



Réalisation des cartes de vulnérabilité au changement climatique sur le bassin Loire-Bretagne

Le présent document est un intermédiaire entre

- La présentation de la vulnérabilité au changement climatique qui est incluse dans le projet de plan de bassin d'adaptation au changement climatique;
- Le rapport d'étude complet. Ce document est disponible sur le site internet de l'agence de l'eau.

Il présente la méthode et la réalisation des cartes de façon détaillée, sans toutefois expliciter le détail des calculs.

Contenu

1. Contexte	2
2. Définition de la vulnérabilité	2
3. Méthode de calcul	3
4. Vulnérabilité par indicateur	5
4.1. <i>Disponibilité en eau</i>	5
4.1.1. Exposition	5
4.1.2. Sensibilité.....	6
4.1.3. Vulnérabilité	7
4.2. <i>Bilan hydrique des sols en fin d'été</i>	8
4.2.1. Exposition	8
4.2.2. Sensibilité.....	9
4.2.3. Vulnérabilité	10
4.3. <i>Biodiversité des milieux aquatiques</i>	11
4.3.1. Exposition	11
4.3.2. Sensibilité.....	13
4.3.3. Vulnérabilité	15
4.4. <i>Capacité d'autoépuration des milieux aquatiques</i>	17
4.4.1. Exposition	17
4.4.2. Sensibilité.....	17
4.4.3. Vulnérabilité	19
5. Conclusion de l'analyse de la sensibilité actuelle et de la vulnérabilité	19

1. Contexte

L'état des lieux du bassin Loire-Bretagne adopté par le comité de bassin en décembre 2013 révèle la sensibilité de certains territoires à différents enjeux : pression de prélèvement, continuité écologique, qualité des eaux... Certaines situations sont déjà préoccupantes aujourd'hui, en particulier en matière de volume disponible de la ressource en eau. C'est le cas par exemple là où le Sdage a défini des dispositions spécifiques, notamment dans les zones de répartition des eaux. Cette sensibilité est généralement une des causes de l'état « moins que bon » dans lequel se trouvent les masses d'eau de ces territoires.

Le plan d'adaptation au changement climatique fait une photographie de la sensibilité dans la situation actuelle, telle que l'état des lieux 2013 et le Sdage 2016-2021 l'ont établie. Il la projette dans l'avenir pour regarder comment évolue cette sensibilité, face aux scénarios possibles d'évolution du climat. Cela revient à se demander si la sensibilité actuelle va s'aggraver ou se réduire suite au changement climatique. L'évolution sera-t-elle la même pour tous les territoires ou le changement climatique entraînera-t-il des disparités nouvelles ? Les conséquences seront-elles les mêmes pour tous les enjeux sur un même territoire ou certains subiront-ils une aggravation plus préoccupante ?

2. Définition de la vulnérabilité

Pour répondre à ces questions, la sensibilité actuelle du bassin Loire-Bretagne a été analysée en examinant quatre indicateurs qui décrivent la ressource en eau et les milieux aquatiques. Ces indicateurs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Enjeu	Diagnostic à exprimer
Disponibilité en eau	incidences du changement climatique sur les équilibres quantitatifs superficiels en situation d'étiage
Bilan hydrique des sols	incidences du changement climatique sur le bilan hydrique des sols pour l'agriculture
Biodiversité des milieux aquatiques et humides	incidences sur l'aptitude des territoires à conserver la biodiversité remarquable de leurs milieux aquatiques et humides
Niveau trophique des eaux	incidences du changement climatique sur la capacité d'autoépuration des cours d'eau

	<p>La <i>disponibilité de la ressource en eau dans les cours d'eau</i> dépend de la répartition des pluies dans le temps et l'espace et donc des débits transitant dans les nappes et les cours d'eau.</p> <p>Le <i>bilan hydrique des sols</i> reflète le risque de sécheresse des sols en fonction de la température et de la pluviométrie.</p> <p>La <i>biodiversité des milieux aquatiques</i> en relation avec les cours d'eau, prend en compte la végétation bordant les cours d'eau (ripisylve) ou les zones humides en connexion avec eux.</p> <p>La <i>capacité d'autoépuration des milieux aquatiques</i> assure une partie de l'épuration des eaux et donc de leur qualité.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Pour chacun de ces indicateurs, l'étude analyse :

- la **sensibilité**, qui correspond à la situation actuelle des milieux et des usages de l'eau à partir des données utilisées pour l'état des lieux 2013 ;
- l'**exposition**, qui correspond aux caractéristiques futures possibles du climat et de l'hydrologie à partir des résultats de l'étude nationale Explore 2070¹ ;
- la **vulnérabilité**, qui correspond à cette même situation actuelle mais confrontée au climat de demain.

La démarche consiste à répondre à la question suivante : **à quelle situation devrions-nous faire face pour chacune de ces sensibilités, si nous subissions déjà aujourd'hui le climat potentiel de demain ? Quelle est alors la vulnérabilité de notre territoire vis-à-vis du climat de demain ?**

Cette analyse de la vulnérabilité reprend la méthode mise au point dans le bassin Rhône-Méditerranée en 2013, dans le cadre de la préparation de leur plan d'adaptation.

¹ MEDDE - ministère de l'écologie, de développement durable et de l'énergie (2012). Explore 2070, Rapports d'étude disponibles sur le site : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-strategies-d.html>

3. Méthode de calcul

La méthode d'évaluation de la vulnérabilité se fonde sur les résultats de l'étude nationale Explore 2070. Le bassin a ainsi été découpé en 23 secteurs, et ce sont 14 évolutions possibles du climat qui ont été utilisées.



Carte du découpage du bassin en 23 secteurs d'étude

Cette démarche choisit de conserver les usages tels qu'ils sont aujourd'hui et de ne faire évoluer que le climat, afin de limiter les facteurs d'incertitude au seul climat et de conserver nos références actuelles sur les usages ou les milieux, et donc sur les solutions possibles à mettre en place dès maintenant. L'incertitude sur le climat futur apparaît en appliquant 14 évolutions possibles du climat (via 7 modèles) et de l'hydrologie des cours d'eau (via 2 modèles) qui ont été simulées dans le cadre de la démarche nationale de référence « Explore 2070 ». Cette étude Explore a utilisé des données sur des stations locales et agrégé les résultats à l'échelle de « territoires » au nombre de 23 sur le bassin Loire-Bretagne. Les résultats de la sensibilité actuelle et de la vulnérabilité sont donc restitués sur ces 23 secteurs Explore.

La démarche restitue la diversité de l'impact de chacune des 14 évolutions possibles du climat et de l'hydrologie sur lesquelles repose l'étude Explore, et ce à l'échelle de chacun des 23 secteurs, en présentant la sensibilité des secteurs puis leur vulnérabilité. C'est l'analyse de l'exposition qui permet de passer de l'un à l'autre.

La **sensibilité**, qui décrit la situation actuelle, est représentée avec un dégradé de bleu.



Selon les indicateurs, la sensibilité est fondée sur les volumes prélevés, des zonages réglementaires, des données sur l'hydromorphologie des cours d'eau,...

L'**exposition**, qui présente les évolutions possibles du climat, est représentée avec un dégradé de rouge.

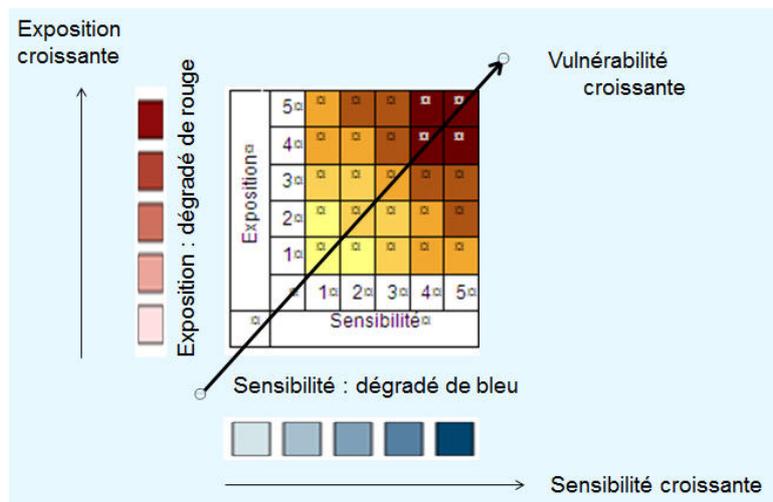


Selon les indicateurs, l'exposition est fondée sur des variables :

- Climatiques : évolution de la température, des précipitations, de l'évapo-transpiration potentielle (ETP)
- Hydro-climatiques : débits mensuels, module (ou débit annuel), QMNA (ou débit moyen du mois le plus sec avec une certaine période de retour, VCN30 (ou débit le plus faible sur 30 jours consécutifs, avec une certaine période de retour).

L'étude Explore compare la valeur d'une variable projetée à l'horizon 2046-2065, avec la valeur de référence de cette variable sur la période 1960-1990.

La **vulnérabilité**, qui décrit le croisement de la sensibilité et de l'exposition, est représentée avec un dégradé de marron. Elle est calculée avec la règle suivante :



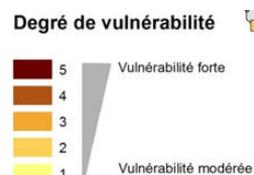
Au niveau d'un secteur, ce croisement est fait pour chacune des expositions possibles. On obtient alors autant de valeurs possibles de la vulnérabilité pour ce secteur qu'il y a de possibilités pour l'exposition.

S'il y a 7 valeurs possibles pour l'exposition, on obtient 7 valeurs de vulnérabilité sur le secteur : c'est le cas lorsque l'exposition est fondée sur une variable climatique, car l'étude Explore a utilisé 7 modèles climatiques.

S'il y a 14 valeurs possibles pour l'exposition, on obtient 14 valeurs de vulnérabilité sur le secteur : c'est le cas lorsque l'exposition est fondée sur une variable hydro-climatique, car l'étude Explore a utilisé 2 modèles hydrologiques, croisés avec chacun des 7 modèles climatiques.

Le niveau de vulnérabilité pour chacune des 14 (ou 7) évolutions est présenté sous la forme d'une barrette comprenant 14 (ou 7) cases (une case par évolution possible), barrette figurant sur chacun des 23 secteurs du bassin.

Pour chaque scénario, la vulnérabilité peut prendre une valeur de 1 (modérée) à 5 (forte) selon l'échelle ci-contre :



Les résultats sont représentés sur chaque secteur sous forme d'une barrette. Dans l'exemple ci-dessous, la vulnérabilité varie de 1 à 4 pour les 14 valeurs possibles de l'exposition.



Ensuite, le résultat des 14 évolutions est agrégé en une seule valeur, selon une méthode à trois classes qui met en lumière les situations les plus préoccupantes :

- vulnérabilité « élevée » si plus de la moitié des évolutions (ou projections du climat dans le futur) présente une vulnérabilité de 4 ou 5,
- vulnérabilité moyenne si plus de la moitié des évolutions (ou projections du climat dans le futur) présente une vulnérabilité de 3, 4 ou 5,
- vulnérabilité faible pour les autres secteurs.

Chacune des trois classes correspond à une couleur qui est donnée à l'ensemble du secteur :

Élevée	Vulnérabilité élevée (4 ou 5) pour plus de la moitié des projections
Moyenne	Vulnérabilité moyenne à élevée (3, 4 ou 5) pour plus de la moitié des projections
Faible	Secteurs nécessitant des actions d'adaptation génériques et flexibles

Nota : la vulnérabilité « faible » est accordée aux résultats qui ne sont pas dans les deux autres classes

4. Vulnérabilité par indicateur

4.1. Disponibilité en eau

La disponibilité en eau sera mise à mal avec le changement climatique, avec un effet de ciseau entre une demande qui augmente, notamment en agriculture, et une ressource moins abondante, notamment à l'été.

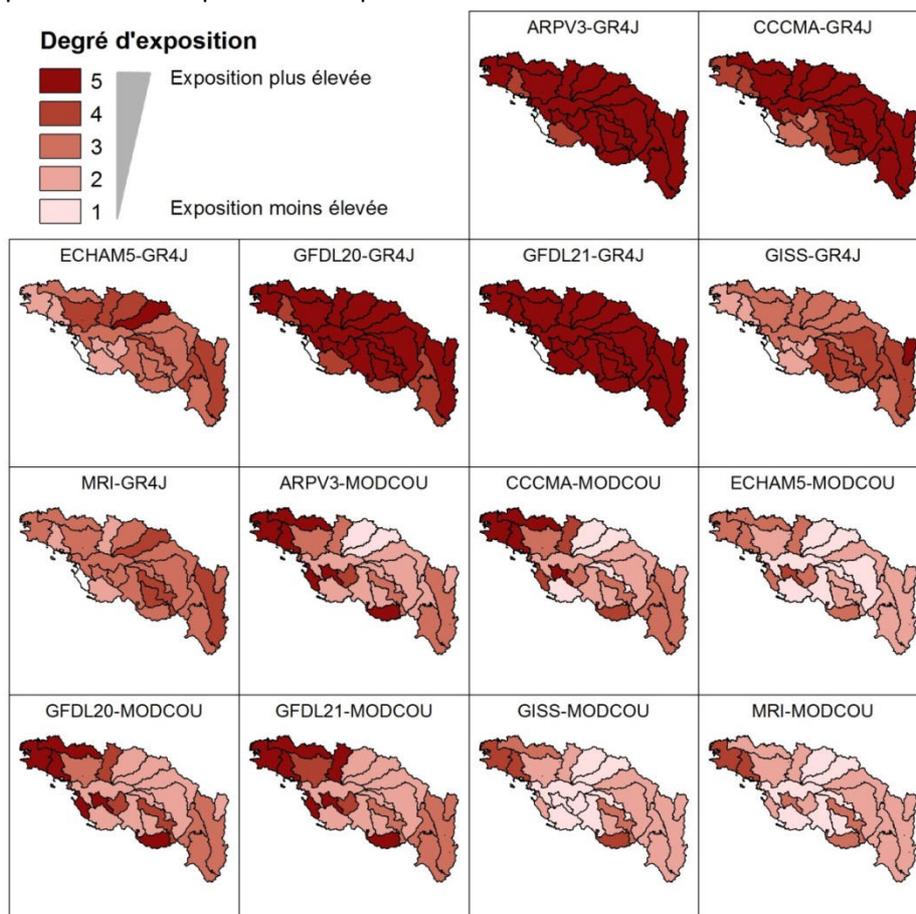
4.1.1. Exposition

L'exposition pour cet indicateur prend en compte différents scénarios d'évolution du débit d'été. La variable retenue pour évaluer l'exposition des territoires vis-à-vis de cet enjeu est le débit moyen mensuel minimum de période de retour 2 ans, ou QMNA2.

Exposition	Δ QMNA2
1- Très faible	> -10 %
2- Faible	-10 à -25 %
3- Moyenne	-25 à -40 %
4- Forte	-40 à -50 %
5- Très forte	< -50 %

Méthode de calcul des scores d'exposition par secteur d'étude pour l'indicateur « disponibilité en eau » à partir des projections d'évolution de QMNA2 calculées par secteur d'étude

Les 14 valeurs possibles de l'exposition sont présentées ci-dessous :



Exposition pour l'indicateur « disponibilité en eau » pour les 14 scénarios d'évolution de débits (7 modèles climatiques et 2 modèles hydrologiques).

4.1.2. Sensibilité

La sensibilité de cet indicateur est décrite par la pression de prélèvement qui s'exerce à l'étiage sur les milieux aquatiques, selon la même analyse que pour l'état des lieux² adopté en 2013. Cette pression de prélèvement a été calculée à partir des données de prélèvements et de débits d'une année où les prélèvements ont été d'un niveau moyen sur l'ensemble du bassin (l'année 2009 correspond le mieux à cette situation). Les prélèvements en cours d'eau ont été pris en compte à 100%, les prélèvements en nappe libre à 80%, et les prélèvements dans les nappes profondes n'ont pas été pris en compte. La consommation a ensuite été calculée à partir des prélèvements avec les ratios couramment utilisés par usage : 100 % de consommation pour l'irrigation, 35% pour l'AEP, 12% pour l'industrie. Ces consommations annuelles ont été ramenées à un débit journalier selon la même méthode que dans l'état des lieux de 2013 et comparées au QMNA₅ (débit moyen du mois le plus sec de fréquence quinquennale) de chaque masse d'eau.

L'impact des pressions de prélèvement par masse d'eau a ensuite été qualifié en 4 niveaux (d'inexistant à fort) selon la grille ci-dessous.

Débit consommé/QMNA5	Niveau d'impact
0	Inexistant
5 %	Faible
5 à 20 %	Moyen
> 20 %	Fort

Niveau d'impact des pressions de prélèvement en fonction du rapport entre débit consommé et QMNA5.

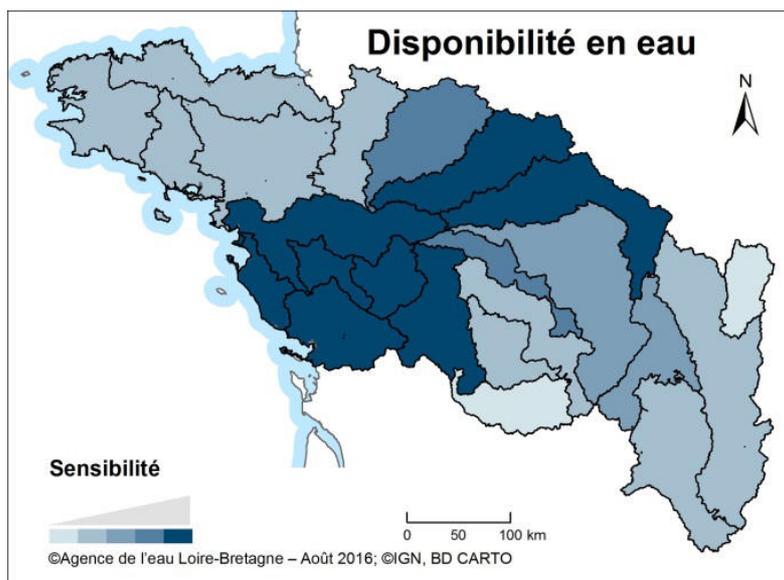
Ensuite la sensibilité a été évaluée à l'échelle de chaque secteur Explore en considérant la part de linéaire de cours d'eau (des masses d'eau) dans chacun des 4 niveaux d'impact, comme indiqué ci-dessous.

Sensibilité	Condition sur le pourcentage de linéaire de cours d'eau
5	Impact moyen + fort > 50% et impact fort > 25%
4	Impact moyen + fort >50% et impact fort <25% OU impact moyen + fort > 33% et impact fort >25%
3	Impact moyen + fort > 33% et impact fort <25% OU impact moyen + fort entre 20 et 33% et impact fort >25%
2	Impact moyen + fort entre 10 et 20%
1	Impact moyen + fort <10%

Score de sensibilité en fonction du pourcentage de linéaire de cours d'eau (des masses d'eau) dans chacun des 4 niveaux d'impact des pressions de prélèvement.

² AELB – Agence de l'eau Loire Bretagne (2013). Etat des lieux du bassin Loire Bretagne établi en application de la directive cadre sur l'eau. Adopté le 12 décembre 2013 par le comité de bassin Loire Bretagne

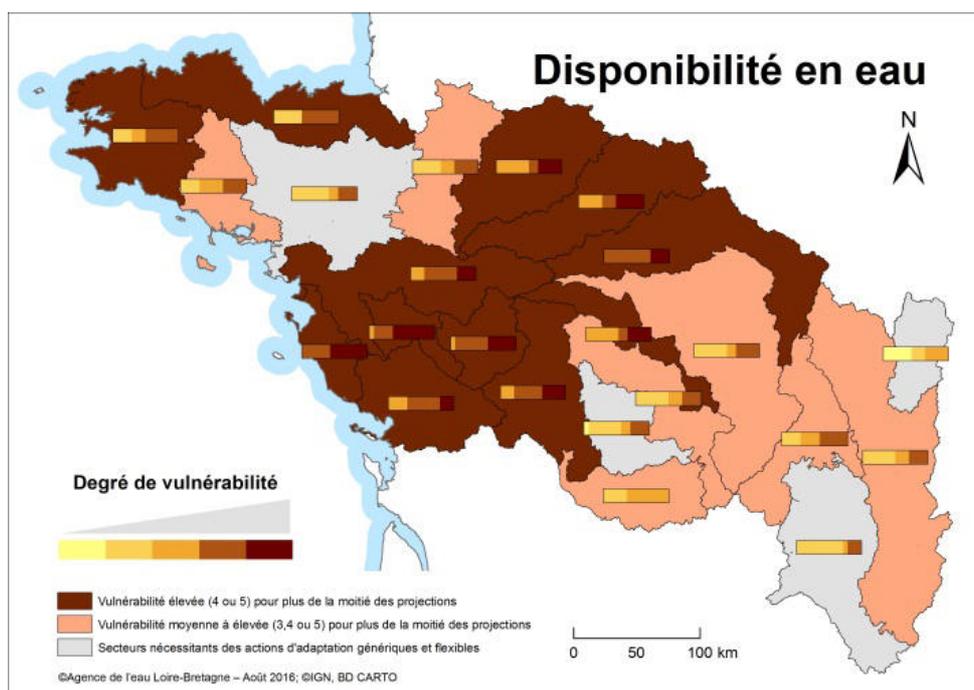
La sensibilité pour l'indicateur « disponibilité en eau » est la suivante :



Carte de la sensibilité de la disponibilité de la ressource en eau

4.1.3. Vulnérabilité

La vulnérabilité est obtenue en croisant la sensibilité et l'exposition, selon la méthode explicitée plus haut.



Carte de la vulnérabilité de la disponibilité en eau

Une première analyse montre que la sensibilité actuelle la plus forte constatée s'étend, dans le futur, à d'autres secteurs du bassin : vallée de l'Indre, Bretagne Nord et Ouest. La situation devient plus préoccupante sous l'effet du changement climatique.

Les secteurs du centre du bassin (la Loire aval et la Loire moyenne, le Loir, la Sèvre nantaise, le Thouet, la Vienne et les secteurs côtiers vendéens) sont fortement vulnérables dans la majorité des scénarios d'exposition, du fait d'une sensibilité actuelle élevée. Il en est de même pour l'Indre et la Sarthe, avec un score de sensibilité de 4 sur 5. Les secteurs côtiers bretons Nord et Ouest apparaissent comme moyennement à fortement vulnérables parce qu'ils sont exposés à une baisse des débits d'étiage sous l'effet du changement climatique. Cependant, le fait que la modélisation ait été faite sur de petits fleuves côtiers comportant moins de stations de référence lui confère plus d'incertitude. L'Est du bassin combine

une sensibilité moyenne et des niveaux d'exposition relativement élevés dans certains scénarios climatiques.

Enfin, malgré leur niveau de vulnérabilité faible dans la majorité des scénarios, certains secteurs en gris sur la carte (la Gartempe, l'Allier amont et l'Arroux) peuvent présenter un niveau élevé de vulnérabilité dans certains scénarios d'exposition. La Vilaine se trouve à la limite même d'être considérée comme vulnérable et il faut en tenir compte dans l'appréciation locale de la nécessité à agir. L'inscription de ces secteurs dans un niveau plus fort de vulnérabilité dépend de l'incertitude sur le changement climatique.

4.2. Bilan hydrique des sols en fin d'été

Le bilan hydrique des sols est un indicateur relatif à l'assèchement des sols au cours du printemps et de l'été, qui aura des conséquences sur leur capacité à accueillir des cultures très sensibles à l'assèchement du sol.

4.2.1. Exposition

L'exposition prend en compte les évolutions possibles de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et des précipitations pendant les mois de printemps et d'été.

Un indicateur traduisant le rapport entre la hausse de l'ETP et la baisse de précipitations a été calculé en fonction des projections climatiques sur chaque territoire pour les mois de printemps et d'été :

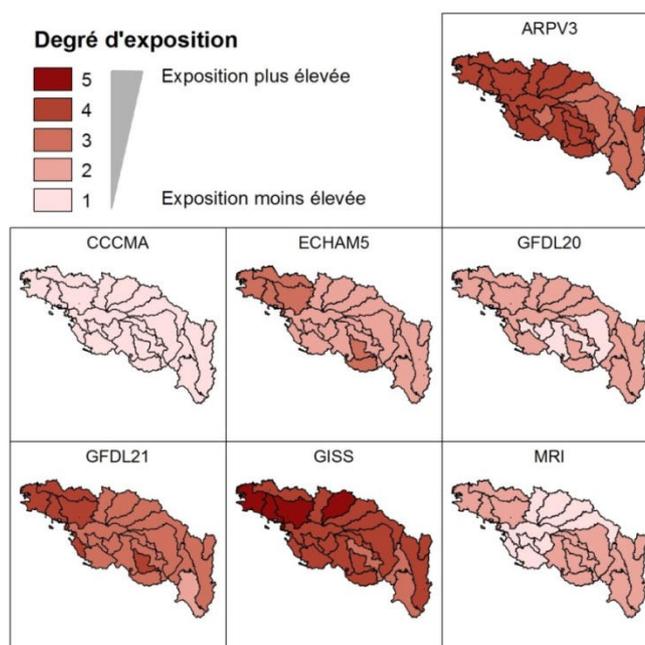
$$(1+\Delta ETP) / (1+\Delta PR)$$

Cet indicateur est ainsi toujours positif.

Exposition	$(1+\Delta ETP) / (1+\Delta PR)$
1- Très faible	< 120 %
2- Faible	120 – 140 %
3- Moyenne	140 – 160 %
4- Forte	160 – 180 %
5- Très forte	> 180 %

Méthode de calcul de l'exposition pour l'indicateur « bilan hydrique des sols » à partir des projections d'évolution d'évapotranspiration potentielle et de précipitations des mois de printemps et d'été sous changement climatique.

Les 7 valeurs possibles de l'exposition sont présentées ci-dessous :



Exposition pour l'indicateur « bilan hydrique des sols » pour les 7 scénarios climatiques.

4.2.2. Sensibilité

La sensibilité de cet indicateur est décrite par l'écart entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations au printemps et en été d'une part, et la réserve utile des sols d'autre part, le tout en climat présent. Deux scores intermédiaires ont donc été calculés pour évaluer la sensibilité des territoires vis-à-vis du bilan hydrique des sols agricoles : un score « assèchement » et un score « déficit de réserve utile ».

Calcul du score « assèchement » :

Score « assèchement »	P-ETP (printemps-été)
1	> -0.4 mm/jr
2	-0.4 à -0.7 mm/jr
3	-0.7 à -0.9 mm/jr
4	-0.9 à -1.1 mm/jr
5	-1.1 mm/jr

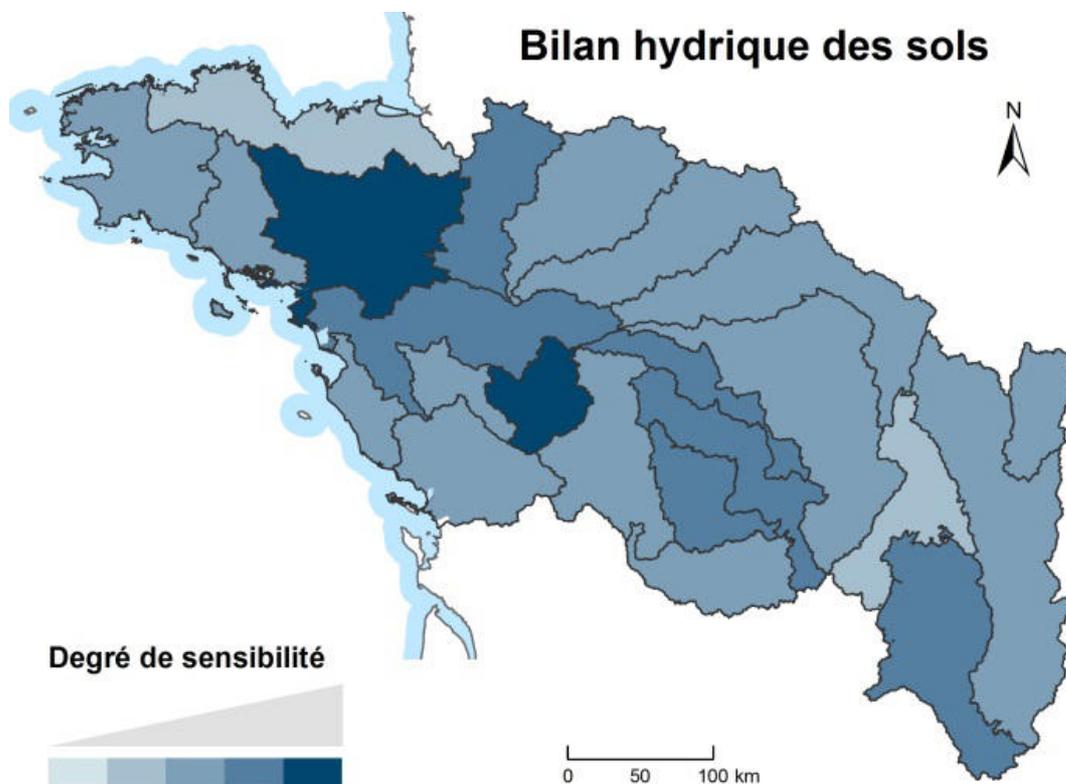
Méthode de calcul du score « assèchement » en fonction de la différence entre la pluie et l'évapotranspiration potentielle en climat présent.

Calcul du score « déficit de réserve utile » : ce score a été calculé en utilisant la carte des sols de l'Institut national de recherche agricole (INRA) et les données de Corine Land Cover 2006 (pour sélectionner uniquement les sols dont l'occupation est de type agricole).

Score « déficit de réserve utile »*	% sols agricoles sur RU < 100 mm
1	< 15 %
2	15 – 30 %
3	30 – 45 %
4	45 – 60 %
5	> 60 %

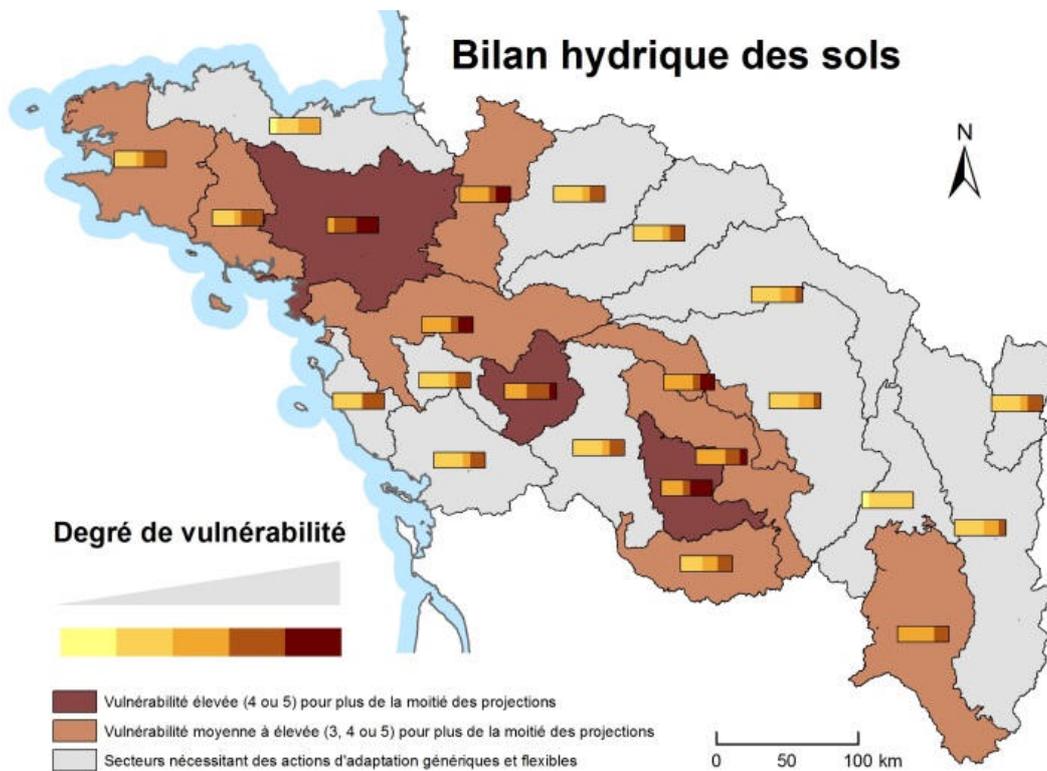
Méthode de calcul du score « déficit de réserve utile » en fonction du pourcentage de sols agricoles ayant une réserve utile (RU) inférieure à 100 mm.

La sensibilité a été calculée à l'échelle de chaque secteur Explore.



4.2.3. Vulnérabilité

La vulnérabilité est obtenue en croisant la sensibilité et l'exposition, selon la méthode explicitée plus haut.



©Agence de l'eau Loire-Bretagne – Août 2016; ©IGN, BD CARTO

Carte de la vulnérabilité du bilan hydrique des sols

La situation reste aussi préoccupante, un troisième secteur (la Gartempe) étant fortement vulnérable alors que moyennement sensible.

Les secteurs de la Vilaine et du Thouet ont une sensibilité actuelle très élevée, due à la fois à un écart important entre pluie et évapotranspiration (ETP) et à la faiblesse de la réserve utile des sols. Combinée à une forte exposition sous l'effet du changement climatique, ces deux secteurs présentent une vulnérabilité élevée dans la majorité des scénarios considérés. Le secteur de la Gartempe, moins sensible grâce à un moins grand écart actuel entre pluie et ETP, est cependant assez exposé pour être considéré comme très vulnérable.

La Bretagne sud apparaît comme moyennement vulnérable, du fait du fort niveau d'exposition combiné à une sensibilité moyenne liée à une réserve utile plutôt faible. Le nord de la Bretagne est peu vulnérable du fait d'un faible niveau de sensibilité, malgré une exposition élevée.

Le niveau de vulnérabilité des autres secteurs apparaissant en beige sur la carte (vulnérabilité moyenne à élevée pour plus de la moitié des projections) semble plus lié à leur fort niveau de sensibilité. Le reste du bassin est plus sensible à l'incertitude des projections climatiques pour ce qui est de l'incidence sur le bilan hydrique des sols agricoles (certains scénarios peuvent mener à une forte vulnérabilité pour tous les secteurs sauf l'Allier aval et la Bretagne nord).



Les indicateurs de disponibilité en eau et de bilan hydrique mettent en lumière des vulnérabilités différentes :

L'indicateur sur le bilan hydrique prend en compte les conditions climatiques futures (l'eau qui va tomber et sera évapotranspirée, sans tenir compte de ce qui va ruisseler dans les cours d'eau) et ce qui se passe aujourd'hui (l'eau qui tombe et est évapotranspirée, et dans quelle mesure elle est disponible dans le sol). Indépendant des consommations actuelles, ou des problèmes d'approvisionnement en eau qui pourraient se poser, il permet de voir où et dans quelle mesure les sols risquent d'être « naturellement » plus secs en

fin d'été que maintenant. Cet indicateur est essentiellement utile pour l'agriculture.

L'indicateur sur la disponibilité en eau prend en compte l'eau qui est consommée déjà actuellement, la pression que cela exerce sur le débit estival des cours d'eau, et le croise avec ce que seraient les débits estivaux dans le futur. Il n'intègre pas une évolution des consommations futures. Il permet par conséquent de voir où et dans quelle mesure, tous usages confondus, il risque d'y avoir un déficit d'eau à l'étiage, avec les conséquences possibles sur le partage de cette ressource entre les usages liés aux activités humaines et les besoins des milieux aquatiques.

4.3. Biodiversité des milieux aquatiques

La biodiversité des milieux aquatiques sera touchée par l'élévation des températures, la baisse des débits notamment à l'étiage, ou encore l'assèchement des zones humides. Afin d'avoir une vision plus complète du problème, la vulnérabilité de cet indicateur combine :

- une vulnérabilité linéaire, ou vulnérabilité des cours d'eau ;
- une vulnérabilité surfacique, ou vulnérabilité des zones humides.

4.3.1. Exposition

L'exposition prend en compte les évolutions possibles de la température, des débits d'étiage et de l'évapotranspiration potentielle.

Pour l'exposition de la biodiversité liée aux cours d'eau, ce sont principalement les paramètres de température et de bas débits qui pourront avoir un impact. Un score de 1 à 3 est donné aux paramètres ΔT et $\Delta VCN30$ selon la grille suivante :

Score	ΔT	$\Delta VCN30$
1	< 2°C	> -5%
2	2 – 2,5°C	-5 à -30%
3	> 2,5°C	< -30%

Méthode de calcul des score « température » et « bas débits »

Ensuite, le niveau d'exposition lié aux milieux aquatiques est obtenu en croisant le score pour ΔT et le score pour $\Delta VCN30$ selon la grille suivante :

3	3	4	5
2	2	3	4
1	1	2	3
T/ VCN	1	2	3

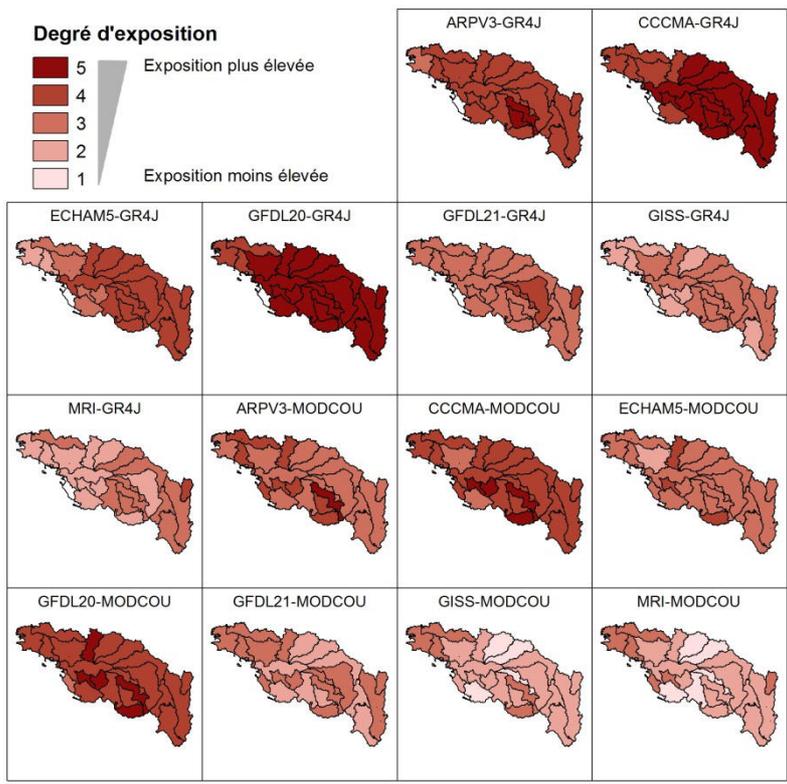
Croisement des scores « température » et « bas débits »

Les 14 valeurs possibles de l'exposition sont présentées en page suivante.

Pour l'exposition de la biodiversité liée aux zones humides, ce sont les précipitations et l'ETP des mois de printemps et d'été qui ont été utilisés. Un indicateur traduisant le rapport entre la hausse de l'ETP et la baisse de précipitations au printemps et à l'été est calculé en fonction des projections climatiques sur chaque territoire : $(1+\Delta ETP)/(1+\Delta PR)$.

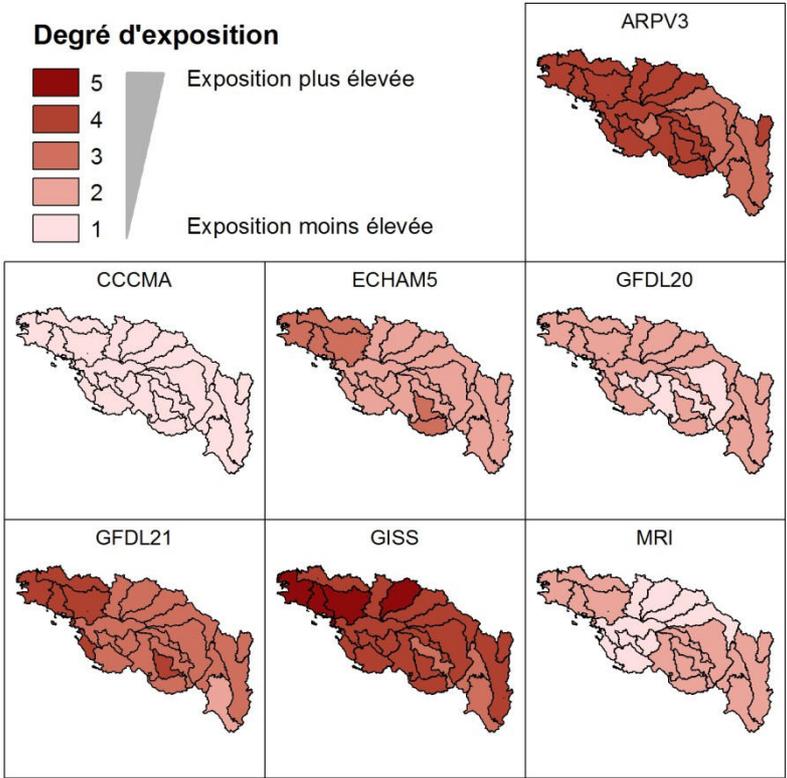
Exposition	$(1+\Delta ETP)/(1+\Delta PR)$
1- Très faible	< 120 %
2- Faible	120 – 140 %
3- Moyenne	140 – 160 %
4- Forte	160 – 180 %
5- Très forte	> 180 %

Méthode de calcul de l'exposition pour l'indicateur « biodiversité - surfaces » à partir des projections d'évolution d'évapotranspiration potentielle et de précipitations au printemps et à l'été sous changement climatique



Exposition pour l'indicateur « biodiversité-cours d'eau » pour les 14 scénarios (7 modèles climatiques et 2 modèles hydrologiques).

Les 7 valeurs possibles de l'exposition sont présentées ci-dessous :



Exposition pour l'indicateur « biodiversité-zones humides » pour les 7 scénarios climatiques

4.3.2. Sensibilité

Un territoire est considéré plus sensible s'il accueille une biodiversité particulière et s'il a peu de capacités d'adaptation intrinsèques.

Pour la sensibilité de la biodiversité liée aux cours d'eau, on a d'abord utilisé le zonage ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) de type I. La sensibilité est fonction de la part de linéaire de cours d'eau classée en ZNIEFF de type I, selon la grille ci-dessous :

Score sensibilité ZNIEFF I linéaire*	Part du linéaire de cours d'eau classée en ZNIEFF I
1	Moins de 4 %
2	4 à 5 %
3	5 à 10 %
4	10 à 15 %
5	Plus de 15 %

Méthode de calcul du score « ZNIEFF I » en fonction de la part du linéaire de cours d'eau classée en ZNIEFF de type I

Un facteur correctif est ensuite appliqué à chaque secteur en fonction de la part du linéaire de cours d'eau classée en zone Natura 2000 :

Si 0% du linéaire de cours d'eau est classé Natura 2000*	-1 sur le score ZNIEFF linéaire
Si plus de 15 % du linéaire de cours d'eau est classé Natura 2000*	+1 sur le score ZNIEFF linéaire
Si plus de 30 % du linéaire de cours d'eau est classé Natura 2000*	+2 sur le score ZNIEFF linéaire

Correction du score « ZNIEFF I » en fonction de la part du linéaire classée Natura 2000

La sensibilité de la biodiversité aquatique liée aux cours d'eau est également influencée par le niveau d'altération de leur hydromorphologie : plus il est élevé, moins les milieux aquatiques remarquables garderont de capacité intrinsèque d'adaptation. L'étude de la vulnérabilité au changement climatique dans le bassin Loire-Bretagne s'appuie sur les travaux réalisés dans le cadre de l'état des lieux. Le risque « obstacles à l'écoulement » considéré dans le non-respect des objectifs environnementaux (RNROE) a été rajouté dans cette évaluation de la sensibilité, ce qui n'avait pas été fait dans le bassin Rhône Méditerranée.

Le pourcentage du linéaire de cours d'eau (masses d'eau) classé en risque du non-respect des objectifs environnementaux du fait de pression sur l'hydromorphologie d'une part et des obstacles à l'écoulement d'autre part a donc été calculé par secteur Explore, selon la grille suivante :

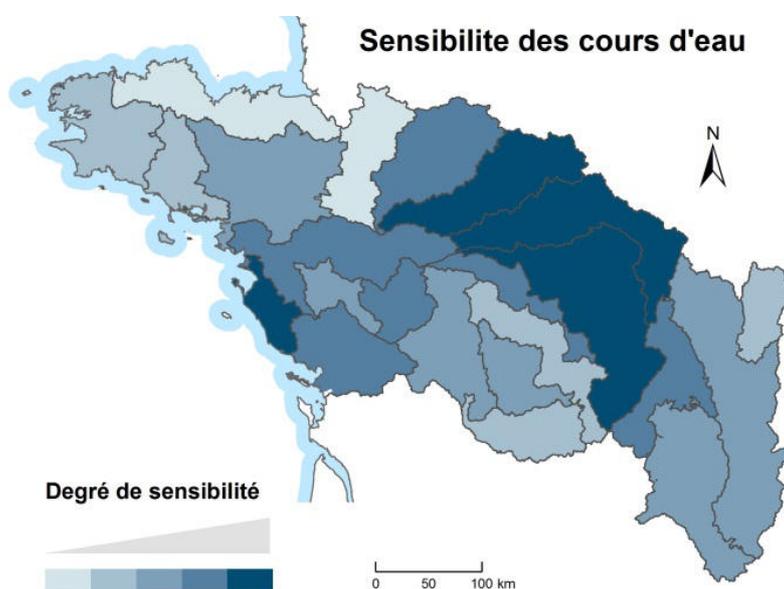
Score « altérations morphologiques »*	Pourcentage du linéaire en RNROE – altérations hydromorphologiques et obstacles à l'écoulement
1	<30%
2	30 à 40%
3	40 à 50%
4	50 à 60%
5	> 60%

Méthode de calcul du score « altérations morphologiques » en fonction de la part du linéaire de cours d'eau (masses d'eau) classée en risque de non-respect des objectifs environnementaux du fait de pressions sur l'hydromorphologie et des obstacles à l'écoulement.

Enfin, les deux scores (celui issu du traitement avec les zonages ZNIEFF et Natura 2000 d'une part, et celui issu du traitement des données sur les altérations hydromorphologiques d'autre part) sont agrégés, selon la grille suivante :

Biodiversité remarquable	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
		1	2	3	4	5
		Altérations morphologiques				

Sensibilité de la biodiversité liée aux cours d'eau croissante



©Agence de l'eau Loire-Bretagne – Août 2016; ©IGN, BD CARTO

Carte de la sensibilité de la biodiversité des cours d'eau

Pour la sensibilité de la biodiversité liée aux zones humides, on a utilisé dans le bassin Loire-Bretagne des données qui n'étaient pas disponibles lors de l'étude réalisée dans le bassin Rhône-Méditerranée : celles d'une étude de l'INRA et d'Agrocampus³ sur les milieux potentiellement humides. La carte des milieux potentiellement humides, selon la définition du Sandre⁴, a également été utilisée. La sensibilité est tout d'abord calculée à partir des pourcentages de la surface de chaque secteur classée à la fois en milieu potentiellement humide et en en ZNIEFF de type I, selon la grille suivante :

Score sensibilité « ZNIEFF I »	Part de la surface du secteur classée en ZNIEFF I et potentiellement humide
Très faible	Moins de 1 %
Faible	1 à 2 %
Moyenne	2 à 3 %
Forte	3 à 5 %
Très forte	Plus de 5 %

³ Berthier L., Bardy M., Chenu J.P., Guzmova L., Laroche B., Lehmann S., Lemerrier B., Martin M., Mérot P., Squidant H., Thiry E., Walter C. (2014). Enveloppes des milieux potentiellement humides de la France métropolitaine. Notice d'accompagnement. Programme de modélisation des milieux potentiellement humides de France, Ministère d'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. 50 pages.

⁴ Sandre : service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau. www.sandre.eaufrance.fr

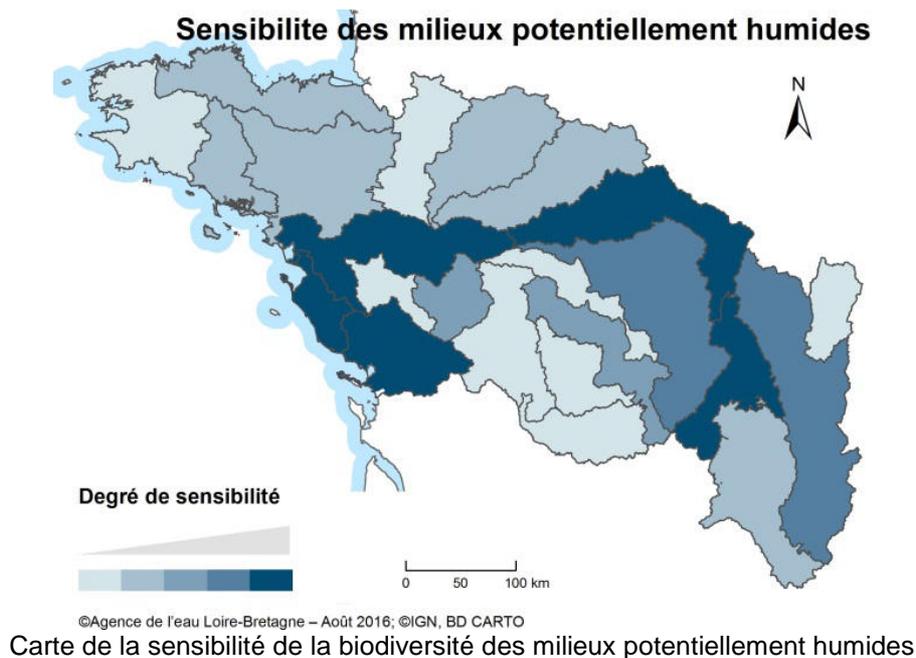
Méthode de calcul du score « ZNIEFF I » en fonction de la surface du secteur classée en ZNIEFF de type I

Ensuite, une correction a été appliquée en fonction de la part de la surface classée à la fois en milieux potentiellement humide et en zone Natura 2000, selon la grille suivante :

Si 0% de la surface du secteur est classée Natura 2000	-1 sur le score ZNIEFF
Si plus de 3 % de la surface du secteur est classée Natura 2000 *	+1 sur le score ZNIEFF
Si plus de 6 % de la surface du secteur est classée Natura 2000 *	+2 sur le score ZNIEFF

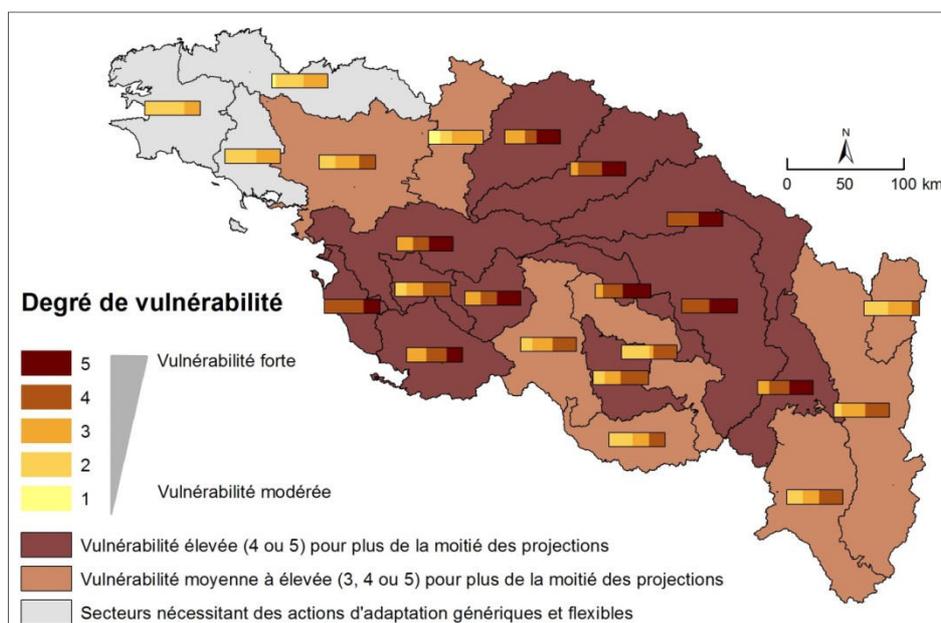
Correction du score « ZNIEFF I » en fonction de la surface du secteur classée Natura 2000 et potentiellement humide.

On obtient alors la carte de sensibilité suivante :



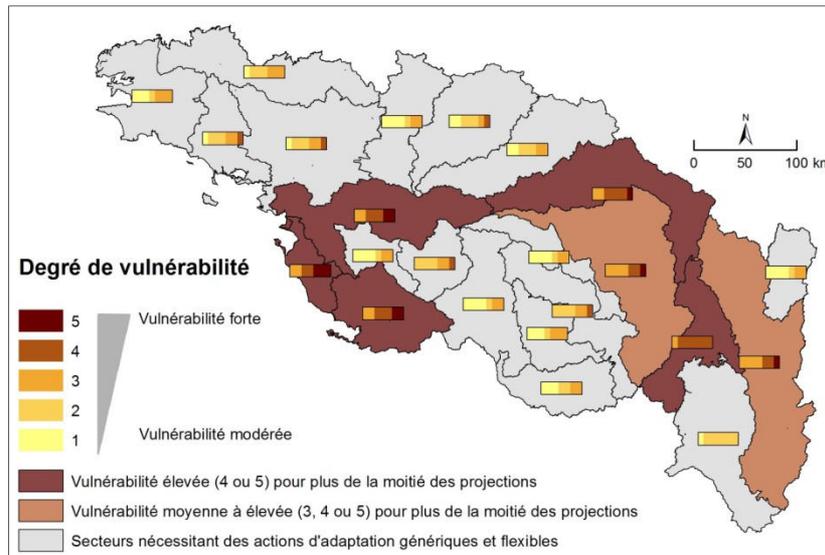
4.3.3. Vulnérabilité

La vulnérabilité est obtenue en croisant la sensibilité et l'exposition, selon la méthode explicitée plus haut. Pour la biodiversité des cours d'eau, la carte de vulnérabilité obtenue est la suivante :



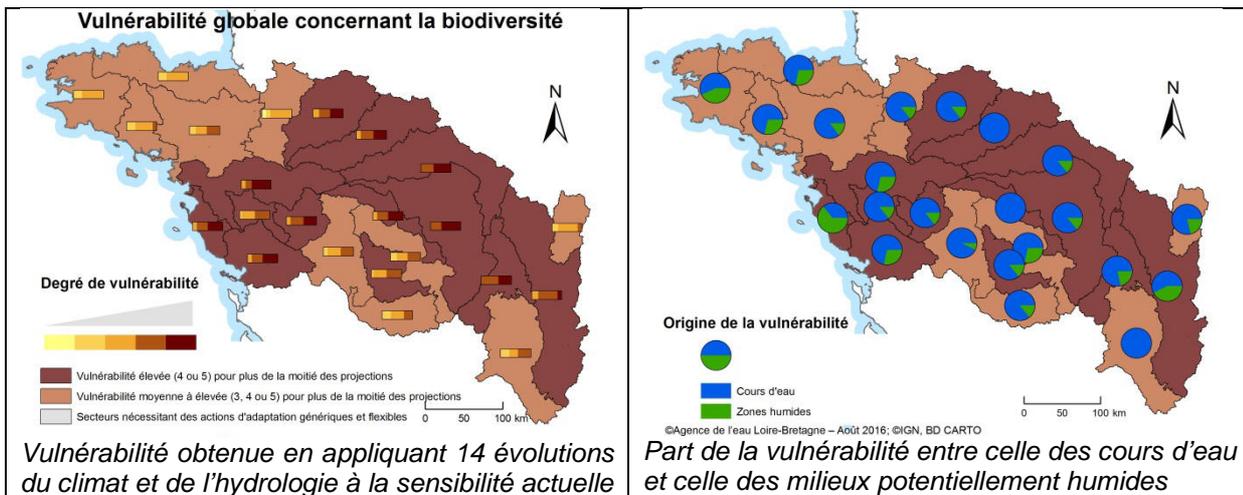
Carte de la vulnérabilité de la biodiversité des cours d'eau

Pour la biodiversité des milieux potentiellement humides, la carte de vulnérabilité obtenue est la suivante :



Carte de la vulnérabilité de la biodiversité des milieux potentiellement humides

La carte de vulnérabilité globale pour l'indicateur biodiversité des milieux aquatiques est obtenue en prenant à chaque fois la vulnérabilité la plus élevée. Le fait de repartir de l'ensemble des résultats de vulnérabilité (14 pour les cours d'eau et 7 pour les plans d'eau) a pour conséquence que la carte finale est plus « sévère » que la simple agrégation des deux cartes.



La situation s'aggrave très nettement sur tout le bassin : on double quasiment le nombre des secteurs les plus sensibles (de 7 aujourd'hui à 13 dans l'avenir), avec une extension géographique sur le bassin de la Maine et les hauts bassins de la Loire, du Cher et de la Vienne. Cette évolution peut avoir des conséquences secondaires sur la qualité des eaux et sur la ressource.

Les secteurs côtiers bretons apparaissent comme étant moins vulnérables aux impacts du changement climatique que le reste du bassin, du point de vue de la biodiversité des cours d'eau comme de celle des milieux potentiellement humides. En effet le niveau de sensibilité de ces secteurs a été évalué de très faible à faible. D'autres secteurs ayant une sensibilité moins élevée, comme la Mayenne, la Creuse ou la Vienne amont, pourraient être plus vulnérables du fait d'un niveau d'exposition plus élevé que les secteurs bretons.

Les secteurs les plus vulnérables du point de vue de la biodiversité liée aux zones potentiellement humides sont les secteurs dont la sensibilité est la plus élevée. À noter que les secteurs bretons, s'ils ne présentent pas une vulnérabilité élevée ou moyenne, sont, dans certains scénarios climatiques, plus vulnérables que d'autres zones, du fait d'un assèchement plus marqué sous l'effet du changement climatique.

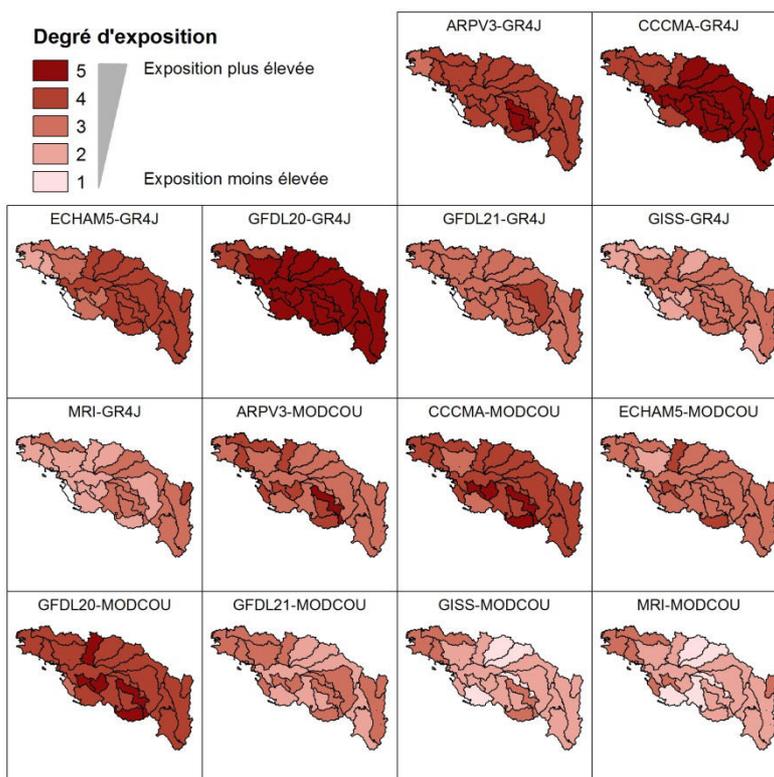
4.4. Capacité d'autoépuration des milieux aquatiques

La capacité d'autoépuration des cours d'eau sera touchée par l'élévation de la température et la baisse des débits, qui créent des conditions favorables à l'eutrophisation. Une hydromorphologie dégradée accentue le phénomène.

4.4.1. Exposition

L'exposition prend en compte les évolutions possibles de la température, des débits d'étiage et de l'évapotranspiration potentielle, comme pour l'indicateur sur la biodiversité des cours d'eau. Les seuils sont les mêmes (voir paragraphe 4.3.1.).

Les 14 valeurs possibles de l'exposition sont présentées ci-dessous :



Exposition pour l'indicateur « niveau trophique des eaux » pour les 14 scénarios (7 modèles climatiques et 2 modèles hydrologiques)

4.4.2. Sensibilité

La sensibilité de cet indicateur est décrite par des facteurs hydromorphologiques issus de la base de données SYRAH⁵, pour chacun des tronçons hydromorphologiquement homogènes (USRA) du bassin. On distingue 4 grands facteurs de sensibilité : la sensibilité liée aux seuils ou barrages, la sensibilité liée à la présence de plans d'eau à proximité du cours d'eau, la sensibilité liée aux surlargeurs du cours d'eau, et la sensibilité liée à l'absence d'ombrage sur le cours d'eau.

- Sensibilité liée à la présence de seuils ou barrages : les données utilisées sont la pente du lit du cours d'eau et le taux d'étagement.
- Sensibilité liée à la présence de plans d'eau à proximité du cours d'eau : la donnée utilisée est le taux de plans d'eau.
- Sensibilité liée aux surlargeurs du cours d'eau : la donnée utilisée est le taux de surlargeurs.
- Sensibilité liée à l'absence d'ombrage sur le cours d'eau : le taux de végétation (bande de 10m) est croisé avec le rang de Strahler pour évaluer la sensibilité du cours d'eau liée à l'absence d'ombrage.

⁵ Syrah : système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau. www.eaufrance.fr

Un niveau de sensibilité « faible », « moyenne » ou « forte » a été attribué pour chacun des grands facteurs et pour chaque tronçon.

La sensibilité physique globale de chaque tronçon a ensuite été évaluée selon les critères établis selon la grille suivante :

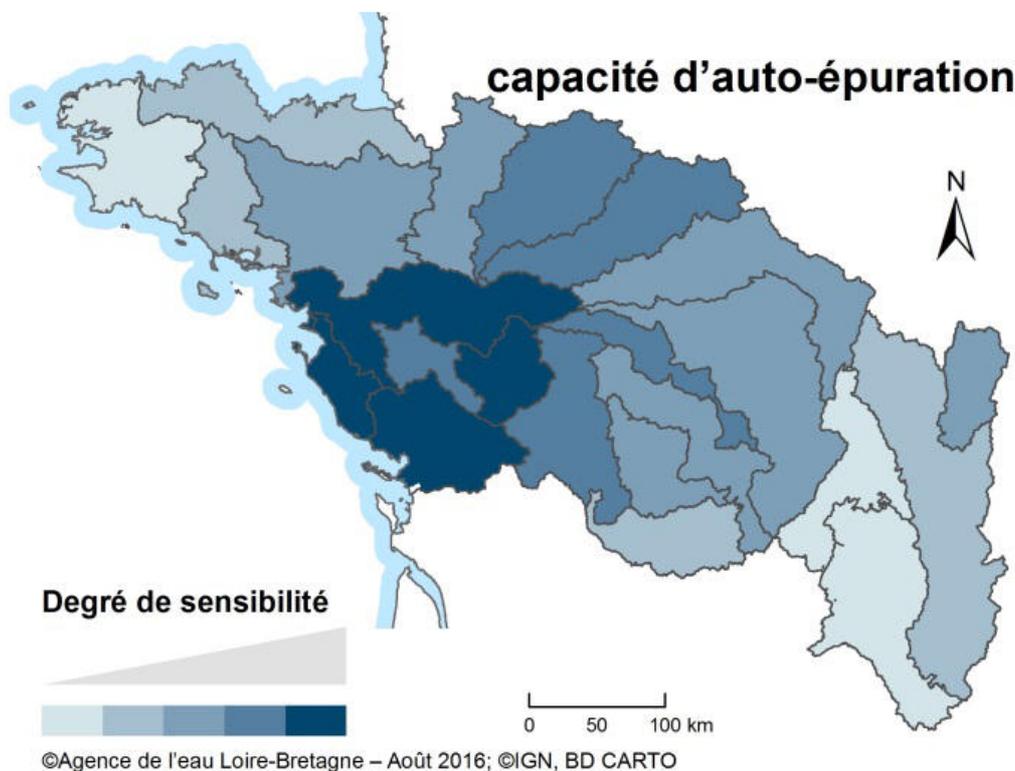
Critères	Sensibilité physique à l'eutrophisation
Si sensibilité ouvrage « forte »	Forte
Si 2 sensibilités « fortes », hors sensibilité ouvrage	
Si 2 sensibilités « moyennes »	
Si 1 sensibilité « forte », hors sensibilité ouvrage	Moyenne
Autres cas	Faible

Ensuite, la sensibilité pour l'indicateur « niveau trophique des eaux » a été déterminée à l'échelle des secteurs d'étude Explore en calculant la part du linéaire (linéaire total des USRA) dans la classe de sensibilité forte, selon la grille suivante.

Sensibilité	Part du linéaire en sensibilité forte
1- Très faible	< 5 %
2- Faible	5 à 10 %
3- Moyenne	10 à 15 %
4- Forte	15 à 20 %
5- Très forte	> 20 %

Méthode d'évaluation de la sensibilité « niveau trophique des eaux » par secteur d'étude Explore à partir de la part du linéaire évaluée en sensibilité physique forte à l'eutrophisation

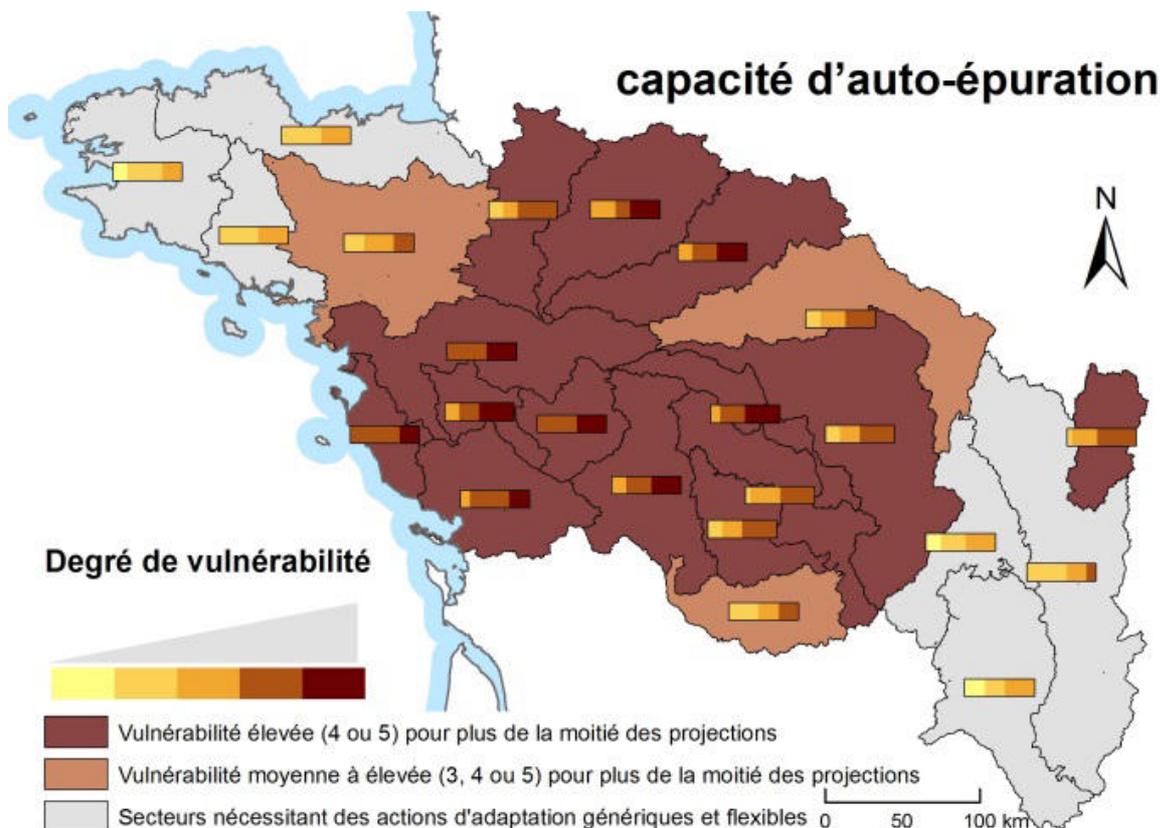
La sensibilité pour l'indicateur « capacité d'auto-épuration » est la suivante :



Carte de la sensibilité du niveau trophique des eaux

4.4.3. Vulnérabilité

La vulnérabilité est obtenue en croisant la sensibilité et l'exposition, selon la méthode explicitée plus haut.



©Agence de l'eau Loire-Bretagne – Août 2016; ©IGN, BD CARTO

Carte de la vulnérabilité du niveau trophique des eaux

L'aggravation est particulièrement visible avec un quadruplement du nombre de secteurs concernés (de 4 à 15) et une extension sur tout le bassin de la Maine, de la Vienne, de l'Indre et du Cher ainsi que sur le Morvan.

Les secteurs les plus vulnérables concernant la capacité d'autoépuration à cause d'une forte sensibilité actuelle de leurs cours d'eau sont la Loire aval, les côtiers vendéens, le Thouet, le Lay et la Sèvre niortaise. Dans les autres secteurs, c'est une exposition élevée qui les rend vulnérables. Les secteurs situés aux extrémités du bassin, en Bretagne, en Auvergne et en Bourgogne, sont peu vulnérables.

5. Conclusion de l'analyse de la sensibilité actuelle et de la vulnérabilité

Les premiers éléments de vulnérabilité issus de l'analyse de quatre sensibilités actuelles du bassin révèlent une aggravation très notable de la situation pour les indicateurs concernant la biodiversité des milieux aquatiques associés aux cours d'eau et les services d'autoépuration qu'ils rendent. La situation en lien avec le changement de régime des pluies et des débits des cours d'eau reste particulièrement préoccupante sur le bassin et demande de conduire et d'étendre les efforts que le Sdage Loire-Bretagne a inscrits en matière de préservation de la ressource en eau.

Cette situation est particulièrement alarmante : elle justifie que le comité de bassin mobilise les acteurs de l'eau pour anticiper dès maintenant les effets du changement climatique et pour mettre en place dès maintenant des mesures d'adaptation afin d'avoir le temps de s'adapter à une situation à venir préoccupante.