

**Plan d'adaptation au changement climatique
Bassin Rhône-Méditerranée**

**Etude de caractérisation des vulnérabilités
du bassin Rhône-Méditerranée
aux incidences du changement climatique
dans le domaine de l'eau**

août 2013



Ont participé à cette étude :

- Région Rhône-Alpes Cécile PAYEN
- Région Provence-Alpes-Côte d'Azur Christel FRANCCART
Catherine RETORE
- Région Languedoc-Roussillon Bénédicte ROUX
Philippe BAUCHET
- Région Bourgogne Antoine WEROCHOWSKI
- DREAL Rhône-Alpes délégation de Bassin Kristell ASTIER-COHU
Hélène DELHAYE
Loïc DUFFY
- DREAL Rhône-Alpes Evelyne BERNARD
Brigitte GENIN
- DREAL Bourgogne Marc PHILIPPE
- DREAL Languedoc-Roussillon Emmanuel BALLOFFET
- DRAAF Rhône-Alpes Bernard GERMAIN
- ARS Rhône-Alpes Didier VINCENT
- Agence de l'eau RMC Xavier EUDES
Julie FABRE
Benoit MOTTET
Matthieu PAPOUIN
Thomas PELTE
- Onema-DAST Stéphane STROFFEK
Bénédicte AUGÉARD
Pascal MAUGIS
- MEDDE – DGALN Xavier DE LACAZE

Rédaction : Julie FABRE – Thomas PELTE – Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

mai 2013

Table des matières

| | | |
|------|--|----|
| I. | Définition de la vulnérabilité | 3 |
| II. | Différentes dimensions à traiter pour l'adaptation..... | 5 |
| III. | Evaluation des niveaux de vulnérabilité selon les différents enjeux..... | 7 |
| | III-1- Principe de calcul de la vulnérabilité..... | 7 |
| | III-2- Les projections de changement climatique | 10 |
| | III-3- Les projections d'évolution des ressources en eau | 13 |
| IV. | Enjeux liés à la gestion quantitative | 17 |
| | IV.1. Disponibilité en eau..... | 17 |
| | IV.2. Bilan hydrique des sols | 22 |
| | IV.3. Synthèse pour les enjeux liés à la gestion quantitative | 29 |
| V. | Biodiversité des milieux aquatiques | 30 |
| VI. | Niveau trophique des eaux..... | 37 |
| VII. | Enneigement..... | 45 |
| | Bibliographie..... | 48 |

Le principe d'un plan de bassin d'adaptation au changement climatique assurant une déclinaison territoriale adaptée du plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) 2011-2015 a été validé au Comité de bassin de décembre 2011. Ce plan doit permettre d'élaborer les éléments de stratégie à intégrer dans le futur SDAGE 2016-2021 et d'assurer une première mise en œuvre des mesures d'adaptation dans le cadre du 10ème programme de l'Agence. Il reprend les objectifs du PNACC et traite des enjeux spécifiques à la gestion de l'eau dans le bassin Rhône-Méditerranée. En complément des différents plans climat, qui doivent inclure des études de vulnérabilité, et des initiatives d'adaptation dans différents secteurs, le plan apporte des éléments détaillés sur le volet eau et a vocation à constituer une référence pour ce domaine.

Le sujet du changement climatique est abordé à travers trois étapes pour ce plan :

- un bilan des **connaissances scientifiques** sur les impacts du changement climatique sur le bassin, qui se propose d'identifier les phénomènes qui auront une incidence sur la gestion de l'eau ;
- une étude sur la **vulnérabilité** des territoires au changement climatique dans le domaine de l'eau, incluant une cartographie de ces vulnérabilités ;
- des **mesures de gestion permettant l'adaptation**.

Dans ce contexte, le préfet coordonnateur de bassin et le président du comité de bassin ont mis en place un groupe de travail animé par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse chargé de conduire une étude destinée à exprimer les vulnérabilités du bassin aux incidences du changement climatique dans le domaine de l'eau. Ce groupe de travail réunit des représentants des cinq DREAL et conseils régionaux du bassin, des ARS et DRAAF, du Ministère de l'écologie et de l'ONEMA-DAST.

L'objectif de l'étude est d'exprimer les incidences du changement climatique sur des fonctions des milieux qui soutiennent ou supportent des usages de l'eau. Les résultats de l'étude doivent permettre de définir les enjeux prioritaires pour l'adaptation dans le domaine de l'eau sur le bassin Rhône-Méditerranée et de déterminer, par groupes de sous-bassins, les enjeux dominants qui nécessitent un investissement particulier pour l'adaptation.

Après avoir proposé une définition de la vulnérabilité, ce rapport présente dans un premier temps les dimensions de vulnérabilité traitées dans l'étude, en justifiant leur choix. Dans un deuxième temps une méthode est proposée pour construire des indices de vulnérabilité selon chaque dimension.

I. Définition de la vulnérabilité

Pour définir une stratégie d'adaptation, il est nécessaire de comprendre non seulement les impacts potentiels sur les ressources et leurs usages, mais aussi d'analyser les facteurs de vulnérabilité des territoires. L'étude de vulnérabilité permet d'identifier les points de vigilance sur un territoire donné et met en avant des territoires où il devient urgent de mettre en œuvre des mesures de gestion favorisant l'adaptation au changement climatique.

Pour faire face aux impacts du changement climatique deux types de démarches peuvent être distinguées (voir figure 1 ci-dessous). La première approche, dite descendante (« top-down ») vise à prévoir le plus précisément possible les évolutions climatiques et les impacts de manière régionalisée, afin d'ajuster les actions et mesures à une nouvelle donne climatique.

La deuxième, dite ascendante (« bottom-up »), accepte les incertitudes sur les évolutions futures des conditions hydro-climatiques et se base une analyse de la sensibilité du territoire à la variabilité climatique. Dans ce type de démarche, l'adaptation consiste à rendre le système moins sensible aux évolutions climatiques en augmentant sa résilience et sa flexibilité, indépendamment des évolutions climatiques qui pourraient affecter le territoire. Ainsi le regard vers le passé prend de l'importance : on estime qu'il faut se préparer à des événements semblables à ceux (extrêmes) vécus dans le passé, qui pourraient se produire plus souvent et/ou avec une plus grande variabilité.

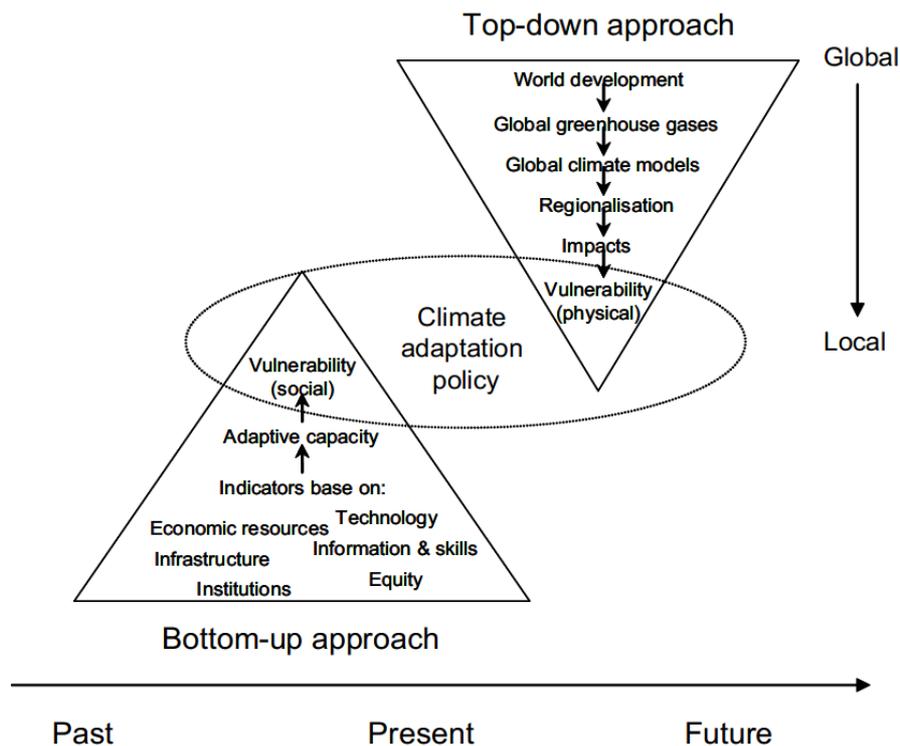


Figure 1 – Démarches pour élaborer une stratégie d'adaptation au changement climatique (Dessai et Hulme, 2004)

L'amélioration de la connaissance des impacts est indispensable pour anticiper les changements à venir. Cependant les incertitudes sont fortes et ne seront pas réduites au niveau souhaité par les gestionnaires pour définir leur mode de gestion avec une logique d'ingénierie classique. En effet certaines évolutions ont un caractère imprévisible et la modélisation ne permet pas de cerner précisément les changements à venir.

Il serait réducteur de se baser uniquement sur une démarche ascendante qui priverait d'un certain niveau de connaissance existant lequel peut borner ou cadrer les futurs possibles. De plus la connaissance du passé ne permet pas toujours d'anticiper les événements futurs. La canicule de 2003 en est un exemple : faute

d'événement similaire dans les séries de données historiques, personne n'a pu s'y préparer puisqu'on « ne savait pas » qu'un événement climatique d'une telle ampleur pouvait se produire dans nos régions. Cet événement est depuis devenu la référence en termes d'événement de chaleur extrême. L'étude de vulnérabilité présentée dans ce document propose une approche faisant le lien entre les démarches ascendantes et descendantes.

Les définitions de la vulnérabilité sont multiples. Etymologiquement, la vulnérabilité désigne la blessure (du latin *vulnerare* = blesser). C'est à la fois le dommage subi par un système et la propension du système à subir ce dommage.

Le GIEC définit la vulnérabilité au changement climatique comme le « degré par lequel un système risque d'être affecté négativement par les effets du changement climatique sans pouvoir y faire face ». Selon le groupe de travail II la vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme de l'évolution climatique, des variations auxquelles le système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.

La capacité d'adaptation et la résilience des territoires ne seront pas ou peu abordées dans cette étude, dont l'objectif est d'interpeller les gestionnaires des bassins les plus vulnérables pour entamer une réflexion sur l'adaptation.

La vulnérabilité est définie ici comme le croisement entre l'exposition et la sensibilité au changement climatique.

L'exposition correspond aux variations climatiques auxquelles le système est exposé. Elle varie donc en fonction de la régionalisation des scénarios climatiques et des modèles climatiques et d'impacts utilisés.

La sensibilité représente les caractéristiques d'un territoire donné qui le rendent plus ou moins fragile vis-à-vis d'une exposition donnée. Dans cette étude, une hypothèse d'économie constante est choisie : la sensibilité des territoires est évaluée par rapport à leur situation présente, face à des hypothèses de changement climatique futur. Ce choix permet de poser la question : « Comment nous en sortirions-nous aujourd'hui avec le climat potentiel de demain ? ».

Pour exprimer l'exposition, la sensibilité et la vulnérabilité des territoires du bassin Rhône-Méditerranée, **une méthode semi-quantitative basée sur la construction d'indices est utilisée.**

Afin de prendre en compte une partie de l'incertitude liée aux projections, différents scénarios climatiques sont utilisés pour évaluer l'exposition. L'incertitude sur la vulnérabilité est donc évaluée par la dispersion entre les résultats basés sur chacun des modèles climatiques utilisés.

La vulnérabilité des territoires ainsi qualifiée exprime une certaine urgence et un degré d'effort à consentir pour permettre l'adaptation au changement climatique.

Sur les territoires qualifiés de fortement vulnérables au changement climatique, il devient urgent de mettre en œuvre les mesures de gestion disponibles favorisant l'adaptation au changement climatique. Des démarches prospectives sont également recommandées pour préciser localement les orientations à intégrer dans les politiques territoriales ou les pratiques des usagers.

Les résultats de l'étude de vulnérabilité devront être accompagnés d'une proposition de « boîte à outils » précisant ces mesures existantes pour l'adaptation selon les enjeux, au sein du SDAGE, des textes réglementaires ou des plans territoriaux d'aménagement (schéma régional climat-air-énergie SRCAE, schéma régional de cohérence écologique SRCE, plans climat-énergie territoriaux PCET,...). Des indicateurs de suivi pourront également être proposés pour aider à la mise en œuvre de l'adaptation.

Les indices de vulnérabilité sont construits pour poser un diagnostic « point de départ » à la réflexion sur l'adaptation. Ils n'ont pas vocation à évoluer en tant que tels, en influençant les critères qui les constituent. C'est la mise en œuvre de mesures d'adaptation qui diminuera la vulnérabilité.

Des études locales et/ou thématiques pourront permettre, par la suite, d'établir un diagnostic plus poussé des sensibilités : type d'agriculture en place, gouvernance locale ou plans de gestion existants qui pourraient faciliter l'adaptation, etc.

L'étude de la vulnérabilité implique des jugements de valeur sur les paramètres pris en compte et sur le niveau de vulnérabilité que l'on associe à leurs valeurs. Il faut donc veiller à rester le plus transparent possible sur les hypothèses prises et exposer clairement les facteurs explicatifs du niveau de vulnérabilité de chaque territoire.

II. Différentes dimensions à traiter pour l'adaptation

Les résultats de la recherche permettent aujourd'hui de dégager des conclusions sur les évolutions climatiques et les impacts attendus sur le bassin Rhône-Méditerranée pour la gestion de l'eau (Fabre, 2012).

Ces évolutions vont dans le sens d'un climat plus sec, avec des ressources en eau moins abondantes et plus variables. Des sécheresses plus intenses, plus longues et plus fréquentes sont attendues sur le bassin. La hausse des températures impliquera une diminution du couvert neigeux, à la fois du fait de moindres chutes de neige et d'une fonte accélérée.

Ainsi, les projections d'évolutions climatiques montrent des signes très nets qui annoncent un problème de raréfaction de la ressource sur le bassin. La tension en période d'étiage doit s'aggraver fortement et apparaîtra sur de nouveaux territoires. Un moindre enneigement, une fonte accélérée et des conditions estivales asséchantes auront pour conséquence des étiages plus intenses, plus longs, débutant plus tôt dans l'année. Les ressources en eau souterraines pourront aussi être affectées, par une baisse de la recharge ou la salinisation des aquifères littoraux face à l'élévation du niveau marin.

Sur le long terme, les ressources en eau annuelles connaîtront une baisse généralisée sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Toutefois les événements de pluviométrie extrême pourraient devenir plus fréquents et plus intenses en hiver notamment dans les régions méditerranéennes. L'impact des crues ne devrait donc pas baisser et pourrait même s'aggraver.

Certains usages, dits « climato-sensibles », seront directement impactés comme le tourisme lié à la neige et à l'eau, le refroidissement des centrales et l'agriculture. L'agriculture est l'usage qui semble être le plus sensible : la hausse des températures et les conditions plus sèches induiront une hausse des besoins en eau des plantes cultivées, ceci pouvant se traduire par l'augmentation de la demande en eau d'irrigation ou par des pertes de rendement dues au stress hydrique.

Les évolutions climatiques impacteront aussi les efforts d'atteinte et de maintien du bon état des eaux et des milieux.

Les évolutions de la température de l'eau, de l'hydrologie et de la morphologie auront des impacts sur les écosystèmes aquatiques et il faudra s'attendre à de profondes modifications dans les aires de répartition des espèces. De plus la baisse des débits pourra avoir des conséquences sur leur capacité à migrer pour retrouver des conditions plus favorables. L'augmentation de la température de l'eau et la baisse des débits affecteront aussi l'autoépuration des milieux et la capacité de dilution des cours d'eau. Du fait de la rapidité des évolutions climatiques attendues et des autres pressions exercées sur les zones humides, celles-ci paraissent particulièrement vulnérables. Leur fonctionnement et la biodiversité qu'elles accueillent risquent d'être profondément impactés.

Enfin les écosystèmes marins seront impactés du fait notamment de l'élévation de la température de l'eau. Ce sont les espaces côtiers, peu profonds, qui paraissent les plus affectés. Les risques d'érosion et de submersion devraient aussi s'aggraver.

A partir de cette synthèse des connaissances, **5 enjeux majeurs** sont définis comme nécessitant une analyse de vulnérabilité. Les dimensions traitées correspondent à des objectifs qui risquent d'être impactés par le réchauffement climatique sur Rhône-Méditerranée. Il est proposé de travailler chacun de ces enjeux et d'exprimer pour chacun un diagnostic spécifique.

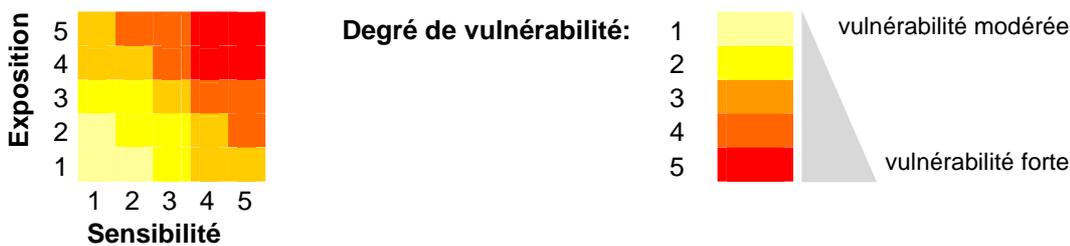
| Enjeu | Diagnostic à exprimer | Aléas associés |
|---|---|---|
| Disponibilité en eau | incidences du changement climatique sur les équilibres quantitatifs superficiels en situation d'étiage (compte tenu des aménagements actuels) | <ul style="list-style-type: none"> - hausse de la demande agricole - hausse de la demande pour le refroidissement des centrales - baisse de la ressource moyenne - renforcement des étiages |
| Bilan hydrique des sols | incidences du changement climatique sur le bilan hydrique des sols pour l'agriculture | Assèchement des sols et donc baisse de leur capacité à accueillir certaines cultures |
| Biodiversité des milieux aquatique | incidences sur l'aptitude des territoires à conserver la biodiversité remarquable de leurs milieux aquatiques et humides | <ul style="list-style-type: none"> - modification des aires de répartition du fait des élévations de température - baisse des débits - assèchement de certaines zones humides |
| Niveau trophique des eaux | incidences du changement climatique sur la capacité d'autoépuration des cours d'eau | <ul style="list-style-type: none"> - élévation de la température de l'eau - baisse des débits |
| Enneigement | incidences du changement climatique sur l'aptitude des territoires à accueillir des usages associés à la neige et aux régimes nivaux | <ul style="list-style-type: none"> - moindres chutes de neige - fonte précoce du manteau neigeux |

III. Evaluation des niveaux de vulnérabilité selon les différents enjeux

III-1- Principe de calcul de la vulnérabilité

Considérant la diversité et l'hétérogénéité de la nature des données et informations qui seront manipulées dans l'exercice, il est proposé de travailler par un système méthodologique de scores et de classes.

Le niveau de vulnérabilité pour chaque dimension sera obtenu en croisant la sensibilité et l'exposition selon un arbre de décision prédéfini de croisement entre les variables :



- Evaluation de la sensibilité :

Pour évaluer la sensibilité d'un territoire, il s'agit de déterminer en quoi ce territoire serait plus ou moins affecté par une variation hydro-climatique donnée. Selon chaque enjeu traité, des paramètres influant sur la sensibilité du territoire sont définis.

- Evaluation de l'exposition :

Pour chaque dimension, il s'agit de déterminer les variables climatiques à la source de l'impact prévisible et de quantifier leur évolution sous changement climatique.

Le ministère en charge de l'écologie a conduit de juin 2010 à octobre 2012 le projet Explore 2070, dont les objectifs sont d'évaluer, pour la France entière, les impacts humains, sociaux, économiques, environnementaux et patrimoniaux des changements globaux climatiques et anthropiques et de concevoir et d'évaluer des stratégies d'adaptation. La première phase du projet a abouti notamment à la production de scénarios d'évolution du climat et des ressources en eau sur la France à l'horizon 2046-2065 (MEDDE, 2012).

On dispose donc à l'issue de cette première phase de :

- projections climatiques (intégrant la saisonnalité et les événements extrêmes) issues de 7 modèles climatiques globaux pour le scénario d'émissions A1B à l'horizon 2046-2065,
- projections de débits (intégrant la saisonnalité et les événements extrêmes) issues des 7 projections climatiques couplées à 2 modèles hydrologiques (soit 14 projections).

Les résultats sont exprimés sous forme de variations de paramètres climatiques et hydrologiques par rapport à une période de référence 1961-1991.

NB : les projections climatiques d'Explore 2070 sont liées à un seul scénario d'émissions, qui n'est pas le plus pessimiste. Cependant à l'horizon 2050, les différents scénarios d'émissions commencent à se différencier mais le sont encore faiblement. De plus les résultats de cette étude porteront sur la vulnérabilité relative des territoires.

Les projections climatiques issues d'Explore 2070 sont disponibles sur le bassin Rhône-Méditerranée et examinées à l'échelle de 27 sous bassins :

| | |
|---------------|-----------------------------|
| Doubs | Petit côtiers - PACA Est |
| Saône amont | Petits côtiers - PACA Ouest |
| Saône aval | Ardèche |
| Ain | Cèze |
| Rhône amont | Gard |
| Rhône moyen | Vidourle - Vistre |
| Rhône aval | Hérault |
| Isère amont | Lez |
| Isère aval | Orb - Libron |
| Drac | Aude - Berre |
| Durance amont | Agly |
| Durance aval | Têt |
| Var | Tech |
| Verdon | |

Ce découpage correspond donc à l'échelle la plus fine de projections climatiques et hydrologiques disponibles.

Afin de mieux prendre en compte certains grands contrastes au sein des sous bassins d'Explore 2070, un redécoupage a été effectué sur deux territoires :

- la « Durance amont » a été séparée en Durance amont et Durance moyenne, dont la limite est définie par l'aval du barrage de Serre-Ponçon,
- la Camargue a été séparée du reste du bassin « Rhône aval », avec une délimitation à l'aval de la confluence avec la Durance.

La vulnérabilité relative des territoires sera donc exprimée à l'échelle des 29 sous bassins représentés dans la figure 2.



Figure 2 – Délimitation des 29 sous bassins d'étude de la vulnérabilité au changement climatique du bassin Rhône-Méditerranée

III-2- Les projections de changement climatique

Avec les résultats du projet Explore 2070, le ministère de l'écologie a livré des projections climatiques (intégrant la saisonnalité et les événements extrêmes) issues de 7 modèles climatiques globaux (ARPV3, CCCMA, ECHAM5, GFDL20, GFDL21, GISS, MRI) pour le scénario d'émissions A1B à l'horizon 2046-2065.

L'échelle de temps de projections est ici mensuelle. Les cartes suivantes présentent des résultats d'évolution des températures et de l'évapotranspiration estivales, ainsi que des précipitations saisonnières.

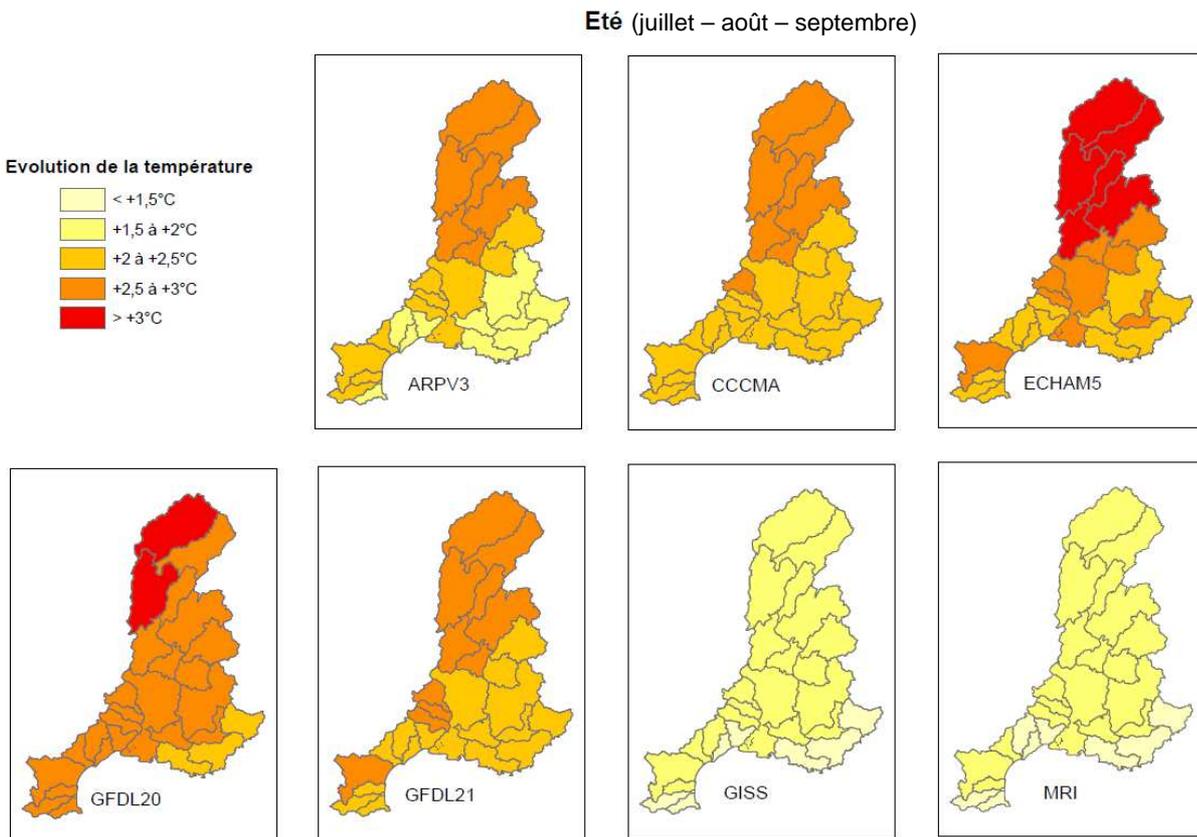


Figure 3 - Evolution de la température estivale sur les sous bassins d'étude à l'horizon 2046-2065 pour 7 modèles climatiques source : Explore 2070

Eté (juillet-août-septembre)

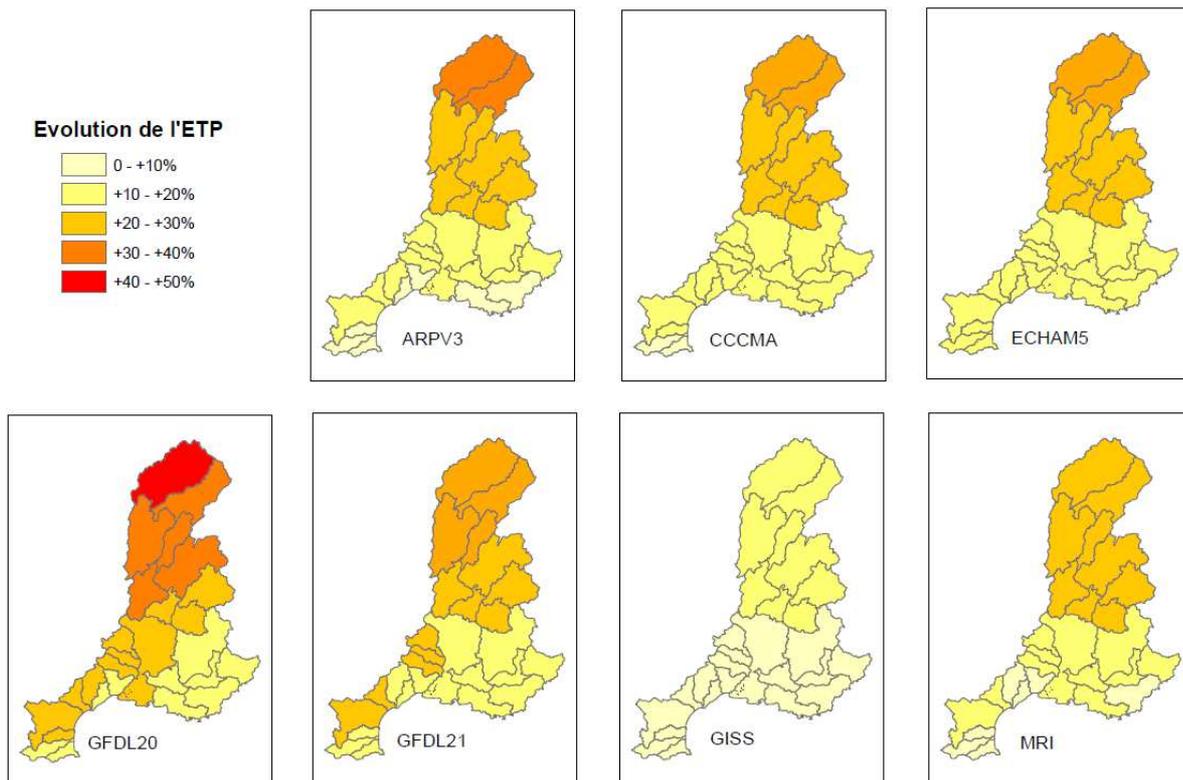


Figure 4 - Evolution de l'évapotranspiration potentielle estivale sur les sous bassins d'étude à l'horizon 2046-2065 pour 7 modèles climatiques (source : Explore 2070)

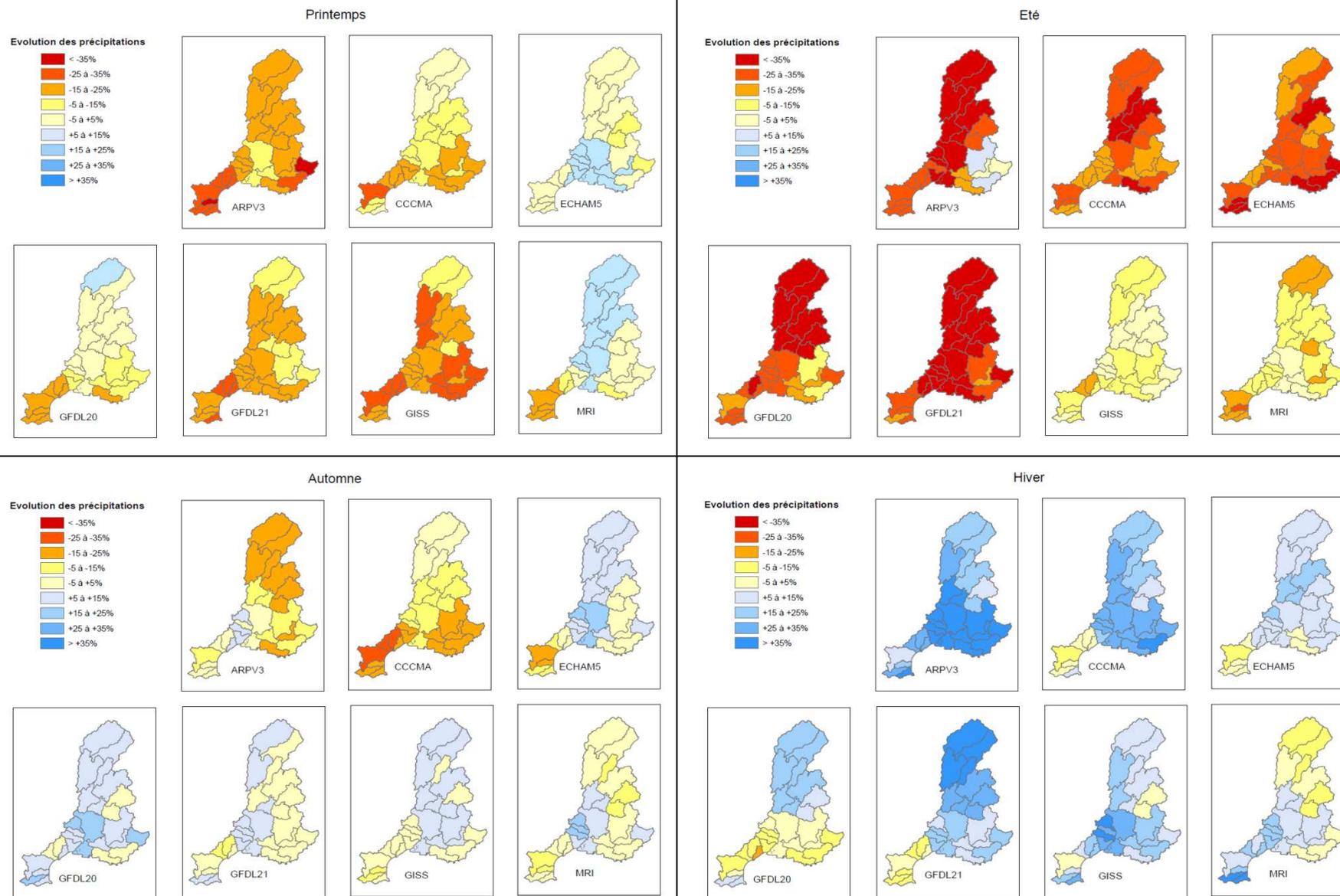


Figure 5 - Evolution des précipitations saisonnières sur les sous bassins d'étude à l'horizon 2046-2065 pour 7 modèles climatiques – source : Explore 2070

III-3- Les projections d'évolution des ressources en eau

Des projections de débits issues du projet Explore 2070 sont disponibles en 1522 points sur la France.

Les points à exploiter sur le bassin Rhône-Méditerranée ont été choisis en fonction des résultats de calage des deux modèles. Le critère de Nash permet d'évaluer la performance des modèles pour leur représentation des débits en les comparant à des débits mesurés. Un critère égal à 1 correspond à un modèle parfaitement calé. Une valeur de Nash négative signifie que le modèle représente moins bien les débits que de considérer la valeur du débit constante sur tous les mois de l'année et égale au module.

Le modèle GR4J, conceptuel, est plus facilement calé sur la période de référence. Isba-Modcou, un modèle physique, est partiellement calé à l'échelle régionale et s'ajuste moins bien aux débits mesurés. Cependant ces différences de calage ne préjugent pas nécessairement d'une différence de capacité de chacun des modèles à représenter les évolutions de débits sous des scénarios de changement climatique.

Les points retenus pour cette étude sont ceux dont le Nash est supérieur à 0,5 pour GR4J et supérieur à 0,2 pour MODCOU.

Les débits étudiés sont les débits mensuels, le module, le QMNA2, et le VCN30.

Chaque bassin comporte un nombre variable de points de modélisation, chacun modélisé par un seul ou les deux modèles hydrologiques. On cherche à attribuer une valeur d'évolution des variables étudiées pour chaque bassin, et chaque couple modèle climatique/modèle hydrologique. **La valeur retenue est la moyenne pondérée des résultats des différents points, pondérée par la surface du bassin versant amont de chacun de ces points.**

Les cartes suivantes représentent les évolutions par sous bassin pour les différents critères étudiés, pour chaque couple modèle climatique – modèle hydrologique.

Deltas Q printemps-été

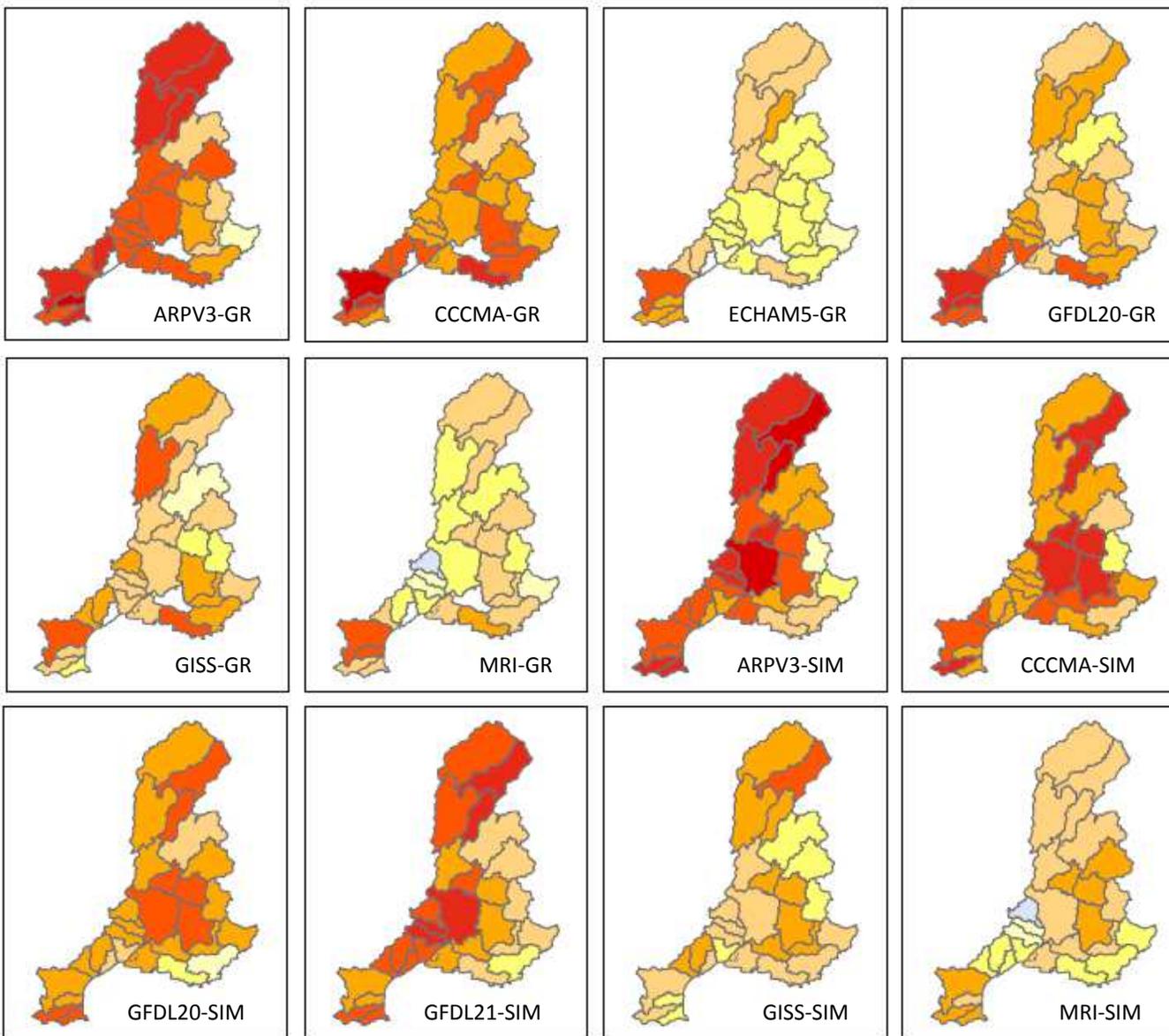
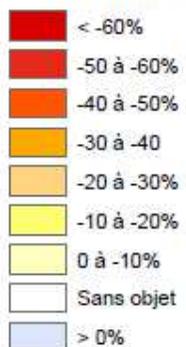


Figure 6 - Evolution des débits de printemps et d'été à l'horizon 2046-2065 pour 7 modèles climatiques et 2 modèles hydrologiques (source : Explore 2070)

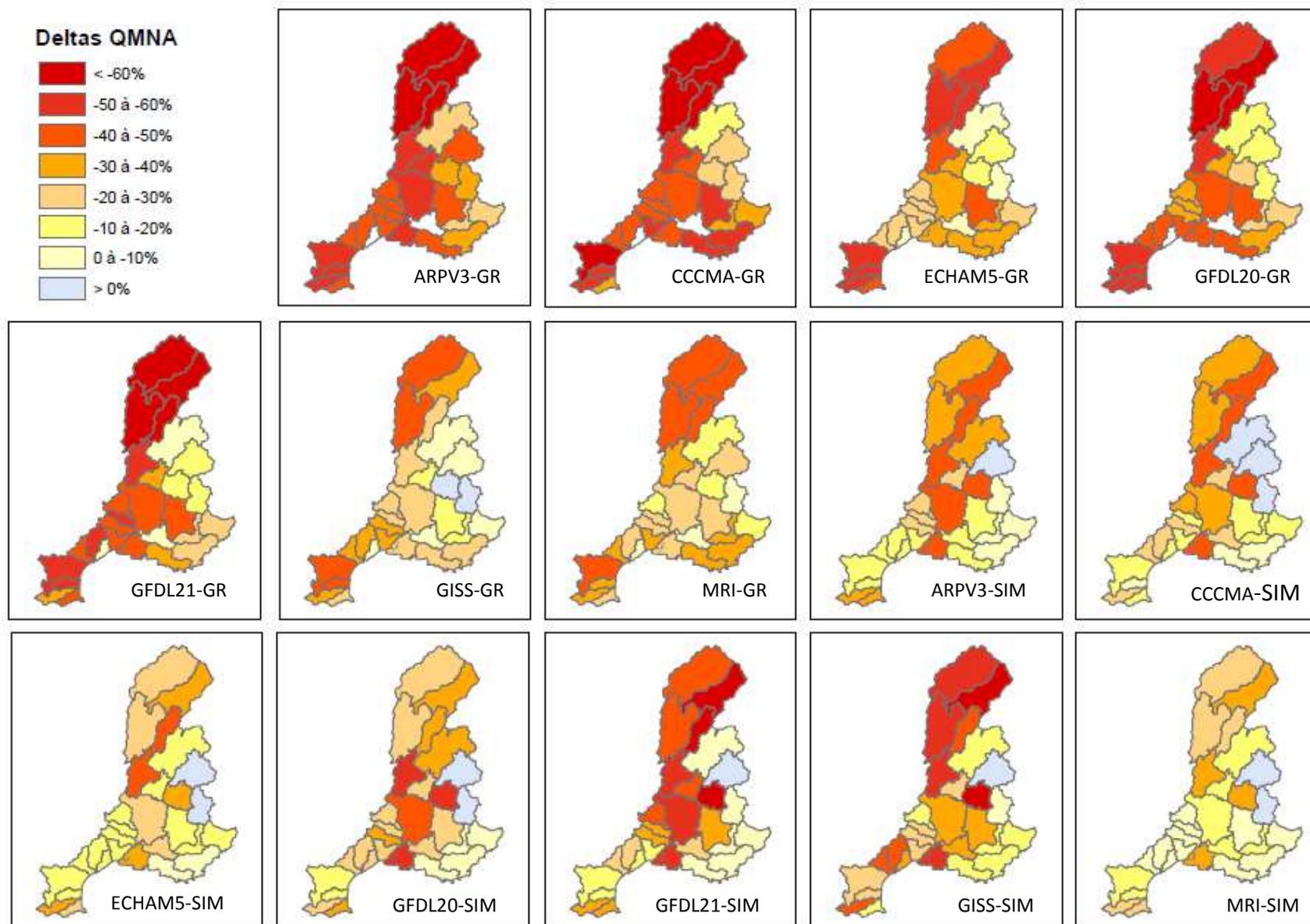


Figure 7 - Evolution des débits d'été à l'horizon 2046-2065 pour 7 modèles climatiques et 2 modèles hydrologiques (source : Explore 2070)

Delta VCN30

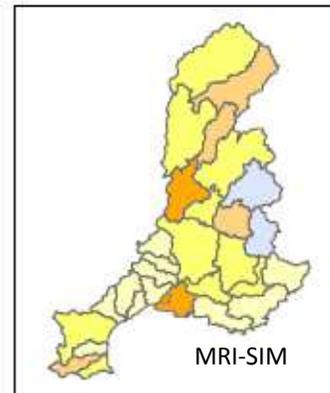
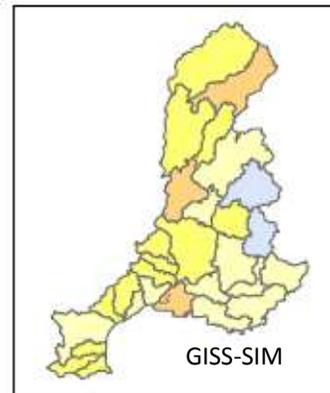
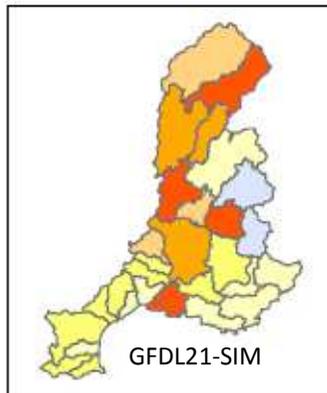
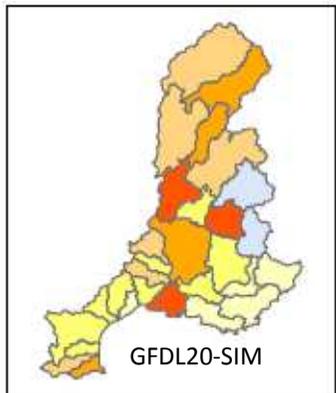
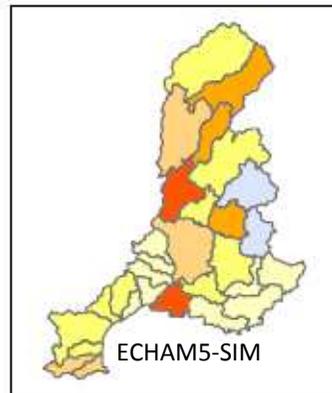
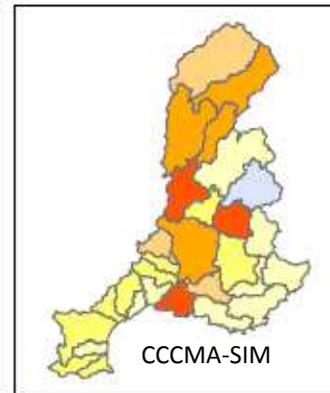
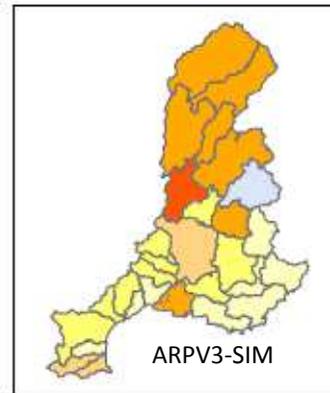
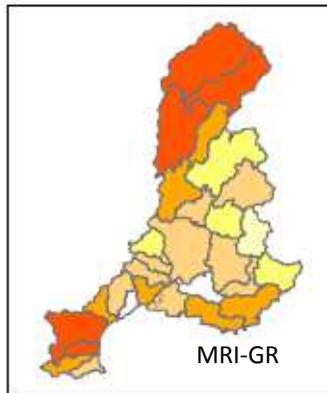
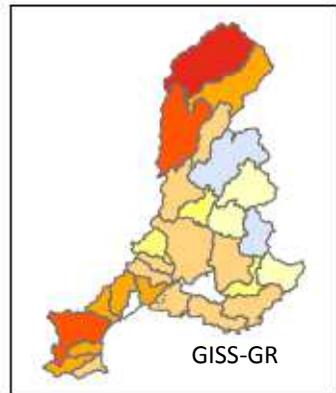
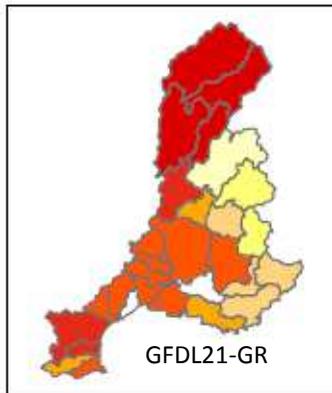
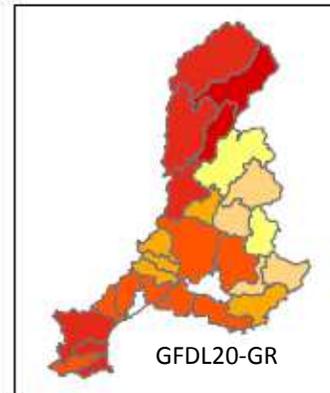
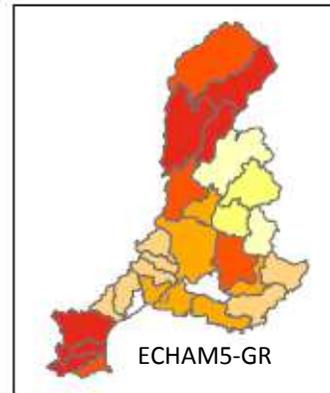
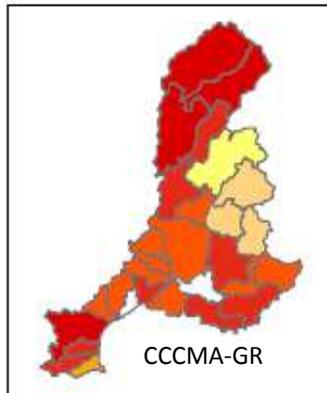
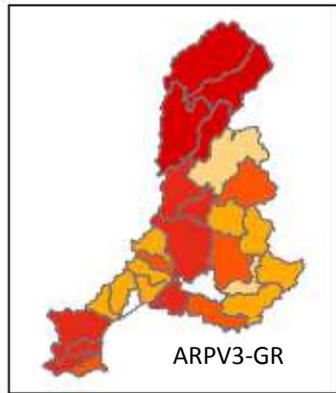


Figure 8 - Evolution des débits VCN30 à l'horizon 2046-2065 pour 7 modèles climatiques et 2 modèles hydrologiques (source : Explore 2070)

IV. Enjeux liés à la gestion quantitative

IV.1. Disponibilité en eau

Rappel de l'objet : « Exprimer les incidences du changement climatique sur les équilibres quantitatifs superficiels en situation d'étiage (compte tenu des aménagements actuels) »

- Sensibilité

Les impacts attendus du changement climatique influant sur l'équilibre entre ressources et demandes en eau sont :

- la hausse de la demande agricole et de refroidissement,
- la baisse de la ressource moyenne,
- le renforcement des étiages.

Un territoire y sera davantage sensible si sa marge de manœuvre entre ressources et prélèvements est faible et si les activités d'agriculture et de refroidissement (activités climato-sensibles) y sont très présentes.

Pour exprimer le niveau de sensibilité d'un territoire aux impacts du changement climatique sur l'équilibre entre ressources et demande en eau, il est proposé d'exploiter le **niveau de pressions et d'impacts des prélèvements d'eau sur la ressource superficielle**.

L'exercice d'état des lieux réalisé en 2013 pour le SDAGE 2016-2021 apporte des éléments de diagnostic sur cet aspect. A l'échelle de chaque masse d'eau, un niveau de pression des prélèvements est évalué en confrontant les volumes prélevés connus avec les débits d'étiage non influencés estimés par modélisation par l'étude Irstea-Onema de Riffard *et al.* (2012) et corrigés à partir des données plus précises fournies par les études volumes prélevables disponibles en avril 2013.

La méthode est issue du « Recueil des méthodes de caractérisation des pressions » dans sa version du 3 juillet, édité par l'Onema (Onema, 2012), en particulier la partie II : dispositifs de caractérisation des pressions sur eaux de surface, point 2.1.

Analyse à l'échelle des masses d'eau

Les données sur les volumes prélevés proviennent des redevances 2010 de l'agence de l'eau. Les volumes sont annuels, et peuvent être comparés au débit d'étiage quinquennal pour exprimer une pression exercée sur la ressource. Seule la ressource superficielle est considérée, car sa disponibilité est directement influencée par le climat. Les prélèvements en milieu souterrain sont pris en compte lorsqu'ils correspondent aux prélèvements directs dans les sources (ratio de 100%) ou dans les nappes affleurantes qui alimentent les masses d'eau superficielles (ratio de 80%).

Les volumes prélevés sont transformés en volumes consommés par application d'un ratio en fonction de la catégorie de pression. D'après le recueil de l'Onema, le volume consommé ou la consommation nette est le volume prélevé dans le milieu auquel on soustrait le volume restitué au milieu. La part de consommation est calculée à l'aide de coefficient de consommation défini par type d'usage, coefficient estimé sur la base des données du SOeS (ex-IFEN) :

- agriculture : 18% du volume prélevé en irrigation gravitaire, 100% pour les autres types d'irrigation,
- AEP : 20% du volume prélevé,
- Industrie : 7% du volume prélevé.

Ces volumes consommés sont ensuite propagés d'amont en aval dans la mesure où un volume consommé sur une masse d'eau affecte les débits entrants sur les masses d'eau situées en aval. Les débits de soutien d'étiage connus apportés par les barrages et retenues colinaires sont décomptés directement des volumes consommés.

Ainsi, sur chaque masse d'eau un indice d'impact est évalué en rapportant les volumes consommés au débit d'étiage quinquennal :

| | |
|------------------------|----------------------|
| Vconso = 0 | Pression inexistante |
| Vconso/QMNA5 < 5% | Impact faible |
| 5 < Vconso/QMNA5 < 20% | Impact moyen |
| Vconso/QMNA5 > 20% | Impact fort |

Analyse à l'échelle des 29 territoires

Pour chaque territoire, on considère la proportion de linéaire de masses d'eau impacté par les prélèvements. Un degré de sensibilité est construit en fonction des parts en impact moyen et/ou impact fort.

| Sensibilité | Condition sur le pourcentage de linéaire de cours d'eau impacté par les prélèvements |
|-------------|---|
| très forte | impact moyen +fort > 50% et impact fort > 25% |
| forte | impact moyen +fort > 50% et impact fort < 25% OU impact moyen +fort > 33 % et impact fort > 25% |
| moyenne | impacts moyen +fort > 33% et impact fort < 25% OU impacts moyen +fort entre 20 et 33 % et impact fort > 25% |
| faible | impacts moyen +fort entre 10 et 20% |
| très faible | impacts moyen +fort < 10% |

Avec cette grille, sont mis en avant les territoires les plus concernés par un déséquilibre entre la sollicitation actuelle sur les eaux superficielles et leur ressource naturelle. Au-delà d'un quart du linéaire soumis à une pression forte et un tiers soumis à une pression moyenne, ces territoires sont considérés comme fortement sensibles.

Pour le territoire Camargue le résultat du traitement brut des données a été corrigé par expertise considérant que le principe du calcul basé uniquement sur le linéaire ne reflète pas correctement le degré d'impact des pressions sur les axes hydrographiques du bassin versant contribuant à la disponibilité de l'eau : la sensibilité du territoire Camargue a été estimée faible (degré 2).

- Exposition

L'exposition est fonction des évolutions de QMNA. Cependant pour les bassins à influence nivale, les étiages, hivernaux, pourraient devenir moins sévères. Or dans ces bassins, les débits de printemps et d'été diminueront (fonte accélérée, moins de neige, et moins de pluie). Afin de prendre en compte cette baisse de la ressource en été, bien qu'elle ne corresponde pas à l'étiage, l'évolution des débits de printemps et d'été est également prise en compte dans la définition de l'exposition :

| Exposition | ΔQMNA et ΔQ(printemps-été) |
|-------------------|--|
| Très faible | Δ QMNA > -10% et Δ Q(p-e) > -25% |
| Faible | Δ QMNA > -10% et Δ Q(p-e) < -25% OU Δ QMNA [-25% ; -10%] |
| Moyenne | Δ QMNA [-40% ; 25%] |
| Forte | Δ QMNA [-50% ; -40%] |
| Très forte | Δ QMNA < -50% |

Le tableau 1 ci-dessous représente les niveaux d'exposition des sous bassins pour chaque couple modèle climatique – modèle hydrologique.

Le tableau 2 présente l'indice de vulnérabilité calculé pour l'enjeu disponibilité en eau.

| BASSIN | ARPV3_GR | CCCMA_GR | ECHAM5_GR | GFDL20_GR | GFDL21_GR | GISS_GR | MRI_GR | ARPV3_SIM | CCCMA_SIM | ECHAM5_SIM | GFDL20_SIM | GFDL21_SIM | GISS_SIM | MRI_SIM |
|---------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------|---------|
| Saône amont | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Saône aval | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Ain | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| Doubs | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| Drac | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 2 | 3 |
| Isère amont | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Isère aval | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Durance amont | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Durance moyenne | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Durance aval | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Rhône amont | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| Rhône moyen | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| Rhône aval | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| Camargue | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| Petits côtiers PACA est | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Petits côtiers PACA ouest | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Var | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Verdon | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Ardèche | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Cèze | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Gard | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Vidourle - Vistre | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Hérault | 4 | 4 | 2 | 4 | 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Lez | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Orb - Libron | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Aude - Berre | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Agly | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Tech | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| Têt | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |

Tableau 1 - Exposition des sous bassins d'étude concernant la disponibilité en eau

| BASSIN | SEN SIBIL ITE | VULNERABILITE | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------|
| | | ARP V3- GR | CCC MA- GR | ECH AM5- GR | GFD L20- GR | GFD L21- GR | GISS -GR | MRI- GR | ARP V3- SIM | CCC MA- SIM | ECH AM5- SIM | GFD L20- SIM | GFD L21- SIM | GISS -SIM | MRI- SIM |
| agly | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| ain | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 |
| ardeche | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| aude_berre | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ceze | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| doubs | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| drac | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| durance_ament | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| durance_aval | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| gard | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| herault | 4 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| isere_ament | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| isere_aval | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| lez | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| orb_libron | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| petits_cotiers_paca_est | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| petits_cotiers_paca_ouest | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| rhone_ament | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| rhone_aval_1 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 |
| rhone_moyen | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| saone_ament | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| saone_aval | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| tech | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| tet | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| var | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| verdon | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| vidourle_vistre | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| rhone_aval_2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| durance_moyenne | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Tableau 2 - Vulnérabilité des sous bassins d'étude concernant la disponibilité en eau

Les secteurs les plus vulnérables sont globalement les plus sensibles actuellement, déjà confrontés à un déficit quantitatif. En effet, la diminution des débits d'étiage serait généralisée :

- Les territoires de Franche-Comté et Bourgogne seraient exposés aux baisses de débit les plus importantes.
- Les bassins du sud-ouest de la Méditerranée le sont également, mais avec une incertitude notable sur l'amplitude du phénomène dans le secteur des Cévennes.
- A noter que le degré de vulnérabilité des bassins de l'Ardèche ou des fleuves côtiers de l'ouest de PACA est directement dépendante des transferts de bassins (respectivement Loire et Durance-Verdon) eux-mêmes vulnérables.

Ce constat invite à privilégier les mesures d'adaptation flexibles et réversibles sur ces secteurs. Cette tendance à la baisse des débits serait moins marquée sur les secteurs en tête de bassins hydrographiques alpins : à l'horizon 2046-2065, les travaux scientifiques considèrent que pour les régimes nivaux, les étiages hivernaux pourraient devenir moins sévères, mais les débits de printemps et d'été diminueront (fonte accélérée, moins de neige et moins de pluie). A plus long terme (2080 et au-delà) les régimes nivaux pourraient être plus fortement remis en cause à moyenne altitude.

Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu **disponibilité en eau**

Incidences du changement climatique sur les déséquilibres quantitatifs superficiels en situation d'étiage (compte tenu des aménagements actuels)

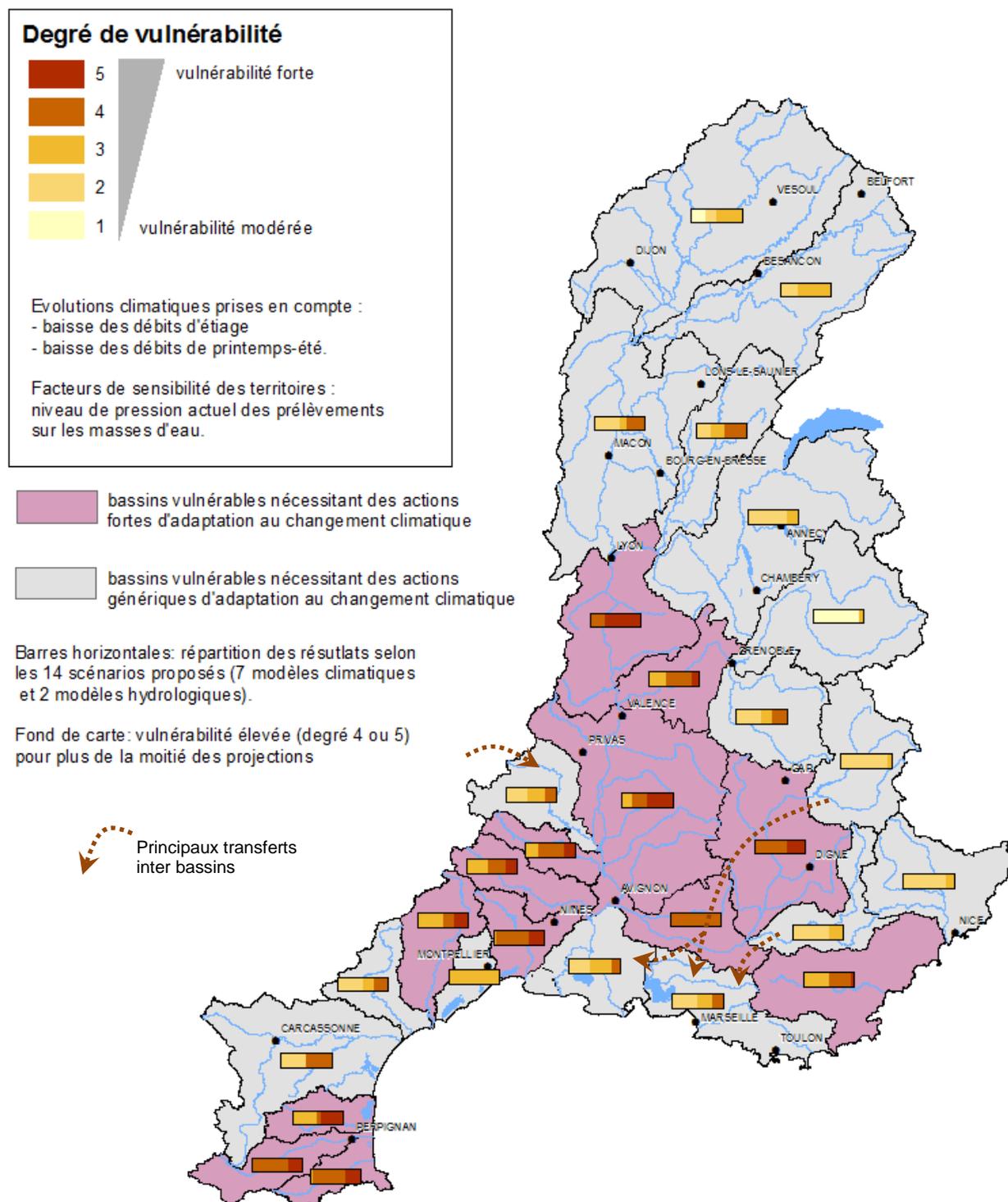


Figure 9 – carte de synthèse vulnérabilité pour l'enjeu Disponibilité en eau

IV.2. Bilan hydrique des sols

Rappel de l'objet : « Exprimer les incidences du changement climatique sur le bilan hydrique des sols pour l'agriculture ».

-Sensibilité

Un impact majeur attendu du changement climatique influant sur l'agriculture est l'assèchement des sols et donc la baisse de leur capacité à accueillir certaines cultures.

La sensibilité d'un territoire dépend dans un premier temps de la réserve utile de ses sols agricoles et du niveau d'assèchement actuel des sols dans la période printemps-été. Les cultures se situant sur des sols à faible réserve utile pourront en effet être plus touchées par le manque d'eau.

La base de données européenne sur les sols Pedotransfer Rules Database – PTRDB, version 2.0 (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/> Daroussin & King, 1996) permet de distinguer les sols agricoles à réserve utile très faible, faible, moyenne, forte et très forte (figure 10). Pour chaque bassin, le pourcentage de la surface se trouvant sur des sols à réserve utile très faible ou faible est calculé. Un score de 1 à 5 est attribué à chaque bassin selon ce critère :

| Score « réserve utile » | % sols agricoles sur RU très faible - faible |
|-------------------------|--|
| 1 | <10% |
| 2 | 10 – 20% |
| 3 | 20 – 30% |
| 4 | 30 – 40% |
| 5 | >40% |

Un score « assèchement » est ensuite attribué à chaque bassin en fonction de la moyenne sur les mois de printemps-été de la différence entre la pluie et l'évapotranspiration potentielle, en climat présent.

| Score « assèchement » | P-ETP (ptps-été) |
|-----------------------|------------------|
| 1 | >0 mm/jr |
| 2 | -1 à 0 mm/jr |
| 3 | -2 à -2 mm/jr |
| 4 | -2,25 à -2 mm/jr |
| 5 | < -2,25 mm/jr |

Un facteur aggravant est enfin attribué aux bassins s'asséchant plus vite au printemps. Ces bassins ont par défaut un score « assèchement » au moins égale à 4. Il s'agit des bassins pour lesquels l'évapotranspiration potentielle, corrigée par les apports de pluie, pourrait en théorie consommer la réserve utile avant le mois de juillet.

La sensibilité des bassins est évaluée en combinant les scores « réserve utile » et « assèchement » selon la même grille que la combinaison de la sensibilité avec l'exposition (cf. point III-1).

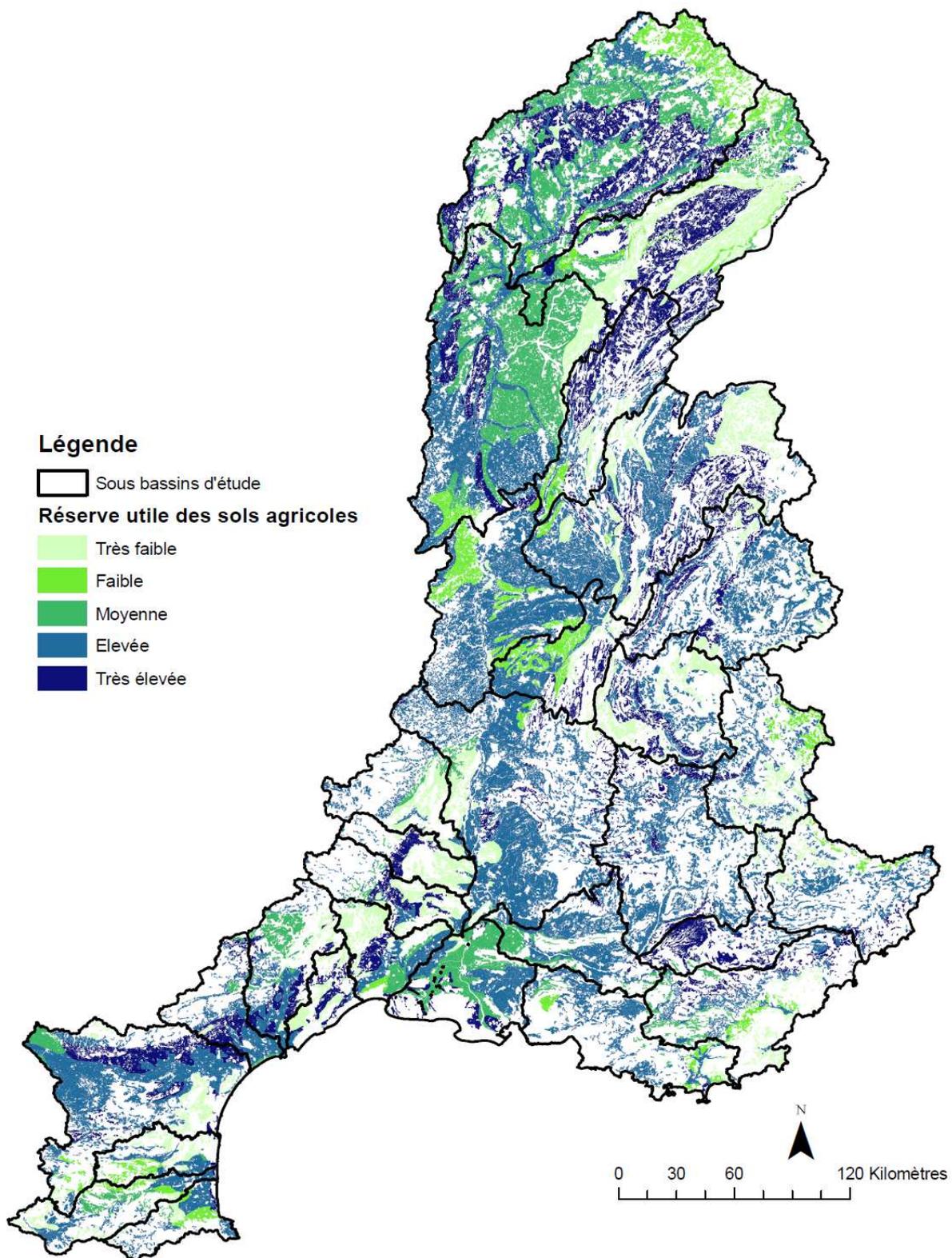


Figure 10 - Carte des réserves utiles des sols agricoles sur les sous bassins d'étude (source : eusoils - jrc)

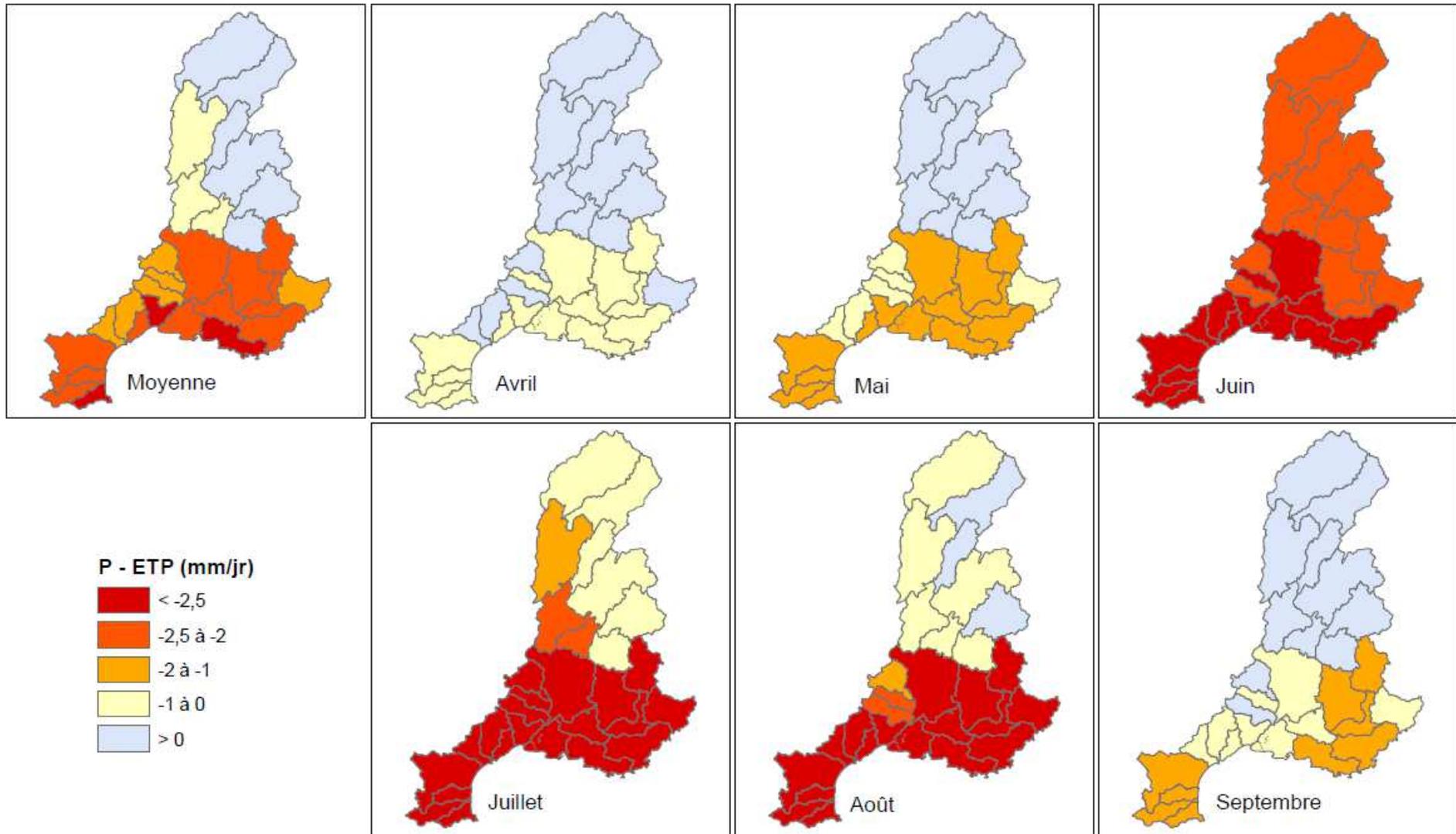


Figure 11 - Différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle en climat actuel pour les mois de printemps et d'été sur les sous bassins d'étude

| Bassin | Score assèchement | Score Réserve Utile | Sensibilité |
|---------------------------|-------------------|---------------------|-------------|
| Saône amont | 1 | 2 | 1 |
| Saône aval | 2 | 1 | 1 |
| Ain | 1 | 2 | 1 |
| Doubs | 1 | 4 | 3 |
| Drac | 1 | 4 | 3 |
| Isère amont | 1 | 1 | 1 |
| Isère aval | 2 | 4 | 3 |
| Durance amont | 4 | 4 | 5 |
| Durance moyenne | 4 | 1 | 3 |
| Durance aval | 4 | 1 | 3 |
| Rhône amont | 1 | 2 | 1 |
| Rhône moyen | 2 | 2 | 2 |
| Rhône aval | 4 | 1 | 3 |
| Camargue | 4 | 1 | 3 |
| Petits côtiers PACA est | 4 | 3 | 4 |
| Petits côtiers PACA ouest | 5 | 2 | 4 |
| Var | 3 | 2 | 2 |
| Verdon | 4 | 1 | 3 |
| Ardèche | 3 | 5 | 4 |
| Cèze (*) | 4 | 5 | 5 |
| Gard (*) | 4 | 4 | 5 |
| Vidourle - Vistre | 5 | 4 | 5 |
| Hérault | 3 | 1 | 2 |
| Lez | 5 | 5 | 5 |
| Orb - Libron | 3 | 1 | 2 |
| Aude - Berre | 4 | 1 | 3 |
| Agly | 5 | 5 | 5 |
| Tech | 5 | 4 | 5 |
| Têt | 5 | 4 | 5 |

(*) forçage de la valeur « assèchement » à 4 en raison d'un assèchement théorique avant juillet.

Tableau 3 - Contribution des différents critères à la sensibilité de chaque sous bassin

-Exposition

Les paramètres pris en compte sont les précipitations (PR) et l'évapotranspiration (ETP) des mois de printemps et d'été.

Un territoire sera plus exposé si les précipitations baissent et l'ETP augmente.

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

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

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

Commentaire sur la vulnérabilité (cf. figure 12)

La tendance à l'assèchement est généralisée sur l'ensemble du bassin Rhône-Méditerranée d'après les modèles climatiques.

Elle serait plus marquée au nord de la confluence Rhône-Isère sur des territoires a priori non familiers des situations d'assèchement. Les bassins du Doubs, Rhône moyen et Drôme, moyennement sensibles actuellement, présentent de fait une vulnérabilité marquée.

Dans la partie sud du bassin, déjà très sensible à l'assèchement, les territoires sont plus vulnérables, l'évolution climatique aggravant une situation déjà fragile. Quasiment tous les bassins du sud présentent au moins un résultat de modèle induisant une forte vulnérabilité (degré 4 ou 5). Mais sur les bassins Var, Rhône aval, Durance aval, Hérault ou Orb les modèles scientifiques ne convergent pas sur ce signal.

Face à un tel diagnostic, les mesures génériques d'adaptation restent essentielles. Sur les bassins cévenols et côtiers où la réserve utile est la plus faible la vulnérabilité est forte pour une majorité de modèles, les identifiant comme prioritaires pour engager des actions d'adaptation importantes.

| Bassin | Sensibilité | Exposition | | | | | | | Vulnérabilité | | | | | | |
|---------------------------|-------------|------------|-------|--------|--------|--------|------|-----|---------------|-------|--------|--------|--------|------|-------|
| | | ARPV3 | CCCMA | ECHAM5 | GFDL20 | GFDL21 | GISS | MRI | ARPV3 | CCCMA | ECHAM5 | GFDL20 | GFDL21 | GISS | V-MRI |
| Saône amont | 1 | 5 | 4 | 2 | 4 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Saône aval | 1 | 5 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Ain | 1 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Doubs | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| Drac | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| Isère amont | 1 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Isère aval | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| Durance amont | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Durance moyenne | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Durance aval | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 |
| Rhône amont | 1 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Rhône moyen | 2 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| Rhône aval | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 |
| Camargue | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 |
| Petits côtiers PACA est | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| Petits côtiers PACA ouest | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| Var | 2 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Verdon | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Ardèche | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 |
| Cèze | 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| Gard | 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| Vidourle - Vistre | 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| Hérault | 2 | 4 | 3 | 2 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 |
| Lez | 5 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Orb - Libron | 2 | 4 | 3 | 2 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 |
| Aude - Berre | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| Agly | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Tech | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Têt | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |

Tableau 4 - Sensibilité, exposition et vulnérabilité concernant le bilan hydrique des sols sur les sous bassins d'étude.

Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu **bilan hydrique des sols**

V 19 avril 2013

Incidences du changement climatique sur le bilan hydrique des sols pour l'agriculture

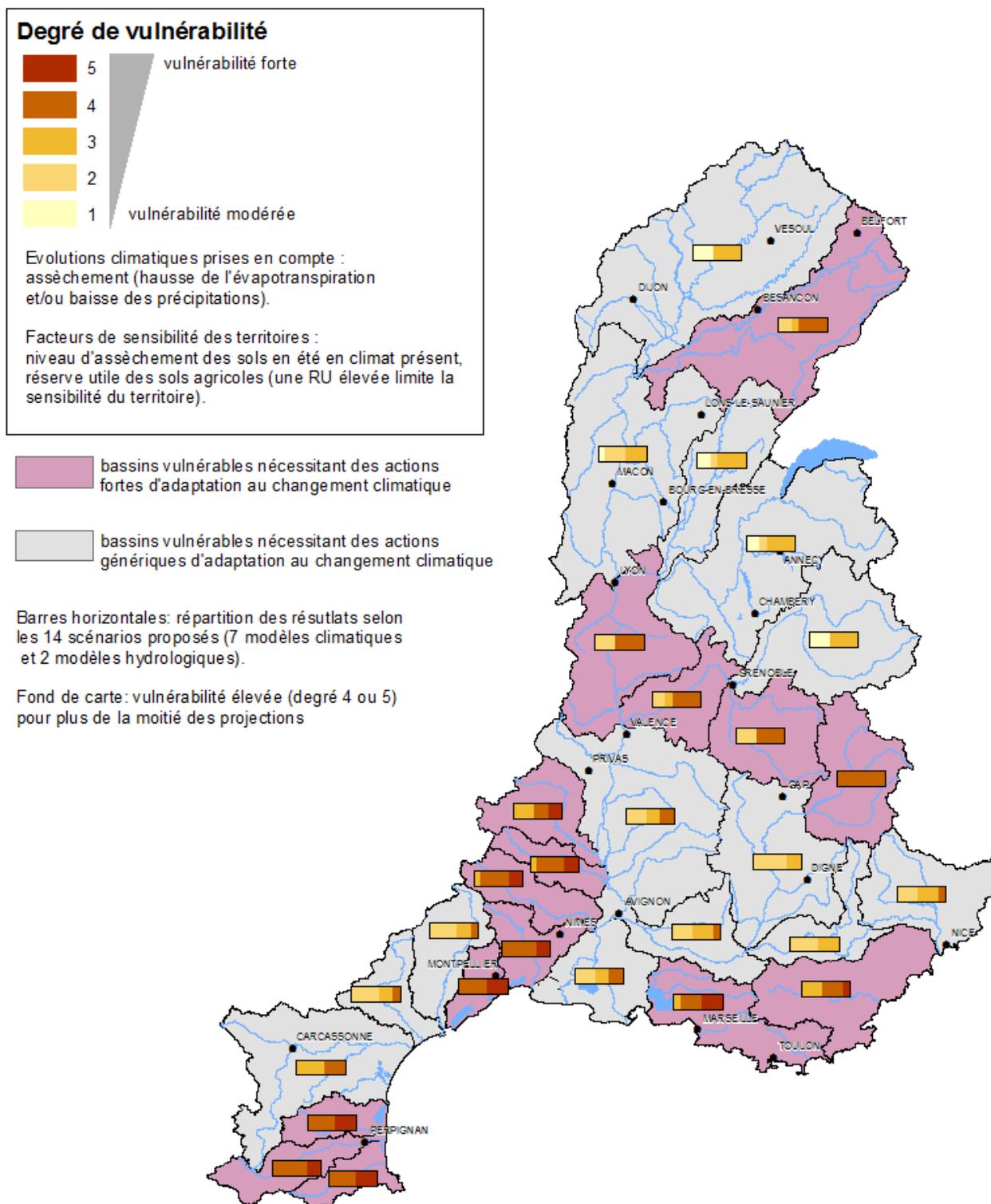


Figure 12 – carte de synthèse de vulnérabilité bilan hydrique des sols

IV.3. Synthèse pour les enjeux liés à la gestion quantitative

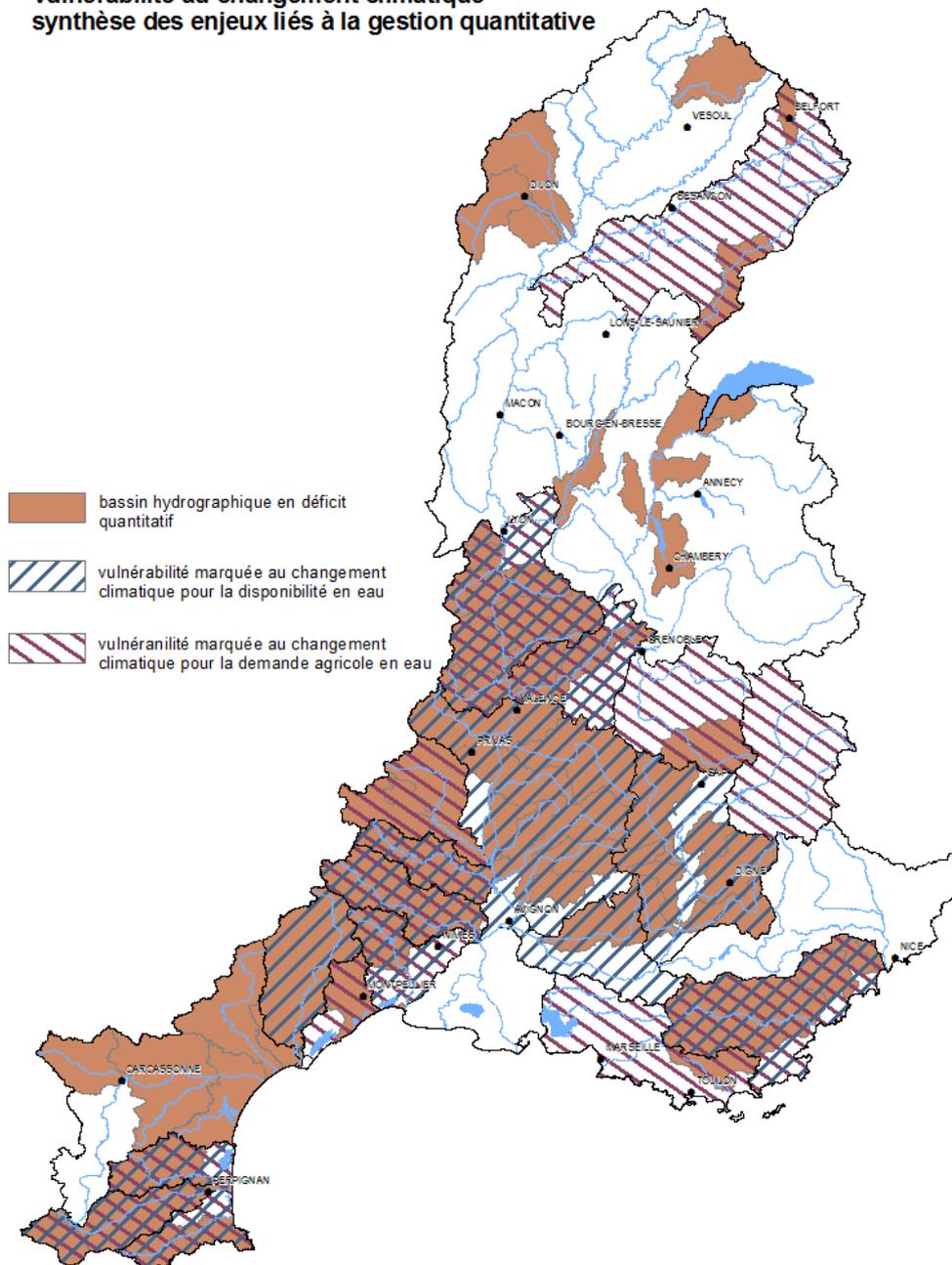
Deux enjeux sont liés à la gestion quantitative :

- la disponibilité en eau qui exprime un signal sur l'évolution possible de la ressource en eau,
- le bilan hydrique des sols qui exprime un signal sur l'évolution possible la demande en eau, en particulier agricole.

D'ores et déjà certains bassins hydrographiques sont confrontés à des problèmes de déficit en eau. Ils sont identifiés par le SDAGE.

Le diagnostic de vulnérabilité traité ci-après vient compléter la question du risque vis-à-vis de l'équilibre quantitatif. Il précise les territoires qui ne sont pas déficitaires mais pourraient le devenir sous l'effet de l'assèchement et des baisses de débits. Il identifie également les territoires déjà déficitaires pour lesquels le changement climatique devrait renforcer le risque de déficit d'eau, motivant par là un effort supplémentaire dans la mise en œuvre des mesures de gestion nécessaires à l'équilibre quantitatif.

Vulnérabilité au changement climatique - synthèse des enjeux liés à la gestion quantitative



V 20 août 2013

V. Biodiversité des milieux aquatiques

Rappel de l'objet : « Exprimer les incidences du changement climatique sur l'aptitude des territoires à conserver la biodiversité remarquable de leurs milieux aquatiques et humides »

Le degré de vulnérabilité est calculé en distinguant les linéaires de cours d'eau et les zones classées surfaciques.

Le degré final attribué à chaque territoire est la valeur maximale des deux traitements.

-Sensibilité

Les impacts attendus du changement climatique influant sur la biodiversité aquatique et humide sont :

- la modification des aires de répartition du fait des élévations de température,
- la baisse des débits,
- l'assèchement de certaines zones humides.

Un territoire y sera davantage sensible s'il accueille une biodiversité particulière (dont il est considéré qu'elle est difficilement « remplaçable » par une autre) et s'il a peu de capacités d'adaptation intrinsèques (ruptures de continuité, peu de refuges thermiques, pressions sur le milieu, etc.).

On considère ici que les ZNIEFF de type I sont représentatives de cette sensibilité.

Une ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) est un secteur du territoire particulièrement intéressant sur le plan écologique, participant au maintien des grands équilibres naturels ou constituant le milieu de vie d'espèces animales et végétales rares, caractéristiques du patrimoine naturel régional. Les ZNIEFF de type II réunissent des milieux naturels formant un ou plusieurs ensembles possédant une cohésion élevée et entretenant de fortes relations entre eux. Elles se distinguent de la moyenne du territoire régional environnant par leur contenu patrimonial plus riche et leur degré d'artificialisation plus faible. Les ZNIEFF de type I sont des territoires correspondant à une ou plusieurs unités écologiques homogènes. Elles abritent au moins une espèce ou un habitat caractéristique remarquable ou rare, justifiant d'une valeur patrimoniale plus élevée que celle du milieu environnant. Ces sites correspondent a priori à un très fort enjeu de préservation voire de valorisation de milieux naturels.

L'indice de sensibilité est fonction de la part de surface ou de linéaire de ZNIEFF de type I et de zones Natura 2000 présentes sur le territoire considéré.

Traitement sensibilité linéaire zones classées

| Sensibilité linéaire | ZNIEFF | part du linéaire de cours d'eau classé en ZNIEFF I |
|----------------------|--------|--|
| Très faible | | Moins de 5% |
| Faible | | 5 à 10% |
| Moyenne | | 10 à 15% |
| Forte | | 15 à 20% |
| Très forte | | Plus de 20% |

| Correction critère Natura 2000 | |
|--|------------------------------------|
| Si plus de 5% du linéaire de cours d'eau est classé Natura 2000 | +1 sur sensibilité ZNIEFF linéaire |
| Si plus de 10% du linéaire de cours d'eau est classé Natura 2000 | +2 sur sensibilité ZNIEFF linéaire |

La sensibilité est influencée par le niveau d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau : plus il est élevé, moins les milieux aquatiques remarquables garderont de capacité intrinsèque d'adaptation.

Cet aspect de la sensibilité est qualifié en exploitant l'outil SYRAH-CE développé par le pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Irstea de Lyon (Chandesris *et al.*, 2009, Valette *et al.*, 2012).

Il diagnostique un risque d'altération de la morphologie des cours d'eau en fonction de différentes pressions anthropiques.

Sont considérés dans cet exercice les pressions suivantes :

- présence de voies de communication en lit majeur,

- voies navigables en lit majeur,
- occupation du sol de type agricole en lit majeur et sur petits cours d'eau,
- occupation du sol de type artificiel en lit majeur et sur petits cours d'eau.

Pour chaque territoire, on considère le pourcentage de linéaire de cours d'eau soumis à des risques d'altération forts à très forts. On attribue à chaque territoire une valeur moyenne des pourcentages pour chaque pression considérée. La grille d'interprétation suivante est ensuite appliquée :

| Sensibilité SYRAH-CE | linéaire | part du linéaire de cours d'eau soumis à un risque altération fort à très fort |
|----------------------|----------|--|
| Très faible | | Moins de 25% |
| Faible | | 25 à 35% |
| Moyenne | | 35 à 45% |
| Forte | | 45 à 55% |
| Très forte | | Plus de 55% |

La sensibilité linéaire est une combinaison des indices ZNIEFF (corrige par Natura 2000) et de l'indice SYRAH-CE selon la grille suivante :



Traitement sensibilité surfacique zones classées

| Sensibilité surfacique | ZNIEFF | Part de la surface du territoire classé en ZNIEFF I |
|------------------------|--------|---|
| Très faible | | Moins de 15% |
| Faible | | 15 à 19% |
| Moyenne | | 20 à 24% |
| Forte | | 25 à 29% |
| Très forte | | Plus de 30% |

| Correction critère Natura 2000 | |
|--|--------------------------------------|
| Si plus de 5% de la surface du territoire est classée Natura 2000 | +1 sur sensibilité ZNIEFF surfacique |
| Si plus de 10% de la surface du territoire est classée Natura 2000 | +2 sur sensibilité ZNIEFF surfacique |

- Exposition

Les paramètres pris en compte sont:

- la température de l'air,
- les débits minimum consécutifs sur 30 jours (VCN30),
- les précipitations (PR) et l'évapotranspiration (ETP).

Traitement exposition linéaires : cours d'eau en zones classées

Pour la biodiversité liée aux cours d'eau ce sont principalement les paramètres de température et de bas débits qui vont avoir un impact.

Un score de 1 à 3 est donné aux paramètres ΔT et $\Delta VCN30$.

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

Le niveau d'exposition lié aux milieux aquatiques est obtenu en croisant ces deux scores :

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

Traitement exposition surfacique : milieux humides en zones classées

Un territoire sera plus exposé si les précipitations baissent et l'ETP augmente.

Un indicateur traduisant le rapport entre la hausse de l'ETP et la baisse de précipitations est calculé en fonction des projections climatiques sur chaque territoire :

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

| Exposition | $(1+\Delta ETP)/(1+\Delta PR)$ |
|-------------|--------------------------------|
| Très faible | <110% |
| Faible | 110 – 120% |
| Moyenne | 120 – 130% |
| Forte | 130 – 140% |
| Très forte | >140% |

Commentaire sur les résultats de vulnérabilité

Le nombre de bassins jugés très vulnérables est important. Il est néanmoins possible d'avoir une lecture différenciée compte tenu des critères qui ont permis l'analyse de vulnérabilité :

- Les secteurs montagneux (alpins et pyrénéens) sont vulnérables essentiellement en raison de leurs zones humides remarquables, qui devraient être exposées aux risques d'assèchement.

- Les bassins de l'axe Doubs, Saône aval, Rhône moyen et aval et les bassins côtiers languedociens (Aude, Orb, Hérault) présentent une vulnérabilité forte de la biodiversité remarquable qu'ils abritent, en raison tant des altérations physiques qu'ils subissent déjà, que de l'exposition aux baisses de débits et à l'augmentation de température.

| NOM | Sensibilité | Vulnérabilité linéaire | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------|------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------|---------|
| | | ARPV3_GR | CCCMA_GR | ECHAM5_GR | GFDL20_GR | GFDL21_GR | GISS_GR | MRI_GR | ARPV3_SIM | CCCMA_SIM | ECHAM5_SIM | GFDL20_SIM | GFDL21_SIM | GISS_SIM | MRI_SIM |
| saone_amont | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| doubs | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| saone_aval | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| ain | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| rhone_amont | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| rhone_moyen | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| isere_aval | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| drac | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| isere_amont | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| durance_amont | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| durance_moyenne | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| var | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| verdon | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| petits_cotiers_paca_es | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| durance_aval | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| petits_cotiers_paca_ou | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| rhone_aval_1 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| rhone_aval_2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| ardeche | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| ceze | 2 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| gard | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| agly | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| orb_libron | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| herault | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| lez | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| vidourle_vistre | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| tech | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| tet | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| aude_berre | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |

Tableau 5 – Vulnérabilité linéaire concernant la biodiversité sur les sous bassins d'étude.

| NOM | Sensibilite | Vulnérabilité surfacique | | | | | | |
|--------------------|-------------|--------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|
| | | ARPV3_GR | CCCMA_GR | ECHAM5_GF | GFDL20_GR | GFDL21_GR | GISS_GR | MRI_GR |
| saone_amont | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| doubs | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| saone_aval | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| ain | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| rhone_amont | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| rhone_moyen | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| isere_aval | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| drac | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| isere_amont | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| durance_amont | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| durance_moyenne | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| var | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| verdon | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| petits_cotiers_pac | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| durance_aval | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| petits_cotiers_pac | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| rhone_aval_1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| rhone_aval_2 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| ardeche | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| ceze | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| gard | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| agly | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| orb_libron | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| herault | 2 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| lez | 2 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| vidourle_vistre | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| tech | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| tet | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| aude_berre | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 |

Tableau 6 – Vulnérabilité surfacique concernant la biodiversité sur les sous bassins d'étude.

| NOM | Sensibilité | Vulnerabilite | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------|---------|
| | | ARPV3_GR | CCCMA_GR | ECHAM5_GR | GFDL20_GR | GFDL21_GR | GISS_GR | MRI_GR | ARPV3_SIM | CCCMA_SIM | ECHAM5_SIM | GFDL20_SIM | GFDL21_SIM | GISS_SIM | MRI_SIM |
| saone_amont | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| doubs | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| saone_aval | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| ain | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| rhone_amont | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| rhone_moyen | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| isere_aval | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| drac | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| isere_amont | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| duration_amont | 1 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| duration_moyenne | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| var | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| verdon | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| petits_cotiers_paca_est | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| duration_aval | 5 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| petits_cotiers_paca_ouest | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| rhone_aval_1 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| rhone_aval_2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| ardeche | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| ceze | 2 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| gard | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| agly | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| orb_libron | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| herault | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| lez | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| vidourle_vistre | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| tech | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| tet | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| aude_berre | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |

Tableau 7 – Vulnérabilité globale concernant la biodiversité sur les sous bassins d'étude.

Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu **biodiversité**

V 20 août 2013

Incidences du changement climatique sur l'aptitude des territoires à conserver la biodiversité remarquable de leurs milieux aquatiques et humides

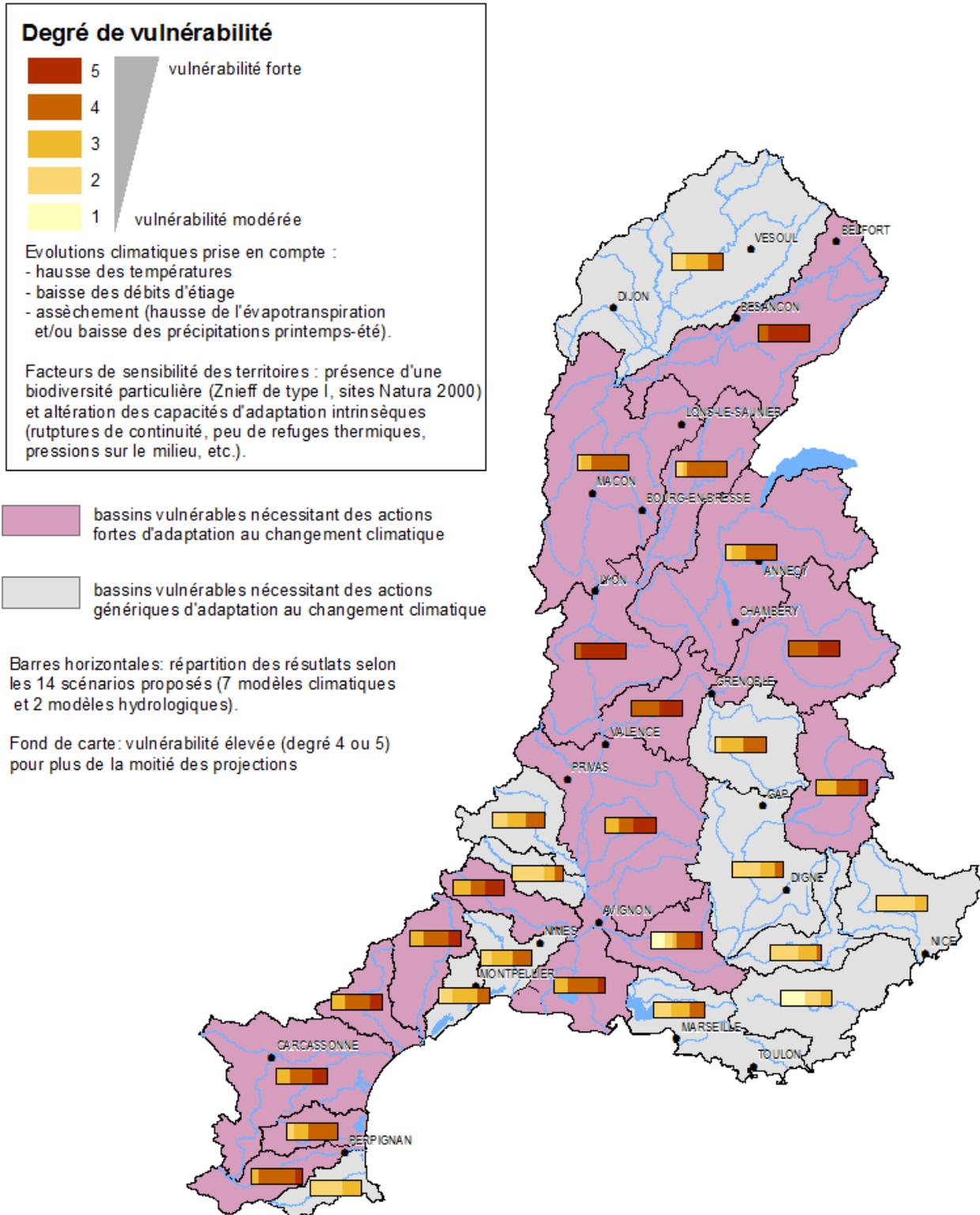


Figure 13 – carte de synthèse de la vulnérabilité biodiversité des milieux aquatiques

VI. Niveau trophique des eaux

Rappel de l'objet : « Exprimer les incidences du changement climatique sur la capacité d'autoépuration des cours d'eau. »

-Sensibilité

Les impacts attendus du changement climatique influant sur le risque d'eutrophisation sont le réchauffement de l'eau et la baisse des débits, qui créeront plus de conditions propices à l'eutrophisation.

Un territoire y sera davantage sensible si la morphologie des cours d'eau est plus propice à des blooms algaux (à pression polluante équivalente) : pente, débit, ensoleillement, obstacles à l'écoulement, etc.

La méthode de définition de la sensibilité des territoires du point de vue des capacités d'autoépuration des milieux aquatiques est basée sur l'évaluation du risque de non-atteinte des objectifs environnementaux concernant l'eutrophisation. Ce risque est fonction de la sensibilité des milieux, c'est-à-dire leur « prédisposition physique » à l'eutrophisation, et des rejets dans le milieu.

La sensibilité physique à l'eutrophisation de chacun des tronçons hydromorphologiquement homogènes du bassin RMC (données SYRAH) est évaluée à partir des paramètres ci-dessous. On distingue ainsi 4 grands facteurs de sensibilité :

- Sensibilité liée aux seuils ou barrages :
 - pente du lit du cours d'eau ;
 - taux d'étagement issu des données SYRAH.
- Sensibilité liée présence de plans d'eau à proximité du cours d'eau :
 - taux de plans d'eau issu des données SYRAH.
- Sensibilité liée aux surlageurs du cours d'eau :
 - taux de surlageurs issu des données SYRAH.
- Sensibilité liée à l'ombrage sur le cours d'eau :
 - rang de strahler du tronçon de cours d'eau étudié ;
 - taux de végétation issu des données SYRAH (corridor 10 m).

Le risque d'expression de l'eutrophisation est ensuite obtenu en croisant cette sensibilité du milieu avec la qualité des eaux (nutriments). Cet enrichissement est approché en utilisant les données suivantes [en cours de test] :

- concentrations en azote réduit (NR), en mg/L ;
- DBO5, en mg/L.

Ces 4 facteurs de sensibilité physiques à l'eutrophisation sont calculés de la manière suivante :

- **Sensibilité liée aux ouvrages (seuils ou barrages) :**

Le taux d'étagement et la pente sont agrégés pour évaluer la sensibilité liée aux ouvrages (seuils ou barrages) :

| | | Taux d'étagement | | |
|-------|--------|------------------|---------|---------|
| | | Faible | Moyen | Fort |
| Pente | Faible | Faible | Forte | Forte |
| | Moyen | Faible | Moyenne | Forte |
| | Fort | Faible | Faible | Moyenne |

Les seuils utilisés pour évaluer l'importance de la pente et du taux d'étagement sont les suivants :

| Classe | Taux étagement | Pente |
|--------|----------------|-------|
| Faible | 0,3 | 0,3 |
| Moyen | 0,6 | 10 |
| Fort | 0,6 - 1 | >10 |

- **Sensibilité liée à la présence de plans d'eau à proximité du cours d'eau :**

La sensibilité liée à la présence de plans d'eau à proximité du cours d'eau est évaluée à partir du taux de plans d'eau SYRAH. Les seuils utilisés sont les suivants :

| | |
|---------|-----|
| Faible | |
| Moyenne | 5 |
| Forte | > 5 |

- **Sensibilité liée aux surlargeurs du cours d'eau :**

La sensibilité liée aux surlargeurs du cours d'eau est évaluée à partir des données SYRAH. Les seuils utilisés sont les suivants :

| Sensibilité | Taux de surlargeur |
|-------------|--------------------|
| Faible | 0 |
| Moyenne | 100 |
| Forte | 150 |

- **Sensibilité liée à l'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'ombrage :

| | | Taux de végétation | | |
|------------------|---|--------------------|--------|--------|
| | | Fort | Moyen | Faible |
| Rang Strahler | 1 | Faible | Moyen | Forte |
| | 2 | Faible | Moyen | Forte |
| | 3 | Faible | Moyen | Forte |
| | 4 | Faible | Faible | Moyen |
| | 5 | Faible | Faible | Moyen |
| | 6 | Faible | Faible | Faible |
| | 7 | Faible | Faible | Faible |
| | 8 | Faible | Faible | Faible |

Les seuils utilisés pour les taux de végétation sont les suivants :

| Classe | Taux_Veget10m |
|--------|---------------|
| Faible | 30 |
| Moyen | 60 |
| Fort | 100 |

- **Sensibilité « physique » globale du tronçon à l'eutrophisation**

La sensibilité de chaque tronçon de cours d'eau est ensuite obtenue à partir des 4 facteurs de sensibilités physiques calculés ci-dessus et 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 » | Moyenne |
| Si 1 sensibilité « forte », hors sensibilité ouvrage | |
| Autres cas | Faible |

Cette sensibilité est ensuite croisée avec les données de qualité d'eau du milieu pour identifier les secteurs géographiques réellement à risque.

Ici, à l'échelle des territoires considérés, les résultats du calcul de sensibilité des tronçons de cours d'eau sont utilisés en prenant en compte **la part du linéaire où la sensibilité est forte**.

| Sensibilité | Part du linéaire en sensibilité forte |
|--------------------|--|
| Très faible | <5% |
| Faible | 5 – 8% |
| Moyenne | 8 – 13% |
| Forte | 13 – 20% |
| Très forte | >20% |

-Exposition

Les paramètres pris en compte sont l'évolution de la température et des débits minimums sur 30 jours consécutifs (VCN30). Un score de 1 à 3 est donné aux paramètres ΔT et $\Delta VCN30$.

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

Le niveau d'exposition est obtenu en croisant ces deux scores selon la grille suivante:

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

Les cartes suivantes illustrent la sensibilité, l'exposition et la vulnérabilité par sous bassin étudié

| BASSIN | ARPV3_GR | CCCMA_GR | ECHAM5_GR | GFDL20_GR | GFDL21_GR | GISS_GR | MRI_GR | ARPV3_SIM | CCCMA_SIM | ECHAM5_SIM | GFDL20_SIM | GFDL21_SIM | GISS_SIM | MRI_SIM |
|---------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------|---------|
| Saône amont | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| Saône aval | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| Ain | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| Doubs | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| Drac | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 |
| Isère amont | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Isère aval | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Durance amont | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Durance moyenne | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Durance aval | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Rhône amont | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| Rhône moyen | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 4 |
| Rhône aval | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 |
| Camargue | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 2 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| Petits côtiers PACA est | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Petits côtiers PACA ouest | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Var | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| Verdon | 3 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| Ardèche | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Cèze | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Gard | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Vidourle - Vistre | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Hérault | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Lez | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Orb - Libron | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Aude - Berre | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Agly | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Tech | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Têt | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |

Tableau 8 - Exposition des sous bassins d'étude concernant l'enjeu niveau trophique des eaux

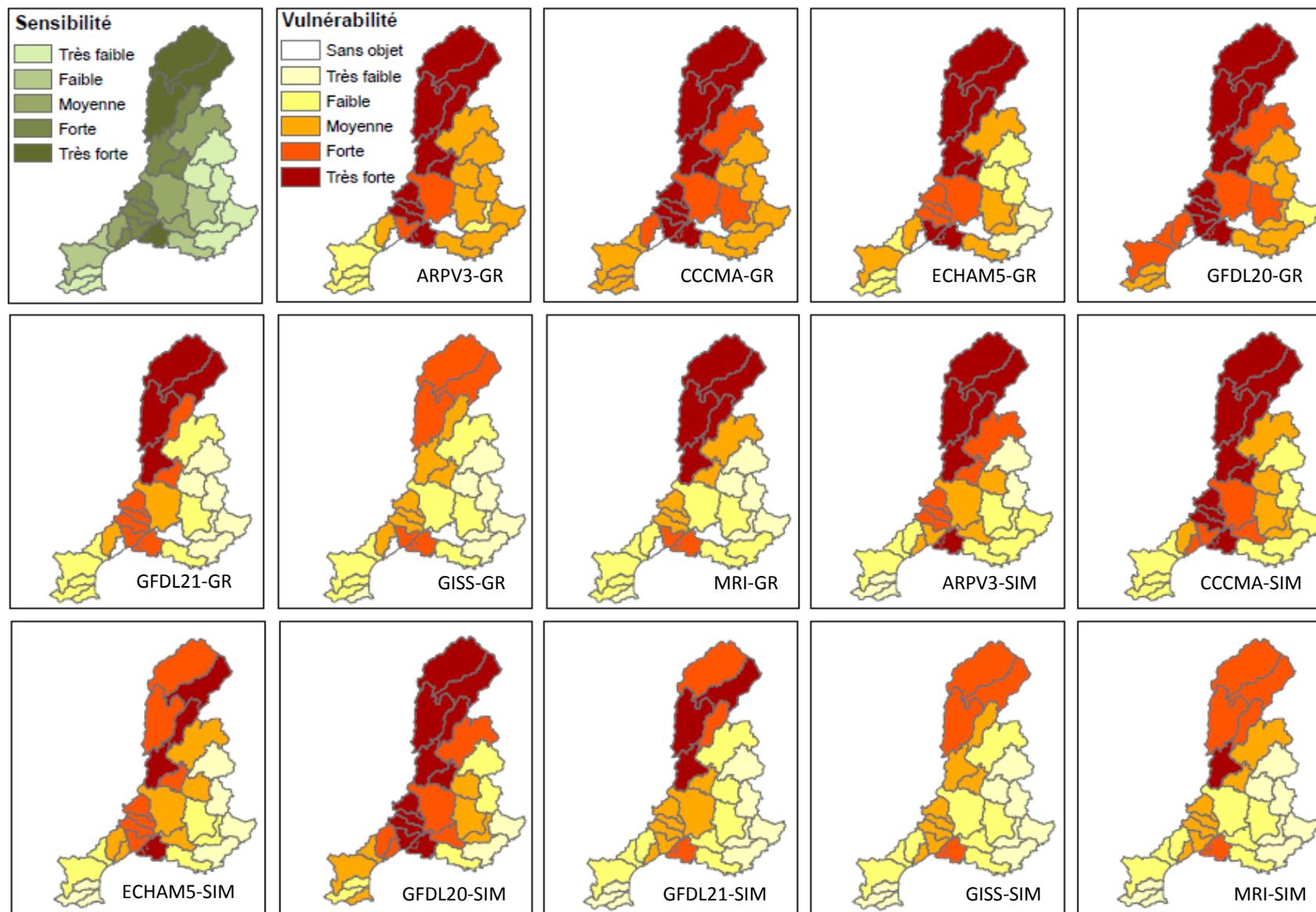


Figure 14 - Sensibilité et vulnérabilité concernant l'enjeu niveau trophique des eaux sur les sous bassins d'étude. Les résultats de vulnérabilité sont donnés pour chacun des couples modèle climatique – modèle hydrologique.

| Bassin | Sensibilité | Vulnérabilité | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|---------------|-------|--------|--------|--------|------|-----|--------|-------|--------|--------|--------|------|-----|
| | | GR4J | | | | | | | MODCOU | | | | | | |
| | | ARPV3 | CCCMA | ECHAM6 | GFDL20 | GFDL21 | GISS | MRI | ARPV3 | CCCMA | ECHAM6 | GFDL20 | GFDL21 | GISS | MRI |
| Saône amont | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Saône aval | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Ain | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| Doubs | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Drac | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Isère amont | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Isère aval | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| Durance amont | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Durance moyenne | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Durance aval | 3 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Rhône amont | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 |
| Rhône moyen | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| Rhône aval | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| Camargue | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Petits côtiers PACA est | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Petits côtiers PACA ouest | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Var | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Verdon | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Ardèche | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| Côze | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| Gard | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| Vidourle - Vistre | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| Hérault | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Lez | 4 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Orb - Libron | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Aude - Berre | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Agly | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Tech | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Têt | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |

Tableau 9 - Sensibilité et vulnérabilité des sous bassins d'étude concernant l'enjeu niveau trophique des eaux

Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu **niveau trophique des eaux**

Incidences du changement climatique sur la capacité d'autoépuration des cours d'eau

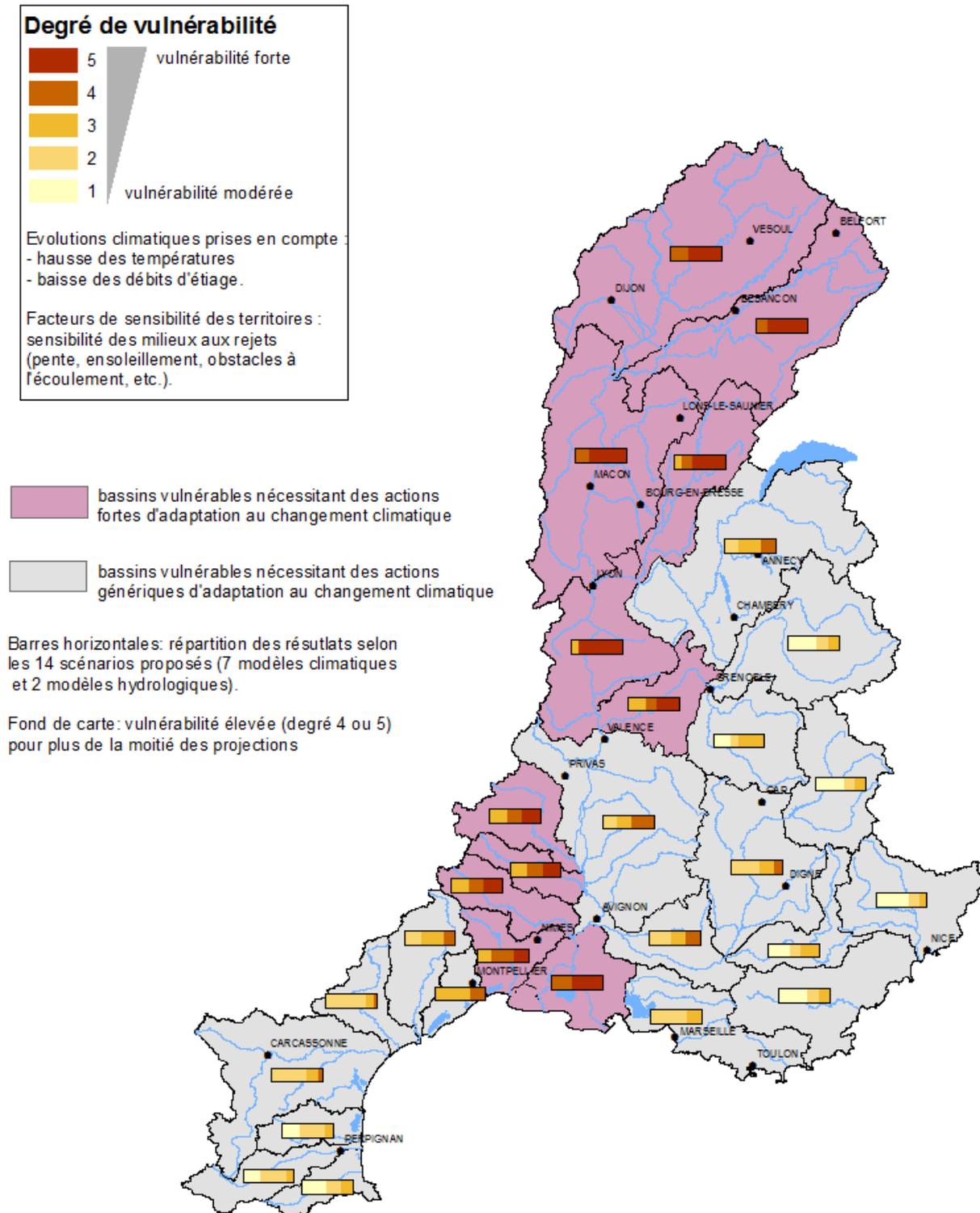


Figure 15 – carte de synthèse de la vulnérabilité concernant le niveau trophique des eaux

Commentaire sur la vulnérabilité pour l'enjeu niveau trophique des eaux

- Au nord du bassin, les territoires conjuguent la baisse des débits, l'augmentation de la température liée au changement climatique et une part élevée de linéaire de cours d'eau sensibles à l'eutrophisation compte tenu de leurs altérations hydromorphologiques. Ces territoires sont donc considérés comme très vulnérables, en particulier sur les secteurs Saône, Doubs, Ain, Rhône moyen et sur la partie aval de l'Isère.
- Dans le sud dans un secteur associant l'aval du bassin de la Durance et les bassins languedociens, des vulnérabilités fortes peuvent être affichées. Les secteurs les plus vulnérables sont les bassins cévenols, déjà très sensibles pour cet enjeu.
- Les bassins alpins et pyrénéens sont estimés moins vulnérables pour cet enjeu, compte tenu de conditions favorables à l'autoépuration naturelle (forte pente, oxygénation, eaux plus fraîches, ..).

VII. Enneigement

Rappel de l'objet : « Exprimer les incidences du changement climatique sur l'aptitude des territoires à accueillir des usages associés à la neige et aux régimes nivaux ».

-Sensibilité

Les paramètres pris en compte sont :

- la part des écoulements de surfaces liée à un écoulement nival plus ou moins dégradé,
- la part des surfaces de communes supports de stations de ski.

Pour chacun des deux critères, un niveau de sensibilité est défini pour chaque territoire :

| Sensibilité | Stations de ski | Écoulement nival |
|-------------|-----------------|------------------|
| Très faible | <1% | 0% |
| Faible | 1 – 3% | 0 – 10% |
| Moyenne | 3 – 7% | 10 – 25% |
| Forte | 7 – 10% | 25 – 50% |
| Très forte | > 10% | > 50% |

La sensibilité de chaque territoire est définie par le score le plus élevé entre les deux critères.

-Exposition

Données utilisées :

- altitudes (BDALTI) sur le bassin
- analyse des résultats du projet Scampeï (2011) sur l'évolution de l'enneigement sous effet du changement climatique.

Le projet Scampeï (www.cnrm.meteo.fr/scampeï/) fournit des projections sur l'enneigement en terme de durée, quantité, dates de début et de fin, ... (Déqué, 2011).

Les résultats sont exploités pour notre étude de manière qualitative sur les bases suivantes :

- **l'exposition est plus forte pour la moyenne montagne (1000 à 2000 m),**
- **la haute montagne (> 2000 m) est moins exposée,**
- **le sud est plus exposé que le nord.**

Pour chaque territoire, le pourcentage de la surface située au-dessus de 1000 m d'altitude, puis le pourcentage de ces zones d'altitude situées entre 1000 et 2000 m et au-dessus de 2000 m, sont calculés.

Dans un premier temps, le profil global « exposition » des territoires est classé de 1 à 5 selon cette lecture altitude / nord-sud :

- 1 : < 1000 m sur tout le territoire
- 2 : Nord, > 2000 m en majorité
- 3 : Sud, > 2000 m en majorité
- 4 : Nord, 1000 à 2000 m en majorité
- 5 : Sud, 1000 à 2000 m en majorité

Dans un deuxième temps, ces indices intègrent la part de la surface du territoire située en altitude > 2000 m par une correction de l'indice selon les principes suivants :

- 3 si < 5%
- 2 si < 10%
- 1 si < 25%
- +1 si > 50%
- +2 si > 75%.

| Bassin | Exposition | Sensibilité | Vulnérabilité |
|---------------------------|------------|-------------|---------------|
| Aude - Berre | 3 | 2 | 2 |
| Têt | 5 | 3 | 4 |
| Rhône aval | 3 | 1 | 2 |
| Camargue | 1 | 0 | 0 |
| Vidourle - Vistre | 2 | 0 | 0 |
| Lez | 1 | 0 | 0 |
| Hérault | 2 | 0 | 0 |
| Orb - Libron | 2 | 0 | 0 |
| Agly | 2 | 0 | 0 |
| Tech | 4 | 0 | 0 |
| Durance amont | 5 | 5 | 5 |
| Durance moyenne | 5 | 2 | 4 |
| Var | 5 | 4 | 5 |
| Verdon | 5 | 3 | 4 |
| Petits côtiers PACA est | 5 | 1 | 3 |
| Petits côtiers PACA ouest | 1 | 0 | 0 |
| Saône aval | 1 | 0 | 0 |
| Ain | 2 | 3 | 2 |
| Rhône moyen | 1 | 1 | 1 |
| Rhône amont | 4 | 4 | 5 |
| Saône amont | 2 | 0 | 0 |
| Durance aval | 1 | 0 | 0 |
| Gard | 1 | 0 | 0 |
| Ardèche | 4 | 1 | 3 |
| Cèze | 2 | 0 | 0 |
| Drac | 5 | 4 | 5 |
| Isère aval | 4 | 4 | 5 |
| Isère amont | 4 | 5 | 5 |
| Doubs | 2 | 2 | 2 |

Tableau 10 – sensibilité, exposition et vulnérabilité des territoires pour l’enjeu enneigement.

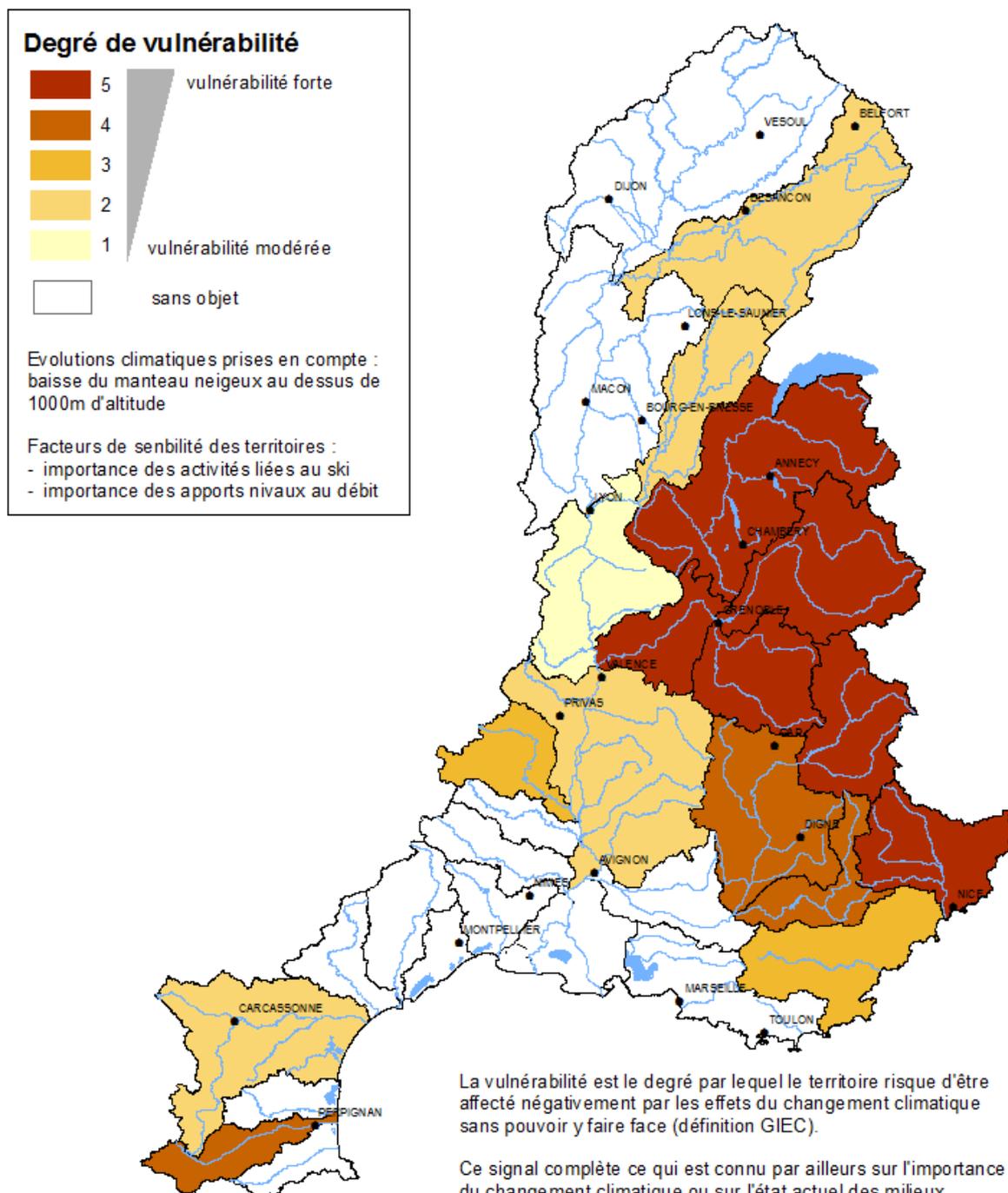
Seul un résultat de projection est exploité, ce qui explique que les cinq classes de vulnérabilité soient directement exprimées sur la carte.

Sans surprise ce sont les bassins alpins qui sont les plus vulnérables. Mais il convient de noter que des secteurs non montagneux peuvent présenter une vulnérabilité qui s’explique par l’importance des apports d’eau par la fonte des neiges.

Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu **enneigement**

V 9 avril 2013

Incidences du changement climatique sur l'aptitude des milieux à accueillir des usages associés à la neige et aux régimes nivaux



La vulnérabilité est le degré par lequel le territoire risque d'être affecté négativement par les effets du changement climatique sans pouvoir y faire face (définition GIEC).

Ce signal complète ce qui est connu par ailleurs sur l'importance du changement climatique ou sur l'état actuel des milieux et usages en exprimant un degré d'urgence ou d'effort à consentir pour envisager l'adaptation.

Bibliographie

Chandesris A., Mengin N., Malavoi J., Souchon Y. and Wasson J.G. (2009). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau : Atlas large échelle. Rapport Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 58 p.

Daroussin J. and King D. (1996). METADATA : pedotransfer rules database v.2.0 for environmental interpretations. The use of pedotransfer in soil hydrology research in Europa workshop proceedings Orléans, France, 10-12 October 1996, 11 p.

Déqué M. (2011). SCAMPEI - Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes. Rapport final du projet Agence Nationale de la Recherche ANR-08-VULN-0009-01. Programme VNCS 2008, 20p. + annexes

Dessai S. and Hulme M. (2004). Does climate adaptation policy need probabilities ?, Climate Policy 4 : 107 – 128.

Fabre J. (2012). Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, bilan des connaissances. Rapport Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 65 p.

MEDDE - ministère de l'écologie, de développement durable et de l'énergie (2012). Explore 2070, Rapport final du lot hydrologie de surface. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Hydrologie-de-surface.html>

Onema - office national de l'eau et des milieux aquatiques (2012). Recueil des méthodes de caractérisation des pressions • Partie II : Dispositifs de caractérisation des pressions sur les eaux de surface, 88 p.

Riffard M., Andréassian V., Nicolle P. and Peschard J. (2012). Combinaison multi-modèle et cartographie de consensus du débit de référence d'étiage et du débit moyen à l'échelle de la France. Rapport d'étude, Irstea-Onema, 40 p.

Valette L., Piffady J., Chandesris A. and Souchon Y. (2012). SYRAH-CE : description des données et modélisation du risque d'altération de l'hydromorphologie des cours d'eau pour l'Etat des lieux DCE. Rapport final, Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Irstea Lyon, MALY-LHQ, Lyon, juillet 2012, 104 p.