à 1	-0,05 à 0,05	-1 à -0,5	-5 à -4
3 à 4	0,25 à 0,5	-0,1 à -0,05	-2 à -1	-50 à -5
2 à 3	0,1 à 0,25	-0,25 à -0,1	-3 à -2	

A titre d'exemple, avec la simulation « sans irrigation », une remontée moyenne de 50cm est observée au droit du piézomètre de Bois (Cénomarien calcaire) en basses eaux. Cela représente environ 15% de l'amplitude annuelle maximale observée au droit de ce piézomètre (environ 2m50).

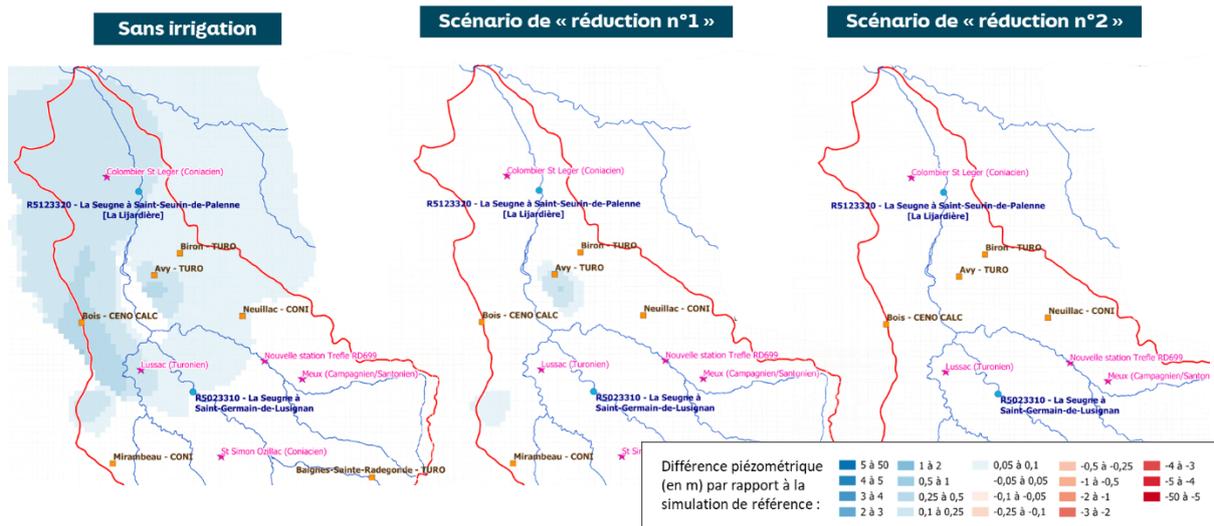
Sur le piézomètre de Mirambeau (Coniacien), cette remontée représente environ 5%.

b. de hautes eaux (fin de recharge)

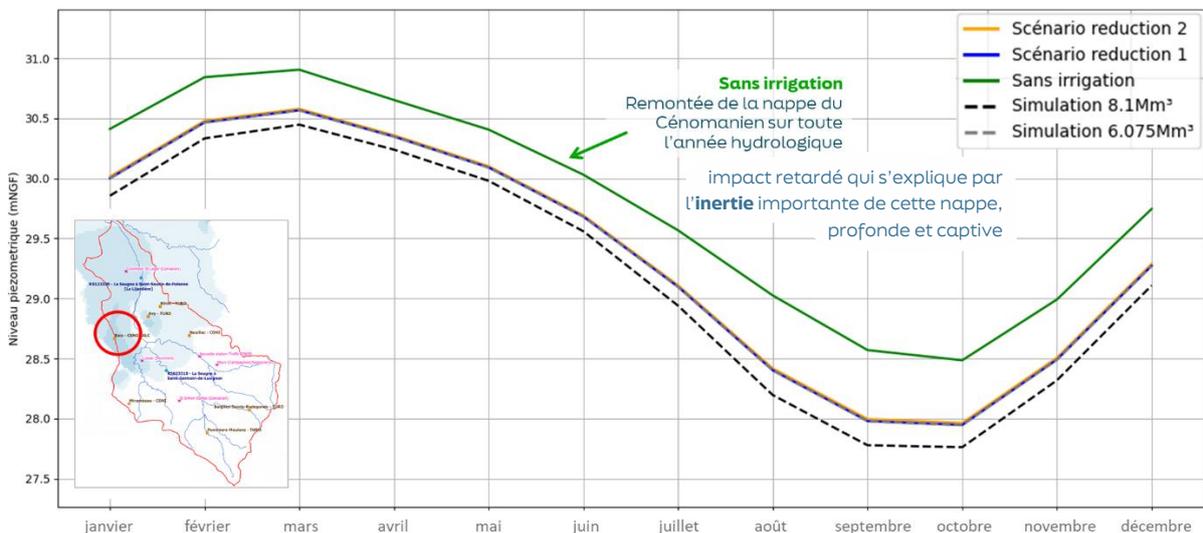
	Scénario « sans irrigation »	Scénario « de réduction n°1 »	Scénario « de réduction n°2 »
Campanien-Santonien	Remontées locales (zones de forts prélèvements) (gain médian ≈ 8 cm)	Remontées locales	Peu d'impact
Coniacien			
Turonien			
Cénomarien calcaire (voir exemple illustré)	Remontée étendue sur la moitié aval du bassin (au Nord de St-Germain-de-Lusignan) (gain médian ≈ 7-11cm)	Peu d'impact	
Cénomarien sableux			

> Exemples illustrés

Cartographies de différentiel piézométrique (comparaison avec la simulation de référence) pour la nappe du Cénomarien calcaire en hautes eaux (référence quinquennale sèche)



Niveaux moyens mensuels (2000-2018) au piézomètre de Bois (Cénomarien calcaire)



## 2) résultats sur les débits

### a. de basses eaux (fin d'été)

Par rapport à la simulation de référence :  
 Amélioration  
 Dégradation

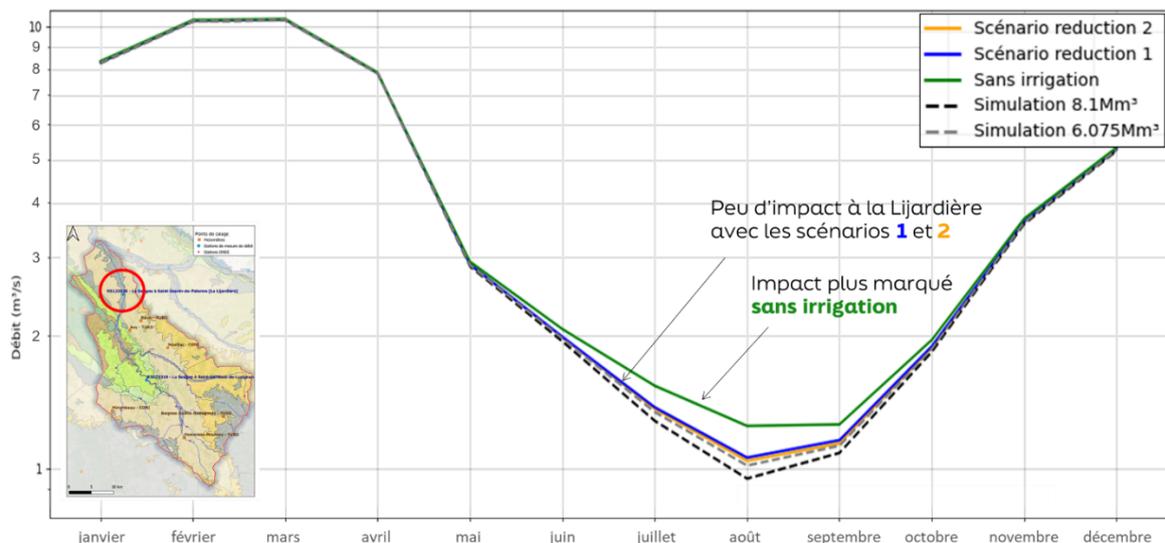
	Simulation de référence Volume total : 6.075 Mm <sup>3</sup>	Simulation « référence PTGE » Volume total : 8.16 Mm <sup>3</sup>	Scénario « sans irrigation »	Scénario « Réduction 1 » volume total : 4.77 Mm <sup>3</sup>	Scénario « Réduction 2 » volume total : 5.5 Mm <sup>3</sup>
Impact sur les débits les plus bas de la Seugne à La Lijardière		- 75 L/s (- 8%)	+ 170 L/s (+ 18 %)	+ 40 L/s (+ 4 %)	+ 30 L/s (+ 3 %)
Respect du DOE	17 années sur 20	12 années sur 20	19 années sur 20	18 années sur 20	18 années sur 20
Respect du débit biologique	19 années sur 20	18 années sur 20	20 années sur 20	19 années sur 20	19 années sur 20
Impact sur les débits les plus bas de la Maine à St-Genis-de-Saintonge		- 10 L/s (- 7%)	+ 45 L/s (+36 %)	+ 30 L/s (+23 %)	+ 17 L/s (+14 %)

pas/peu d'impact sur la Seugne à St-Germain-de-Lusignan, le Trèfle à Réaux et sur les autres stations ONDE

« La Maine à St-Genis-de-Saintonge » est la seule station ONDE sur laquelle les simulations réalisées ont un impact significatif. Elle est toutefois davantage représentative de l'état de la nappe du Turonien que de l'état du bassin de la Maine en amont, car cette station est alimentée par des résurgences très importantes (« sources bleues »). Il est rappelé ici que les débits modélisés au niveau des stations ONDE ne sont pas calés sur des données réelles, ils sont présentés à titre indicatif.

La majorité des prélèvements agricoles sont réalisés en aval de St-Germain-de-Lusignan et de Réaux, cela permet en partie d'expliquer pourquoi il y a peu d'impact sur les débits de ces stations.

#### > Exemple illustré : débits moyens mensuels (2000-2018) de la Seugne à La Lijardière



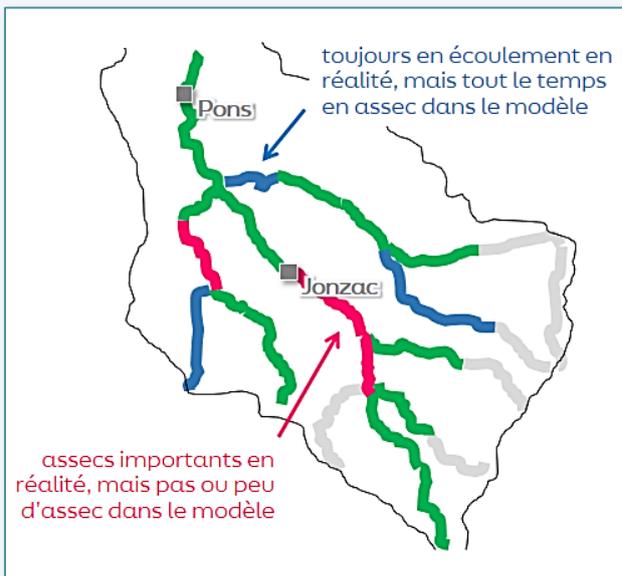
### b. de hautes eaux (fin de recharge)

Les simulations ont peu d'impact sur les débits de hautes eaux et les débits moyens annuels (moins de 1% d'écart avec la simulation de référence).

## 3) résultats sur les linéaires d'assec

### Préambule : le modèle est-il en mesure de reproduire les phénomènes d'assec ?

- > les données des stations ONDE ont été utilisées pour le calage du modèle, et les résultats post-calage ont été comparés au suivi en linéaire réalisé par la Fédération de pêche.

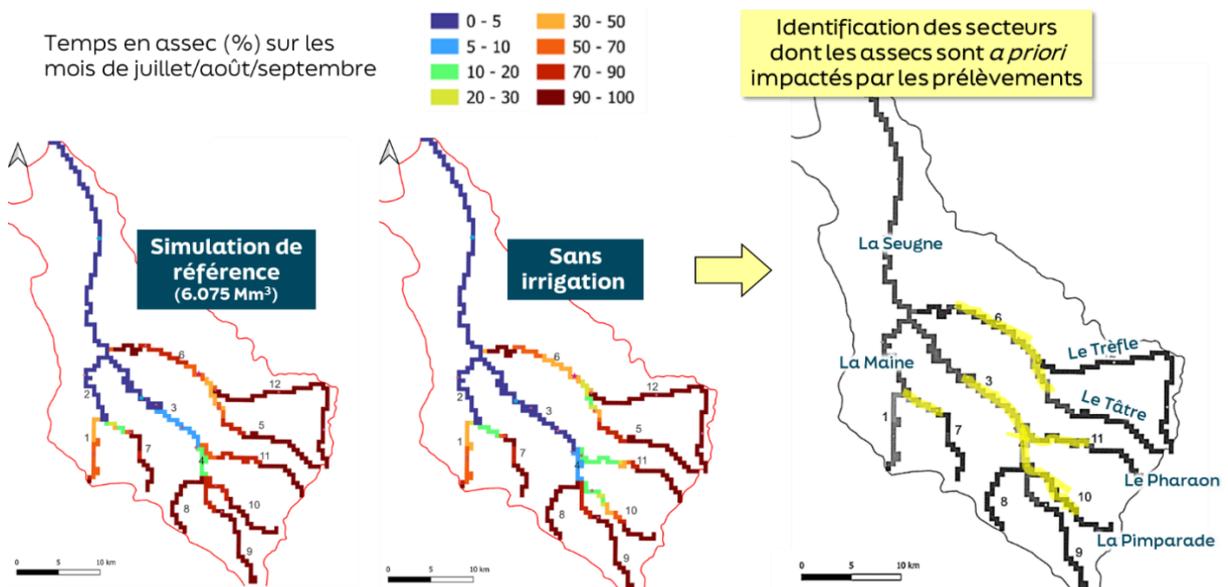


De manière générale, le modèle surestime la fréquence des assecs (assec considéré pour un débit inférieur à 5L/s, limite de précision). Sur la majorité des tronçons, la dynamique est globalement bien représentée. Une vigilance est à avoir sur certains secteurs.

On rappelle ici que le modèle n'a pas été calé grâce à des mesures de débit sur les cours d'eau en tête de bassin versant : on ne peut donc pas attendre du modèle (*a fortiori* d'un modèle hydrogéologique) qu'il reproduise à la perfection des débits sur l'ensemble du linéaire. Un modèle beaucoup plus précis serait nécessaire pour reproduire des phénomènes locaux et complexes, tels que

des pertes karstiques (comme celles identifiées en amont de Jonzac).

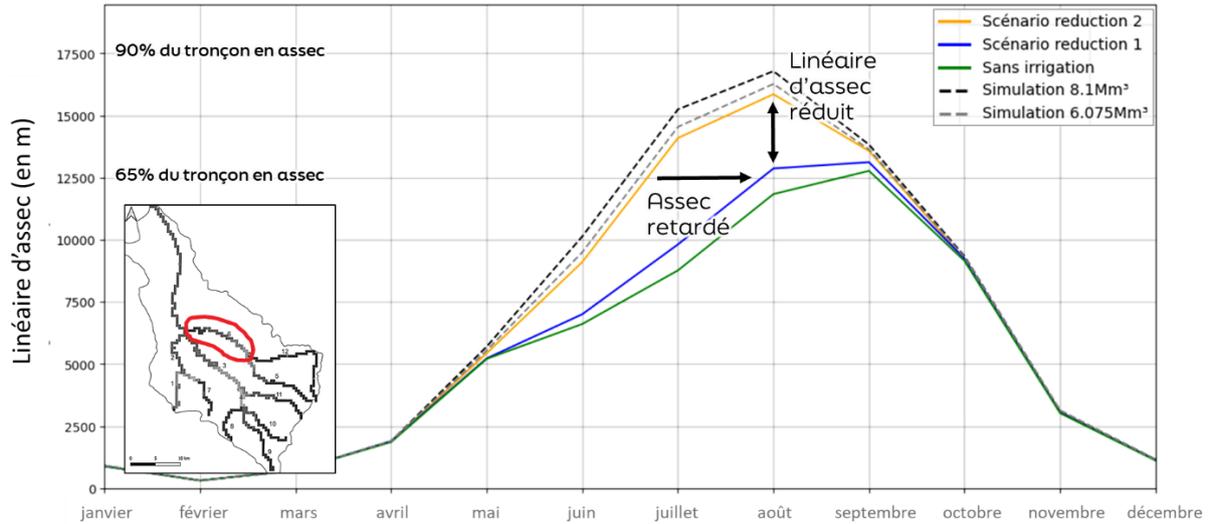
Les résultats des simulations en termes d'impact sur les assecs sont donc à considérer avec précaution. L'analyse est à faire en relatif : étudier l'impact des scénarios plutôt que le linéaire d'assec modélisé.



La simulation « sans irrigation » permet *a priori* une réduction de la durée et du linéaire d'assec, principalement sur le Trèfle aval, le Pharaon aval, la Pimparade aval (et dans une moindre mesure sur la Maine et le Tâtre). Le scénario « de réduction n°1 » donne des résultats proches de la simulation « sans irrigation ». Le scénario « de réduction n°2 » est moins bénéfique que le scénario « de réduction n°1 » et donne des résultats proches de ceux de la simulation de référence.

> **Exemple illustré**

Longueur moyenne d'assec (2000-2018) sur le Trèfle aval



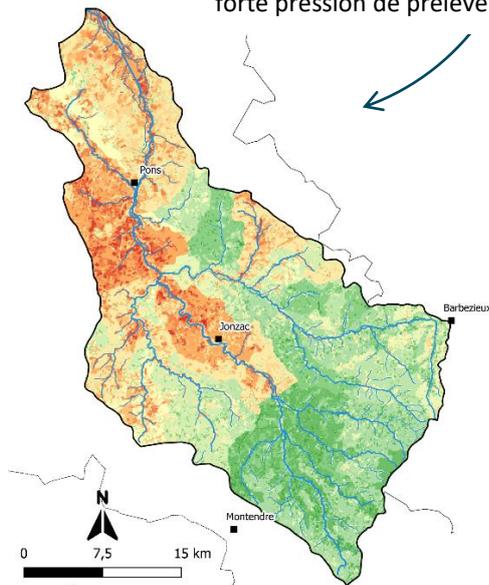
 L'ensemble des cours d'eau n'est pas intégré dans le modèle, en particulier les affluents du Trèfle (Mortier, Nobla, Villier) au niveau desquels sont réalisés des prélèvements. L'impact des prélèvements sur ces cours d'eau ne peut donc pas être directement évalué et la pression est reportée sur le Trèfle.

## Substitution des prélèvements agricoles

8 scénarios sont simulés :

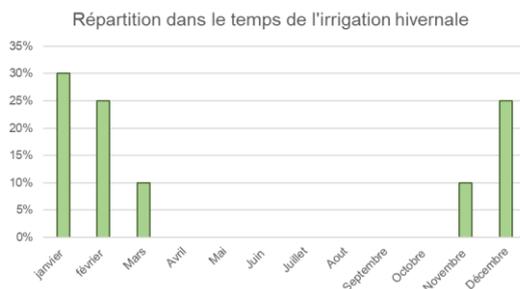
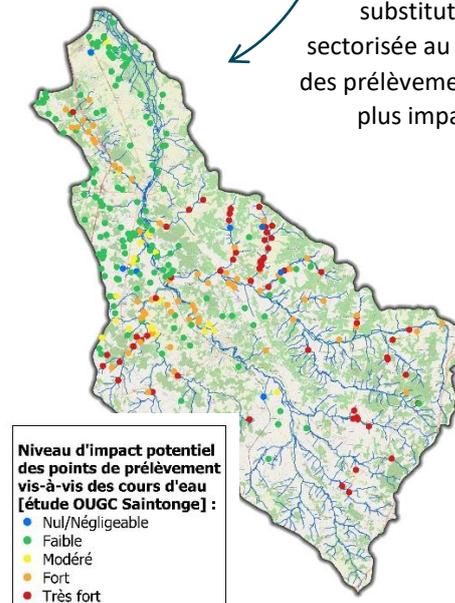
	Sim. de référence	Substitution à l'aval du bassin (anticlinal de Jonzac)				Substitution sur les têtes de bassin versant			
N° simulation	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Volume total agricole (Mm <sup>3</sup> )	6,075	7,34 (PTGE - 10%)	5,7 (VP)	8,16 (PTGE)	5,13 (VP - 10%)	7,34 (PTGE - 10%)	5,13 (VP - 10%)	7,34 (PTGE - 10%)	5,13 (VP - 10%)
Vol. été (Mm <sup>3</sup> )	6,075	5,7	2,7	4,08	3,13	4,11	2,87	5,76	4,02
Vol. hiver (Mm <sup>3</sup> )	0	1,64	3	4,08	2	3,23	2,26	1,58	1,11
Nb. points substitués	0	51	142	142	104	155	155	70	70
Nb. « réserves »	0	8	11	11	11	12	12	8	8

4 scénarios où la substitution est sectorisée au niveau des zones de forte pression de prélèvements



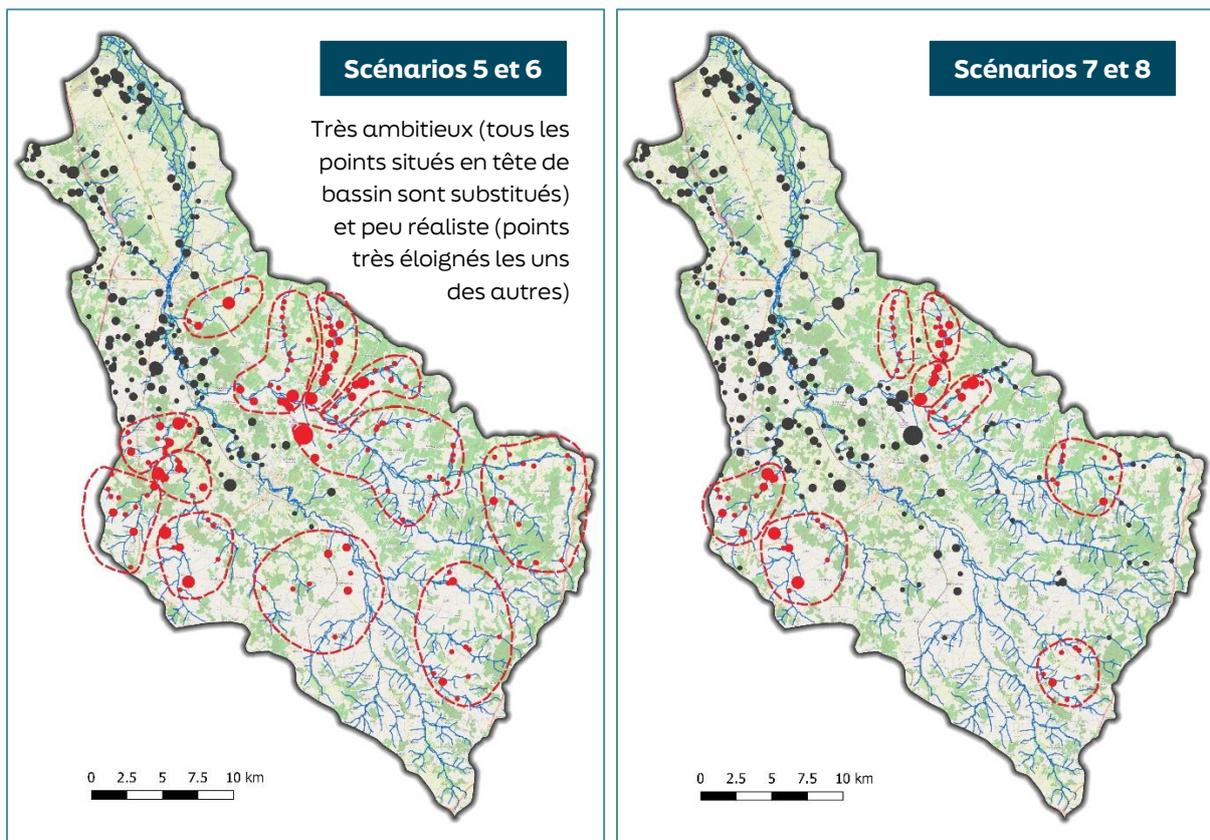
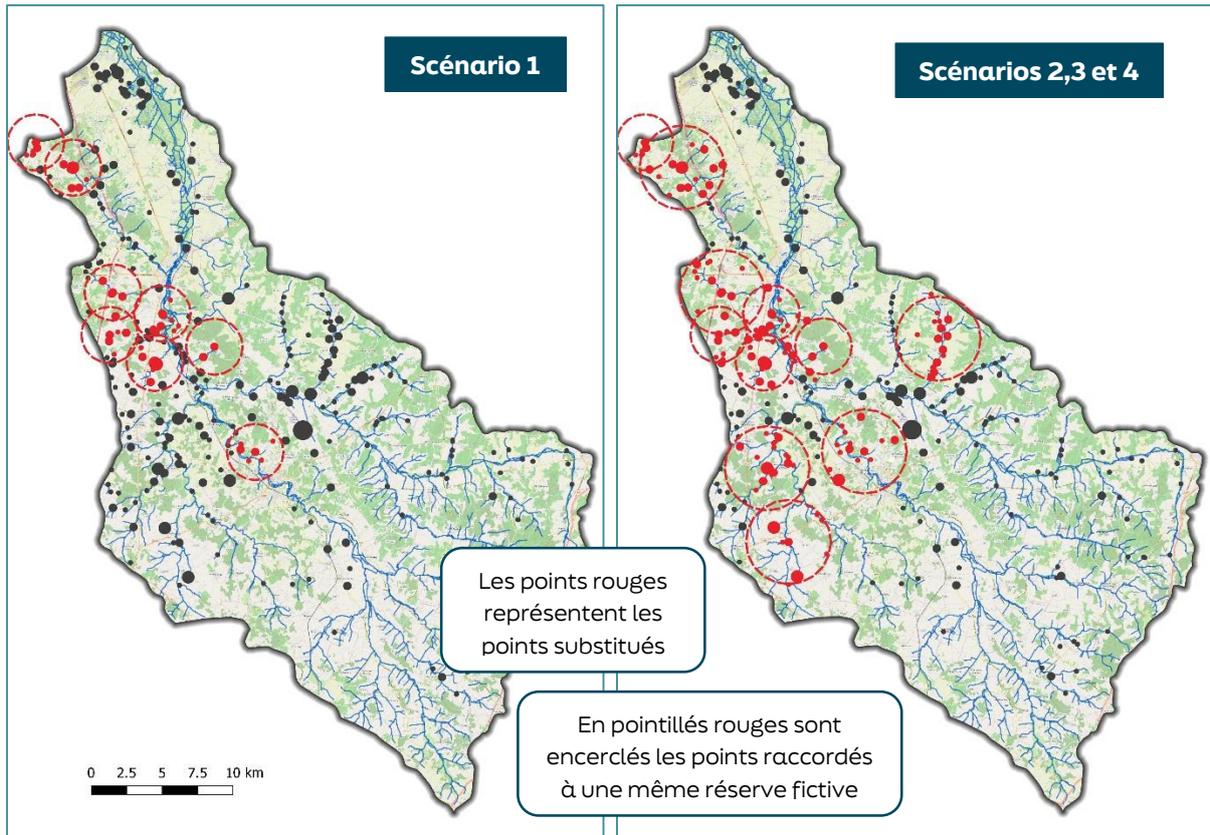
caractérisation de la pression et de la vulnérabilité du territoire [source : diagnostic du PTGE Seugne]

4 scénarios où la substitution est sectorisée au niveau des prélèvements les plus impactants



Dans ces scénarios, tout point substitué ne prélève plus en été. Le volume qui lui est attribué est prélevé uniquement sur la période hivernale.

Les prélèvements hivernaux sont répartis entre novembre et mars (voir ci-contre).



# 1) résultats sur les niveaux piézométriques

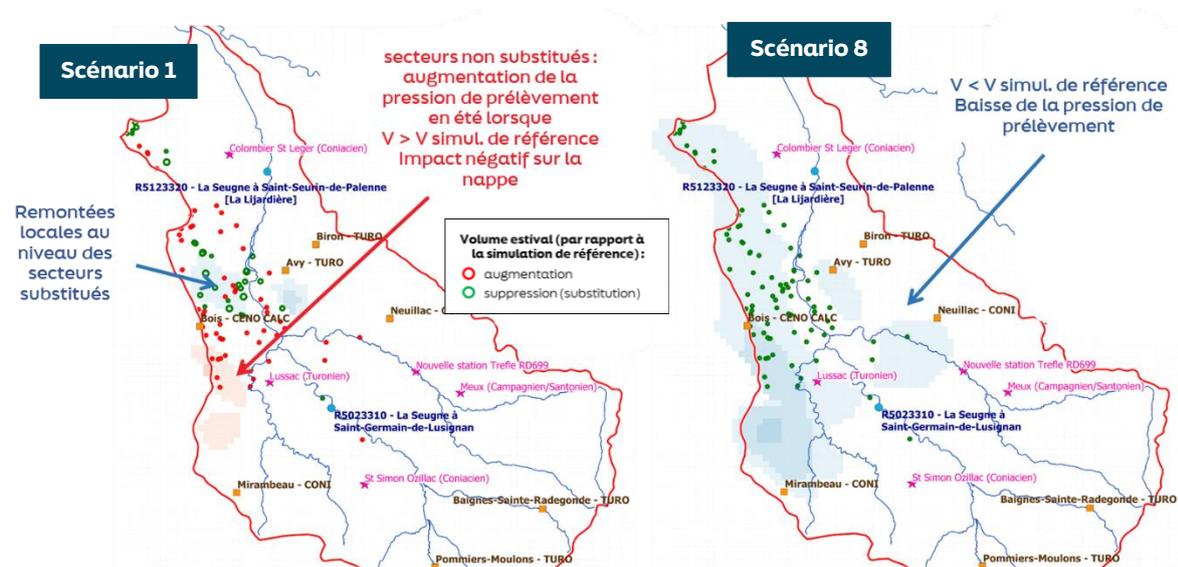
## a. de basses eaux (fin d'été)

	substitution à l'aval		substitution en tête de bassin		substitution à l'aval		substitution en tête de bassin			
	1	3	5	7	2	4	6	8		
	7,34 Mm <sup>3</sup>	8,16 Mm <sup>3</sup>	7,34 Mm <sup>3</sup>	7,34 Mm <sup>3</sup>	5,7 Mm <sup>3</sup>	5,13 Mm <sup>3</sup>	5,13 Mm <sup>3</sup>	5,13 Mm <sup>3</sup>		
Campanien-Santonien	Légères baisses ou remontées locales				Remontées locales (secteurs substitués)		Remontée en bordure de l'anticlinal (secteur substitués)		Remontées locales (secteurs substitués)	
Coniacien										
Turonien										
Cénomaniens calcaires (cf. exemple illustré)	Légères baisses ou remontées locales	Remontées locales (secteurs substitués)	Remontée locale + Baisse au cœur de l'anticlinal		Remontée sur la moitié aval du bassin		Remontée dans le cœur de l'anticlinal			
Cénomaniens sableux		Remontée généralisée	Baisse sur la moitié aval						Remontée généralisée	
Volume total > volume total de la simulation de référence					Volume total ≤ volume total de la simulation de référence					

🗨 Dans la construction des scénarios, le choix a été fait de ne pas modifier la répartition du volume total (annuel) entre les points, c'est-à-dire que lorsque le volume total est supérieur (ou inférieur) à celui de la simulation de référence, l'augmentation (ou baisse) est appliquée de manière homogène à l'ensemble des points, et pas uniquement aux points substitués. Ainsi, dans les scénarios pour lesquels le volume total est supérieur à celui de la simulation de référence (les scénarios 1, 3, 5 et 7), le volume prélevé individuellement est plus important que dans la simulation de référence, et ce pour l'ensemble des points : la pression de prélèvement en été sur les secteurs non substitués est donc plus importante.

### > Exemple illustré

Cartographies de différentiel piézométrique (comparaison avec la simulation de référence) pour la nappe du Cénomaniens calcaires en basses eaux (référence quinquennale sèche)

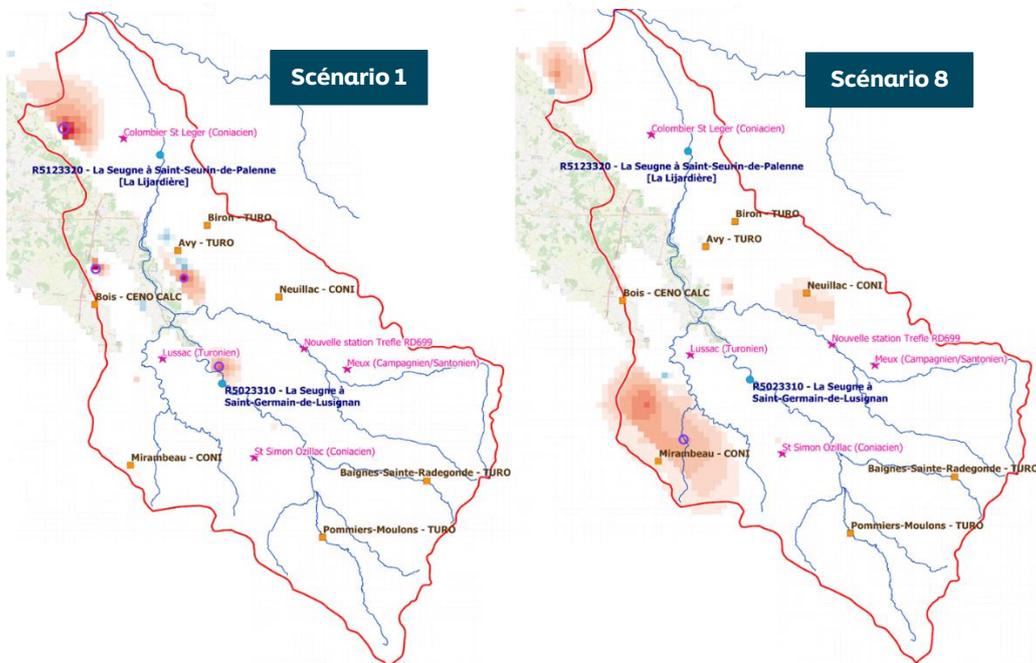


b. de hautes eaux (fin de recharge)

	Substitution à l'aval		Substitution en tête de BV		Substitution à l'aval		Substitution en tête de BV	
	1	3	5	7	2	4	6	8
	7,34 Mm <sup>3</sup>	8,16 Mm <sup>3</sup>	7,34 Mm <sup>3</sup>	7,34 Mm <sup>3</sup>	5,7 Mm <sup>3</sup>	5,13 Mm <sup>3</sup>	5,13 Mm <sup>3</sup>	5,13 Mm <sup>3</sup>
Campanien-Santonien	Baisse locale au droit des points de prélèvements hivernaux (voir exemple illustré)							
Coniacien								
Turonien								
Cénomarien calcaire	Baisse quasi généralisée	Baisse locale (secteur Mirambeau)			Baisse sur la moitié amont du bassin, remontée locale (bordure sud-ouest du bassin versant)		Baisse locale (secteur Mirambeau) + remontée locale (secteur bois)	
Cénomarien sableux	Baisse généralisée				Baisse généralisée		Baisse locale (secteur Mirambeau)	
Volume total > volume total de la simulation de référence				Volume total ≤ volume total de la simulation de référence				

> Exemple illustré

Cartographies de différentiel piézométrique (comparaison avec la simulation de référence) pour la nappe du Turonien en hautes eaux (référence quinquennale sèche)



Les points violets indiquent les points qui prélèvent en hiver.

NB : Tous les points substitués ne sont pas des points de prélèvement : leur volume est reporté vers un unique point de prélèvement (un seul par « réserve » fictive).

5 à 50	1 à 2	0,05 à 0,1	-0,5 à -0,25	-4 à -3
4 à 5	0,5 à 1	-0,05 à 0,05	-1 à -0,5	-5 à -4
3 à 4	0,25 à 0,5	-0,1 à -0,05	-2 à -1	-50 à -5
2 à 3	0,1 à 0,25	-0,25 à -0,1	-3 à -2	

## 2) résultats sur les débits

### a. de basses eaux (fin d'été)

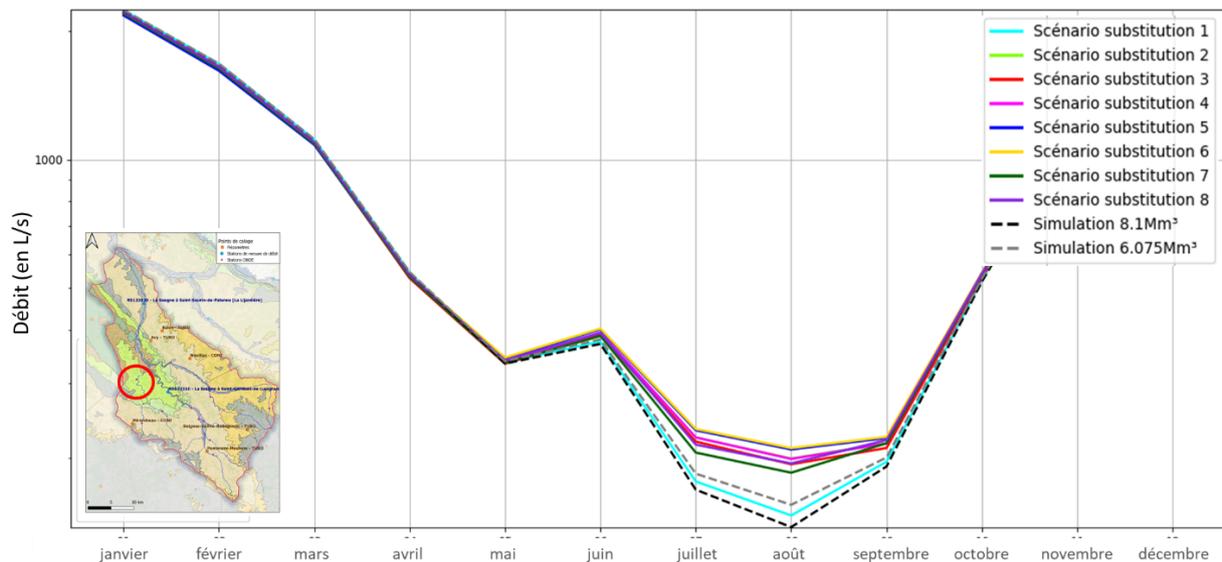
	Sim. réf.	Scénario « sans irrigation »	1	3	5	7	2	4	6	8
Volume annuel	6.075		7,34	8,16	7,34	7,34	5,7	5,13	5,13	5,13
Volume hiver	0		1,6	4,08	3,2	1,6	3	2	2,3	1,1
Volume été	6.075		5,7	4,08	4,1	5,8	2,7	3,1	2,9	4
Impact sur les débits les plus bas à La Lijardière		+ 170 L/s (+ 18 %)	+ 15 L/s	+ 90 L/s	+ 75 L/s		+ 115 L/s	+ 110 L/s	+ 110 L/s	+ 70 L/s
Respect du DOE	17/20	19/20	18	19	18	17	19	19	19	18
Impact sur les débits les plus bas à St-Genis-de-Saintonge		+ 45 L/s (+36 %)	+ 10 L/s	+ 30 L/s	+ 35 L/s	+ 29 L/s	+ 35 L/s	+ 35 L/s	+ 35 L/s	+ 35 L/s

pas/peu d'impact sur la Seugne à St-Germain-de-Lusignan, le Trèfle à Réaux et sur les autres stations ONDE

Volume total > volume total de la simulation de référence
Volume total ≤ volume total de la simulation de référence

#### > Exemple illustré

Débits moyens mensuels (2000-2018) de la Maine à Saint-Genis-de-Saintonge (échelle logarithmique)



### b. de hautes eaux (fin de recharge)

Les simulations ont peu d'impact sur les débits de hautes eaux et les débits moyens annuels (moins de 1% d'écart avec la simulation de référence).

### 3) résultats sur les linéaires d'assec

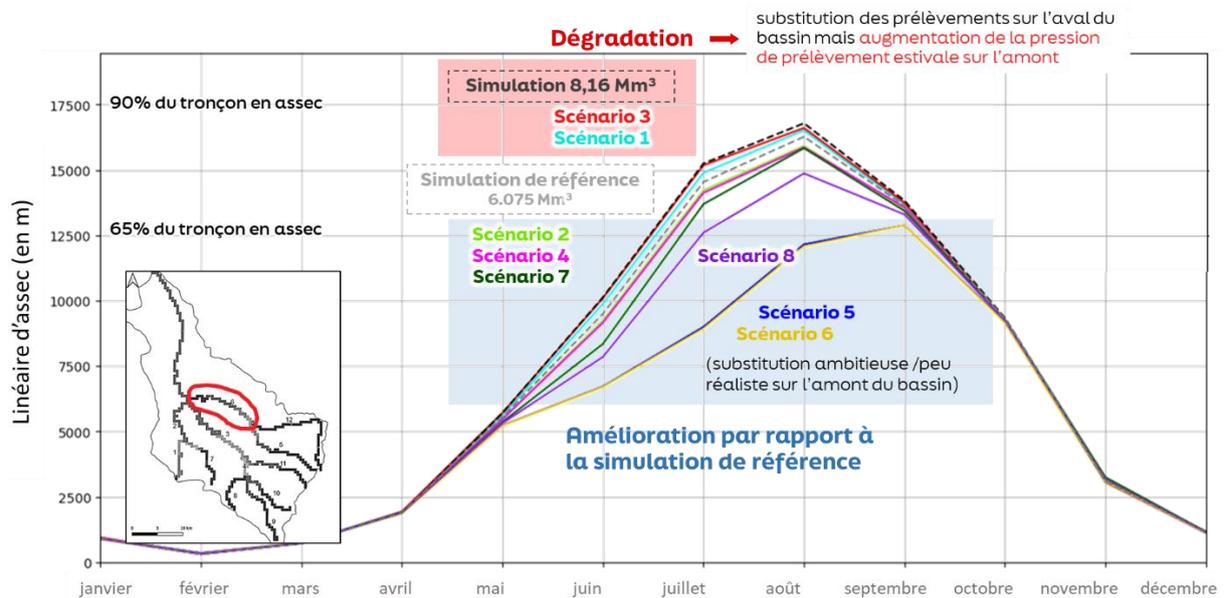
Les scénarios de substitution n°5 et 6 sont les plus bénéfiques et donnent des résultats proches de ceux de la simulation « sans irrigation » (scénarios où la substitution est ambitieuse / peu réaliste : plus aucun point ne prélève sur la moitié amont du bassin, en particulier dans les cours d'eau).

Les scénarios 7 et 8 (substitution sur les têtes de bassin versant) et 2 et 4 (substitution sur l'aval du bassin, avec un volume annuel inférieur à celui de la simulation de référence) induisent également une amélioration du linéaire et/ou de la durée des assecs par rapport à la simulation de référence.

Les scénarios 1 et 3, en revanche, induisent une dégradation par rapport à la simulation de référence. En effet, dans ces scénarios, le volume annuel est supérieur à celui de la simulation de référence et la substitution se fait à l'aval : ainsi, la pression de prélèvement augmente sur la moitié amont du bassin.

#### > Exemple illustré

Longueur moyenne d'assec (2000-2018) sur le Trèfle aval



# Bilan

Par rapport à la simulation de référence :

- Amélioration
- Dégradation

## 1) résultats sur les basses eaux

	RÉF.	SANS IRRIGATION	RED1	RED2	substit. à l'aval	substit. à l'amont						
	6,075		4,8	5,5	SUBS 3	SUBS 7	SUBS 1	SUBS 5	SUBS 2	SUBS 6	SUBS 4	SUBS 8
volume annuel	6,075		4,8	5,5	8,16	7,34	7,34	7,34	5,7	5,13	5,13	5,13
volume hiver	0		0	0	4,08	1,6	1,6	3,2	3	2,3	2	1,1
volumé été	6,075		4,8	5,5	4,08	5,8	5,7	4,1	2,7	2,9	3,1	4
La Lijardière		+ 170 L/s (18%)	+ 40 L/s	+ 30 L/s	+ 90 L/s		+ 15 L/s	+ 75 L/s	+ 115 L/s	+ 110 L/s	+ 110 L/s	+ 70 L/s
St-Germain et Réaux												
La Maine à St-Genis		+ 45 L/s (36%)	+ 30 L/s	+ 15 L/s	+ 30 L/s	+ 29 L/s	+ 10 L/s	+ 35 L/s	+ 35 L/s	+ 35 L/s	+ 35 L/s	+ 35 L/s
autres stations ONDE												
Campanien-Santonien, Turonien, Coniacien												
Cénomannien calcaire												
Cénomannien sableux												
Le Trèfle aval												
La Pimparade												
Le Pharaon												
La Maine												
Le Tâtre												

## 2) résultats sur les hautes eaux

	RÉF.	SANS IRRIGATION	RED1	RED2	substit. à l'aval	substit. à l'amont						
	6,075		4,8	5,5	SUBS 3	SUBS 7	SUBS 1	SUBS 5	SUBS 2	SUBS 6	SUBS 4	SUBS 8
volume annuel	6,075		4,8	5,5	8,16	7,34	7,34	7,34	5,7	5,13	5,13	5,13
volume hiver	0		0	0	4,08	1,6	1,6	3,2	3	2,3	2	1,1
volumé été	6,075		4,8	5,5	4,08	5,8	5,7	4,1	2,7	2,9	3,1	4
La Lijardière		+ 85 L/s	+ 20 L/s	+ 10 L/s	- 95 L/s	- 50 L/s	- 50 L/s	- 70 L/s	- 55 L/s	- 20 L/s	- 30 L/s	- 10 L/s
St-Germain et Réaux						- 10 L/s		- 20 L/s		- 10 L/s		
La Maine à St-Genis		+ 35 L/s	+ 20 L/s	+ 10 L/s	- 30 L/s	- 25 L/s		- 40 L/s	- 15 L/s	- 15 L/s	- 10 L/s	
autres stations ONDE						- 10 L/s		- 10 à 30 L/s		- 10 L/s		
Campanien-Santonien, Turonien, Coniacien												
Cénomannien calcaire												
Cénomannien sableux												

Le scénario « sans irrigation » permet de quantifier l'impact des prélèvements agricoles actuels. Sans irrigation, on observe une amélioration de la situation piézométrique et hydrologique, avec une réduction du linéaire et de la durée des assecs. Malgré tout, même sans irrigation, la problématique d'assecs récurrents demeure persistante sur certains tronçons, et le DOE est franchi en étiage sévère.

Les prélèvements localisés sur la moitié amont du bassin versant sont principalement effectués dans les nappes les moins profondes ainsi qu'en cours d'eau, tandis que les prélèvements situés sur la moitié aval sont principalement effectués dans les nappes les plus profondes. Ainsi, les scénarios dans lesquels la substitution est plutôt réalisée sur l'amont du bassin donnent de meilleurs résultats en termes d'atténuation des linéaires et/ou de la durée des assecs (réduction de la pression de prélèvements en été dans les petits cours d'eau de tête de bassin). L'impact sur les cours d'eau à l'amont du bassin est toutefois principalement dû à l'arrêt des prélèvements dans les cours d'eau plutôt qu'à la localisation de la substitution.

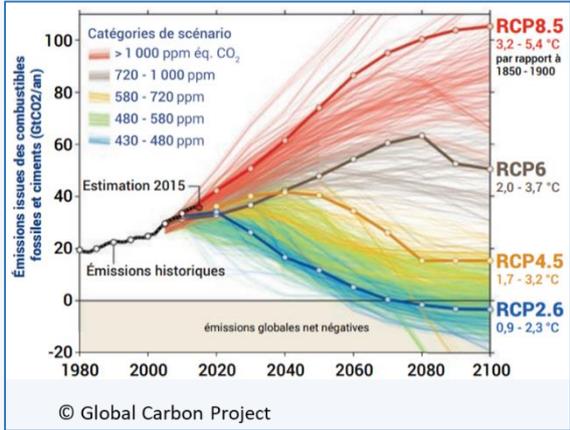
# En climat futur

## Étude de l'impact de différents scénarios de changement climatique

Dans ce second volet d'étude, le modèle Crétacé est forcé avec les données issues de différentes projections climatiques, téléchargées depuis le portail DRIAS.

### Préambule : l'étude de l'évolution du climat

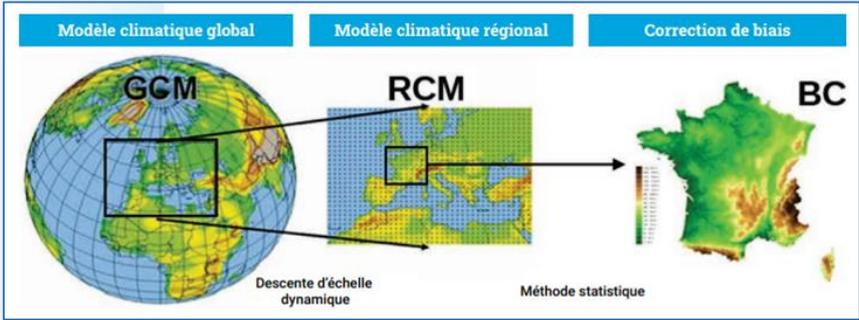
L'étude de l'évolution du climat nécessite le recours à des modèles, qui décrivent le comportement du système climatique (océan, atmosphère, glaciers, rivières, végétation...) en réponse à des contraintes que sont les émissions anthropiques de gaz à effet de serre et d'aérosols.



L'évolution de ces émissions dépend d'un ensemble de facteurs (évolutions technologiques, choix politiques, démographie...) qu'il est impossible de prédire : les climatologues utilisent donc une gamme de scénarios. Dans le cadre du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC (2013), quatre scénarios, baptisés RCP, (Profils Représentatifs d'évolution de Concentration) ont été sélectionnés. Le RCP 2.6 décrit un monde vertueux, sobre en émissions, qui respecterait les accords de Paris (2015). Le RCP 8.5 décrit un futur excluant toute politique de régulation du climat. Les RCP 4.5 et 6.0 décrivent des voies intermédiaires. A

noter que le scénario « tendanciel » retenu en 2023 par le Gouvernement dans le cadre de la Trajectoire de réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC), conduit à un réchauffement de +3 °C en 2100 par rapport à l'ère pré-industrielle, soit environ +4 °C sur la France métropolitaine. Il est considéré que la TRACC se situe à la limite basse du RCP 8.5.

Ces scénarios d'émission sont utilisés en entrée de modèles climatiques globaux (GCM, ou modèles de circulation générale) dont l'objectif est de simuler l'évolution du climat à l'échelle mondiale. La résolution des modèles globaux (100 à 200km) est insuffisante pour représenter correctement les phénomènes locaux. Les modèles climatiques régionaux (RCM) représentent le système climatique plus finement sur une sous-partie du globe (résolution de 12km). Des ajustements statistiques sont ensuite réalisés pour corriger certains défauts de simulations, en affinant la résolution spatiale et en corrigeant les biais par rapport à un jeu de données de référence. Pour un scénario d'émission donné, le climat simulé diffère d'un modèle à l'autre (compréhension imparfaite du système climatique).



## Les projections climatiques retenues pour cette étude

4 « scénarios de changement climatique » ont été sélectionnés pour cette étude, combinant chacun :

- 1 scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre
- 1 couple de modèles climatiques (modèle global / modèle régional)

Scénario	Émission GES	Couple de modèles climatiques (GCM/RCM)	
1	RCP 4.5	CNRM-CM5 / ALADIN63	Modèle médian à l'échelle européenne mais plutôt optimiste à l'échelle nationale (parmi les + humides)
2	RCP 8.5		
3	RCP 4.5	HadGEM2 / CCLM4-8-17	Modèle qui réchauffe le plus Humide en hiver, très sec en été/automne
4	RCP 8.5	NorESM1 / HIRHAM5	Médian en termes de températures. Sec en hiver/printemps, médian/sec en été/automne

\* Le RCP 6.0 n'est pas couvert par le jeu de données disponible au moment de l'étude.

Une augmentation continue de l'ETP sur la période simulée est annoncée, quel que soit le scénario climatique considéré. L'évolution des précipitations est plus incertaine et dépend essentiellement du modèle climatique choisi.

RCP x modèle	Période	Précipitations *			ETP annuelle *
		annuelles	été	hiver	
RCP 4.5 CNRM-CM5 / ALADIN63	2021-2050	+ 3%	- 1%	+ 9%	+ 5%
	2041-2070	- 0,2%	- 7%	+ 2%	+ 8%
	2071-2100	+ 5%	- 14%	+ 5%	+ 9%
RCP 8.5 CNRM-CM5 / ALADIN63	2021-2050	+ 3%	+ 0%	-2%	+ 4%
	2041-2070	+ 4%	- 11%	+ 11%	+ 8%
	2071-2100	+ 0.2%	- 14%	+ 0%	+ 18%
RCP 4.5 HadGEM2 / CCLM4-8-17	2021-2050	- 8%	- 40%	+ 8%	+ 10%
	2041-2070	- 13%	- 36%	+ 3%	+ 15%
	2071-2100	- 10%	- 39%	+ 10%	+ 10%
RCP 8.5 NorESM1 / HIRHAM5	2021-2050	- 10%	- 15%	- 2%	+ 8%
	2041-2070	- 8%	- 17%	- 1%	+ 11%
	2071-2100	- 11%	- 28%	+ 7%	+ 20%

\* Écart moyen par rapport à la période de référence (1991-2020)

## Simulations hydrogéologiques en climat futur

Les chroniques de pluie et d'évapotranspiration potentielle fournies par les 4 projections climatiques, téléchargées depuis le portail DRIAS, sont utilisées comme données d'entrée du modèle Crétacé.



### La simulation de référence en climat futur

Avec le modèle CNRM-CM5/ALADIN63, les précipitations hivernales restent assez importantes, permettant une bonne recharge du système et donc un bon maintien des piézométries et des débits (légère hausse par rapport à la période de référence).

Avec les modèles plus secs HadGEM2/CCLM4-8-17 et NorESM1/HIRHAM5, on observe en moyenne une baisse des piézométries et des débits (moyennes annuelles, hautes et basses eaux) par rapport à la période de référence (environ -10 à -15 % sur les débits d'étiage de la Seugne à La Lijardière). La recharge des nappes serait moins bonne et l'ensemble de l'hydrosystème serait plus affecté.

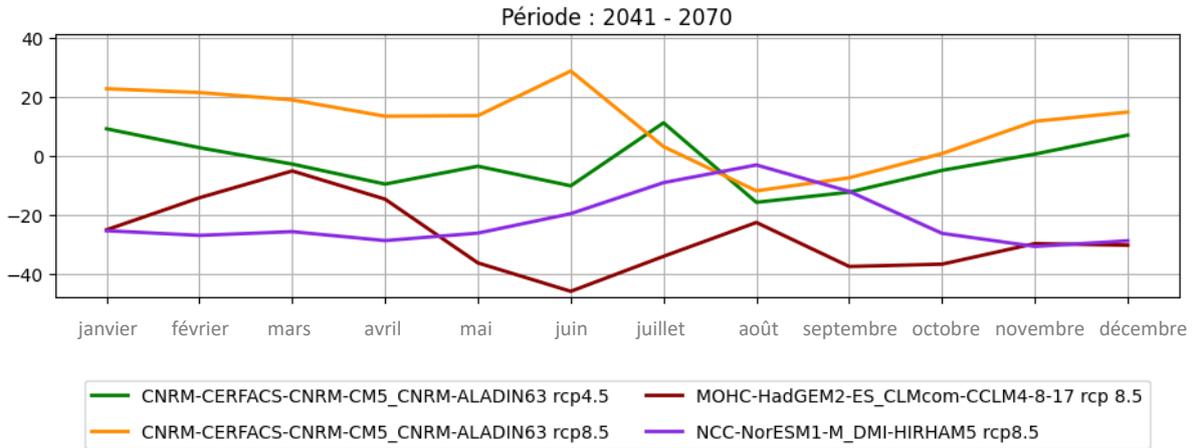
Débits moyens annuels de la Seugne à La Lijardière					
periode	CNRM-CM5/ALADIN63 x RCP 4.5	CNRM-CM5/ALADIN63 x RCP 8.5	HadGEM2/CCLM4-8-17 x RCP 4.5	NorESM1/HIRHAM5 x RCP 8.5	SAFRAN (2000-2018)
1991 - 2020	<b>5,37 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>5,49 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>6,62 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>6,28 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>4,65 m<sup>3</sup>/s</b>
2021 - 2050	+ 170 L/s (+ 3%)	+ 270 L/s (+ 5%)	- 690 L/s (- 10%)	- 1,4 m <sup>3</sup> /s (- 23%)	
2041 - 2070	- 10 L/s	+ 890 L/s (+ 16%)	- 1,5 m <sup>3</sup> /s (- 23%)	- 1,6 m <sup>3</sup> /s (- 26%)	
2071 - 2100	+ 730 L/s (+ 14%)	+ 305 L/s (+ 6%)	- 250 L/s (- 4%)	- 1,2 m <sup>3</sup> /s (- 19%)	

Débits de hautes eaux de la Seugne à La Lijardière					
periode	CNRM-CM5/ALADIN63 x RCP 4.5	CNRM-CM5/ALADIN63 x RCP 8.5	HadGEM2/CCLM4-8-17 x RCP 4.5	NorESM1/HIRHAM5 x RCP 8.5	SAFRAN (2000-2018)
1991 - 2020	<b>14,11 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>14,88 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>17,64 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>17,29 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>12,91 m<sup>3</sup>/s</b>
2021 - 2050	+ 1,3 m <sup>3</sup> /s (+ 9%)	+ 1,9 m <sup>3</sup> /s (+ 13%)	- 1,6 m <sup>3</sup> /s (- 9%)	- 4,2 m <sup>3</sup> /s (- 24%)	
2041 - 2070	+ 1,2 m <sup>3</sup> /s (+ 8%)	+ 2,4 m <sup>3</sup> /s (+ 16%)	- 3,2 m <sup>3</sup> /s (- 18%)	- 4,9 m <sup>3</sup> /s (- 28%)	
2071 - 2100	+ 2,6 m <sup>3</sup> /s (+ 18%)	+ 1 m <sup>3</sup> /s (+ 7%)	+ 600 L/s (+ 3%)	- 2,8 m <sup>3</sup> /s (- 16%)	

Débits de basses eaux (VCN10) de la Seugne à La Lijardière					
periode	CNRM-CM5/ALADIN63 x RCP 4.5	CNRM-CM5/ALADIN63 x RCP 8.5	HadGEM2/CCLM4-8-17 x RCP 4.5	NorESM1/HIRHAM5 x RCP 8.5	SAFRAN (2000-2018)
1991 - 2020	<b>1,03 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>1,02 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>1,19 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>1,11 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>0,94 m<sup>3</sup>/s</b>
2021 - 2050	- 7 L/s	+ 15 L/s	- 99 L/s (- 8%)	- 161 L/s (- 15%)	
2041 - 2070	- 18 L/s	+ 67 L/s (+ 7%)	- 208 L/s (- 17%)	- 130 L/s (- 12%)	
2071 - 2100	+ 58 L/s (+ 6%)		- 103 L/s (- 9%)	- 162 L/s (- 15%)	

> **Exemple illustré**

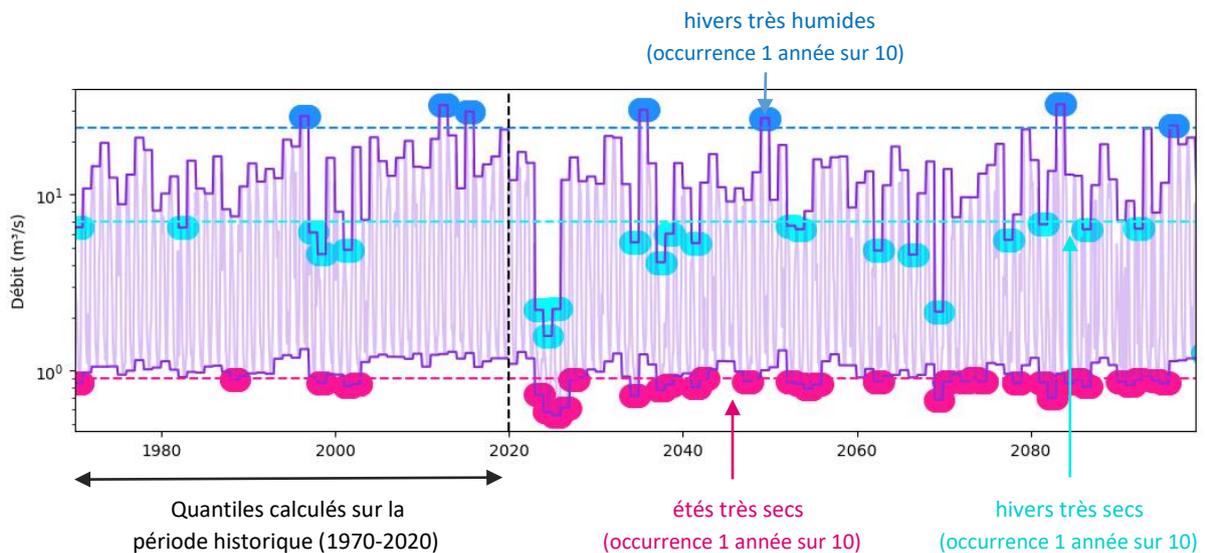
Écart moyen mensuel (en %) à la période de référence (1991-2020) du débit de la Seugne à La Lijardière



Les résultats indiquent également que les années extrêmes seront plus fréquentes : hivers très humides ou très secs selon les modèles, et étés très secs.

> **Exemple illustré**

Débits moyens mensuels de la Seugne à La Lijardière avec le scénario NorESM1/HIRHAM5 x RCP 8.5



☞ D'après le modèle, l'hydrosystème est davantage impacté par le scénario n°4, où la diminution des précipitations n'est pas uniquement concentrée sur l'été, que par le scénario n°3.

## Les scénarios de réduction/substitution en climat futur

Parmi l'ensemble des scénarios de réduction des volumes prélevés et de substitution simulés en climat actuel, 4 ont été simulés en climat futur. L'objectif ici était de vérifier si les impacts (améliorations/dégradations par rapport à la simulation de référence) des scénarios de réduction/substitution sont les mêmes qu'en climat actuel.

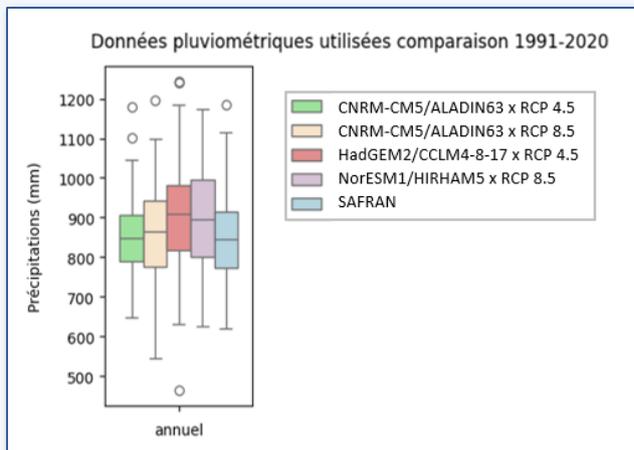
Les résultats indiquent une **absence d'évolution notable des écarts à la simulation de référence**, témoignant de peu d'évolution du fonctionnement hydrogéologique en basses eaux.

> **Exemple** : Écart à la simulation de référence des débits de la Seugne à La Lijardière (en L/s)

	Réduction 1 4,8 Mm <sup>3</sup>			Substitution 2 5,7 Mm <sup>3</sup> 3 Mm <sup>3</sup> substitués			Substitution 5 7,34 Mm <sup>3</sup> 3,2 Mm <sup>3</sup> substitués			Substitution 8 5,13 Mm <sup>3</sup> 1,1 Mm <sup>3</sup> substitués		
	HE	BE	moy.	HE	BE	moy.	HE	BE	moy.	HE	BE	moy.
En climat actuel (moyenne 2000-2018)	+ 23	+ 43	+ 25	- 60	+ 95	+ 14	- 73	+68	- 5	-11	+67	+ 20
En climat futur (max. des 4 scénarios et des 4 périodes)	+ 25	+ 45	+ 26	- 62	+110	+ 14	- 84	+80	- 10	-19	+71	+ 21

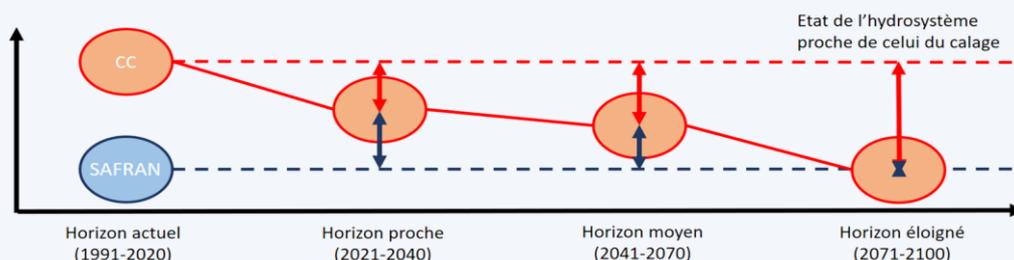
\* HE = hautes eaux ; BE = basses eaux ; moy. = moyenne annuelle

### Un biais dans l'utilisation des projections climatiques



Sur la période de référence (1991-2020), les modèles climatiques ne donnent pas la même quantité ni la même répartition annuelle des précipitations que les observations historiques (SAFRAN). La baisse de précipitations prévue par les modèles climatiques les plus secs est en fait appliquée à une référence historique plus haute : *in fine*, le niveau de précipitations est donc du même ordre de grandeur que la référence SAFRAN.

Ainsi, le fonctionnement de l'hydrosystème et l'équilibre des échanges nappe-rivière dans le modèle ne sont pas drastiquement modifiés.



## Ce qu'il faut retenir



### En climat actuel :

- Les prélèvements agricoles impactent les débits de la Seugne aval (La Lijardière), le niveau des nappes ainsi que les phénomènes d'assecs sur certains tronçons.
- L'impact des prélèvements est principalement visible sur les basses eaux mais peut se reporter en hautes eaux (via l'inertie de la nappe captive du Cénomanién).
- A volume égal, une substitution des prélèvements en cours d'eau ou en nappe peu profonde (têtes de bassin) et une substitution des prélèvements plus profonds (anticlinal) auraient des bénéfices équivalents pour la Seugne aval et les nappes. L'impact sur les assecs dépend d'avantage de la localisation des points substitués.
- Les scénarios pour lesquels le volume annuel est supérieur au volume actuellement prélevé ont un effet négatif sur le niveau des nappes et les assecs.
- Les prélèvements en hiver n'auraient *a priori* qu'un impact local sur le niveau des nappes (cône de rabattement), et très peu sur les débits.



### L'impact du changement climatique sur la ressource en eau...

#### ... se traduit par

- une augmentation continue de l'ETP
- une évolution des précipitations variable selon les scénarios climatiques
- une tendance à la baisse des débits et niveaux piézo. (scénarios chauds et secs)
- des années atypiques/extrêmes plus fréquentes

... peut être sous-estimé (pluies intenses lissées par le pas de temps du modèle, modification de l'équilibre des échanges nappe-rivière, des conditions aux limites du modèle (niveau de la mer...), de l'occupation du sol, des rejets et prélèvements...)

De plus, **l'ensemble des conclusions concerne l'aspect quantitatif** et ne présage pas de l'effet du changement climatique sur la qualité de l'eau, la biodiversité, les sols...



**Un modèle est une reproduction numérique d'une réalité complexe**, dont les résultats doivent être interprétés avec précaution. Chaque étape de la chaîne de modélisation est porteuse d'incertitudes (hypothèses sur les émissions futures, modélisation climatique et hydrogéologique, variabilité naturelle du climat...).

Il est important de considérer un ensemble de projections (multi-scénarios et multi-modèles) afin d'estimer les différentes sources d'incertitudes.



L'étude a pour objectif d'apporter des **éléments d'aide à la décision** et ne constitue pas l'étude d'impact d'un projet préalablement établi. La valorisation de ces résultats, dans le cadre de la mise en œuvre du PTGE, fera l'objet d'un travail ultérieur.