









« Cette opération est cofinancée par l'Union Européenne. L'Europe s'engage sur le bassin de la Loire avec le Fonds Européen de Développement Régional. »



# PHASE 1:

# Bilan des données existantes et collecte des données nécessaires

Etude d'adaptation du mode de gestion du barrage de Naussac sous l'effet du changement climatique

| Date         | 14/12/2016                       |
|--------------|----------------------------------|
| Réalisation  | Olivier SONNET                   |
| Secteur      | ETABLISSEMENT PUBLIC DE LA LOIRE |
| Modification | V3                               |

| Design Hydrau   | lique & Energie  | Etude d   |              | mode de gestion du      |            |                  | Etablissement Public Loire Changement Climatique |            |       |
|---|--|-----------|--------------|-------------------------|------------|------------------|--|------------|-------|
| 14 rue d'Aix 1<br>Email : <u>sonnet</u><br>Tel/Fax : +33 (0 | 3510 EGUILLES<br>olivier@neuf.fr<br>0)4-88-05-39-92<br>0)6-64-97-03-91 |           | sous l'effet | du changement cli       | matique    |                  | Changem  | ent Cilili | анцис |
| Mobile : +33 (0   | 0)6-64-97-03-91  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   | <u>Création - Modifications</u>  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
| Indice  |  | Auteur(s) |              | Vérif                   | icateur(   | s)               | Appr   | obateur    | (s)   |
|   | Nom  | Visa      | Date         | Nom                     | Visa       | Date             | Nom  | Visa       | Date  |
| V1  | SONNET   | х         | 08/11/2016   |                         |            |                  |  |            |       |
| V2  | SONNET   | х         | 08/12/2016   |                         |            |                  |  |            |       |
| V3  | SONNET   | х         | 14/12/2016   |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   | I  |           |              | <u>Historique des r</u> | modificat  | tions            |  |            |       |
| Indice  | Date   |           |              | Pa                      | aragraph   | nes modifiés / O | bjet   |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              | <u>Diffus</u>           | <u>ion</u> |                  |  |            |       |
|   |  |           |              | Destinataire(s)         |            |                  |  |            | Nb    |
|   |  |           | ETABLI       | SSEMENT PUBLIC L        | OIRE       |                  |  |            | 1     |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |
|   |  |           |              |                         |            |                  |  |            |       |

## SOMMAIRE

| 1 LES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES A DISPOSITI            | ION SUR LE BASSIN DE LA LOIRE   | <u>6</u> |
|--|---------------------------------|----------|
| 1.1 LES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES DU PROJET « EXPLOI   | re 2070 »                       | 6        |
| 1.2 LES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES DU PROJET « ICC-H'   | YDROQUAL »                      | 8        |
| 1.3 UNE STRATEGIE DE MISE A JOUR DES DONNEES A ANTICIF | PER                             | 11       |
| 1.3.1 DES METHODES DE DESCENTE D'ECHELLE VARIEES ET EV | /OLUTIVES                       | 11       |
| 1.3.2 Une evolution dans la prise en compte des scena  | ARIOS DE GAZ A EFFET DE SERRE   | 11       |
| 2 INTERCOMPARAISON DES PROJECTIONS HYDRO               | LOGIQUES SUR 2 POINTS DE CALCUL | 14       |
| 2.1 STATION DE VIEILLE BRIOUDE                         |                                 | 16       |
| 2.1.1 DEBITS MOYENS MENSUELS                           |                                 | 16       |
| 2.1.2 QMNA5 ET MODULE                                  |                                 | 19       |
| 2.1.3 QJ 10ANS   |                                 | 20       |
| 2.2 STATION DE VIC-LE-COMTE                            |                                 | 23       |
| 2.2.1 DEBITS MOYENS MENSUELS                           |                                 | 23       |
| 2.2.2 QMNA5 ET MODULE                                  |                                 | 26       |
| 2.2.1 QJ 10ANS   |                                 | 27       |
| 2.3 CONCLUSIONS  |                                 | 29       |
| 3 DONNEES REDEVANCE DE L'AGENCE DE L'EAU LO            | OIRE BRETAGNE                   | 32       |
| 4 RESUME DU FONCTIONNEMENT DU BARRAGE D                | PE NAUSSAC                      | 33       |
| 4.1 ALIMENTATION DU BARRAGE                            |                                 | 34       |
| 4.1.1 REGLES DE DERIVATION SUR LE CHAPEAUROUX          |                                 | 34       |
| 4.1.2 REGLES DE POMPAGE SUR L'ALLIER                   |                                 | 34       |
| 4.2 SOUTIEN D'ETIAGE                                   |                                 | 38       |



## Table des illustrations

| Figure 1 : Profils RCP du 5 <sup>ème</sup> rapport du GIEC  | 12     |
|---|--------|
| Figure 2 : Comparaison des nouveaux scénarios d'émissions RCP avec les anciens SRES (source : Serge Planton / Météo Franc   | ce) 13 |
| Figure 3 : Cartographie des points de calcul « Explore 2070 vs ICC Hydroqual  | 15     |
| Figure 4 : Comparaison des régimes hydrologiques pour les 2 horizons PST et MS (pour chaque GCM)                            | 17     |
| Figure 5 : Comparaison des évolutions des débits mensuels entre PST et MS (pour chaque GCM)                                 |        |
| Figure 6 : Comparaison des évolutions du QMNA5 entre PST et MS (pour chaque GCM)  | 19     |
| Figure 7 : Comparaison des évolutions du module entre PST et MS (pour chaque GCM)   | 20     |
| Figure 8 : Comparaison des QJ10ans à l'horizon MS (pour chaque GCM)   | 21     |
| Figure 9 : Comparaison des évolutions du QJ10ans entre PST et MS (pour chaque GCM)  | 22     |
| Figure 10 : Comparaison des régimes hydrologiques pour les 2 horizons PST et MS (pour chaque GCM)                           |        |
| Figure 11 : Comparaison des évolutions du QMNA5 entre PST et MS (pour chaque GCM)   |        |
| Figure 12 : Comparaison des évolutions du module entre PST et MS (pour chaque GCM)  | 27     |
| Figure 13 : Comparaison des QJ10ans à l'horizon MS (pour chaque GCM)  | 28     |
| Figure 14 : Comparaison des évolutions du QJ10ans entre PST et MS (pour chaque GCM)   | 28     |
| Figure 15 : station de Vieille-Brioude  | 29     |
| Figure 16 : station de Vic-le-Comte   | 29     |
| Figure 17 : Synthèse des tendances moyennes constatées pour différentes variables statistiques entre PST et MS — station de | 2      |
| Vieille Brioude   | 31     |
| Figure 18 : Synthèse des tendances moyennes constatées pour différentes variables statistiques entre PST et MS — station de | e Vic- |
| le-Comte  | 31     |
| Figure 19 : Schéma d'exploitation du barrage de Naussac   | 33     |
| Figure 20 : Dérivation du Chapeauroux   | 34     |
| Figure 21 : Pompage sur l'Allier  | 35     |
| Figure 22 : Répartition des EJP sur l'année pour 2006 à 2015  | 36     |
| Figure 23 : Courbe de remplissage naturel / Courbe d'alerte pour le débit réservé sur l'Allier à Langogne                   | 36     |
| Tableau 24 : Capacité maximale de pompage dans l'Allier selon le niveau dans Naussac  | 37     |
| Tableau 25 : Tableau du DOE à Vic-le-Comte  |        |
| Tableau 26 : Courbe « plancher » à Naussac pour soutien Vieille-Brioude   | 38     |
| Figure 27 : Courbe de remplissage naturel / Courbe d'alerte pour le débit réservé sur l'Allier à Langogne                   | 39     |

Le présent rapport s'intéressera à la phase 1, et se concentrera sur les projections hydrologiques à disposition pour les phases suivantes, issues de 2 projets de recherche :

- Explore 2070 (source : MEDDE<sup>1</sup>),
- ICC-Hydroqual (EP Loire).

Ces données seront utilisées par la suite pour apprécier l'impact du changement climatique sur le fonctionnement des barrages de Villerest et de Naussac.

#### f 1 LES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES A DISPOSITION SUR LE BASSIN DE LA LOIRE

### 1.1 LES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES DU PROJET « EXPLORE 2070 »

Pour rappel, le projet Explore 2070 s'est déroulé de juin 2010 à octobre 2012, et a été porté par la direction de l'eau et de la biodiversité du MEDDE. Plusieurs volets ont été abordés, dont un axe concernant l'évaluation des changements possibles des eaux de surface à l'horizon Milieu du Siècle (MS) 2046-2065, par rapport à un état de référence (1961-1990). Ces travaux ont été menés à partir d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre (A1B) et d'un ensemble de modèles climatiques et hydrologiques. Une chaîne de modélisation a été mise en place afin de produire des simulations de débits journaliers en Temps Présent (PST - 1962-1991) et en temps futur (2046-2065) au droit de 1522 points de calcul sur le réseau hydrographique de la métropole.

7 modèles climatiques globaux forcés par le scénario d'émission de gaz à effet de serre A1B (médian en termes d'évolution thermique) ont été utilisés pour simuler le climat présent et futur au droit des points de calcul sous la forme de précipitations, température et évapotranspiration potentielle (ETP).

| Nom Modèle    | Nomenclature Explore 2070 | Centre climatique |
|---------------|---------------------------|-------------------|
| CCCMA_CGCM3   | CCMA                      | CCCMA (Canada)    |
| ECHAM5/MPI    | ECHAM5                    | MPI (Allemagne)   |
| ARPEGE V3+    | ARPV3                     | Météo- France     |
| GFDL-CM2.0    | GFDL20                    | GFDL (USA)        |
| GFDL-CM2.1    | GFDL21                    | GFDL (USA)        |
| GISS_MODEL_ER | GISS                      | GISS (USA)        |
| MRI-CGCM2.3.2 | MRI                       | MRI (Japon)       |

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer

- ⇒ Ces projections climatiques sont issues du 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC<sup>2</sup> (2007).
- Les résultats ont été désagrégés à un pas d'espace de 8k x 8km (scénarios SCRATCH08) par une méthode de descente d'échelle statistique par type de temps, méthode développée par Julien Boé au CERFACS³ (Boé et al. 2006; Boé 2007). Il s'agit d'une désagrégation d'échelle statistique multivariée qui repose sur l'utilisation du concept de type de temps et qui est dérivée de la méthode classique des analogues. « La méthode a été mise au point pour les précipitations pour des applications hydrologiques. Les projections climatiques SCRATCH08 ne sont pas des prévisions et aucune échelle de probabilité ne leur est attachée. Elles représentent a priori des évolutions plausibles du climat de la France sur le 21ème siècle basées sur nos connaissances actuelles. Elles seront amenées à évoluer dans les prochaines années avec les améliorations anticipées sur la compréhension et la modélisation du système climatique et de son évolution. (source : CERFACS) »

Ces sorties des modèles climatiques ont été ensuite utilisées en entrée de 2 modèles hydrologiques (un modèle de type conceptuel : GR4J et un modèle à base physique : Isba-Modcou), afin de simuler les débits présents et futurs possibles aux exutoires des bassins, et donc d'appréhender les changements hydrologiques possibles en ces points.

- Par la suite, les résultats issus du modèle GR4J sur le bassin de l'Allier ont été privilégiés, résultats pour lesquels les critères de calage (critères Nash) étaient supérieurs à Isba-Modcou.

Sont accessibles sur la plateforme du projet « Explore 2070 » (<a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr/Mise-a-disposition-des-donnees.html">http://www.developpement-durable.gouv.fr/Mise-a-disposition-des-donnees.html</a>), les résultats bruts au niveau de l'ensemble des points de calcul.

➡ Il s'agit des indicateurs statistiques classiques en hydrologie, calculés pour chaque point et chaque modèle climatique (QJ10ans, QMNA5, Q moyen mensuel,...)<sup>4</sup>.

Dans le cas présent (bassin versant de l'Allier), les résultats ont ainsi pu être analysés au niveau des 8 stations hydrométriques suivantes (cf. phase 1 et 2):

| Nom_Station                       | Code_Station | Superficie du bassin versant (km²) |
|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|
| L'Allier à Monistrol-d'Allier     | K2210810     | 1 073.42                           |
| L'Allier à Prades [amont du pont] | K2240810     | 1 348.09                           |
| L'Allier à Vieille-Brioude        | K2330810     | 2 263.01                           |
| L'Allier à Jumeaux                | K2450810     | 3 059.18                           |
| L'Allier à Vic-le-Comte           | K2680810     | 5 394.53                           |

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

QMNA5 = Débit moyen mensuel minimum d'occurrence 5 ans

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> QJ 10 ans = Débit moyen journalier maximal d'occurrence 10 ans

| L'Allier à Limons                 | K2790810 | 7 035.04  |
|-----------------------------------|----------|-----------|
| L'Allier à Saint-Yorre            | K3030810 | 8 936.29  |
| L'Allier à Cuffy [Pont du Guétin] | K3650810 | 14 348.87 |

#### 1.2 LES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES DU PROJET « ICC-HYDROQUAL »

Le projet de recherche (ICC-HYDROQUAL pour Impact du Changement Climatique sur l'hydro système Loire : HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux) a notamment permis de produire des projections hydrologiques.

Ces projections sont disponibles au niveau de 3 stations de mesure sur le bassin versant de l'Allier, à savoir :

- Station de Vieille-Brioude,
- Station de Vic-le-Comte,
- Station de Moulins.

Des modèles hydrologiques (à réservoirs) ont été mis en œuvre pour transcrire les projections climatiques en projections hydrologiques à différents horizons de temps :

Temps Présent : période de 1961 à 2000

- Milieu du Siècle : 2046 à 2065

- Fin du Siècle : 2081 à 2100

Nota : les travaux réalisés se sont concentrés sur l'exploitation des projections au Milieu du Siècle.

Elles ont été exploitées au droit des principales stations hydrométriques existantes, afin de produire 13 séries de débits moyens journaliers, correspondant aux 13 modèles de circulation globale (ou GCM). Les modèles hydrologiques (à réservoirs) mis en œuvre, ont été calibrés à partir d'une comparaison entre les débits simulés obtenus avec les données d'entrée SAFRAN et les débits enregistrés aux stations hydrométriques. Ces modèles intègrent donc une influence anthropique plus ou moins marquée selon leur localisation. On pense naturellement aux points situés en aval des barrages de Naussac et de Villerest, pour lesquels le biais de cette hypothèse n'a pu être quantifié.

Nota : on pourra utiliser par la suite la terminologie scénario climatique ou modèle climatique, mais également le diminutif anglais GCM pour General Circulation Model.

Les modèles de circulation globale (ou GCMs) exploités dans le cadre du projet ICC-HYDROQUAL sont présentés ci-après. Ils correspondent aux projections climatiques de différents laboratoires ou organismes de recherche nationaux ou internationaux, produites dans le cadre du GIEC.

- 1. CCMA CGCM3 (Canada)
- 2. MRI CGCM (Japon)

- 3. MPI-ECHAM (Allemagne)
- 4. MIUB ECHO (Allemagne/Corée)
- 5. MIROC 3.2 MEDRES (Japon Université de Tokyo)
- 6. IPSL CM4 (France IPSL)
- 7. INGV ECHAM4 (Italie)
- 8. GISS-ER (États-Unis NASA/GISS)
- 9. GISS-AOM (États-Unis NASA/GISS)
- 10. GFDL-CM2 (États-Unis NOAA/GFDL)
- 11. CSIRO-MK3 (Australie)
- 12. CNRM-CM3 (France Météo-France)
- 13. NCAR CCSM3 (États-Unis NCAR)

Nota : deux de ces organismes sont français, l'institut Pierre et Simon Laplace et Météo France.

A noter que dans le cadre de l'étude ICC-HYDROQUAL, les données climatiques utilisées correspondent aux nouveaux scénarii dénommés SCRATCH2010 (modification par rapport à Explore de la méthode statistique de descente d'échelle).

- « Des scénarii climatiques globaux réalisés dans le cadre de l'exercice d'inter comparaison de modèles couplés CMIP3 et régionaux réalisés par le CERFACS et Météo-France ont été désagrégés à petite échelle sur la France par le CERFACS. La version initiale de ces scénarii a été produite en 2008, sous la dénomination SCRATCH08 (Pagé et al., 2008).
  - ⇒ Ce sont ces scénarios (SCRATCH08) qui ont été utilisés dans le projet Explore 2070.

La configuration de la méthodologie a été améliorée depuis, surtout dans le cadre du projet ANR-SCAMPEI sur l'impact des changements climatiques sur les régions de montagnes. Ces nouveaux scénarii sont dénommés SCRATCH2010 : ce sont maintenant les scénarii de référence et remplacent SCRATCH08. Ils sont disponibles aux usagers internes et externes à des fins de recherche et d'études. La résolution spatiale des scénarii SCRATCH2010 est de 8 km sur une région couvrant la France. »

⇒ Ce sont ces scénarios (SCRATCH2010) qui ont été utilisés dans le projet ICC-HYDROQUAL

#### En résumé:

- Les projections climatiques utilisées dans le cadre des projets de recherche Explore 2070 et ICC Hydroqual sont issues des modèles climatiques du 4ème rapport du GIEC (2007). Les différences en termes de production des données concernent la méthode de descente d'échelle utilisée qui a évolué entre 2008 et 2010 (cf. publications du CERFACS).
- Les modèles hydrologiques mis en place sont comparables, et l'on peut donc considérer sans disposer de toutes les données nécessaires à cette analyse, que les démarches de production des projections hydrologiques à partir des forçages climatiques sont très proches.

#### 1.3 UNE STRATEGIE DE MISE A JOUR DES DONNEES A ANTICIPER

#### 1.3.1 DES METHODES DE DESCENTE D'ECHELLE VARIEES ET EVOLUTIVES

On notera que dans le cadre de ces 2 projets de recherche, le CERFACS a produit les projections climatiques en entrée des modèles hydrologiques, assurant notamment la descente d'échelle depuis les modèles globaux ou régionalisés. Cette mission n'est pas aujourd'hui inscrite dans le temps au travers d'un quelconque protocole ou accord, et ne garantit donc pas la pérennité de ce processus. Le CERFACS a par ailleurs de nouveau fait évoluer sa méthode de descente d'échelle (s'appuyant sur la méthode des analogues) à travers la thèse de Gildas DAYON, en intégrant notamment un traitement des projections climatiques du 5ème rapport du GIEC. Plusieurs points de calcul concernent d'ailleurs le bassin de la Loire, avec l'utilisation notamment du logiciel hydrologique d'EDF Mordor.

Nota : d'autres laboratoires, comme l'IPSL disposent également de leurs propres outils de descentes d'échelle (a priori méthode quantile-quantile).

#### 1.3.2 UNE EVOLUTION DANS LA PRISE EN COMPTE DES SCENARIOS DE GAZ A EFFET DE SERRE

Rappelons en préambule que les différentes périodes de production des projections climatiques sont en lien avec les rapports du GIEC. La prise en compte des scénarios d'émission des gaz à effet de serre a ainsi évoluée entre le 4<sup>ème</sup> rapport (2007) et le 5<sup>ème</sup> rapport (2014). Les éléments qui suivent sont extraits d'une note de l'Onerc<sup>5</sup> sur les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC (2013).

« La démarche suivie dans la définition des trajectoires futures est différente de celle du 4ème Rapport d'évaluation de 2007. Elle est basée sur un ensemble déterminé de profils représentatifs d'évolution des concentrations en gaz à effet de serre (GES), d'ozone et de précurseurs des aérosols.

Lors du 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation publié en 2007, la stratégie suivie était séquentielle. Le point de départ était une synthèse des travaux de modélisation économique qui conduisit à définir un ensemble de scénarios d'évolution possible de nos sociétés et modes de vie, prenant en compte des choix en matière d'énergie et de rapports à la mondialisation. Ces scénarios, appelés SRES (du nom du rapport spécial publié en 2000 pour les présenter, Special Report on Emissions Scenarios) proposaient plusieurs évolutions (A1, A2, B1, B2, A1B, etc.) se traduisant ensuite en termes d'émission de gaz à effet de serre. Ces évolutions d'émissions de GES étaient

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique

alors utilisées par les climatologues comme données d'entrée des modèles de projections climatiques. Enfin, les projections climatiques alimentent les modèles d'impact. »

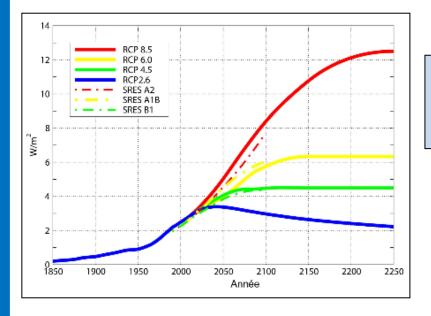
- ⇒ Le GIEC a décidé de définir des nouveaux scénarios pour mieux prendre en compte ce nouveau contexte et permettre aux économistes et aux climatologues de ne plus travailler de manière séquentielle mais parallèle.
- Les scénarios RCP sont quatre scénarios de référence de l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300 (cf. tableau ci-dessous). Leur sélection a été effectuée par les scientifiques sur la base de 300 scénarios publiés dans la littérature. Le RCP 8.5, le plus pessimiste, n'est dépassé que par environ 10% des hypothèses envisagées, tandis que le plus favorable, le scénario RCP 2.6, ne dépasse que près de 10% d'entre elles.

Nota: les profils RCP sont décrits jusqu'en 2300, alors que les scénarios SRES des précédents travaux du GIEC s'arrêtaient en 2100.

| Nom    | Forçage radiatif                                   | Concentration (ppm)                                  | Trajectoire                       |
|--------|--|--|-----------------------------------|
| RCP8.5 | >8,5W.m-2 en 2100                                  | >1370 eq-CO2 en 2100                                 | croissante                        |
| RCP6.0 | ~6W.m-2 au niveau de<br>stabilisation après 2100   | ~850 eq-CO2 au niveau de<br>stabilisation aprés 2100 | Stabilisation sans<br>dépassement |
| RCP4.5 | ~4,5W.m-2 au niveau de<br>stabilisation aprés 2100 | ~660 eq-CO2 au niveau de<br>stabilisation aprés 2100 | Stabilisation sans<br>dépassement |
| RCP2.6 | Pic å ~3W.m-2 avant 2100<br>puis déclin            | Pic ~490 eq-CO2 avant 2100<br>puis déclin            | Pic puis déclin                   |

Figure 1 : Profils RCP du 5ème rapport du GIEC

« Si l'on compare les scénarios RCP aux scénarios SRES (cf. figure ci-dessous), on constate que le scénario RCP 8.5 est un peu plus pessimiste que le scénario SRES A2, le RCP 6 est proche du SRES A1B, tandis que le RCP 4.5 est proche du SRES B1. Le seul scénario sans équivalent est le RCP 2.6 qui intègre les effets d'une politique de réduction des émissions susceptible de limiter le réchauffement planétaire à 2°C en 2100. »



En termes de modification du bilan énergétique de la planète, les nouveaux scénarios sont proches des précédents.



#### En résumé :

- ⇒ Dans le cadre des **projets Explore 2070 et ICC Hydroqual**, **le scénario SRES A1B (4**ème **rapport du GIEC)** a été **retenu** pour quantifier les impacts du changement climatique.
- Notons que seuls 5 Modèles Globaux Climatiques (CCMA, ECHAM5/MPI, GFDL 20, GISS et MRI) sont communs aux 2 projets de recherche, et que la méthode de désagrégation appliquée est différente.
  - Nota : cette conclusion s'appuie sur un rapprochement à partir des noms des modèles climatiques cités dans les différents rapports produits et pourrait s'avérer erronée.
- ⇒ Les projections issues du 5ème rapport reposent sur une nouvelle approche des scénarios d'émissions. Cette évolution devrait avoir peu d'effets pour les projections de Milieu du Siècle, qui intègrent les GES déjà produits.

| Etude d'adaptation du mode d | gestion du barrag | e de Naussac sous l'e | effet du changement climatique |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
|------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|

## 2 INTERCOMPARAISON DES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES SUR 2 POINTS DE CALCUL

Comme évoqué précédemment, 2 points de calcul sont communs aux 2 projets de recherche sur le bassin de l'Allier :

- L'Allier à Vieille-Brioude,
- L'Allier à Vic-le-Comte.

Pour ces 2 points, **5 GCMs** sont **communs aux 2 projets de recherche** et permettent ainsi une inter comparaison. Les valeurs statistiques suivantes sont ainsi comparées ci-après :

- Débits moyens mensuels, module,
- Débits journalier de crue d'occurrence 10 ans,
- QMNA5.

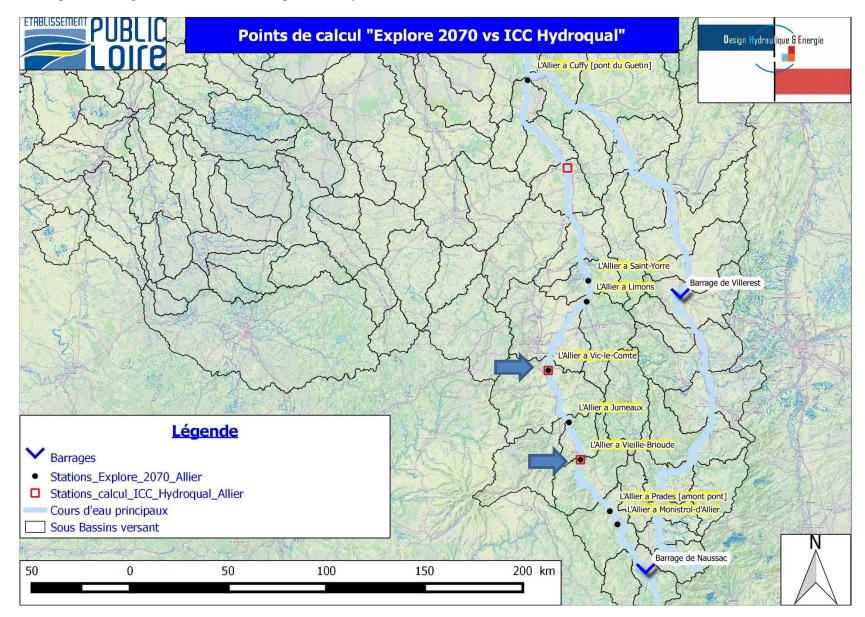


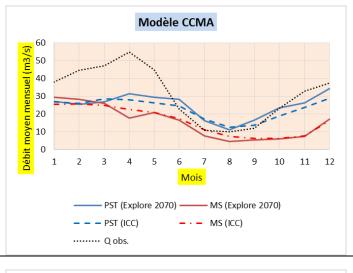
Figure 3 : Cartographie des points de calcul « Explore 2070 vs ICC Hydroqual

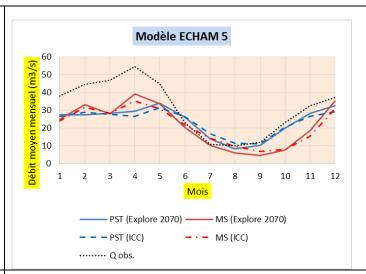
#### 2.1 STATION DE VIEILLE BRIOUDE

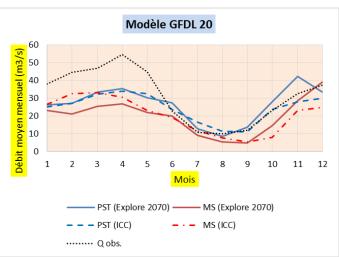
#### 2.1.1 DEBITS MOYENS MENSUELS

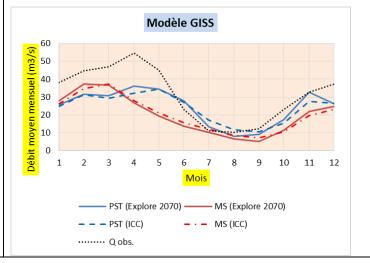
On retrouve dans l'ensemble, des régimes hydrologiques présentant le même profil, avec dans les 2 projets une **difficulté à reproduire les débits hivernaux de janvier à mai**.

On observe notamment entre Explore et ICC, quelques décalages du mois connaissant le plus bas débit pour certains GCMs (ECHAM5, GFDL 20), passant de septembre à octobre à l'horizon MS.









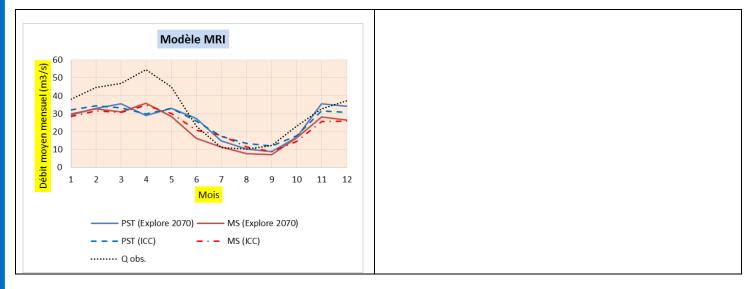


Figure 4 : Comparaison des régimes hydrologiques pour les 2 horizons PST et MS (pour chaque GCM)

Pour mieux visualiser les différences entre les 2 projections hydrologiques, les anomalies constatées pour chaque débit moyen mensuel sont représentées :

- CCMA: les résultats d'Explore montrent une augmentation des débits en janvier et février de l'ordre de +10%, alors que l'exploitation des projections d'ICC concluait à une stabilisation de ces derniers.
   Du mois de mars à décembre, les projections d'Explore concluent également à une baisse des débits, avec pour la période
  - d'avril à octobre un signal plus marqué (courbe bleue sous la courbe rouge).
- **ECHAM 5:** les résultats d'Explore et ICC sont dans l'ensemble assez comparables, avec les mêmes tendances pour l'ensemble des mois de l'année. On notera que les différences les plus marquées concernent la période d'étiage de juillet à octobre, avec une baisse plus prononcée dans les projections d'Explore.
- **GFDL 20 :** sur la période hivernale, les différences constatées sont importantes avec pour les mois de janvier et février une tendance à la hausse dans Explore, a contrario des projections d'ICC. On notera également un décalage pour le mois connaissant le plus bas débit, passant du mois de septembre dans Explore à octobre dans ICC.
- **GISS**: on retrouve dans l'ensemble un signal assez comparable, avec des variations un peu plus lissées pour les projections d'ICC. Ces dernières concluent à une baisse légèrement plus marquée pour les mois de juillet et août.
- **MRI**: hormis pour les mois de mars et avril, on retrouve quelques différences assez marquées, avec une baisse plus prononcée pour Explore de juin à août.

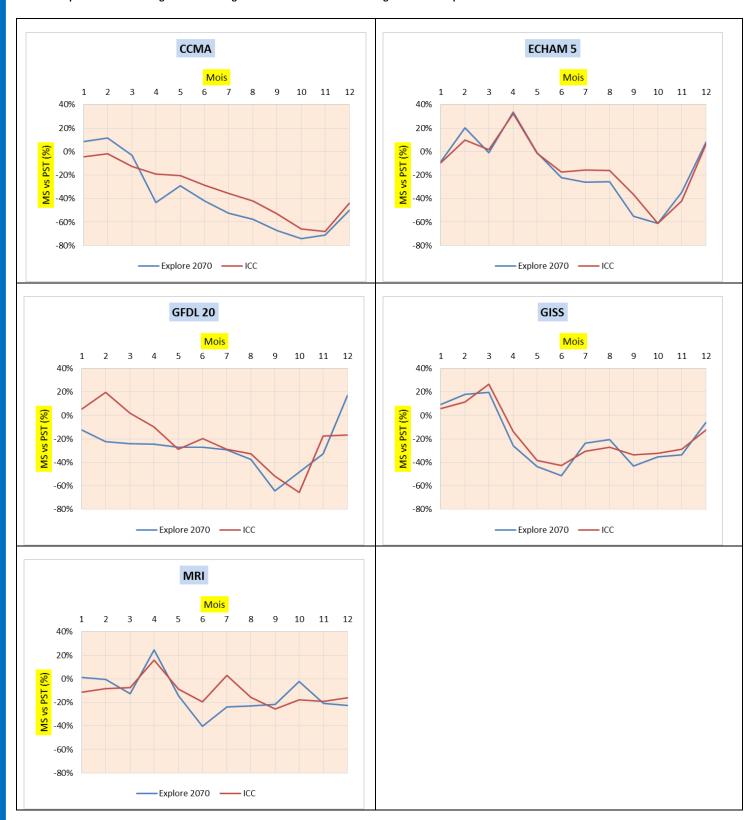


Figure 5 : Comparaison des évolutions des débits mensuels entre PST et MS (pour chaque GCM)

## 2.1.2 QMNA5 ET MODULE

#### QMNA5

La moyenne des projections des 5 GCMs analysés, montre une tendance à la baisse avec une valeur commune de -48% pour Explore et ICC.

Lorsqu'on regarde dans le détail les résultats par GCMs, on retrouve les tendances suivantes pour le QMNA5 :

- 1 GCM (CCMA) pour lequel la baisse est du même ordre -53% pour Explore et ICC.
- 3 GCMs (ECHAM5, GFDL20 et MRI) pour lesquels la baisse est légèrement plus marquée pour Explore qu'ICC (écart par GCM compris entre -3 à -2%).
- 1 GCM (GISS) pour lequel la baisse est plus marquée pour ICC qu'Explore (écart de l'ordre de -9%).

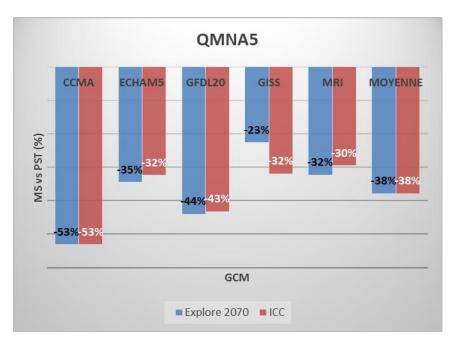


Figure 6 : Comparaison des évolutions du QMNA5 entre PST et MS (pour chaque GCM)

## **Module**

La moyenne des projections des 5 GCMs analysés, montre une tendance à la baisse du même ordre de grandeur, avec -20% pour Explore et -16% pour ICC.

Lorsqu'on regarde dans le détail, les résultats par GCMs, on retrouve <u>les tendances suivantes pour le module</u> :

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Evolution en considérant la moyenne des modules des différents GCMs.

- 2 GCMs (CCMA et GFDL 20) pour lesquels la baisse est plus marquée pour Explore qu'ICC (écart par GCM compris entre 14 à -7%).
- 3 GCMs (ECHAM5, GISS et MRI) pour lesquels la baisse est plus marquée pour ICC qu'Explore (écart compris entre -14 à 3%).

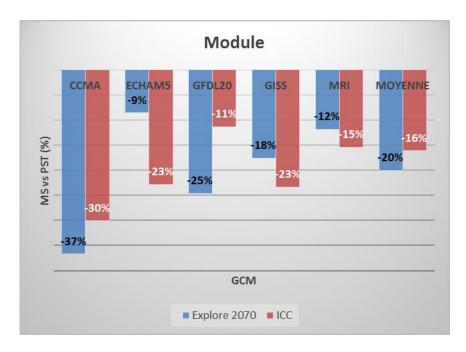


Figure 7 : Comparaison des évolutions du module entre PST et MS (pour chaque GCM)

## 2.1.3 QJ 10ANS

On constate que les QJ10ans produits dans le cadre d'Explore 2070 sont systématiquement supérieurs à ceux issus d'ICC, que ce soit pour les horizons PST ou comme ci-dessous pour le Milieu du Siècle. Difficile en l'état d'apporter un regard critique sur ce résultat. On peut supposer que la donnée climatique d'entrée est probablement le principal facteur explicatif. En tous les cas, les QJ10 ans calculés dans Explore pour l'horizon PST sont plus proches de la statistique des données observées.

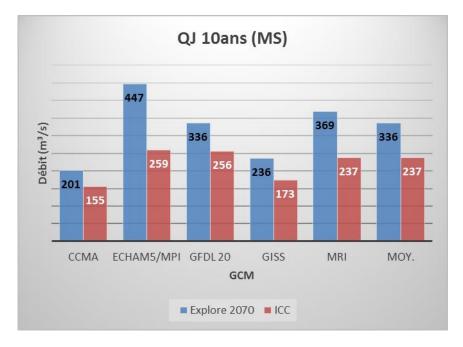


Figure 8 : Comparaison des QJ10ans à l'horizon MS (pour chaque GCM)

Les **signaux d'évolution** pour le QJ10ans, sont **contradictoires selon le GCM** considéré. En moyenne, on trouve une augmentation plus forte pour ICC qu'Hydroqual, avec toutes les réserves liées à ce calcul.

Si l'on regarde plus en détail chaque GCM, <u>les tendances sont variées :</u>

- 1 seul GCM à la hausse (ECHAM5) pour Explore et ICC,
- 2 scénarios (CCMA et GISS) à la baisse dans les 2 projets (baisse toutefois plus marquée dans les 2 cas pour Explore).
- 2 scénarios pour lesquels les tendances sont contradictoires entre Explore et ICC :
  - o GFDL 20 : -21.3% pour Explore et +7.0% pour ICC
  - o MRI: -2.2% pour ICC et +0.4% pour Explore.

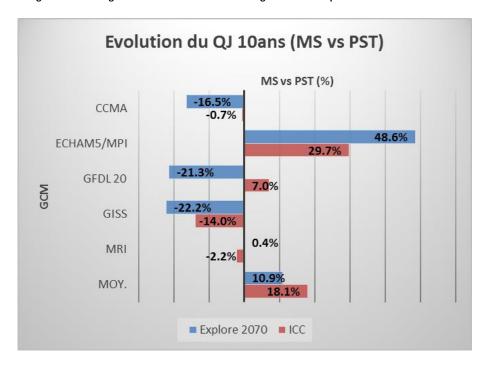
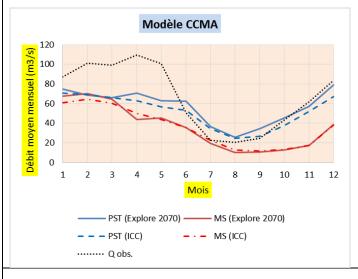


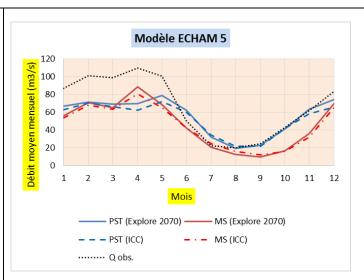
Figure 9 : Comparaison des évolutions du QJ10ans entre PST et MS (pour chaque GCM)

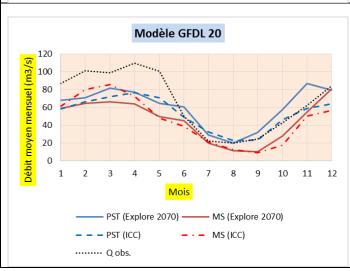
## 2.2 STATION DE VIC-LE-COMTE

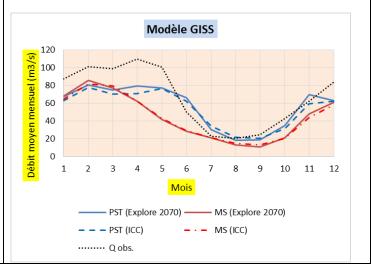
## 2.2.1 DEBITS MOYENS MENSUELS

On retrouve dans l'ensemble des régimes hydrologiques présentant le même profil, avec dans les 2 projets une **difficulté à reproduire les débits hivernaux de janvier à mai**.









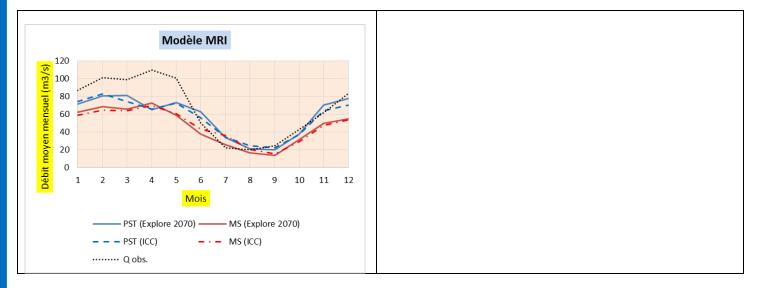
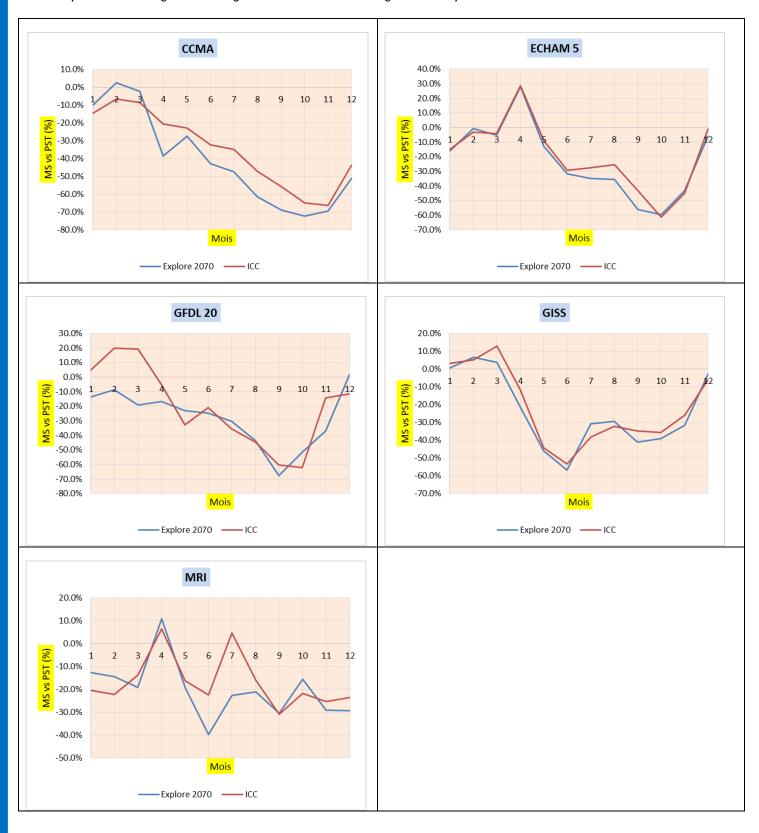


Figure 10: Comparaison des régimes hydrologiques pour les 2 horizons PST et MS (pour chaque GCM)

Pour mieux visualiser les différences entre les 2 projections hydrologiques, les anomalies constatées pour chaque débit moyen mensuel sont représentées :

- **CCMA**: hormis, le mois de février, les projections d'Explore concluent globalement à une baisse des débits moyens mensuels, avec pour la période d'avril à octobre un signal plus marqué (courbe bleue sous la courbe rouge).
- **ECHAM 5 :** les résultats d'Explore et ICC sont dans l'ensemble assez comparables, avec les mêmes tendances pour l'ensemble des mois de l'année. On notera que les différences les plus marquées concernent la période d'étiage de juillet à octobre, avec une tendance à la baisse plus prononcée dans les projections d'Explore.
- **GFDL 20 :** sur la période hivernale, les différences constatées sont importantes avec pour les mois de janvier à mars une tendance à la hausse pour ICC, a contrario des projections d'Explore 2070.
- **GISS**: on retrouve dans l'ensemble un signal assez comparable, avec des variations un peu plus lissées pour les projections d'ICC. Ces dernières concluent à une baisse légèrement plus marquée pour les mois de juillet et août.
- **MRI**: hormis pour les mois de mars et avril, on retrouve quelques différences assez marquées, avec une baisse plus prononcée pour Explore de juin à août.



#### 2.2.2 QMNA5 ET MODULE

#### QMNA5

La moyenne des projections des 5 GCMs analysés, montre une **tendance à la baisse du même ordre de grandeur, avec -40% pour Explore et -39% pour ICC.** 

Lorsqu'on regarde dans le détail les résultats par GCMs, on retrouve les tendances suivantes pour le QMNA5 :

- 4 GCMs (CCMA, ECHAM5, GFDL20 et MRI) pour lesquels la baisse est légèrement plus marquée pour Explore qu'ICC (écart par GCM compris entre -4 et -2%).
- 1 GCM (GISS) pour lequel la baisse est plus marquée pour ICC qu'Explore (écart de l'ordre de -6%).

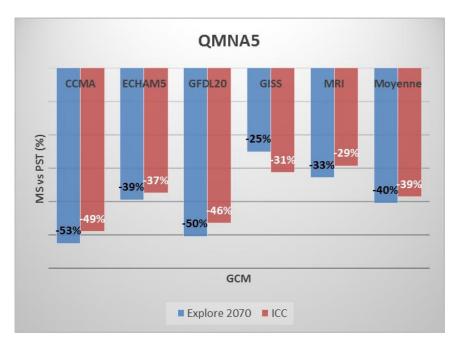


Figure 11 : Comparaison des évolutions du QMNA5 entre PST et MS (pour chaque GCM)

#### **Module**

La moyenne des projections des 5 GCMs analysés, montre une **tendance à la baisse du même ordre de grandeur, avec -24% pour Explore et -19% pour ICC**. Lorsqu'on regarde dans le détail les résultats par GCMs, on retrouve les tendances suivantes pour le module :

- 3 GCMs (CCMA, GFDL20 et MRI) pour lesquels la baisse est plus marquée pour Explore qu'ICC (écart par GCM compris entre -9 à -2%).
- 2 GCMs (ECHAM5, GISS) pour lesquels la baisse est plus marquée pour ICC qu'Explore (écart compris entre -10 à -8%).

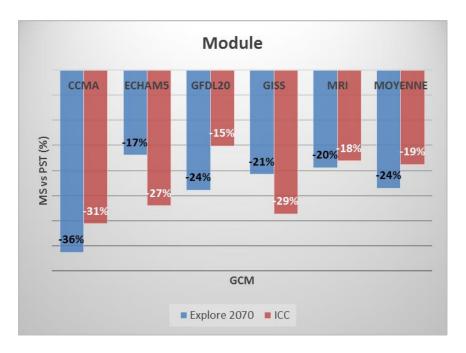


Figure 12 : Comparaison des évolutions du module entre PST et MS (pour chaque GCM)

## 2.2.1 QJ 10ANS

On constate que les QJ10ans produits dans le cadre d'Explore 2070 sont systématiquement supérieurs à ceux issus d'ICC, que ce soit pour les horizons PST ou comme ci-dessous pour le Milieu du Siècle. Difficile en l'état d'apporter un regard critique sur ce résultat. On peut supposer que la donnée climatique d'entrée est probablement le principal facteur expliquant cette différence.

En tous les cas, le QJ10 ans calculés dans Explore pour l'horizon PST est plus proche de la statistique des données observées.

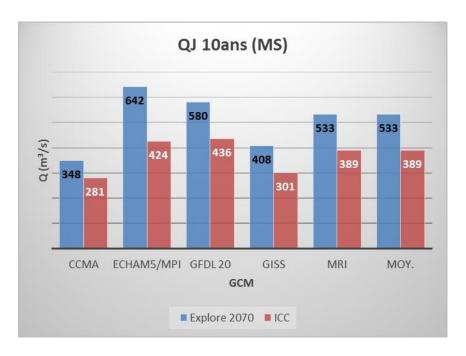


Figure 13: Comparaison des QJ10ans à l'horizon MS (pour chaque GCM)

Les signaux d'évolution pour le QJ10ans, sont contradictoires selon le GCM considéré. En moyenne, on trouve une augmentation plus forte pour ICC qu'Hydroqual, avec toutes les réserves liées à ce calcul.

Si l'on regarde plus en détail chaque GCM, les tendances sont variées :

- 1 seul GCM à la hausse (ECHAM5), pour Explore et ICC.
- 2 scénarios (CCMA et GISS) à la baisse, dans les 2 projets (baisse plus marquée dans les 2 cas pour Explore).
- 2 scénarios pour lesquels les tendances sont contradictoires entre Explore et ICC :
  - O GFDL 20: -11.3% pour Explore et +9.7% pour ICC.
  - o MRI: -0.4% pour ICC et +0.2% pour Explore. Au vu des incertitudes, on peut considérer que ce scénario conclut dans les 2 cas à un statu quo sur le QJ10ans.

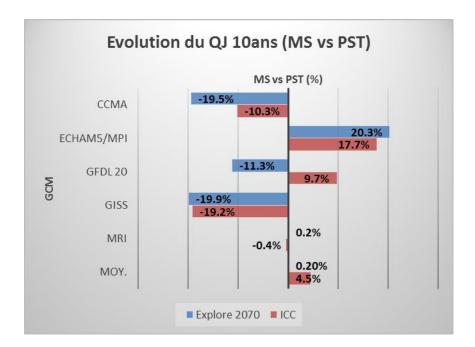


Figure 14 : Comparaison des évolutions du QJ10ans entre PST et MS (pour chaque GCM)

#### 2.3 CONCLUSIONS

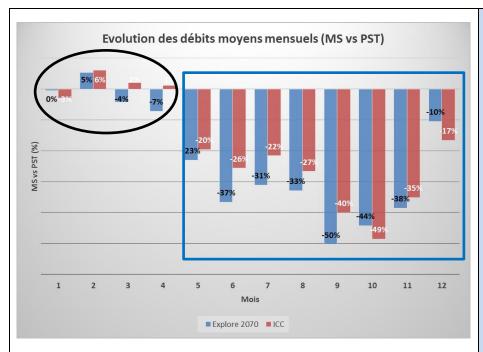


Figure 15 : station de Vieille-Brioude

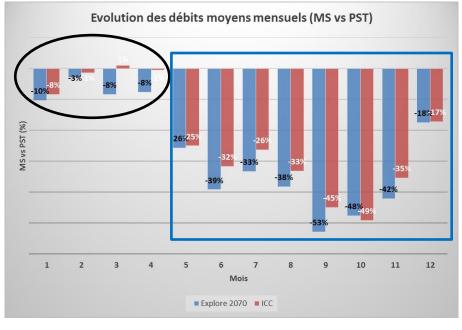


Figure 16 : station de Vic-le-Comte

On peut distinguer **2 périodes** en observant **l'évolution des débits** moyens mensuels au niveau des stations de Vieille-Brioude et Vic-le-Comte :

- Une première période de janvier à avril, où les signaux entre les 2 projets peuvent être légèrement divergents. On constate en moyenne, une variabilité entre les horizons PST et MS inférieur à 10%.
- Une seconde période de mai à décembre, où les signaux sont convergents entre les 2 projets, avec des baisses notamment toujours supérieurs en moyenne à -25% de mai à novembre.

Le module annuel baisse pour tous les GCMs et dans le cadre des 2 projets, avec une baisse en moyenne légèrement plus marquée pour les résultats d'Explore (-23.5 à -20%), contre une baisse pour ICC Hydroqual de -18.9% à -16.1% selon les stations.

Le QMNA5 baisse également pour tous les GCMs et dans le cadre des 2 projets, avec une baisse en moyenne équivalente à Vieille-Brioude (-37.9%) et légèrement plus marquée pour

| e (-40.4%) au niveau de la statio<br>·le-Comte, contre -38.6% pour IC<br>qual. |
|--|
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

Page 30

|                 |                 | Variables statistiques |                 |                   |                 |                     |                 |                 |                 |                 |                  |                 |
|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Station         | 0               | QM1                    | QM2             |                   | QM3             |                     | QM4             |                 | QM5             |                 | QM6              |                 |
| Station         | Explore         | ICC                    | Explore         | ICC               | Explore         | ICC                 | Explore         | ICC             | Explore         | ICC             | Explore          | ICC             |
|                 |                 |                        |                 |                   |                 |                     |                 |                 |                 |                 |                  |                 |
|                 | <b>\0.5%</b>    | <b>\2.8%</b>           | <b>7</b> 5.4%   | <i>₹</i> 6.1%     | <b>\_</b> -4.3% | <b>2.0%</b>         | ·7.1%           | <b>7</b> 1.1%   | <b>↓</b> -23.0% | <b>19.5%</b>    | <b>↓</b> -36.6%  | <b>↓</b> -25.6% |
|                 |                 |                        | •               |                   |                 |                     | •               |                 |                 |                 | •                |                 |
|                 | QM7             |                        | QM8             |                   | QM9             |                     | QM10            |                 | QM11            |                 | QM12             |                 |
|                 | Explore         | ICC                    | Explore         | ICC               | Explore         | ICC                 | Explore         | ICC             | Explore         | ICC             | Explore          | ICC             |
| Vieille-Brioude |                 |                        |                 |                   |                 |                     |                 |                 |                 |                 |                  |                 |
| Vieine-Briodde  | <b>↓</b> -31.0% | <b>↓</b> -21.6%        | <b>↓</b> -32.8% | <del>-26.6%</del> | <b>↓</b> -50.2% | <del>4</del> -40.0% | <b>↓</b> -44.2% | <b>↓</b> -48.5% | <b>↓</b> -38.5% | <b>↓</b> -35.1% | <b>\)</b> -10.5% | <b>16.6%</b>    |
|                 |                 |                        |                 |                   |                 |                     | _               |                 |                 |                 |                  |                 |
|                 | MC              | DDULE                  | JLE QMNA5       |                   | QJ10ans         |                     |                 |                 |                 |                 |                  |                 |
|                 | Explore         | ICC                    | Explore         | ICC               | Explore         | ICC                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |
|                 |                 |                        |                 |                   |                 |                     |                 |                 |                 |                 |                  |                 |
|                 | <b>1</b> -20.0% | <b>16.1%</b>           | <b>↓</b> -37.9% | <del>-37.9%</del> | <i>₹</i> 10.9%  | <i>₹</i> 18.1%      |                 |                 |                 |                 |                  |                 |

Figure 17 : Synthèse des tendances moyennes constatées pour différentes variables statistiques entre PST et MS – station de Vieille Brioude

|              | Variables statistiques |                     |                     |                 |                     |                     |                     |                     |                 |                     |                 |               |
|--------------|------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------|
| Station      | QM1                    |                     | QM2                 |                 | QM3                 |                     | QM4                 |                     | QM5             |                     | QM6             |               |
|              | Explore                | ICC                 | Explore             | ICC             | Explore             | ICC                 | Explore             | ICC                 | Explore         | ICC                 | Explore         | ICC           |
|              |                        |                     |                     |                 |                     |                     |                     |                     |                 |                     |                 |               |
|              | <b>\10.4%</b>          | <b>\8.4%</b>        | <b>3.0%</b>         | <b>1.4%</b>     | <b>\8.4%</b>        | <b>7</b> 1.1%       | <b>&gt;</b> -7.7%   | <b>\_</b> -0.6%     | <b>↓</b> -25.7% | <del>-25.0%</del>   | <b>↓</b> -39.2% | <b>-31.7%</b> |
|              |                        |                     |                     |                 | •                   |                     | •                   |                     | •               |                     | •               |               |
|              | QM7                    |                     | QM8                 |                 | QM9                 |                     | QM10                |                     | QM11            |                     | QM12            |               |
|              | Explore                | ICC                 | Explore             | ICC             | Explore             | ICC                 | Explore             | ICC                 | Explore         | ICC                 | Explore         | ICC           |
| Vic-le-Comte |                        |                     |                     |                 |                     |                     |                     |                     |                 |                     |                 |               |
|              | <b>↓</b> -33.3%        | <del>4</del> -26.3% | <b>↓</b> -38.2%     | <b>↓</b> -33.1% | <del>4</del> -52.9% | <del>4</del> -45.0% | <del>4</del> -47.6% | <del>4</del> -49.1% | <b>↓</b> -42.2% | <del>4</del> -35.4% | <b>17.5%</b>    | <b>\17.2%</b> |
|              |                        |                     |                     |                 |                     |                     | 1                   |                     |                 |                     |                 |               |
|              | MODULE                 |                     | QMNA5               |                 | QJ10ans             |                     |                     |                     |                 |                     |                 |               |
|              | Explore                | ICC                 | Explore             | ICC             | Explore             | ICC                 |                     |                     |                 |                     |                 |               |
|              | _                      |                     | _                   | _               | _                   | _                   |                     |                     |                 |                     |                 |               |
|              | <b>↓</b> -23.5%        | <b>18.9%</b>        | <del>4</del> -40.4% | <b>↓</b> -38.6% | <i></i>             | <i>₹</i> 4.5%       | ]                   |                     |                 |                     |                 |               |

Figure 18 : Synthèse des tendances moyennes constatées pour différentes variables statistiques entre PST et MS – station de Vic-le-Comte

## 3 DONNEES REDEVANCE DE L'AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE

La Phase 3 a pour objectif d'évaluer les évolutions de l'usage de l'eau en amont et en aval du barrage de Naussac. Pour ce faire, les données prospectives produites dans Explore 2070 seront valorisées. Les travaux réalisés par le BIPE<sup>7</sup> ont abouti à proposer des projections pour les prélèvements sur les eaux surfaces et souterraines pour 4 grandes classes d'usage (AEP<sup>8</sup>, Industrie, Energie, Agriculture) à l'horizon 2070. L'année 2006 est prise comme point de départ pour la démarche prospective.

Afin de sélectionner les points de prélèvement intéressant la présente démarche et recalculer les valeurs à l'horizon 2065, les données de redevance de l'Agence de l'eau Loire Bretagne vont être exploitées. Ces données sont structurées autour des 3 grands usages :

- Prélèvements en eau pour l'alimentation en eau potable,
- Prélèvements en eau pour l'irrigation,
- Prélèvements d'eau dans l'industrie.

Pour l'irrigation, on rencontre ainsi plusieurs rubriques décrivant la nature de la ressource mobilisée, qui concernent à la fois des prélèvements sur les eaux superficielles et souterraines, mais également des prélèvements directs ou alimentant des retenues collinaires :

- CA = prélèvement dans un canal,
- CN = prélèvement dans un cours d'eau naturel,
- NA = prélèvement dans une nappe alluviale,
- NP = prélèvement dans une nappe profonde,
- RA = prélèvement dans une nappe alluviale pour alimenter une retenue,
- RC = prélèvement des eaux de ruissellement pour alimenter une retenue,
- RN = prélèvement dans un cours d'eau naturel pour alimenter une retenue,
- RO = prélèvement d'une source pour alimenter une retenue,
- RP = prélèvement dans une nappe profonde pour alimenter une retenue,
- SO = prélèvement d'une source.

Nota: Les volumes déclarés à l'Agence de l'eau Loire Bretagne pour les retenues collinaires (notamment celles alimentées par du ruissellement) représentent probablement les consommations et non le volume réellement soustrait au milieu pour assurer cette consommation.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>BIPE : cabinet de conseil en analyse stratégique et prospective économique

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> AEP: Alimentation en Eau Potable

Il est important de noter que les valeurs de prélèvement représentent des volumes annuels prélevés. Une réflexion devra donc être menée en phase 3 pour cibler les besoins sur la période de soutien d'étiage et les traduire en débit moyen mensuel.

Les données « redevances » ont été fournies par l'Agence de l'eau Loire Bretagne pour la période 1996 à 2008, et seront exploitées par la suite pour retenir uniquement les prélèvements impactant les eaux de surface à l'horizon 2065. Ne seront donc pris en compte que les prélèvements dans les cours d'eau et les nappes libres. En effet, à l'étiage, le débit des cours d'eau est fortement soutenu par les apports des nappes souterraines. Les prélèvements effectués dans les nappes exercent donc une pression significative sur le débit d'étiage.

## 4 RESUME DU FONCTIONNEMENT DU BARRAGE DE NAUSSAC

Ce paragraphe a vocation à dégager les principes de gestion du barrage de Naussac. On distinguera <u>2 aspects du fonctionnement</u> <u>du barrage</u>, à savoir :

- d'une part la description des règles concernant son alimentation,
- et d'autre part les règles régissant les lâchers effectués pour soutenir les débits en aval sur l'Allier et sur la Loire à Gien.

Nota : on ne décrira pas dans le présent rapport les règles de gestion de crue propres à cet ouvrage.

Le barrage est généré au quotidien à partir d'une courbe de gestion dite normale, qui définit une cote d'objectif à respecter en fonction de la période de l'année.

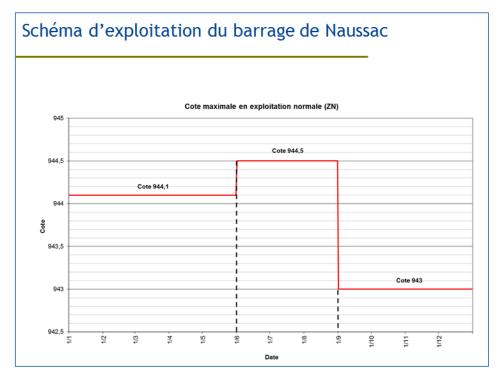


Figure 19 : Schéma d'exploitation du barrage de Naussac

#### 4.1 ALIMENTATION DU BARRAGE

Il y a 3 points d'apports dans le barrage de Naussac, et 2 de ces apports sont régis par différentes règles explicitées ci-après :

- 1. Apports directs du Donozau,
- 2. Apports via une dérivation sur le Chapeauroux (canal de dérivation au niveau du Réals et d'Auroux),
- 3. Pompage sur l'Allier (via un groupe réversible).

#### 4.1.1 REGLES DE DERIVATION SUR LE CHAPEAUROUX

- La dérivation des eaux interdite :
  - ✓ Du 1<sup>er</sup> juillet au 31 août,
  - ✓ Quand les lâchures sont effectuées par Naussac,
  - ✓ Quand la retenue a atteint sa cote d'exploitation.
- Le débit réservé à respecter dans le Chapeauroux l'aval de la dérivation de 600 l/s.
- Le débit maximum dérivable par la prise d'eau est de 12 m<sup>3</sup>/s.



Figure 20 : Dérivation du Chapeauroux

#### 4.1.2 REGLES DE POMPAGE SUR L'ALLIER



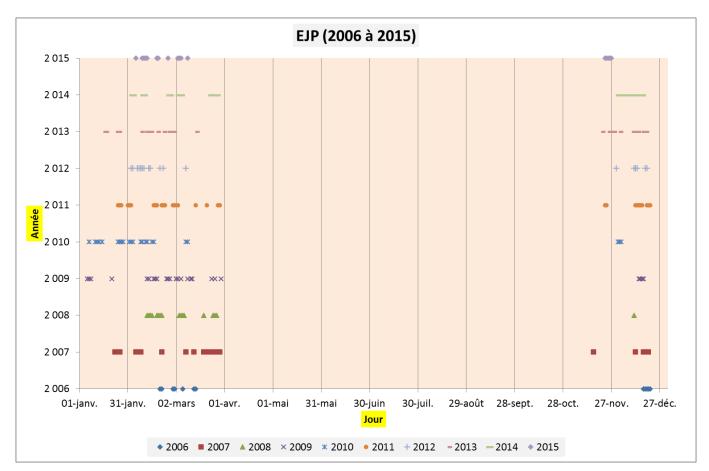
Figure 21: Pompage sur l'Allier

Le pompage prend en référence la station de Langogne sur l'Allier, et un seuil positionné en aval permet d'alimenter une prise d'eau. Le débit réservé à respecter en aval de la prise d'eau dans l'Allier est de :

- 3 m³/s si le volume de la retenue est inférieur au volume d'alerte ou 5 m³/s dans le cas contraire (cf. courbe d'alerte).
- Pour les mois de juin, juillet et août, sa valeur est de 2 m³/s. Pendant cette période il est fréquent que le barrage soutienne au minimum un débit de 2m³/s.

#### Le pompage est interdit :

- en cas de lâchures de Naussac.
- durant les jours EJP<sup>9</sup>. Il s'agit d'un contrat passé avec EDF auprès d'industriels pour ne pas consommer les jours de pointe, sur 22 jours dans l'année. Ces jours sont naturellement variables d'une année sur l'autre, dépendant des conditions climatiques et des capacités de production en France et en Europe. Les déclenchements opérés ces dernières années sont toutefois concentrés sur la période hivernale. L'analyse des données depuis 2006 montre en effet une concentration sur la période hivernale avec les pics de froid, se répartissant pour les 10 dernières années sur une période allant du 15/11 au 01/04.



<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> EJP : Effacements des Jours de Pointe

Figure 22 : Répartition des EJP sur l'année pour 2006 à 2015

- du 1<sup>er</sup> juillet au 1<sup>er</sup> novembre.
- lorsque le volume dans la retenue de Naussac est inférieur à 28 millions m<sup>3</sup>.

#### Le pompage est activé hors période du 1er juillet au 1er novembre, selon les dispositions suivantes :

- si le volume est inférieur au volume de remplissage naturel (cf. courbe de remplissage ci-dessous calculée pour une fréquence de 3/10).
- si au 1<sup>er</sup> novembre, la côte au barrage est inférieure à 937.50mNGF, on démarre le pompage en laissant un débit réservé de 5 m³/s. On pompe alors le maximum de [Q Langogne sur l'Allier 5m³/s] afin d'arriver jusqu'à la côte indiquée par la courbe bleue ci-dessous suivant la date. Si on se trouve dans la zone jaune (par exemple le 1er mars à 936mNGF), on peut augmenter le pompage de 2m³/s et laisser un débit réservé de 3m³/s.

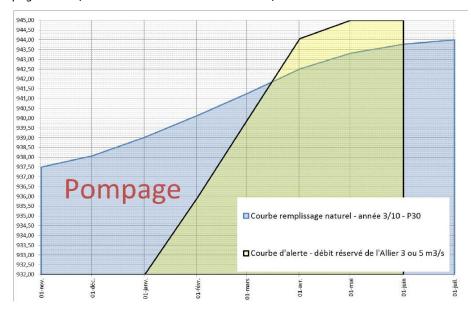


Figure 23 : Courbe de remplissage naturel / Courbe d'alerte pour le débit réservé sur l'Allier à Langogne

Le pompage est variable selon le niveau de remplissage dans le barrage et le nombre de groupes activé. Le débit pompé est donc théoriquement compris entre 1.5 m³/s et 15 m³/s (valeur maximale pour 3 pompes réversibles de 5 m³/s activées dans les conditions optimales).

La capacité maximale de pompage est précisée par le tableau suivant en fonction du niveau de remplissage de Naussac :

| Z barrage Naussac (mNGF) | Q max pompage<br>(m³/s) |
|--------------------------|-------------------------|
| 910 à 939                | 15                      |
| 939 à 944                | 13.5                    |

944 à 945 12

Tableau 24 : Capacité maximale de pompage dans l'Allier selon le niveau dans Naussac

#### 4.2 SOUTIEN D'ETIAGE

La vocation première du barrage du Naussac est d'assurer un soutien d'étiage sur l'Allier (4 points d'objectifs) et sur la Loire à Gien (cet objectif est ainsi assuré par les barrages de Villerest et de Naussac).

## Les stations d'objectifs sur l'Allier :

- La Valette : 2 m³/s (correspondant au pied de l'ouvrage).

- Poutès : du 15 mai au 15 septembre,  $DOE^{10} = 5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- Vic-le-Comte : pour ce point, le DOE est fonction du volume de la retenue et de la période de l'année.

| Date de début du soutien<br>Allier | Vol. Naussac<br>140-190 Mm <sup>3</sup> | Vol. Naussac<br>115-140 Mm <sup>3</sup> | Vol. Naussac<br>90-115 Mm <sup>3</sup> | Vol. Naussac<br>65-90 Mm <sup>3</sup> | Vol. Naussac<br>< 65 Mm <sup>3</sup> |
|------------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Avant le 20 mai                    | 12 m³/s                                 | 12 m³/s                                 | 12 m³/s                                | 11 m³/s                               | 10 m <sup>3</sup> /s                 |
| 21 mai au 20 juin                  | 13 m³/s                                 | 13 m³/s                                 | 12 m³/s                                | 11 m³/s                               | 10 m <sup>3</sup> /s                 |
| Après le 20 juin                   | 14 m³/s                                 | 13 m³/s                                 | 12 m³/s                                | 11 m³/s                               | 10 m³/s                              |

Tableau 25 : Tableau du DOE à Vic-le-Comte

Nota: Enfin une courbe « plancher » permet seulement de respecter le DOE à Veille-Brioude. En d'autres termes, dès que le volume du barrage est inférieur à la courbe « plancher » sur Naussac, le soutien d'étiage pour Gien ne sera plus assuré depuis Naussac qui se concentrera sur le DOE de Vieille-Brioude. Cette courbe « plancher » s'applique sur la période actuelle de soutien d'étiage, à savoir du 1<sup>er</sup> juin jusqu'à la fin de l'étiage.

| Date    | Volume (Mm³) |  |  |
|---------|--------------|--|--|
| 1-juin  | 52.01        |  |  |
| 1-juil. | 49.65        |  |  |
| 1-août  | 38.39        |  |  |
| 1-sept. | 30.62        |  |  |
| 1-oct.  | 19.30        |  |  |
| 1-nov.  | 10.34        |  |  |
| 1-déc.  | 3.74         |  |  |

Tableau 26 : Courbe « plancher » à Naussac pour soutien Vieille-Brioude

### La station d'objectif sur la Loire à Gien :

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> DOE = Débit d'Objectif d'Etiage

- le DOE est variable en fonction de la période de l'année et du volume dans le barrage de Naussac. Dès que le débit reconstitué à Gien (dit naturel) est inférieur à 60m³/s, l'opérateur fixe ainsi selon le tableau de répartition suivant une valeur de DOE qui sera appliquée pour le reste de la saison de soutien d'étiage.

| Date de passage du débit reconstitué à<br>Gien en-dessous de 60 m3/s | Volume initial de Naussac inférieur<br>ou égal à 140 Mm <sup>3</sup> | Volume initial de Naussac<br>supérieur à 140 Mm <sup>3</sup> |
|--|--|--|
| Avant le 15 juillet  | 50 m³/s  | 50 m³/s  |
| Du 16 juillet au 1 <sup>er</sup> août                                | 50 m³/s  | 55 m <sup>3</sup> /s   |
| Après le 1 <sup>er</sup> aout  | 55 m³/s  | 60 m³/s  |

Figure 27 : Courbe de remplissage naturel / Courbe d'alerte pour le débit réservé sur l'Allier à Langogne