

**EVALUATION DES IMPACTS SOCIO-
ECONOMIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
SUR LES USAGES DE L'EAU ET LES MILIEUX
AQUATIQUES SUR LE PERIMETRE DU SAGE
(DISPOSITION II.10)**

Livrable intermédiaire :

Diagnostic de vulnérabilité des usages de l'eau
et les milieux aquatiques sur la vallée de la
Garonne

Bureau de la CLE du 20 avril 2023

Structure porteuse :



SOMMAIRE

1.	LE CONTEXTE	10
2.	CLIMAT ET HYDROLOGIE A L'HORIZON 2050	17
2.1	LE CLIMAT : PLUS DE JOURS PLUS CHAUDS, MOINS DE JOURS PLUVIEUX	17
2.1.1	<i>Température et chaleur</i>	18
2.1.2	<i>La pluie</i>	19
2.1.3	<i>L'évapotranspiration potentielle</i>	21
2.1.4	<i>La sécheresse météorologique</i>	22
2.2	L'HYDROLOGIE A L'HORIZON 2050	23
2.2.1	<i>Le manteau neigeux qui diminue</i>	23
2.2.2	<i>L'humidité des sols : des sols plus secs</i>	25
2.2.3	<i>Pluie efficace, drainage cumulé et évapotranspiration réelle</i>	26
2.2.4	<i>Les débits : à l'étiage, entre -40% et -60%</i>	27
2.2.5	<i>Comparaison des valeurs de débits de Explore 2 et Explore 70</i>	28
3.	LA VULNERABILITE DES USAGES DE L'EAU	29
3.1	LA MESURE DE LA VULNERABILITE	30
3.2	LES ATELIERS DE CONCERTATION	30
3.2.1	<i>Le déroulement des ateliers</i>	30
3.2.2	<i>Les enjeux des territoires au prisme des acteurs</i>	31
3.2.2.1	Enjeu quantitatif	32
3.2.2.2	Enjeu qualitatif et milieux	33
3.2.2.3	Enjeu gouvernance	33
3.2.3	<i>Synthèse des ateliers et reconstruction des chaînes d'impact</i>	34
3.2.3.1	La vulnérabilité de la biodiversité et des milieux aquatiques	35
3.2.3.2	La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur domestique	37
3.2.3.3	La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'agriculture	38
3.2.3.4	La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'industrie	39
3.2.3.5	La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'énergie	40
3.3	LES INDICATEURS DE SENSIBILITE DES TERRITOIRES - FACTEURS NON-CLIMATIQUES	41
3.3.1.1	La biodiversité et les milieux aquatiques	41
3.3.1.2	L'usage de l'eau pour le secteur domestique	43
3.3.1.3	L'usage de l'eau à destination de l'agriculture	44
3.3.1.4	L'usage de l'eau pour l'industrie	45
3.3.1.5	L'usage de l'eau pour l'énergie.....	45
3.4	LES INDICATEURS D'EXPOSITION DES TERRITOIRES - FACTEURS CLIMATIQUES	46
3.4.1.1	Indicateurs des facteurs climatiques	46
3.4.1.2	Interprétation des indicateurs	47
3.5	LES SCORES DE VULNERABILITE	47
3.5.1.1	La biodiversité et les milieux aquatiques	47
3.5.1.2	L'usage de l'eau à destination du secteur domestique.....	48
3.5.1.3	L'usage de l'eau à destination du secteur agricole	49
3.5.1.4	L'usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie	50
3.5.1.5	L'usage de l'eau à destination du secteur de l'industrie	52
4.	CONCLUSIONS	54
5.	ANNEXES	56
5.1	CARTES MENTALES – RESULTATS DES ATELIERS DE CONCERTATION	56
5.2	CALCUL DES SCORES DE VULNERABILITE	61
5.2.1	<i>Biodiversité et milieux aquatiques</i>	61

5.2.2	<i>Usage de l'eau à destination du secteur domestique.....</i>	62
5.2.3	<i>Usage de l'eau à destination du secteur agricole.....</i>	63
5.2.4	<i>Usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie.....</i>	64
5.2.5	<i>Usage de l'eau à destination du secteur de l'industrie.....</i>	65
5.2.6	<i>Les indicateurs de sensibilité</i>	65

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : PLANNING DE L'ETUDE SOCIOECONOMIQUE EN COURS.....	15
FIGURE 2 : TUILES SAFRAN ETUDIEES POUR L'ANALYSE DES DONNEES DRIAS. SOURCE : CACG.....	17
FIGURE 3 : ECART EN °C SUR LES TEMPERATURES MAXIMALES.....	19
FIGURE 4 : CARTOGRAPHIE DES ECARTS DE PRECIPITATIONS EXTREMES	20
FIGURE 5 : ECART DE CUMUL PLUVIOMETRIQUE ENTRE LA PERIODE DE REFERENCE (1950-2005) ET H2 (2041-2070) POUR LES 6 COMMISSIONS GEOGRAPHIQUES.....	21
FIGURE 6 : ECART RELATIF D'ETP CUMULEE PAR RAPPORT A L'HORIZON DE REFERENCE POUR LES DEUX SCENARIOS, MEDIAN (TRAIT CONTINU) ET PESSIMISTE (TRAIT POINTILLE).....	21
FIGURE 7 : ECART DE CUMUL D'ETP ENTRE LA PERIODE DE REFERENCE (1950-2005) ET H2 (2041-2070) POUR LES 6 COMMISSIONS GEOGRAPHIQUES.....	22
FIGURE 8 : NOMBRE DE JOURS SUPPLEMENTAIRES CONSECUTIFS DE SECHERESSE METEOROLOGIQUE ENTRE LA PERIODE DE REFERENCE (1950-2005) ET (2041-2070).....	22
FIGURE 9 : CHRONIQUE TEMPORELLE DE SUIVI DU MANTEAU NEIGEUX DE 1950-2100, ALTITUDE 1329M.....	23
FIGURE 10 : CARTOGRAPHIE DE SWI POUR LES DEUX SCENARIOS SUR LA PERIODE DE REFERENCE ET L'HORIZON H2.....	25
FIGURE 11 : ECART D'ETR ENTRE LA PERIODE DE REFERENCE ET H2 POUR LES SCENARIOS CLIMATIQUES MEDIAN ET PESSIMISTE	26
FIGURE 12 : ILLUSTRATION DES NAPPES PRESENTEES ET A COMPLETER PAR LES PARTICIPANTS.....	31
FIGURE 13 : CHAINE D'IMPACT DECRIVANT LA VULNERABILITE DE LA BIODIVERSITE ET DES MILIEUX AQUATIQUES.....	36
FIGURE 14 : CHAINE D'IMPACT DECRIVANT LA VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DOMESTIQUE.....	37
FIGURE 15 : CHAINE D'IMPACT DECRIVANT LA VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION AGRICOLE.....	39
FIGURE 16 : CHAINE D'IMPACT DECRIVANT LA VULNERABILITE DES USAGES DE L'EAU INDUSTRIELS.....	40
FIGURE 17 : CHAINE D'IMPACT DECRIVANT LA VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU POUR LE SECTEUR DE L'ENERGIE	41
FIGURE 18 : REPRESENTATION DE LA VULNERABILITE DE LA BIODIVERSITE ET DES MILIEUX AQUATIQUES.....	48
FIGURE 19 : REPRESENTATION DE LA VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DOMESTIQUE	49
FIGURE 20 : REPRESENTATION DE LA VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR AGRICOLE.....	50
FIGURE 21 : RESSOURCES POUR LE SOUTIEN D'ETIAGE EN 2022. SOURCE : SMEAG.....	51
FIGURE 22 : REPRESENTATION DE LA VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DE L'ENERGIE.....	52
FIGURE 23 : REPRESENTATION DE LA VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DE L'INDUSTRIE.....	53
FIGURE 24 : REPRESENTATION DES RESULTATS DU DIAGNOSTIC DE LA VULNERABILITE DES USAGES.	54

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE EXPLORE 70 ET EXPLORE 2.....	28
TABLEAU 2 : SYNTHÈSE DES ECARTS [%] ENTRE LES VALEURS STATISTIQUES HISTORIQUES ET FUTURS DES MODULES, QMNA5 ET VCN10 DES 39 STATIONS D'ÉTUDE POUR EXPLORE 70 (STATISTIQUES CALCULÉES SUR L'ENSEMBLE DES 7 MODELISATIONS) ET POUR LES DEUX SCENARIOS EXPLORE 2 MEDIAN ET PESSIMISTE.....	29
TABLEAU 3 : INDICATEURS DE SENSIBILITE DE LA BIODIVERSITE ET DES MILIEUX AQUATIQUES.	42
TABLEAU 4: SURFACE DE MASSES D'EAU SUPERFICIELLES SELON LA CLASSE DE L'ÉTAT ECOLOGIQUE (EN KM ²) ET PRESENTATION DE LA NOTATION DE L'ÉTAT ECOLOGIQUE.....	42
TABLEAU 5: INDICATEURS DE SENSIBILITE POUR L'USAGE DE L'EAU DOMESTIQUE.....	43
TABLEAU 6 : SURFACE DE MASSES D'EAU SUPERFICIELLES SELON LA CLASSE DE L'ÉTAT CHIMIQUE (EN KM ²) ET PRESENTATION DE LA NOTATION DE L'ÉTAT CHIMIQUE.....	43
TABLEAU 7: INDICATEURS DE SENSIBILITE POUR L'USAGE DE L'EAU AGRICOLE.....	44
TABLEAU 8 : INDICATEURS DE SENSIBILITE POUR L'USAGE DE L'EAU INDUSTRIEL.....	45
TABLEAU 9 : INDICATEURS DE SENSIBILITE POUR L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DE L'ÉNERGIE.....	46
TABLEAU 10 : INDICATEURS CLIMATIQUES (OU D'EXPOSITION).	46
TABLEAU 11 : INDICES ET SCORES DE VULNERABILITE DE LA BIODIVERSITE ET DES MILIEUX AQUATIQUES.....	47
TABLEAU 12 : INDICES ET SCORES DE VULNERABILITE POUR L'USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DOMESTIQUE.....	48
TABLEAU 13 : INDICES ET SCORES DE VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU POUR L'AGRICULTURE.	49
TABLEAU 14 : INDICES ET SCORES DE VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU POUR LE SECTEUR DE L'ÉNERGIE.	51
TABLEAU 15: INDICES ET SCORES DE VULNERABILITE DE L'USAGE DE L'EAU POUR L'INDUSTRIE.....	52

GLOSSAIRE

Sécheresse météorologique : La sécheresse météorologique correspond à un déficit prononcé et prolongé de précipitations.

Sécheresse édaphique (ou sécheresse agricole). L'absence de précipitations se répercute sur les sols et altère le développement de la végétation : les racines des plantes ne sont plus capables d'extraire le peu d'eau qu'il reste dans le sol.

Sécheresse hydrologique : Le déficit pluviométrique peut aussi se répercuter sur le niveau d'eau dans les milieux : c'est la sécheresse hydrologique

Généralités liées à la modélisation climatique

Horizon : Moyenne d'une période considérée, pour laquelle une projection climatique est calculée (Exemples : 2021-2050, 2031-2070 ou 2071-2100). Dans DRIAS, les horizons sont calculés sur une période moyenne de 30 ans.

Méthode de correction des biais et de descente d'échelle (BCSD) : Méthode permettant, à partir de simulations climatiques de grande échelle (de l'ordre de 300 à 50 km), de descendre à des échelles fines de l'ordre de la dizaine de kilomètre, et/ou de corriger les résultats des simulations en les calibrant aux observations.

Modèle climatique global (GCM) : C'est un modèle numérique de l'atmosphère en fonction du temps. Les équations qui le régissent sont les lois de conservation de la physique exprimées sous forme de différence finie, de forme spectrale ou d'éléments finis. L'évolution de la circulation du modèle est calculée par intégration temporelle de ces équations à partir d'une condition initiale. Le GCM peut être utilisé pour les prévisions météorologiques ou pour les études climatiques.

Modèle climatique régionale (RCM) est un modèle de prévision climatique numérique forcé par des conditions latérales et océaniques spécifiées à partir d'un modèle de circulation générale (GCM)

Période de référence : Période par rapport à laquelle les évolutions sont calculées.

Scénarios RCP (Representation Concentration Pathway) : Ce sont des projections climatiques dépendant de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et de l'usage des sols. L'effet de la perturbation du climat est rapporté à un équivalent de forçage radiatif qui modifie le bilan énergétique de la Terre. Le chiffre du scénario correspond à ce forçage radiatif équivalent en W/m^2 pour l'année 2100 par rapport à 1750.

Indicateurs de températures

Extrême chaud de la température maximale quotidienne [$^{\circ}C$] : 90ème centile des températures maximales journalières

Extrême froid de la température minimale quotidienne [$^{\circ}C$] : 10ème centile des températures minimales journalières

Nombre de jours anormalement chauds [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température quotidienne est supérieure à la température maximale quotidienne de référence de ce jour (calculée sur la période de référence) + $5^{\circ}C$.

Nombre de jours anormalement froids [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température quotidienne est inférieure à la température minimale quotidienne de référence de ce jour (calculée sur la période de référence) - $5^{\circ}C$.

Nombre de nuits anormalement chaudes [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne est supérieure à la température minimale quotidienne de référence de ce jour (calculée sur la période de référence) + $5^{\circ}C$.

Nombre de jours d'une vague de chaleur [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température maximale est supérieure à la température maximale quotidienne de référence de ce même jour (calculée sur la période de référence) + $5^{\circ}C$ dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs

Nombre de jours d'une vague de froid [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température minimale est inférieure à la température minimale quotidienne de référence de ce même jour (calculée sur la période de référence) - $5^{\circ}C$ dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs.

Nombre de jours de gel [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne est inférieure à 0°C.

Nombre de jours sans dégel [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne est inférieure à 0°C.

Nombre de journées estivales [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température maximale quotidienne est supérieure à 25°C

Nombre de jours de forte chaleur [jours] : Nombre de jours pour lesquels $T_{Xi} > 35^{\circ}\text{C}$

Nombre de nuits tropicales [jours] : Nombre de jours pour lesquels la température minimale quotidienne est supérieure à 20°C

Indicateurs de précipitations

Cumul de précipitations [mm] : Cumul sur la période des précipitations

Nombre de jours de pluie [jours] : Nombre de jours pour lesquels la pluie est supérieure à 1mm

Nombre de jours de fortes précipitations [jours] : Nombre de jours pour lesquels la pluie est supérieure à 20 mm

Période de sécheresse [jours] : Maximum du nombre de jours consécutifs pour lesquels la pluie est inférieure à 1 mm.

Nombre maximum de jours pluvieux consécutifs [jours] : Maximum du nombre de jours consécutifs pour lesquels la pluie est supérieure à 1mm.

Précipitation quotidienne intense [mm] : 90e centile des précipitations totales annuelles

Précipitation quotidienne extrême [mm] : 99e centile des précipitations totales annuelles

Nombre de jours de précipitations extrêmes [jours] : Nombre de jour où les précipitations quotidiennes dépassent le 99e centile des précipitation totales de la période considérée.

Indicateurs d'évapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle (ETP) [mm] se définit comme la somme de la transpiration du couvert végétal et de l'évaporation du sol qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau suffisant (disponibilité en eau non limitative). Elle est calculée dans le jeu de données DRIAS à partir des variables météorologiques disponibles, à partir de la formule FAO avec rayonnement estimé par la formule de Hargreaves.

L'évapotranspiration potentielle cumulée (ETP) [mm] : Cumul sur la période des évapotranspirations potentielle quotidiennes de la période.

Indicateurs hydrologiques

NB : les indicateurs hydrologiques proviennent des sorties du modèle SIM utilisé avec le forçage climatique de DRIAS

Evapotranspiration réelle (ETR) [mm] est la quantité totale d'eau qui s'évapore du sol et des plantes présentes dans une zone lorsque le sol est à son taux d'humidité naturel. Elle est ici issue de la modélisation (modèle SIM2).

Evapotranspiration réelle cumulée [mm] : Cumul des évapotranspirations réelle quotidiennes de la période.

Pluie efficace [mm] : différence entre les précipitations totales quotidiennes et l'évapotranspiration réelle quotidiennes.

Pluie efficace cumulée [mm] : Cumul des pluies efficaces quotidiennes de la période. On calcule au pas de temps quotidien la différence entre les précipitations totales et l'évapotranspiration.

Indicateur moyen d'humidité des sols SWI [-] : Cet indice permet de caractériser la quantité d'eau présente dans le sol superficiel (couche racinaire), et disponible pour la végétation. Le SWI dépend donc de l'humidité du sol mais aussi de la nature des sols. Ainsi un SWI de 0.4 nous dit que

la réserve utile pour les plantes est remplie à 40%, un SWI négatif indique qu'il n'y a plus d'eau disponible pour les plantes. L'indicateur moyen est la moyenne des SWI quotidiens de la période.

Nombre de jours avec un sol sec [Nbj] : Nombre de jours où $SWI < 0.4$ de la période

Equivalent en eau du manteau neigeux moyen (SWE) [mm] : Il représente la masse totale de neige par unité de surface, et représente donc le stock d'eau potentiellement disponible au moment de la fonte.

Stock nival [mm] : Valeur moyenne du SWE au 1er mai de la période.

Drainage [mm] : C'est la quantité d'eau qui s'écoule à la base du sol superficiel vers une couche non-saturée, c'est une source d'alimentation des nappes aquifères.

Drainage cumulée : Cumul des drainages quotidiens pendant la période de recharge c'est-à-dire la quantité d'eau qui s'est infiltrée dans le sol au 31 mars depuis le 1er septembre de l'année qui la précède.

Indicateurs sur les débits

Le débit est le volume d'eau qui traverse un point donné du cours d'eau dans un laps de temps déterminé, exprimé en m^3/s . Ces données sont issues du modèle hydrologique MODCOU (une composante de la chaîne de modélisation SIM2) et sont fournies à des stations hydrométriques de la banque hydro identifiées par un code station.

Q10 : C'est le 10ème centile des débits quotidiens. C'est un indicateur d'évolution des débits de basses eaux ou étiage. En moyenne 10% du temps, le débit de la rivière est inférieur à Q10.

Q90 : L'évolution des débits de hautes eaux ou crues ordinaires est considérée à partir du percentile Q90. C'est le débit non dépassé 90% du temps.

QMNA5 : C'est le débit moyen mensuel minimal annuel de fréquence quinquennale sèche, soit 4 années sur 5 le débit moyen mensuel minimal est supérieur au QMNA5.

VCNx : C'est la valeur minimale du débit moyen journalier calculé sur une période de x jours consécutifs, ici 10 jours.

VCN10 quinquennal sec : se définit par 4 années sur 5 le débit moyen minimal de 10 jours consécutifs est supérieur au VCN10 quinquennal sec.

Module : débit moyen pluriannuel

Note au lecteur

Ce rapport est le premier livrable de l'étude intitulé « Evaluation des impacts socio-économiques du changement climatique sur les usages de l'eau » prévue par la disposition II.10 du SAGE Vallée de la Garonne, dans le cadre de sa mise en œuvre directe.

La mise en œuvre de cette disposition s'inscrit dans le projet LIFE Eau&Climat coordonné au niveau national par l'OIEAU et pour lequel des méthodologies à suivre ont été élaborées. Elles sont donc appliquées dans la présente étude, comme sur les autres SAGE démonstrateurs territoriaux du projet(<https://www.gesteau.fr/life-eau-climat>).

Cette étude fait l'objet d'une concertation importante au travers des ateliers prévues par la méthodologie nationale mais aussi au sein du groupe de travail (GT) Climat de la CLE. Le Bureau de la CLE en est le comité de pilotage en application des règles de fonctionnement de la CLE.

Ce livrable intermédiaire constitue **un document de travail** pour le Bureau de la CLE du SAGE du 20 avril 2023, qui présente les résultats de la première et deuxième étape du volet 1 de l'étude qui en compte 2.

1. Le contexte

Cadrage et feuille de route

Le bassin Adour-Garonne va connaître des modifications majeures liées au réchauffement climatique, avec des répercussions importantes pour la gestion de l'eau et pour les milieux aquatiques. En effet, d'après Garonne 2050, tous les modèles convergent pour prédire :

- Une augmentation de la température moyenne annuelle de l'air d'au minimum + 2°C ;
- Une augmentation des situations extrêmes (sécheresses, crues et inondations) ;
- Pas d'évolution sensible du cumul annuel de précipitations ;
- Une baisse moyenne annuelle des débits naturels des cours d'eau comprise entre -20 % et -40 % et de l'ordre de -50 % en périodes d'étiage qui seront plus précoces, plus sévères et plus longs ;
- Une diminution de la durée d'enneigement sur les massifs ;
- Une augmentation de l'évapotranspiration potentielle de la végétation comprise entre +10 % et +30 % ;
- Une augmentation de la sécheresse des sols ;
- Une tendance à la baisse de la recharge des nappes, très variable selon les secteurs et le type de nappes, allant de +20 % à -50 % ;
- Une augmentation significative de la température des eaux de surface (déjà réelle aujourd'hui : +1,5°C en 40 ans) ;
- Une élévation du niveau de l'océan, de l'ordre de 21 cm (et de façon très probable comprise entre 60 cm et 1 m en 2100).

Ces impacts, qui se font déjà sentir aujourd'hui, concernent tout le cycle de l'eau. Ils seront exacerbés dans l'avenir et conduiront à accentuer la forte tension sur les ressources en eau notamment en période d'étiage. Le déséquilibre hydrologique entre les besoins pour les différents usages et les ressources disponibles, actuellement estimé entre 200 et 250 millions de m³, sera de 1 à 1,2 milliard de m³ en 2050¹, par le seul effet du changement climatique (à stocks, objectif environnemental et usages constants).

Sur ce constat établi en 2009 dans le cadre du projet Imagine 2030², confirmé en 2014 par l'étude Garonne 2050³, un Plan d'Adaptation au Changement Climatique pour tout le bassin Adour-Garonne⁴ est adopté en 2020 par l'Agence de l'eau. Adopté par arrêté inter-préfectoral en juillet de la même année le SAGE de la Vallée de la Garonne élaboré par la CLE « pose [...] le triptyque hiérarchisé suivant : 1- économiser, 2- optimiser l'existant, puis 3- créer des retenues si nécessaire ...⁵ ». Cette approche par la gestion quantitative soutient et complète l'objectif général de restauration des milieux aquatiques, de préservations des services écologiques et de lutte contre les pressions anthropiques. En parallèle, une réflexion collective a été engagée à l'échelle de l'ensemble des EPTB du bassin de la Garonne pour établir un nouveau mix hydrique. Le document de la feuille de route opérationnelle 2022-2027 de l'Association pour la gestion quantitative NRGa constitue un document cadre quand on s'intéresse à la résorption du déficit.

¹ Comité de Bassin Adour-Garonne, 2016, *Plan d'adaptation au changement climatique du bassin Adour-Garonne*

² Sauquet E., 2009, *Imagine 2030 – Climat et Aménagement de la Garonne : quelles incertitudes sur la ressource en eau en 2030 ?* Agence de l'eau Adour Garonne.

³ Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012, *Garonne 2050 : Etude prospective sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du bassin de la Garonne.*

⁴ Comité de Bassin Adour-Garonne, 2016, *Plan d'adaptation au changement climatique du bassin Adour-Garonne*

⁵ SAGE Vallée de la Garonne, 2020, *Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD)*, p136. Examiné par le bureau de la CLE du 18 décembre 2019 et adopté par la commission locale de l'eau le 13 février 2020.

A noter également que le SDAGE Adour-Garonne 2022-2027 intègre des dispositions en application directe du plan d'adaptation au changement climatique et ceci sur tous les aspects d'une gestion intégrée de l'eau.

Une étude socio-économique dans la filiation de ces travaux

La présente étude des impacts socio-économiques d'adaptation au CC s'inscrit dans la filiation de l'étude Garonne 2050, au cours de laquelle, les acteurs du territoire étaient parvenus à définir collectivement une *image consensuelle du futur*⁶, dans le cadre d'une quinzaine de réunions d'échanges.

Les termes du débat se sont resserrés autour des 3 scénarios suivants à l'horizon 2050.

- ✓ Un scénario du **laisser-faire, compenser à minima** l'évolution des débits naturels par rapport au DOE (débit objectif d'étiage) ; objectif 2050 : atteindre 50% du DOE 2013 ;
- ✓ Un scénario **volontariste, compenser totalement** l'évolution des débits naturels par rapport au DOE ; objectif 2050 : atteindre 100% du DOE 2013 ;
- ✓ Un scénario **intermédiaire, compenser partiellement** l'évolution des débits naturels par rapport au DOE ; objectif 2050 : atteindre 75% du DOE 2013.

Dix ans plus tard, dans le cadre du projet LIFE-Eau&Climat⁷, le groupement IREDD-CACG-Aquascop a été mandaté pour réaliser l'étude de l'évaluation des impacts socio-économiques du scénario d'adaptation au changement climatique de la CLE de la vallée de la Garonne. Elle répond ainsi à la disposition II.10 du SAGE « Développer les études socio-économiques précisant l'impact de la démarche d'adaptation au changement climatique ».

Cette étude, prévu par le SAGE, a été retenu dans le cadre du projet national LIFE Eau&Climat compte tenu de son caractère innovant et le souhait de traiter tous les usages de l'eau.

Les objectifs de l'étude et sa valeur ajoutée

En repartant du modèle hydro-climatique qui a servi à élaborer les scénarios de Garonne 2050, cette étude permettra de mettre à jour les perspectives hydro-climatiques de la vallée de la Garonne à l'horizon 2050. Ce travail s'appuiera sur de nouvelles données mises à disposition par Météo-France grâce au projet LIFE.

La démonstration des outils d'aide à la décision développés par Acterra, mobilisera un volet participatif qui impliquera les acteurs locaux au premier rang desquels les membres de la CLE et son bureau, comité de pilotage de l'étude. Une évaluation des impacts socio-économiques des options d'adaptation complètera ce travail.

In fine, la démarche devra mettre à disposition des acteurs du SAGE les indicateurs techniques, économiques, sociaux et environnementaux permettant d'objectiver le débat et arbitrer entre les différentes stratégies d'adaptation qui structureront l'avenir de la Vallée de la Garonne.

⁶ Agence de l'eau Adour-Garonne, 2012, *Garonne 2050 : Etude prospective sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du bassin de la Garonne*, p. 43.

⁷ Le projet LIFE Eau&Climat - Supporting long-term local decision-making for climate-adapted Water Management (LIFE19 GIC/FR/001259) a été lancé le 1er septembre 2020 pour une durée de 4 ans. L'objectif est d'aider les acteurs de la gestion locale des ressources en eau, en particulier dans le cadre des Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), à évaluer les effets du changement climatique, à les prendre en compte dans leur planification et à mettre en œuvre des mesures d'adaptation.

L'approche méthodologique

L'approche méthodologique consiste à comparer les impacts socioéconomiques de plusieurs scénarios de prospective à l'horizon 2050. Un scénario du laisser-faire⁸, ou encore **scénario tendanciel** (on retiendra cette terminologie pour la suite de l'étude) ; avec des **scénarios alternatifs** (ou scénarios contrastés), correspondant chacun à une stratégie d'adaptation au changement climatique. L'évaluation socioéconomique portera sur le scénario alternatif retenu parmi les différentes trajectoires d'adaptation élaborées en ateliers. Les écarts mesurés entre les impacts du scénario d'adaptation et ceux du scénario tendanciel permettront alors de calculer les coûts et bénéfices associés à la stratégie d'adaptation au changement climatique.

Pour ce faire, l'étude se déroule en deux volets, le premier volet porte sur la caractérisation des impacts du changement climatique et le second sur l'évaluation socioéconomique de la stratégie d'adaptation.

VOLET 1 : CARACTERISATION DES IMPACTS DU CC

Ce volet se déroulera en deux étapes dont la finalité est la caractérisation des trajectoires des **scénarios contrefactuels et d'adaptation**.

La première étape portera sur le diagnostic de vulnérabilités au changement climatique. La vulnérabilité se définit par le croisement de deux types de facteurs, les facteurs climatiques et les facteurs non climatiques. A titre d'illustration, on peut caractériser la vulnérabilité de l'usage agricole par une forte augmentation de la température (facteur climatique) et la présence du nombre d'exploitations agricoles sur un territoire (facteur non climatique, besoins en eau agricole plus important). Il s'articulera par des ateliers de concertations qui permettront d'identifier les pressions prioritaires.

Ensuite, la **deuxième étape** portera sur la construction des trajectoires d'adaptation. En réponse aux vulnérabilités caractérisées, il s'agira d'identifier les actions constitutives du scénario d'adaptation dont le degré d'ambition aura été validé par les membres du COFIL. La méthodologie d'élaboration des trajectoires correspond à une application de la méthode du Guide méthodologique élaboré dans le cadre du programme Life Eau&Climat. La caractérisation de ces trajectoires sera coconstruite avec les acteurs des commissions géographiques du SAGE dans le cadre d'ateliers participatifs.

⁸ Le scénario du laisser-faire n'est pas un scénario du chaos qui se caractériserait par l'absence de mesures destinées à juguler les effets du changement climatique. Ce scénario est un scénario réaliste construit avec des mesures déjà programmées dans les différents documents de politique publique. Il s'agira davantage d'un scénario d'adaptation à minima n'engageant pas des investissements lourds tels que les barrages et retenus.

SCENARIOS CLIMATIQUES, SCENARIOS HYDROCLIMATIQUES ET SCENARIOS SOCIO-ECONOMIQUE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les scénarios climatiques

Afin d'analyser l'évolution future du climat, le Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat (GIEC) s'appuie sur des *scénarios socio-économiques d'émissions ou d'atténuation*⁹ des émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces scénarios constituent des trajectoires de concentration des émissions de GES, et sont formalisés sous la forme de profils représentatifs d'évolution de concentration de GES appelés RCP pour « *Representative Concentration Pathway* ». Sur cette base, les climatologues décrivent les conditions climatiques et les impacts du changement climatique associés à chacune de ces trajectoires, ce sont **les scénarios climatiques**.

A l'échelle nationale, le jeu de données DRIAS 2020, disponible publiquement sur le portail DRIAS¹⁰, proposent 30 simulations régionalisées pour constituer un ensemble plus facilement utilisable pour des études d'impact. Les éléments clés du changement climatique sont résumés par les variables climatiques principales (température, précipitation, vent). Ces indicateurs sont représentatifs des évolutions moyennes mais aussi des extrêmes, ils sont déclinés pour différents horizons temporels (proche, milieu de siècle, fin de siècle) et pour trois scénarios climatiques (RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5)

Les scénarios hydrologiques

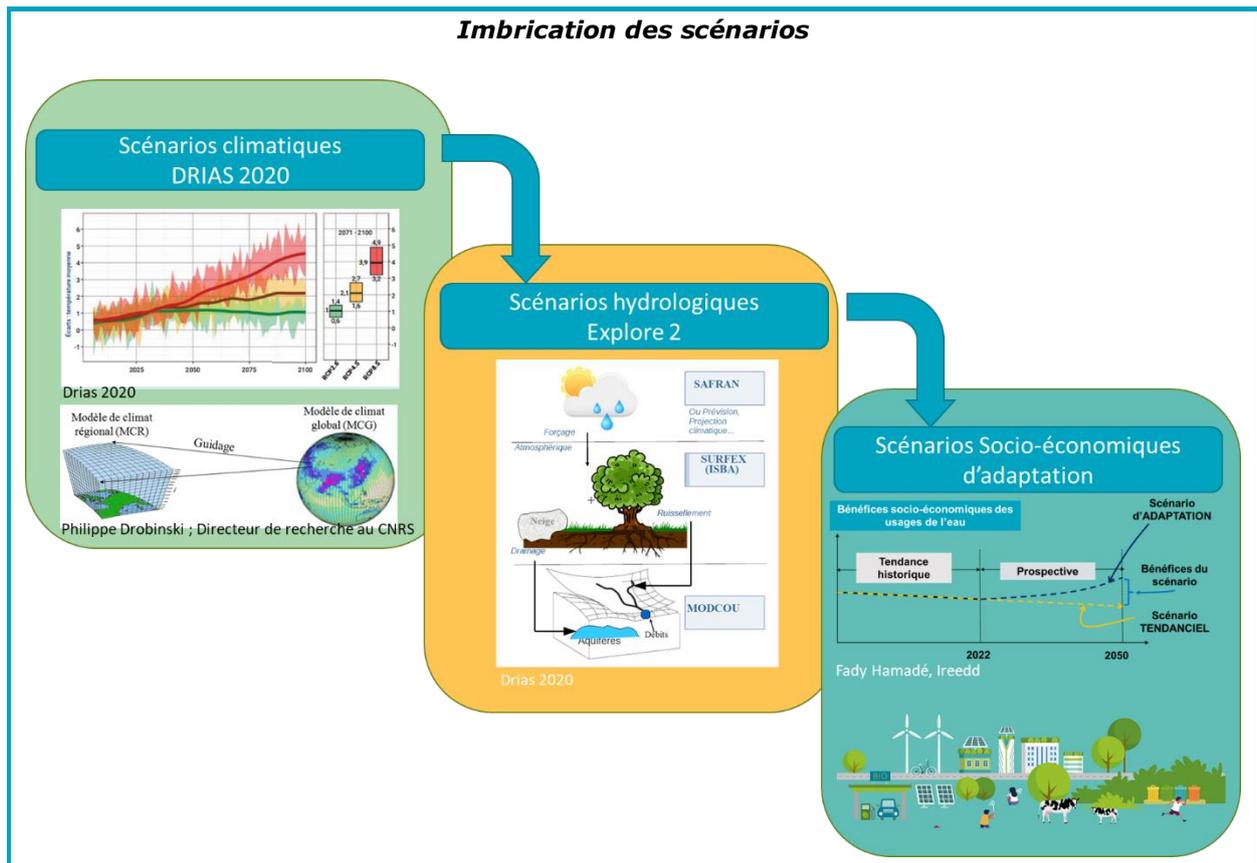
Ces scénarios climatiques régionalisés, par le jeu de données DRIAS-2020, sont ensuite utilisés comme données d'entrées pour des modèles hydrologiques qui vont permettre d'obtenir des projections hydrologiques intégrant l'impact du changement climatique sur la ressource en eau. Ces sont les données d'Explore 2. C'est donc le couplage de ces deux modèles, climatique et hydrologique, qui fournit les **scénarios hydro-climatiques**.

Les scénarios socio-économiques

Les **scénarios socio-économiques d'adaptation** arrivent en bout de chaîne de ce cycle de construction de scénarios, pour l'évaluation des impacts socio-économiques du changement climatique sur les usages de l'eau et des milieux aquatiques sur le périmètre du SAGE. A la différence des scénarios socio-économiques d'émission de GES élaborés à l'échelle mondiale et support des scénarios climatiques, les scénarios économiques d'adaptation ont pour objet de projeter le territoire dans l'avenir pour évaluer les impacts des facteurs hydro-climatiques sur les usages de l'eau. Ce premier scénario socio-économique, ou *scénario socio-économique contrefactuel*, ou encore *scénario socio-économique sans projet*, correspond à une prospective de l'économie du territoire sans actions d'adaptation. C'est en miroir de ce scénario contrefactuel, qui permet de mettre en exergue les vulnérabilités des usages de l'eau, que le scénario d'adaptation, ou scénario avec projet est construit.

⁹ On parle également de scénarios d'atténuation ou scénarios de transition car il s'agit d'évolutions possibles des systèmes socio-économiques qui pourraient réduire les émissions de GES (I4CE). Ces scénarios présentent des visions contrastées des futurs à bas-carbone.

¹⁰ Elaboré dans le cadre de la convention services climatiques soutenue par le ministère de la Transition écologique, avec l'appui scientifique du Centre National de Recherche Météorologique, du Centre Européen de Recherche et de Formation Avancé en Calcul Scientifique et de l'Institut Pierre Simon Laplace Sciences du Climat.



VOLET 2 : EVALUATION SOCIO-ECONOMIQUE DE LA DEMARCHE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le volet précédent aura permis d'identifier les trajectoires d'adaptation à partir des bouquets d'actions identifiés. Les actions auront été listées en fonction des niveaux d'impacts auxquelles elles doivent faire face. Ces impacts seront classés en deux grandes catégories, les impacts marchands et les impacts non-marchands.

Les impacts marchands sont associés aux usages de l'eau. Les usages considérés sont :

- Les usages domestiques,
- Les usages agricoles,
- Les usages industriels, qu'ils soient extractifs (prélèvements directs dans les milieux) ou non-extractifs (hydroélectricité et refroidissement des centrales),
- Les usages récréatifs.

Les impacts non-marchands sont constitués :

- Des usages récréatifs (promenade, pêche de loisirs, etc.),
- Des services écologiques rendus par les milieux aquatiques et les zones humides, dont les enjeux en termes de biodiversité sont importants.

4 étapes jalonnent ce second volet dont l'objectif est d'agrèger les coûts et bénéfices associés au scénario d'adaptation, par rapport au scénario contrefactuel.

La première étape est dédiée à la **quantification et la monétarisation des impacts économiques, sociaux et environnementaux** par territoire pour chaque scénario.

La seconde étape consiste à élaborer la **prospective associée à chaque scénario**. A titre d'illustration, il s'agira d'évaluer les tendances de l'évolution du secteur agricole ou du secteur de la production d'électricité de 2022 à 2050.

La troisième étape est dédiée au **calcul économique**. La méthode retenue est celle de l'**analyse coûts-bénéfices**. Les indicateurs calculés seront la Valeur Actuelle Nette (VAN) et le Ratio Bénéfices/Coûts. Ces deux indicateurs permettront d'évaluer l'accroissement des bénéfices et l'amélioration de bien-être que le projet d'adaptation apporterait à l'ensemble de la collectivité par rapport au scénario contrefactuel. Ils permettent de mesurer les bénéfices du projet du point de vue de l'intérêt général.

La quatrième et dernière étape permettra de compléter les deux indicateurs calculés précédemment par une **analyse multicritère**, en intégrant des impacts ou des considérations qui n'ont pas pu être quantifiés ou monétarisés.

A l'issue de l'étude, les acteurs locaux des territoires disposeront d'arguments objectifs leur permettant de prendre une décision éclairée de stratégie d'adaptation au changement climatique.

LA FEUILLE DE ROUTE

L'étude se déroule sur une période allant de septembre 2022 à Mars 2024. La fin du premier volet, prévu au mois de juin 2023, doit permettre de parachever le scénario contrefactuel et le scénario d'adaptation. Le second volet, dont le démarrage est prévu pour le mois de juillet 2023, devra être livré au plus tard en Mars 2024.

Cette démarche a été présentée aux membres de la Commission locale de l'eau lors d'un webinaire de lancement qui a rassemblé plus de 70 participants le 19 octobre 2022.

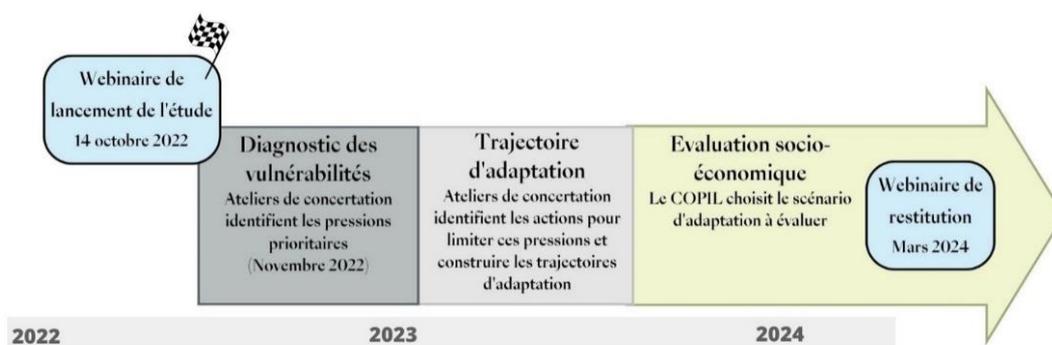


Figure 1 : Planning de l'étude socioéconomique en cours.

CE RAPPORT : UN DIAGNOSTIC DE LA VULNERABILITE DES USAGES DE L'EAU ET UNE MISE A JOUR DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ce rapport présente les résultats de la première et deuxième étape du volet 1 de l'étude. Dans une deuxième section (**Section 2 : Le climat à l'horizon 2050**), nous présentons une synthèse des résultats des récentes données du changement climatique -DRIAS 2020- sur le territoire de la vallée de la Garonne. Par la suite, après un bref rappel de l'approche méthodologique du Guide de l'évaluation des vulnérabilités, nous présentons dans une section 3 (**Section 3 : La vulnérabilité des usages**) la mise en œuvre de la méthode.

Au-delà de l'exercice de diagnostic de la vulnérabilité des usages, d'autres objectifs étaient recherchés, parmi lesquels :

- Expérimenter, dans le cadre du projet LIFE Eau&Climat, un nouvel outil développé par le bureau d'études Acterra¹¹. Cet outil est une méthodologie permettant d'implémenter un processus de construction de chaînes d'impact et de mesurer la vulnérabilité sur un territoire par l'application d'indicateurs et de scores.
- Apporter un nouveau regard sur les vulnérabilités des différents usages de l'eau sur le périmètre. Il ne s'agit pas d'établir un diagnostic de la vulnérabilité de la ressource en eau, mais un diagnostic de la vulnérabilité des usages. Ce diagnostic se veut complémentaire au diagnostic de la vulnérabilité réalisé par l'Agence de l'eau Adour-Garonne¹².
- Envoyer un signal d'urgence aux différents usagers de l'eau en amont des prochaines phases de l'étude et introduire les réflexions qui porteront sur les actions et trajectoires d'adaptation qu'il s'agira de prioriser.
- Identifier, sur la base des chaînes d'impact construites et des indicateurs mobilisés, les commissions géographiques qui seront relativement (aux autres commissions géographiques) plus vulnérables aux effets du changement climatique. L'enjeu étant celui de donner aux acteurs une grille de lecture des impacts amont-aval : un impératif pour comprendre la nécessité de solutions sous le prisme de la solidarité.

A ce stade, il est important également de nuancer les résultats issus de ce travail en insistant sur la limite de leur interprétation.

Ces résultats ne nous permettent donc pas :

- D'établir un diagnostic de la vulnérabilité autosuffisant pour le choix de mesures d'adaptation pertinentes à l'ensemble du territoire et l'ensemble des usages. La vulnérabilité est une notion complexe, transversale et multifactorielle, comme le démontre les cartes mentales issues des ateliers de concertation (cf. Annexe). Ainsi, la construction de chaînes d'impact et le calcul de scores de vulnérabilité reste un exercice à vocation pédagogique, en vue de simplifier les notions associées. Dans le cadre de cet exercice, des priorisations ont dû être menées dans le choix des impacts étudiés et des indicateurs valorisés. Les scores de vulnérabilité doivent donc être interprétés avec nuance, comme le résultat de la mesure d'une des nombreuses dimensions de la vulnérabilité du territoire.
- De comparer les scores de vulnérabilité entre les différents usages pour procéder à des arbitrages autour du partage de la ressource. Les chaînes d'impact s'intéressent à des thématiques différentes et mobilisent des indicateurs qui ne sont pas comparables.

¹¹ « Guide méthodologique – Diagnostic des vulnérabilités au changement climatique pour la gestion locale de l'eau » dans sa version 2.0 du 30 Juin 2022.

¹² « Impacts du changement climatique sur l'eau, quelles vulnérabilités des territoires en Adour-Garonne ? ».

2. Climat et hydrologie à l'horizon 2050

Les impacts du changement climatique sur le territoire de la Garonne à l'horizon 2050 ont été mis à jour à l'aune des dernières études et données sur le sujet, notamment les données DRIAS 2020 et les données Explore2 disponibles à ce jour. Cette section reprend les principales conclusions d'un travail approfondi qui figure dans un rapport technique¹³ qui en annexe de ce rapport.

Note au lecteur : Le terme de pessimiste est attaché au scénario avec la plus grande concentration en Gaz à effet de serre.

Deux chaînes de modélisations ont été retenues pour représenter un scénario climatique médian (Aladin) et un scénario climatique pessimiste (CCLM4-8-17). Ces deux scénarios ont été retenus principalement sur des critères liés à l'évolution des débits (annuels, QMNA5 et VCN10) en se focalisant sur l'étiage.

2.1 LE CLIMAT : PLUS DE JOURS PLUS CHAUDS, MOINS DE JOURS PLUVIEUX

Les analyses ont permis d'évaluer les écarts, en nombre de jours entre la période de référence de DRIAS (1976-2005) et les 3 horizons disponibles dans DRIAS : H1 (2021-2050), H2 (2041-2070) ou H3 (2071-2100).

Note au lecteur : L'ensemble des indicateurs présentés pour les facteurs climatiques sont issus des données de changement climatique DRIAS 2020 pour une tuile représentative de sa commission géographique. La représentation des tuiles sélectionnées est disponible ci-après.

La possibilité d'opérer à la moyenne de l'ensemble des tuiles sur la commission géographique a été étudiée mais ne semblait pas suffisamment robuste et cohérente, en raison des pertes d'informations que la moyennisation engendre. Néanmoins, les valeurs prises par les indicateurs climatiques sont donc à interpréter avec précaution : elles reflètent les projections climatiques pour la tuile concernée et ne sont que des proxys des projections par commission géographique. L'accompagnement de Météo-France a permis d'affiner la méthode et questionner le choix des tuiles les plus représentatives pour étudier les indicateurs notamment sur la Garonne de Piémont.

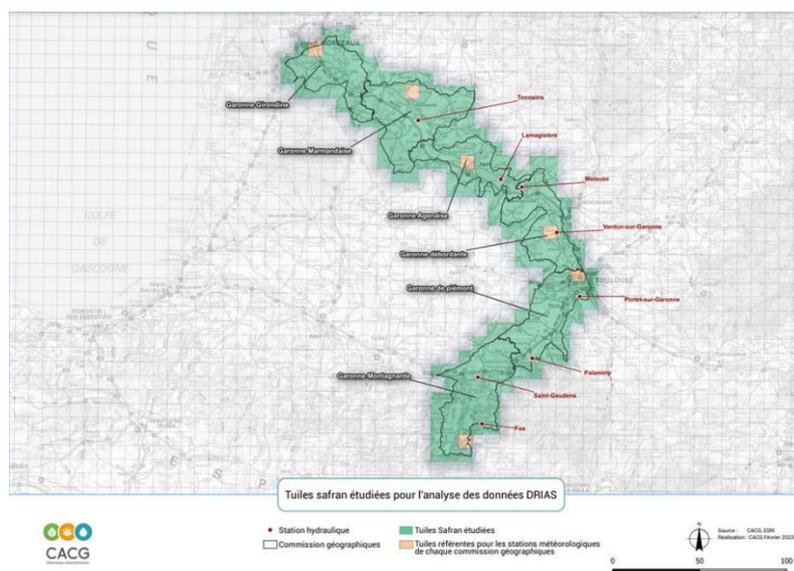


Figure 2 : Tuiles Safran étudiées pour l'analyse des données DRIAS. Source : CACG.

¹³ VULNERABILITE DU BASSIN DE LA GARONNE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CLIMAT ET RESSOURCE EN EAU : ANALYSE DES DONNEES DE CHANGEMENT CLIMATIQUE DRIAS 2020 SUR LE TERRITOIRE DU SAGE GARONNE, Février 2023

2.1.1 TEMPERATURE ET CHALEUR

La plupart des indicateurs montrent un écart en nombre de jours plus important dans le sens des hausses de température et de l'assèchement pour la zone montagneuse que pour le reste du territoire. Pour la zone montagneuse, on peut noter qu'il y a -34 jours et -64 jours de jours de gel pour la période H3 pour les deux scénarios climatiques respectivement médian et pessimiste, ainsi qu'en parallèle +64 et +157 jours anormalement chauds.

Les températures annuelles, minimales et maximales sont toutes impactées dans le même sens soulignant un réchauffement global.

- A l'horizon H3, le scénario climatique médian indique un réchauffement de l'ordre de +2°C, et le scénario climatique pessimiste de l'ordre de +5°C.
- Le scénario climatique médian présente des écarts de températures assez proches entre les 3 horizons par rapport à la référence (+/-1°C) alors que le scénario climatique pessimiste présente des différences beaucoup plus importantes entre H1 et H3 de l'ordre de +3°C.
- La zone montagneuse présente là encore un réchauffement un peu plus important par rapport à la référence que les autres zones pour les deux scénarios climatiques.
- Les températures maximales ont été cartographiées sur le territoire. On peut observer que le scénario climatique médian est assez homogène avec +2°C sur les températures maximales pour la totalité du territoire. Alors que pour le scénario climatique pessimiste, on peut observer un gradient aval-amont avec +5°C (en moyenne) pour la Garonne montagnarde, la haute montagne apparaissant moins impactée que le reste de la CG, sur les températures maximales et +3°C pour la Garonne Girondine.
- On constate un fléchissement de la hausse de température avec le rapprochement de la côte Atlantique : Marmande puis Gironde : le climat de Bordeaux est soumis à l'influence Atlantique, le climat de Toulouse est qualifié de « continental Danubien ».
- La même analyse a été réalisée sur les températures minimales et le scénario climatique médian reste homogène spatialement avec +1.5°C alors que le scénario climatique pessimiste montre des augmentations plus faibles en amont pour la Garonne montagnarde (+3°C) qu'en aval (+4-5°C).

Au final, l'ensemble de la gamme des températures est relevé pour le territoire, ce qui traduit une augmentation générale, inéluctable.

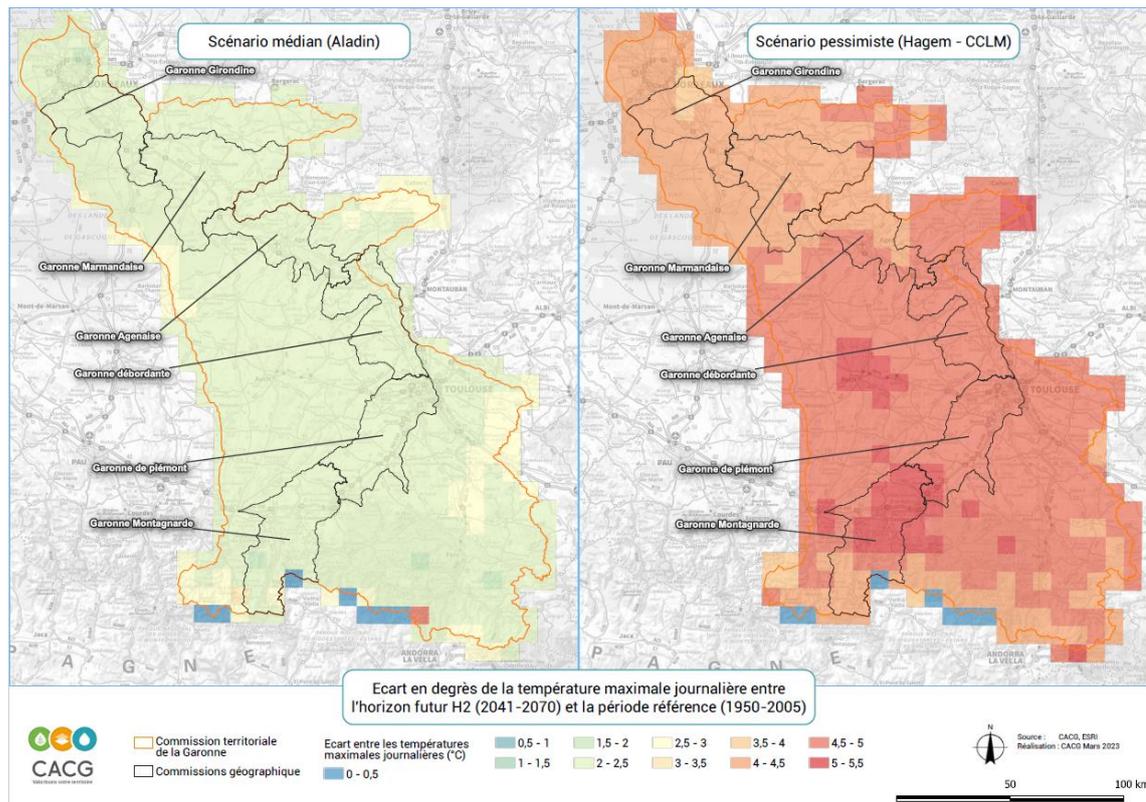


Figure 3 : Ecart en °C sur les températures maximales

2.1.2 LA PLUIE

Pour la pluviométrie, le scénario climatique pessimiste est sans appel avec -15, -31 et -52 jours de pluie respectivement pour H1, H2 et H3 sur le territoire montagneux. Le scénario climatique médian présente lui aussi des indicateurs de pluie en baisse, en particulier pour le territoire de montagne mais la progression dans le temps entre les trois horizons est moins marquée.

La pluviométrie annuelle augmente légèrement pour le scénario climatique médian (entre 0 et +5%) ; mais diminue entre -10% et -30% selon les horizons pour le scénario climatique pessimiste. Toutefois, ces résultats masquent des contrastes saisonniers importants et l'occurrence d'événements plus extrêmes.

Le cumul annuel pour le scénario climatique médian présente des écarts positifs et le cumul annuel pour le scénario climatique pessimiste présente des écarts négatifs. La variabilité interannuelle est élevée. La Garonne Montagnarde reste la plus impactée avec la courbe de tendance la plus pentue.

Les variabilités saisonnières sur les cumuls pluviométriques sont importantes. Le scénario médian présente un été plus sec entre -3 et -13% et un hiver, printemps et automne plus pluvieux, sauf pour la Garonne montagnarde qui présente -7% de déficit pluviométrique.

Le scénario pessimiste montre, quant à lui, un été et un automne beaucoup plus sec que la période de référence (entre -15 et -40% selon les commissions géographiques) avec l'amont plus impacté que l'aval. A contrario, l'hiver et le printemps seront un peu plus pluvieux (entre +5 à +13%), sauf pour la Garonne montagnarde dont le déficit pluviométrique annuel est initié au printemps (-7%).

Ces variations ne sont pas homogènes sur toutes les périodes de l'année et n'excluent pas l'occurrence de phénomènes extrêmes dans les deux sens (pluies intenses et longues périodes sans pluie).

Les évènements extrêmes

Les précipitations extrêmes ont été évaluées sur la base du 99e centile¹⁴ des précipitations totales annuelles. La Figure 3 ci-dessous représente les écarts en cumul des précipitations extrêmes entre la période de référence (1950-2005) et la période H2 (2041-2070) sur le territoire. Les résultats sont très hétérogènes spatialement sur le territoire ainsi qu'entre les deux scénarios avec des zones en bleu dont les précipitations extrêmes vont augmenter et des zones en rouge dont les précipitations extrêmes vont diminuer.

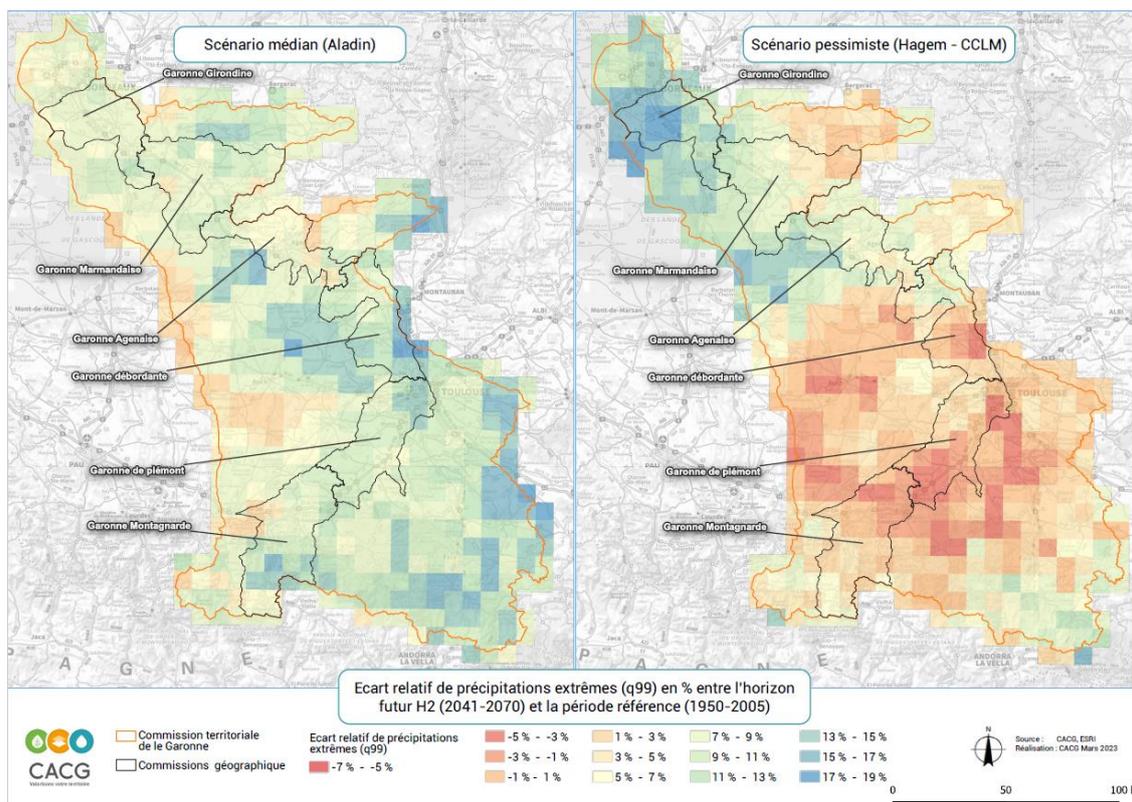


Figure 4 : Cartographie des écarts de précipitations extrêmes

Les variabilités saisonnières : des étés plus secs

Les variabilités saisonnières sur les cumuls de pluie sont importantes comme illustré dans la figure suivante. Le scénario climatique médian présente un été plus sec entre -3 et -13% et un hiver, printemps et automne plus pluvieux, sauf pour la Garonne montagnarde qui présente -7% de déficit pluviométrique.

Le scénario climatique pessimiste montre quant à lui un été et un automne beaucoup plus sec (entre -15% et -40% selon les commissions géographiques), l'amont étant plus impacté que l'aval. A contrario, l'hiver et le printemps seront un peu plus pluvieux (entre +5 à +13%), sauf pour la Garonne montagnarde dont le déficit pluviométrique annuel est initié au printemps (-7%).

¹⁴ Cet indicateur représente le pourcentage de cumul de précipitation le plus important simulés dans les chroniques de données telles que 99% des données sont inférieures.

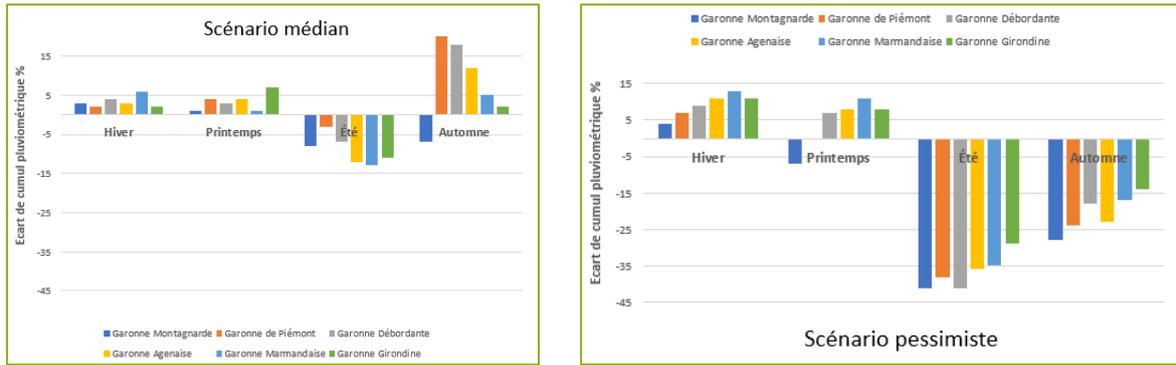


Figure 5 : Ecart de cumul pluviométrique entre la période de référence (1950-2005) et H2 (2041-2070) pour les 6 commissions géographiques

2.1.3 L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Une augmentation de l'évapotranspiration sur toutes les commissions géographiques et pour tous les scénarios.

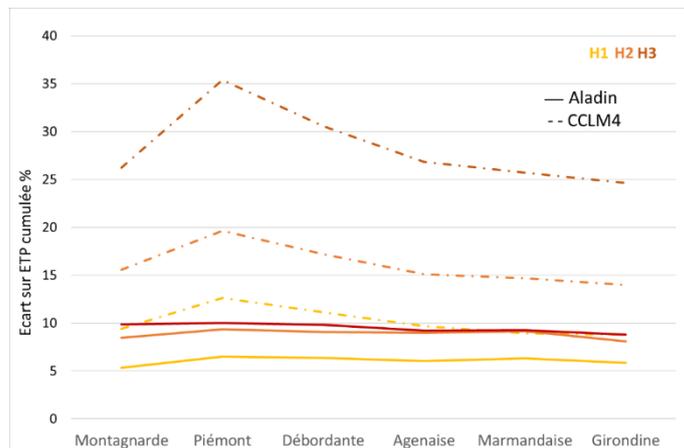


Figure 6 : Ecart relatif d'ETP cumulée par rapport à l'horizon de référence pour les deux scénarios, médian (trait continu) et pessimiste (trait pointillé)

- Le scénario climatique médian présente peu de disparités entre les différentes commissions géographiques alors que le scénario climatique pessimiste présente des disparités plus importantes avec une hausse, un peu surprenante¹⁵, pour la Garonne de Piémont.
- A l'horizon H3, on observe une augmentation de 10 et de 25% de l'ETP cumulée sur la période respectivement pour les scénarios climatiques médian et pessimiste.

¹⁵ Un commentaire a été fait en COTECH soulignant que la tuile choisie pour représenter la Garonne de piémont était assez en aval par rapport à la commission et très proche de Toulouse, pouvant peut-être expliquer cette hausse d'ETP pour le scénario pessimiste. Les résultats d'ETP sur une tuile plus en amont, située proche de Carbonne n'étant pas significativement différents, la tuile référente initialement choisie a été conservée dans la suite de cette étude.

Variabilité saisonnière : été et automne plus impactés

Les deux scénarios présentent une augmentation de l'évapotranspiration potentielle quelles que soient la saison et la commission géographique (cf. Figure 7). L'été et l'automne sont les plus impactés avec entre +16 et +28% pour le scénario climatique pessimiste et +7 et +12% pour le scénario climatique médian. La Garonne montagnarde est la plus impactée au printemps pour les deux scénarios et la Garonne de Piémont figure parmi les territoires les plus impactés pour l'été et l'automne.

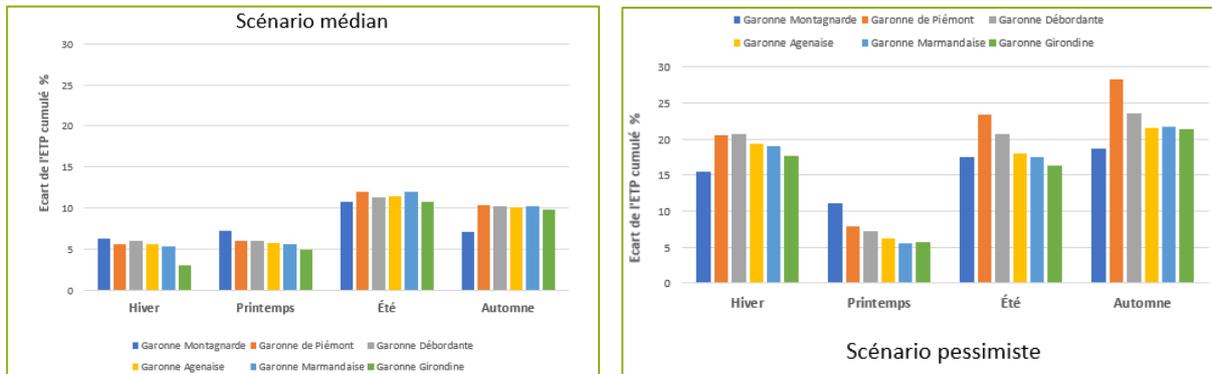


Figure 7 : Ecart de cumul d'ETP entre la période de référence (1950-2005)

2.1.4 LA SECHERESSE METEOROLOGIQUE

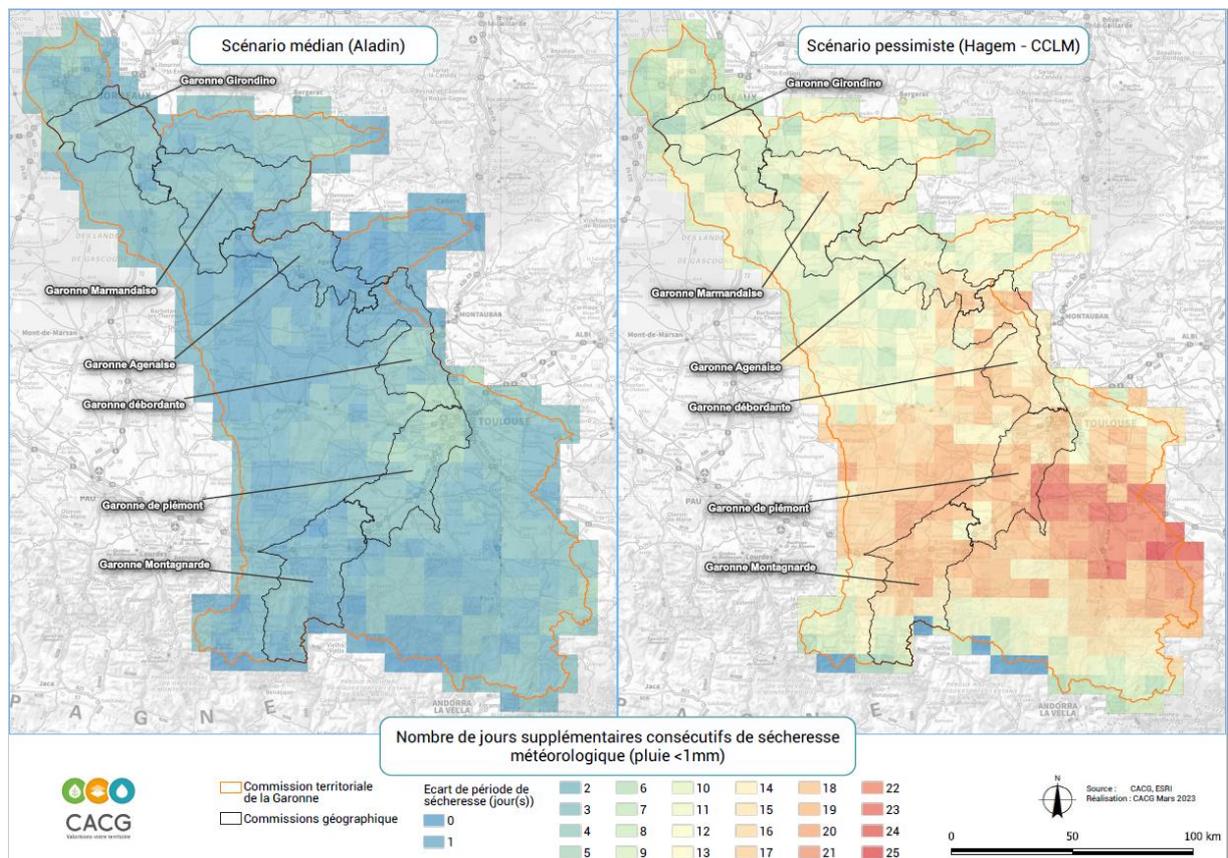


Figure 8 : Nombre de jours supplémentaires consécutifs de sécheresse météorologique entre la période de référence (1950-2005) et (2041-2070)

On remarque que les périodes de sécheresses vont augmenter de 1 à 5 jours entre la période de référence (1950-2005) et l'horizon futur (2041-2070). Le modèle médian est assez homogène pour tout le territoire avec des écarts compris entre 0.5 et 2.5, alors que le modèle climatique pessimiste montre que la Garonne montagnarde, de piémont et débordante sont plus impactées par des sécheresses qui vont durer plus longtemps.

2.2 L'HYDROLOGIE A L'HORIZON 2050

Les indicateurs du portail DRIAS-EAU, résultants de l'utilisation du modèle hydrologique SIM2 sur le jeu de données climatologique du DRIAS, ont été analysés.

Les indicateurs étudiés sont les suivants :

- l'équivalent du manteau neigeux,
- l'évapotranspiration réelle,
- le drainage,
- la pluie efficace,
- les résultats hydrométriques au droit des stations du fleuve Garonne sur les 8 stations suivantes : Tonneins, Lamagistère, Malause, Verdun sur Garonne, Portet-sur-Garonne, Palaminy, Saint Gaudens (Valentine) et Fos.

2.2.1 LE MANTEAU NEIGEUX QUI DIMINUE

Avec le réchauffement climatique, l'épaisseur de neige au sol, l'étendue des surfaces enneigées et la durée d'enneigement diminuent.

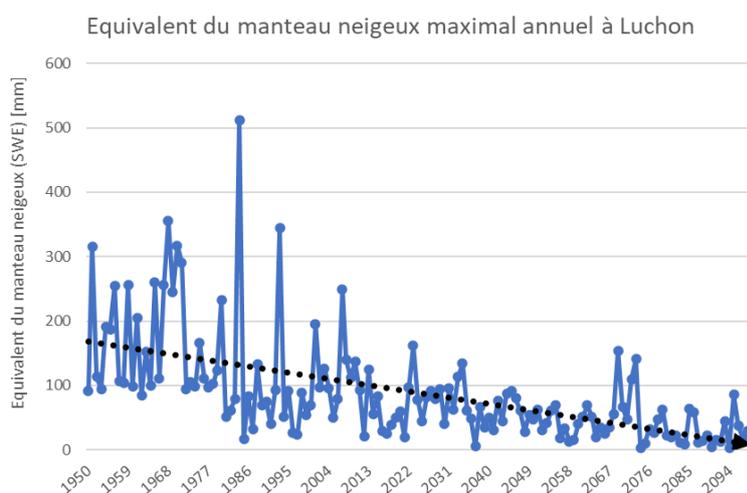


Figure 9 : Chronique temporelle de suivi du manteau neigeux de 1950-2100, Altitude 1329m

Toutes les projections climatiques du jeu de données DRIAS-2020 prévoient une réduction de l'enneigement (épaisseur, durée), plus forte sur les altitudes et régions qui sont déjà les moins bien enneigées : en moyenne montagne avec des précipitations sous forme de pluie plus fréquentes en hiver et une fonte plus rapide du manteau neigeux au printemps.

La fourchette d'incertitude est large même sur la période 2020-2050 en raison notamment de la variabilité naturelle et chaotique du climat¹⁶ : l'enneigement moyen en moyenne montagne devrait diminuer de 10 à 60 %¹⁷.

¹⁶ Cette variabilité désigne la façon dont le climat évolue sur plusieurs années entre des phases chaudes et des phases froides; cette variabilité est dite «naturelle» car elle se distingue de la tendance au réchauffement climatique global sur le long terme induit, par exemple, par les activités humaines

¹⁷ <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/243>

2.2.2 L'HUMIDITE DES SOLS : DES SOLS PLUS SECS

L'indicateur moyen d'humidité des sols (SWI) permet d'évaluer les sécheresses agricoles. Cet indice permet de caractériser la quantité d'eau présente dans le sol superficiel (couche racinaire), et disponible pour la végétation. Lorsque $SWI < 0,4$, le sol est considéré comme sec. Les deux scénarios présentent un gradient d'humidité des sols décroissant de la Montagne vers Toulouse et progressif de Toulouse vers la mer, ainsi qu'une tendance à s'assécher. Le scénario climatique pessimiste présente une grande zone, Garonne de Piémont et Garonne débordante, où SWI est compris entre 0,4 et 0,45.

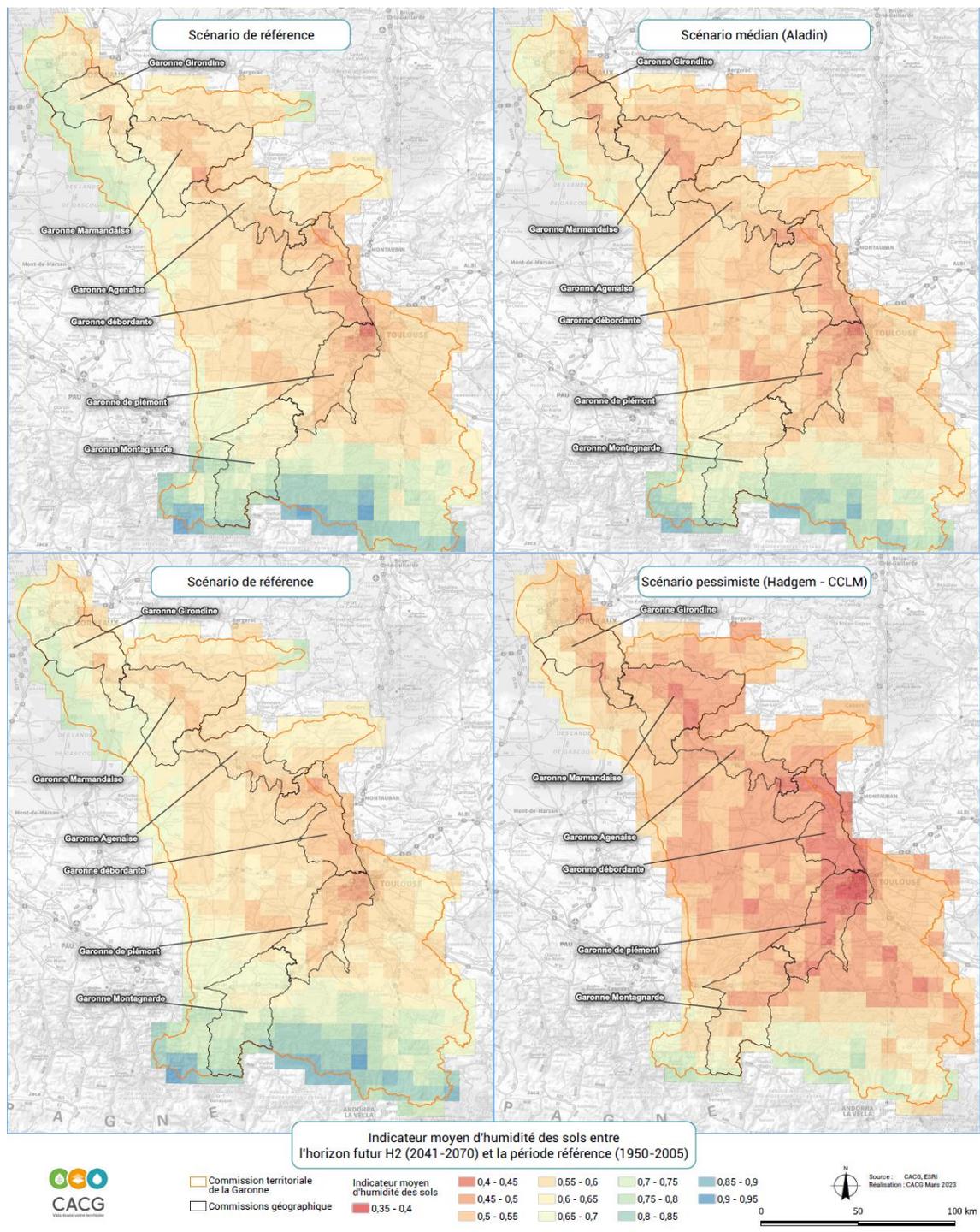


Figure 10 : Cartographie de SWI pour les deux scénarios sur la période de référence et l'horizon H2

2.2.3 PLUIE EFFICACE, DRAINAGE CUMULE ET EVAPOTRANSPIRATION REELLE

La pluie efficace est la différence entre la pluie et l'évapotranspiration réelle.

L'évapotranspiration réelle est calculée par le modèle SIM2 en fonction de la végétation et de l'état hydrique de chaque maille.

On observe une augmentation de l'évapotranspiration réelle pour le scénario climatique médian entre 1 à 12% et une réduction de l'évapotranspiration réelle pour le scénario climatique pessimiste soulignant une situation paradoxale : il n'y a plus d'eau à évaporer dans les sols.

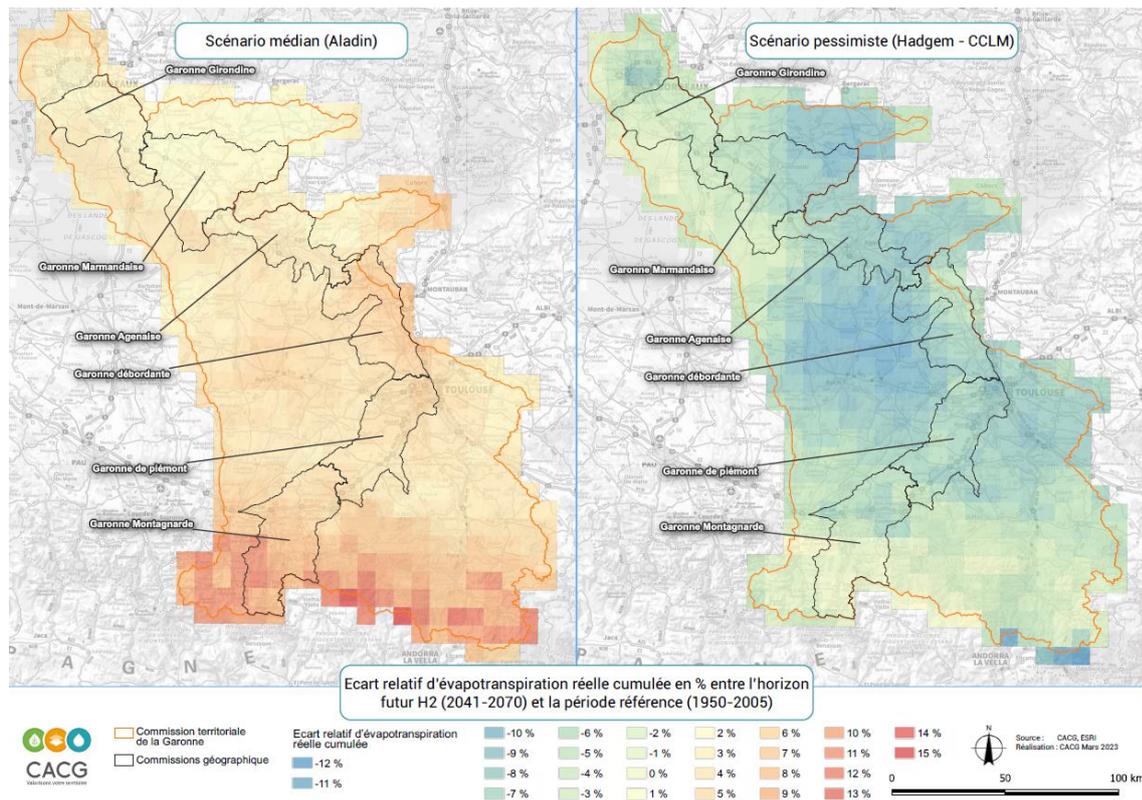


Figure 11 : Ecart d'ETR entre la période de référence et H2 pour les scénarios climatiques médian et pessimiste

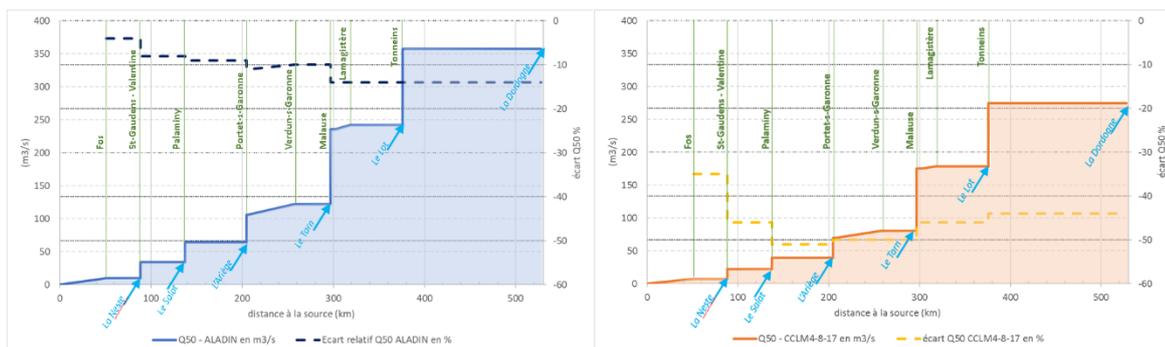
Pour le scénario climatique pessimiste, la **pluie efficace** est en forte diminution sur la zone amont de la Garonne (Garonne montagnarde, piémont et partie sud de la Garonne débordante). Pour le scénario climatique médian, on observe ici une hausse de la pluie efficace (+5%) autour de Toulouse et des baisses importantes en Garonne montagnarde et au sud de Marmande (-15%).

Le drainage est la quantité d'eau qui alimente les nappes aquifères. Les résultats sont très contrastés sur le territoire mais aussi entre les deux scénarios. Ils sont intimement liés à la distribution de la pluie efficace. Le scénario climatique médian présente des drainages en augmentation sur l'année pour la région toulousaine ainsi que vers Marmande et en baisse au sud de Marmande (jusqu'à -20%). Le scénario climatique pessimiste ne présente que des baisses de drainage cumulé avec une partie amont du territoire (Garonne montagnarde, piémont et partie sud de la Garonne débordante) très impactée (jusqu'à -40%).

2.2.4 LES DEBITS : A L'ETIAGE, ENTRE -40% ET -60%

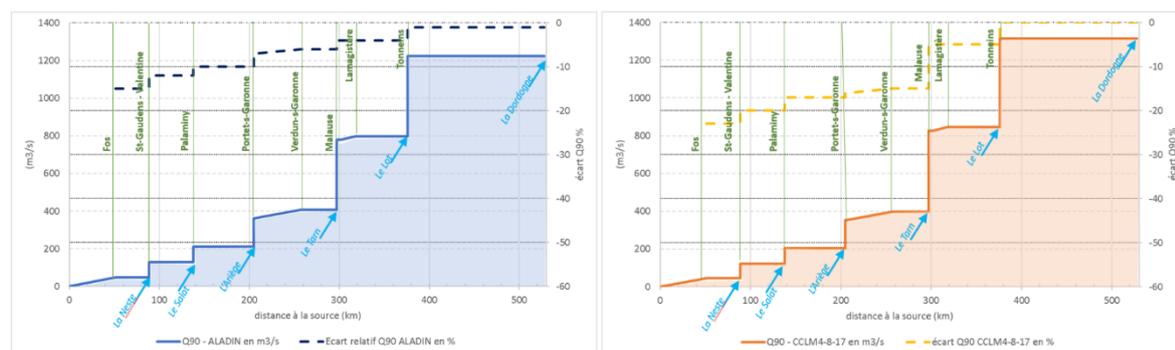
Valeurs médianes

Les débits médians du scénario climatique pessimiste sont nettement inférieurs à ceux du scénario climatique médian tout au long de l'axe Garonne. De même, les écarts relatifs avec la période de référence pour chaque modèle montrent une tendance à la baisse beaucoup plus marquée pour le scénario climatique pessimiste avec la plupart des secteurs entre -45 et -50% de débit. Dans les 2 scénarios, la Garonne amont connaît la baisse de débit la moins importante avec tout de même -35% pour le scénario climatique pessimiste (et -4% pour le scénario climatique médian).



Débits de hautes eaux : Q90 (débit non dépassé 90% du temps)

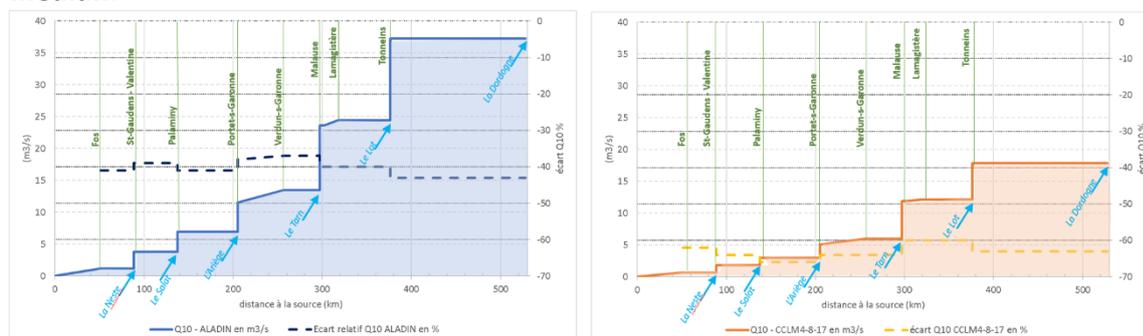
Les débits de hautes eaux¹⁸ apparaissent à la baisse quel que soit le scénario et la localisation sauf pour la station de Tonneins où ils seraient quasi-inchangés. Les 2 scénarios montrent que l'amont serait impacté dans des proportions relativement plus importantes que l'aval.



¹⁸ Pour rappel, les deux scénarios choisis, l'ont été sur la base de critères liés à l'étiage, ils ne donc sont pas forcément médian et pessimiste pour les autres indicateurs, notamment les hautes eaux. Ils représentent simplement deux scénarios possibles parmi les 30 disponibles.

Débits de d'été : Q10 (débit non dépassé 10% du temps)

Toutes les stations voient leurs débits d'été diminuer nettement. La baisse relative atteint **-60%** pour le scénario climatique pessimiste et **-40%** en moyenne pour le scénario climatique médian.



2.2.5 COMPARAISON DES VALEURS DE DEBITS DE EXPLORE 2 ET EXPLORE 70

Une comparaison rapide a été réalisée entre les données de débit aux **39 stations hydrologiques** d'intérêt de l'étude, provenant d'une part d'Explore 70 (**7 modèles climatiques**) et d'autre part d'Explore 2 (**12 modèles climatiques**) disponibles dans cette étude.

- Rappelons que les deux scénarios d'Explore 2 ont été retenus sur des critères liés à l'évolution des débits en été. Ce ne peut donc pas être une comparaison du jeu de données globale Explore 2/Explore 70 sur tous les indicateurs, mais permet d'en appréhender quelques éléments notamment ceux liés à l'été
- La comparaison est réalisée sur des écarts entre des périodes qui sont différentes pour Explore 70 et Explore 2. Pour les données Explore 70, les périodes d'études disponibles sont de 1961 à 1990 pour la période historique et 2046-2065 pour la période future. Pour rapprocher les périmètres de comparaison et parce que les conclusions ne sont pas si différentes, le choix a été fait de garder les périodes d'analyses du début du rapport : 2005-2022 par rapport à 2036-2065 pour les données Explore 2.

	Explore 70	Explore 2
Date de diffusion	2012	2021
Scénario d'émission de GES	SRES A1B	RCP 2.6, 4.5 et 8.5
Nombre de couples GCM-RCM	7	12
Nombre de modèles hydrologiques	2	1 pour cette étude
Période de référence	1961-1990	1976 - 2005
Horizons ciblés	2046-2065	H1 (2021-2050) ; H2 (2041-2070) ; H3 (2071-2100).

Tableau 1 : Principales caractéristiques de Explore 70 et Explore 2

Source : (Explore 2, 2022 ; Explore 70, 2021)

- La comparaison est donc réalisée sur des écarts entre des périodes qui sont différentes pour Explore 70 et Explore 2. Cette différence se retrouvera dans la suite de l'étude compte tenu des choix méthodologiques qui seront faits par la suite.

- Les modules, QMNA5 et VCN10 quinquennaux sont évalués pour les 39 stations de notre étude sur la période historique et future. Les écarts sont évalués en pourcentage par rapport à la valeur historique. Le tableau suivant récapitule les valeurs des écarts moyens, min et max parmi les stations pour les deux scénarios climatiques médian et pessimiste et le jeu de données global Explore 70.

		Explore 70	Explore 2 scénario médian	Explore 2 scénario pessimiste
Module	Moyenne	-31.2	-3.0	-21.1
	Min	-61.6	-11.3	-30.6
	Max	3.2	4.4	-11.9
QMNA5	Moyenne	-37.7	-22.5	-66.9
	Min	-90.9	-42.3	-72.4
	Max	-2.1	6.4	-57.1
VCN10	Moyenne	-15.4	-37.1	-62.6
	Min	14.8	-56.8	-72.5
	Max	-3.4	-21.7	-46.7

Tableau 2 : Synthèse des écarts [%] entre les valeurs statistiques historiques et futurs des modules, QMNA5 et VCN10 des 39 stations d'étude pour Explore 70 (statistiques calculés sur l'ensemble des 7 modélisations) et pour les deux scénarios Explore 2 médian et pessimiste

En conclusion : le jeu de données Explore 2, avec les deux scénarios climatiques médians et pessimistes choisis, restent dans les mêmes gammes d'impacts sur les débits à l'étiage qu'Explore 70, avec un impact qui semble moindre à l'échelle annuelle (notamment peut être sur la recharge hivernale).

3. La vulnérabilité des usages de l'eau

La mesure de la vulnérabilité repose sur le croisement de facteurs climatiques (ou facteur d'exposition) et de facteurs non-climatiques (ou facteurs de sensibilité) (*section 3.1 : La mesure de la vulnérabilité*). Les facteurs non-climatiques résultent des travaux menés en concertation avec les acteurs (*section 3.2 : Les ateliers de concertation*).

Les résultats de ces travaux ont permis d'identifier les enjeux des territoires, tels que perçus par les acteurs (*section 3.2.2 : Les enjeux des territoires au prisme des acteurs*). Les principales préoccupations de ces derniers portent sur la vulnérabilité des usages et la qualité des milieux aquatiques (*section 3.2.3 : Synthèse de ateliers et reconstruction des chaînes d'impact*).

Les facteurs non-climatiques sont mesurés à l'aide d'indicateurs de sensibilité présentés dans une prochaine section (*section 3.3 : Les indicateurs de sensibilité des territoires – facteurs non-climatiques*).

Les facteurs climatiques sont issus des données DRIAS 2020 analysées à la section précédente (cf. *section 2 : Climat et hydrologie à l'horizon 2050*), et les indicateurs retenus sont rappelés (*3.4 Les indicateurs d'exposition des territoires – facteurs climatiques*).

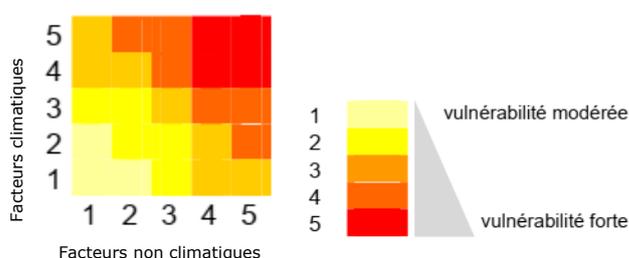
Le croisement des facteurs climatiques et non-climatiques permet de mesurer le degré de vulnérabilité des usages sur chaque commission géographique (*section 3.5 Les scores de vulnérabilité*).

3.1 LA MESURE DE LA VULNERABILITE

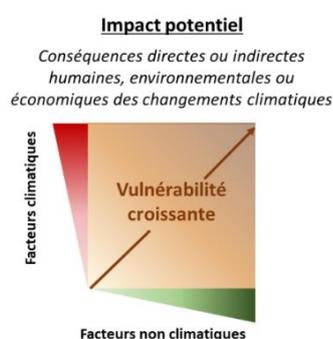
La vulnérabilité se définit par le croisement de deux types de facteurs, les facteurs climatiques et les facteurs non-climatiques.

Facteurs climatiques : Ce sont les variations de paramètres climatiques et/ou hydrologiques (températures moyennes, régime de précipitation, période de sécheresse, etc) ou bien la survenue d'aléas climatiques (pluies torrentielles, canicule, etc) auxquels le système est exposé, tenant compte de leur nature et de leur degré d'intensité. Par exemple le système peut être soumis à une évolution des températures, des pluies saisonnières, de la fréquence et de l'intensité des fortes pluies, des débits des cours d'eau, de la recharge des nappes, de la fréquence des sécheresses climatiques, etc. Ces facteurs climatiques varient en fonction des scénarios climatiques considérés.

Facteurs non climatiques : Ce sont les caractéristiques du territoire qui font qu'il sera plus ou moins affecté par un changement donné dans les conditions climatiques (artificialisation des sols, pressions de prélèvement ou de pollution, élasticité des usages...), qu'il dispose ou non d'outils et de moyens pour s'adapter.



Source : Agence de l'eau RMC, 2013



Source : Diagnostic de la vulnérabilité, Guide méthodologique, Acterra, 2022

A titre d'illustration, on peut caractériser la vulnérabilité de l'usage agricole par une forte augmentation de la température (facteur climatique) et la présence du nombre d'exploitations agricoles sur un territoire (facteur non-climatique, besoin en eau agricole plus important).

3.2 LES ATELIERS DE CONCERTATION

Le travail mené en atelier n'avait pas vocation à s'appuyer sur les données quantitatives, difficiles à manipuler, pour mesurer la vulnérabilité des usages de l'eau. Il avait pour ambition d'amener les acteurs à identifier les enjeux des territoires par le croisement des facteurs climatiques aux facteurs non-climatiques, via les impacts du changement climatique.

3.2.1 LE DEROULEMENT DES ATELIERS

Deux ateliers de concertation se sont tenus les 29 novembre et 1er décembre 2022 respectivement à Portet-sur-Garonne puis à Fourques-sur-Garonne.

A l'issue de cette première phase de concertation, un travail de restitution des ateliers a été mené, d'abord sous la forme de cartes mentales (cf. Annexe), pour aboutir à un diagnostic de vulnérabilité sur le périmètre du SAGE vallée de la Garonne.

Regroupement des commissions géographiques

Afin de respecter un principe de territorialisation, ces ateliers ont regroupé d'une part les trois commissions géographiques amont (CG1, CG2 et CG3) et d'autre part les trois commissions géographiques aval du SAGE (CG4, CG5 et CG6). Les invitations ont été adressées aux membres de la CLE et aux acteurs des commissions géographiques. Finalement on dénombrait 25 participants à l'amont et 20 à l'aval.

Travaux menés dans les ateliers : la chaîne climatique

Aux participants regroupés par table, l'animateur rappelle le principe de l'élaboration du diagnostic de vulnérabilité par le croisement des facteurs climatiques contextualisés à la vallée de Garonne¹⁹ (cf. figure ci-dessous) aux facteurs non-climatiques.

Les participants sont ensuite invités à construire une **chaîne climatique** en reliant les facteurs non-climatiques aux facteurs climatiques via une chaîne des impacts du changement climatique²⁰.

Chaque groupe a ainsi pu travailler sur une matrice divisée en 3 colonnes : facteurs hydro-climatiques ; impacts potentiels ; facteurs non-climatiques.

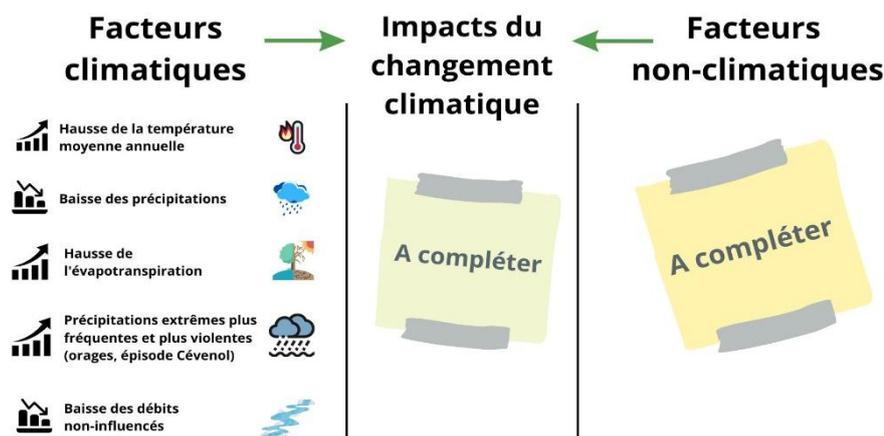


Figure 12 : Illustration des nappes présentées et à compléter par les participants.

Tous les groupes ont ensuite pu prendre connaissance des travaux réalisés sur les autres tables pour compléter les chaînes d'impact.

3.2.2 LES ENJEUX DES TERRITOIRES AU PRISME DES ACTEURS

Les matrices complétées lors des deux ateliers ont été consolidées pour établir un diagnostic global. Les impacts identifiés ont été rassemblés autour de 3 enjeux transversaux (communs à tous les usages de l'eau) :

¹⁹ Au stade du déroulement des ateliers, l'équipe de projet ne disposait pas encore des derniers résultats issus des données Explore 2. Les facteurs climatiques présentés s'appuyaient sur les données d'Explore 2070, support de l'étude Garonne 2050.

²⁰ La méthode a pu être adaptée entre les ateliers. Alors que le premier atelier prévoyait deux groupes : par catégorie d'usagers puis par commission géographique ; le second atelier a simplifié le déroulé avec des groupes par commission géographique uniquement.

Enjeux	Principaux impacts
L'enjeu quantitatif	Conflits d'usages Risque sanitaire et atteinte aux biens Zones humides
L'enjeu qualitatif et milieux aquatiques	Santé publique Qualité de la ressource Qualité des milieux dont zones humides
L'enjeu de gouvernance	Gouvernance de la ressource Gouvernance du risque

3.2.2.1 Enjeu quantitatif

L'enjeu quantitatif est un enjeu primordial : il a été discuté sur l'ensemble des tables, autant en atelier amont qu'en atelier aval. Les participants ont souvent fait référence à la sécheresse qui a touché la Garonne au cours de l'été 2022 et au déficit hydrique de la fin d'année 2022.

En ce sens, les premiers impacts du changement climatique mentionnés sont **la baisse des débits des cours d'eau, la baisse du niveau des nappes souterraines et la hausse de l'évaporation des eaux de surfaces**. Ce sont des impacts provoqués par des facteurs hydro-climatiques (hausse des températures, baisse des précipitations, hausse de l'évapotranspiration, etc.) et affectés par des facteurs non-climatiques (niveau de prélèvements en eau de surface, en nappe souterraine, etc.).

Il a été admis que ces impacts se traduiraient par **des pertes économiques et une fragilisation de nombreux secteurs usagers de l'eau**. La carte mentale proposée en annexe présente ces échanges qui concernent l'AEP, l'agriculture, l'énergie, l'industrie, la pêche professionnelle, l'activité piscicole, l'activité touristique et de loisir, ainsi que le secteur du tourisme d'hiver.

Parmi les facteurs non-climatiques mentionnés par les participants :

- La consommation domestique de l'eau potable, elle-même influencée par la population vivant sur le territoire et les tendances démographiques, est identifiée. D'autres facteurs influant sur les niveaux de consommation sont évoqués tels que l'usage de l'eau potable au sein des communes (arrosage des espaces verts communaux en période de forte chaleur) ou le développement d'installations individuelles de stockage d'eau sur le territoire (récupération des eaux pluviales).
- La présence de seuils ou de retenues d'eau sur le territoire est citée, avec une accentuation de l'évaporation des eaux de surface en période estivale, et des lâchers d'eau possibles au bénéfice de l'aval du bassin (soutien d'étiage)²¹.
- Les choix dans les pratiques agricoles sur le territoire sont mentionnés comme facteur aggravant les impacts du changement climatique ou, au contraire, favorisant la résilience du territoire (pratique de l'irrigation ; choix des espèces et cultures).
- La conjoncture politique et économique actuelle est évoquée comme facteur aggravant la résilience de l'ensemble des secteurs et activités qui dépendent de la ressource.

²¹ Après synthèse des premiers résultats des ateliers, les membres du COTECH ont estimé que l'enjeu hydroélectrique n'était pas suffisamment représenté. Aucun représentant d'EDF n'était présent lors des ateliers. Ainsi, une réunion dédiée a été organisée avec EDF afin de faire remonter les impacts et facteurs associés au changement climatique pour le secteur de l'énergie.

- La situation du territoire sur le plan hydrologique est mentionnée. Les volumes disponibles dans chaque commission géographique font partie des facteurs non-climatiques (accentuation potentielle des conflits d'usage avec des volumes disponibles plus faibles).

Dans l'enjeu quantitatif, les participants ont pu aborder les impacts découlant, en partie, du facteur hydro-climatique « *hausse de la fréquence des inondations* ». Les principaux impacts mentionnés sont la survenance accrue d'inondations, les coulées de boues, les ruissellements et l'érosion avec l'ensemble des coûts et pertes qui peuvent y être associés.

Parmi les facteurs non-climatiques énoncés, le caractère argileux du territoire, l'imperméabilisation et l'artificialisation des sols, la présence d'aménagements en zones inondables ou encore l'artificialisation des cours d'eau sont cités comme des facteurs qui influent sur la vulnérabilité.

3.2.2.2 *Enjeu qualitatif et milieux*

L'enjeu qualitatif lié aux milieux a été abordé par l'ensemble des groupes. Les principaux impacts identifiés sont, d'une part, **la baisse de la qualité des eaux** et d'autre part **la perte de biodiversité**, deux impacts dont les effets conjugués sont aggravants.

On identifie des impacts associés à la baisse de la qualité des eaux, comme les conséquences sur les activités récréatives avec des interdictions d'activités de baignade plus fréquentes. Les conséquences sur les systèmes d'AEP et d'assainissement sont discutées par les participants, telles que la hausse des coûts de traitement et de potabilisation. Le développement accru d'espèces invasives est décrit.

En outre, la perte de biodiversité, intimement liée à la qualité des eaux, est associée par les participants à d'autres impacts, tels que : la modification de l'hydromorphologie des cours d'eau, la rupture de continuité écologique, la dégradation des forêts et écosystèmes, l'assèchement des lagunes et des zones humides, ou encore la réduction des populations halieutiques migratrices.

Parmi les facteurs non-climatiques mentionnés par les participants :

- Les pollutions dues aux rejets et aux ruissellements sont évoquées. Plusieurs échanges entre les participants concernent les pollutions dues aux produits phytopharmaceutiques, au phosphore, aux rejets industriels, ou encore aux rejets d'épuration et systèmes d'assainissement.
Il est admis que ces pollutions sont dues à d'autres facteurs tels que les moyens techniques et financiers déployés dans la maintenance et la rénovation des réseaux, les usages d'intrants agricoles ou encore l'aménagement et l'imperméabilisation des sols.
- La présence d'espèces emblématiques ou de zones humides sont des caractéristiques du territoire évoquées comme accentuant sa vulnérabilité.
- L'artificialisation des cours d'eau, la présence de retenues, de seuils ou encore de gravières sont identifiés comme impactant la continuité écologique et l'hydromorphologie du cours d'eau.

3.2.2.3 *Enjeu gouvernance*

Si les enjeux quantitatifs et qualitatifs étaient inscrits au préalable sur les nappes pour aider les participants à organiser leur prise de note, l'enjeu de gouvernance n'avait quant à lui pas été suggéré. Cet enjeu a spontanément émergé à l'issue de multiples réflexions au sein des groupes d'acteurs.

Les participants ont pu discuter de **la gouvernance de la ressource** et de **la gouvernance du risque**. Les participants évoquent la gouvernance comme levier d'influence sur la fragilisation des secteurs économiques et des catégories d'usagers de la ressource. La gouvernance influe aussi sur la virulence des potentiels conflits d'usages et des débats liés à la ressource.

A ce titre, plusieurs acteurs représentant leur secteur rappellent leur dépendance à des enjeux plus globaux, d'envergure nationale voire internationale. A titre d'exemple, ces considérations sont évoquées pour l'agriculture et pour le secteur de l'énergie (notions d'autonomie alimentaire, d'équité internationale par l'importation de produits et donc l'importation d'eau ; notions d'indépendance énergétique et de politiques d'atténuation du changement climatique par la production hydro-électrique).

Parmi les facteurs non-climatiques mentionnés :

- Le suivi hydrologique précis et en temps réel est évoqué, dans la mesure où des prélèvements ont lieu dans les cours d'eau, dans les nappes ou encore dans des plans d'eau eux-mêmes connectés aux cours d'eau.
- La solidarité amont – aval fait l'objet de discussions, notamment autour de l'échelle de gestion de certains financements ou encore des liens inter-SAGE et amont – aval dans le soutien d'étiage.
- Les participants ont parlé de l'état de la pression foncière sur le territoire, notamment entre la propriété privée, la propriété agricole et la présence d'aménités paysagères ou écosystémiques (zones humides).
- Il est fait mention de la compréhension par le citoyen des bénéfices des fonctions écologiques, des enjeux liés à l'eau et de la situation climatique actuelle et future.
- L'artificialisation des cours d'eau, l'imperméabilisation des sols ou l'occupation du sol en zones inondables sont mentionnés, en lien avec des problématiques d'aménagement du territoire et d'urbanisme.
- La présence de cellules de crises dans les organes territoriaux et institutions publiques est discutée comme un facteur qui joue sur une bonne gouvernance des risques associés au changement climatique.

3.2.3 SYNTHÈSE DES ATELIERS ET RECONSTRUCTION DES CHAINES D'IMPACT

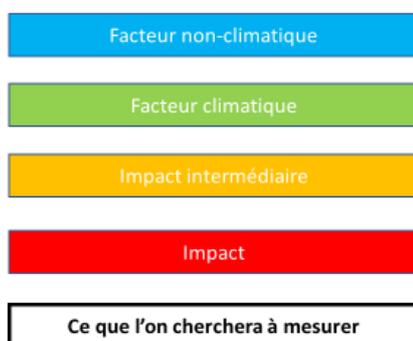
L'analyse des enjeux qui ont émergé lors des ateliers a permis d'approfondir la vulnérabilité des milieux aquatiques et celle des usages de l'eau.

Plus précisément, les enjeux quantitatifs ont été regroupés autour des catégories d'usages suivantes :

- L'usage de l'eau à destination du secteur domestique,
- L'usage de l'eau à destination de l'agriculture,
- L'usage de l'eau à destination de l'industrie,
- L'usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie.

Quant aux enjeux qualitatifs, ils ont été rattachés aux milieux aquatiques et à la biodiversité. Bien qu'il ne s'agisse pas d'un usager de l'eau, la directive cadre sur l'eau reconnaît l'environnement comme un « *acteur* » à part entière fournisseurs de services écosystémiques.

Le matériau des ateliers a été retravaillé pour reconstruire les chaînes d'impact simplifiées présentées ci-dessous (figure ci-dessous). Pour chaque usage, les facteurs non-climatiques (en bleu) et les facteurs climatiques (en vert), sont croisés par le vecteur des impacts intermédiaires (en jaune) pour aboutir aux impacts sur l'usage (en rouge).



Il ne sera pas toujours possible de trouver des indicateurs pour mesurer le degré d'exposition et de sensibilité pour tous les facteurs. Seuls les facteurs encadrés en caractère gras seront évalués par des indicateurs.

3.2.3.1 *La vulnérabilité de la biodiversité et des milieux aquatiques*

Les facteurs climatiques (exposition)

La biodiversité et les milieux aquatiques seront vulnérables aux modifications de leurs conditions de vie. La diminution des débits d'étiage et l'augmentation de la température moyenne sont les facteurs climatiques (ou d'exposition) qui sont intégrés aux scores de vulnérabilité. Ces deux facteurs sont les facteurs les plus prégnants mesurables qui affectent la biodiversité et les milieux aquatiques lorsque l'on étudie l'adaptation au changement climatique.

Les facteurs non-climatiques (sensibilité)

En parallèle, le degré de sensibilité du territoire dépend de la présence de milieux naturels d'intérêt. Cette sensibilité est en partie liée à la présence de zones humides : les zones humides sont parmi les milieux qui offrent plus de services écosystémiques et sont le terreau d'une véritable diversité biologique. En outre, les données de nombreuses espèces (plantes et animaux) dépendent de ces milieux. La surface occupée par les zones humides est prise en compte.

Globalement, la présence de zones naturelles à fort intérêt écologique joue sur la sensibilité du territoire et peut-être approchée par la part de zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIIEFF) de type I (secteurs de grand intérêt biologique ou écologique) sur la superficie totale du territoire. La justification du choix de la biodiversité remarquable se trouve dans le fait que les études sur la biodiversité sont plus nombreuses que pour la biodiversité commune.

La qualité écologique du cours d'eau est importante car elle peut altérer les conditions de vie des milieux. L'état écologique de la ressource est la mesure privilégiée par les membres du GT Climat. La justification du choix de la biodiversité remarquable se trouve dans le fait que les études sur la biodiversité remarquable sont plus nombreuses que pour la biodiversité commune. Cette mesure est déjà un indicateur composite qui tient compte de l'état hydromorphologique des cours d'eau. Ainsi, la présence d'obstacles à l'écoulement, de gravières ou encore l'artificialisation des cours d'eau pourraient compléter les facteurs qui altèrent les conditions de vie des milieux mais il s'agit de dimensions d'analyse indirectement prises en compte dans la mesure de l'état écologique. Enfin, le niveau d'artificialisation des sols peut altérer les conditions de vie des milieux et de la biodiversité, c'est pourquoi une mesure de l'artificialisation des sols est intégrée.

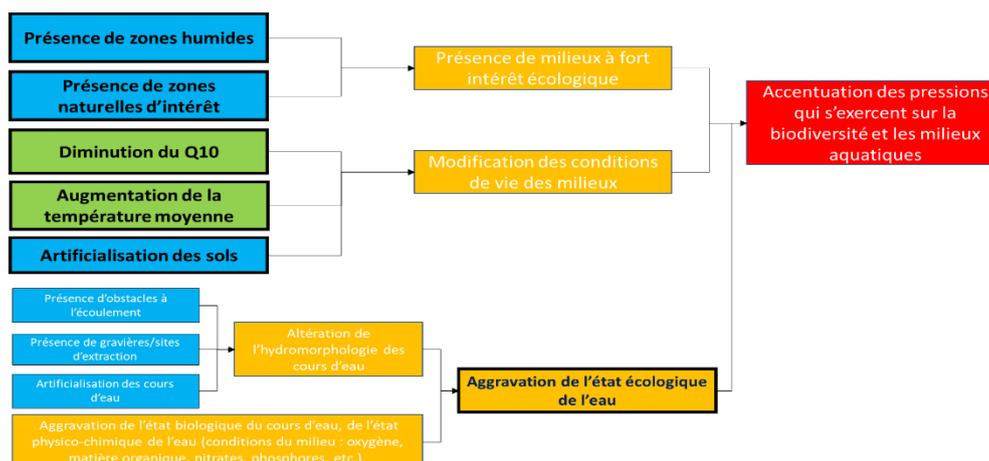


Figure 13 : Chaîne d'impact décrivant la vulnérabilité de la biodiversité et des milieux aquatiques.

Les indicateurs retenus

En synthèse, les indicateurs pris en compte pour la mesure de la vulnérabilité des milieux aquatiques et de la biodiversité sont les suivants :

- L'écart relatif du premier décile sur le débit entre l'horizon 2050 et la période de référence 1990 (en %) ²²,
- L'écart de température moyenne journalière entre les deux périodes de référence (en °C),
- La superficie de zones humides en 2019 (en ha) ²³,
- La part de zones ZNIEFF de type I sur la superficie totale (en %) ²⁴,
- La part du territoire qui a été artificialisé entre 2009 et 2021 ²⁵,
- Une notation de l'état écologique des masses d'eau ²⁶.

²² L'ensemble des indicateurs de mesure des facteurs climatiques (ou indicateurs d'exposition) sont tirés des données DRIAS 2020 qui ont fait l'objet d'un rapport d'analyse produit par la CACG au sein du groupement : « Analyse des données de changement climatique DRIAS 2020 sur le territoire SAGE Garonne ». Les données intégrées sont les écarts relatifs entre le « scénario pessimiste » pour l'horizon H2 du rapport (2041-2070 – soit un horizon médian : 2050) et la « période de référence » (1976 – 2005 – soit une année médiane de référence : 1990).

²³ Données transmises par le SMEAG.

²⁴ Données issues du programme ZNIEFF (data.gouv.fr) – Inventaire national des ZNIEFF.

²⁵ Données communales issues de l'observatoire de l'artificialisation des sols qui recense le passage du statut NAF (Naturel, Agricole, Forestier) au statut « artificialisé » entre l'année 2009 et 2021.

²⁶ Données issues du SDAGE 2016-2021. Notation de la gravité de l'état écologique des masses d'eau comprise entre 0 et 1 : 0 si 100% des masses d'eau sont en très bon état et 1 si 100% des masses d'eau sont en mauvais état. Cette notation tient compte de la surface relative des masses d'eau.

3.2.3.2 La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur domestique

Les facteurs climatiques (exposition)

L'usage domestique sera à la fois soumis aux tensions quantitatives et qualitatives. La diminution des précipitations et l'augmentation moyenne des températures joueront sur les volumes disponibles et sur les besoins des populations. Le premier facteur des précipitations affecte les volumes prélevables, et la température accroît les besoins en eau domestique.

Les facteurs non-climatiques (sensibilité)

La population qui vit sur le périmètre et les prélèvements annuels superficiels recensés pour l'alimentation en eau potable influent sur le degré de sensibilité de la commission géographique. Les membres du GT Climat ont également identifié la croissance démographique comme une dimension d'analyse essentielle qui doit être conjointement étudiée à la population totale.

L'état chimique de l'eau est important pour assurer son traitement et la fourniture aux ménages d'une eau propre à la consommation : cette dimension qualitative fait l'objet d'une pénalité de base appliquée au score de vulnérabilité final lorsqu'une part importante des masses d'eau est déclarée en mauvais état dans la commission géographique.

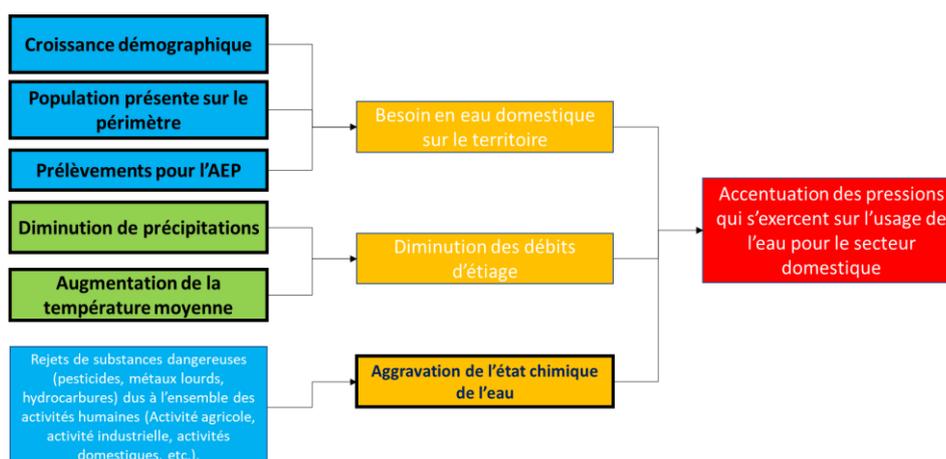


Figure 14 : Chaîne d'impact décrivant la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur domestique.

Les indicateurs retenus

Les indicateurs pris en compte pour la mesure de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur domestique sont énumérés ci-dessous :

- L'écart relatif du cumul de précipitations entre l'horizon 2050 et la période de référence 1990 (en %),
- L'écart de température moyenne journalière entre les deux périodes de référence (en °C),
- La population qui vit sur le périmètre (en nombre d'habitants)²⁷,

²⁷ Données communales transmises par le SMEAG, année de référence : 2015.

- L'estimation de la croissance démographique selon les projections de l'INSEE (en %) ²⁸,
- Les prélèvements moyens superficiels par habitant pour l'alimentation en eau potable (en m³ par habitants) ²⁹ (cf. Annexe),
- Une notation de l'état chimique des masses d'eau ³⁰.

3.2.3.3 La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'agriculture

Les facteurs climatiques (exposition)

Les pressions qui vont s'exercer sur le secteur agricole sont multiples et plutôt d'ordre quantitatif. Il semble intéressant d'apporter une mesure de l'évapotranspiration et des précipitations futures : des facteurs climatiques qui joueront sur les besoins en eau pour l'irrigation et sur les volumes disponibles. L'augmentation des températures tendent à augmenter l'évapotranspiration et par conséquent les besoins en eau d'irrigation. La baisse des précipitations réduit les volumes prélevables et les apports en eau aux plantes.

Les facteurs non-climatiques (sensibilité)

Par ailleurs, il est nécessaire d'évaluer la place qu'occupe l'agriculture dans chaque commission géographique : en termes surfacique et en termes de prélèvements superficiels pour l'irrigation. La sensibilité de l'usage est influencée, en partie, par la place qu'occupe l'agriculture irriguée sur le territoire. Le risque d'érosion des sols est aussi une dimension du score de vulnérabilité. Ce risque influe sur la capacité de rétention en eau dans les sols, et donc indirectement sur l'usage de l'eau pour l'irrigation.

²⁸ Estimation de la croissance démographique à partir des projections de population sur la période 2013-2050 à un niveau départemental par l'INSEE (pour le scénario qualifié de central). La transposition de la croissance démographique départementale à l'échelle des commissions géographiques s'est faite en fonction de la répartition réelle de la population entre les départements et les commissions géographiques en 2015.

²⁹ L'ensemble des données de prélèvement mobilisées ont été fournies par le SMEAG. Ces données sont issues d'une mise à jour de la base de données des prélèvements et des consommations de 2003 à 2020 sur l'aire du Plan de gestion d'étiage (PGE) de la vallée de la Garonne et du bassin de l'Ariège. Ces données sont issues des déclarations réalisées par les usagers auprès de l'Agence de l'eau Adour-Garonne et sont disponibles sur le site du SIE Adour-Garonne. Les valeurs prises par les indicateurs de sensibilité sont les moyennes annuelles de prélèvements (entre 2003 et 2020) afin de se prémunir des potentiels biais dus à des années plus ou moins sèches. De plus, l'objectif général II du PAGD du SAGE Vallée de la Garonne mentionne que « le périmètre est soumis à un déficit structurel conséquent comme en témoigne le non-respect des DOE observé depuis de nombreuses années. La ressource en eau utilisée pour satisfaire les besoins est essentiellement superficielle, avec cependant un lien fort entre les eaux de surface et les nappes d'accompagnement de la Garonne ». De plus, les outils déployés dans le cadre de la présente étude (Rio Manager, outils socio-économiques) ne sont pas en mesure d'évaluer les impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation sur les nappes souterraines. Ainsi, en cohérence avec les suites à donner, les prélèvements comptabilisés sont uniquement ceux réalisés en eau de surface et dans la nappe alluviale de la Garonne.

³⁰ Une notation de gravité de l'état chimique des masses d'eau est insérée. Cette notation est comprise entre 0 et 1 : 0 si 100% des masses d'eau de la commission géographique sont en bon état chimique et 1 si 100% des masses d'eau de la commission géographique sont en mauvais état chimique. Cette notation tient également compte de la surface relative des masses d'eau.

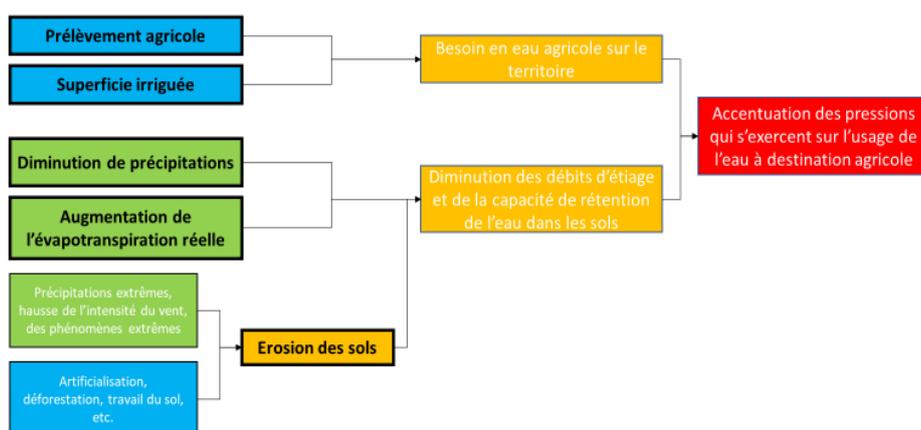


Figure 15 : Chaîne d'impact décrivant la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination

Les indicateurs retenus

Les indicateurs pris en compte pour la mesure de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'agriculture sont les suivants :

- L'écart relatif du cumul de précipitation entre l'horizon 2050 et la période de référence 1990 (en %),
- L'écart relatif du cumul de l'évapotranspiration réelle entre les deux périodes de référence (en %),
- Les prélèvements moyens superficiels pour l'agriculture par hectare de Surface Agricole Utile (m³ par hectare)³¹.
- Une notation du risque d'érosion des sols créée à partir des données issues du projet 14 du PGE³².

3.2.3.4 La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'industrie

Les facteurs climatiques (exposition)

Le secteur industriel subira également des tensions quantitatives. Les facteurs climatiques (ou d'exposition) sont approchés par un indicateur tenant compte des variations de précipitations moyennes et de l'augmentation de la température moyenne. Ces deux facteurs conduisent à une baisse des volumes prélevables.

³¹ Le rapport des prélèvements par hectare de Surface Agricole Utile est fait à partir des données départementales Agreste - RGA 2020. La transposition des données départementales à l'échelle des commissions géographiques s'est faite en fonction de la répartition surfacique totale des commissions géographiques dans les départements identifiés sur le périmètre du SAGE.

³² Le projet 14 du PGE visait à l'utilisation de l'imagerie satellite radar pour déterminer l'occupation majoritaire des parcelles agricoles de 2015 à 2020. La base de données fournies par le SMEAG nous permet d'identifier les hectares parcellaires à sols nus. La pente de chaque parcelle est également renseignée et est catégorisée en : érosion limitée (parcelle dont la pente est inférieure à 2°), érosion modérée (pente comprise entre 2° et 6°) et risque d'érosion fort (pente supérieure à 6°). Selon la même méthodologie que les notations appliquées à l'état écologique et chimique des masses d'eau, cette notation du risque érosion des sols est comprise entre 0 et 1 selon si la commission géographique présente (relativement à sa taille) une surface importante de parcelles en sols nus et à pente forte.

Les facteurs non-climatiques (sensibilité)

La sensibilité de l'usage industriel dépend de sa présence sur chaque commission géographique et de sa dépendance à la ressource. Ces dimensions d'analyse sont exprimées par les niveaux de prélèvements moyens superficiels à destination de cet usage et la présence de gravières et de sites d'extraction : des usagers de la ressource qui ont été cités à de nombreuses reprises au cours des ateliers de concertation.

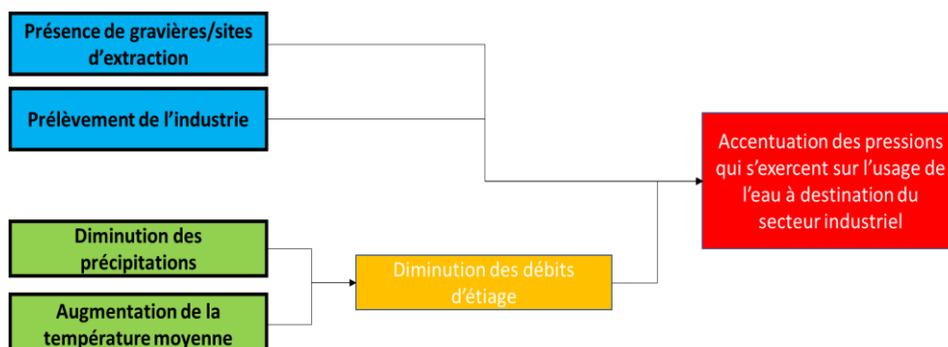


Figure 16 : Chaîne d'impact décrivant la vulnérabilité des usages de l'eau industriels.

Les indicateurs retenus

Les indicateurs pris en compte pour la mesure de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'industrie sont les suivants :

- L'écart relatif du cumul de précipitations entre les deux périodes de référence (en %),
- L'écart de température moyenne journalière entre les deux périodes (en °C),
- Les prélèvements moyens superficiels pour l'industrie (en m³),
- La surface relative de gravière par commission géographique (en hectare par km²)³³.

3.2.3.5 La vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'énergie

Les facteurs climatiques (exposition)

Le secteur de l'énergie présente une dépendance quantitative à la ressource (pour la production hydroélectrique et pour les prélèvements liés à la production nucléaire³⁴) et une dépendance qualitative à la ressource (la température de l'eau est à considérer pour le refroidissement de centrale nucléaire). La diminution moyenne des débits d'été associée à l'augmentation de la température moyenne aura un effet sur la disponibilité de la ressource et sur la température de l'eau.

³³ Données de surface de gravières transmises par le SMEAG.

³⁴ Rappel : la dépendance quantitative à la ressource pour la production nucléaire reste largement à nuancer au regard des retours techniques formulés par les membres du GT Climat. En effet, les prélèvements sont lissés sur l'année et présentent des niveaux très faibles en m³/seconde. Ce sont aussi des prélèvements qui sont majoritairement restitués aux milieux.

Les facteurs non-climatiques (sensibilité)

La présence de l'usage hydroélectrique et l'implantation de la centrale nucléaire de Golfech représentent les premiers éléments d'analyse de la sensibilité du territoire. Les volumes négociés dédiés au soutien d'étiage sont également pris en compte comme facteur qui joue sur la sensibilité de l'usage.

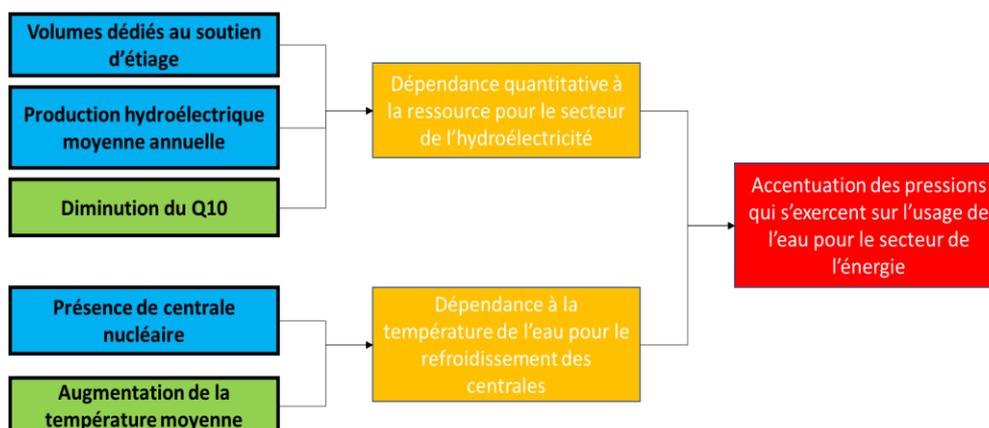


Figure 17 : Chaîne d'impact décrivant la vulnérabilité de l'usage de l'eau pour le secteur de l'énergie

Les indicateurs retenus

Les indicateurs pris en compte pour la mesure de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination de l'énergie sont les suivants :

- L'écart relatif de premier décile sur le débit entre les deux périodes de référence (en %),
- L'écart de température moyenne journalière entre les deux périodes (en °C),
- Le nombre de centrales nucléaires,
- La production hydroélectrique moyenne annuelle par commission géographique (en GWh)³⁵,
- Les volumes dédiés au soutien d'étiage (en million de m³)³⁶.

3.3 LES INDICATEURS DE SENSIBILITE DES TERRITOIRES - FACTEURS NON-CLIMATIQUES

3.3.1.1 La biodiversité et les milieux aquatiques

Les indicateurs mobilisés pour caractériser la sensibilité de la biodiversité et des milieux aquatiques sont : la superficie de zones humides (en hectare), la part de zones ZNIEFF de type I sur la superficie totale (en %) et la part surfacique de la commission qui s'est artificialisée entre 2009 et 2021 (en %). L'ensemble des valeurs prises par ces indicateurs sont détaillées ci-dessous :

³⁵ Données liées au secteur de l'énergie issues de l'Agence de l'eau Adour-Garonne (Ouvrage hydraulique dédié à la production d'électricité), de Electricité de France (Centrales de production nucléaire d'EDF) et de Open Data Réseaux Energies (ODRE - Registre national des installations de production et de stockage d'électricité au 31/12/2021).

³⁶ Données transmises par le SMEAG.

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Superficie de zones humides (ha)	2 256	661	1 558	596	2 151	2 454
Part de zone ZNIEFF de type I sur la superficie totale (en %)	46%	7%	6%	1%	1%	3%
Part surfacique d'artificialisation entre 2009 et 2021 (en %)	0,49%	2,10%	1,99%	1,38%	0,90%	1,93%

Tableau 3 : Indicateurs de sensibilité de la biodiversité et des milieux aquatiques.

Les scores attribués à la présence de zones humides, de zones naturelles d'intérêt et à l'artificialisation

Les zones humides sont particulièrement étendues en Garonne Girondine et en Garonne Montagnarde. Aussi, la part de zone ZNIEFF de type I sur la superficie totale de la Garonne Montagnarde (en %) présente un niveau largement supérieur aux autres commissions géographiques. Enfin, sans surprise, la part de surface qui a été artificialisée entre 2009 et 2021 est la plus élevée dans les commissions géographiques qui regroupent les pôles urbains de la vallée de la Garonne, à savoir en Garonne de piémont et en Garonne débordante pour l'agglomération de Toulouse, et en Garonne Girondine pour sa proximité avec l'agglomération de Bordeaux.

Le score attribué à l'état écologique des masses d'eau

La notation de l'état écologique des masses d'eau figure également parmi les indicateurs mobilisés pour le volet biodiversité. Le tableau ci-après présente les valeurs et la méthodologie de calcul de la notation.

$$I_{Etat\ Eco} = \frac{\sum_{i=1}^5 Surface_i * i}{Surface\ UG} \quad 1 \leq I_{Etat\ Eco} \leq 5$$

$$\begin{cases} I_{Etat\ Eco} = 1 \Rightarrow L'UG\ est\ composée\ à\ 100\% \text{ des masses d'eau en très bon état écologique} \\ I_{Etat\ Eco} = 5 \Rightarrow L'UG\ est\ composée\ à\ 100\% \text{ des masses d'eau en très mauvais état écologique} \end{cases}$$

$$\frac{I_{Etat\ Eco} - 1}{5 - 1} = \frac{V_{Etat\ Eco} - 0}{1 - 0}$$

$$\therefore V_{Etat\ Eco} = \frac{I_{Etat\ Eco} - 1}{4}$$

Équation 1 : Calcul de la notation de l'état écologique des masses d'eau.

Classe de l'état écologique ou du potentiel écologique de la masse d'eau	Classe de l'état écologique					Surface totale	Notation état écologique
	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais		
Garonne Montagnarde	72,60	1371,57	202,89	0,01		1647,07	0,270
Garonne de piémont		98,95	1080,51	74,96	99,85	1354,26	0,532
Garonne débordante		13,23	959,33	205,30	64,37	1242,23	0,565
Garonne Agenaise		0,34	658,35	195,10	135,70	989,50	0,618
Garonne Marmandaise		217,04	1085,62	51,33	441,23	1795,22	0,600
Garonne Girondine		53,42	675,62	286,42	77,44	1092,90	0,589

 Tableau 4: Surface de masses d'eau superficielles selon la classe de l'état écologique (en km²) et présentation de la notation de l'état écologique

Plus la notation est proche de 1, plus l'état écologique des masses d'eau est dégradé dans la commission géographique.

Les masses d'eau en « Très bon » et en « Bon état » sont majoritairement localisées en Garonne Montagnarde. C'est en revanche en Garonne Agenaise et en Garonne Marmandaise que l'on recense le plus de masses d'eau en « Mauvais état ».

3.3.1.2 L'usage de l'eau pour le secteur domestique

Les indicateurs de sensibilité pour caractériser la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur domestique sont : la population totale (en 2015), l'estimation de la croissance démographique à horizon 2050 (en %) et les prélèvements moyens annuels superficiels pour l'alimentation en eau potable par habitant (m³/hab). L'ensemble des valeurs prises par ces indicateurs sont présentées ci-dessous :

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Population (habitants en 2015)	65 640	1 190 439	193 641	124 386	104 939	174 487
Estimation de la croissance démographique (en %)	19%	20%	21%	12%	12%	16%
Prélèvements moyens annuels pour l'AEP par habitant (m ³ /hab)	48	51	22	65	28	-

Tableau 5: Indicateurs de sensibilité pour l'usage de l'eau domestique.

Le score attribué à la population et la croissance démographique

C'est en Garonne de Piémont que l'on recense la plus grande population sur le périmètre du SAGE vallée de la Garonne, il s'agit de la commission géographique qui compte une grande partie de la métropole de Toulouse. L'estimation de la croissance démographique à l'échelle des commissions géographiques montre une tendance à la hausse de la population en amont, particulièrement en Garonne de Piémont et en Garonne Débordante.

Le score attribué aux prélèvements moyens annuels par habitant

Les données de prélèvements moyens annuels superficiels par habitant reflètent une consommation d'eau (superficielle et en nappe alluviale) accrue au niveau des trois commissions géographiques de la Garonne Agenaise, de Piémont et Montagnarde.

Le score attribué à l'état chimique des masses d'eau

La notation de l'état chimique des masses d'eau figure également parmi les indicateurs de sensibilité mobilisés. Le tableau ci-après présente les valeurs et la méthodologie de calcul de la notation de l'état chimique des masses d'eau.

Classe de l'état chimique (avec molécules ubiquistes) de la masse d'eau	Bon	Mauvais	Non classé	Surface totale	Notation état chimique
Garonne Montagnarde	1502,67	144,40		1647,07	0,09
Garonne de piémont	1046,09	308,17		1354,26	0,23
Garonne débordante	1034,73	207,50		1242,23	0,17
Garonne Agenaise	816,77	172,73		989,50	0,17
Garonne Marmandaise	1583,33	208,35	3,54	1795,22	0,12
Garonne Girondine	813,47	125,17	154,26	1092,90	0,13

Tableau 6 : Surface de masses d'eau superficielles selon la classe de l'état chimique (en km²) et présentation de la notation de l'état chimique

$$I_{Etat\ c} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Surface_i * i}{Surface\ UG - Surface\ U} \quad 2 \leq I_{Etat\ c} \leq 5$$

$\left\{ \begin{array}{l} I_{Etat\ c} = 2 \Rightarrow L'UG\ est\ composée\ à\ 100\% \text{ des masses d'eau en bon état chimique} \\ I_{Etat\ c} = 5 \Rightarrow L'UG\ est\ composée\ à\ 100\% \text{ des masses d'eau en mauvais état chimique} \end{array} \right.$

$$\frac{I_{Etat\ c} - 2}{5 - 2} = \frac{V_{Etat\ c} - 0}{1 - 0}$$

$$\therefore V_{Etat\ c} = \frac{I_{Etat\ c} - 2}{3}$$

Équation 2 : Calcul de la notation de l'état chimique des masses d'eau.

La Garonne Montagnarde est la commission géographique qui présente le meilleur état chimique de ses masses d'eau (relativement aux autres commissions géographiques). La Garonne de Piémont suivi de la Garonne Débordante et Agenaise sont à l'inverse les commissions géographiques qui présentent une plus grande part surfacique de masses d'eau superficielles évaluées en « Mauvais état chimique ».

3.3.1.3 L'usage de l'eau à destination de l'agriculture

Trois indicateurs ont été mobilisés pour la sensibilité de l'usage de l'eau à destination de l'agriculture, à savoir : les prélèvements moyens annuels superficiels pour l'irrigation (en m³), l'estimation de la SAU³⁷ totale (en hectares) et le ratio qui en découle des prélèvements moyens annuels superficiels par hectare de SAU (m³/ha).

Le tableau ci-après détaille les valeurs prises par les indicateurs dans les différentes commissions géographiques :

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Prélèvements moyens annuels superficiels pour l'irrigation (m ³)	2 678 590	13 137 191	21 281 552	8 537 473	13 413 151	389 309
Estimation de la SAU totale (hectares)	81 310	70 887	68 188	52 427	84 847	25 569
Prélèvements moyens pour l'irrigation par hectare (m ³ /ha)	33	185	312	163	158	15

Tableau 7: Indicateurs de sensibilité pour l'usage de l'eau agricole.

³⁷ Surface Agricole Utile.

Le score attribué aux prélèvements pour l'irrigation par hectare de SAU

Les commissions géographiques présentent des niveaux de SAU plutôt homogènes, à l'exception de la Garonne Girondine qui ne recense que 25 000 hectares de SAU (ce qui peut aussi être expliqué par sa petite taille : c'est la deuxième commission géographique la plus petite). Les prélèvements moyens annuels recensés (en eau superficielle et en nappe alluviale) pour l'irrigation présentent de grands écarts selon les commissions géographiques étudiées. C'est en Garonne Débordante, en Garonne Marmandaise et en Garonne de Piémont que l'on constate le plus de volumes prélevés pour l'irrigation. L'indicateur de sensibilité sélectionné, à savoir les prélèvements moyens pour l'irrigation par hectare de SAU, montre une dépendance accrue à la ressource au niveau des 4 commissions géographiques centrales, et plus particulièrement en Garonne Débordante.

3.3.1.4 L'usage de l'eau pour l'industrie

Pour rappel, les indicateurs de sensibilité pour l'usage de l'eau à destination de l'industrie sont : les prélèvements moyens annuels superficiels pour l'industrie (en m³) et la surface relative de gravières (en ha/km²). L'ensemble des valeurs prises par ces indicateurs sont présentées ci-après :

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Prélèvements moyens annuels superficiels pour l'industrie (m ³)	19 969 864	5 806 300	453 132	142 511	1 257 136	393 022
Surface relative de gravières (ha/km ²)	0,08	0,59	0,45	0,50	0,15	0,21

Tableau 8 : Indicateurs de sensibilité pour l'usage de l'eau industriel.

Le score attribué aux prélèvements industriels

Des prélèvements conséquents sont recensés en Garonne Montagnarde. Les prélèvements en question sont réalisés par le secteur industriel de la papeterie au niveau de Saint-Gaudens (31). Ces prélèvements ne donnent pas d'informations sur les volumes réellement consommés, pour autant, ils attestent une certaine dépendance à la ressource.

Note au lecteur : De manière générale, toute conclusion concernant la pression quantitative que pourrait exercer les usages sur la ressource reste à nuancer en fonction de la régularité, de la saisonnalité des prélèvements et de la restitution aux milieux qu'il en est fait.

Le score attribué à la présence de gravières

C'est en Garonne de Piémont que l'on recense le plus de gravières, avec 0,59 hectare de gravière par km². La Garonne Agenaise et la Garonne Débordante sont aussi des commissions géographiques où de nombreuses gravières sont implantées (0,50 et 0,45 hectare de gravière par km²).

3.3.1.5 L'usage de l'eau pour l'énergie

Pour rappel, les indicateurs de sensibilité pour l'usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie sont : la production moyenne annuelle hydroélectrique (GWh), le nombre de centrale nucléaire et les volumes dédiés au soutien d'étiage sur le périmètre. L'ensemble des valeurs prises par ces indicateurs sont présentées ci-après :

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Production moyenne annuelle hydroélectrique (GWh)	511	402	13	292	-	-
Nombre de centrale nucléaire	-	-	-	1	-	-
Volumes dédiés au soutien d'étiage (en million de m ³)	8	-	-	-	-	-

Tableau 9 : Indicateurs de sensibilité pour l'usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie.

Les scores attribués à l'hydroélectricité et à la production nucléaire

La production moyenne annuelle hydroélectrique est la plus élevée en Garonne Montagnarde. C'est la commission géographique qui compte le plus d'ouvrages hydroélectriques (plus d'une trentaine sur le périmètre du territoire). C'est également en Garonne Montagnarde que des volumes dédiés au soutien d'étiage sont recensés, notamment sur le lac d'Oô où 8 millions de m³ sont réservés en 2022. Enfin, la Garonne Agenaise est aussi une commission géographique marquée par la présence de la centrale nucléaire de Golfech (dépendance à la ressource pour le refroidissement de centrale).

3.4 LES INDICATEURS D'EXPOSITION DES TERRITOIRES - FACTEURS CLIMATIQUES

3.4.1.1 Indicateurs des facteurs climatiques

Quatre indicateurs issus des données DRIAS 2020 ont été retenus. Pour rappel, ils présentent tous les évolutions attendues entre l'horizon 2050 et la période de référence 1976-2005 pour le scénario climatique pessimiste sélectionné par le GT Climat. Les indicateurs d'expositions sont les suivants :

- L'écart relatif de premier décile sur le débit (en %),
- L'écart de température moyenne journalière (en °C),
- L'écart relatif de cumul de précipitations (en %),
- L'écart relatif de cumul d'évapotranspiration réelle (en %).

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Ecart de premier décile sur le débit (en %)	-62	-64	-64	-60	-63	-63
Ecart de température moyenne journalière (en °C)	3,17	3,19	3,22	3,13	3,07	2,98
Ecart relatif de cumul de précipitations (en %)	-17	-13	-10	-10	-7	-5
Ecart relatif de cumul d'évapotranspiration réelle (en %)	0	-9	-7	-8	-7	-5

Tableau 10 : Indicateurs climatiques (ou d'exposition).

3.4.1.2 Interprétation des indicateurs

Sous l'effet du changement climatique, toutes les stations verront leur débit d'étiage diminuer nettement, ainsi une baisse des débits d'étiage d'environ -60% est prévue sur l'ensemble des commissions géographiques. La température moyenne sera également à la hausse de +3°C à l'horizon 2050 sur l'ensemble du périmètre du SAGE Garonne.

C'est au niveau des écarts relatifs de cumul de précipitations que l'on observe des données plus hétérogènes entre commission géographique, avec l'amont de la Garonne qui sera particulièrement impactée (jusqu'à -17% de cumul de précipitations par rapport aux années 1990). Concernant l'évapotranspiration réelle, elle semble diminuer pour l'ensemble des commissions géographiques, à l'exception de la Garonne Montagnarde. Les données annoncent une diminution de l'évapotranspiration réelle légèrement plus intense dans les 4 commissions géographiques centrales (Piémont, Débordante, Agenaise et Marmandaise).

3.5 LES SCORES DE VULNERABILITE

Les scores de vulnérabilité résultent du croisement des indicateurs de sensibilité avec les indicateurs d'exposition. Pour pouvoir analyser conjointement ces indicateurs qui présentent parfois des unités différentes, les indicateurs ont fait l'objet de normalisation favorisant la comparaison des enjeux entre commissions géographiques³⁸.

Note au lecteur : La normalisation conduit à un classement relatifs des indicateurs. En l'occurrence, la valeur « 0 » ne signifie pas que le territoire ne présente aucune sensibilité (ou aucune exposition) au changement climatique, mais la commission géographique en question est la moins sensible (ou exposée), relativement aux 5 autres commissions géographiques.

3.5.1.1 La biodiversité et les milieux aquatiques

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Indice de sensibilité	4	3	3	2	2	4
Indice d'exposition	4	5	5	2	3	3
Pénalité de base pour la gravité de l'état écologique	4	8	8	9	9	9
Score final de vulnérabilité	20	23	23	13	15	21

Tableau 11 : Indices et scores de vulnérabilité de la biodiversité et des milieux aquatiques.

³⁸ L'ensemble de la méthodologie qui inclut le passage par la normalisation, la moyennisation, la gradation (échelle de 1 à 5) et l'agrégation des indicateurs est étayé pour chaque usage de l'eau en annexe du présent rapport (présentation des tableaux de données).

Sur la base des indicateurs pris en compte dans le score de vulnérabilité de la biodiversité et des milieux aquatiques, on remarque une plus grande vulnérabilité au changement climatique dans les trois commissions en amont de la Garonne (Garonne Montagnarde, de Piémont et Débordante). Ces résultats s'expliquent par des niveaux de sensibilité et d'exposition plus élevés pour l'amont. Plus particulièrement, les nombreuses zones naturelles à fort intérêt et les multiples zones humides présentes en Garonne Montagnarde entraîneront une plus grande sensibilité des milieux naturels. Les niveaux d'artificialisation plus élevés en Garonne de piémont et en Garonne débordante expliquent aussi leurs indices de sensibilité. La Garonne Montagnarde, avec la Garonne de Piémont et la Garonne Débordante, sont les territoires qui seront les plus exposés à la réduction des débits d'étiage et à la hausse des températures moyennes journalières.

La Garonne Girondine présente aussi un niveau de sensibilité non-négligeable. C'est le territoire qui présente le plus de zones humides et où l'on constate des niveaux d'artificialisation conséquents. En raison de l'impact légèrement plus faible du changement climatique (notamment sur les écarts de température projetés), cette commission géographique ne ressortirait pas comme particulièrement vulnérable si l'on ne prenait pas en compte l'état écologique des masses d'eau. En effet, par l'ajout d'une pénalité de base de 9 points pour la gravité de l'état écologique de l'eau, la Garonne Girondine ressort alors comme une commission géographique très vulnérable. Sa position à l'aval du SAGE Garonne peut expliquer en partie l'état écologique plus dégradé qu'à l'amont. Ce constat fait aussi écho aux discussions des acteurs au cours des ateliers autour de la nécessité d'une solidarité amont-aval sur la vallée de la Garonne.

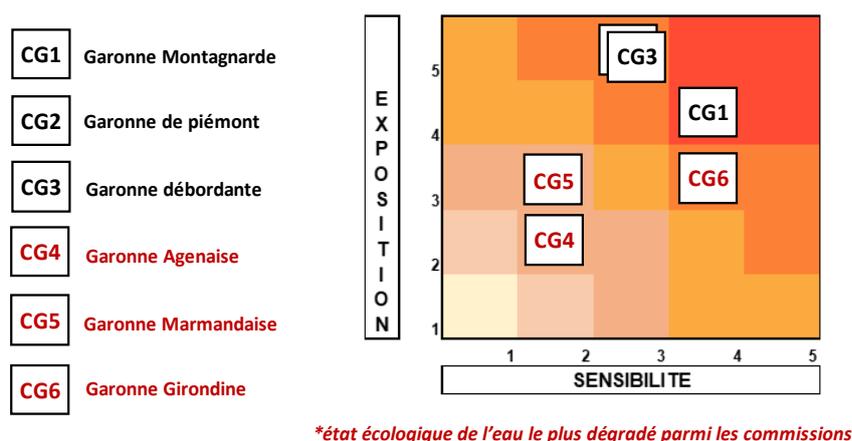


Figure 18 : Représentation de la vulnérabilité de la biodiversité et des milieux aquatiques

3.5.1.2 L'usage de l'eau à destination du secteur domestique

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Indice de sensibilité	3	5	3	2	2	2
Indice d'exposition	5	4	4	3	2	1
Pénalité de base pour la gravité de l'état chimique	1	3	3	3	2	2
Score final de vulnérabilité	16	23	15	9	6	4

Tableau 12 : Indices et scores de vulnérabilité pour l'usage de l'eau à destination du secteur domestique.

Sur la base des indicateurs choisis, c'est la commission géographique de la Garonne de Piémont qui ressort comme la plus vulnérable au changement climatique. Cela s'explique par son indice de sensibilité : le plus élevé des 6 commissions géographiques étudiées. C'est la commission géographique qui recense la plus grande population, avec près de 1 200 000 habitants (soit presque 65% de la population totale du périmètre). C'est aussi la commission géographique où la croissance démographique sera la plus élevée. Concernant les prélèvements par habitant pour l'alimentation en eau potable, il s'agit de la deuxième commission géographique la plus consommatrice d'eau par tête (avec 51 m³ par habitant), derrière la Garonne Agenaise (65 m³ par habitant).

Comme l'étayent les indicateurs climatiques, c'est à l'amont de la Garonne que les effets du changement climatique seront les plus importants, notamment en termes d'écart de cumul de précipitations et, dans une moindre mesure, d'écart de température moyenne journalière.

Enfin, c'est en Garonne de Piémont que l'on constate l'indice de gravité de l'état chimique de l'eau le plus élevé, suivi par la commission géographique de la Garonne débordante et de la Garonne Agenaise. Cela se traduit par une pénalité de base pour la gravité de l'état chimique de l'eau de 3 points pour ces trois commissions géographiques.

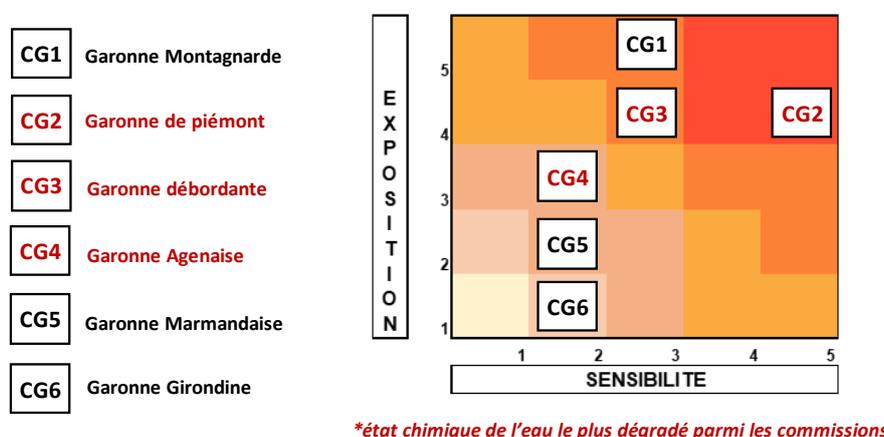


Figure 19 : Représentation de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur domestique

3.5.1.3 L'usage de l'eau à destination du secteur agricole

Les trois commissions géographiques qui présentent les scores de vulnérabilité les plus élevés sont la Garonne Débordante, la Garonne Agenaise et la Garonne de Piémont.

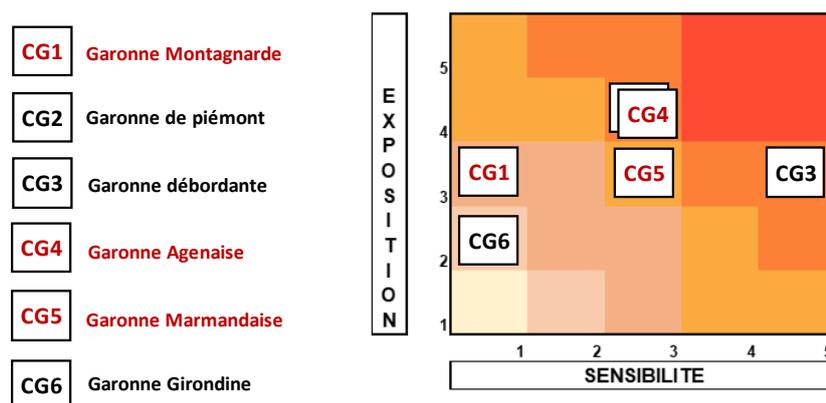
	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Indice de sensibilité	1	3	5	3	3	1
Indice d'exposition	3	4	3	4	3	2
Pénalité de base pour le risque d'érosion des sols	7	4	4	6	5	3
Score final de vulnérabilité	10	16	19	18	14	5

Tableau 13 : Indices et scores de vulnérabilité de l'usage de l'eau pour l'agriculture.

Pour la Garonne Débordante, cela s'explique par une sensibilité accrue par des prélèvements moyens annuel par hectare de SAU. En effet, sur la Garonne débordante, on estime la dépendance à la ressource à 312 m³ / hectare de SAU : un niveau bien plus élevé que les autres commissions géographiques avec 185, 163 et 158 m³/hectare de SAU pour la Garonne de Piémont, Agenaise et Marmandaise respectivement. En valeur absolue, les prélèvements moyens annuels sont aussi les plus élevés en Garonne débordante, avec plus de 21 millions de m³ prélevés annuellement (entre 2003 et 2020) en eau de surface et nappe alluviale. En Garonne de Piémont et en Garonne Marmandaise, on recense environ 13 millions de m³ annuellement prélevés, suivi par la Garonne Agenaise avec 8 millions de m³.

Pour l'exposition conjointe aux écarts d'évapotranspiration réelle et de précipitations, l'indice moyen obtenu ne reflète pas d'écarts significatifs entre les commissions géographiques. En d'autres termes, les écarts d'exposition entre commissions géographiques peuvent être considérés comme non-significatifs et viennent s'atténuer entre eux (par la moyennisation des indicateurs d'évapotranspiration réelle et de précipitations). Pour autant, un déficit hydrique accru des sols accompagnés d'une diminution de la pluviométrie annuelle cumulée est attendu sur l'ensemble du périmètre.

Enfin, les données fournies par le SMEAG et issues du projet 14 du PGE montrent que les commissions géographiques de la Garonne Montagnarde, de la Garonne Agenaise et de la Garonne Marmandaise présentent un risque d'érosion des sols relativement plus élevé, avec davantage de parcelles en sols nus et à plus fortes pentes.



**risque d'érosion des sols élevé relativement aux autres commissions géographiques*

Figure 20 : Représentation de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur agricole.

3.5.1.4 L'usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie

Tout d'abord, il s'agit d'un usage réparti de manière hétérogène sur la vallée de la Garonne, comme en témoigne l'indice moyen de sensibilité obtenu. L'essentielle de la production hydroélectrique annuelle moyenne se concentre sur la Garonne Montagnarde (avec une production d'environ 510 GWh par an) puis en Garonne de Piémont (environ 400 GWh par an). C'est aussi en Garonne Montagnarde que se concentre le seul volume réservé au soutien d'étiage du périmètre (8 millions de m³ sur le lac d'Oô).

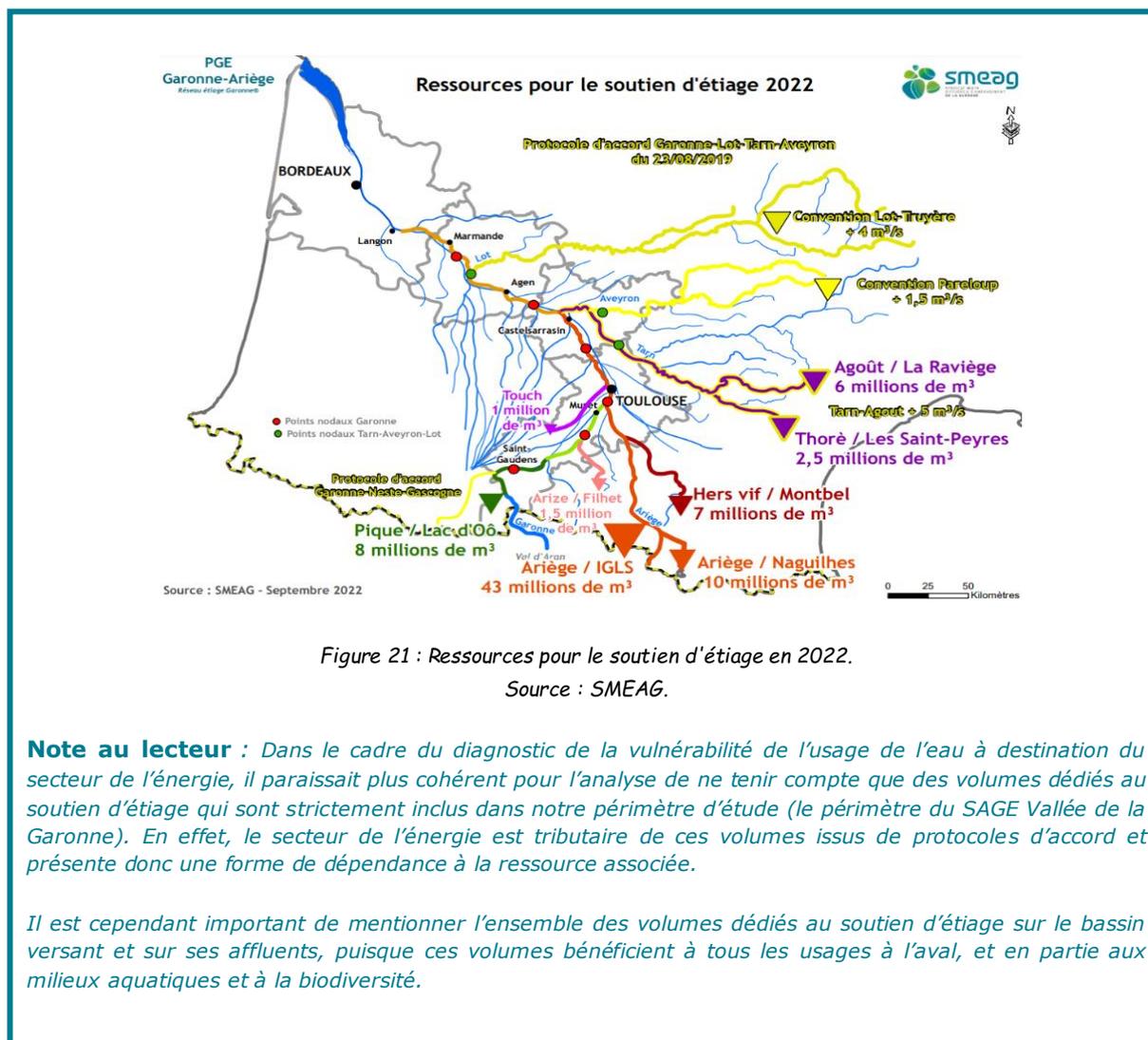


Figure 21 : Ressources pour le soutien d'été en 2022.
Source : SMEAG.

Note au lecteur : Dans le cadre du diagnostic de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie, il paraissait plus cohérent pour l'analyse de ne tenir compte que des volumes dédiés au soutien d'été qui sont strictement inclus dans notre périmètre d'étude (le périmètre du SAGE Vallée de la Garonne). En effet, le secteur de l'énergie est tributaire de ces volumes issus de protocoles d'accord et présente donc une forme de dépendance à la ressource associée.

Il est cependant important de mentionner l'ensemble des volumes dédiés au soutien d'été sur le bassin versant et sur ses affluents, puisque ces volumes bénéficient à tous les usages à l'aval, et en partie aux milieux aquatiques et à la biodiversité.

C'est ensuite en Garonne Agenaise qu'est localisée la seule centrale nucléaire du périmètre d'étude, la centrale nucléaire de Golfech, avec des besoins en eau de refroidissement important.

En termes d'exposition, les effets conjugués du changement climatique sur la baisse des débits d'été et sur la hausse de la température moyenne journalière s'annoncent légèrement plus impactant à l'amont de la Garonne qu'à l'aval. Néanmoins, cette analyse présente également des limites dans la mesure où les écarts d'exposition entre commission géographique restent marginaux. Les indicateurs présentent plutôt un effet global sur l'ensemble périmètre.

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Indice de sensibilité	4	2	1	3	1	1
Indice d'exposition	4	5	5	2	3	3
Score final de vulnérabilité	16	10	5	6	3	3

Tableau 14 : Indices et scores de vulnérabilité de l'usage de l'eau pour le secteur de l'énergie.

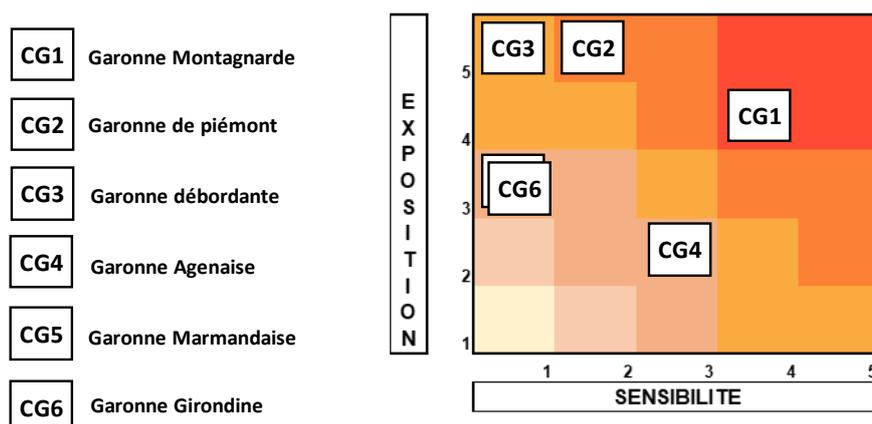


Figure 22 : Représentation de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur de l'énergie

Note au lecteur : L'application de la méthodologie s'est heurtée aux particularités de l'usage de l'eau pour le secteur de l'énergie, engendrant quelques limites dans le diagnostic mené. En effet, il s'agit d'un usage réparti de manière hétérogène sur le territoire : les résultats en termes de sensibilité de l'usage ne sont donc pas surprenants. De plus, l'emploi d'indicateurs locaux, à l'échelle du SAGE et des commissions géographiques, semblait parfois incohérent avec l'organisation même du secteur de l'énergie et de la production électrique (échelle nationale).

3.5.1.5 L'usage de l'eau à destination du secteur de l'industrie

Concernant la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur industriel, les scores les plus élevés sont ceux de la Garonne de Piémont, Montagnarde et Débordante. On remarque donc une plus forte vulnérabilité à l'amont du bassin.

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Indice de sensibilité	3	4	3	3	1	2
Indice d'exposition	5	4	4	3	2	1
Score final de vulnérabilité	15	16	12	9	2	2

Tableau 15: Indices et scores de vulnérabilité de l'usage de l'eau pour l'industrie.

Ce résultat provient d'un indice moyen de sensibilité plus élevé sur les 4 commissions géographiques de l'amont. Sur la base des indicateurs sélectionnés, la sensibilité est la plus élevée en Garonne de Piémont, la commission géographique où l'on recense la plus grande surface relative de gravières (0,59 hectare/km², contre 0,50 en Garonne Agenaise, 0,45 en Garonne Débordante, puis moins de 0,25 hectare/km² pour les autres commissions). La Garonne de Piémont est aussi la deuxième commission géographique en termes de prélèvements moyens annuels pour l'industrie en eau de surface et nappe alluviale (environ 5,8 millions de m³). Son niveau de prélèvement reste en deçà de celui de la Garonne Montagnarde, qui présente une forte dépendance à la ressource pour son industrie de papeterie (environ 20 millions de m³ par an).

En croisant ces résultats avec un indice d'exposition moyen plus élevé à l'amont qu'à l'aval (au regard des niveaux de précipitations qui s'annoncent en plus forte baisse à l'amont et des écarts de température moyenne journalière en hausse sur l'ensemble de la vallée de la Garonne), on obtient alors des scores de vulnérabilité supérieurs pour les trois commissions géographiques de la Garonne de Piémont, Montagnarde et Débordante.

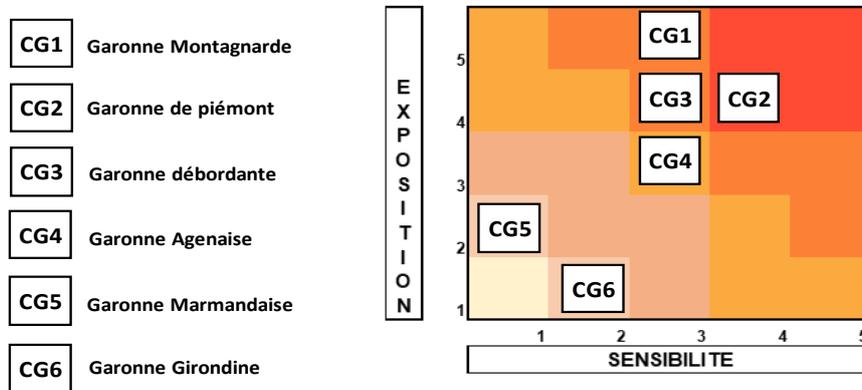


Figure 23 : Représentation de la vulnérabilité de l'usage de l'eau à destination du secteur de l'industrie.

4. Conclusions

L'ensemble des scores de vulnérabilité obtenus sont présentés ci-après. **Les scores entre les 5 volets d'études** (biodiversité, secteur domestique, agriculture, énergie et industrie) ont volontairement été séparés dans cette représentation car, comme rappelé en note d'avant-propos, ils n'ont **pas vocation à être comparés entre eux**.

	Biodiversité et milieux	Secteur domestique	Agriculture	Energie	Industrie
Garonne Montagnarde	20	16	10	16	15
Garonne de piémont	23	23	16	10	16
Garonne débordante	23	15	19	5	12
Garonne Agenaise	13	9	18	6	9
Garonne Marmandaise	15	6	14	3	2
Garonne Girondine	21	4	5	3	2

Figure 24 : Représentation des résultats du diagnostic de la vulnérabilité des usages.

Le tableau permet de **visualiser rapidement les zones de la vallée de la Garonne où la vulnérabilité de chaque usage sera plus préoccupante**.

- Ainsi, **la biodiversité et les milieux aquatiques s'annoncent davantage vulnérables aux effets du changement climatique à l'amont de la vallée de la Garonne et aussi particulièrement sur la Garonne Girondine**. Les territoires sont alors qualifiés de vulnérables en raison de la présence de milieux naturels à fort enjeu (zones naturelles d'intérêt faunistique et floristique, zones humides), en raison de niveaux d'artificialisation relativement plus importants et en raison des effets du changement climatique qui impacteront globalement la vallée de la Garonne (réduction du niveau moyen des débits d'étiage et hausse de la température moyenne).
- **L'usage de l'eau pour l'alimentation en eau potable s'annonce vulnérable à l'amont**, où l'exposition au changement climatique sera accrue en raison de la baisse plus importante des précipitations. Le niveau de vulnérabilité est aussi supérieur, en particulier pour les commissions géographiques avec une certaine densité de population et une croissance démographique conséquente à venir pour la commission géographique de Piémont où se trouve l'agglomération Toulousaine ainsi qu'une certaine difficulté de l'interconnexion des réseaux pour la commission géographique de la Garonne Montagnarde.
- **La vulnérabilité associée à l'usage de l'eau agricole s'annonce plus importante sur les commissions géographiques de Piémont, Débordante et Agenaise**. Il s'agit des commissions géographiques où l'agriculture irriguée et les prélèvements en eau de surface et nappe alluviale pour l'irrigation sont les plus élevés. Il s'agit aussi des commissions géographiques qui présentent les écarts relatifs de cumul d'évapotranspiration réelle les plus à la baisse, avec un déficit hydrique des sols accru dans le scénario climatique pessimiste sélectionné et à l'horizon H2 (2041-2070).

- **Les scores de vulnérabilité de l'usage de l'eau pour le secteur de l'énergie sont supérieurs à l'amont.** Concernant cet usage, les écarts en termes de vulnérabilité ne s'expliquent pas par une exposition hétérogène au changement climatique. La diminution moyenne des niveaux des débits d'étiage et la hausse du niveau des températures se traduisent plutôt en tendances globales à l'échelle du bassin de la Garonne. La vulnérabilité associée à cet usage s'explique davantage par une certaine hétérogénéité de sensibilité sur le territoire. L'usage est présent de manière hétérogène entre commission géographique, avec une production hydroélectrique concentrée sur la Garonne Montagnarde et de Piémont, des volumes dédiés au soutien d'étiage recensés en Garonne Montagnarde, et une centrale nucléaire qui dépend aussi de la ressource en Garonne Agenaise.
- Enfin, concernant **l'usage de l'eau à destination du secteur industriel, les scores de vulnérabilité sont naturellement plus prononcés à l'amont** où l'exposition au changement climatique s'annonce encore une fois accrue, notamment concernant les écarts de précipitation. C'est aussi à l'amont que se concentre le plus les prélèvements industriels en eau de surface et nappe alluviale, particulièrement en Garonne Montagnarde (avec l'industrie de la papeterie) et en Garonne de piémont (avec les zones d'activités industrielles plus ou moins connectées à l'agglomération Toulousaine). Enfin, c'est plutôt dans les trois commissions géographiques de Piémont, Débordante et Agenaise que l'on constate une plus grande présence des gravières.

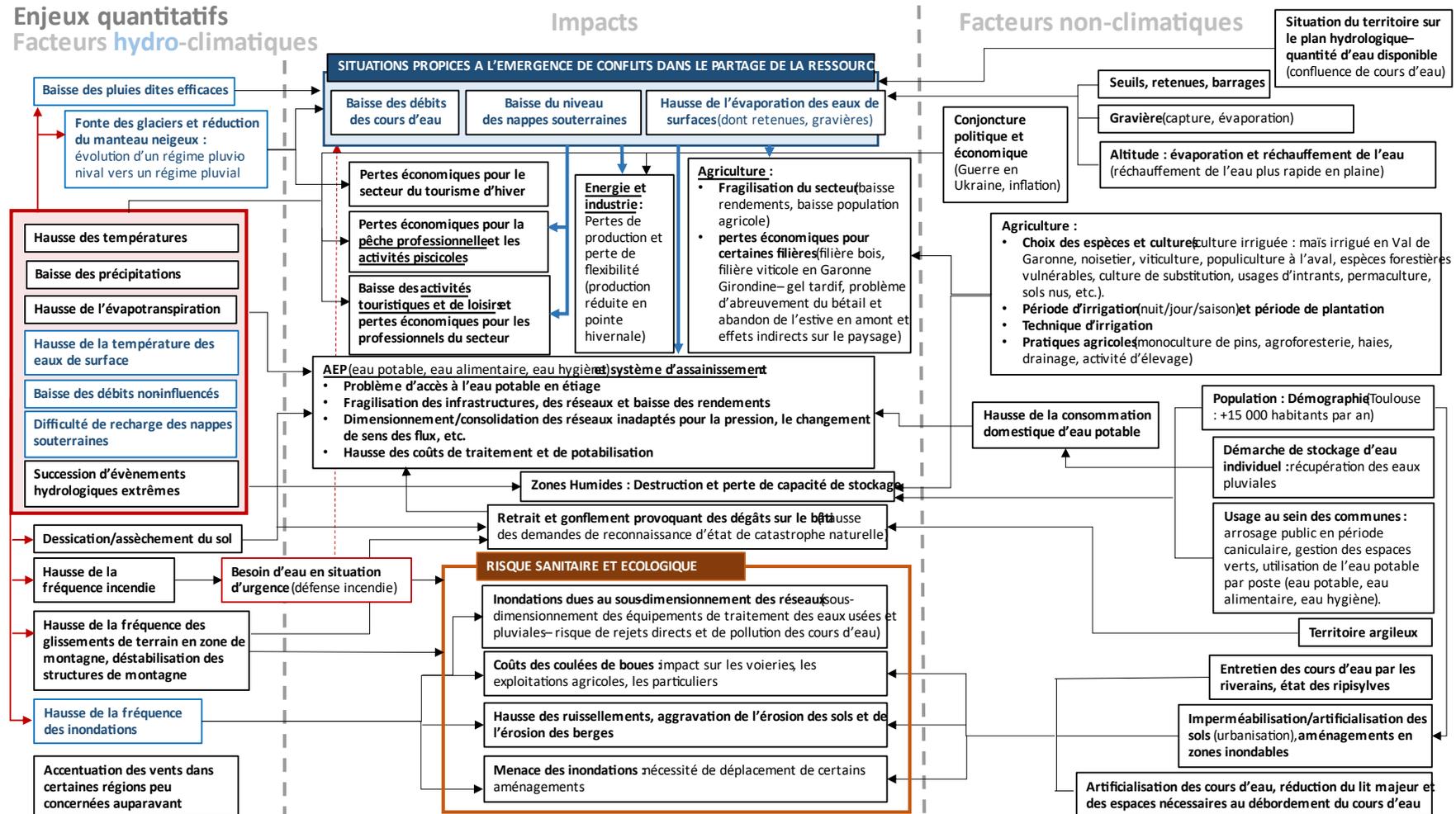
Même si l'ensemble des usages et l'ensemble des commissions géographiques seront impactés par les effets du changement climatique, les indicateurs retenus permettent d'obtenir une vision spécifique de la vulnérabilité parmi les multiples existantes.

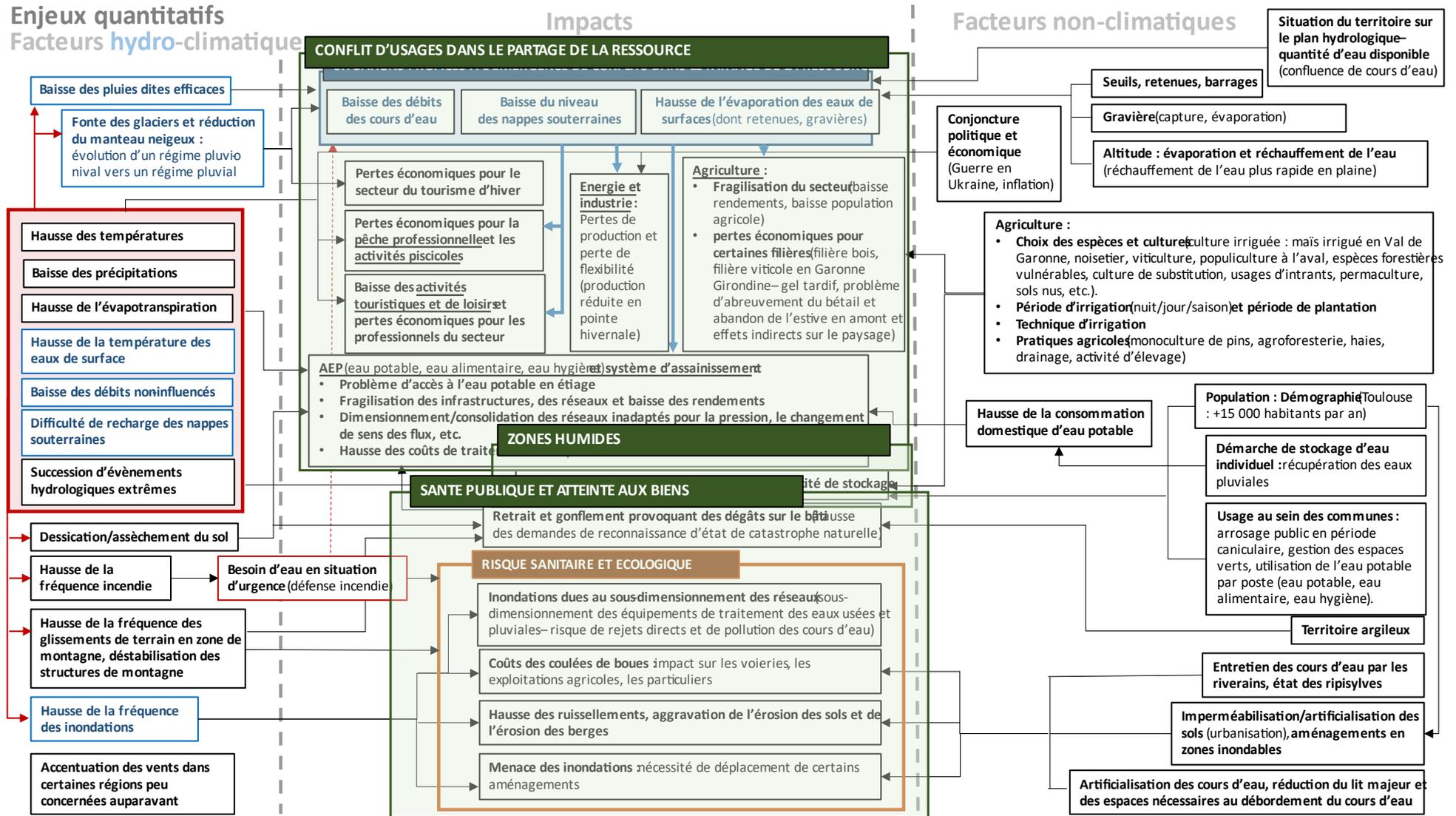
Ces résultats ont été obtenus en s'appuyant sur de nombreuses hypothèses qui ont été explicités dans ce rapport. **La vulnérabilité est une notion complexe, transversale et multifactorielle.** Ainsi, dans un souci de simplification et en vue de la réalisation d'un diagnostic lisible, de nombreuses dimensions de la vulnérabilité n'ont pas pu être intégrées aux chaînes d'impact et aux scores de vulnérabilité, en témoigne les cartes mentales résultant des ateliers de concertation (cf. Annexe). Ces cartes mentales illustrent toute la complexité des notions associées à la vulnérabilité, aux facteurs climatiques (exposition) et aux facteurs non-climatiques (sensibilité). Elles servent aussi à garder une trace des échanges qui ont pu être menés entre les acteurs et usagers de l'eau sur la vallée de la Garonne. Elles sont donc complémentaires aux chaînes d'impact et aux scores de vulnérabilité obtenus.

Ce diagnostic pourra nourrir la suite de la démarche menée dans le cadre de l'étude « *d'évaluation des impacts socio-économiques du changement climatique sur les usages de l'eau sur le périmètre du SAGE Garonne* ». En effet, les résultats seront présentés et serviront d'introduction aux **ateliers de phase 2 « Trajectoires d'adaptation »** où les acteurs et usagers de l'eau de la vallée de la Garonne devront identifier et prioriser les actions d'adaptation à mettre en œuvre sur le territoire.

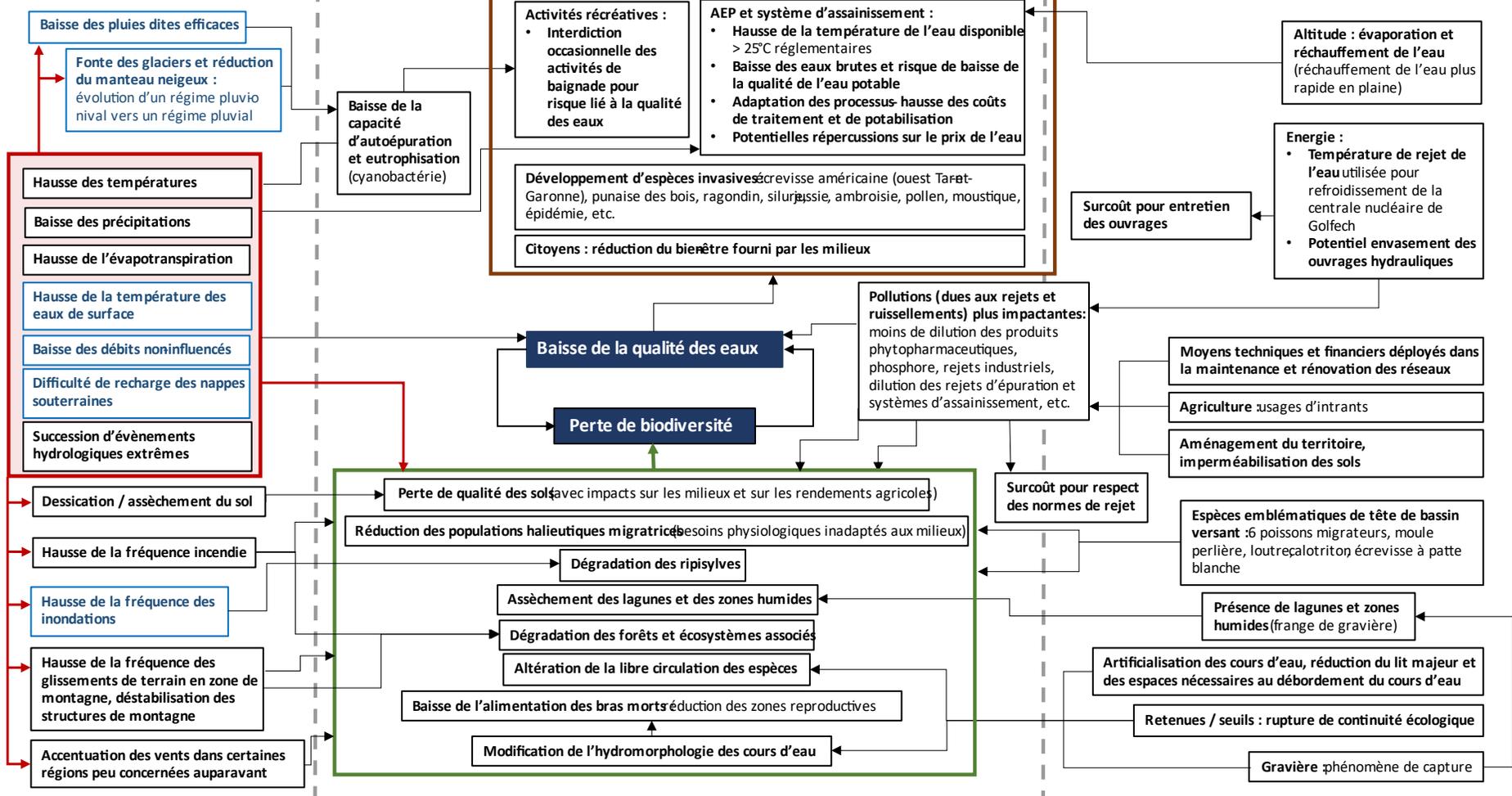
5. Annexes

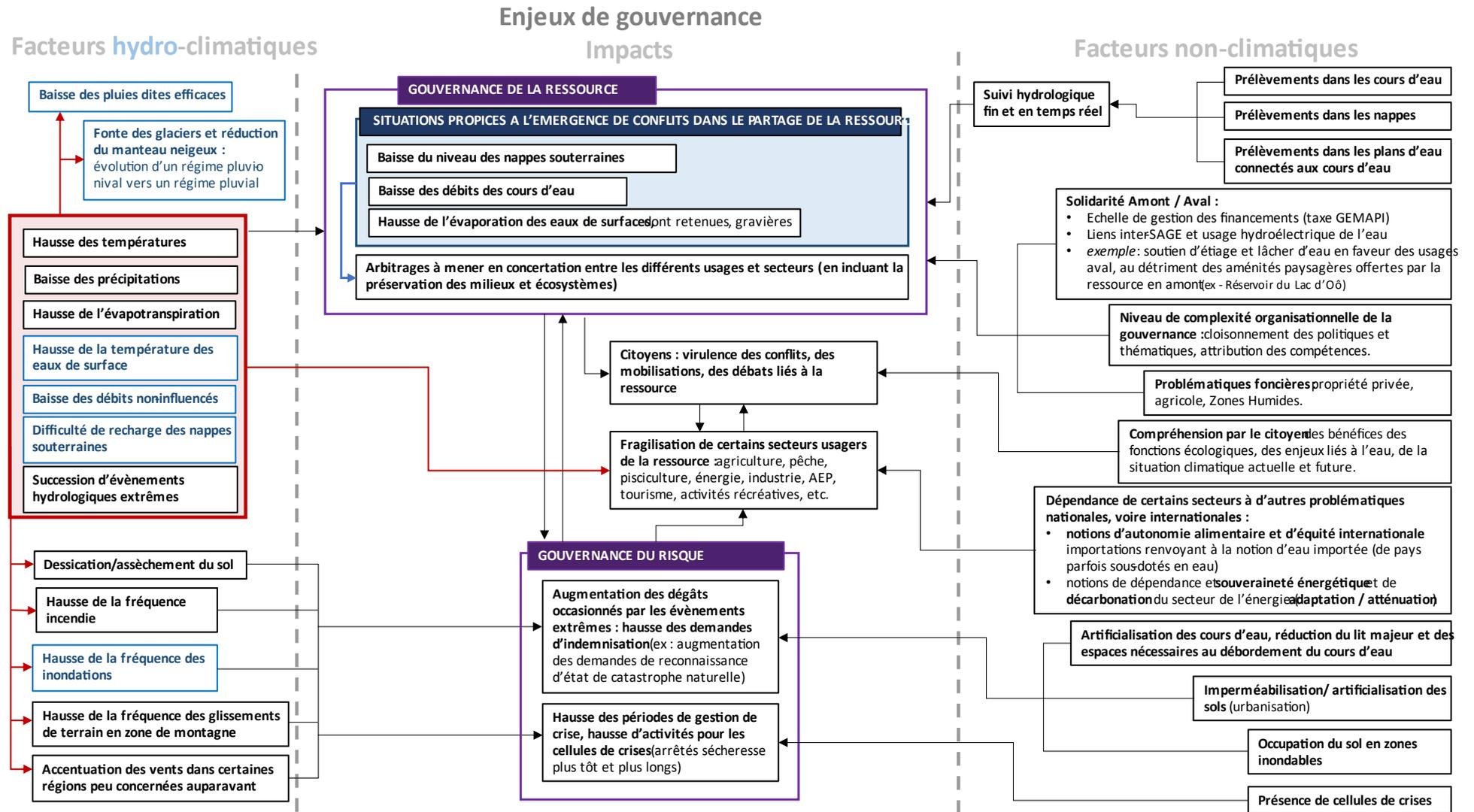
5.1 CARTES MENTALES - RESULTATS DES ATELIERS DE CONCERTATION

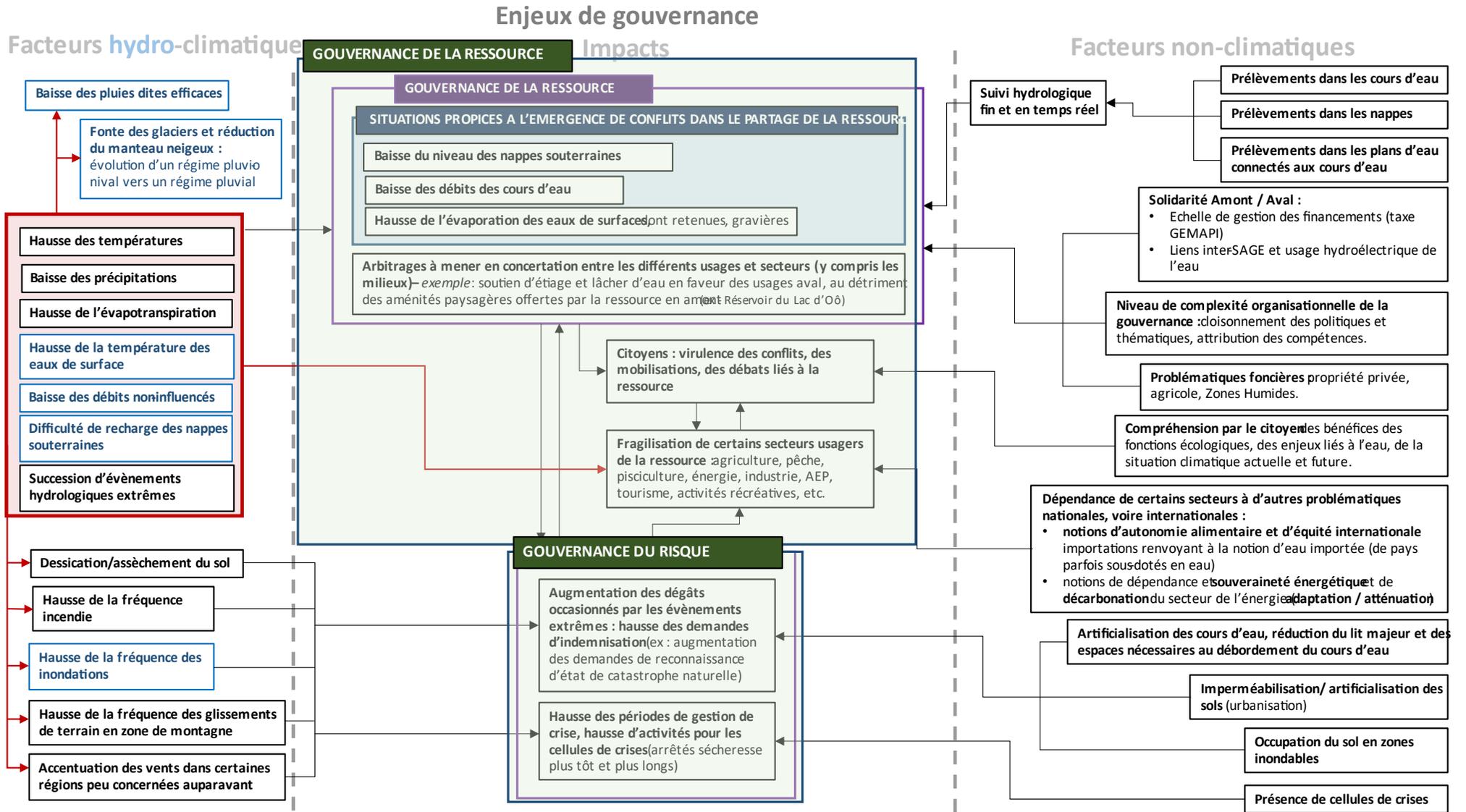




Enjeux qualitatifs et milieux
Facteurs hydro-climatiques







5.2 CALCUL DES SCORES DE VULNERABILITE

5.2.1 BIODIVERSITE ET MILIEUX AQUATIQUES

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Sensibilité						
Superficie de zones humides (ha)	2 256	661	1 558	596	2 151	2 454
Part de zone ZNIEFF de type I sur la superficie totale (en %)	46%	7%	6%	1%	1%	3%
Part surfacique d'artificialisation entre 2009 et 2021 (en %)	0,49%	2,10%	1,99%	1,38%	0,90%	1,93%
Indice normalisé : Superficie de zones humides (ha)	0,89	0,03	0,52	-	0,84	1,00
Indice normalisé : Part de zone ZNIEFF de type I sur la superficie totale (en %)	1,00	0,13	0,12	0,00	-	0,04
Indice normalisé : Part surfacique d'artificialisation entre 2009 et 2021 (en %)	0,00	1,00	0,93	0,55	0,26	0,89
Moyenne des indices de sensibilité	0,63	0,39	0,52	0,18	0,36	0,64
Indice de sensibilité (gradation de 1 à 5)	4	3	3	2	2	4
Exposition						
Ecart relatif de premier décile sur le débit (%)	-62	-64	-64	-60	-63	-63
Ecart de température moyenne journalière (°C)	3,17	3,19	3,22	3,13	3,07	2,98
Indice normalisé : Ecart relatif de premier décile sur le débit	0,50	1,00	1,00	0,00	0,75	0,75
Indice normalisé : Ecart de température moyenne journalière	0,79	0,87	1,00	0,62	0,37	0,00
Moyenne des indicateurs d'exposition	0,65	0,94	1,00	0,31	0,56	0,38
Indice d'exposition (gradation de 1 à 5)	4	5	5	2	3	3
Etat écologique						
Indice de gravité de l'état écologique de l'eau [0 ; 1]	0,27	0,53	0,56	0,62	0,60	0,59
Pénalité de base pour la gravité de l'état écologique de l'eau	4	8	8	9	9	9
Vulnérabilité						
Score final de vulnérabilité³⁹⁴⁰	20	23	23	13	15	21

³⁹ L'état écologique future des masses d'eaux est dépendant de l'état écologique actuel. Plus une masse d'eau aura un état écologique dégradé, plus elle sera sensible à l'évolution des facteurs climatiques. Pour rendre compte de ce phénomène, nous avons appliqué un indice de pénalité afin de mettre en avant la sévérité des facteurs climatiques sur le score final de la vulnérabilité.

⁴⁰ Score de vulnérabilité = indice de sensibilité * indice d'exposition + pénalité de base pour la gravité de l'état écologique de l'eau.

5.2.2 USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DOMESTIQUE

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Sensibilité						
Population totale en 2015	65 640	1 190 439	193 641	124 386	104 939	174 487
Estimation de la croissance démographique à horizon 2050 (%)	19%	20%	21%	12%	12%	16%
Prélèvements moyens annuels pour l'AEP par habitant (m3/hab)	48	51	22	65	28	0
Indice normalisé : Population totale en 2015	-	1,00	0,11	0,05	0,03	0,10
Indice normalisé : croissance démographique	0,77	0,90	1,00	-	0,01	0,48
Indice normalisé : Prélèvements moyens annuels pour l'AEP par habitant	0,73	0,79	0,34	1,00	0,43	-
Moyenne des indicateurs de sensibilité	0,50	0,90	0,48	0,35	0,16	0,19
Indice de sensibilité (gradation de 1 à 5)	3	5	3	2	2	2
Exposition						
Ecart relatif de cumul de précipitations (%)	-17	-13	-10	-10	-7	-5
Ecart de température moyenne journalière (°C)	3,17	3,19	3,22	3,13	3,07	2,98
Indice normalisé : Ecart relatif de cumul de précipitations	1,00	0,67	0,42	0,42	0,17	0,00
Indice normalisé : Ecart de température moyenne journalière	0,79	0,87	1,00	0,62	0,37	0,00
Moyenne des indicateurs d'exposition	0,90	0,77	0,71	0,52	0,27	0,00
Indice d'exposition (gradation de 1 à 5)	5	4	4	3	2	1
Etat écologique						
Indice de gravité de l'état chimique de l'eau [0 ; 1]	0,09	0,23	0,17	0,17	0,12	0,13
Pénalité de base pour la gravité de l'état chimique de l'eau	1	3	3	3	2	2
Vulnérabilité						
Score final de vulnérabilité	16	23	15	9	6	4

5.2.3 USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR AGRICOLE

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Sensibilité						
Prélèvements moyens annuels superficiels pour l'irrigation (m3)	2 678 590	13 137 191	21 281 552	8 537 473	13 413 151	389 309
Estimation de la SAU totale (ha)	81 310	70 887	68 188	52 427	84 847	25 569
Prélèvements moyens annuels superficiels/SAU totale (m3/ha)	33	185	312	163	158	15
Indice normalisé : Prélèvements moyens annuels superficiels/SAU totale	0,06	0,57	1,00	0,50	0,48	-
Indice de sensibilité (gradation de 1 à 5)	1	3	5	3	3	1
Exposition						
Ecart relatif de cumul de précipitations (%)	-17	-13	-10	-10	-7	-5
Ecart relatif de cumul d'évapotranspiration réelle (%)	0,00	-9,00	-7,00	-8,00	-7,00	-5,00
Indice normalisé : Ecart relatif de cumul de précipitations	1,00	0,67	0,42	0,42	0,17	0,00
Indice normalisé : Ecart relatif de cumul d'évapotranspiration réelle	0,00	1,00	0,78	0,89	0,78	0,56
Moyenne des indicateurs d'exposition	0,50	0,83	0,60	0,65	0,47	0,28
Indice d'exposition (gradation de 1 à 5)	3	4	3	4	3	2
Risque d'érosion des sols						
Notation de risque d'érosion des sols ⁴¹ [0 ; 1]	0,44	0,29	0,23	0,39	0,34	0,17
Pénalité de base pour le risque accru d'érosion des sols	7	4	4	6	5	3
Vulnérabilité						
Score final de vulnérabilité	10	16	19	18	14	5

⁴¹ L'indicateur de risque d'érosion a été calculé pour rendre compte du risque moyen de l'érosion ramené à l'hectare, neutralisant de ce fait la superficie de la commission géographique. Ainsi, si deux CG avaient une superficie différente pour un risque d'érosion identique, celles-ci présenteraient un gradient de risque d'érosion identique.

5.2.4 USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DE L'ENERGIE

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Sensibilité						
Nombre de centrale nucléaire	-	-	-	1	-	-
Production moyenne annuelle hydroélectrique (GWh)	511	402	13	292	-	-
Volumes destinés au soutien d'étiage en 2022 (million de m3)	8	-	-	-	-	-
Indice normalisé : centrale nucléaire	-	-	-	1	-	-
Indice normalisé : production hydroélectrique	1,00	0,79	0,03	0,57	-	-
Indice normalisé : volumes destinés au soutien d'étiage	1	-	-	-	-	-
Moyenne des indicateurs de sensibilité	0,67	0,26	0,01	0,52	-	-
Indice de sensibilité (gradation de 1 à 5)	4	2	1	3	1	1
Exposition						
Ecart relatif de premier décile sur le débit (%)	-62	-64	-64	-60	-63	-63
Ecart de température moyenne journalière (°C)	3,17	3,19	3,22	3,13	3,07	2,98
Indice normalisé : Ecart relatif de premier décile sur le débit	0,50	1,00	1,00	0,00	0,75	0,75
Indice normalisé : Ecart de température moyenne journalière	0,79	0,87	1,00	0,62	0,37	0,00
Moyenne des indices d'exposition	0,65	0,94	1,00	0,31	0,56	0,38
Indice d'exposition (gradation de 1 à 5)	4	5	5	2	3	3
Vulnérabilité						
Score final de vulnérabilité	16	10	5	6	3	3

5.2.5 USAGE DE L'EAU A DESTINATION DU SECTEUR DE L'INDUSTRIE

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Sensibilité						
Prélèvements moyens annuels pour l'industrie (m3)	19 969 864	5 806 300	453 132	142 511	1 257 136	393 022
Surface relative de gravière (ha/km2)	0,08	0,59	0,45	0,50	0,15	0,21
Indice normalisé : prélèvements moyens annuels pour l'industrie	1,00	0,29	0,02	-	0,06	0,01
Indice normalisé : surface relative de gravière	-	1,00	0,73	0,82	0,13	0,26
Moyenne des indicateurs de sensibilité	0,50	0,64	0,38	0,41	0,09	0,14
Indice de sensibilité (gradation de 1 à 5)	3	4	3	3	1	2
Exposition						
Ecart relatif de cumul de précipitations (%)	-17	-13	-10	-10	-7	-5
Ecart de température moyenne journalière (°C)	3,17	3,19	3,22	3,13	3,07	2,98
Indice normalisé : Ecart relatif de cumul de précipitations	1,00	0,67	0,42	0,42	0,17	0,00
Indice normalisé : Ecart de température moyenne journalière	0,79	0,87	1,00	0,62	0,37	0,00
Moyenne des indicateurs d'exposition	0,90	0,77	0,71	0,52	0,27	0,00
Indice d'exposition (gradation de 1 à 5)	5	4	4	3	2	1
Vulnérabilité						
Score final de vulnérabilité	15	16	12	9	2	2

5.2.6 LES INDICATEURS DE SENSIBILITE

	Garonne Montagnarde	Garonne de piémont	Garonne débordante	Garonne Agenaise	Garonne Marmandaise	Garonne Girondine
Prélèvements moyens annuels superficiels pour l'AEP (m3)	3 123 225	61 241 129	4 301 164	8 101 093	2 926 051	-
Population	65 640	1 190 439	193 641	124 386	104 939	174 487
Estimation de la croissance démographique (%)	19%	20%	21%	12%	12%	16%
Prélèvements moyens annuels pour l'AEP par habitant (m3)	48	51	22	65	28	-